

**T.C.
MANİSA CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DOKTORA TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
HİDROLİK BİLİM DALI**

**AÇIK DENİZ YAPILARINDA UZAY TAŞIYICI SİSTEM
ELEMANLARINA ETKİYEN HİDRODİNAMİK KUVVETLERİN
KATILIK ORANINA GÖRE BELİRLENMESİ**

Begüm Yurdanur DAĞLI

**Danışman
Prof. Dr. Ümit GÖKKUŞ**



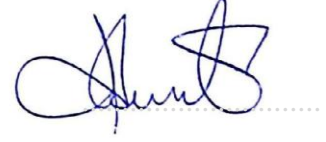
MANİSA-2017

TEZ ONAYI

Begüm Yurdanur DAĞLI tarafından hazırlanan "Açıkdeniz Yapılarında Uzay Taşıyıcı Sistem Elemanlarına Etkiyen Hidrodinamik Kuvvetlerin Katılık Oranına Göre Belirlenmesi" adlı tez çalışması 31/01/2017 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri önünde Manisa Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda doktora tezi olarak başarı ile savunulmuştur.

Danışman

Prof. Dr. Ümit GÖKKUŞ
Celal Bayar Üniversitesi



Jüri Üyesi

Prof. Dr. Mehmet Ali YURDUSEV
Celal Bayar Üniversitesi



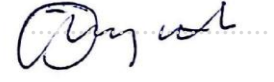
Jüri Üyesi

Prof. Dr. Gökmen TAYFUR
İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü



Jüri Üyesi

Prof. Dr. Ömer YÜKSEK
Karadeniz Teknik Üniversitesi



Jüri Üyesi

Doç. Dr. B.Burak ÖZHAN
Celal Bayar Üniversitesi



TAAHHÜTNAME

Bu tezin Manisa Celal Bayar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde, akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

Begüm Yurdanur DAĞLI



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER	I
KISALTMALAR DİZİNİ.....	III
SEMBOLLER DİZİNİ.....	IV
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VIII
TABLO DİZİNİ	XI
TEŞEKKÜR.....	XII
ÖZET.....	XIII
ABSTRACT	XV
1. GİRİŞ	1
1.1. Uzay Kafes Tipi Karasal Yapılar	1
1.2. Uzay Kafes Tipi Açık Deniz Yapıları.....	2
1.3. Literatür Özeti.....	3
1.4. Tezin Amacı.....	6
2. GENEL BİLGİLER	9
2.1. Açık Deniz Yapı Tipleri	9
2.1.1. Sabit Açık Deniz Yapıları.....	9
2.1.2. Hareketli Açık Deniz Yapıları.....	12
2.2. Açık Deniz Yapılarının Maruz Kaldığı Kuvvetler	15
2.2.1. Yapısal Kuvvetler	16
2.2.2. Çevresel Kuvvetler	16
2.2.2.1. Rüzgar Kuvveti.....	17
2.2.2.1.1. Rüzgar Kuvvetleri Hesabında Katılık Oranı Yaklaşımı	20
2.2.2.1.2. Rüzgar Kuvvetlerinin EIA-TIA-222G Şartnamesi İle Hesabı..	21
2.2.2.2. Akıntı Kuvveti.....	27
2.2.2.3. Deprem Kuvveti.....	30
2.2.2.4. Kar-Buz Kuvveti.....	31
2.2.2.5. Dalga Kuvveti.....	31
2.2.2.5.1. Dalga Özellikleri.....	32
2.2.2.5.2. Dalga Parametreleri.....	36
2.2.2.5.3. Dalga Transformasyonu.....	37
2.2.2.5.4. Dalga Kırılması.....	39
2.2.2.5.5. Dalga Teorileri.....	42
2.2.2.5.5. Açık Deniz Yapılarına Etkiyen Hidrodinamik Dalga Kuvvetleri.....	51
3. ÇÖZÜM YÖNTEMİ.....	53
3.1. Bilgisayar Destekli Modelleme-ANSYS-Fluent.....	54
3.2. Yapay Sınır Ağları Yöntemi (YSA).....	58
3.2.1. YSA Ağ Yapıları.....	60
3.2.2. YSA Öğrenme Algoritmaları.....	61
3.2.3. YSA Öğrenme Kuralları	61
3.2.4. YSA Ağ Modeli ve Öğrenme Algoritmasının Belirlenmesi.....	62
3.3. ANSYS-Fluent ile Dalga Etkisindeki Uzay Taşıyıcı Sistem Yapı Modellerinin Oluşturulması.....	64
3.3.1. Geometrik Tasarım ve Yapısal Özelliklerin Tayini.....	64
3.3.2. Akışkan Ortam Koşullarının ANSYS-Fluent ile Tanımlanması.....	71
3.4. Hidrodinamik Kuvvete İlişkin Veri Setinin YSA ile Eğitilmesi.....	75
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	80

