

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

CEKET TİPİ AÇIK DENİZ YAPISININ DİNAMİK ANALİZİ

Sefa UĞUR

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

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ISPARTA-2022**



©2022 [Sefa UĞUR]

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER.....	i
ÖZET.....	ii
ABSTRACT.....	iii
TEŞEKKÜR.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	v
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	viii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Modelde Kullanılan Yükler.....	3
1.1.1. Dalga yükleri.....	3
1.1.1.1. Doğrusal (Lineer, Airy) dalga teorisi.....	4
1.1.1.2. Stokes dalga teorisi.....	6
1.1.2. Deprem yükleri.....	7
1.1.3. Ölü yükler.....	8
1.1.4. Hareketli yükler.....	8
2. KAYNAK ÖZETLERİ.....	9
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	25
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	35
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	55
KAYNAKLAR.....	58
ÖZGEÇMİŞ.....	61

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

CEKET TİPİ AÇIK DENİZ YAPISININ DİNAMİK ANALİZİ

Sefa UĞUR

Süleyman Demirel Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi İlyas Devran ÇELİK

Sanayi devrimi ile artan tüketimle birlikte üretim ihtiyacı günden güne artmaktadır. Bu üretim ihtiyacını karşılamak için en temel gereksinim enerjidir. Dolayısıyla enerji, ülkemiz ve dünyada çok önemli bir yere sahiptir. Enerji temini çoğunlukla fosil kaynaklardan olan petrol ve doğalgazdan karşılanmaktadır. Enerji, karasal alanlardan elde edildiği gibi okyanus ve denizlerden de elde edilmektedir. Okyanus ve denizlerden enerji elde etmek amacıyla açık deniz platformları kullanılmaktadır. Açık deniz platformları, çevresel koşullar ve tasarım açısından karasal alanlara kurulan yapılardan ayrılmaktadır. Açık deniz yapılarına etki eden yükler ve su derinliği gibi değişkenler bu yapıların tasarımında önemli yer tutmaktadır. Bu yapıların tasarımında dalga, rüzgâr ve deprem kuvvetleri belirleyici kuvvetlerdir. Ayrıca bu yapılar su içerisinde olduğu için özellikle zemin durumu çok detaylı incelenmeli, zemin sıvılaşması gibi durumlar göz önünde bulundurularak temel tasarımı yapılmalıdır.

Bu tez çalışmasında ülkemizde özellikle Batı Akdeniz Bölgesinde kurulabilecek olan petrol arama ve sondaj platformlarının yapısal davranışı ve zemin ile etkileşimi üzerine bir çalışma yapılmıştır. Yapılan bu çalışma kapsamında; dinamik analizler için ölçeklendirilmiş 11 deprem ivme kaydı ve bu 11 ivme kaydının ortalama ivme spektrum eğrisi kullanılmıştır. Çalışmada DD-1 ve DD-2 deprem durumları dinamik ve statik olarak dikkate alınmıştır. Çalışma kapsamında özellikle sismik analizler yapılsa da dalga ve rüzgâr yükleri çalışmanın bütününde yer almış ve tasarımlar Amerikan Petrol Enstitüsü (API) yönetmeliğine göre yapılmıştır. Sabit ceket tipi açık deniz yapısının, farklı mesnetlenme koşullarında platformlu ve platformsuz durum için statik ve dinamik analizleri yapılmıştır. Zemin mesnetlenme koşulu için ankastre, yay sabitli zemin tanımı ve katı model zemin tanımı olmak üzere 3 farklı mesnetlenme koşulu dikkate alınmıştır. Çalışmada hem taşıyıcı sistem hem de kazıklı temel davranışı incelenmiştir. Analizler Sap2000 sonlu elemanlar analiz programıyla yapılarak sonuçlar karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

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

2022, 61 sayfa

ABSTRACT

M.Sc Thesis

DYNAMIC ANALYSIS OF JACKET TYPE OFFSHORE STRUCTURE

Sefa UĞUR

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

Supervisor: Asst. Prof. Dr. İlyas Devran ÇELİK

Need for production has been increasing day by day with the increase in the consumption after the industrial revolution. Main necessity to meet this production need is energy. Therefore, energy has an important place in our country and the world. Obtaining of the energy is heavily dependent on fossil fuels such as petroleum and natural gas. Such energy obtaining can be done in land, ocean and seas. Offshore platforms are used in order to obtain energy from the ocean and the seas. Offshore platforms are different from the land structures by means of environmental conditions and design. Variables such as loads applied on the offshore structures and the water depth are important for the design of these structures. In the design of these structures, wave, wind and seismic forces are determinative forces. In addition, since these structures are submerged, soil conditions should be thoroughly investigated and conditions like liquefaction should be considered in foundation design.

In this thesis, the structural behaviour and soil-structure interaction of oil exploration and drilling platforms especially in the West Mediterranean Region of our country was studied. In this context; 11 seismic acceleration recordings scaled for dynamic analysis and average acceleration spectrum curve of these 11 recordings were used. In the study, DD-1 and DD-2 earthquake conditions were taken into consideration both dynamic and static. Though especially seismic analyses were made in this context, wave and wind loads were considered in the overall study and the designs were made accordingly to the American Petroleum Institute (API) code. For fixed jacket type offshore structure under different support conditions for platform and non-platform versions, static and dynamic analyses have been carried out. For ground support, three different support conditions; fixed, spring constant and solid model definitions were considered. In the study, both the carrier system and the pile foundation behaviours were investigated. Analyses were carried out using SAP2000 finite element model analysis program. The results are presented comparatively.

Keywords: Offshore Structures, Dynamic Analysis, Wave Analysis, Earthquake Analysis, Sap2000

2022, 61 pages

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans hayatımla tanıdığım, her yönde desteğini hissettiğim sevgili danışmanım Sayın Dr. İlyas Devran ÇELİK hocama teşekkürlerimi sunarım.

Tez sürecimin her aşamasında destekleri için adeta öz abim gibi davranan Kılıç Yasin ARSLAN'a teşekkür ederim.

Yüksek lisans eğitimimin bana kazandırdığı güzel insanlar; Mehmet Erkan EFE Münire FINDIK, Taha KOÇ, Yusuf ÖZTÜRK, Tevfik Burak KOCAMAN, Ercan Egemen BAŞAR, Adem BARLAS, Seher BARLAS, Sait GÜL ve Sena GÜVEN arkadaşlarıma yardımları ve destekleri için teşekkür ediyorum.

Hayatımda olmalarının iyi mi kötü mü olduğuna emin olamadığım sevgili dostlarım; Ramazan BAŞ, Murat Can YILMAZ, Enes GÖKBEL, Selim KESKİN, Polatkan KÖSE ve Orion Kafe'yi bizlere açan Cem Abiye teşekkürlerimi borç bilirim.

Hayatım boyunca hep yanımda olan, maddi ve manevi desteklerini benden esirgemeyen babam Yunus UĞUR, annem Gülcan UĞUR, abilerim Abdullah Emre UĞUR ve Süleyman Arif UĞUR'a teşekkür ederim.

Abimle hayatıma giren, ablam olan Tuba UĞUR ve biricik yeğenim aslan parçam Emir Aras UĞUR'a bu sürecimdeki destekleri ve hayatımda oldukları için teşekkür ederim...

Sefa UĞUR
ISPARTA, 2022

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.1. Açık deniz platform çeşitleri	2
Şekil 1.2. Doğrusal (Linear, Airy) dalga teorisi.....	4
Şekil 1.3. Stokes dalga teorisinin bütün mertebelerinin dalga formu	7
Şekil 2.1. Çalışmada kullanılan sayısal model.....	10
Şekil 2.2. Çalışmada kullanılan deneysel ve sayısal model.....	13
Şekil 2.3. Deneysel modelin kesit özellikleri ve deney düzeneği.....	14
Şekil 2.4. Analizlerde kullanılan modelin genel görünümü.....	20
Şekil 2.5. Analizlerde kullanılan modellerin genel görünümü.....	22
Şekil 2.6. Modele ait ilk beş mod şekli	23
Şekil 3.1. Modellerde kullanılan zemin modeli	27
Şekil 3.2. Meyerhof taşıma gücü katsayıları	28
Şekil 3.3. Dalga yükü için kullanılan Atkins Cetveli	31
Şekil 3.4 Zemin değerleri için seçilen konumlar.....	33
Şekil 3.5. Ölçeklendirilen depremlere ait ivme-spektrum eğrileri	34
Şekil 4.1. DD-2 deprem durumundaki yatay yer değiştirmeler a) Platformlu modeller, b) Platformsuz modeller	37
Şekil 4.2. DD-1 ve DD-2 deprem durumundaki yatay yer değiştirmeler a) Platformlu modeller, b) Platformsuz modeller	38
Şekil 4.3. DD-1 ve DD-2 deprem durumundaki yatay yer değiştirmeler a) DD-2 Deprem koşulu, b) DD-1 Deprem koşulu.....	39
Şekil 4.4. Dinamik deprem analizi yatay yer değiştirmeler a) Ankastre mesnet koşulu-Platformlu, b) Ankastre mesnet koşulu-Platformsuz.....	40
Şekil 4.5. Dinamik deprem analizi yatay yer değiştirmeler a) Yay sabitli zemin tanımı-Platformlu, b) Yay sabitli zemin tanımı-Platformsuz.....	42
Şekil 4.6. Dinamik deprem analizi yer değiştirmeler a) Katı model zemin tanımıPlatformlu, b) Katı model zemin tanımı-Platformsuz	43
Şekil 4.7. DD-2 dinamik ve statik deprem durumlarındaki yatay yer değiştirmeler a) Ankastre mesnet koşulu, b) Yay sabitli zemin tanımlı, c) Katı model zemin tanımlı	44
Şekil 4.8. DD-2 statik deprem durumunda 2'nolu ayakların 1'nolu kazıklarındaki yatay yer değiştirmeler a) Platformlu modeller, b) Platformsuz modeller	46
Şekil 4.9. DD-1 ve DD-2 statik deprem durumlarında 2'nolu ayakların 1'nolu kazıklarındaki yatay yer değiştirmeler a) Platformlu modeller, b) Platformsuz modeller	48
Şekil 4.10. DD-1 ve DD-2 statik deprem durumunda 2'nolu ayakların 1'nolu kazıklarındaki yatay yer değiştirmeler a) DD-2 deprem durumu, b) DD-1 deprem durumu.....	48
Şekil 4.11. DD-2 statik deprem durumunda 3'nolu ayakların 1'nolu kazıklarındaki yatay yer değiştirmeler a) Platformlu modeller, b) Platformsuz modeller	49
Şekil 4.12. DD-1 ve DD-2 statik deprem durumlarında 3'nolu ayakların 1'nolu kazıklarındaki yatay yer değiştirmeler a) Platformlu modeller, b) Platformsuz modeller	50

Şekil 4.13. DD-1 ve DD-2 statik deprem durumlarında 3'nolu ayakların 1'nolu kazıklarındaki yatay yer değiştirmeler a) Platformlu modeller, b) Platformsız modeller	51
Şekil 4.14. DD-2 dinamik deprem durumunda 2'nolu ayakların 1'nolu kazıklarındaki yatay yer değiştirmeler a) Platformlu modeller, b) Platformsız modeller	52
Şekil 4.15. DD-2 dinamik deprem durumunda 3'nolu ayakların 1'nolu kazıklarındaki yatay yer değiştirmeler a) Platformlu modeller, b) Platformsız modeller	53
Şekil 4.16. DD-2 dinamik deprem durumundaki platformlu ve platformsız modeller ait yatay yer değiştirmeler a) 2 no'lu ayak, b) 3 no'lu ayak.....	54



ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 1.1. Platform üzerinde bulunan konumlardaki hareketli yükler	8
Çizelge 3.1. Çalışmada kullanılan modellerin boyutsal parametreleri	26
Çizelge 3.2. M12 ve M22 modelleri için zemin yatak kat sayıları.....	29
Çizelge 3.3. Çalışmada kullanılan modellerin su derinliği ve boyutsal parametreleri.....	30
Çizelge 3.4. Modellerde kullanılan kesitler	30
Çizelge 3.5. Modellerde kullanılan kesitlerin malzeme sınıfı ve özellikleri.....	30
Çizelge 3.6. Modellere etki eden dalga yüksekliği ve periyot değerleri	32
Çizelge 3.7. Deprem verilerine ait özellikler	33
Çizelge 3.8. Analizlerde kullanılan yük kombinasyonu	34

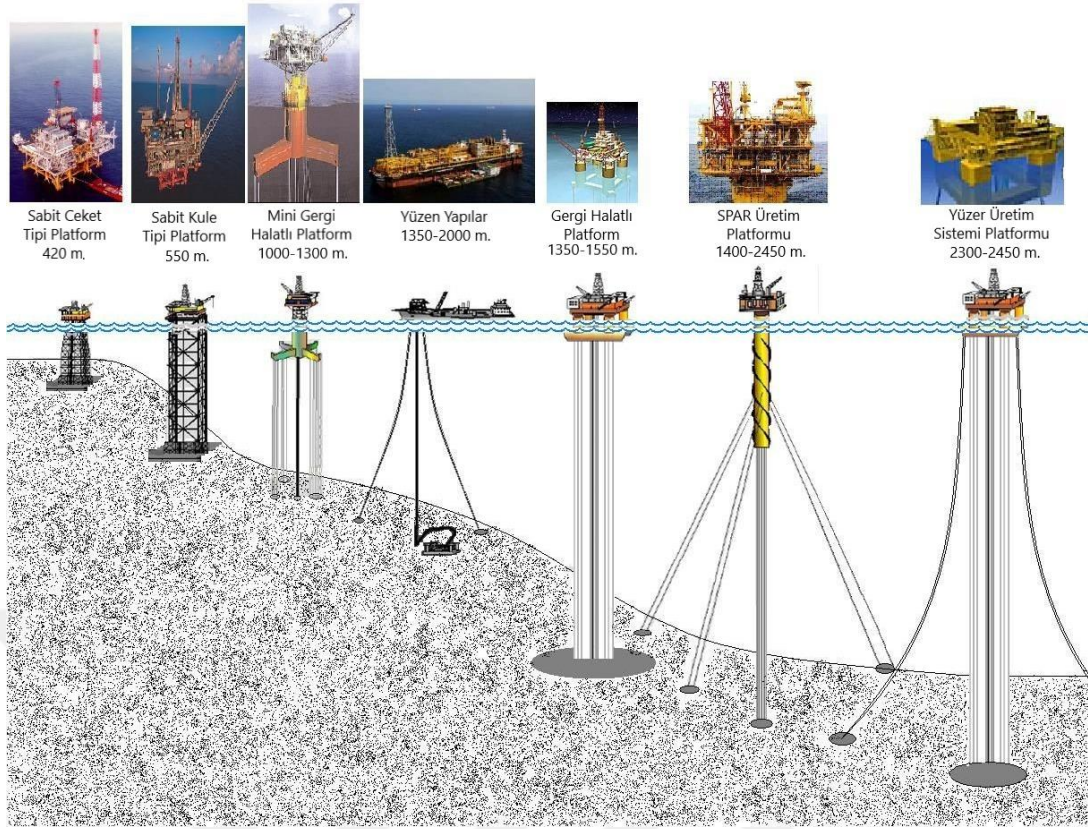


SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

a	Doğrusal dalga teorisinde dalga yüksekliğinin yarısı
A	Birim uzunluktaki alan
c	Kohezyon
C	Dalga hızı
CD	Sürüklenme katsayısı
Cm	Atalet katsayısı
d	Su derinliği
D	Deformasyon yükleri
DD-1	50 yılda aşılma olasılığı %2 (tekrarlama periyodu 2475 yıl) deprem yer hareketi düzeyi
DD-2	50 yılda aşılma olasılığı %10 (tekrarlama periyodu 475 yıl) deprem yer hareketi düzeyi
E	Çevresel yükler (Dalga, Rüzgâr, Deprem)
F	Toplam dalga kuvveti
FD	Birim uzunluktaki sürtünme kuvveti
FI	Birim uzunluktaki atalet kuvveti
g	Yer çekim ivmesi
H	Dalga yüksekliği
H1	Platformlu yapı yüksekliği
H2	Platformsuz yapı yüksekliği
L	Dalga boyu
L1	Kazık boyu
l	Hareketli yükler (Personel vb.)
P	Kalıcı yükler
T	İki tam dalga çukuru veya tam dalga tepesinin aynı noktadan geçene kadar olan süre
u	Dalga parçacığı yatay hız bileşeni
U	Elemanın eksenine normal etki eden su parçacık hızı bileşeni
U	U değerinin mutlak değer
V	Birim uzunluktaki hacim
w	Açısal frekans
w	Dalga parçacığı düşey hız bileşeni
α_x	Dalga parçacığı yatay yöndeki ivme
α_z	Dalga parçacığı dikey yöndeki ivme
Υ	Birim hacim ağırlık
η	Dalganın herhangi bir andaki yüzeyde oluşan yükselmesi
Φ	İçsel sürtünme açısı
dU/dt	Eleman eksenine normal etki eden su parçacık ivmesi bileşeni

1. GİRİŞ

Sanayi devrimi insanlık için çok önemli bir yere sahiptir. Sanayi devrimi ile artan tüketim ve buna bağlı üretim ihtiyacı günden güne artmaktadır. Üretim için en temel ihtiyaç enerjidir. Bu üretim ihtiyacı nedeniyle, enerjiye olan ihtiyaç her geçen gün artmaktadır. Bu bağlamda enerji, ülkemiz ve dünyada çok önemli bir yere sahiptir. Bu enerji ihtiyacı çoğunlukla fosil kaynaklı petrol ve doğalgazdan karşılanmaktadır. Bu kaynakların edinimi karasal alanlarda olduğu gibi okyanus ve deniz gibi su kütlelerin bulunduğu yerlerden de elde edilmektedir. Su kütlelerin bulunduğu yerlerden enerji elde edimi için, açık deniz platformları kullanılmaktadır. Bu açık deniz platformları sabit ve yüzen platformlar olmak üzere iki başlıkta incelenmektedir. Bu platformlar Şekil 1.1'de gösterilmiştir. Okyanus ve denizlerde kurulan bu platformlar, bulunduğu konum, çevre şartları, su derinliği, yapı yüksekliği, yapı ağırlığı ve kullanım amacı gibi değişkenlere göre ekonomi ve güvenlik şartları göz önüne alınarak tasarlanmaktadır. Bu platform tipleri içerisinde, özellikle en yaygın kullanılan açık deniz platformları, sabit ceket tipi açık deniz platformlarıdır. Bu platformların genel özellikleri, kazıklı temel üzerine oturtulmuş kesitleri çoğunlukla daire kesitli elemanlardan oluşan, yapı stabilitesi çapraz ve kuşak elemanlar tarafından sağlanan yapılardır.



Şekil 1.1. Açık deniz platform çeşitleri (Salami, 2014)

Bu yapılar için belirleyici kuvvetlerin başında literatürde de belirtildiği üzere, sürekli maruz kaldıkları, dalga kuvvetleri ve rüzgâr yükü gelmektedir (Chandrasekaran ve Jain, 2002). Dalga yüklerinin etkin yük durumuna geçmesinde yapı doğal titreşim periyodunun önemi vardır. Literatürdeki ve teorideki araştırmalar ele alındığında bu tip taşıyıcı sistemler için belirleyici dalga yüklerin 4-8 sn aralığında yer aldığı ifade edilmektedir (Ghazi vd., 2022). Bu kapsamda yapılan analizlerde bu periyot aralığında yer alacak yapı yükseklikleri 200m ve üzerindeki yapıları kapsamaktadır. Bu yapılar için bir diğer önemli yük ise petrol ve doğalgaz gibi enerji kaynaklarının, buldukları konum itibarıyla, faylara olan yakınlığı göz önüne alındığında, sismik yüklerdir. Tasarımlarda genelde bu tip yapıların yükseklikleri 200 metrenin üstünde olmasından dolayı periyotları yaklaşık 2-8 sn aralığında değiştiği için etkin yük, dalga yükü olmaktadır. Bu bağlamda tasarımlarda deprem yükü, etkin yük durumunda kabul edilmemektedir. Ancak bu durum yapının konumlandıracağı yerin su derinliğine ve yapı periyoduna göre değişmektedir. Yapı periyodunun 4 sn altında kaldığı durumlarda yapı davranışında belirleyici kuvvet sismik

kuvvetler olmaktadır. Bu iki yüklemenin birlikte yapılmasının yapı yer değiştirmesi ve tasarım açısından daha doğru bir yaklaşım olacağı literatürde belirtilmiştir (Maske vd., 2014).

Yapı periyodunun belirlenmesi hususunda yapının mesnetlenme koşulu büyük önem taşımaktadır. Tasarımcılar bu tipteki yapıların mesnetlenme koşulları için ankastre, yay sabitli zemin tanımı ve katı model zemin tanımı olmak üzere 3 farklı şekilde yapmaktadırlar. Tasarımcılar aynı zaman da bu tip yapıları platformlu ve platformsuz olmak üzere iki farklı şekilde modellemektedirler.

1.1. Modelde Kullanılan Yükler

Açık deniz yapılarının ortam koşulları, kara da inşa edilmiş yapılara göre değişkenlik gösterdiğinden etki eden dış yükler farklılık göstermektedir. Her iki konumda kurulan yapılara da etki eden aynı yükler, açık deniz yapılarında etkime durumu bilinenden farklı davranış şekillerinde olmaktadır. Açık deniz yapıların tasarımında kullanılan karada inşa edilmiş yapılara göre farklılık gösteren yükler; gemi çarpması, dalga ve buz çarpması gibi farklı yüklere maruz kalmaktadır (API RP2A WSD, 2000).

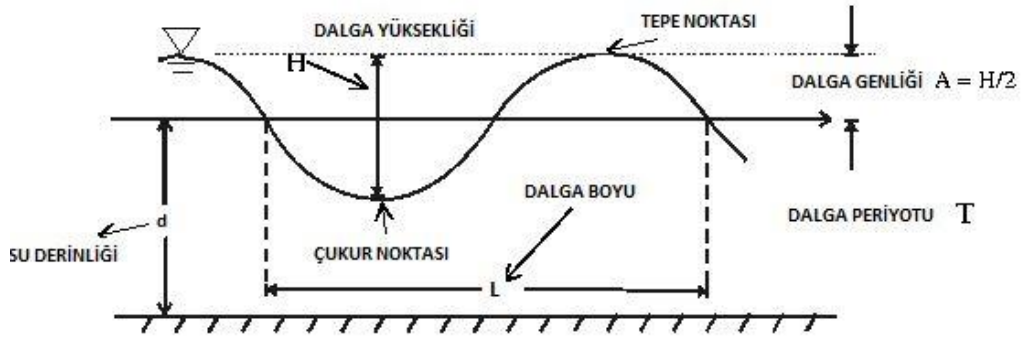
1.1.1. Dalga yükleri

Dalga yükleri açık deniz platformları için tasarımdaki en kritik yüklerden biridir. Bu platformlar da dalga kuvvetleri, ana taşıyıcı sistemi belirleyici kuvvetlerin başında gelmektedir. Dalga yükleri rüzgâr etkisiyle suda oluşan hareketle beraber hem su ağırlığı ve bu hareketin belirli veya belirsiz bir periyotla yapıya etkimesi sonucu oluşan kuvvetlerdir. Rüzgâr etkisi ile oluşan su dalgaları tasarımda çok önemli bir yere sahiptir ve bu dalgaların periyotları 3-25 sn arasında seyretmektedir (U.S. Army Corps of Engineers, 2015). Rüzgâr etkisi ile oluşan dalgaların yanında su derinliği ile değişen akıntılar sebebiyle de dalgalar oluşmaktadır (Chakrabarti, 2005). Dalga yükünün belirlenmesinde doğrusal (lineer) ve doğrusal olmayan (nonlineer) dalga teoremleri kullanılmaktadır. Doğrusal (lineer) dalga teoremleri sabit dalga yüksekliği ve dalga periyodunun sinüzoidal dalga olduğunu kabul eder ve iki boyutta inceleme yapar. Doğrusal

olmayan teoremler ise üç boyutta, istatistiksel çalışmalar neticesinde ortaya konmuş daha gerçekçi teoremlerdir. Doğrusal (lineer) dalga teoremlerinde Airy Dalga Teorisi örnek gösterilebilir. Doğrusal olmayan (nonlinear) dalga teoremlerine ise Cnoidal Dalga Teoremi, Solitary Dalga Teoremi, 2., 3., 4. ve 5. Derece Stokes teorileri örnek gösterilebilir.

