




DEĞİŞEN DALGA PERİYOTLARI ETKİSİNDEKİ AÇIK DENİZ YAPILARININ DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

İlyas Devran ÇELİK* 
Tevfik Burak KOCAMAN** 
Yusuf ÖZTÜRK*** 

Alınma: 16.12.2019; düzeltme: 17.01.2020; kabul: 04.05.2020

Öz: Bu çalışmada, rüzgârların oluşturabileceği dalgalara maruz kalabilen ceket tipi açık deniz yapıları incelenmiştir. Bu amaçla; yapısal davranışının belirlenebilmesi için farklı yükseklikleri olan 3 adet sayısal model, platformu ile birlikte tasarlanmıştır. Çalışma kapsamında, dalga periyotları ve dalga yükseklikleri parametre olarak kabul edilmiştir. Oluşturulan modellere dalga ve rüzgâr kuvvetleri birlikte etki ettirilerek çok adımlı doğrusal statik analizleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca modellerin lineer sınır değerlerinin belirlenebilmesi amacıyla statik itme analizleri gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçlarında, incelenen ceket tipi açık deniz yapılarının davranışını belirlemede dalga periyoduna göre dalga yüksekliğinin daha etkin olduğu saptanmıştır. Her üç modelinde dalga ve rüzgâr kuvvetleri altında elde edilen analiz sonuçlarından, dalga yüksekliği arttıkça yatay deplasmanlarının arttığı ancak modellerin yine de lineer sınırlar içinde kaldığı tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Açık Deniz Yapıları, Dalga Yüku, Rüzgâr Yüku, Morrison Denklemi, Sap2000

Investigation of Behavior of Offshore Structures under the Effect of Changing Wave Periods

Abstract: In this study, coat-type open sea structures that can be exposed to waves that the winds can form have been investigated. For this purpose; 3 numerical models with different heights were designed together with the platform in order to determine the structural behavior. In the scope of the study, wave periods and wave heights are accepted as parameters. Multi-step linear static analyzes were performed by applying wave and wind force to the models created. Also, in order to determine the linear limit values of the models, static push analyzes were performed. In the results of the analysis, it was determined that the wave height was more effective than the wave period in determining the behavior of the investigated jacket type offshore structures. From the analysis results obtained under the wave and wind forces in all three models, it was found that the horizontal displacements increased as the wave height increased, but the models remained within the linear limits.

Keywords: Offshore Structures, Wave Load, Wind Load, Morrison Equation, Sap2000

* Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 32200, Çünür/ISPARTA

** Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 32200, Çünür/ISPARTA

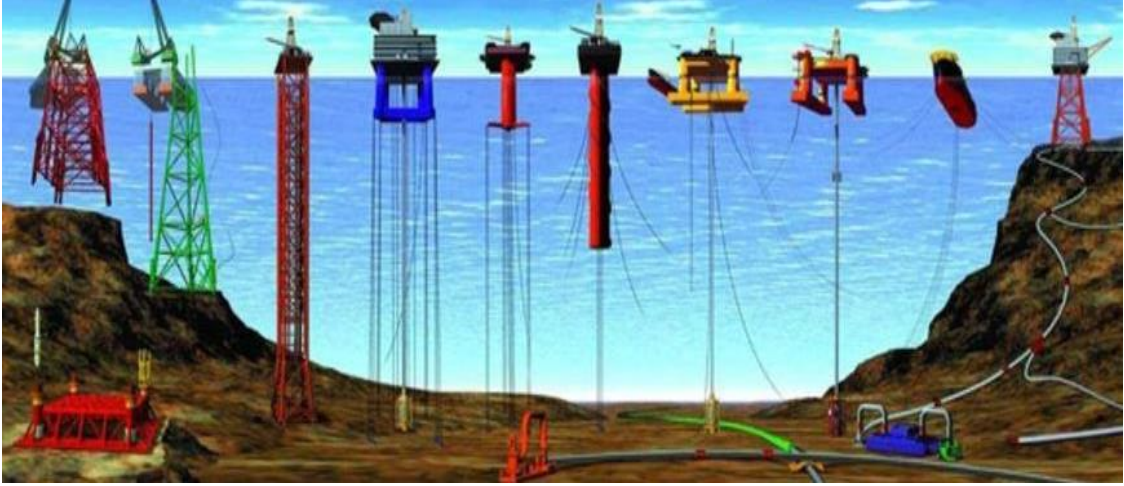
*** Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Senirkent Meslek Yüksekokulu, 32600, Senirkent/ISPARTA,

İletişim Yazarı: İlyas Devran ÇELİK (devrancelik@sdu.edu.tr)

1. GİRİŞ

Sanayi devriminden sonra gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerin enerjiye olan ihtiyacı her geçen gün artarak devam etmektedir. Bu ülkeler, ihtiyaç duydukları enerjinin önemli bir miktarını petrol ve doğalgaz kaynaklarından temin etmektedirler. Bu kaynaklar keşfedildikleri ilk dönemde yaygın olarak karasal alanlardan çıkarılmaktaydı. Ancak, son 60 yılda teknolojiye ilerlemeler ile birlikte açık denizlerdeki petrol ve doğalgaz rezervlerinin araştırma-çıkarma maliyetleri büyük oranda azalmıştır. Bu nedenle, dünyanın çeşitli kıyıları, körfezleri ve okyanuslarındaki toplam açık deniz yapılarının sayısı her geçen yıl artmaktadır (Narayana vd., 2010).

Açık deniz yapıları petrol yataklarının konumuna bağlı olarak derin, geçiş bölgesi ve sığ sularda kullanılmak üzere tasarlanmaktadır. Yapının tasarım aşamasında, çalışma derinliğini belirleyen durgun su kotu (d) önemli bir parametredir. Bu mesafe, yapının tasarımı için belirleyici kuvvetlerin tanımlanmasında önem arz etmekte ve tasarım prensipleri bakımından açık deniz yapılarını çeşitlere ayırmaktadır (Nallayarasu, 2012; Reddy ve Swamidas, 2016). Bu kapsamda; ceket (jacket) tipi, kule tipi, gergi halatlı kule tipi, gergi halatlı platform, yüzen platform ve mafsallı kule tasarımı başta olmak üzere toplamda 10 çeşit açık deniz yapısı uygulamada sıklıkla kullanılmaktadır (Şekil 1). Bu çalışmada, platformu taşıyan gövdenin kafes sistem olarak tasarlandığı ve zemine sekiz ayak ile ankastre bağlanan ceket tipi açık deniz yapıları kullanılmıştır.



Şekil 1:

*Taşıyıcı sistem tipine göre sınıflanan açık deniz yapılarının genel görünimleri
(Oceanexplorer.noaa, 2019)*

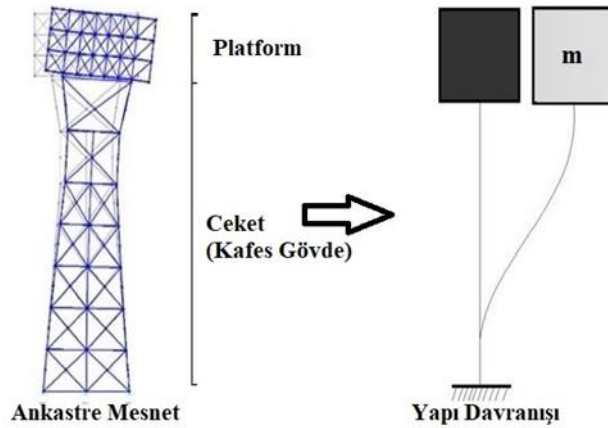
Okyanus, deniz, göl gibi su tabanlarında rezervleri bulunan petrol ve doğalgaz kaynaklarının çıkarılması işlemi karmaşık ve çok farklı yüklerin dikkate alınması gereken bir çalışma alanıdır. Açık deniz yapıları buldukları konuma bağlı olarak değişen yüklere maruz kalmaktadır. Ceket tipi açık deniz yapılarında taşıyıcı sistem seçimini belirleyen etkin yükler; platform yükü, sondaj yükü, dalga yükü, rüzgâr yükü ve deprem yükleridir (API, 2000). Çevresel yüklerden olan dalga ve rüzgâr kuvvetleri ceket tipi açık deniz yapıları için ciddi sonuçlar doğurabilmektedir (Gücüyen ve Erdem, 2016). Bu kapsamda; ekonomik ve güvenilir bir tasarım için iyi bir dalga kuvveti tahmini gereklidir (Raheem vd., 2012).