4.1. KOS Modelleme Yaklaşımına İlişkin Analiz Sonuçları.....	80
4.1.1. Model KOS-1 İçin Hidrodinamik Kuvvet Değerleri.....	80
4.1.2. Model KOS-2 İçin Hidrodinamik Kuvvet Değerleri.....	82
4.1.3. Model KOS-3 İçin Hidrodinamik Kuvvet Değerleri.....	83
4.1.4. Model KOS-4 İçin Hidrodinamik Kuvvet Değerleri.....	85
4.1.5. Model KOS-5 İçin Hidrodinamik Kuvvet Değerleri.....	86
4.1.6. KOS Modelleri için Genel Karşılaştırma.....	88
4.2. KOD Modelleme Yaklaşımına İlişkin Analiz Sonuçları.....	91
4.2.1. Model KOD-1 İçin Hidrodinamik Kuvvet Değerleri.....	92
4.2.1. Model KOD-2 İçin Hidrodinamik Kuvvet Değerleri.....	93
4.2.3. KOD Modelleri için Genel Karşılaştırma.....	95
4.3. YSA Analiz Sonuçları.....	98
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	103
KAYNAKLAR.....	107
ÖZGEÇMİŞ.....	110



KISALTMALAR DİZİNİ

API RP2A	American Petroleum Institute-Recommended practice for Planning, Designing and Constructing Fixed Offshore Platforms (Amerikan Petrol Enstitüsü-Sabit Açıkdeniz Platformlarının Planlanması, Tasarlanması ve Oluşturulması için Önerilen Uygulama)
CAD	Computer Aided Design (Bilgisayar Destekli Tasarım)
CAM	Computer Aided Manufacturing (Bilgisayar Destekli Üretim)
ECMWF	European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (Avrupa Merkezi Orta Menzilli Hava Tahminleri)
EIA-TIA-222G	Structural Standards for Steel Antenna Towers and Antenna Supporting Structures (Çelik Anten Kuleleri ve Anten Destek Yapıları için Yapısal Standartlar)
GSM	Global System for Mobile Communications (Mobil İletişim İçin Küresel Sistem)
HAD	Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği
KOD	Katılık Oranı Değişken
KOS	Katılık Oranı Sabit
MAPE	Ortalama Mutlak Yüzde Hata (Mean Absolute Percentage Error)
NOAA	The National Oceanic and Atmospheric Administration (Ulusal Okyanus ve Atmosfer İdaresi)
RMSE	Ortalama Hata Kareleri Kökü (Root Mean Square Error)
SSE	En Küçük Hata Kareleri Toplamı (Sum of Squared Error)
SSS	Sakin Su Seviyesi
YSA	Yapay Sinir Ağları