1.1.1.1. Doğrusal (Linear, Airy) dalga teorisi

Bu teori 2 boyutlu dalga olarak düşünülüp sabit dalga yüksekliği ve sabit dalga periyodu kabul edilerek uygulanır. Dalgaları sinüzoidal formda olduğu kabulü ile hesaplar yapılır. Tam anlamıyla gerçekçi bir dalga davranışını temsil etmese de bu teori tasarımsal sorunların çözümüne katkı sağlar. Şekil 1.2'de lineer dalga teorisi gösterilmiştir.



Şekil 1.2. Doğrusal (Linear, Airy) dalga teorisi

Bu teori Şekil 1.2'de görüldüğü üzere dalgaların düzenli halde ilerlemektedir. Dalganın harekete başladığı noktadan tekrar başladığı noktaya kadar ki dönüş süresi yani dalga periyodu, dalga boyu ve yükseklikleri eşit kabul edilmektedir. Lineer dalga teorisinin belli kabulleri vardır. Bunlar dış etkenlerin tamamına yakını ihmal edilip, dalgaların birbirini etkilemediği, her dalganın ayrı incelendiği ve davranışın doğrusal olduğu kabulü yapılmıştır.

Şekil 1.2'de görüldüğü üzere "d" su derinliğini, "H" dalga yüksekliğini, "A" dalga genliğini, "L" dalga boyunu ve "T" dalga periyodunu ifade etmektedir.

Tepe ve çukur arasındaki mesafe doğrusal bir şekilde devam ettiği düşünülduğünden dalga genliği, su yüksekliğinin yarısı olarak ifade edilir.

Bu teoride bir dalganın, dalga periyodu kadarki geçen sürede alınan mesafe dalga boyu kadar olacağından, dalga hızı denklem 1.1'de ifade edilmektedir. Denklem 1.2'de Lineer Dalga Teorisi için dalga boyu ile su derinliğine bağlı dalga hızı, denklem 1.3'te dalga boyu, denklem 1.4'te açısal frekans, denklem 1.5'te ise periyot değeri verilmiştir.

$$C = L/T \quad (1.1)$$

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

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

$$\frac{w^2}{g} = \frac{2\pi}{L} \cdot \tanh\left(\frac{2\pi d}{L}\right) \quad (1.4)$$

$$T = \frac{2\pi}{w} \quad (1.5)$$

Dalga parametrelerinin su derinliğine göre değişimi derin su ve sığ su halindeki durum olarak iki şekilde incelenir.

Derin su halindeki durum ($1/2 < d/L$) için Hız bağıntısı aşağıdaki denklem 1.6 da gösterilmiştir.

$$C_0 = \sqrt{\frac{gL_0}{2\pi}}, \quad C_0 = \frac{gT}{2\pi} \quad (1.6)$$

Derin su halindeki Dalga boyu aşağıdaki denklem 1.7'de gösterilmiştir.

$$L_0 = \frac{gT^2}{2\pi} \quad (1.7)$$

Derin su halindeki Periyot aşağıdaki denklem 1.8'de gösterilmiştir.

$$T = \sqrt{\frac{2\pi \cdot L_0}{g}} \quad (1.8)$$

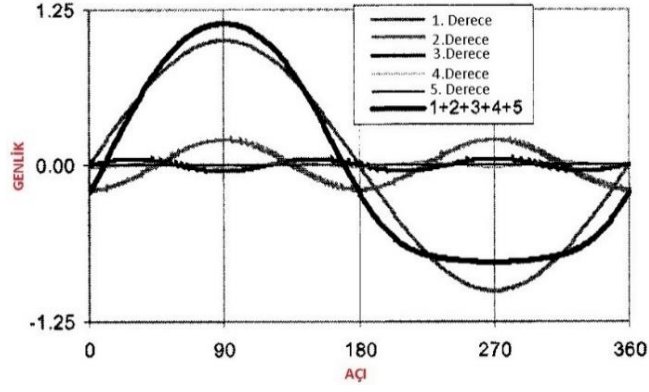
Sığ su halindeki durum ($d/L < 1/25$) için dalga parametreleri denklem 1.9 ve denklem 1.10 da gösterilmiştir.

$$C = \sqrt{g \cdot d} \quad (1.9)$$

$$L = \sqrt{gT^2 \cdot d} \quad (1.10)$$

1.1.1.2. Stokes dalga teorisi

Bu dalga teorisi genellikle derin sularda ve yüksek dalgalar için kullanılmaktadır. Adından da anlaşılacağı gibi, mertebelerine göre adlandırılmaktadır. Beşinci dereceden Stokes teorisi, bir dizi biçiminde beş bileşenden oluşur. Her bileşen genellikle bir öncekinden daha küçük bir büyüklük sırasıdır. Bu sıralamaya göre yatay hız ve dalga formunun beş derecenin tümü şekil 1.3'te gösterilmektedir (Chakrabarti, 2005). 5. Dereceden Stokes Dalga Teorisinin üstündeki dereceler bir altında bulunan derece sahip dalganın farklı dalga frekans katları ile orantılıdır. Doğrusal (Lineer, Airy) dalga teorisinin de yakın bir zm sunmasının nedeni bu dereceler arasında bulunan ilişkidir. Stokes teorisinin de olduğu gibi yüksek dereceli (bileşenli) olan dalga teorileri diğerlerine göre dalganın etkisi belirli bir su seviyesinde kalmaktadır. Fakat bu durum şekil 1.3'te gösterildiği gibi oluşan çukur ve dalga tepelerine bakılarak yüksek ve derin olma durumu taşıyıcı elemanlar için ciddi etkilere sahip olmaktadır.



Şekil 1.3. Stokes dalga teorisinin bütün mertebelerinin dalga formu (Chakrabarti, 2005)

Stokes dalgalarında parçacık hareket yörüngesi küçük genlikli dalga teorisinden (Linear, Airy) farklı olarak artık kapalı bir yörünge de değil dalga ile beraber hareket eden ve kütle taşınımına yol açan bir dairesel veya elipsel yörüngede hareket ederler.

1.1.2. Deprem yükleri

Açık deniz yapılarının inşa edileceği yerin sismik olarak incelenmesi önem arz etmektedir. Gerekli zemin etütleri ve sondajları yapılması, fay hattına olan yakınlıklarının tespit edilmesi gerekmektedir. Yakın olan fay ve o faya yakın diğer faylarda meydana gelmiş depremlerin tamamı incelenmelidir. Kurulacak olan yapı su içerisinde olacağı için meydana gelebilecek zemin sıvılaşması açısından gerekli incelemeler yapılmalı ve yapı ona göre tasarlanmalıdır. Kurulan özellikle petrol platformları fay hatlarına yakın olma durumları yüksek olacağından, tasarımı yapıya gelebilecek en büyük depremlere göre yapılmalı ve depremle meydana gelmesi muhtemel tsunami gibi durumların irdelenmesi elzemdir. Tasarımlarda esas alınacak depremlerin özellikle tekrarlama periyodu göz önünde bulundurularak istenilen performansa göre gerekli tasarım yapılmalıdır. Deprem kuvveti statik ve dinamik olarak incelenmelidir. Yapının bulunduğu konum ve o konuma yakın depremler yapının tasarım için dikkate alınmalıdır. Tekrarlama periyodu az ve tekrarlama periyodunun uzun olma durumunu göz önünde bulundurularak yapının bulunduğu konum itibari ile deprem etkisi incelenip dalga ve rüzgâr gibi yükler açısından değerlendirilmeli etken yük

hangisi ise tasarım ona göre yapılması daha uygun olacaktır. Çünkü deprem etkisinin az olduğu yerlerde dalga ve rüzgâr yükü deprem kuvvetinin etkisinden daha fazla olacağından tasarım dalga ve rüzgâr yüküne göre yapılabilir.

1.1.3. Ölü yükler

Açık deniz yapılarını oluşturan tüm yapı elemanları kolonlar, kuşaklar, çapraz elemanlar ve platform, ölü yükleri oluşturmaktadır. Platform ölü yükünü platform üzerinde bulunan sondaj makineleri, sondaj aletleri, yemekhane, vinçler, depolar ve helikopter alanları gibi yapıların tümü oluşturmaktadır.

1.1.4. Hareketli yükler

Hareketli yükler, yapı üzerinde bulunan sabit halde durmayan ya da en başta olmayıp sonradan elde edilen, zamanla artan veya azalan tüm yükler hareketli yüklerdir. Sondajdan elde edilen malzemeler, insanlar ve araçlar gibi yüklerin tümünü kapsar. Tasarımda kullanılacak hareketli yüklerin alan dağılımı ve yükleri Çizelge 1.1 gösterilmiştir (Nallayarasu, 2008).

Çizelge 1.1 Platform üzerinde bulunan konumlardaki hareketli yükler

Konum	Yük (kN/m ²)
Depo Yerleri	20
Yürüyüş Koridorları	5
Ek Elemanlar ve ek platformlar	5
Araç Alanları	10

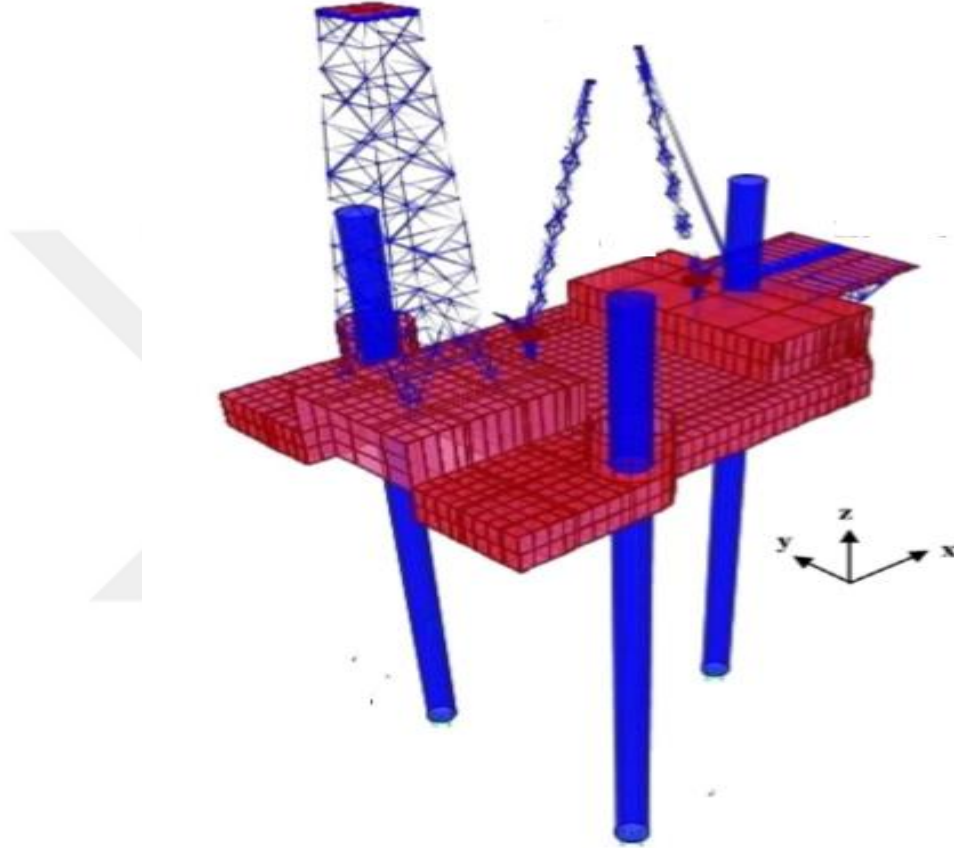
Zamanla malzemelerin taşınması sebebiyle konum değişikliğinden ötürü depo ve araç yerleri gibi hareketli yük alanları gösterilen yük durumları değişmektedir. Bu alanlardaki hareketli yüklerin değişme ihtimaline karşın tasarımda en büyük yük baz alınabilir.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Yapılan bu tez çalışmasının konusuyla ilgili literatürde bulunan açık deniz yapıları ile ilgili çalışmalar aşağıdaki bölümde kısaca sunulmuştur.

Ghazi vd. (2022), bu çalışma, sonlu elemanlar yöntemini kullanarak dalga, rüzgâr, deprem ve tsunami kuvvetleri nedeniyle dinamik yükler etkisi altında en düşük ve en yüksek gövde yüksekliklerine sahip iki model için ceket tipi platformların performansını incelemişlerdir. Çalışmada kullanılan modellerin birine ait görsel Şekil 2.1'de gösterilmiştir. Analizlerde SAP2000 Sonlu Elemanlar Analiz programı kullanmışlardır. Bu modellerin yeri için Meksika Körfezi'ni baz almışlardır. Modele yüksek ve orta sismik seviyelerde deprem ivmeleri uygulamışlardır. Ayrıca platforma 0°, 45° ve 90° olmak üzere üç farklı yönde tsunami dalgaları uygulanmaktadır. Bu çalışmada, yüzey yükselmelerini ve dalga kinematığını değerlendirmek için Airy'nin lineer dalga yaklaşımını kullanmışlardır. Referans rüzgâr hızı, ortalama su seviyesinin 10 m üzerinde 10 knot'tur. Platformun ölü ağırlığı 15.000 tondur. Platformun ortalama su derinliği 60 m, maksimum su yüksekliği 75 m olarak kabul edilmiştir. Platforma hareketli yük olarak sondaj alanları ve yaşam alanları gibi yerlere 3Kn/m², yükleme boşaltma alanlarına ise 5 Kn/m² hareketli yük tanımlamışlardır. SAP2000'de dalga yükünü, lineer dalga teorisi seçilerek, dalga yüksekliği, dalga periyodu ve diğer rüzgar hızı gibi değişkenleri girerek tanımlamışlardır. Airy'nin dalga yaklaşımına göre, 60 m su derinliğinde ve 12 s dalga periyodunda 1 m dalga yüksekliği sağlanarak göstermişlerdir. 0.2812 m/sn'lik maksimum dalga hızı ve 10 m'lik dikey referans noktası, alt güverte ile su seviyesi arasındaki mesafedir. Sismik davranış için orta ve yüksek büyüklükte El-Centro ve Malezya depremleri almışlardır. Model de 2 farklı gövde yüksekliği oluşturulmuş ve bu yükseklikler 70m ve 85m'dir. Aynı zamanda vinç, helikopter pisti ve sondaj kulesi modellenmiş ve sonuçlar içinde ayrı ayrı değerlendirmişlerdir. Sonuç olarak yapının dinamik tepkisinin platformun yüksekliğinden ve platform gövde yüksekliğinin artmasından etkilendiğini göstermektedir. El-Centro depremi, ölü ve hareketli yüklerin birleşimi, en düşük (70 m) ve en yüksek (85 m) gövde yüksekliklerinde platform üzerinde en büyük etkiyi sağladığını ortaya koymuşlardır. Tüm sonuçların

karşılaştırılması, yüksek deprem şiddeti ve 45° 'lik tsunami dalgaları altındaki ceket tipi platformun gövdesinin maksimum deformasyon yaşadığını kanıtlamışlardır. Ayrıca, güverteyi yükseltmenin, dinamik yükün ve yer değiştirmelerin tepkisini artırmasının yanında platformu olumsuz yönde etkileyeceğini vurgulamışlardır.



Şekil 2.1. Çalışmada kullanılan sayısal model

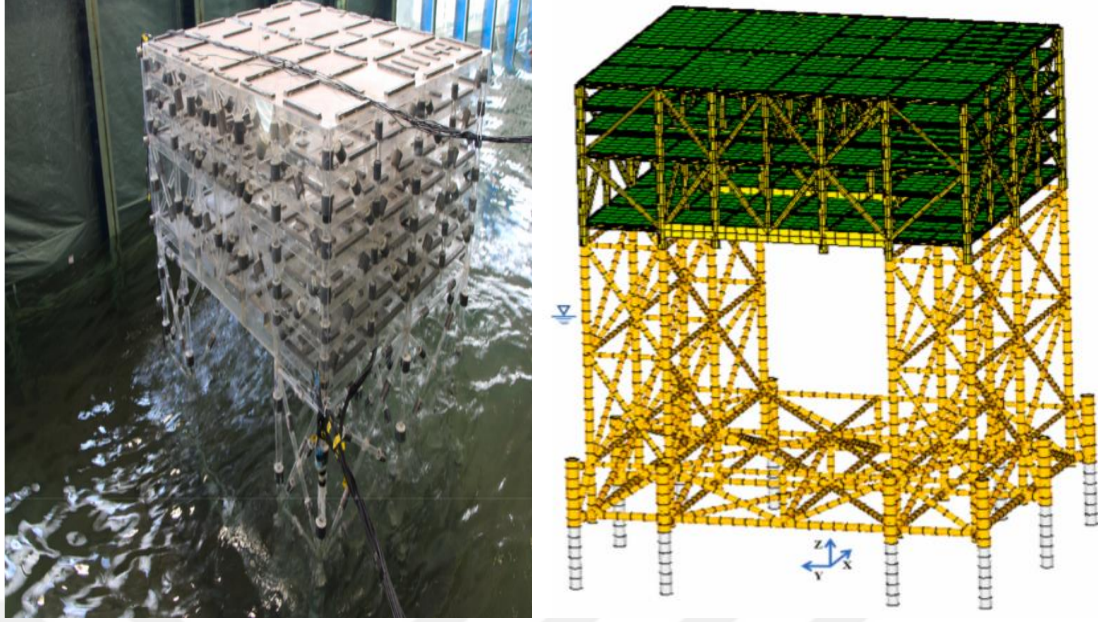
Zarrin vd. (2021), yapılan bu çalışmada, ceket tipi açık deniz platformlarının sismik tasarımı için gelişmiş bir itme prosedürü geliştirilmesi amaçlanmıştır. Statik itme analizi, tasarım aşamasında yüksek büyüklükte deprem altında ceket tipi açık deniz platformlarının sünekliğin yeterli olup olmadığını kontrol etmek için kullanılmaktadır. Geleneksel itme analizi için genelde ileri mod durumları önemsenmemektedir. Bu amaçla, genişletilmiş önerilen prosedür, yöntemin doğruluğunu artırmak için çeşitli titreşim modlarını kullanmışlardır. Sunulan prosedür, süneklik seviyesi ve sismik performans değerlendirmesi için iki

durumda ceket tipi açık deniz yapısına uygulanır. Bu prosedür ile elde edilen sismik talepler, tasarım tepki spektrumuna ölçeklendirilmiş bir dizi uzakta yer alan deprem kayıtları kullanılarak gerçekleştirilen doğrusal olmayan analizlerinin ortalama sonuçları ile karşılaştırılmıştır. İstatistiksel bir çalışmanın sonuçları, ceket tipi açık deniz yapılarının daha kısa periyotlarındaki kayıtların spektral değerleri ile temelin tepkileri ve ceketin alt çaprazlı kat seviyeleri arasında güçlü bir korelasyon olduğunu göstermektedir. Çalışmanın diğer bir sonucunda standart olarak uygulanmış itme analizleri sonuçları ilk modun dikkate alınmış olduğu durumlarda yapının üstte bulunan stabilite elemanlarına ikinci modun dikkate alındığı mod şekillerinde daha altta bulunan stabilite elemanlarında burkulma olduğunu tespit etmişlerdir. Bu sonuç genelde öngörülen kafes tipi yapıların davranışlarının tersine bir davranış şeklidir. İkinci ve üçüncü modların periyotları spektral değerler ile sismik hareket arasında bulunan istatistiksel çalışmalarda temel ve taşıyıcı sistem arasındaki ilişkilerdeki değişkenlerin birbirine bağımlı olduklarını göstermektedir. Bu sonuç ileri mod durumlarının taşıyıcı sistem hareket ve tepkilerin ortaya çıkarılmasında etkin olduğu gözlenmiştir. Daha ileri mod değerlerindeki etkiler üst yapı esnekliğini artırabileceğini gösterebilir. Bu sebeple zemin yapı kazık ilişkisi için modellemenin bir bütün şekilde yapılması gerekeceği daha doğru bir yaklaşım olacağını söylemişlerdir.

Zhao vd. (2021), bu makalede enerji ekonomisi açısından, açık denizde büyük ölçekli açık deniz rüzgâr çiftlikleri geliştirmek için açık deniz elektrik platformları, en uygun seçim olacağını söylemişlerdir. Bu çalışmada, elektrik platformunun sonlu elemanlar sayısal modeli oluşturulmuş ve sismik yükler altındaki dinamik tepkileri analiz edilmiştir. Sayısal modelin geçerliliği, karşılık gelen deneysel model testi ile doğrulanmıştır. Bu temelde, elektrik platformunun gerinim, ivme ve yer değiştirme tepkisinin bir zaman tanım alanı analizi gerçekleştirmişlerdir. Farklı dalga hareketleri altındaki dinamik tepkilerin sonuçları ve eğilimleri elde edilmiş ve su ve hava ortamlarının tek yönlü ve çift yönlü sismik uyarıların yapının dinamik davranışı üzerindeki etkisi analiz etmişlerdir. Sonuç olarak, yapıların hava koşullarındaki gerinim tepe noktalarının tümü, su koşulları altındakilerden daha büyük olduğunu ortaya

koymuşlardır. Artış ortalaması %12.88 ve tepe ivmesinin artış ortalaması %10.76'dır. İvme tepkisinin tepe değeri tek yönlü depreme göre %30.49, şekil değiştirme tepkisinin tepe değeri tek yönlü depreme göre %25.78 daha yüksektir. Çift yönlü sismik uyarmanın yapıların güvenliğine daha zararlı olduğu belirtilmektedir. Tek yönlü depremden %78 daha yüksek gerilme ve şekil değiştirme değerlerini bulmuşlardır.