Dalga oluşumunu etkileyen parametreler, ceket tipi açık deniz yapısının hizmet verdiği bölgeye ait mevsimsel rüzgâr dağılımı, su derinliği ve bölgenin sismik hareketliliği ile beraber gelgit olaylarıdır (API, 2000). Yapıya etkileyen dalga kuvvetlerinin hesaplanmasındaki kriterler ise su derinliği, dalga yüksekliği, dalga boyu, etkileyen dalganın periyodu ve etkilediği sistemin

geometrik formudur (Reddy ve Swamidas, 2016). Dalga yüksekliği, yapının platformu ile durgun su kotu arasındaki mesafesi kapsamında yapıyı etkin kesme kuvvetleri meydana getirmesi bakımından önemlidir. Dalga boyu ve periyodu ise, platformun sahip olduğu taşıyıcı sistemin maruz kaldığı dalga etkileşimini belirlemektedir (Barltrop ve Adams, 1991).

Ceket tipi açık deniz yapılarının projelendirme aşamasında ceket ve platform farklı uzmanlar tarafından tasarlanabilmektedir. Böyle bir durumda ceket tasarıyan uzman, platformu temsil etmesi amacıyla birkaç noktada yığılı kütle varsayımını kullanarak ceket yapısını analiz edebilmektedir. Bu varsayım ile ceket yapısı analiz edildiğinde, yapının gerçekte beklenen davranışı ile analiz sonuçlarında tespit edilen yapı davranışında farklılıklar olabilmektedir (Slake, 2016). Kütlelerin birkaç noktada yığılı olarak toplandığı bu varsayım ile yapı analiz edildiğinde, çevresel yüklerden olan rüzgâr kuvvetlerinin platforma etkisi ihmal edilmiş olmaktadır. Bu durumda, yapının yanal deplasman kabiliyetinde önemli değişimler gözlenmektedir (Das ve Janardhan, 2017). Yanal deplasman kabiliyetindeki değişimler yapı periyodunun da değişmesine neden olabilmektedir. Yapının, kütle katılım oranı yüksek olan doğal titreşim periyot değerleri 4 saniyeden fazla olması durumunda, yapının doğal titreşim periyodu sismik kaynaklı deprem periyodundan uzaklaşırken rüzgâr kaynaklı dalga periyodu değerlerine yaklaşmaktadır (Nallayarasu, 2012). Çevresel yüklerin periyot değerinin, yapı doğal titreşim periyot değeri ile birbirine yakın değerler vermesi yapı davranışında rezonans olarak karşılık bulmaktadır. Bu durum; yapının yatay deplasman talebini artırmakta olup, yapı güvenliği açısından kaçınılması gerekmektedir.

Bu çalışmada; farklı yüksekliklerdeki üç adet ceket tipi açık deniz yapısı, ceket ile platform birlikte modellenerek farklı dalga periyotlarının, dalga yüksekliklerinin ve rüzgârın etkisinde yapabileceği yanal deplasman değerleri araştırılmıştır. Şekil 2’de gösterilen ceket tipi açık deniz yapısının matematiksel modele basitleştirilmesinde, platformun da tasarıma dâhil edilmesi ve modelin tabana ankastre bağlı olduğu varsayımı ile basınç çubuğunun (kafes gövde) burkulma davranışı benzeştirilebilir (Kim ve Lee, 2015). Platformun ceket sistemine göre daha rijit olması sebebiyle yatay deplasmanın yoğun olduğu platform ile ceket sistemi bağlantı bölgesinde gerilme yığılmaları oluşabilir. Bu durum; dalga ve rüzgâr kaynaklı tekrarlı yüklerin çok yoğun olarak etki ettiği bu tipteki yapılar için yapı dalga yükü etkileşimini önemli bir noktaya taşımaktadır.



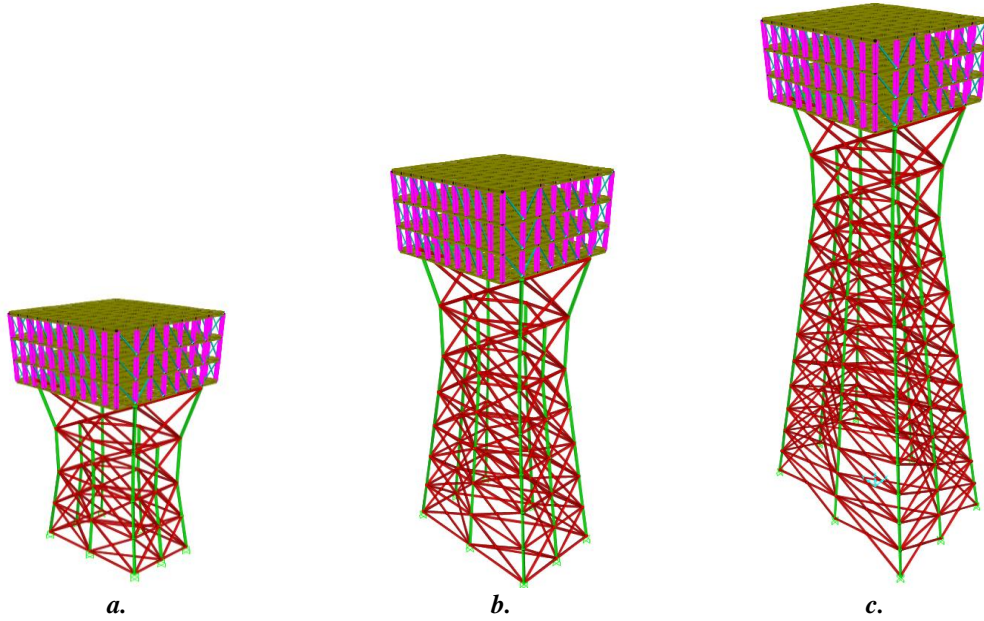
Şekil 2:
Platformun tasarıma dâhil edildiği durum için yapı davranışı

2. MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada, açık deniz yapılarından ceket tipi gövdeye sahip platformlar kullanılmıştır. Bu tipteki yapılar, dar esnek bir kuleden ve kazıklı temellerden oluşmaktadır. Ceket tipi açık deniz yapıları diğer yapılara (yüzen-yarı yüzen tip açık deniz yapıları) kıyasla daha fazla yatay yük taşıma ve deformasyon yapabilme kabiliyetine sahiptir. Bu kapsamda, dalga ve rüzgâr kuvvetlerinin yapı davranışı üzerine etkisini inceleyebilmek amacıyla 90 m, 150 m ve 250 m ceket yüksekliğindeki 3 adet ceket tipi açık deniz yapısı platform ile birlikte modellenmiştir. Çalışmanın birinci aşamasında, yapı doğal titreşim periyotlarının belirlenmesi amacıyla modal analiz gerçekleştirilmiştir. İkinci aşamada, modellerin lineer sınırlarını tespit etmek için statik itme analizleri gerçekleştirilmiştir. Son aşamada ise modellerin dalga ve rüzgâr kuvvetleri altında çok adımlı statik itme analizleri gerçekleştirilmiştir.

2.1. Modellerin Oluşturulması

Taşıyıcı sistem geometrisi ve profil boyutları sabit kalmak şartı ile literatürdeki çalışmalar göz önüne alınarak 90 m, 150 m ve 250 m yüksekliğindeki üç adet sayısal model Sap2000 sonlu eleman programı kullanılarak oluşturulmuştur (Narayana vd., 2010; Raheem, 2014; Das ve Janardhan, 2017). Sayısal modellerin zemine bağlantısı ankastre mesnet olarak tanımlanmıştır. Şekil 3’de çalışmada kullanılan sayısal modellere ait genel görünüm verilmektedir.