SEMBOLLER DİZİNİ

A_A	: Aksesuar izdüşüm (m^2)
A_C	: Taşıyıcı olmayan elemanların izdüşüm alanı (m^2)
A_E	: Taşıyıcı elemana ait yapısal bileşenlerin izdüşüm alanı (m^2)
A_F	: Yapısal elemanların izdüşüm alanı (m^2)
A_G	: Toplam izdüşüm alanı (m^2)
A_{is}	: Buz kütesine ait yüzey alanı (m^2)
A_n	: Denklem sabitleri
A_R	: Uzay taşıyıcı sistem elemanlarının etrafındaki kesit artışı (m^2)
a	: Dalga genliği (m)
a_C	: Dalga çukuru ile sakin su seviyesi arasındaki mesafe (m)
a_T	: Dalga tepesi ile sakin su seviyesi arasındaki mesafe (m)
C_A	: Lineer ya da tekil kuvvet katsayısı
C_D	: Akışkan partikülünün hızından dolayı oluşan kuvvete karşı direnç katsayısı
C_F	: Yapı kuvvet katsayısı
C_g	: Dalga grup hızı (m/sn)
C_{ic}	: Akım sürüklenme katsayısı
C_{iw}	: Sürüklenme katsayısı
C_L	: Akışkan partikülünün düşey hareketinden dolayı oluşan kuvvete karşı kaldırma kuvveti katsayısı
C_M	: Atalet katsayısı
C_r	: Yansıma katsayısı
C_{sx}	: Çarpıklık katsayısı
C_t	: Rüzgar hızı ortalama zaman faktörü
c	: Dalga yayılma hızı (m/sn)
cn	: Jacobian eliptik fonksiyon
D_F, D_R	: Düz ve eğrisel yüzeyler için rüzgar yön faktörü
D₁	: 1. Deniz ortam koşulu
D₂	: 2. Deniz ortam koşulu
d	: Su derinliği (m)
d_b	: Kırılma derinliği (m)
d_g	: Gergi çubuğunun çapı (m)

E	: Toplam sistem hatası
e	: Katılık oranı
F_D	: Sürüklenme kuvveti (N)
F_H	: Sürüklenme ve atalet kuvvetlerinin toplamı (N)
F_{ic}	: Akım sürüklenme kuvveti (N)
F_{iw}	: Rüzgar sürüklenme kuvveti (N)
F_L	: Kaldırma kuvveti (N)
F_M	: Atalet kuvveti (N)
F_R	: Rüzgar kuvveti (N)
F(z)	: Akıntı etkisi ile oluşan kuvvet (N)
F_{z(g)}	: Hesaplanan hidrodinamik kuvvet (N)
F_{z(h)}	: Tahmin edilen hidrodinamik kuvvet (N)
f	: YSA aktivasyon fonksiyonu
G_H	: Ani rüzgar tepki faktörü
g	: Yerçekimi ivmesi (m/sn ²)
H	: Dalga yüksekliği (m)
H_b	: Kırılan dalga yüksekliği (m)
H_d	: Dönen dalga yüksekliği (m)
H_s	: Gelen dalga yüksekliği (m)
H_r	: Yansıyan dalga yüksekliği (m)
H₀	: Derin su dalga yüksekliği (m)
h	: Yapının zeminden en üst kotuna kadar olan toplam yükseklik (m)
KC	: Keulegan Carpenter parametresi
K_d	: Dönme katsayısı
K(m)	: Birinci mertebe eliptik integral
K_r	: Sapma katsayısı
K_s	: Sığlaşma katsayısı
K_z	: Rüzgar etki katsayısı
k	: Dalga sayısı
k(z)	: 0~0.01 aralığında değişen katsayı
L	: Dalga boyu (m)
L_C	: Gergi çubuğunun boyu (m)
L₀	: Derin su dalga boyu (m)
m	: Deniz tabanı eğimi (%)