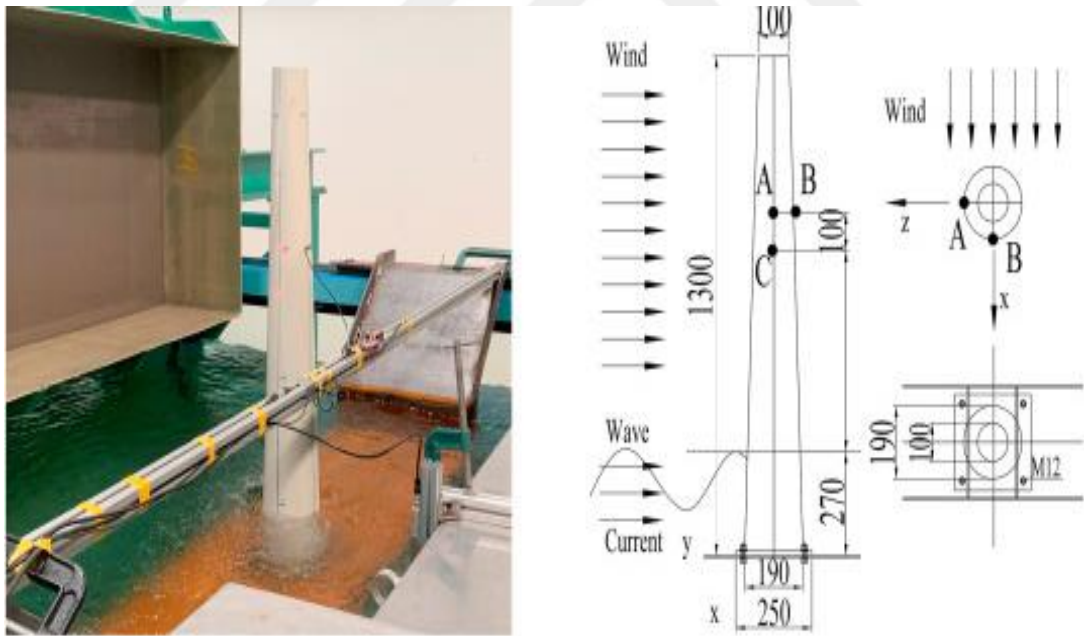
Zhao vd. (2021), bu makalede açık deniz rüzgâr platformu, yapının güvenliğini ve güvenilirliğini tehdit edecek şekilde, dalga yüklerinde yorulmaya ve hasar görmeye eğilimli olduğunu vurgulamışlar ve fiziksel model testinden ceket yapısının hidrodinamik tepkisinin sonlu elemanlar analizi ile kompleks ceket yapısının blokaj etkisini dikkate alan hidrodinamik katsayılar elde etmişlerdir. Modelde platform ağırlığı 10.000 tondur. Çalışmada kullanılan sayısal ve deneysel model Şekil 2.2'de gösterilmiştir. Hem deneysel hem de matematiksel model kurulmuş ve test edilmiştir. Böylece, akışkan-yapı etkileşiminin modelinde platformun sonlu eleman modeli geliştirmişlerdir. Bu temelde, platformun üç tipik yükleme açısında gerilme, ivme, yer değiştirme ve mesnet reaksiyonlarının tepki sonuçları neticesinde düzenli dalgalar elde etmişlerdir. Sonuçlar, platformun yükseklik boyunca hidrodinamik tepkilerinin ağır üst yapıdan önemli ölçüde etkilendiğini göstermiştir. Böylece, hızlanma ve yer değiştirme sonuçları, su yüzeyinden uzaklaştıkça tepkinin daha küçük olduğu yönünde bir eğilim sunmuş olduğunu ortaya koymuşlardır. Gerinim tepkisi, su yüzeyi ve ceket tabanı yakınında maksimum değere sahipken buna ek olarak, tepkiler artan dalga yüksekliği ile hızla artar ve farklı dalga yönlerinde bariz bir şekilde değişmiştir. Bu nedenle, farklı yönlerde dış ortam yükü ve dalga yüksekliğinin neden olduğu tepkiler tam olarak dikkate alınmasının önemini ortaya koymuşlardır.



Şekil 2.2. Çalışmada kullanılan deneysel ve sayısal model

Çelik vd. (2020), yapılan bu çalışmada sabit dalga yüksekliği ile değişen dalga periyotları altında yapı incelenmiştir. İncelen bu yayında üç farklı model üzerine farklı değişkenlerle incelemişlerdir. Modeller 90m, 150m ve 250m yüksekliklerinde modellenmiştir. Çalışma kapsamında modellenen yapılarda katlarda iç çaprazlar kullanılmamıştır. Analizlerinde Sap2000 sonlu elemanlar analiz programı ile kullanılmıştır. Sap 2000 programının sahip olduğu dalga oluşturma yöntemi kullanılmıştır. Dalga parametreleri belirlenirken Lineer Dalga Teorisine (Lineer, Airy) göre belirlemişlerdir. Sistemin limitlerinin belirlenmesi doğrultusunda statik itme analizleri gerçekleştirmişlerdir. Dalga yükü hesaplanırken rüzgârın etkisi gözardı edilmemiş analizlerinde dahil etmişlerdir. Yapılan bu analizlerde kütle katılım değerleri ileriki mod durumlarında gözlenmiş ve bu mod durumlarında periyotların düşük olması dalga periyodu ile yapı periyotunun rezonans olma ihtimalinin çok düşük olduğunu ortaya koymuşlardır. Bu çalışma Akdeniz bölgesinin dalga özelliklerine göre irdelenmiştir. Bu bölge nezdinde kullanılmış olan dalga yükseklikleri yapısal yer değiştirme değerlerini statik itme analiz sonuçları ile kıyaslanmıştır ve bu bulgular grafik haline getirilmiştir. Grafikler incelendiğinde lineer sınırdaki olduğu görülmüştür. Yapıların güverte ile birlikte modellenmesinin gerektiği sonucuna varılmıştır.

Hu vd. (2020), bu makalede, yüksek açık deniz monopilli çelik rüzgâr türbini kulelerinin kurulum aşamasında rüzgâr, dalga ve akım altındaki dinamik tepkisi incelemiştir. Özellikle, bu makalede, dinamik yükleme olarak akım-dalga-rüzgâr etkileşiminin açık deniz rüzgâr türbini kulelerinin dinamik tepkisi üzerindeki etkisi ilk kez deneysel olarak incelenmiştir. Deneysel model özellikleri aşağıda Şekil 2.3'te gösterilmiştir. Kule modelinin kule ayağı üzerinde sırasıyla üç noktada yer değiştirmesini, hızını ve ivmesini ölçmek için rüzgâr dalgası, rüzgâr akımı, dalga akımı, rüzgâr ve dalga akımı içeren çeşitli yükleme durumlarını incelemiştir. Çeşitli yükleme durumlarının yapı üzerindeki dinamik etkisini incelemek için modelin dinamik yer değiştirmelerinin istatistiksel bir analizi yapmışlardır. Mevcut çalışmanın sonucu olarak, mevcut alanın, açık deniz monopillerinin dinamik tepkisini güçlü bir şekilde ve özellikle dalga alanından daha fazla etkilediği doğrulanmıştır. Son bölümde, kule modelinin kurulum sırasında akım, dalga ve rüzgâr etkileşimi altında yapısal tepkisinin verimli bir şekilde çalışması için gelişmiş bir sonlu eleman modeli önermişlerdir.



Şekil 2.3. Deneysel modelin kesit özellikleri ve deney düzeneği

Wen vd. (2020), bu çalışmada tetrapod kazıklı ceket (TPJ) temellerin genel yük-deplasman tepkileri ve bireysel köşe kazıklarındaki iç kuvvet ve ayrıca kazık-zemin etkileşimi açısından orta kumdaki TPJ temellerine giderek artan yanal

yüklemeye sonucunda davranışa ilişkin sayısal bir çalışma sunmuşlardır. Model hakkında birbirine bağlı dört köşe kazıktan oluşan TPJ temeli oluşturulmuştur. Kullanılan program PLAXIS 3D sonlu elemanlar analiz programıdır. Yatay yüklere maruz kalan TPJ temellerinin, kazıkların aralık ve narinlik oranının etkisi, yüklemeye yüksekliğinin yanı sıra zemin sürtünme açısı da dahil olmak üzere daha ayrıntılı tepkisini incelemek için bir dizi parametrik çalışma gerçekleştirmişlerdir. Sayısal sonuçlar, yanal yüklemeye sırasında TPJ temellerin iki farklı deformasyon modelinin olduğunu ortaya koymuşlardır. Biri daha küçük yükler altında kayma baskın deformasyon modeli iken diğeri daha büyük yükler altında devrilme baskın model olduğunu açıklamışlardır. Ayrıca, yanal zemin-kazık etkileşiminin, bireysel kazıkların aksel kuvvetlerinin artırıcı veya zayıflatıcı etkilerinden büyük ölçüde etkilendiği bulmuşlardır. Bu durumun nedenini kazık dikey hareketi ve radyal deformasyonun neden olduğu zemin stresindeki değişiklikten kaynaklanmakta olduğunu vurgulamışlardır. Ayrıca temel ve bireysel kazıkların tepkilerinin büyük ölçüde kazık uzunluğuna ve kazık aralığına bağlı olduğunu ortaya koymuşlardır.

Wang vd. (2020), yapılan bu çalışmada açık deniz rüzgâr türbinleri için 50 m'den daha az sığ sularda kurulan ceket yapıları sıklıkla dik ve hatta kırılma dalgalarına maruz kaldığını ve bu da yapının ciddi şekilde hasar görmesine neden olabileceğini söylemişlerdir. Bununla birlikte, dalga yüklerini hesaplamaya yönelik modeller öncelikle tek kazıklı yapılar için geliştirilmiş ve ceket yapıları için uygun olmayabileceğini dikkat çekmişlerdir. Bu makalenin amacı, sayısal modelleme ve büyük ölçekli deneylerin birlikte değerlendirilmesine dayalı olarak, dik ve kırılma dalgalarına maruz kalan ceket yapıları üzerindeki aşırı dalga yüklerinin anlaşılmasını sağlamaktır. Kontrollü düzenli dalgalara maruz bırakılan 1:8 ölçekli bir ceket yapısı ile deneyler yapılmıştır. Deneylerden elde edilen ölçülen dalga yüzeyi yükselmeleri ve su partikül hızları, oldukça iyi bir anlaşma ile tamamen doğrusal olmayan bir potansiyel akış çözücü kullanılarak yeniden üretilir. Ayrıca, ceket yapılarına uygulanan Morison denkleminin geçerliliği araştırılmıştır. Sarp dalgalar için kırılma olmaksızın oldukça iyi bir uyum sağlanmıştır. Kırılma dalgaları açısından, hesaplanan hidrodinamik zorlama, yarı statik ve darbeli bir çarpma kuvveti bileşenine bölünerek

incelenmiştir. Yarı statik kuvvet, tamamen doğrusal olmayan dalga kinematiği verilen Morison denklemi tarafından iyi bir şekilde yeniden üretilmiş ayrıca, çarpma kuvveti özelliklerinin daha iyi anlaşılması için çarpma kuvveti geçmişinin on bir derecelik parametreleştirmesi istatistiksel olarak analiz edilmiştir. Dalga kırılma sürecindeki doğal belirsizliklerin bir sonucu olarak, bu parametrelerde önemli değişkenlikler sunulmaktadır.

Banerjee vd. (2019), bu çalışma rüzgâr ve dalga hareketlerine maruz kalan monopil temelli 5 MW'lık bir açık deniz rüzgâr türbininin dinamik tepkisini araştırmaktadır. Çalışma, sırasıyla Von Karman spektrumu ve Pierson Moskowitz spektrumu kullanılarak modellenen gerçekçi açık deniz rastgele rüzgâr ve dalga yüklemesine maruz kalan tek kazık ve alttaki zemin arasındaki dinamik etkileşimi içermektedir. Çalışma ayrıca analizde kanatlı kule bağlantısının etkisini de içermektedir. Açık deniz rüzgâr türbini kulesi, burada çok serbestlik dereceli bir sistem (MDOF) olarak modellenmiştir ve bu model bir rotor kanat sistemi, bir nacelle'den ve esnek bir kule yapısından oluşmaktadır. Bıçak ve naselin kütlesi, basitlik için kulenin tepesinde toplanmıştır. Aynı zamanda, bıçakların dönüşünün etkisi de çalışmaya dahil edilmiştir. Kanatların dönme etkisi, Von Karman spektrumunu kullanan şekil filtreleri dikkate alınarak dikkate alınır. Temel seviyesindeki zemin-yapı etkileşim etkisi, gömülü temeller için eşdeğer yay tanımlanmıştır. Sonuçlar hem rüzgâr hem de dalga yüklemesi için frekans alanında olduğu kadar zaman içinde de incelenmiştir. Yapı-Zemin etkileşimi dikkate alınmıştır. Açık deniz rüzgâr türbini yapısının tepkisini yalnızca durağan halinde değil, aynı zamanda kanat kulesi bağlantısının da dahil olduğu operasyonel koşullarda da incelemiştir. Dalga kaynaklı yüklenme durumunda kanatlı kule yapının tepkisi üzerindeki etkisi daha tutarlı bir şekilde gözlemlenmiştir. Yüklemeler tek olarak uygulanmış ardından kombine yüklenme yapmışlardır. Zemin yumuşak ve sert olarak ayrı ayrı incelenmiş ve frekans değerleri karşılaştırmış sonuçları değerlendirmişlerdir.

Srikanth (2016), yapılan bu çalışmada ceket tipi açık deniz yapılarının yapısal hareketini incelemiştir. Yapılan bu çalışmada kullanılan program SACS (Offshore Structure Design and Analysis Program)'tır. Farklı çapraz tiplerinin yapısal

davranışa etkisi, deprem ve dalga yükleri altında incelemiştir. Kurulan bu modelde aynı zamanda yapının zemin ile etkileşimi incelenmiştir. Ayakların mafsallı bağlanma durumu ile zeminin modellemesi arasında karşılaştırma yapmıştır. Kolon eğimi üzerine optimizasyon yapmış %16 eğimdeki kolonlara sahip modelin eğim açısı olmayan ya da çok az olan açiya sahip olan kolon modellerine göre daha ekonomik olduğunu ortaya koymuştur. Yapılan bu çalışmanın sonucunda çapraz tipleri arasında çok bir fark olmadığı analiz sonuçlarına göre birbirine çok yakın değerde burkulduğunu ortaya koymuştur.

Nguyen ve Sinsabvarodom (2015), bu makalede deprem kuvveti altında yapının çapraz stabilite elemanlarının bağlantı şekillerindeki değişikliklerin yapının davranışına etkisini incelemiştir. Yapılan bu çalışmada 3 tip çapraz tipi kullanılmıştır. Bunlar X tipi, V tipi ve kiriş diyafram şeklindedir. Diğer çevresel yükler de dahil olmak üzere etken yük deprem kuvveti olacak şekilde yükleri uygulamışlardır. Doğrusal olmayan statik ve itme analizleri yapmışlardır. Bu analizler sonucu yapının performans noktalarını belirlemiştir. Bu analizlerin diğer bir sonucu olarak yapıda oluşacak olan plastik mafsal noktalarını belirlemiştir. Analizlerde kapasiteler belirlenmiş ve değerler grafik haline getirmişlerdir. Analizler ışığında X tipi çapraz stabilite elemanına sahip modelin kapasite değeri diğer stabilite elemanlarına sahip modellerin kapasite değerinden fazla olduğunu ortaya koymuşlardır.

Maske vd. (2014), bu makalede aktif fay alanlarına yapılacak ceket tipi açık deniz platformlarının sismik hareketle birlikte yapı yıkılmadan çalışmaya devam edecek şekilde tasarlanmasının önem arz ettiği vurgulamışlardır. Bu platformlara sismik hareket uygulanmış ve analizleri dinamik olarak gerçekleştirmişlerdir. Analizlerde kullanılan platform Basra Körfezinde bulunmakta olan bir platformdan baz almışlardır. Sismik kuvvetler dalga kuvvetleri ile birlikte uygulamışlardır. Analizlerde Ansys Sonlu elemanlar analiz programını kullanmışlardır. Yaptıkları çalışmanın sonucunda açık deniz yapılarının tasarımında doğrusal olmayan davranışların incelenmesi gerekliliği anlaşılmıştır. Ayrıca deprem ve dalga kuvvetinin birleşik olarak etki ettiği duruma kıyasla

sadece deprem veya sadece dalga kuvvetinin etki ettiği durumdaki yapısal yer değiştirmelerin daha az olduğunu ortaya koymuşlardır.

Mohan vd. (2013), bu çalışmada Mumbai havzasını temel alarak bir yapı tasarlamışlardır. Analizlerini StruCAD sonlu elemanlar programıyla tamamlamışlardır. Bu çalışmada sonlu elemanlar programı kullanılarak yapılacak olan yapının nihai limit durumlarının belirlenmesinin kolay olduğu belirtilmiştir. Bu çalışmanın temelinde bu tarz yapıların dalga etkilerine karşı oldukça hassas oldukları ve bu yapıların hem ülke ekonomisine olan katkısı hem de yapım maliyeti olarak iyi tasarlanması gereken yapılar olduğu vurgulanmıştır. Bu tarz yapılarda stabiliteyi arttırmanın yolları arasında eleman en kesitlerinin arttırılması suretiyle yapıya rijitlik katmaktır. Bu çalışmada kule toplam ykseklilđi 85m olarak tasarlanmıştır. 60m su derinliği kabul edilip üzerinde tam bir çalışma anında ki yükler hlihazırda bulunduğu kabulü yapılmıştır. Bu çalışmada 60m su derinliği için 10m dalga ykseklilđi kabulü yapılıp 50 yıllık geri dönüş periyodu olan dalgalar dikkate alınmıştır. Analizler API (American Petroleum Institute) standartlarına uygun olarak yapılmıştır. Bu çalışmada dalga etkileri ile beraber rüzgâr etkilerinin de dikkate alınmıştır. Dalga kuvvetleri Morison denklemi dikkate alınarak hesaplanmıştır. Sonuç kısmında çalışmasında dalga kuvveti altından yapmış olduğu çalışmada dalga etkileri ile beraber rüzgâr, l yükler ve hareketli yüklerin de analizde dikkat edilmesi gerektiğini belirtmiştir.

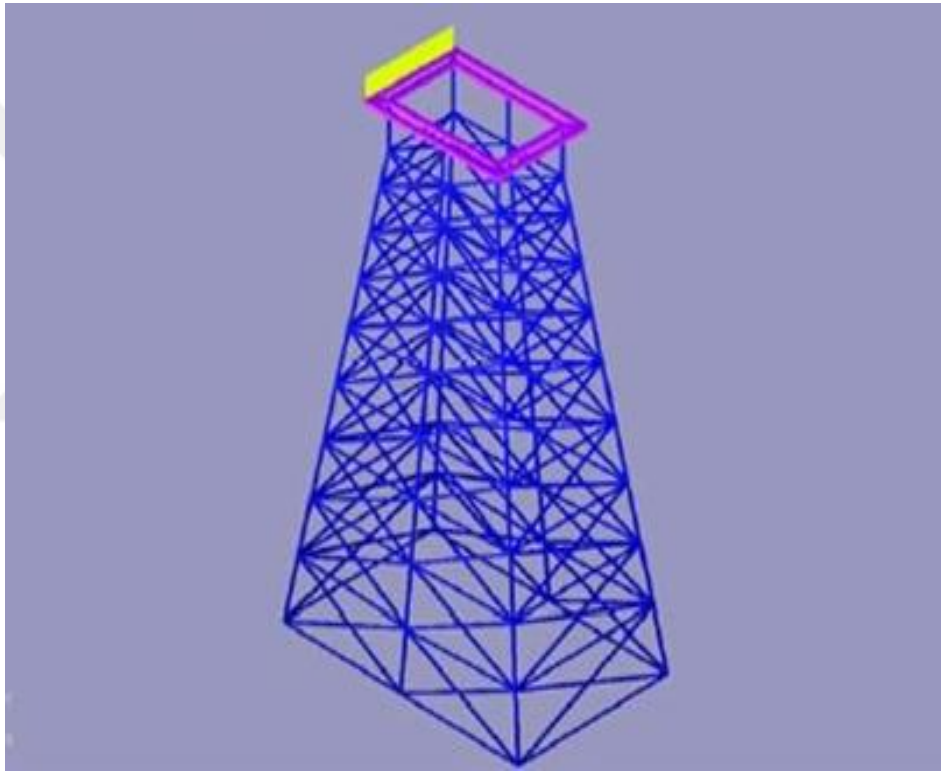
Abdel-Raheem vd. (2012), yapmış oldukları çalışmada dünya üzerinde koy ve krfezlerdeki sayısı her geçen gün artan sabit kule tipi açık deniz yapısının yapıların dalga kuvvetleri altında tasarımlarının yapının güvenli bir tasarım ve işletmesi olması açısından önemli olduğunu vurgulamışlardır. Bunlar genellikle 30-200 arasında mevcut olarak bulunan Dalga kuvveti yanında ayrıca farklı çevresel yüklere maruz kalmaktadır. Bu yüklerin başlıcaları rüzgâr, akıntı yükü, deprem yükü, buz yükü gibi bulunduğu yere göre değişebilecek olabilen yükler ve bunların birbiri ile olan kombinasyonlarıdır. Ancak bu kadar fazla çevresel yük arasında en baskın olanı dalga yükleri olduğunu belirtmişlerdir. Açık deniz yapılarının bu yükler altında üzerinde çalışan insan ve makine elemanlarını

tehlikeye atmadan çalışabilmesi önemli olduğunu belirtmiştir. Açık deniz yapılarının statik ve dinamik olarak analiz edilebileceğini belirtmişlerdir. Dalga kuvvetine bağlı dinamik analizinde tasarım üzerinde etkisi önemlidir. Bu çalışmada Airy dalga teorisi ve Morisson denklemi kullanılarak yapı üzerine dalga kuvvetleri etkilmiştir. Bu çalışmada ayrıca sığ sularda statik yaklaşım su derinliği arttıkça da dinamik analize geçilmesi vurgulamıştır. Yapılan çalışmada su derinliği 33,5m olarak kabul edilmiştir. Çalışmada seçilen dalga yüksekliklerinin yanı sıra birde yapıyı limite kadar zorlayacak başka bir referans dalgası seçilmiştir ve yapının dalga kuvvetleri açısından limitleri belirlenmiştir. Bu çalışmanın sonuçlarında açık deniz platformunun tasarımında yapı ömründe karşılaşılması beklenen taleplerin doğru değerlendirilmesine bağlı olduğu belirtilmiştir. Ayrıca her sahaya özel koşulların olduğu belirtilmiştir. Bu özel saha şartları altında yapısal tepkiyi minimumda tutmak önemlidir. Açık deniz yapısal analizi değişken dış yükler altında platform yer değiştirmelerini elde etmek amacıyla kullanılacağı söylenmiştir. Platformunun her bir alt yapı katında göreceli yer değiştirmelere izin verilmemesi gerekliliği bulunmuştur.

Bargi vd. (2011), bu makalede ceket tipi açık deniz yapısının yapı zemin etkileşimi için mevcut bir açık deniz yapısından faydalanarak kazıklı bir şekilde modellemişlerdir. Yükleme durumu olarak eş zamanlı dalga ve deprem etkisinde analizleri yapılmıştır. Seçmiş oldukları konum fay hatlarına yakın olması itibarıyla hem deprem hem dalga kuvveti birlikte incelemişlerdir. Model ve analizler için ANSYS sonlu elemanlar analiz programı kullanılmıştır. Kullanmış oldukları modelde 6 adet kolon bulunmaktadır. Modelin su altında kalan kısmı 70.2 m alınmıştır. Ana taşıyıcı olan 6 kolonda kullanılan kesitler her iki yönde de ataleti eşit olması sebebiyle dairesel seçilmiştir. Yapılan bu çalışmanın sonucunda etkin yükün deprem olmasına rağmen dalga kuvvetiyle birlikte etkilmesine göre daha az yer değiştirme yaptığını ortaya koymuşlardır.