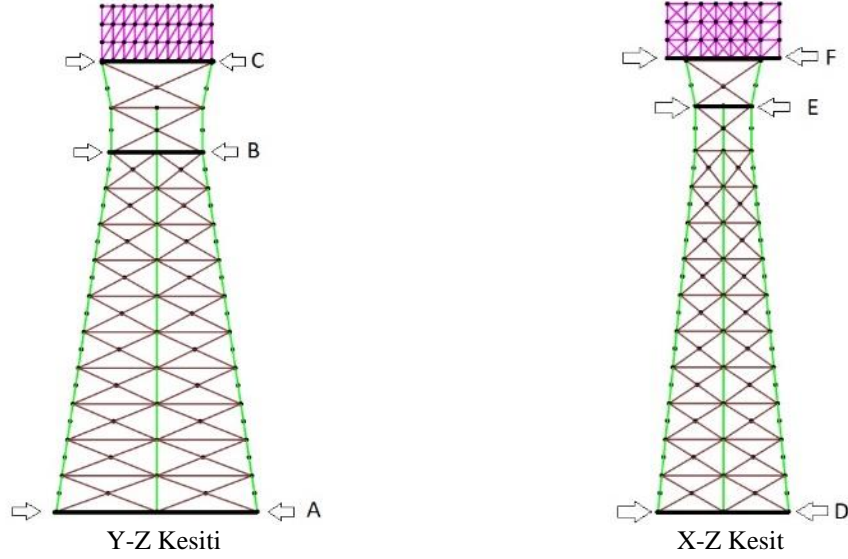
Şekil 3:

Sayısal modellerin görünümü

a. M1 modeli (90m) b. M2 modeli (150m) c. M3 modeli (250m)

Modellerin yüksekliklerinin farklı olması sebebiyle; taban oturum alanları M1, M2 ve M3 modelleri için sırasıyla 62x38 m, 80x50 m ve 110x70 m belirlenmiş iken tüm modellerde platform oturum alanları 60x40 m olacak şekilde tasarlanmıştır. Başka bir ifade ile tüm modeller platform oturum kotunda sabit en/boy oranına sahiptir. Zemin oturum kotundaki en/boy oranı ise Şekil 3’de görüldüğü üzere modellerin yüksekliğine bağlı olarak artmaktadır. Şekil 4’de modellerin boyutsal parametreleri temsili olarak tanımlanmıştır. Tablo 1’de ise Şekil 4’de ifade edilen

kesitlerin geometrik ölçüleri, profil kesitlerinin boyutları ve analizlerde malzeme sınıfı olarak seçilen S275 yapısal çelik malzemesinin mekanik özellikleri sunulmuştur.



Şekil 4:
Modellerin temsili kesit görünümleri

Tablo 1. Sayısal modellerin boyutsal parametreleri ve malzeme özellikleri

Modellerin boyutsal parametreleri						
Model Adı	A (m)	B (m)	C (m)	D (m)	E (m)	F (m)
M1	62	50	60	38	30	40
M2	80	50	60	50	30	40
M3	110	50	60	70	30	40
Kesit özellikleri						
Eleman adı	Ø Çapı (mm)		Cidar kalınlığı (mm)			
Kolon	1500		200			
Kiriş	1250		150			
Çapraz	1250		150			
S275 yapısal çeliğin malzeme özellikleri						
Malzeme	Fy (Mpa)	Fu (Mpa)	E (Mpa)	Poisson oranı (ν)		
S275	275	430	210000	0,3		

2.2. Yükleme Durumları

Tüm modeller için platform aynı boyutlarda modellenmiş ve platformun ölü yükü 175000 kN olarak belirlenmiştir. Üç modelin ceket yüksekliklerinin farklı olması sebebiyle ceket ölü yükleri değişkenlik göstermektedir. Modellerin kütle katılım oranları ve doğal titreşim periyotlarının belirlenmesi amacıyla 100 mod dikkate alınarak modal analiz gerçekleştirilmiştir. Modal analiz yöntemi olarak öz değer (eigenvalue) vektörü seçilmiştir.

Modellerin yapısal davranış lineer sınır değerlerinin belirlenebilmesi amacıyla, üç model için de statik itme analizleri gerçekleştirilmiştir. Statik itme analizleri tanımlanırken, modellerin sabit

ve hareketli yükleri düşey yönde hesaba katılarak statik itme analizinin başlangıç koşulu oluşturulmuştur. Daha sonra düşey olarak yüklenmiş modellerin tepe noktalarından her adımda artan birim kuvvet yatay yönde uygulanarak deplasman kontrollü statik itme analizleri gerçekleştirilmiştir.

Modellerde dikkate alınan ceket yüksekliği, makalede çalışma sahası olarak seçilen Akdeniz muhtemel petrol sahaları kapsamında belirlenmiş olup, çalışma alanı olarak seçilen bölümler Şekil 5 üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 5:

Batimetrik haritada yapıların seçilen yerleri (Casdeniz, 2020)

Şekil 5’de tanımlanan çalışma alanı içerisindeki muhtemel dalga yüksekliği ve rüzgâr hızı değerlerinin belirlenmesinde Türkiye Cumhuriyeti Meteoroloji Genel Müdürlüğü veri tabanı incelenmiştir. Yapılan incelemede bölgesel bazda yıllık görülen en önemli dalga yüksekliği 6-8 metre civarında olduğu tespit edilmiştir. Seçilen bölge için anormal dalga yüksekliği hesabı dikkate alınır; 12,5 metre dalga yüksekliklerinin gerçekleşme ihtimali uzun süreçte olabilir (Dalgaanalizi, 2020). Bu çalışmada, ceket tipi bir yapının yapısal davranışının incelenmesi nedeniyle anormal dalga yüksekliği değeri de dikkate alınmıştır. Çalışmada kullanılan dalga yükseklikleri ile orantılı rüzgâr hızı değerleri Beaufort rüzgâr skalasına dikkat edilerek Tablo 2’de gösterilmiştir (Bluesyachting, 2020). Bu kapsamda; Tablo 2’de belirtilen dalga parametreleri doğrusal (Airy) dalga teorisine uyumlu olacak şekilde belirlenmiş ve rüzgâr parametreleri ile birlikte modellere tanımlanmıştır.

Tablo 2. Analizlerde kullanılan dalga parametreleri

Modeller	Periyot T (saniye)	Rüzgâr Hızı (m/s)				Durgun Su Derinliği d (m)
		16,67	22,22	27,77	33,33	
		Dalga Yüksekliği H (metre)				
M1 (90 m)	8	5	-	-	-	70
	10	5	7,5	-	-	70
	12	5	7,5	10	-	70
M2 (150 m)	8	5	-	-	-	130
	10	5	7,5	-	-	130
	12	5	7,5	10	12,5	130
M3 (250 m)	8	5	-	-	-	230
	10	5	7,5	-	-	230
	12	5	7,5	10	12,5	230

Tablo 2’de belirtilen dalga parametrelerine göre hesaplamalar analitik olarak yapılmış olup, M3 ve M2 modellerine uygulanan tüm dalgaların derin suda kaldığı tespit edilmiştir. M1 modelinin 8 saniye periyoda sahip 5 metre yüksekliğindeki dalgası da derin suda kalmaktadır. Ancak, M1 modeli yapı yüksekliğinin diğer modellere göre daha az olmasından dolayı M1 modelinin durgun su kotu diğer modellerden daha düşüktür. Yapıya etkiyecek dalganın hangi bölgede olduğuna, durgun su kotunun dalga boyuna bölünmesi sonucunda ulaşılabilmektedir. Bu nedenle, M1 modeline uygulanan diğer dalgaların geçiş bölgesindeki suda kaldığı tespit edilmiştir.