m^*	: Eliptik modül
M, N	: H/d 'ye bağlı fonksiyonlar
n	: Mertebe sayısı
p	: Basınç (Pa)
Q	: Ağ ağırlıkları
$q_D(z)$: Akıntı basıncı (Pa)
q_z	: Rüzgar basıncı (Pa)
R	: Korelasyon katsayısı
R_R	: Eğrisel yüzeyler için azaltma faktörü
S_x	: Standart sapma
s	: Eğim (%)
T	: Dalga periyodu (sn)
t	: Zaman (sn)
t_r	: Referans süre (sn)
U	: Ursell parametresi
U_a	: Akım hızı (m/sn)
$U_D(z)$: Akıntı hızı (m/sn)
U_{deniz}	: Denizde 10m referans yüksekliğinde ölçülen rüzgar hızı (m/sn)
U_G	: Kayıt edilen en büyük rüzgar hızı (m/sn)
U_{kara}	: Karada 10m referans yüksekliğinde ölçülen rüzgar hızı (m/sn)
U_m	: Yapı mevcut değilken belirlenen en akışkan büyük hızı (m/sn)
U_{ns}	: Yakın kıyı akıntı hızı (m/sn)
U_s	: Devamlı rüzgar hızı (m/sn)
$U_{so}(0)$: Deniz seviyesindeki akıntı hızı (m/sn)
$U_{ss}(z)$: Yüzey altındaki akıntı hızı (m/sn)
$U(t)$: 10m referans yüksekliğinde ölçülen ortalama rüzgar hızı (m/sn)
$U(t_r)$: Referans rüzgar hızı (m/sn)
$U_w(z)$: Yüzeğe yakın akıntı hızını (m/sn)
U_z	: z seviyesindeki rüzgar hızı (m/sn)
$U_{z'}$: z' seviyesindeki rüzgar hızı (m/sn)
u	: Akışkan partikülünün x doğrultusunda yatay hız bileşeni (m/sn)
v_R	: Rüzgar hızı (m/sn)
W_n	: YSA ağırlıkları

w	: Akışkan partikülünün z doğrultusunda düşey hız bileşeni (m/sn)
X_n	: YSA girdileri
x,y,z	: Koordinat eksenleri (m)
x_p	: Dalganın kırılmaya başladığı nokta ile kırılma noktası arasındaki mesafe (m)
z^*	: Yapı sektörü orta noktasının deniz tabanına mesafesi (m)
ε	: Solitary dalga için H/d oranı
ϕ	: Hız potansiyeli
γ_b	: Kırılma indeksi
η	: Su yüzeyi profili (m)
ρ	: Özgül kütle (Nsn^2/m^4)
ω	: Dalga açısal frekansı (1/sn)
θ	: Faz açısı
θ_0	: Dalga tepelerinin derin su koşullarında batimetri ile yaptığı açı (0)
θ_1	: Sığ su koşullarında dalga tepesi ile batimetri arasındaki açıyı (0)
ψ	: Akım fonksiyonu
ξ_0	: Surf parametresi