Narayana vd. (2010), çalışmalarında yapıların davranışsal parametrelerinin tespitinin projelendirme, periyodik kontrolleri esansında önemli olduğunu vurgulamışlardır. Yaptıkları çalışmada dalga ve rüzgâr yükleri altında yapısal tepkilerin incelenmesi gerektiğini vurgulamışlardır. Tasarlamış oldukları 220m

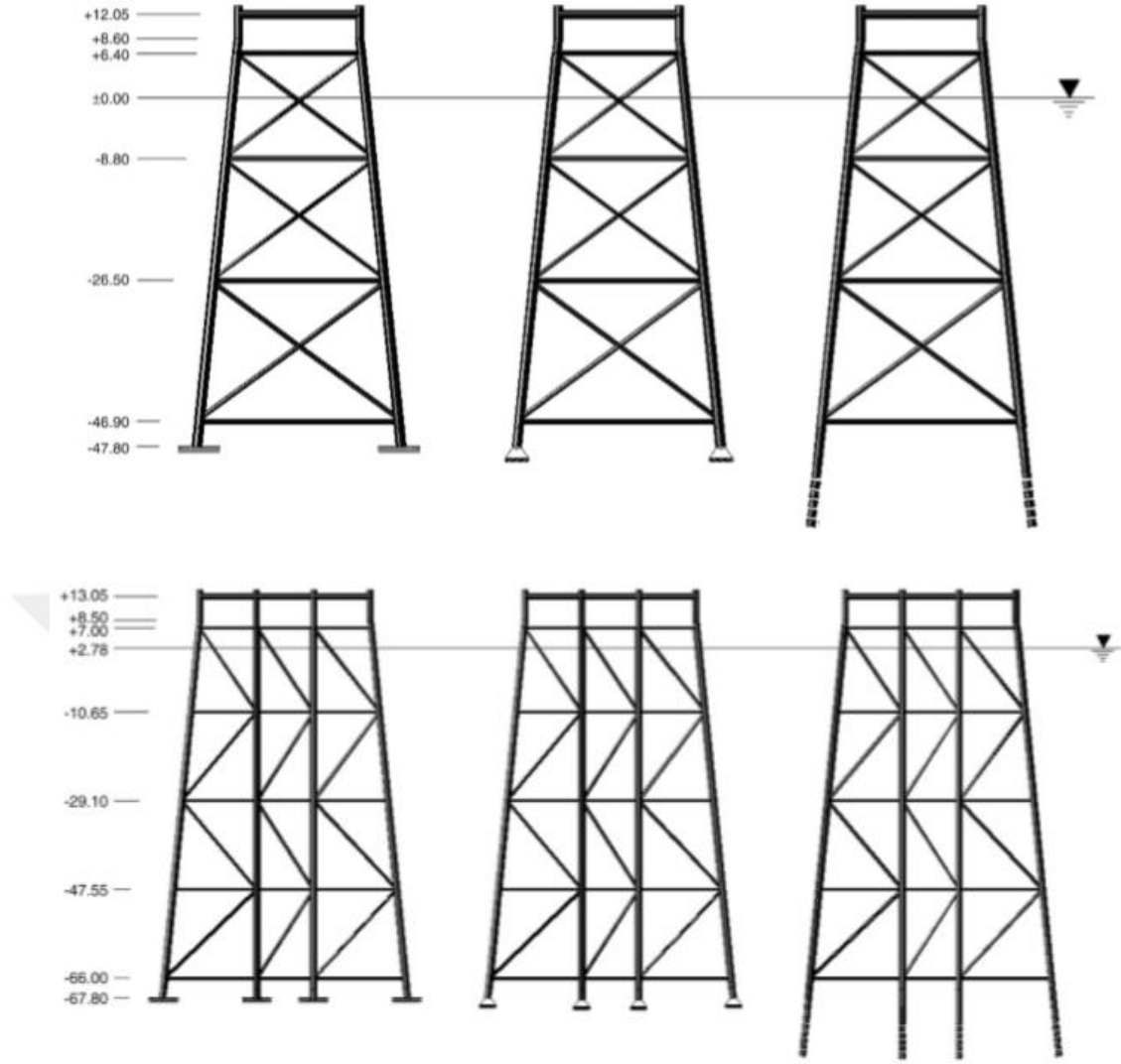
kule yüksekliğine 110*70 taban ve 50*30m platform güverte alanına sahip olarak tasarlanmış deniz derinliği 200m olarak alınmıştır. Tasarladıkları yapı Şekil 2.4'te gösterilmiştir. Pierson-Moskovitz (P-M) enerji spektrumlarını kullanarak 41,67m/sn ($\cong 150\text{km/sa}$) seçtikleri rüzgâr hızı altında rüzgârın su yüzeyinde oluşturabileceği maksimum dalga yüksekliğini belirleyerek yapısal davranışa olan etkisini incelemişlerdir. Sonuç olarak yaptıkları analizlerde yapının rüzgâr, dalga ve rüzgâr/dalga kombinasyonunda ki etkisini incelemişler ve maksimum yer değiştirmeleri bulmuş ve etkin mod durumlarını belirlemişlerdir. Analizler StruCAD sonlu elemanlar programı kullanılarak yapılmıştır.



Şekil 2.4. Analizlerde kullanılan modelin genel görünümü

Asgarian ve Lesani (2009), bu bildiriye çaprazların burkulma sonrası davranışlarını modelleyebilen “Fiber Elements” uygulaması ile sabit ceket tipi açık deniz platformlarının itme analizi yapılmış ve Basra Körfezi bölgesindeki iki fonksiyonel ceket tipli açık deniz platformu üzerinde örnek olay çalışması yapmışlardır. Bahsedilen platformların iki boyutlu modelleri “DRAIN-3DX” yazılımı kullanılarak modellenmiş ve dalga kuvveti yapılar üzerindeki yanal yük deseni olarak kabul etmişlerdir. Bu makalede, kazık-zemin-yapı etkileşimini

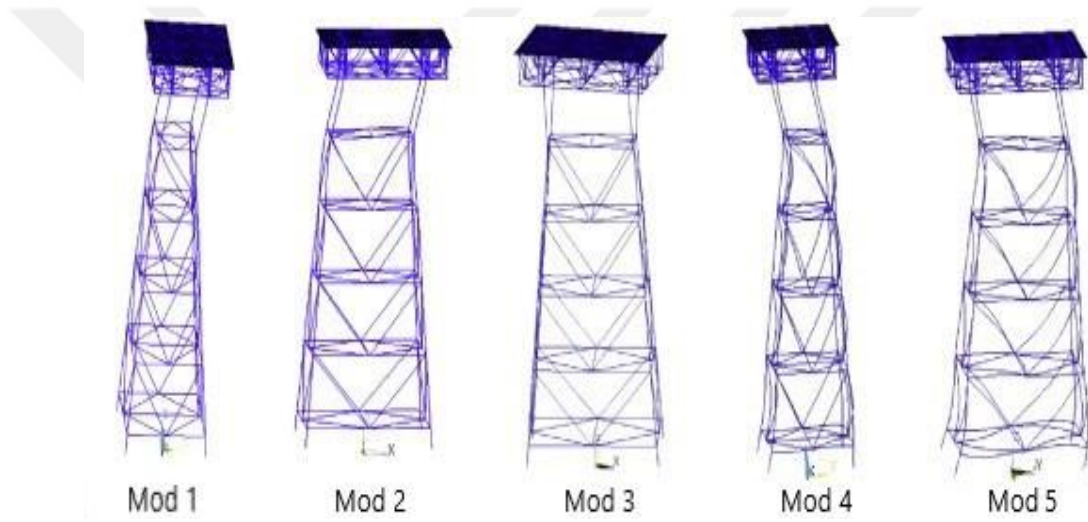
dikkate almak için farklı temel koşullarını içeren sayısal modeller geliştirilerek, ceket tipi açık deniz platformlarının itme analizi gerçekleştirmişlerdir. Platformların yer değiştirmesinin arttırılması ve yer değiştirme kontrol yöntemini dahil ederek bağıl yük faktörlerinin kaydedilmesi, analizin yapılması için önem arz ettiğini vurgulamışlardır. Kazık-zemin etkileşiminin önemini göz önünde bulundurmak için, gerçek zemin özellikleri ile kazık-zemin etkileşimi analizini içeren altı ayrı durum incelemişlerdir. Bu altı durum Şekil 2.5'te gösterilmiştir. Çamur hattı kotunun altına sabitlenmiş kazık başı, çamur hattı kotunun altına mafsallı kazık başı, lineer kazıklarının uygulanması, lineer olmayan kazıkların uygulanması ve son olarak lineer ve lineer olmayan kazık-zemin özelliklerinin bir kombinasyonu uygulamışlardır. Burada yapılan analizlerde kazık-zemin etkileşiminin dikkate alındığı durum temel durum olarak belirlenmiştir. Doğrusal olmayan kazık modelinin dahil edilmesinden elde edilen sonuçlar, temel durumla en fazla uyumluluğa sahiptir. Doğrusal kazıkların uygulanması ve doğrusal ve doğrusal olmayan kazık kombinasyonu, temel durumla çok fazla sapmaya sahiptir. Platformun doğrusal olmayan kazık durumundaki nihai gücü, temel duruma çok yakın olduğunu gözlemişlerdir.



Şekil 2.5. Analizlerde kullanılan modellerin genel görünümü

Elshafey vd. (2009), bu çalışmada, bir ceket tipi açık deniz yapısının ölçekli modelinin dinamik tepkisi hem teorik hem de deneysel olarak incelenmiştir. Deneyler hem havada hem de suda gerçekleştirilmiştir. Gerçekçi çalışma koşullarını ortaya koymak için su içi deneyler çekme tankında yapılmıştır. Model rastgele dalga yüklerine tabi tutulmuştur. Mevcut bir yapının boyutlarına dayalı olarak ölçekli modelin boyutlarını elde etmek için Froude'un modelleme yasası kullanıldı. Yapının ağırlığının değiştirilmesinin etkileri ve dalga yüklemesinin özellikleri araştırılmıştır. Yapının ağırlığı, yapının güvertesine ağırlıklar eklenerek değiştirilmiş ve modelin dinamik tepkisini belirlemek için bir sonlu eleman modeli tasarlamışlardır. Temeldeki tepki kuvveti, gerinim ölçümlerinden tahmin edilmiş ve sonlu elemanlar hesaplamaları ile karşılaştırmışlardır.

Birbirleriyle belirli bir uyum sağlanmıştır. Bu çalışma, yapının serbest titreşim tepkisini kullanarak yapısal hasar tespiti için bir yöntem geliştirmeyi amaçlamışlardır. Serbest titreşim tepkisi, rastgele azalma yöntemi kullanılarak yapının durağan rastgele tepkisinden elde edilmiştir. Yapının dinamik tepkisini tanımlamak için doğru bir modele sahip olmak gerektiğini vurgulamışlardır. Şekil 2.6'da modele ait mod şekilleri verilmiştir. Sonuç olarak hem sayısal hem de deneysel modelin çoğunluğunda uyumlu olduğu sadece temelin tepki kuvveti deneysel modeldeki gerinim değeri ile sayısal modeldeki değer arasında %13 lük fark olduğu gözlenmiştir. Modelin kütlesi arttıkça temeldeki reaksiyonun azaldığı gözlenmiştir.



Şekil 2.6. Modele ait ilk beş mod şekli

Kıymaer vd. (2004), Bu makalede sismik yük etkisiyle açık deniz platformlarının doğrusal olmayan davranışının en önemli kaynağı kazıkların dinamik tepkisi olduğunu vurgulamışlardır. Açık deniz platformlarının dinamik analizini yapmanın gerekliliği üstünde durmuşlardır. Zemin, kazık ile zemin arasındaki süreksizlik durumu, enerjinin zemin tarafından sönümlenmesi ve kazıkların doğrusal olmayan davranışı üzerinde durmuşlardır. Bu çalışmada, yapının zeminle etkileşimi için BNWF (Beam on Nonlinear Winkler) yöntemi üzerinde durmuşlardır. Temel katmanlı zemine gömülü esnek kazıkların yanıl tepkisini tahmin etmek için yapıya sismik yük etkisiyle davranışa bakmışlardır. Analizlerde ANSYS sonlu eleman programı kullanmışlardır. Zemin ivme değerleri değiştirilerek yapıdaki ve kazıklardaki deplasman değerlerine bakılmış ve ivme

değerlerine göre karşılaştırmışlardır. İvme değerlerine göre 0.05g ile 0.02g arası en optimum sonuçları elde etmişlerdir.

Chandrasekaran ve Jain (2002), bu çalışmada şiddetli dalga koşullarını çevreleyen bir açık deniz yapısı için dalga kuvvetlerinin doğrusal olmayan tepkiler üzerindeki etkilerini incelemek amaçlanmıştır. Doğrusal olmayan dalga kinematiği ve yapı ile etkileşime giren dalgaların doğrusal olmama durumu en önemli faktörler olduğunu dile getirmişlerdir. Fırtına deniz durumları için sabit bir açık deniz platformundaki dalga kaynaklı yükler, Morison denkleminin aracılığıyla yapı üzerine etkili olduğu belirtilmiştir.



3. MATERYAL VE YÖNTEM

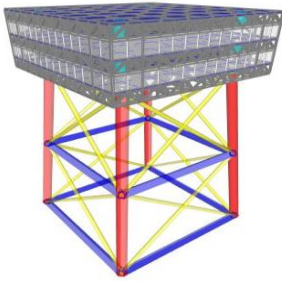
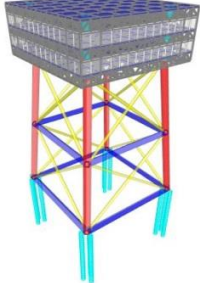
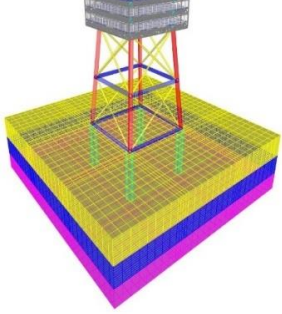
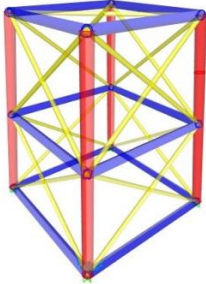
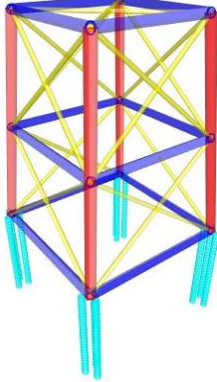
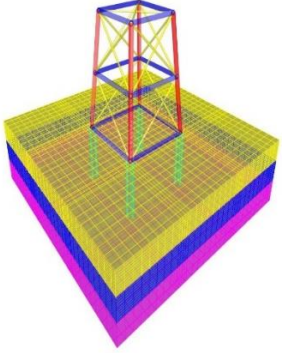
Yapılan bu tez çalışmasında Akdeniz bölgesi özelinde ceket tipi açık deniz yapılarının statik ve dinamik yükler etkisinde davranışları, mesnetlenme koşulları değiştirilerek platformlu ve platformsuz olarak incelenmiştir. Literatürde açık deniz yapılarının davranışında dalga yüklerinin belirleyici yük olduğu ifade edilmektedir (Elshafey vd., 2009). Dalga yüklerinin dinamik yük davranışında etkin yük durumuna geçmesinde yapı doğal titreşim periyodunun önemi vardır. Literatürdeki ve teorideki araştırmalar ele alındığında bu tip taşıyıcı sistemler için belirleyici dalga yüklerinin 4-8 sn aralığında yer aldığı ifade edilmektedir. Bu kapsamda yapılan analizlerde, bu periyot aralığında yer alacak yapı yükseklikleri 200 m ve üzerindeki yapıları kapsamaktadır. Yapılan bu tez çalışmasında dalga yüklerinden ziyade etkin yük durumunu, sismik yükler olarak ele alabilmek için yapı doğal titreşim periyodunu 1 sn altında tutacak tasarımlar dikkate alınmaya çalışılmıştır. Bu amaçla sığ sularda hizmet vermesi planlanan 50 m taşıyıcı sistem yüksekliğine sahip yapı tipi, çalışma kapsamında dikkate alınmıştır. Bu şekliyle yapı doğal titreşim periyodu 1sn altında çıkmış, elde edilen bu değerle sismik yük için maksimum ivme aralığında sonuçların elde edilmesi amaçlanmıştır. Analizlerde SAP2000 programı kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan tüm modellerin taşıyıcı sistemi 50 m yüksekliğe sahip olup rüzgâr, dalga ve deprem yükleri gibi dinamik yükler etkisinde incelenmiştir. Rüzgâr yükü için, rüzgâr hızı, 30 m/sn kabul edilmiştir. Platformun kendi ağırlığı ve üzerindeki hareketli yük, platformsuz modellerin taşıyıcı ayaklarına etki ettirilmiştir. Taşıyıcı sistemin geometrisinde ayakların eğimi literatürde belirtildiği üzere % 2-16 arasında olma durumu göz önüne alınarak ayak eğimi % 9 olarak belirlenmiştir.

Platform 40*40 m taban oturumuna sahiptir. Platform ölü ağırlığı yaklaşık olarak 17387 kN olup üzerindeki hareketli yük 76413 kN'dur. Platformun ölü ağırlığı, platformsuz modellerde ağırlık olarak dikkate alınmıştır.

Yapı periyodunu belirleyici faktörlerin başında taşıyıcı sistemin zemine mesnetlenme koşulları gelmektedir. Yapı sistemlerinin sahip oldukları ağırlık ve

hizmet ömrü süresince maruz kaldıkları yükler dikkate alındığında literatür ve uygulamada bu tipteki yapılar, deniz tabanına kazıklı temel sistemleri kullanılarak sabitlenmektedir. Açık deniz yapılarının mesnetlenme koşulu, zemini temsilen yay sabitleri kullanılmış kazıklı temel, ankastre mesnet ve sonlu elemanlar analiz programı kullanılarak katı model zemin tanımlı kazıklı temel olmak üzere 3 farklı şekilde modellenmiştir. Bu mesnetlenme koşulları için platformlu ve platformuz olmak üzere toplam 6 model oluşturulmuştur. Bu modellerin genel görünümü Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1 Çalışmada kullanılan modellerin boyutsal parametreleri

		
M11	M12	M13
Ankastre Mesnet Tanımlı Platformlu Model	Yay Sabitli Zemin Tanımlanmış Platformlu Model	Katı Model Zemin Tanımlı Platformlu Model
		
M21	M22	M23
Ankastre Mesnet Tanımlı Platformuz Model	Yay Sabitli Zemin Tanımlanmış Platformuz Model	Katı Model Zemin Tanımlı Platformuz Model

Bu yapıların mesnetlenme koşulu ankastre yapıldığında yapı periyodu literatürde belirtilen 1-4 sn aralığına göre daha düşük çıkmaktadır. Dolayısıyla zemin koşulu bu yapılar için önem arz etmektedir. Bu yapıların ankastre mesnet, yay sabitli zemin tanımı ve sonlu elemanlar metodu kullanılarak katı model zemin tanımı yapılarak 3 mesnetlenme koşulu ile üst yapının davranışı arasındaki ilişki incelenmiştir. Aynı zamanda yay sabitli zemin tanımı ve katı model zemin tanımı için kazık davranışları incelenmiştir. Zemin tanımı yapılan bütün modellerde kazık sayısı her ayakta üç adet belirlenmiştir. Her bir kazık boyu 26 m olarak tasarlanmıştır. Literatürde belirtilen ideal kazık aralığı, kazık çapının 2 ile 9 katı aralığında olduğu belirtilmiştir (Ateş ve Şadoğlu, 2021). Bu sebeple kazık aralığı 6 m seçilmiştir. Literatürde de belirtildiği üzere deniz tabanlarının çoğunlukla kil tabakasından oluştuğu için zemin profili kil seçilmiştir (William, 2011). Yay ile zemin tanımı yapılan modellerde yay sabitleri Bowles'ın zemin yatak katsayıları formüllerine göre hesaplanmıştır. Her bir metrede zemin tanımı yapabilmek için kazıklar 1'er metre bölünmüş yay sabiti tanımlanmıştır. Yay ile zemin tanımı ve sonlu elemanlar metodu kullanılarak katı model zemin tanımlaması yapılan bütün modellerde Şekil 3.1'deki zemin kesiti, zemin yoğunluğu (γ), içsel sürtünme açısı (Φ) ve kohezyon (c) özellikleri kullanılmıştır.



Şekil 3.1. Modellerde kullanılan zemin modeli

Şekil 3.1'deki zemin modeli kullanılarak Bowles zemin yatak katsayılarına göre denklem 3.1, denklem 3.2 ve denklem 3.3'teki formüllere göre zemin yatak katsayıları hesaplanmıştır. Meyerhof taşıma gücü katsayıları kullanılarak Şekil

3.1'de görülen içsel sürtünme açısına göre Şekil 3.2'de gösterilen tablodan seçilmiştir (Bowles, 1996). Sap2000 sonlu elemanlar analiz programına yay sabiti olarak tanımlanmış zemin yatak katsayıları ile sistemin yatay yer değiştirme rijitliği sağlanmıştır. Şekil 3.1'deki zemin tabakası kullanılarak Sap2000 sonlu elemanlar analiz programında katı model olarak zemin tanımı yapılmıştır. Zemin modeli için katmanlar ayrı ayrı oluşturulmuş zemin kesiti, zemin yoğunluğu (γ), içsel sürtünme açısı (Φ) ve kohezyon (c) özellikleri programa tanıtılmıştır. Katı model olarak zemin tanımlanmış modellerde katmanlar birer metre halinde oluşturulmuş ve kazıklar birer metre olarak bölünmüştür. Bu bağlamda yay ile zemin tanımlaması yapılan modeller ile katı model olarak zemin tanımlanmış modellerde, kazıklardaki yatay yer değiştirme miktarları aynı kotlardan okunması amaçlanmıştır.

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

$$A_s = C * (cN_c + 0,5 * \gamma B_p * N_\gamma) \quad (3.1)$$

$$B_s = C * (N_q * \gamma) \quad (3.1)$$

Meyerhof N_c , N_q , N_γ taşıma gücü katsayıları (Bowles, 1996).

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

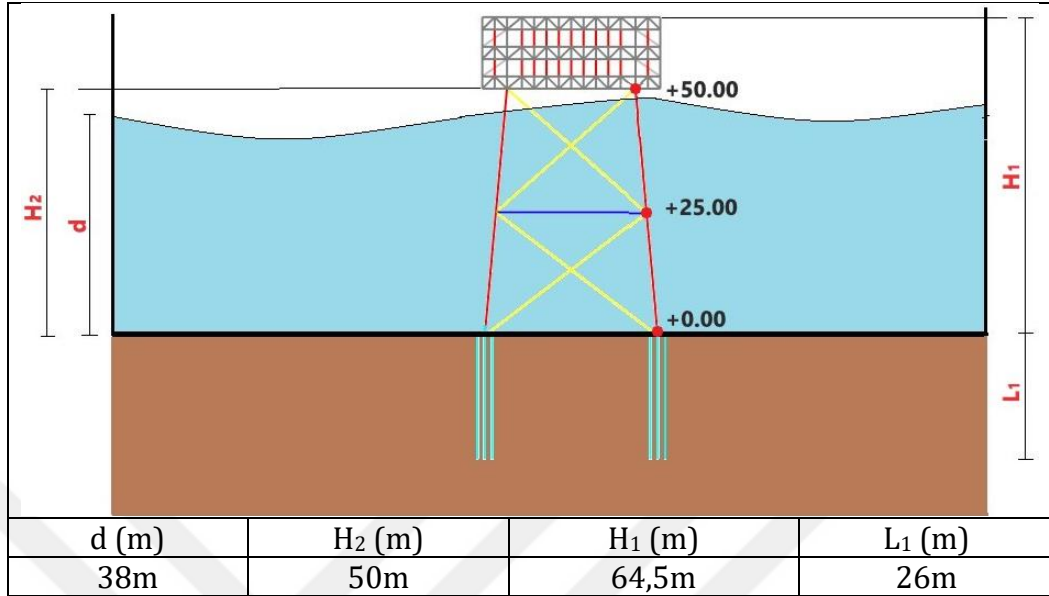
Şekil 3.2. Meyerhof taşıma gücü katsayıları (Bowles, 1996)

Çizelge 3.2. M12 ve M22 modelleri için zemin yatak kat sayıları

Derinlik (m)	p-y (kN/m³)
0	-
1	10841,12
2	12122,89
3	12860,85
4	13464,06
5	13988,77
6	14459,89
7	14891,28
8	15291,64
9	15666,89
10	19993,98
11	32251,75
12	40530,22
13	40855,28
14	41167,84
15	41469,26
16	41760,65
17	42042,94
18	42316,95
19	42583,36
20	52906,03
21	83350,88
22	103732,89
23	103986,92
24	104235,44
25	104478,79

Taşıyıcı sistem ve çevre şartları bütün modeller için aynıdır. Bütün modeller için su derinliği ve yapı yüksekliği Çizelge 3.3'te verilmiştir.