Dalga kuvvetlerinin hesaplanması aşamasında Sap2000 programına dalga yüksekliği, dalga periyodu ve su derinliği parametreleri girilerek doğrusal (Airy) dalga teorisi seçilmiştir. Bu parametreler girildikten sonra, program seçilen dalga teorisine (Airy) göre sinüsoidal dalga profili oluşturularak dalga boyunu ve dalganın hangi bölgede (derin, geçiş bölgesi ve sığ su) olduğunu hesaplamaktadır (Şekil 6.b). Program belirlenen bölge durumuna göre uygun denklemleri yazarak, dalga profilindeki su parçacığının her konumu için su parçacığı bileşenlerini hesaplamaktadır. Bu bileşenler; basınç, yatay hız, dikey hız, yatay ivme ve dikey ivme bileşenleridir (Şekil 6.c). Bu çalışma kapsamında, akım profili ve deniz büyümesi oluşturulmamıştır. Sürüklenme katsayısı (C_D) ve atalet katsayısı (C_m) değerleri için programın tanımlamasına izin verilerek API RP2A WSD (2000) standardına bağlı alınarak hesaplatılmıştır. Program, sürüklenme katsayısı (C_D) ve atalet katsayısı (C_m) değerleri için; durgun su kotu üzerinde ve durgun su kotu altında farklı katsayılar kullanmaktadır. Bu değerler sırasıyla sürüklenme katsayısı (C_D) 0,65 ve 1,05 iken, atalet katsayısı (C_m) 1,6 ve 1,2’dir. Deniz suyu yoğunluğu 1025 kg/m^3 olarak programa tanıtılmıştır. Rüzgâr parametrelerinin programa tanıtılması aşamasında da dalga parametrelerinin tanımlandığı arayüz kullanılmıştır. Rüzgâr kuvvetlerinin programına tanıtılması aşamasında, durgun su kotunun 10 metre üzerindeki ortalama rüzgâr hızları Tablo 2’de belirtilen şekliyle her dalga yüksekliği için ayrı ayrı tanımlanmıştır. Platformun tahmin edilen toplam alanına göre belirlenen tipik şekil katsayısı (C_s) 1, ortalama zaman periyodu 10 dakika ve havanın yoğunluğu (ρ) $1,225 \text{ kg/m}^3$ olarak programa tanımlanmıştır. Bu kapsamda, Tablo 2’de tanımlanan parametreler kullanılarak her model için dalga ve rüzgâr kuvvetleri oluşturulmuştur.

Daire kesitli boru profiller kullanılarak tasarlanan ceket sisteme etki eden dalga kuvvetlerinin hesaplanmasında, Sap2000 sonlu elemanlar programı Denklem 1’de tanımlanan Morrison metoduna bağlı algoritma kullanmaktadır (CSI, 2019). Morrison denkleminde kullanılan sürüklenme kuvveti (F_D) ve atalet kuvveti (F_I) Şekil 6.a’da gösterilmiştir.

$$F = F_D + F_I = C_D \frac{\omega}{2g} AU|U| + C_m \frac{\omega}{2g} V \frac{dU}{dt} \quad (1)$$

burada,

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

F_D : Birim uzunluktaki sürüklenme kuvveti,

F_I : Birim uzunluktaki atalet kuvveti,

ω : Deniz suyunun ağırlığı,

g: Yerçekimi ivmesi,

A: Birim uzunluktaki alan,

V: Birim uzunluktaki hacim,

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

|U|: U değerinin mutlak değeri,

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

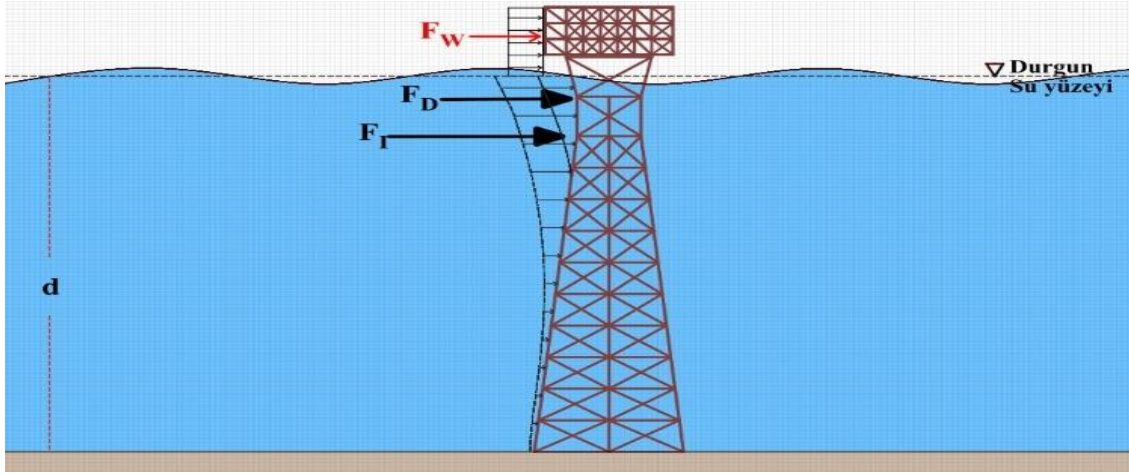
C_D ve C_m ise sırasıyla sürüklenme ve atalet katsayılarıdır (Morrison vd., 1950; CSI, 2019).

Program, rüzgâr kuvvetlerinin hesaplanmasında ise Denklem 2’de tanımlanan Amerikan Petrol Enstitüsü’nün hazırlamış olduğu API RP2A WSD (2000) standardındaki denklemi kullanmaktadır. Şekil 6.a’da, dalga kuvvetiyle birlikte tanımlanan rüzgâr kuvvetinin yapıya etkime şekli gösterilmektedir.

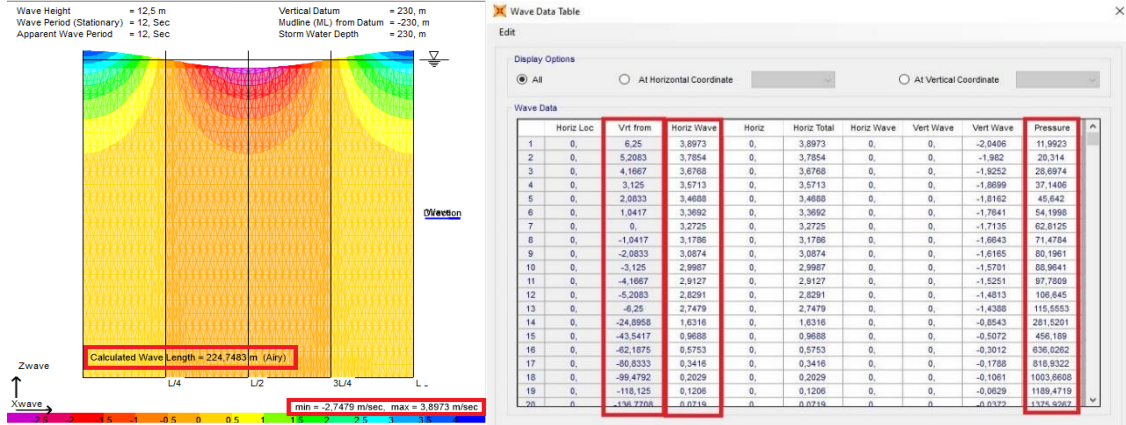
$$F_w = \frac{1}{2} \rho C_s A U^2 \quad (2)$$

burada,

F_w : Rüzgâr kuvveti,
 ρ : Havanın yoğunluğu,
 C_s : Tipik şekil katsayısı,
 A : Alan,
 U : Sürekli rüzgâr hızıdır.



a.



b.

c.