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.1. Uzay kafes tipi karasal yapı örnekleri.....	2
Şekil 1.2. Uzay kafes tipi açık deniz yapı örnekleri.....	2
Şekil 2.1. Sabit açık deniz yapıları.....	9
Şekil 2.2. Ceket tip yapı.....	10
Şekil 2.3. Meksika Körfezi'ndeki Baldpate platformu.....	10
Şekil 2.4. Betonarme ağırlık tipi yapılar.....	11
Şekil 2.5. Gergi ayaklı platform.....	12
Şekil 2.6. Hareketli açık deniz yapıları.....	13
Şekil 2.7. Yarı batık yapı.....	13
Şekil 2.8. Kriko tip yapı.....	14
Şekil 2.9 Açık deniz yapılarına etkiyen kuvvetler.....	15
Şekil 2.10. Uzay taşıyıcı sistem sektörleri.....	22
Şekil 2.11. Katılık oranına bağlı yapı kuvvet katsayısının değişimi.....	24
Şekil 2.12. Rüzgar kuvvetinin düğüm noktalarına dağılımı.....	26
Şekil 2.13. Deniz akıntılarının sınıflandırılması.....	27
Şekil 2.14. Ekman spirali.....	28
Şekil 2.15. Dalga karakteristikleri.....	32
Şekil 2.16. Frekansa göre dalga sınıflandırılmaları.....	33
Şekil 2.17. Küçük ve büyük genlikli dalga teorileri ve geçerli olduğu bölgeler	34
Şekil 2.18. Dalga teorileri geçerlilik sınırları.....	35
Şekil 2.19. Yarı geçirimsiz dalgakıran etkisi ile dalga dönmesi.....	38
Şekil 2.20. Dalga kırılma şekilleri.....	41
Şekil 2.21. Kırılma mesafesi.....	42
Şekil 2.22. Lineer ve 2.mertebe Stokes dalga teorileri hesabı ile dalga yatay hızı.....	48
Şekil 2.23. M ve N fonksiyonlarının H/d ile ilişkisi.....	50
Şekil 3.1. ANSYS-Workbench ekran görüntüsü.....	55
Şekil 3.2. ANSYS-Fluent yazılımı ile geometri ve ağ yapısının ile oluşturulması	55
Şekil 3.3. ANSYS-Fluent yazılımı ile malzeme ve sınır şartlarının tanımlanması	56
Şekil 3.4. ANSYS-Fluent yazılımı ile dalga parametrelerine ait veri girişi.....	57
Şekil 3.5. ANSYS-Fluent çözüm ekran görüntüsü.....	57
Şekil 3.6. ANSYS-CFD-Post ekran görüntüsü.....	58
Şekil 3.7. Tipik bir yapay sinir hücresi.....	58
Şekil 3.8. (a) İleri beslemeli ağ yapısı, (b) Geri beslemeli ağ yapısı.....	60
Şekil 3.9. KOS Yapı modelleri.....	64
Şekil 3.10. KOD Yapı modelleri.....	65
Şekil 3.11. Model KOS-1.....	65
Şekil 3.12. Model KOS-2.....	66
Şekil 3.13. Model KOS-3.....	67
Şekil 3.14. Model KOS-4.....	68
Şekil 3.15. Model KOD-1 ve KOD-2.....	69
Şekil 3.16. Akışkan ortam geometrisi.....	71
Şekil 3.17. Akışkan ortam hücre ağı yapısı.....	72
Şekil 3.18. Akışkan ortam sınır şartları.....	73
Şekil 3.19. YSA eğitim veri seti.....	76
Şekil 3.20. T ₁ veri seti.....	77
Şekil 3.21. T ₂ veri seti.....	78

Şekil 4.1. Model KOS-1-1.sektör için hidrodinamik kuvvetin zamanla değişimi.....	80
Şekil 4.2. Model KOS-1-2.sektör için hidrodinamik kuvvetin zamanla değişimi.....	81
Şekil 4.3. Model KOS-1-3.sektör için hidrodinamik kuvvetin zamanla değişimi.....	81
Şekil 4.4. Model KOS-2-1.sektör için hidrodinamik kuvvetin zamanla değişimi.....	82
Şekil 4.5. Model KOS-2-2.sektör için hidrodinamik kuvvetin zamanla değişimi.....	82
Şekil 4.6. Model KOS-2-3.sektör için hidrodinamik kuvvetin zamanla değişimi.....	83
Şekil 4.7. Model KOS-3-1.sektör için hidrodinamik kuvvetin zamanla değişimi.....	83
Şekil 4.8. Model KOS-3-2.sektör için hidrodinamik kuvvetin zamanla değişimi.....	84
Şekil 4.9. Model KOS-3-3.sektör için hidrodinamik kuvvetin zamanla değişimi.....	84
Şekil 4.10. Model KOS-4-1.sektör için hidrodinamik kuvvetin zamanla değişimi.....	85
Şekil 4.11. Model KOS-4-2.sektör için hidrodinamik kuvvetin zamanla değişimi.....	85
Şekil 4.12. Model KOS-4-3.sektör için hidrodinamik kuvvetin zamanla değişimi.....	86
Şekil 4.13. Model KOS-5-1.sektör için hidrodinamik kuvvetin zamanla değişimi.....	87
Şekil 4.14. Model KOS-5-2.sektör için hidrodinamik kuvvetin zamanla değişimi.....	87
Şekil 4.15. Model KOS-5-3.sektör için hidrodinamik kuvvetin zamanla değişimi.....	88
Şekil 4.16. KOS modelleri hidrodinamik kuvvet değerlerinin 1.sektör açısından karşılaştırılması.....	89
Şekil 4.17. KOS modelleri hidrodinamik kuvvet değerlerinin 2.sektör açısından karşılaştırılması.....	89
Şekil 4.18. KOS modelleri hidrodinamik kuvvet değerlerinin 3.sektör açısından karşılaştırılması.....	90
Şekil 4.19. Model KOD-1-1.sektör için hidrodinamik kuvvetin zamanla değişimi.....	92
Şekil 4.20. Model KOD-1-2.sektör için hidrodinamik kuvvetin zamanla değişimi.....	92
Şekil 4.21. Model KOD-1-3.sektör için hidrodinamik kuvvetin zamanla değişimi.....	93
Şekil 4.22. Model KOD-2-1.sektör için hidrodinamik kuvvetin zamanla değişimi.....	94
Şekil 4.23. Model KOD-2-2.sektör için hidrodinamik kuvvetin zamanla değişimi.....	94
Şekil 4.24. Model KOD-2-3.sektör için hidrodinamik kuvvetin zamanla değişimi.....	95
Şekil 4.25. Model KOD-1 ve KOD-2 1.sektör hidrodinamik kuvvet değerlerinin karşılaştırılması.....	96