Çizelge 3.3. Çalışmada kullanılan modellerin su derinliği ve boyutsal parametreleri



Bu tür su içerisinde kalan yapılar için en tehlike durumların başında korozyon gelmektedir. Literatürde de belirtildiği üzere korozif etkilere karşı daha dayanıklı olması ve her yönde ataletin aynı olması sebebiyle genellikle boru kesitli elemanlar tercih edilmektedir (Komaichi vd., 2011). Modellerde kullanılan kesitler API ye göre dizayn edilmiş ve dizayn sonucu, Çizelge 3.4'teki kesitler seçilmiştir. Kullanılan kesitler bütün modellerde aynıdır.

Çizelge 3.4. Modellerde kullanılan kesitler

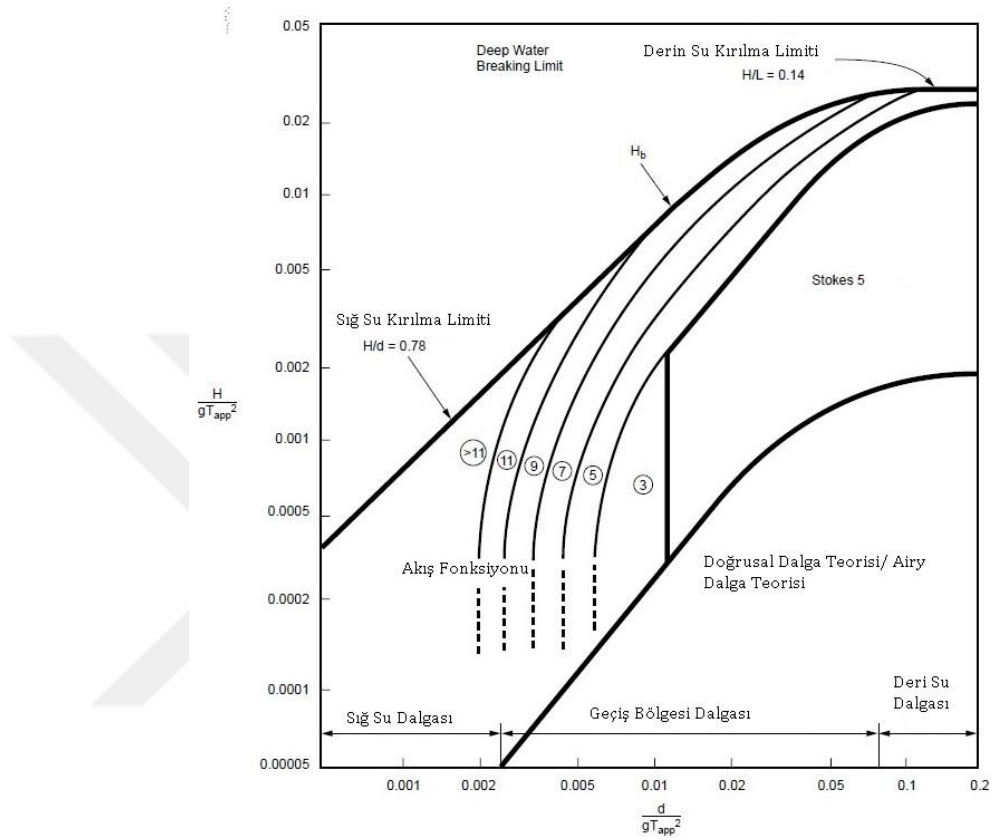
	Ayaklar (mm)	Kuşaklar (mm)	Çaprazlar (mm)	Kazıklar (mm)
	D2250*50	D2000*50	D950*80	D1500*50
\varnothing	2250	2000	950	1500
t	50	50	80	50

Kullanılan kesitlerin malzeme sınıfı ve özelliği Çizelge 3.5 'te verilmiştir.

Çizelge 3.5. Modellerde kullanılan kesitlerin malzeme sınıfı ve özellikleri

Malzeme	F_y (N/mm ²)	F_u (N/mm ²)	E (N/mm ²)	Poisson oranı (ν)	Yoğunluk Kg/m ³
S355	355	510	210000	0,3	7850

Yapılan bu çalışmada modellere etki eden dalga yükü için 5. Dereceden Stokes dalga teoremi sınırlarında kalarak API standartların bulunan Atkins Cetveline göre yapıda etkin dalga yüksekliği ve dalga periyodu belirlenmiştir. Atkins Cetveli Şekil 3.3'te gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Dalga yükü için kullanılan Atkins Cetveli (API, 2000)

Modellerin hepsinde su derinliği aynı olduğu için etki eden dalga kuvveti bütün modellerde aynıdır. Modellere etki eden dalga periyodları ve dalga yükseklikleri Çizelge 3.6'da gösterilmiştir. Bu değerler Sap2000 sonlu elemanlar analiz programına dalga periyodu, dalga yüksekliği ve dalga teorisi seçilerek dalga yükü tanımlanmıştır.

Çizelge 3.6. Modellere etki eden dalga yüksekliği ve periyot değerleri

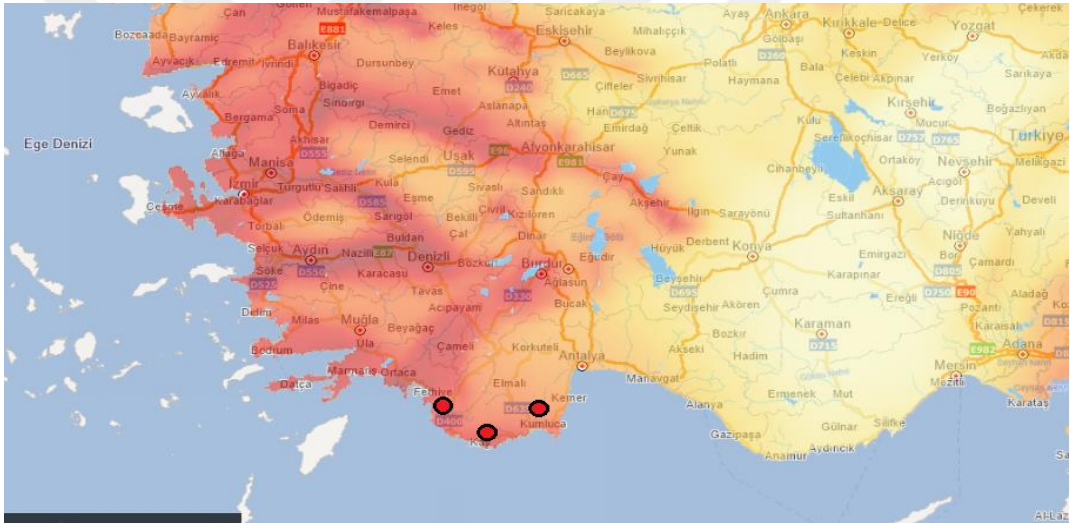
Dalga Periyodu (sn)	5 m	7,5 m	10 m
6 sn	✓	-	-
7 sn	✓	✓	-
8 sn	✓	✓	-
9 sn	✓	✓	✓
10 sn	✓	-	-

Rüzgâr yükü modellere dalga içinde tanımlanmıştır. Rüzgâr hızı 30m/sn alınmıştır.

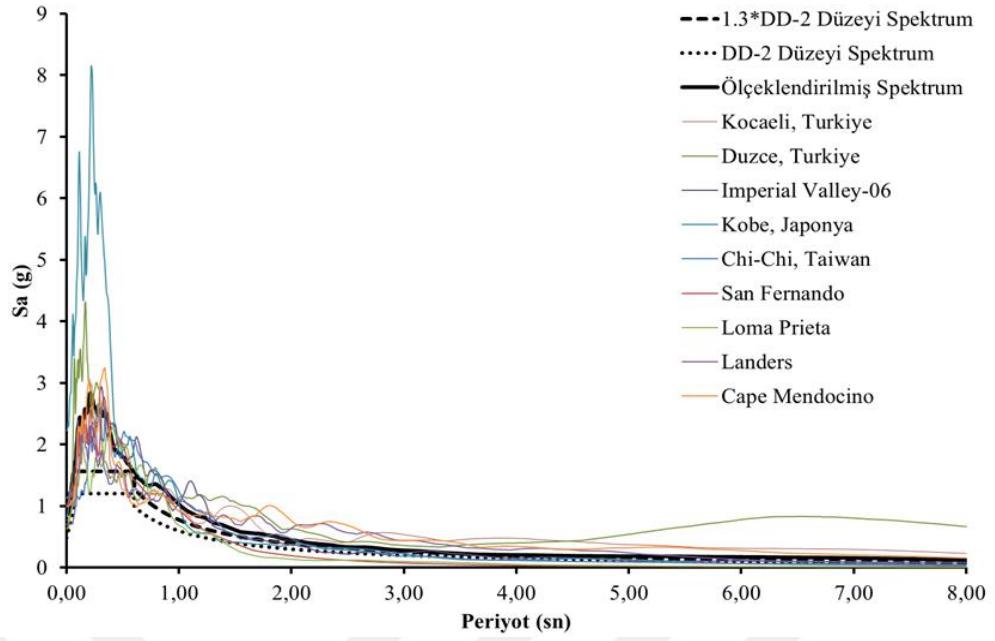
Modellere etki eden bir diğer yük deprem yüküdür. Deprem yükünü yapının konumlandığı bölgede gerekli zemin sondajları yapılarak detaylı incelenmelidir. Yakın olan faylar ve o fayları yakın diğer faylar tespit edilmeli yakın zamanda meydana gelmiş depremler incelenmelidir. Modeller 3 farklı yöntemle deprem yükü etki ettirilmiştir. Bu yöntemler eşdeğer deprem yükü ve ortalama ivme spektrum ve deprem kayıtları kullanılarak zaman tanım alanında analiz yöntemidir. Çalışmada eşdeğer deprem yükü yöntemi kullanılarak statik olarak etki ettirilen deprem DD-1 ve DD-2 olmak üzere 2 farklı deprem düzeyi ile analizler gerçekleştirilmiştir. Çalışmada dikkate alınan deprem kayıtları kullanılarak zaman tanım alanında analiz yöntemi için örnekleme aralığı ve ölçeklendirme katsayısı Çizelge 3.7’de verilmiştir. Çalışma için Batı Akdeniz sınırlarında bulunan üç yer seçilmiş, zemin parametreleri AFAD Deprem tehlike haritasından alınıp üç yer için ortalama değer belirlenip ölçeklendirilmiştir. Seçilen konumlar Şekil 3.4’te gösterilmiştir. Ayrıca ölçeklendirilen deprem verilerinin ivme-spektrum eğrileri Şekil 3.5’te verilmiştir. Zaman tanım alanında lineer analizlerde kullanılacak 3 bileşenli 11 deprem kaydı ve 11 deprem kaydının ortalama ivme spektrumu 0,2T-1,5T olacak şekilde ölçeklendirilmiştir.

Çizelge 3.7. Deprem verilerine ait özellikler

Deprem No	Deprem Adı	Magnitüd	Mesafe (km)	Örnekleme Aralığı	Ölçeklendirme Katsayısı
1	Kocaeli	7,51		0,005	7,931
2	Chi Chi	7,62		0,005	0,447
3	Düzce	7,14		0,005	14,554
4	Imperial Valley	6,53		0,005	1,716
5	Cape Mendicino	7,01		0,005	1,247
6	Landers	7,28		0,005	2,548
7	Kobe	6,9		0,005	3,459
8	Northridge	6,69		0,005	6,451
9	San Fernando	6,61		0,005	1,405
10	Tabas	7,35		0,005	1,067
11	Loma Prieta	6,93		0,005	0,671



Şekil 3.4 Zemin değerleri için seçilen konumlar (AFAD)



Şekil 3.5. Ölçeklendirilen depremlere ait ivme-spektrum eğrileri

Analizlerde kullanılan yük kombinasyonu Çizelge 3.8’de verilmiştir. Analizlerde ekstrem durum yük kombinasyonu kullanılmıştır (ABS, 2016). Analiz sonuçları elde edilen veriler ve grafikler bu kombinasyona göre alınmıştır. Aynı anda hem dalga hem deprem yükü dikkate alınmıştır.

Çizelge 3.8 Analizlerde kullanılan yük kombinasyonu

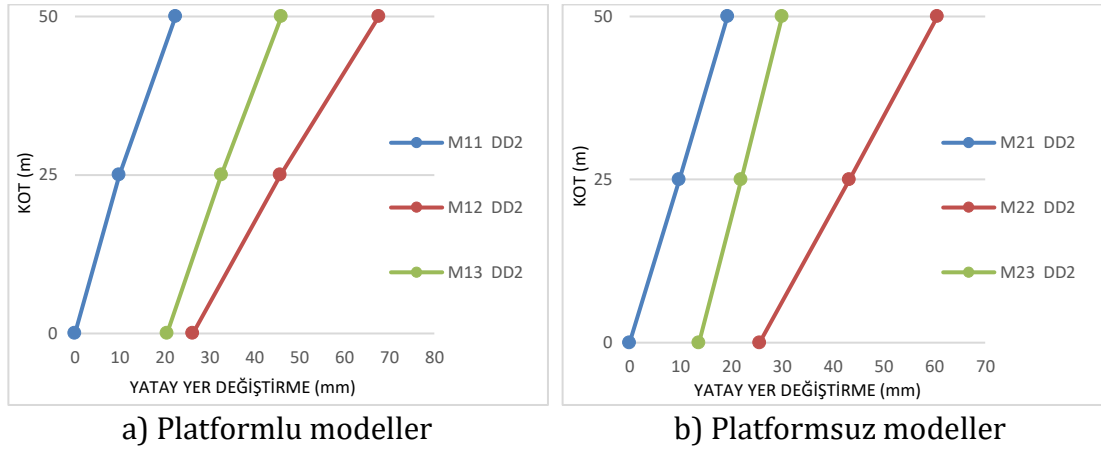
Ekstrem Durum Yük Kombinasyonu
1,0D+1,0L+1,3E
D: Ölü (Kalıcı) yükler (Helikopter pisti, Sondaj makinaları vb.)
L: Hareketli yükler (Araçlar vb.)
E: Çevresel yükler (Dalga, Rüzgâr, Deprem)

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Yapılan bu tez çalışmasında sığ sularda hizmet vermesi planlanan açık deniz yapılarının, sismik yükler başta olmak üzere statik ve dinamik analizleri yapılmıştır. Açık denizde hizmet verecek olan yapı sistemleri sahip oldukları geometrik özelliklere göre çevresel yüklerden etkilenmektedirler. Literatürde ve uygulamada açık denizde hizmet verecek yapılar için en önemli yüklerin rüzgâr ve dalga yükleri olduğu ifade edilmektedir. Literatür incelendiğinde bu tür yapılar için etkin yük durumuna geçebilecek olan dalga kuvvetlerinin doğal titreşim periyot aralıklarının 4-8 sn aralığında değişen sonuçlar vermektedir. Yapı davranışı açısından bu durumu incelediğimizde, yapıya etkiyecek olan dinamik kuvvetlerin, o yapı sistemi için etkin yük durumuna geçebilmesi noktasında, yapının doğal titreşim periyodu ile çevresel yük doğal titreşim periyodunun birbirine yaklaşması, yapı sisteminin dinamik kuvvetten ortaya çıkacak olan ivmenin artmasını etkileyecektir. Etkin çarpma kuvvetine sahip dalga kuvvetleri dikkate alındığında bu doğal titreşim periyodu aralığında hizmet verecek açık deniz yapılarının yükseklikleri, literatür ve uygulamalar dikkate alındığında 200-450 m aralığında yapılar gündeme gelmektedir. Literatürde bu tür yapılar için etkin yük durumunu dalga kuvvetleri olduğu ifade edilmiştir. Ancak ülkemiz gibi kıyı bandında muhtemel sondaj sahaları ya da açık denizde sondajı sağlanan petrol ürünlerinin yine açık denizde işlenmesi amacıyla kurulacak platformların, karşılaşacakları dalga kuvvetleri buldukları deniz kotu dikkate alındığında bu yapı sistemi için etkin yük durumunda olmaları pek mümkün değildir. Ülkemiz Akdeniz Bölgesi Kıta Sahaneliği kapsamında sığ sularda kurulabilecek bu tip yapıların olası konumları dikkate alındığında ülkemizin sahip olduğu jeofizik durumlar kapsamında bu yapılar için deprem kaynaklı sismik etkiler dalga yüklerine kıyasla etkin yük durumunda olacaktır. Açık deniz yapılarının tasarımlarının ve sahip oldukları geometrinin bir sonucu olan doğal titreşim periyotları sismik kuvvetler açısından etkin duruma geçebilmesi için yapısal periyot değerlerinin 1 sn altında olması gerekmektedir. Yapı periyodu arttıkça ivme spektrum yaklaşımı ile deprem davranışını ele aldığımızda yapının maksimum ivme değerleri aşağıya düşecektir. Bu sebeple bu çalışmada dikkate alınan açık deniz yapıları sığ sularda inşa edilmesi planlanmış, taşıyıcı sistem

yükseklikleri de 50 m olarak sınırlandırılmıştır. Analizlerde ülkemizde bu tipteki yapıların olası hizmet alanları dikkate alındığında AFAD sismik tehlike haritası kapsamında en yakın noktalardan veri taraması yapılmış, ortalama veri aralığı için DD-2 ve DD-1 deprem koşullarında statik ve dinamik etkiler belirlenmiştir. Açık deniz yapılarının dizayn prosedürlerinin yer aldığı yönetmeliklerde sismik etkiler için belirleyici deprem kuvvetlerini DD-1 veya DD-2'den seçilmesi noktasında tasarımcı serbest bırakılmıştır. Bu sebeple her iki yük durumu için statik ve dinamik yükler hesaplanmış, taşıyıcı sistem her iki yükleme içinde analiz edilmiştir. Bir yapı sisteminin doğal titreşim periyodunun belirlenmesinde yapı yüksekliğinin yanında yapının mesnetlenme koşulları da belirleyicidir. Literatür ve uygulamada bu tipteki yapıların analiz ve tasarım prosedürlerinde mesnetlenme koşulları ankastre, yay ile zemin tanımlanması ve sonlu elemanlar metodu kullanılarak katı model ile zemin tanımlanması olmak üzere 3 farklı şekilde yapılmaktadır. Bu kapsamda her 3 durum için hesaplanacak yapısal davranış kriterleri değişkenlik gösterecektir. Yapılan bu tez çalışmasında yapının mesnetlenme koşullarının da yapı davranışı üzerine etkisini irdeleyebilmek için statik ve dinamik olarak analizi yapılmış elde edilen sonuçlar karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Çalışmada platform bölümünün yapısal davranış üzerinde etkinliğini detaylandırabilmek amacıyla 3 mesnetlenme koşulu için dizayn edilen açık deniz yapısı, platformlu ve platformsuz olarak da ayrı ayrı analiz edilmiştir. Platformsuz analiz edilen modellerde platformdan gelen düşey ve yatay kuvvetler taşıyıcı sistem üst kotuna yük olarak etki ettirilmiş, bu durum için analizler genişletilmiştir. Yapılan analizler sonucunda üst yapı ve üst yapının zemin ile etkileşimini sağlayan kazık sistemlerinin yatay yer değiştirme değerleri buldukları kotlara göre grafik halinde sunulmuştur. Tüm grafiklerde farklı mesnetlenme koşulları, platformlu ve platformsuz durumlar için ayrı ayrı sunulmuştur.

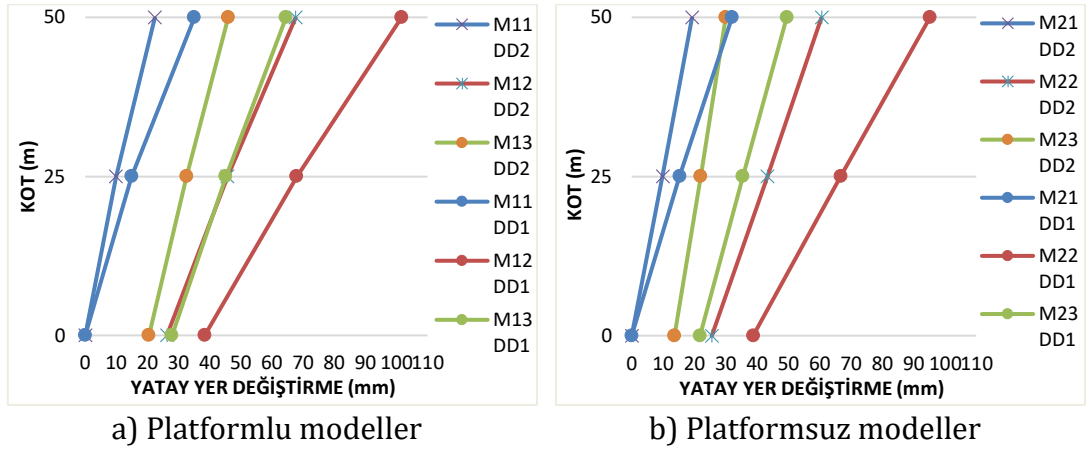
Çalışmada dikkate alınan modellerin, üst yapı taşıyıcı sisteminin, deniz tabanından platform kotuna kadar olan bölümünde, kota göre hesaplanan yatay yer değiştirme miktarları sismik yükler için grafikler halinde sunulmuştur. Şekil 4.1'de platformlu ve platformsuz sistemlerin DD-2 deprem durumu statik yükleme halindeki yatay yer değiştirmeleri verilmiştir.



Şekil 4.1. DD-2 deprem durumundaki yatay yer değiştirmeler a) Platformlu modeller, b) Platformuz modeller

Her iki grafik durumunda da maksimum yatay yer değiştirmeler yay sabitli zemin durumuna ait olduğu görülmüştür. Grafikler detaylı olarak incelendiğinde, Şekil 4.1a'da taşıyıcı sistemin deniz tabanından platform alt kotuna kadar ortaya koymuş olduğu davranış, katı model zemin tanımlı model ile ankastre mesnet koşuluna sahip model benzerlik içerisinde. Şekil 4.1a incelendiğinde bu iki farklı mesnetlenme koşuluna sahip modelleri birbirinden ayıran temel fark; katı model zemin tanımlı modeldeki taban kotunda meydana gelen 20 mm'lik yatay yer değiştirme miktarıdır. Bu kottan platform alt kotuna kadar yatay yer değiştirmeyi ifade eden grafiğin eğimi, ankastre mesnet koşuluna sahip yatay yer değiştirmeyi ifade eden grafiğin eğimi ile aynıdır. Bu tespit platformuz modeller içinde benzerdir. Platformuz ve platformlu durumdaki, yay sabitli zemin mesnetlenme koşulundaki yer değiştirmeye ait grafiğin eğimi, katı model zemin mesnetlenme koşulu ve ankastre mesnetlenme koşulundaki grafiğin eğiminden daha düşüktür. Yani yay sabitli zemin mesnetlenme koşulunun üst yapıya sağlamış olduğu dönme rijitliği katı model zemin ve ankastre mesnetlenme koşulunun sağlamış olduğu dönme rijitliğinden daha düşük olduğu grlmektedir. Bu durum yapının en üst kotunda meydana gelen yatay yer değiştirmenin maksimum değerine oluşmasının bir sonucudur.