Şekil 6:

Dalga ve rüzgâr kuvvetlerinin hesaplanması

a. Dalga ve rüzgâr kuvvetlerinin yapı üzerindeki etkisi b. Sap2000 programında dalga hareketinin belirlenmesi c. Sap2000 programından dalga hareketi konum, hız, ivme ve basınç bileşenlerinin temin edilmesi

Yukarıda tanımlamaları yapılan dalga ve rüzgâr yüklemelerinin, Tablo 2’deki koşullara göre her model için ayrı ayrı çok adımlı doğrusal statik analizleri gerçekleştirilmiştir. Çok adımlı doğrusal statik analizde, yukarıda tanımlanan hesaplama algoritması ile dalga profilinin her konumu için oluşturulan kuvvetler yapıya statik olarak etki ettirilmiştir. Çok adımlı doğrusal statik analiz sonuçlarından elde edilen maksimum değerlerin grafikleri çizdirilmiştir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

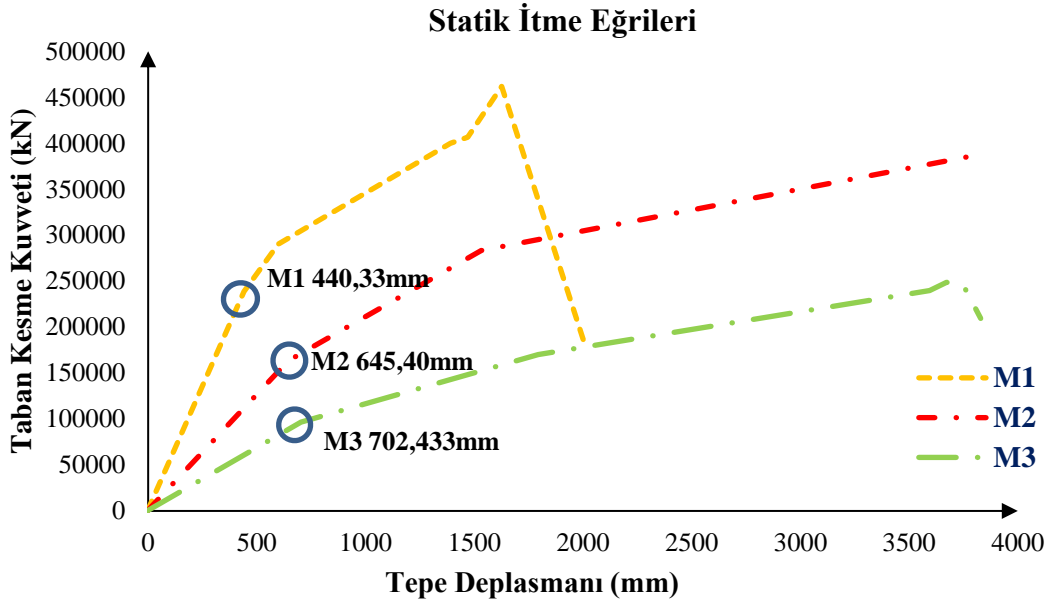
Dalga periyodunun yapısal davranış üzerine etkisinin irdelendiği bu çalışmada, öncelikle üç model için de doğal titreşim periyotları hesaplanmıştır. API RP2A WSD (2014) standardına göre, modal analiz yöntemleri kullanılarak deprem hesabı yapılacak ise zemin ivmesinin hesaplara dâhil edilebilmesi için kütle katılımının en az %75 gerçekleşmesi istenmektedir. Bu kapsamda, Tablo 3’de %75 ve üzerindeki kütle katılımının gerçekleştiği periyot değerleri gösterilmiştir. Tablo 3 incelendiğinde; M1 ve M2 nolu modeller için sırasıyla X yönünde 12. ve 13. mod ve sonrası, Y yönü için sırasıyla 25. mod ve 15. mod sonrasında istenen kütle katılım değerlerine ulaşıldığı görülmektedir. M3 nolu modelde ise X yönünde 8. mod ve sonrası, Y yönünde 14. mod ve sonrasında kütle katılımının %75 ve üzerinde gerçekleştiği tespit edilmiştir. Kütle katılımının etkin olduğu mod durumlarında, yapısal periyot değerleri M1 ve M2 nolu modeller için sırasıyla 0,40-0,26 saniye ve 0,50-0,40 saniye aralığındadır. M3 nolu model için ise yapısal periyot değeri 0,81-0,63 saniye aralığında hesaplanmıştır. Tüm modellerde kütle katılımının %75 ve üzerinde sağlandığı durumlar için yapısal periyot değerleri 0,81 saniyenin altına düşmektedir. Bu durumda, modellerin yapısal periyot değerleri ile çalışmada incelenen dalga ve rüzgâr kaynaklı periyot değerlerinin birbirinden uzaklaştığı görülmektedir.

Tablo 3. Modal analiz sonuçlarında elde edilen mod durumları

Kütle Katılım Oranları (Statik)				Kütle Katılım Oranları (Dinamik)			
	X Yönü	Y Yönü	Z Yönü		X Yönü	Y Yönü	Z Yönü
M1	99,9922	99,9941	99,5743	M1	97,5181	98,5933	80,6726
M2	99,9923	99,9755	99,7162	M2	96,9897	96,7626	88,5581
M3	99,9895	99,9539	99,3897	M3	96,3171	95,1196	86,5956
Dinamik Kütle Katılım Oranları							
X Yönü Kütle Katılım Oranları				Y Yönü Kütle Katılım Oranları			
	Mod	Periyot	Kütle Katılım Oranı		Mod	Periyot	Kütle Katılım Oranı
M1	1 - 11	1,29 - 0,41	0,66	M1	2 - 24	0,92 - 0,27	0,68 - 0,74
	12 - 34	0,40 - 0,20	0,76 - 0,90		25 - 48	0,26 - 0,16	0,83 - 0,90
	35 - 55	0,20 - 0,15	0,91 - 0,93		49 - 59	0,16 - 0,14	0,91 - 0,94
	56 - 100	0,14 - 0,09	0,95 - 0,98		60 - 100	0,14 - 0,09	0,95 - 0,99
M2	1 - 12	1,87 - 0,50	0,59 - 0,64	M2	2 - 14	1,24 - 0,41	0,6
	13 - 48	0,50 - 0,23	0,79 - 0,90		15 - 48	0,40 - 0,23	0,78 - 0,90
	49 - 76	0,22 - 0,16	0,91 - 0,94		49 - 65	0,22 - 0,17	0,90 - 0,94
	77-100	0,15 - 0,12	0,95 - 0,97		66 - 100	0,17 - 0,12	0,95 - 0,97
M3	1 - 7	2,96 - 0,81	0,54	M3	2 - 13	1,91 - 0,64	0,55 - 0,56
	8 - 53	0,81 - 0,31	0,78 - 0,90		14 - 46	0,63 - 0,35	0,84 - 0,90
	54 - 89	0,30 - 0,22	0,91 - 0,94		47 - 66	0,34 - 0,26	0,91 - 0,94
	90 - 100	0,22 - 0,19	0,95 - 0,96		67 - 100	0,26 - 0,19	0,95

Bu çalışmada, modal analiz için 100 mod durumu dikkate alınmıştır. Kütle katılım oranının sağlanabilmesi için bina türü yapılarda ilk 12 mod durumunu hesaplamak yeterli olur iken çalışmanın konusu olan ceket tipi açık deniz yapıları için daha fazla mod durumunun hesaba katılması gerekebilir (API, 2014). Bu çalışmada incelenen modellerde, M1, M2 ve M3 modeli için sırasıyla 25, 15 ve 14. mod durumunda kütle katılım oranı sağlanmıştır.

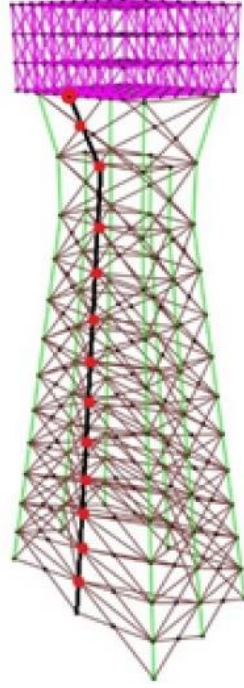
Periyot değerlerine göre değişkenlik gösteren dalga yükseklikleri için hesaplanan dalga yüklerinin, her bir yapı modelinin kritik sınırlarının belirlenebilmesi için tüm modellerin kapasite eğrileri statik itme analizi sonuçlarından hesaplanmış ve Şekil 7’de gösterilmiştir.