Şekil 4.26. Model KOD-1 ve KOD-2 2.sektör hidrodinamik kuvvet değerlerinin karşılaştırılması.....	96
Şekil 4.27. Model KOD-1 ve KOD-2 3.sektör hidrodinamik kuvvet değerlerinin karşılaştırılması.....	97
Şekil 4.28. Modele ilişkin sınır hücresi yapısı.....	98
Şekil 4.29. Hidrodinamik kuvvet eğitim verileri saçılma diyagramı.....	99
Şekil 4.30. Test modelleri saçılma diyagramı.....	99
Şekil 4.31. T ₁ modeline ilişkin ANSYS ve YSA sonuçlarının karşılaştırması..	100
Şekil 4.32. T ₂ modeline ilişkin ANSYS ve YSA sonuçlarının karşılaştırması..	101



TABLolar DİZİNİ

	Sayfa
Tablo 2.1. Ortalama süre ve rüzgar hızı ortalama zaman faktörü ilişkisi.....	19
Tablo 2.2. Rüzgar yön faktörü.....	25
Tablo 2.3. Aksesuar kuvvet katsayısı.....	25
Tablo 2.4. Bağlı derinliğe göre sınıflandırma.....	33
Tablo 2.5. Hidrodinamik katsayı değişimi.....	52
Tablo 3.1. Aktivasyon fonksiyonları.....	59
Tablo 3.2. Ağ modeli ve kullanım alanları.....	62
Tablo 3.3. Öğrenme algoritmaları ve kullanım alanları.....	63
Tablo 3.4. Model KOS-1'in tasarımında kullanılan profil adet ve boyutları....	66
Tablo 3.5. Model KOS-2'nin tasarımında kullanılan profil adet ve boyutları...	67
Tablo 3.6. Model KOS-3'ün tasarımında kullanılan profil adet ve boyutları....	68
Tablo 3.7. Model KOS-4'ün tasarımında kullanılan profil adet ve boyutları....	68
Tablo 3.8. Model KOS-5'in tasarımında kullanılan profil adet ve boyutları.....	69
Tablo 3.9. Model KOD-1'in tasarımında kullanılan profil adet ve boyutları....	70
Tablo 3.10. Model KOD-2'nin tasarımında kullanılan profil adet ve boyutları.	70
Tablo 3.11. Malzeme özellikleri.....	73
Tablo 3.12. Akışkan ortam sınır şartları.....	74
Tablo 3.13. Açık kanal dalgası sınır şartları.....	75
Tablo 3.14. Hidrodinamik kuvvet değerlerinin istatistik parametreleri.....	76
Tablo 4.1. Hidrodinamik kuvvet modeli eğitim performansı.....	98
Tablo 4.2. Hesaplanan ve tahmin edilen hidrodinamik kuvvet sapma oranları...	102