Şekil 4.2'de DD-1 deprem koşulunun yapısal davranış üzerinde etkisini ortaya koyabilmek için tüm modeller bu yük durumu içinde analiz edilmiş, elde edilen sonuçlar DD-2 ile karşılaştırılmalı olarak sunulmuştur.

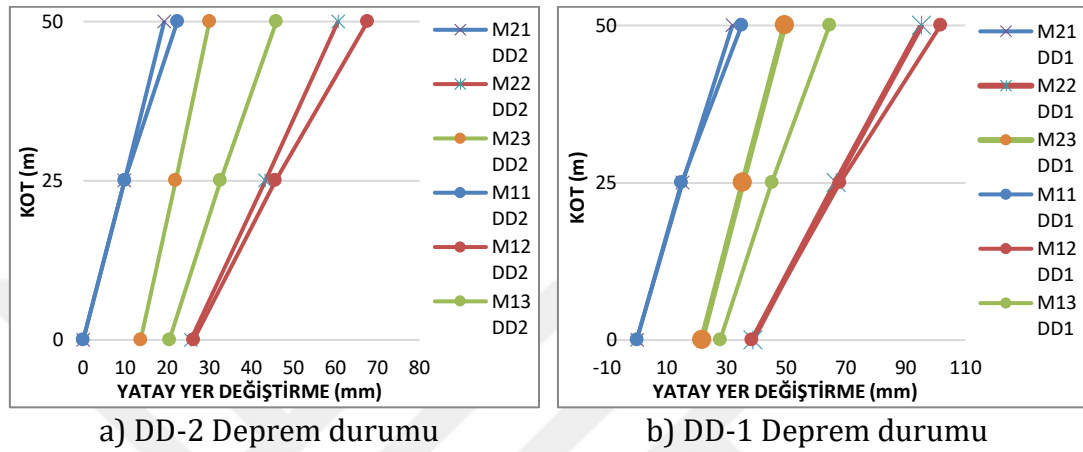


Şekil 4.2. DD-1 ve DD-2 deprem durumundaki yatay yer değiştirmeler
a) Platformlu modeller, b) Platformsuz modeller

Şekil 4.2a'da platformlu modelin DD-2 ve DD-1 deprem durumu için elde edilmiş yatay yer değiştirme grafiği verilmiştir. Grafikler incelendiğinde tüm mesnetlenme koşulları için artan kuvvetlere paralel olarak hem taban kotunda hem de tepe kotunda yatay yer değiştirme miktarları artmıştır. Ancak yapısal davranış etkilenmemiştir. Ankastre mesnetlenme koşulu için yapı üst kotundaki yatay yer değiştirme miktarı, DD-1 durumunda oluşan yatay yer değiştirme, DD-2 durumundaki yatay yer değiştirmeye göre belirgin bir şekilde artış göstermiştir. Bu artış grafiğin eğiminin değişmesine sebep olmuştur. Şekil 4.2b'de platformsuz durum için, DD-1 ve DD-2 durumuna göre meydana gelen yatay yer değiştirme grafiği verilmiştir. Şekil 4.2b incelendiğinde her iki durumda da DD-1 durumundaki deprem yükünün ortaya koyduğu yük artışıyla beklenildiği üzere hem taban kotu hem de platform kotundaki yatay yer değiştirme miktarı doğru orantılı olarak artmıştır. Her üç mesnetlenme durumu içinde bu sonuç benzerdir. Ancak grafik detaylı olarak incelendiğinde platformlu modelde özellikle ankastre mesnet koşuluna sahip grafik incelendiğinde grafikteki eğim 25m kotunda değişmektedir. DD-1 deprem durumunda platformlu model için elde edilen bu sonuç, platform kaynaklı ortaya konan kütlelerin yatay yer değiştirme miktarında artışa sebebiyet verdiği görülmektedir. Bu durum özellikle etkili deprem hareketliliğinin yapı sistemi açısından tehlike arz ettiği durumlarda, taşıyıcı sistem davranışı açısından, platformun

modellenmesinin, platformsuz modellenmesi ile farklı sonuçlar elde edileceğinin göstergesidir.

Şekil 4.3'te platformlu ve platformsuz modeller, DD-2 ve DD-1 deprem durumu için ayrı ayrı karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.



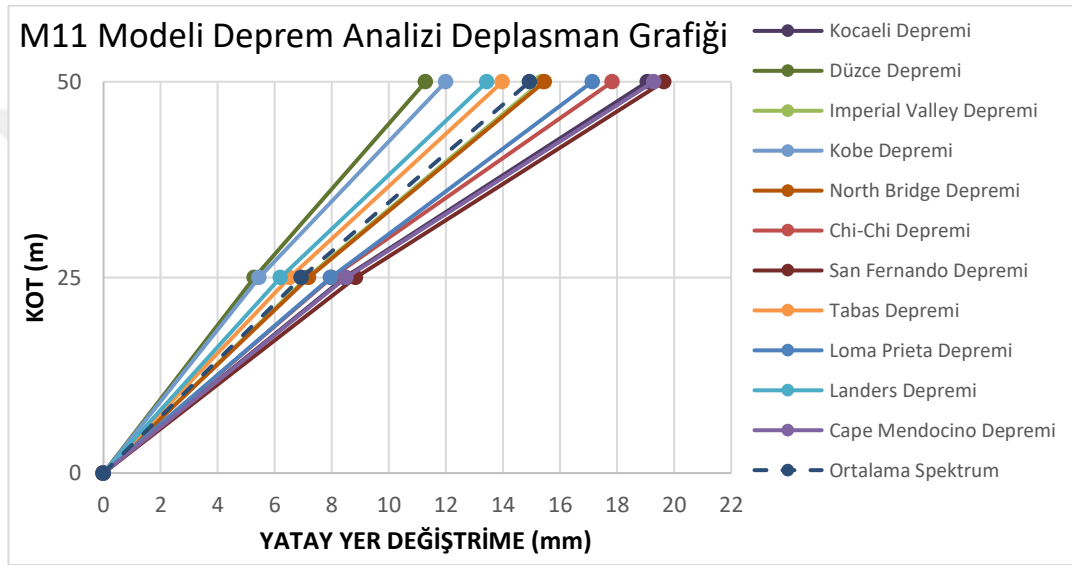
Şekil 4.3. DD-1 ve DD-2 deprem durumundaki yatay yer değiştirmeler a) DD-2 Deprem koşulu, b) DD-1 Deprem koşulu

Şekil 4.3a'da DD-2 deprem durumu için platformlu ve platformsuz modellere ait sonuçlar karşılıklı olarak ele alındığında tüm sonuçlarda platformlu modellerin hem taban kotu hem de tepe kotu yatay yer değiştirme miktarında, daha büyük yer değiştirmeler sağladığı görülmektedir. En büyük yatay yer değiştirme miktarındaki ayrışım katı model zemin tanımlı M23 ve M13 için elde edilen sonuçlarda görülmektedir. DD-1 deprem durumuna ait sonuçların verildiği Şekil 4.3b'deki grafik incelendiğinde benzer durum burada göze çarpmaktadır. Bu grafikte de maksimum yatay yer değiştirme miktarları platformlu durum için elde edilmiştir. Bu grafikteki en büyük ayrışım DD-1 deprem durumu içinde DD-2 deprem durumunda olduğu gibi katı modelle zemin tanımı yapılmış modellerde elde edilmiştir.

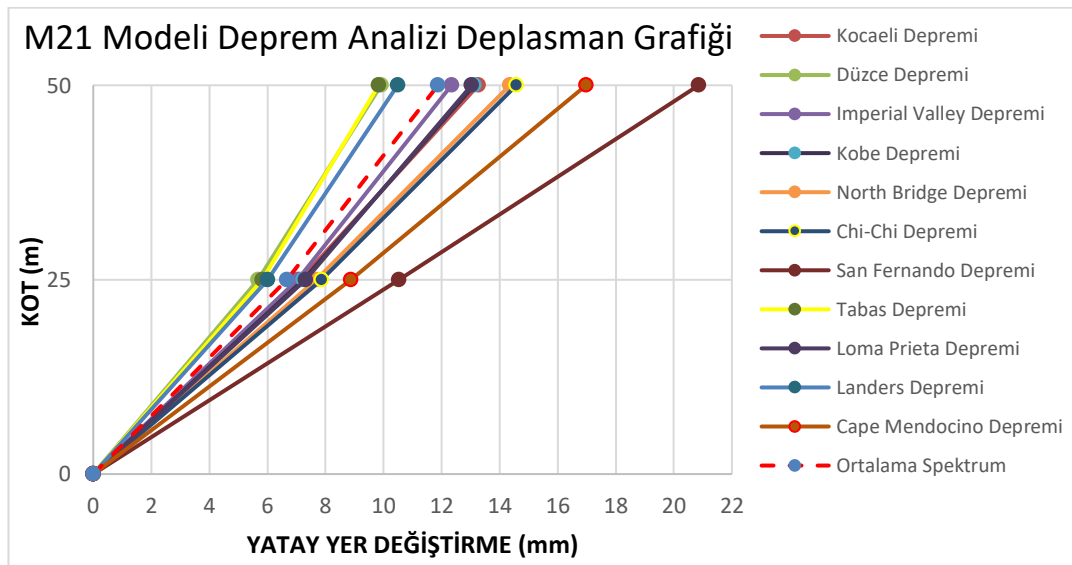
Yapı taşıyıcı sisteminin davranışının belirlenmesinde ikinci aşama olarak dinamik analizler yapılmıştır. Yapılan bu çalışmada Çizelge 3.7'de ifade edilen 11 adet deprem ivme kaydı çalışmada seçilen konumlar için, AFAD deprem tehlike haritasından zemin verileri alınmış, bu zemin verilerinin ortalamasına ve yapı

periyodlarına göre ölçeklendirilmiştir. Ölçeklendirilmiş ivme kayıtları için tüm modeller ankastre, yay sabitli zemin durumu ve katı model zemin durumu için platformlu ve platformsuз olmak üzere analizleri yapılmıştır.

Şekil 4.4'te ankastre mesnet koşuluna sahip platformlu ve platformsuз modeller için çalışmanın bütününde yer aldığı gibi ankastre, yay sabitli zemin durumu ve katı model zemin durumu için 3 ayrı grupta deniz taban kotundan platform taban kotuna kadar olan yatay yer değiştirme miktarları, grafik halinde sunulmuştur.



a) Ankastre mesnet koşulunda Platformlu



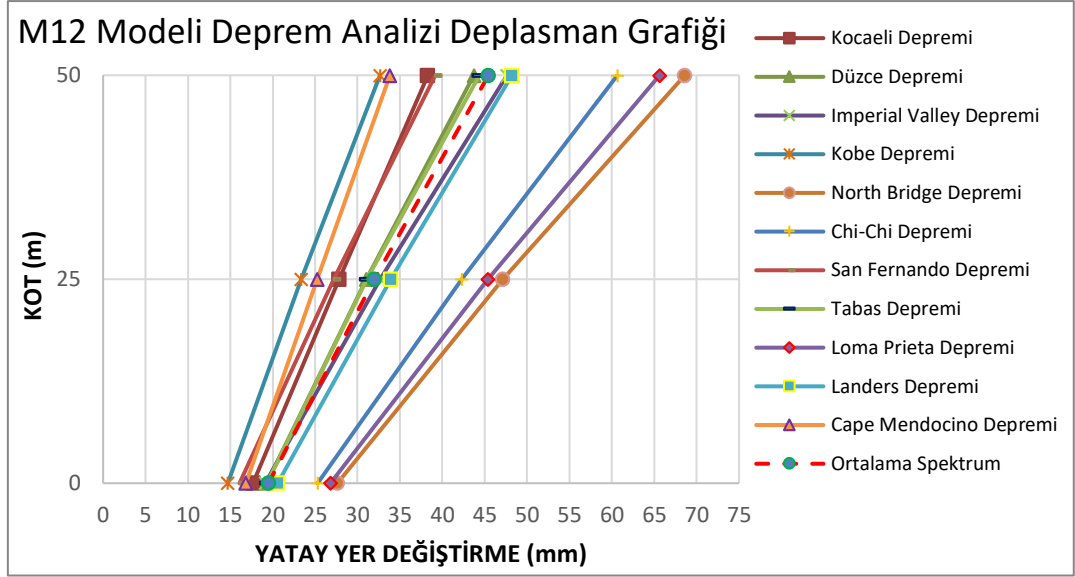
b) Ankastre mesnet koşulunda Platformsuз

Şekil 4.4. Dinamik deprem analizi yatay yer değiştirmeler a) Ankastre mesnet koşulunda Platformlu, b) Ankastre mesnet koşulunda Platformsuз

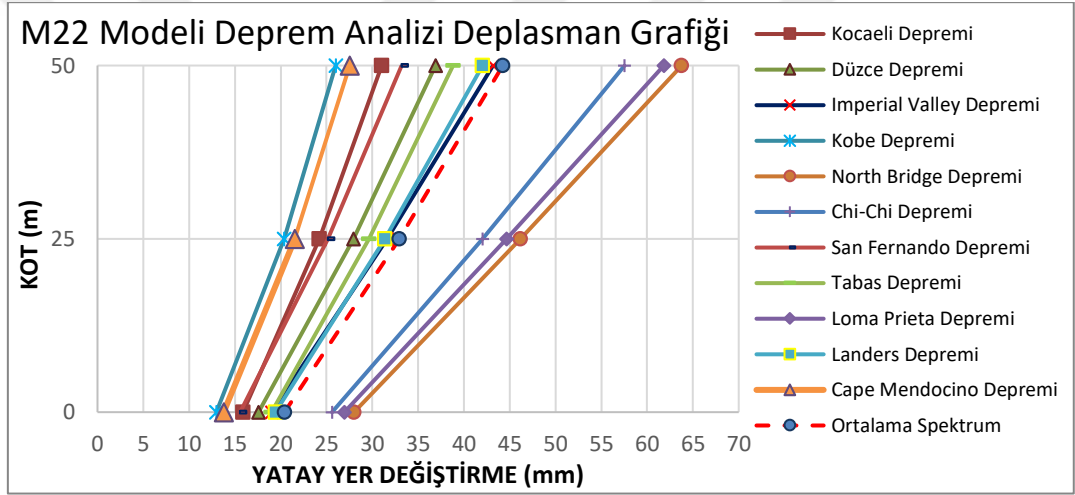
Şekil. 4.4a'da ankastre mesnetlenme koşulu sahip platformlu model, 11 ayrı deprem ivme kaydı için yatay yer değiştirme grafikleri sunulmuştur. Grafikler incelendiğinde en küçük yatay yer değiştirme değeri Düzce Depremi için yaklaşık 11 mm mertebelerinde elde edilmiş, maksimum yatay yer değiştirme ise San Fernando Depremi için yaklaşık 19 mm civarında elde edilmiştir. Grafikte kesikli çizgi olarak ifade edilen yatay yer değiştirme eğrisi 11 farklı deprem ivme kaydının ortalama ivme spektrum eğrisini ifade etmektedir. Bu ivme spektrum eğrisini incelediğimizde ankastre mesnetlenme koşuluna sahip platformlu model için platform taban kotunda yaklaşık 14 mm yatay yer değiştirme miktarı görülmektedir.

Ankastre mesnetlenme koşuluna sahip platformsuz model Şekil 4.4b'de verilmiştir. Ankastre mesnetlenme koşuluna sahip platformsuz model incelendiğinde platformlu model ile platform taban kotu yatay yer değiştirme miktarı ile çok küçük farklarla benzerlik göstermektedir. Tepe kotu yatay yer değiştirmelerinde benzerlik gösteren platformlu ve platformsuz modeller özellikle +25.00 m kotundan tepe kotuna kadar olan davranışta birbirinden ayrılmaktadır. Platformlu modelde +25.00 m kotu ve üzerindeki davranışta, yapı taşıyıcı sistemindeki yatay yer değiştirmeye olan eğilim artmaktayken platformsuz modelde yatay yer değiştirmeye olan eğilim azalmaktadır. Bu durum platformsuz modelde yapı ötelenme rijitliği +25.00 m ve üzerinde artmakta olduğunu göstermektedir. Bu grafikler ankastre mesnetlenme koşuluna sahip modellerde platformun etkili olduğunu göstermektedir.

Şekil 4.5'te yay tanımlı zemin durumuna ait platformlu ve platformsuz modellere ait sonuçlara yer verilmiştir.



a) Yay sabitli zemin tanımı-Platformlu

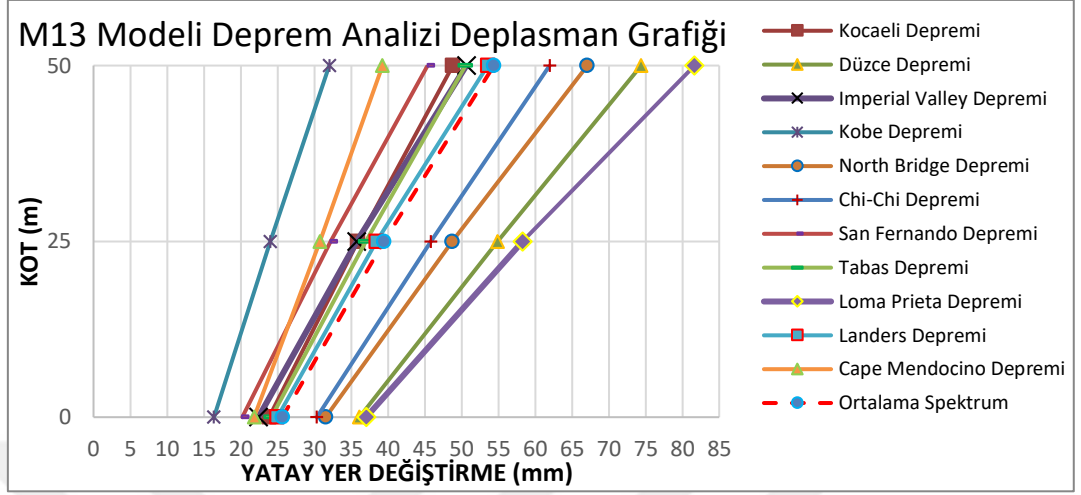


b) Yay sabitli zemin tanımı-Platformsuz

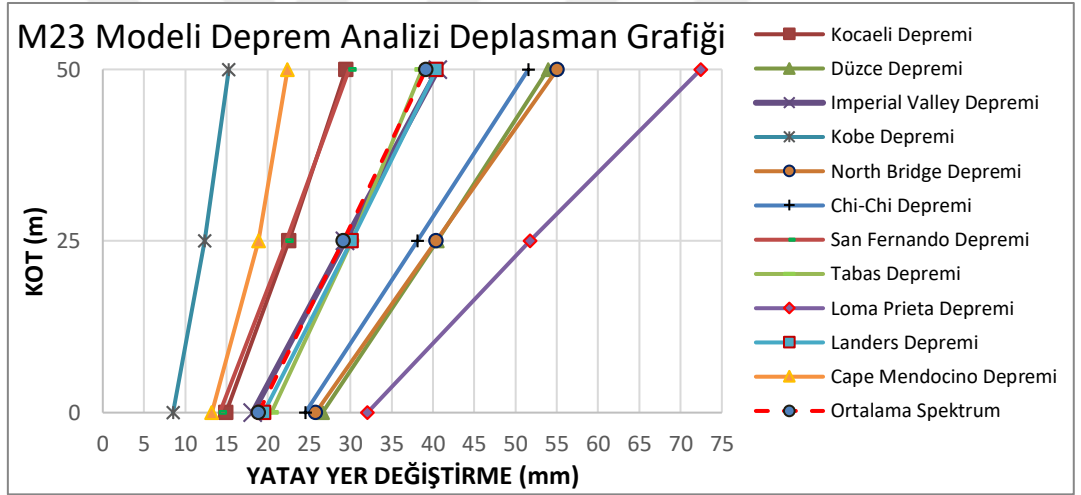
Şekil 4.5. Dinamik deprem analizi yatay yer değiştirmeler a) Yay sabitli zemin tanımı-Platformlu, b) Yay sabitli zemin tanımı-Platformsuz

Buradaki yer değiştirme miktarları hem taban kotunda hem de platform kotunda ankastre modelde olduğu gibi birbiriyle tutarlıdır. Yapısal davranışı baktığımızda aynı ankastre modelde olduğu gibi yine 25 metre kotu ve üzerindeki yer değiştirmeye olan eğilim platformlu modelde artarak devam ederken, 25 metre kotu üzerinde platformsuz modelde yer değiştirme miktarında olan ötelenme rijitliği artmıştır. Bu analizlerde de özellikle yay tanımlı modelde de platformun yapısal davranışı etkilediği açıkça görülmektedir.

Şekil 4.6'da katı model zemin tanımlı platformlu- platformsuз modellere ait analiz sonuçlar görölmektedir.



a) Katı model zemin tanımlı-Platformlu

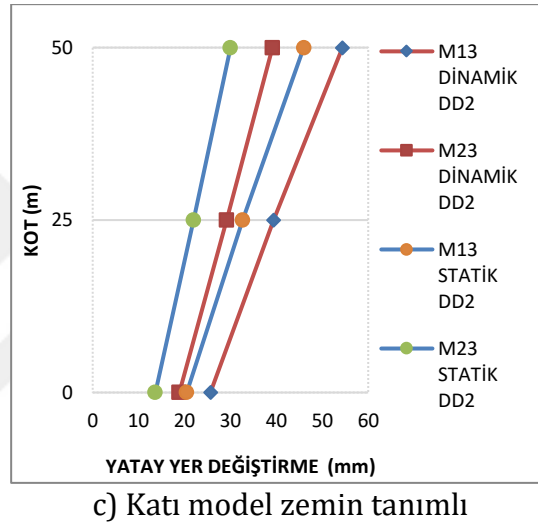
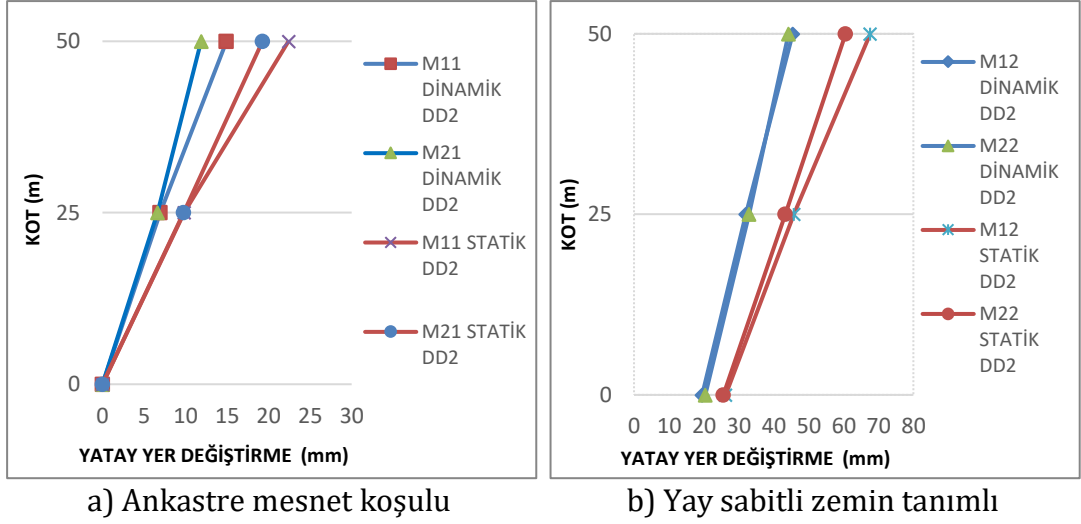


b) Katı model zemin tanımlı-Platformsuз

Şekil 4.6. Dinamik deprem analizi yer değiştirmeler a) Katı model zemin tanımlıPlatformlu, b) Katı model zemin tanımlı-Platformsuз

Burada görölen sonuçlarda diğer iki mesnetlenme koşulu içinde benzer nitelik de olup, bu sonuçlar açısından da durumu değerlendirdiğimizde yine platformlu durumun yapısal davranışa etkisi bu analizlerde de açıkça görölmektedir.