Şekil 7:
M1-M2-M3 modelleri için kapasite eğrileri

Statik itme yöntemi kullanılarak deplasman kontrollü kapasitenin hesaplandığı taban kesme kuvveti-tepe deplasmanı grafiklerinde; lineer sınırlar dalga ve rüzgâr yükleri için kritik deplasman değerleri olarak belirlenmiştir. Şekil 7 incelendiğinde, bu sınır değerler M1 modeli için 440,33 mm, M2 modeli için 645,40 mm ve M3 modeli için 702,43 mm’dir. Yapının sahip olduğu kütle, dalga yükünün tekrar aralığı dikkate alındığında kritik sınır plastik deformasyonların henüz başlamadığı lineer bölge olarak belirlenmiştir.

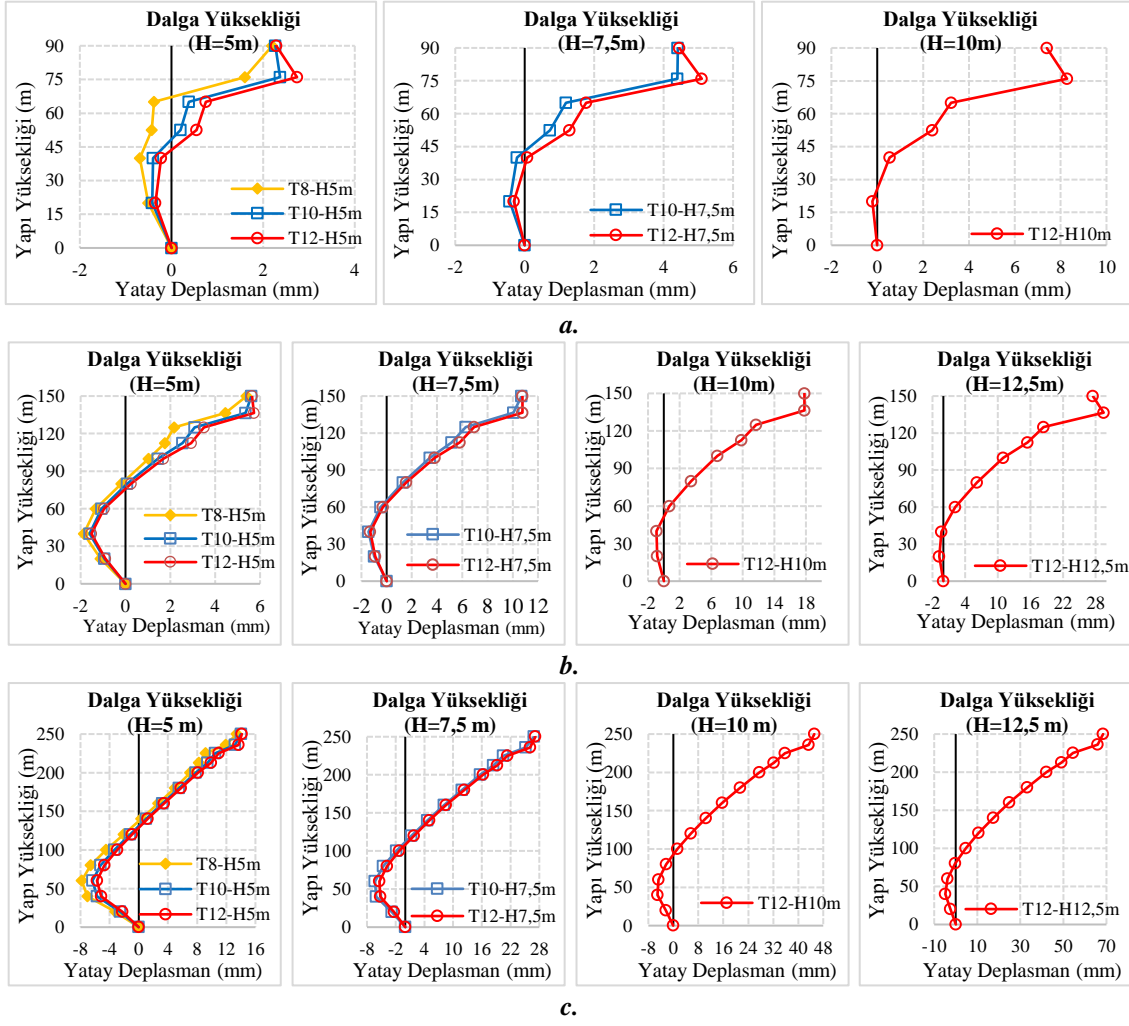
Çalışmanın son analiz türü olan çok adımlı statik analiz sonuçlarının değerlendirilebilmesi için, modellerin zemin kotundan platform kotuna kadar aynı düşey taşıyıcı hat üzerinden olmak üzere 20 metre ara ile yatay deplasman okumaları alınmıştır. Şekil 8’de, deplasman okumalarının alındığı düşey hat M3 modeli için temsili olarak gösterilmiştir.



Şekil 8:
Modellerde yatay deplasman okuması alınan noktaların gösterimi

Dalga periyotlarının yapısal davranışa etkisinin incelendiği bu çalışmada; dalga yüksekliği için, o dalgayı meydana getirme olasılığı bulunan rüzgâr hızı ve etkiye aralığı dikkate alınarak hesaplamalar yapılmıştır. Hesaplamalarda dalga ve rüzgâr etkisi için kullanılan tüm değerler Tablo 2’de detaylandırılmıştır. Bu kapsamda, Akdeniz bölgesi özelinde 5,0 m, 7,5 m, 10,0 m ve 12,5 m dalga yükseklikleri dikkate alınmıştır. Analizlerde dalga yüküne ek olarak o dalga kuvvetini meydana getirme olasılığı bulunan rüzgâr hızları 16,67 m/s, 22,22 m/s, 27,77 m/s ve 33,33 m/s olarak hesaplanmıştır. Durgun su yüzeyi üstünde kalan ceket yapı taşıyıcı sistemi ve platformun rüzgâr ile olan etkileşim alanı göz önüne alındığında, rüzgâr yükü yapı davranışı açısından önem arz eden bir yatay yük durumuna geçmektedir. Şekil 9, dalga ve rüzgâr yüklemesi sonucu yapı yüksekliğince değişen yatay deplasmanları ifade etmektedir. Bu kapsamda 70 m su derinliğine sahip M1 modeli için 5 m, 7,5 m ve 10 m dalga yüksekliği, 130 m ve 230 m su derinliğine sahip M2 ve M3 modelleri için 5 m, 7,5 m, 10 m ve 12,5 m dalga yükseklikleri kullanılmıştır.

Şekil 9 incelendiğinde tüm modellerde; taşıyıcı sistem için bu aralıktaki dalga periyotlarının yapısal davranış açısından belirleyici olmadığı görülmektedir. M1 nolu modelin, 5 m dalga yüksekliği ve 16,67 m/s rüzgâr hızı altındaki deplasman değerlerinin yapının çalışma aksını (sondaj aksı) hemen hemen hiç zorlanmadığı görülmüştür. Ancak, rüzgâr etkileşim kotu olan 70 m ve üzerinde ise yapı çalışma aksı eksenine dışına çıkma talebinde bulunmaktadır. Bu durum M1 modeli için 7,5 m dalga yüksekliği ve 22,22 m/s rüzgâr hızında, 40 m kotunda oluşmaya başlamış ve rüzgâr etkileşim kotunda rüzgâr yükü etkisi belirginleşmiştir. M1 modeli maksimum yatay deplasman seviyesinin elde edildiği 10 m dalga yüksekliği 27,77 m/s rüzgâr hızı için yapı, 20 m ve üzerindeki kotta yatay deplasmana zorlanmaya başlayarak rüzgâr etkisiyle birlikte 70 m ve üzerindeki kotlarda yatay deplasman talebini artırmıştır. M1 modeli için dikkate alınan tüm dalga yüksekliklerinden elde edilen yatay deplasman değerleri; yapı lineer deplasman sınırının çok altında sonuçlar vermiştir.



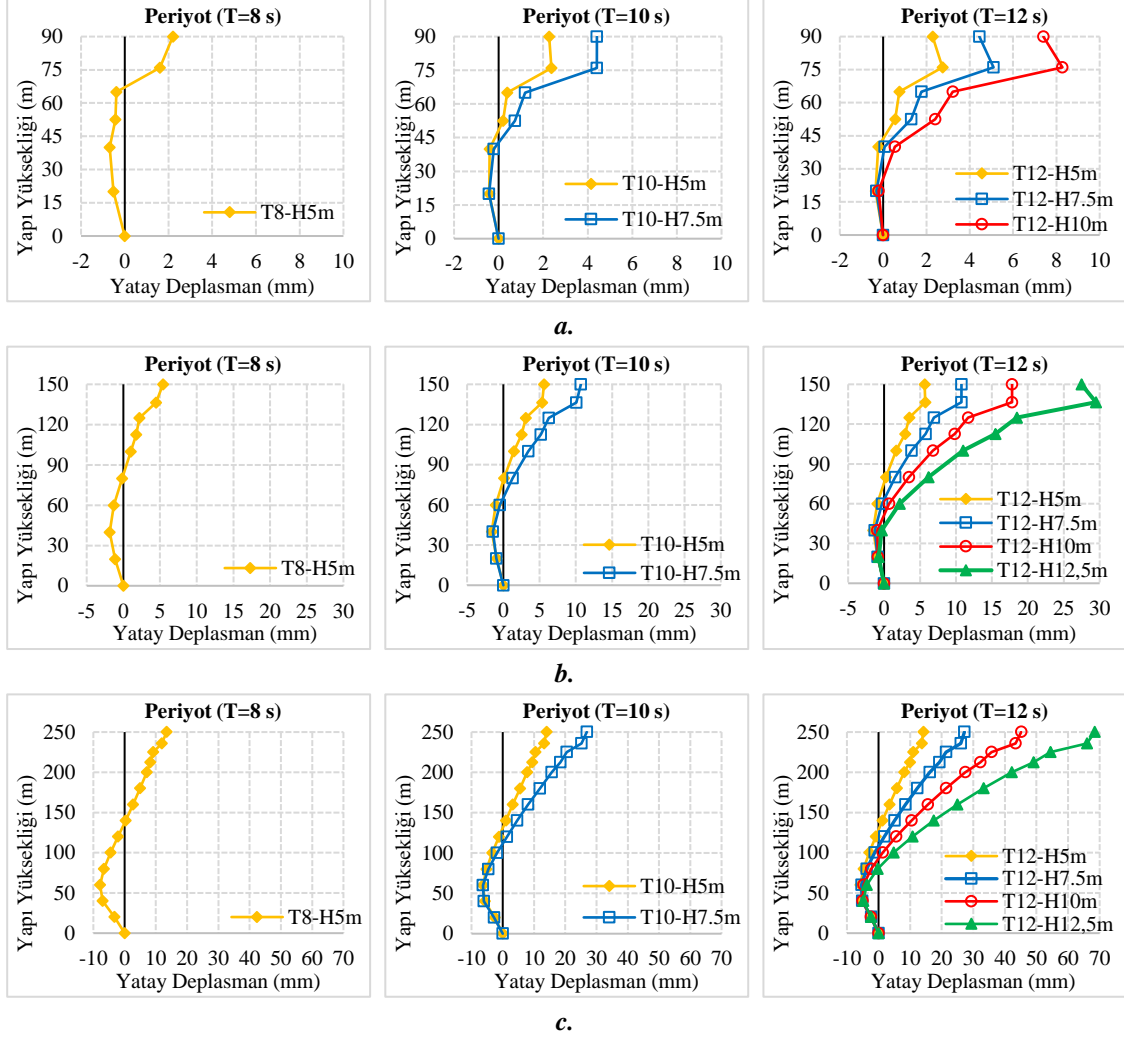
Şekil 9:
Değişken dalga periyotlarına göre modellerin yatay deplasmanları
a. M1 Modeli (90m) b. M2 Modeli (150m) c. M3 Modeli (250m)

M2 nolu model için verilen yükseklik/ yatay deplasman değişimi grafikleri incelendiğinde rüzgâr yükünün etkin olduğu durgun su kotu üzerindeki kotlarda, yatay deplasman talebindeki artışın tüm dalga yükseklikleri için hesaplanan yatay deplasman değerlerinden açıkça görülmektedir. Bu modelde yapı sondaj aksını terk etmesine zorlayacak olan yatay deplasman talebi 10 m ve 12,5 m dalga yüksekliklerinde elde edilmektedir. Yatay deplasman talebi 50 m ve üzerindeki kotlarda çalışma aksı açısından etkinleşmektedir. M2 modeli maksimum yanıl yer değiştirme talebi uygulanan dalga yükseklikleri içinde maksimum dalga boyu olan 12,5 m dalga yüksekliği için 28 mm olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan bu değer M1 nolu modelde olduğu gibi M2 nolu modelinin de yanıl deplasman miktarı lineer sınırının çok altında kalmıştır.

Yapılan çalışmanın en yüksek yapı sistemine sahip olduğu M3 nolu modele ait grafikler incelendiğinde; çalışma aksını yatay deplasmana zorlayan etkin yükler (dalga ve rüzgâr yükleri) 10 m ve 12,5 m dalga yüksekliği için elde edilmiştir. Yapıda; bu dalga yükseklikleri için 50 m ve üzerindeki kotlarda, eksen dışında deplasman talebi oluşmaya başlamış ve yapı üst kotunda deplasman talebi maksimum boyuta ulaşmıştır. M3 modelinin 12,5 m dalga yüksekliği ve 33,33 m/s rüzgâr hızı için elde edilen maksimum deplasman miktarı 70 mm'dir. Bu değer diğer modellerde olduğu gibi lineer sınırın çok altında kalmıştır. Rüzgâr yüküne bağlı meydana gelen

yanal deformasyon talebindeki artış bu modelde de etkiye yüksekliği olan 230 m ve üzerindeki kotalarda belirgin bir hal aldığı görülmektedir.

Çok adımlı doğrusal statik analiz sonuçlarından elde edilen veriler kullanılarak, tüm modellerde etkin olan dalga yükseklikleri, aynı periyot değerleri için karşılaştırmalı olarak Şekil 10'da gösterilmiştir. Bu kapsamda aynı periyottaki artan dalga yüksekliğinin yapı davranışı üzerine etkisi irdelenmek istenmiştir.



Şekil 10:

Değişken dalga yüksekliklerine göre modellerin yatay deplasmanları

a. M1 Modeli (90m) b. M2 Modeli (150m) c. M3 Modeli (250m)

Grafikler incelendiğinde tüm modellerde çok adımlı statik yükleme için hesaplanan yatay deplasman değerleri, dalga yüksekliğinin dalga periyodundan daha etkin olduğu açıkça görülmektedir. Bu kapsamda, en etkin durumun en büyük dalga yüksekliğinde elde edildiği sonucu çıkmaktadır. Ancak bu durumun, kütle katılım oranının dâhil edildiği dinamik analizlerde farklı sonuçlar verebileceği dikkatten kaçırılmamalıdır.