Şekil 4.7'de ankastre, yay sabitli zemin tanımlı ve katı model zemin tanımlı modellerin platformlu ve platformsuз durumları için dinamik ve statik deprem etkisinde kendi içlerinde ayrı ayrı davranışları grafik halinde sunulmuştur.



Şekil 4.7. DD-2 dinamik ve statik deprem durumlarındaki yatay yer değiştirmeler
a) Ankastre mesnet koşulu, b) Yay sabitli zemin tanımlı, c) Katı model zemin tanımlı

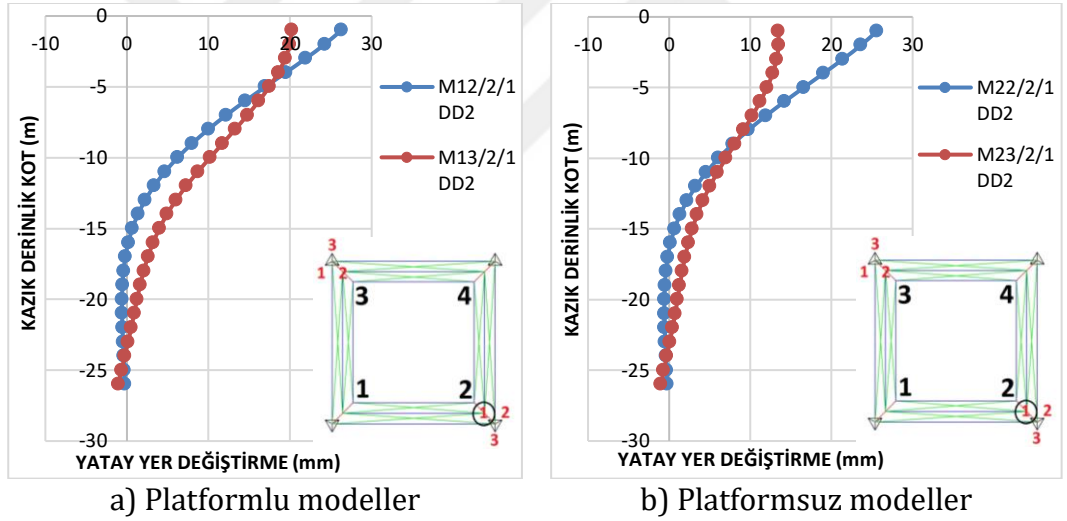
Şekil 4.7a'da ankastre modelin dinamik ve statik analiz sonuçları platformlu ve platformuz olmak üzere karşılaştırılmalı verilmiştir. Grafikte DD-2 deprem durumu için eş değer statik yükleme ve DD-2 durumu için Çizelge 3.7'de ifade edilen 11 adet ölçeklendirilmiş deprem ivme kaydının ortalama ivme spektrum eğrisinden elde edilmiş yatay yer değiştirme grafiği verilmiştir. Grafik incelendiğinde ankastre mesnetlenme koşulu için statik analizde elde edilen yer değiştirmelerin dinamik analizde elde edilen verilerden hem platformlu hem de platformuz durum için ortalama tepe kotu yatay yer değiştirme miktarı için yaklaşık %50 mertebelerinde fark koyduğu ortaya çıkmıştır.

Şekil 4.7b'de yay sabitli zemin mesnetlenme koşuluna ait platformlu ve platformuz durum için dinamik ve statik analiz sonuçları karşılaştırılmalı olarak verilmiştir. Grafik incelendiğinde de ankastre sonuçla paralel olarak statik analiz sonuçları, dinamik analiz sonuçlarından daha büyük yanal ötelenme sergilediği görülmektedir. Yay sabitli mesnetlenme koşulu için platformlu ve platformuz durumunun her ikisinde statik analizdeki taban kotu yanal ötelenme miktarı, dinamik analizdeki yanal ötelenme miktarından yaklaşık 5 mm fazla çıkmıştır. Tepe kotu platform kotu yer değiştirmelerine baktığımızda dinamik analizde tepe kotu yer değiştirme miktarı 40 mm mertebelerindeyken statik analizde tepe kotu yer değiştirme miktarları platformlu durum için yaklaşık 70mm mertebelerindeyken platformuz durum için bu değer 60 mm mertebelerindedir. Burada elde edilen sonuç statik analiz ankastre de elde edilen sonuçla özellikle statik analiz sonucunda elde edilen yer değiştirme miktarlarının dinamik analizde elde edilen yer değiştirme miktarlarının fazla olmasıyla örtüşmektedir. Ancak Şekil 4.7c'de verilen grafik göstermektedir ki katı model zemin tanımlı durum için elde edilen analiz sonuçlarına göre ankastre ve yay tanımlı zemin durumuna göre elde edilen sonuçlarda farklı olarak bu modelde dinamik analiz sonuçlarının statik analiz sonuçlarından daha büyük yanal yer değiştirme yaptığı görülmektedir. Yapının katı model zemin durumu için elde edilen yapılan analizlerde dinamik analizde kütle ivme kaynaklı yer değiştirmeye zorlanırken, statik analizde kütle hesaplanan statik itme kuvveti için yer değiştirmeye zorlanmaktadır. Katı model için elde edilen grafiklerde ivme kaynaklı yer değiştirmeye zorlanan sistemde hem platform hem de sistemin sahip olduğu kütle için ağırlığı dinamik analizde davranışı belirlediği ve yanal ötelenme miktarınca statik analizden ortalama % 12-13 daha büyük yer değiştirme yaptığı görülmektedir. Hem davranış hem de yanal yer değiştirme açısında statik analizden belirgin şekilde ayrışan dinamik analiz sonuçları bize göstermektedir ki bu tipteki sistemlerde hem katı model zemin tanımlama durumunun hem de dinamik analiz durumunun irdelenmesinde katı model zemin tanımlanmış durumuyla birlikte değerlendirilmesinin yapısal davranış açısından daha önemli olduğu görülmüştür. Aynı zamanda tasarımcı için özellikle yapı taşıyıcı sistem 25 metre ve kotu üzerindeki yanal ötelenmeye olan eğilimin artmasıyla platformun

yapısal davranış üzerindeki etkisi daha etkin şekilde görüldüğü, bu analiz sonuçlarında da karşımıza çıkmaktadır.

Çalışmada statik ve dinamik olarak analizlerin yapıldığı tüm modellerde, temel sistemini farklı mesnetlenme koşulları ve platformlu ve platformsız durum için analizleri yapılmış ve kuvvet yönüne göre basınç ve çekme bölgesinde yer alan ayaklarda maksimum yatay yer değiştirmenin okunduğu kazıklar için grafikler oluşturulmuştur.

Şekil 4.8'de platformlu ve platformsız durum için 2 no'lu ayaktaki 1 no'lu kazıkların DD-2 deprem durumuna göre yatay yer değiştirmeleri kazık ucundan kazık başlangıcına kadar 1m'lik kot düşüşleri için; yay sabitli zemin tanımı, katı model zemin tanımı için karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

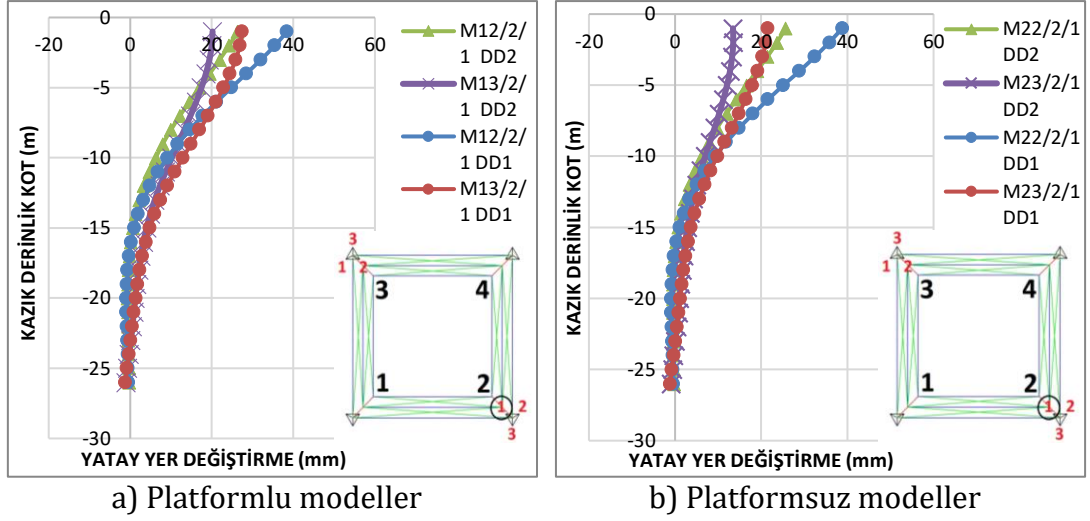


Şekil 4.8. DD-2 statik deprem durumunda 2'nolu ayakların 1'nolu kazıklarındaki yatay yer değiştirmeler a) Platformlu modeller, b) Platformsız modeller

Grafikler incelendiğinde hem platformlu hem platformsız durumdaki kazık yatay yer değiştirme miktarları ve genel davranışı, katı model zemin tanımlı model ile yay sabitli zemin tanımlı modellerin birbirinden ayrıştığı görülmektedir. Platformlu modelde kazık başı yer değiştirme miktarı katı modellenli zemin durumu için 20mm, yay sabitli zemin durumu için 27mm olarak görülmektedir. Yay sabitli zemin durumunda kazık ucu yatay yer değiştirme sıfırlanırken, katı modellenli

zemin durumunda yatay yer değiştirme durumu sıfırlanamamış 2 mm civarında kazık ucunda itme yönüne ters yönde yatay yer değiştirme görölmüştür. Yay sabitli zemin durumunda -13m kotuna kadar doğrusal bir eğimde hareket ederken, -13m den kazık ucuna kadar yatay yer değiştirmeyi sönümleyici yönde etki yaparak +25mm civarındaki kazık başı yatay yer değiştirmesini kazık ucuna ulaşana kadar sönümlenmiştir. Sönümün büyük bir kısmı -12m ile -26m aralığında gerçekleşmiştir Benzer durum platformsuz model içinde aynıdır. Bowles formülleri kullanılarak hesaplanan zemin yatak kat sayılarını yay sabiti olarak kullandığımız sonlu elemanlar modellerinde -12m ve altındaki yay sabit değerleri etkin bir rijitlikte olup sönümün bu aralıkta gerçekleşmesinde katkı sağlamıştır. Literatürde diğer çalışmalarda Bowles formüllerinin dinamik analizde daha etkin sonuçlar verdiği kabulü üzerinden durum değerlendirildiğinde gerçek zemin durumunu yansıtmadı için oluşturulmuş katı model zemin tanımından ayrışma bu şekilde açıklanabilir durumdadır. Katı zemin durumuna ait sonuçlar kendi içinde değerlendirildiğinde kazık başında 0m ile -5m kotu aralığında kazığın itme yönüne göre ters yönde bir direnç sağladığı görölmektedir. Katı modellenli zeminin kazık başında yatay yer değiştirmeye karşı yanal ötelenme rijitliğinin yay sabitli zemin durumuna göre yüksek olduğu görölmektedir. Yay sabitli zemin modellerinde kazık üzerindeki yatay yer değiştirme miktarı 0-15m kotu aralığında sönümlenirken, katı modellenli zemin modellerinde yatay yer değiştirme miktarı tüm kazık boyunca daha verimli bir şekilde sönümlendiği görölmektedir. Bu durum kazık davranışında grafiğin daha rijit bir eğimde sonuçlar vermesi olarak karşımıza çıkmaktadır.

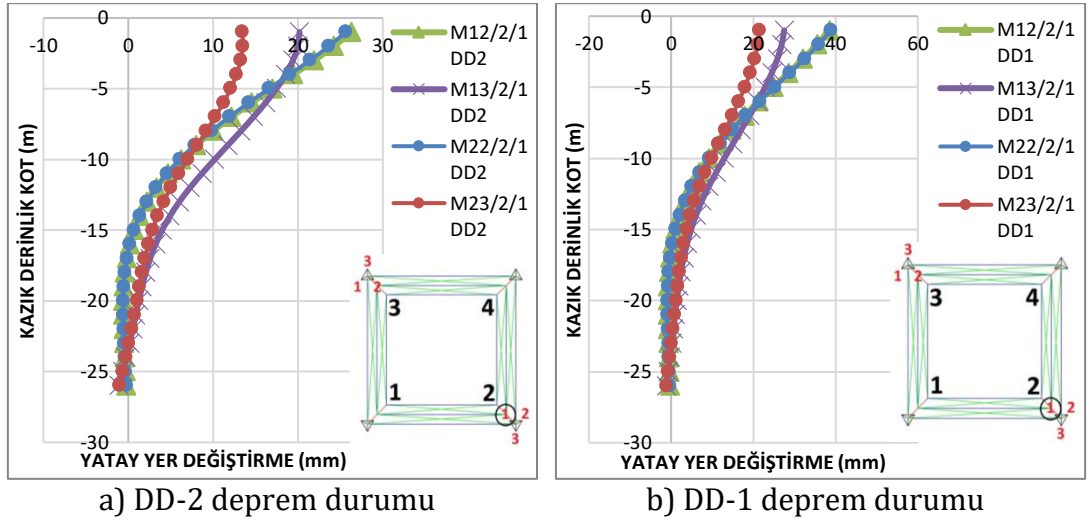
şekil 4.9'da DD-1 ve DD-2 durumundaki statik deprem yükleri altındaki yatay yer değiştirme grafikleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir.



Şekil 4.9. DD-1 ve DD-2 statik deprem durumlarında 2'nolu ayakların 1'nolu kazıklarındaki yatay yer değiştirmeler a) Platformlu modeller, b) Platformsız modeller

Platformlu ve platformuz yatay yer değiştirme miktarları incelendiğinde DD-1 deprem durumunda davranışça bir farklılık görülmemiş, yatay yer değiştirme miktarlarında artış olarak sonuçlara yansımıştır.

Şekil 4.10'da platformlu ve platformuz modeller DD-1 ve DD-2 deprem durumları için aynı grafikte karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

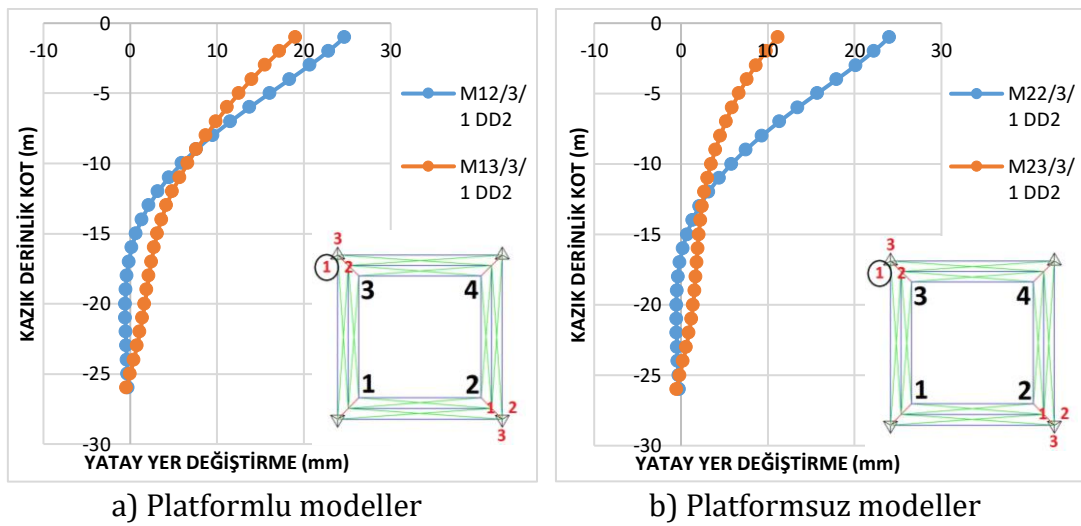


Şekil 4.10. DD-1 ve DD-2 statik deprem durumunda 2'nolu ayakların 1'nolu kazıklarındaki yatay yer değiştirmeler a) DD-2 deprem durumu, b) DD-1 deprem durumu

Grafikler incelendiğinde her iki deprem durumunda da yay sabitli zemin durumunda platformlu ve platformsuza ait kazık yatay yer değiştirme grafikleri birbiri ile birebir örtüşürken, katı modellenli zemin tanımlı modellerde platformlu ve platformsuza ait kazık davranışları benzese de yatay yer değiştirme miktarları açısından birbirinde ayrılmaktadır. Hem DD-1 hem de DD-2 deprem durumunda platformsuza modeller için elde edilen yatay yer değiştirme miktarları platformlu modellere göre daha küçük değerler almıştır. DD-2 deprem durumunda platformlu model platformsuza modele kıyasla, kazık başında 6 mm civarında yatay yer değiştirme farkı ortaya koymuş, DD-1 deprem durumunda bu fark 12 mm civarında sonuç vermiştir. Bu durum bu tip yapılarda platform, zeminin mesnetlenme koşulunda ve taşıyıcı sistemin altındaki temel kısmında görev alan kazıkların davranışları üzerindeki etkisini açıkça göstermektedir.

Çalışmada temel bölümünde yer alan kazıkların yapısal davranışını daha ayrıntılı ele alabilmek için itme bölümünde itme yönüne göre çekme bölgesinde yer alan kazıkların yatay yer değiştirmeleri de ayrı grafik halinde sunulmuştur.

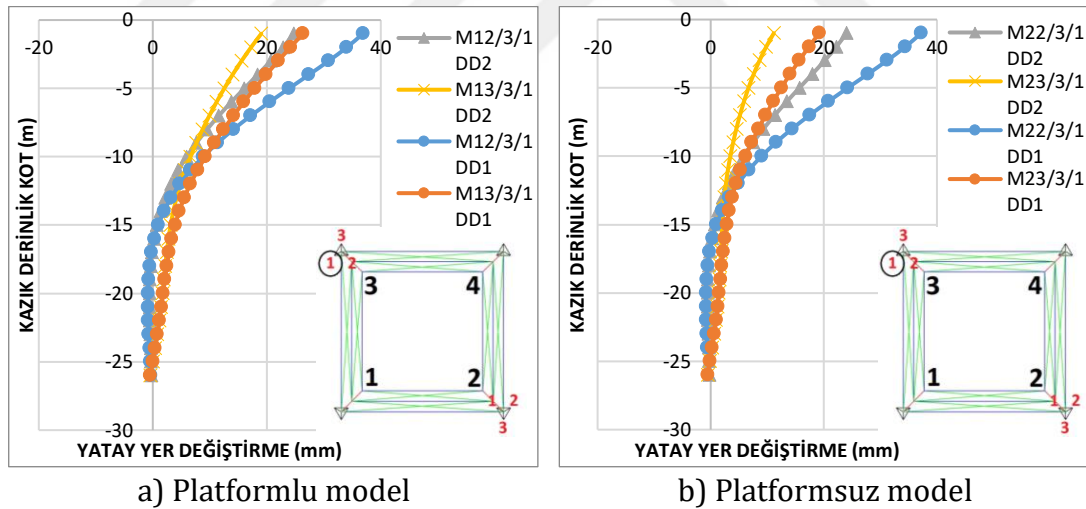
Şekil 4.11'de platformlu ve platformsuza için 3 no'lu ayak 1 no'lu kazık için DD-2 statik deprem durumuna göre yatay yer değiştirme grafikleri birlikte sunulmuştur.



Şekil 4.11. DD-2 statik deprem durumunda 3'ünlü ayakların 1'ünlü kazıklarındaki yatay yer değiştirmeler a) Platformlu modeller, b) Platformsuza modeller

Grafik incelendiğinde basınç bölgesinde olduğu gibi çekme bölgesinde de yay sabitli zemin durumunun katı modellenmiş zemin durumuna göre farklılık gösterdiği bu bölümde de kazıkların, kazık başı yer değiştirmesi olarak katı modellenmiş zemin durumu, yay sabitli zeminden daha düşük sonuçlar verdiği görülmektedir. Bu bölümde platformlu model için her iki mesnet koşulu arasındaki kazık başı göreceli fark 5 mm iken platformsuz modeldeki kazık başı göreceli fark 13 mm civarında çıkmıştır. Bu modelde de Bowles zemin yatak katsayılarının bir sonucu olarak yay sabitli zemindeki yatay yer değiştirme miktarı büyük oranda 0m-15m kotu arasında sönümlenmiş katı modellenmiş zemin modelinde bu durum kazık bütününe yansımıştır. Bu sonuçları basınç bölgesinden ayıran en belirgin farklılardan bir tanesi kazık ucu yatay yer değiştirme miktarları her iki mesnetlenme koşulu içinde aynı olup 0 mm yakın yatay yer değiştirme ile sonuçlanmıştır.

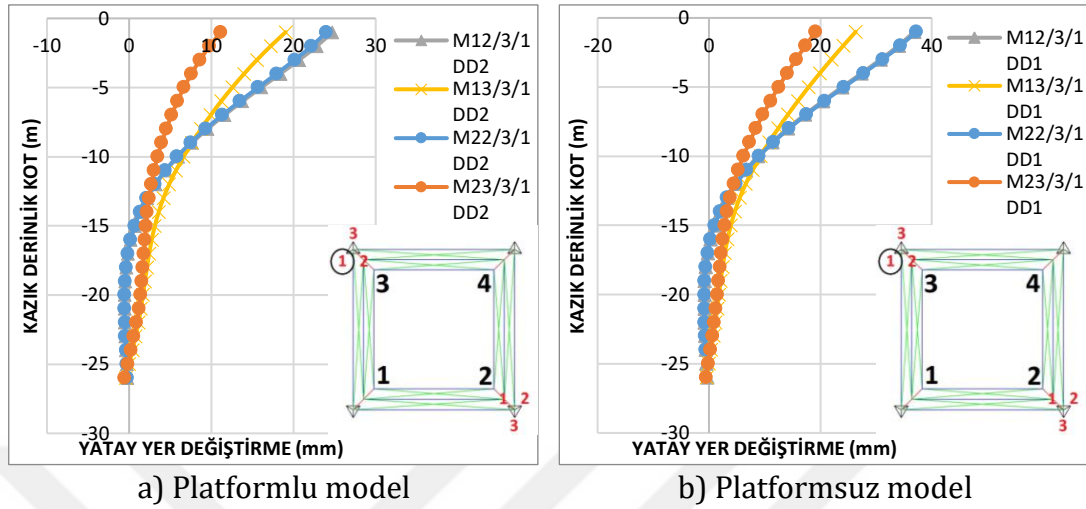
Şekil 4.12’de platformlu ve platformsuz modellerin DD-1 ve DD-2 deprem durumu karşılaştırmalı olarak verilmiştir.