3. SONUÇLAR

Önümüzdeki yıllarda ülkemiz açısından Akdeniz Bölgesi petrol rezervleri stratejik önem kazanacaktır. Bu durum endüstriyel çelik konstrüksiyonu açısından yeni tasarım ve uygulamaları ülke ekonomisi ve sektör açısından ön plana çıkaracaktır. Özellikle açık deniz yapılarının tasarımı, montajı ve işletmesi alanında yeni yaklaşımlar tasarımcılar açısından kullanıma açılacaktır. Yapılan bu çalışmada, Akdeniz Bölgesinde muhtelif petrol alanları üzerinde hizmet verebilecek ceket tipi açık deniz yapılarının dalga ve rüzgâr yükleri ile olan etkileşimleri incelenmeye çalışılmıştır. İncelemede 90 m, 150 m ve 250 m yüksekliğinde üç tip yapı sistemi, ölü yük ve servis yükleri sabit kalmak şartı ile değişen parametrelere sahip dalga yükleri altında analiz edilmiştir. Çalışma sahası olarak belirlenen Akdeniz Bölgesi için olası dalga yükseklikleri, o dalga için beklenen rüzgâr hızı ve periyod değerleri değişken kabul edilerek Sap2000 sonlu elemanlar programında analizler yapılmıştır. Analiz sonucunda, incelenen ceket tip yapıların deniz tabanından platform kotuna kadar etkiyen dalga yükleri ve rüzgâr etkileşimleri için yatay deplasman değerleri hesaplanmış ve karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

Analizlerden elde edilen sonuçlara göre;

- Üç tip yapı modeli için hesaplanan doğal titreşim periyot değerlerinin kütle katılım oranının %75 ve üzerindeki katılım oranları yaklaşık 25. mod ve sonrası için elde edilmiştir.
- Modal analizde etkin katılım oranının elde edildiği mod durumlarında yapı periyodu 0,81 saniyenin altında kalmaktadır. Bu durum, dalga yükünün etkin yük olduğu bu tipteki yapılara etki eden dalga periyotlarının 5 saniye ve üzerinde olmasından dolayı dalga periyoduna bağlı rezonans riskini devre dışı bırakmaktadır. Ancak, bu çalışmada analizler statik olarak yapılmıştır. Dinamik olarak yapılacak analizlerde, kütle katılımının analize dâhil edilerek dinamik bir etki olan dalga periyodu ile etkileşimi ayrıca analiz edilmelidir.
- Farklı dalga periyotlarının yapısal davranışa etkisinin incelendiği bu çalışmada; Akdeniz bölgesine özel olası dalga yükseklikleri ve bu yüksekliklerin etkin olduğu dalga periyotları için, yatay deplasman miktarları tüm modeller için hesaplanmıştır. İncelenen modellerden elde edilen yatay deplasman değerleri, dalga periyodunun bu dalga yükseklikleri için farklılaştırma meydana getirmediğini göstermektedir.
- Yapılan analizlerde tüm modeller için elde edilen yatay deplasman değerlerinin yapı lineer deplasman sınırının çok altında kaldığı tespit edilmiştir. Bu durum her üç modelin de Akdeniz bölgesi özelinde olası dalga yükleri bakımından güvenle hizmet verebileceğini göstermektedir.
- Çalışmada dikkate alınan dalga yükseklikleri; Akdeniz Bölgesi özelinde rüzgâr hızları kullanılarak analiz edilmiştir. Yapı yüksekliği ile değişen yatay deplasman grafikleri incelendiğinde, tüm modellerin rüzgâr etkileşim kotu ve üzerinde hesaplanan yatay deplasman değerlerinin arttığı tespit edilmiştir. Bu durum, çalışmada kullanılan yapı tiplerinin platform ile birlikte modellenmesinin rüzgâr yükü ile olan etkileşiminde önemli olduğu görülmüştür.

Akdeniz Bölgesi özelinde dalga ve rüzgâr yüklerinin birlikte ele alınarak gerçekleştirilen statik analiz sonuçları kapsamında; modellerin yatay deplasman davranışı için dalga yüksekliğinin dalga periyoduna göre daha etkin olduğu görülmüştür. Rüzgâr yükünün yapı yatay deplasmanı üzerine etkisi incelendiğinde ise, taşıyıcı sistemin platformla modellenmesinin yapısal davranış ve rüzgâr yükü ile olan etkileşimi açısından önemli olduğu sonucu elde edilmiştir. Çalışma sonucunda, kütle katılım oranları dikkate alınarak gerçekleştirilecek dinamik analizlerin dalga periyotları ile olan etkileşimleri detaylandırılarak literatüre katkı sağlanabileceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

1. API, (2000). American Petroleum Institute Recommended Practice for Planning, Designing and Constructing Fixed Offshore Platforms Working Stress Design, Washington.
2. API, (2014). American Petroleum Institute Recommended Practice for Planning, Designing and Constructing Fixed Offshore Platforms Working Stress Design, Washington.
3. Barltrop N. D. P. ve Adams A. J. (1991) *Dynamics of Fixed Marine Structures*, Butterworth-Heinemann, England. doi:10.1016/C2013-0-04571-9
4. CSI, (2019). *Computers and Structures Inc. Sap2000 Guidelines*, CSI America, Berkeley.
5. Das, B. ve Janardhan, P. (2017) Model Development and Load Analysis of Offshore Jacket Structure using SAP2000, *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology (IJRASET)*, 5(4), 1482-1493. doi:10.22214/ijraset.2017.4263
6. Gücüyen, E. ve Erdem, R. T. (2016) Açık Deniz Uzay Kafes Sistemin Çevresel Yükler Altında Akışkan-Yapı Etkileşimli Analizi, *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 7(3), 433-444.
7. <https://casdeniz.dzkk.tsk.tr/#> Erişim tarihi:14.02.2020. Konu: *Cas Deniz*
8. <https://dalgaanalizi.tr/gg/Dalga-Y.ue.ksekli%26%23287%3Bi.htm> Erişim tarihi:15.01.2020. Konu: *Dalga Yüksekliği*
9. https://oceanexplorer.noaa.gov/explorations/06mexico/background/oil/media/types_600.htm Erişim Tarihi: 10.05.2019 Konu: *Açık Deniz Petrol ve Gaz Yapılarının Türleri*
10. <https://www.bluesyachting.com/download/beaufort.pdf> Erişim tarihi:18.02.2020. Konu: *Beaufort Rüzgâr Skalası*
11. Kim, D. H. ve Lee, S. G., (2015) Reliability Analysis of Offshore Wind Turbine Support Structures Under Extreme Ocean Environmental Loads, *Renewable Energy*, 79, 161-166. doi:10.1016/j.renene.2014.11.052
12. Morrison, J.R., Johnson, J.W. ve Schaaf, S.A. (1950) The Force Exerted by Surface Waves on Piles, *Journal of Petroleum Technology*, 2(5). doi:10.2118/950149-G
13. Nallayarasu, S. (2012) *Offshore Structures Analysis and Design*, Department of Ocean Engineering, Indian Institute of Technology Madras, Chennai, India.
14. Narayana, H., Mandal, S. ve Rao, S. (2010) Analysis of Offshore Jacket Platform, *National Conference on Sustainable Water Resources Management-SWARM 20*, Proceedings of Swarm, India.
15. Raheem, Sheeta E. Abdel, Aal, Elsayed M. Abdel, Shafy, Aly G. A. Abdel ve Seed, Fayez K. Abdel (2012) Nonlinear Analysis of Offshore Structures under Wave Loadings, *15th World Conference On Earthquake Engineering*, Lisbon, Portugal.
16. Raheem, Sheheta E. Abdel (2014) Nonlinear Behaviour of Steel Fixed Offshore Platform under Environmental Loads, *Ships and Offshore Structures*, 11(1), 1-15. doi:10.1080/17445302.2014.954301
17. Reddy, D. ve Swamidass, A. (2016) *Essentials of Offshore Structures Framed and Gravity Platforms*, CRC Press, Florida. doi:10.1201/b15033
18. Slake, T. (2016) Analysis of Jacket Type Fixed Platforms – Effect of Various Mass Modelling Approaches for Topsides on Structural Response, *Master Thesis*, University of Stavanger, Stavanger.