Şekil 4.12. DD-1 ve DD-2 statik deprem durumlarında 3’üncü ayakların 1’inci kazıklarındaki yatay yer değiştirmeler a) Platformlu modeller, b) Platformsuz modeller

Burada da görüldüğü üzere artan deprem kuvvetinin etkisi ile birlikte kazık yatay yer değiştirme miktarları doğru orantılı olarak artış göstermiş davranışça bir farklılık çıkmamıştır.

Şekil 4.13'te platformlu ve platformsız modellerin DD-1 ve DD-2 deprem durumları için davranışları ayrı ayrı sunulmuş, kendi içlerinde karşılaştırılmıştır.

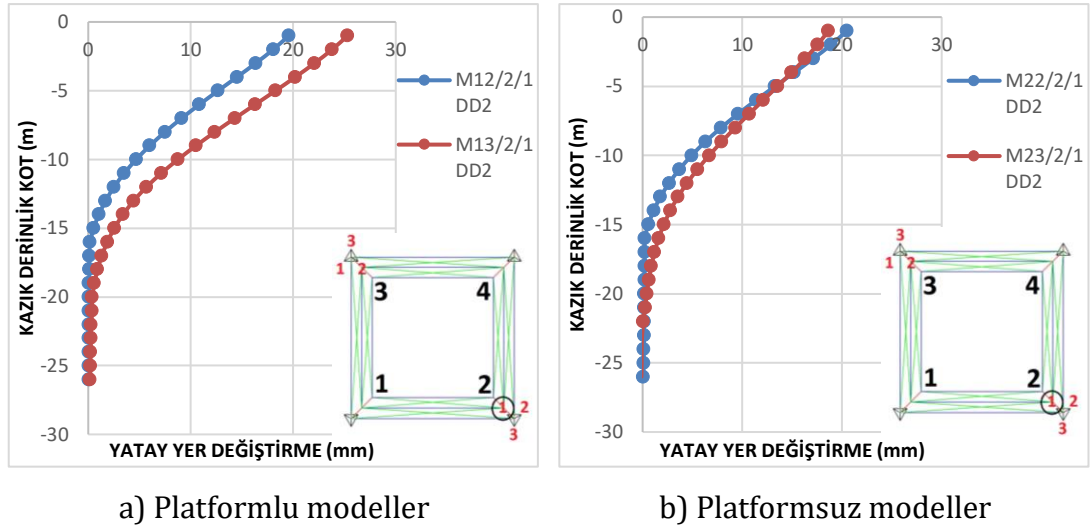


Şekil 4.13. DD-1 ve DD-2 statik deprem durumlarında 3'üncü ayakların 1'inci kazıklarındaki yatay yer değiştirmeler a) Platformlu modeller, b) Platformsız modeller

Bu grafikler incelendiğinde basınç bölgesinde olduğu gibi çekme bölgesinde yer alan kazıklarda da yay sabitli zemin mesnet koşulları için elde edilen sonuçlar birbirleriyle örtüşürken, katı model zemin tanımlı mesnetlenme koşullarında platformlu duruma ait sonuçlar, platformsız duruma ait sonuçlardan yatay yer değiştirme miktarınca ayrılmakta ancak davranışça uyum içerisindedir. Bu durum bu tipteki yapılarda mesnetlenme koşulları ve sistemin platformlu ya da platformsız olarak modellenmesinin yapısal davranış ve sonuçların yorumlanmasında farklılıklar gösterdiğini göstermektedir.

Çalışmanın sığ derinliklerde hizmet vermesi planlanan açık deniz yapılarına etkiyen sismik yükler dinamik olarak analiz edilmiş itme yönüne göre basınç ve çekme ayaklarındaki maksimum yatay yer değiştirme yapan kazıklar için grafik halinde gösterilmiştir

Şekil 4.14'te platformun temel kısmı basınç bölümünde yer alan 2'inci ayak 1'inci kazığa ait yatay yer değiştirme grafiği sunulmuştur.

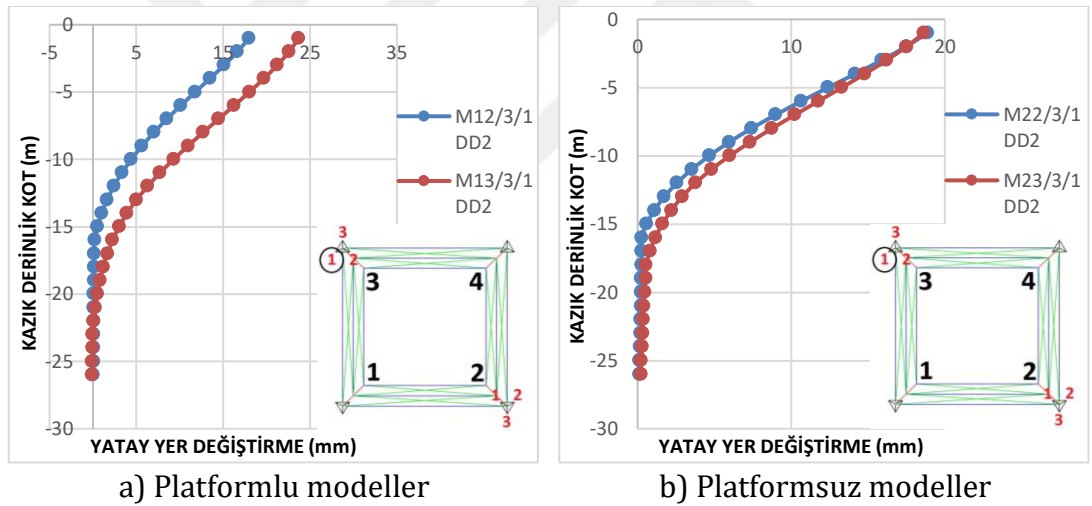


Şekil 4.14. DD-2 dinamik deprem durumunda 2'nolu ayakların 1'nolu kazıklarındaki yatay yer değiştirmeler a) Platformlu modeller, b) Platformsuz modeller

Yapının dinamik analizleri için Çizelge 3.7'de verilen 11 farklı ivme kaydı, yapının hizmet vermesi planlanan bölge için AFAD verileri dikkate alınarak ölçeklendirilmiş, ölçeklendirilmiş kayıtlar üzerinden ortalama spektrum eğrisi elde edilmiştir. Analizlerde bu ortalama spektrum eğrisi dikkate alınmıştır. Ortalama spektrum eğrisi için yapılan analizler sonucunda elde edilen sonuçlar bu bölüm kapsamında paylaşılmıştır. Çalışmada yay sabitli zemin durumu ve katı model tanımlı zemin durumunun yapısal davranış ve temel sistemi üzerine etkilerinin irdelendiği bu çalışmada, dinamik analiz için elde edilen sonuçlar dikkatli bir şekilde incelendiğinde literatürde Bowles formüllerinin dinamik analizde daha etkin sonuçlar verdiği hususunda uyum içindedir. Statik analizlerde katı model zemin koşulları için elde edilen yatay yer değiştirme grafikleri, yay sabitli zemin koşulları için elde edilen yatay yer değiştirme grafiklerinden ayrılmaktaydı. Ancak bu bölümdeki grafikler incelendiğinde yatay yer değiştirme miktarları kazık başında birbirinden ayrılsa da kazık davranışları kazık başından kazık ucuna birbiri ile uyum içinde olduğu görülmüştür. Bu sonuç çalışmada kullanılan katı model zemin tanımlamasının literatürde de ki Bowles yaklaşımları ile uyum içinde olduğu elde edilen sonuçlarında bu kapsamda literatürle uyum içerisinde olduğu görülmüştür.

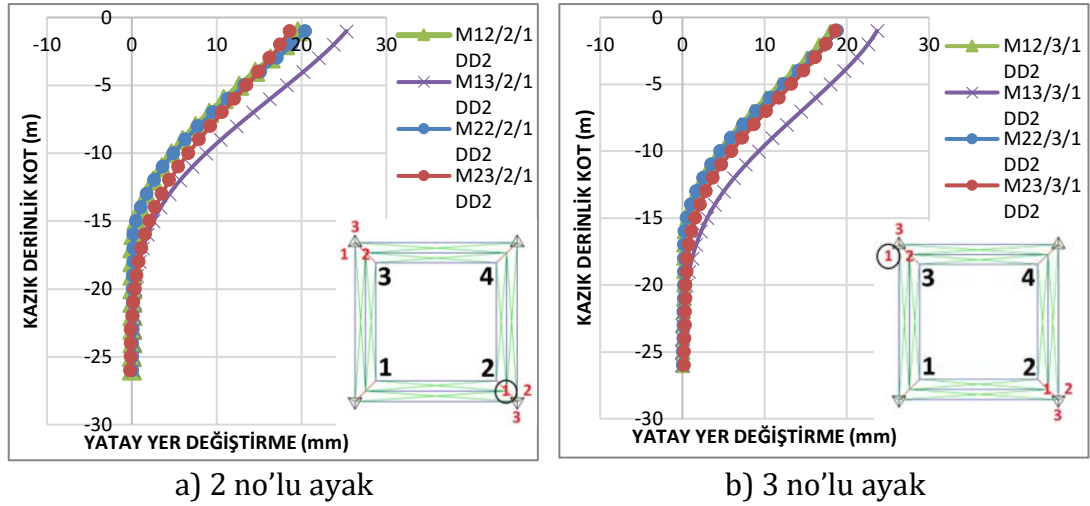
Şekil 4.14a'da platformlu modelin yay sabitli zemin tanımlı olan model incelendiğinde davranışça birbiri ile uyum içerisindeyken kazık başı yatay yer değiştirme miktarı ile katı modellenmiş zemin tanımlı modele ait kazığın, yay sabitli zemin tanımlı modele ait kazıktan 5 mm daha fazla yatay yer değiştirme yaptığı gözlemlenmektedir. Burada kazık yatay yer değiştirme miktarı, yay sabitli zemine ait kazığın 0-15 m kotu aralığında büyük oranda sönümlenmiş, katı modellenmiş zemine ait kazığın 0-20 m arasında % 95'e varan oranlarda yatay yer değiştirmenin sönümlendiği görülmüştür. Her iki durumda da kazık ucu yatay yer değiştirme miktarları sıfırlanmıştır.

Dinamik analizlerde çekme bölümünde yer alan 3 no'lu ayak 1 no'lu kazık için platformlu ve platformuz durum için elde edilen grafikler Şekil 4.15'te gösterilmiştir.



Şekil 4.15. DD-2 dinamik deprem durumunda 3'nolu ayakların 1'nolu kazıklarındaki yatay yer değiştirmeler a) Platformlu modeller, b) Platformuz modeller

Şekil 4.16'da platformlu ve platformuz modellere ait sonuçlar karşılaştırılmalı olarak sunulmuştur.



Şekil 4.16. DD-2 dinamik deprem durumundaki platformlu ve platformsuz modeller ait yatay yer değiştirmeler a) 2 no'lu ayak, b) 3 no'lu ayak

Basınç bölgesinde olduğu gibi yay sabitli zemin tanımı yapılan modeller birbirleriyle birebir uyum içerisindeyken, katı model zemin tanımlı modeller için sonuçlar platformlu ve platformsuz durumları olarak burada da ayrılmaktadır. Platformlu ve platformsuz durum için katı model zemin tanımlı modeller hem basınç bölgesinde hem de çekme bölgesinde yer alan kazıklar, dinamik ve statik analizler için karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Çalışmanın bütününde hem üst yapının davranışı hem de temel davranışının yorumlandığı tüm grafiklerde, platformun hem üst yapı davranışına hem de temel davranışına, yatay yer değiştirme miktarında belirgin olarak farklılık ortaya koyduğu karşımıza çıkmaktadır. Bu durum bu tipteki sistemlerin analizinde, platformun yapısal davranış açısından önem arz ettiğini, yatay yer değiştirme ve yatay yer değiştirmenin eğiminin değiştiği kotlar dikkate alındığında, özellikle tasarım yaklaşımlarında, platformun dizayn parametresi olarak dikkate alınması gerektiği genel bir sonuç olarak karşımıza çıkmaktadır.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada sabit ceket tipi açık deniz yapılarının dinamik ve statik deprem yüklemeleri altında, farklı mesnetlenme koşulları için platformlu ve platformsuz olarak analizleri yapılmıştır. Yapılan analizlerde taşıyıcı sistem ve kazıklı temel sisteminin davranışları karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Yapılan analizler sonucunda elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmuştur;

- Çalışmada oluşturulan tüm modeller DD-1 ve DD-2 statik deprem yüklemeleri altında her iki durum için deniz taban kotundan platform taban kotuna kadar olan yatay yer değiştirme miktarları karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlarda platformlu modeller platformsuz modellerden, DD-2 deprem durumu için ankastre mesnet koşulunda %15, yay tanımlı zemin modellerinde %11 ve katı model zeminli modellerde %33 daha fazla yatay yer değiştirme yaptığı görülmüştür. DD-1 deprem durumu için ise bu durum, platformlu modeller, platformsuz modellerden ankastre mesnet koşulunda %9, yay tanımlı zemin modellerinde %7 ve katı model zeminli modellerde %24 daha fazla yatay yer değiştirme yaptığı görülmüştür
- Dinamik ve statik DD-2 deprem durumu için analiz sonuçları karşılaştırıldığında ankastre mesnet koşuluna sahip modellerde, statik deprem kuvveti ile elde edilen yanal yer değiştirme miktarı dinamik deprem kuvveti neticesinde elde edilen yanal yer değiştirme miktarından yaklaşık % 50 daha fazla çıkmıştır. Yay sabitli zemin mesnetlenme koşulu içinde statik deprem kuvveti ile elde edilen yanal yer değiştirme miktarı, dinamik deprem kuvveti sonucunda elde edilen yanal yer değiştirme miktarından yaklaşık % 50 daha fazla çıkmıştır. Ancak katı model zemin tanımlı mesnetlenme koşulu diğer mesnetlenme koşullarından farklı olarak dinamik deprem kuvvetinde oluşan yanal yer değiştirme miktarı statik deprem durumunda oluşan yanal yer değiştirme miktarından % 25 daha fazla çıktığı görülmüştür.

- Çalışmada statik DD-1 ve DD-2 durumu için sismik yükler etki ettirilmiş ve kazık temel sisteminin davranışları, yay sabitli zemin durumu ve katı model zemin durumu olarak 2 farklı mesnetlenme koşulunda platformlu-platformsuz olarak incelenmiştir. İtme yönüne göre basınç ve çekme ayaklarındaki iki kazığa ait sonuçlar incelendiğinde her ikisi içinde, DD-1 ve DD-2 statik deprem durumlarında yay sabitli zemin mesnetlenme koşulu, katı model zemin tanımlı mesnetlenme koşulundan, kazık başı yanal yer değiştirme miktarı olarak yaklaşık % 30 daha fazla çıkmıştır. Burada iki farklı mesnetlenme koşulu için bir diğer ayıran özellik kazık davranışlarıdır. Katı model olarak tanımlanan zemin durumu, Bowles zemin yatak katsayıları formüllerine göre elde edilen yay sabitli zemin durumuna göre özellikle kazıkların -15m kotundan 0 m kotuna kadar ki bölümünde daha rijit davrandığı görülmüştür.
- Çalışmada dinamik deprem durumu için yapılan analizler sonucunda 2 mesnetlenme koşulu için basınç ve çekme bölgelerinde yer alan kazıklar incelendiğinde Bowles zemin yatak katsayıları formülleri kullanılarak elde edilen yay sabitli zemin mesnetlenme koşulu ile katı model zemin mesnetlenme koşulu için kazık davranışları birbirleriyle uyum içerisindedir. Katı model zemin mesnetlenme koşuluna sahip platformlu modellerde kazık başı yanal yer değiştirme miktarı platformsuz modellerden yaklaşık % 30 daha fazla çıkmıştır. Ancak yay sabitli zemin mesnetlenme koşulunda bu fark yok denecek kadar azdır.
- Statik deprem durumu etkisinde çekme ve basınç bölgesinde yer alan kazıklarda, kazık başı yatay yer değiştirmelerinde yay sabitli zemin mesnetlenme koşuluna sahip modeller, katı model zemin mesnetlenme koşuluna sahip modellerden yatay yer değiştirme miktarı olarak daha fazla çıktığı görülmüştür. Ancak dinamik deprem durumu kazık başı yatay yer değiştirmelerine bakıldığında katı model zemin mesnetlenme koşuluna sahip modeller, yay sabitli zemin mesnetlenme koşullarından daha fazla yatay yer değiştirme yaptığı görülmüştür.

Bu sonuçlar göstermektedir ki bu tipteki yapıların analizinde, sistemin platformla birlikte analiz edildiğinde elde edilen sonuçların, platformsuz sonuçlara göre özellikle yatay yer değiştirme miktarları ve yapısal davranış açısından hem taşıyıcı sistem hem de kazıklı temel sisteminde farklılıklar ortaya koyduğu görülmüştür. Hem davranış hem yanal yer değiştirme açısından, statik analizden belirgin şekilde ayrılan dinamik analiz sonuçları, hem katı model zemin tanımlama durumunun hem de dinamik analiz durumunun birlikte irdelenmesinin yapısal davranış açısından önemli olduğu görülmüştür. Tasarımcı için özellikle yapı taşıyıcı sistemi, 25 metre kotu ve üzerindeki yanal ötelenmeye olan eğilimin artmasıyla, platformun yapısal davranış üzerindeki etkisi daha etkin şekilde görüldüğü analiz sonuçlarında elde edilen bu farklılıkların, dizayn ve analiz prosedürlerinde dikkate alınması gerektiği görülmüştür. Yapılan bu çalışmada muhtemel sondaj sahaları için gerçek zemin verileri ve detaylı sismik çalışmalar ile birlikte daha gerçekçi sonuçların alınması beklenmektedir.

KAYNAKLAR

- Abdel Raheem, S., Abdel Aal , E. S. M. A., Abdel Shafy , A. G. A., Abdel Seed, F. K., 2012. Nonlinear Analysis of Offshore Structures Under Wave Loading. Lisboa, Portugal, 15th World Conference on Earthquake Engineering.
- ABS, 2016. Application of the Rules of the American Bureau of Shipping. Rules for building and classing. New York: American Bureau of Shipping
- API, 2000. Recommended Practice for Planning, Designing and Constructing Fixed Offshore Platforms: Working Stress Design. Washington: American Petroleum Institute
- Asgarian, B., Lesani , M., 2009. Pile–Soil-Structure Interaction in Pushover Analysis of Jacket Offshore Platforms Using Fiber Elements. Journal of Constructional Steel Research, 65(1), 209-218.
- Ateş, B., Şadoğlu, E., 2021. Kum Zeminlerdeki Kazıklı Radye Temellerin Optimum Kazık Aralığının Deneysel Olarak İncelenmesi. Teknik Dergi, 599, 10477-10493
- 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.
- Chakrabarti, S. K., 2005. Handbook of Offshore Engineering. 1000s. Amsterdam.
- Chandrasekaran S., Jain A.K., 2002. Dynamic Behaviour of Square and Triangular Offshore Tension Leg Platforms under Regular Wave Loads. Ocean Engineering, 29(3), 279-313.
- CSI, 2021. Computers and Structures Inc. Sap2000 Guidelines, CSI America, Berkeley
- Çelik, İ. D., Kocaman, T. B., Öztürk, Y., 2020. Değişen Dalga Periyotları Etkisindeki Açık Deniz Yapılarının Davranışının İncelenmesi. Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, 25(2), 623-637
- Elshafey, A. A., Haddara, M.R., Marzouk, H., 2009. Dynamic Response of Offshore Jacket Structures under Random Loads. Marine Structures, 22(4), 504-521.
- Ghazi, Z. M., Abbood, I. S., Hejazi, F., 2022. Dynamic Evaluation of Jack-up Platform Structure under Wave, Wind, Earthquake and Tsunami Loads. Journal of Ocean Engineering and Science, 7(1), 41-57.
- Hu, Y., Yang, J., Baniotopoulos, C., Wang, X., Deng, X., 2020. Dynamic Analysis of Offshore Steel Wind Turbine Towers Subjected to Wind, Wave and Current Loading During Construction. Ocean Engineering, 216, 108084.

- Kimiaei, M., Shayanfar, M. A., El Naggar, M. H., Aghakouchak, A. A., 2004. Nonlinear Response Analysis of Offshore Piles under Seismic Loads. Vancouver, Canada, 13th World Conference On Earthquake Engineering.
- Komachi, Y., Tabeshpour, M. R., Mualla, I. H., 2011. Retrofit of Ressalat Jacket Platform (Persian Gulf) Using Friction Damper Device. Journal Of Zheijang University- Science A:Applied Physics&Engineering, 12(9), 680-691.
- Maske, A. A., Maske, N. A., Shiras, P. P., 2014. Seismic Response of Typical Fixed Jacket Type Offshore Platform under Sea Waves: A Rewiev. International Journal Of Advance Research in Science and Engineering, 3(1), 24-35.
- Mohan, P., Sidhaarth, K. A., Kumar, V. S., 2013. Modelling And Analysis of Offshore jacket Platform. International Journal Of Advances in Engineering & Technology , 6(3), 1160-1168.
- Nallayarasu, S., 2008. Offshore Structures Analysis anf Design. Indian Institute of Technology Madras, Ph. D. Thesis,115s, Chennai.
- Narayana, H., Mandal, S., Rao, S., 2010. Analysis of Offshore Jacket Platform, Surathkal, India, National Conference on Sustainable Water Resources Management.
- Srikanth , I., Arockiasamy , M., 2016. Inelastic Pushover Analysis of Fixed Jacket Type Offshore PPlatform with Different Bracing Systems Considering Soil- Structure Interaction. Journal Of Shipping and Ocean Engineering, 6, 241-254.
- U. A. C. o. E., 2015. Coastal Engineering Manual- Part II. Washington,DC: Department of the Army U.S Army Corps of Engineers.
- Wang, S., Larsen, T. J., Bredmose, H., 2020. Experimental and Numerical Investigation of a Jacket Structure Subject to Steep and Breaking Regular Waves. Marine Structures, 72, 102744
- Wen, K., Wu, X., Zhu, B., 2020. Numerical Investigation on the Lateral Loading Behaviour of Tetrapod Piled Jacket Foundations in Medium Dense Sand. Applied Ocean Research, 100, 102193.
- William, O.MC., 2011, Deepwater Foundations and Pipeline Geomechanics. J. Ross Publishing, 336s, Fort Lauderdale.
- Zarrin, M., Gharabaghi, A. R. M., Poursha, M., 2021. A Multi-Mode N2 (MN2) Pushover Procedure for Ductility Level Seismic Performance Evaluation of Jacket Type Offshore Platforms. Ocean Engineering, 220, 108440.

Zhao, S. X., Bi, C. W., Sun, Z. Z. 2021. Engineering Analysis of the Dynamic Characteristics of an Electrical Jacket Platform of an Offshore Wind Farm under Seismic Loads. *Applied Ocean Research*, 112, 102692.

Zhao, S. X., Bi, C. W., Zhang, D. L., Yu, H. F., 2021. Hydrodynamic Response Analysis of a 10,000-ton Offshore Electrical Platform in Waves Using a Modified Finite Element Model. *Ocean Engineering*, 233, 109194.