TEŞEKKÜR

Bilgi ve tecrübesi ile lisansüstü öğrenim hayatımın tüm zorlu aşamalarında maddi manevi her yönden yardımcı olan, tecrübeleri ile beni aydınlatan ve desteğini hiç eksik etmeyen, kendisini tanımaktan büyük onur duyduğum danışman hocam Sayın Prof. Dr. Ümit GÖKKUŞ'a, çalışmalarım sırasında vermiş oldukları destekten ötürü Figes A.Ő.'ye ve öğrenim hayatım boyunca beni maddi ve manevi olarak destekleyen ve hep yanımda olan aileme yürekten teşekkür ederim.

Begüm Yurdanur DAğLI
Manisa, 2017



ÖZET

Doktora Tezi

Açıkdeniz Yapılarında Uzay Taşıyıcı Sistem Elemanlarına Etkiyen Hidrodinamik Kuvvetlerin Katılık Oranına Göre Belirlenmesi

Begüm Yurdanur DAĞLI

Manisa Celal Bayar Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ümit GÖKKUŞ

Karada inşa edilen uzay kafes sistemlere etkiyen rüzgar kökenli yatay kuvvetler, sektörlerin katılık oranı esasına dayanan EIA-TIA-222G şartnamesine göre hesaplanmaktadır. Bu durumda, rüzgar hızı yapı yüksekliği ile birlikte artan kararlı akış olarak tanımlanabilmektedir. Rüzgar kaçınılmaz bir şekilde yapı elemanları üzerinde sürüklenme kuvvetlerini meydana getirmektedir.

Benzer yapıların deniz ortamında inşa edilmesi durumunda ise, yapı karasız bir akışkan etkisine maruzdur. Kararsız akışı temsil eden dalga akışı ile dalga periyodu boyunca ortaya çıkacak olan dalga hızları ve ivmeleri, yapıda sürüklenme ve atalet kuvvetlerinin doğmasına neden olmaktadır. Dikey, yatay ve çapraz yapı elemanları, dalga etkisinde çalkantıya yol açmaktadır. Bu durumda yapının nümerik modellemesi yapılarak karasız akışa maruz yapı elemanları üzerindeki hidrodinamik kuvvetler hesaplanabilmektedir. Modelleme ve analiz aşamaları, oldukça karmaşık olmakla birlikte uzun bir işlem sürecini de gerektirmektedir. Bu tez kapsamında, tasarımcı ve analist için daha kolay çözüm sağlayabilecek yeni bir hesaplama yöntemi ileri sürülmektedir.

Farklı katılık oranları ve farklı dalga parametreleri içeren hidrodinamik kuvvetleri hesaplamak için hem ANSYS-Fluent hem de Yapay Sinir Ağları (YSA) modellemeye ve nümerik analizde kullanılmıştır. Çözüm işleminin başlangıcında, ANSYS-Fluent modeli uygulamaksızın öncelikle YSA modeli kullanılmıştır ve akabinde, Stokes 2 dalga teorisine uygun geliştirilen farklı dalga yüksekliği (H) , periyodu (T), su derinliği (d) gibi parametreleri işleyen YSA modelinden eşdeğer hidrodinamik kuvvetlerin elde edilebileceği ortaya konulmuştur.

Bununla birlikte, karasız akış ortamı için her bir sektörün katılık oranına göre nispeten kolay bir çözüm yöntemi sağlayan YSA modeli ile hidrodinamik kuvvetlerin pratik bir şekilde hesaplanabileceği sonucuna varılmıştır. YSA modelinin doğru kurulabilmesi için katılık oranı sabit ve değişken olan yedi model üzerinde farklı hidrodinamik kuvvetler, ANSYS-Fluent paket programı kullanılarak hesaplanmıştır. YSA modeli, sektörel katılık oranı (ϵ), (H/gT^2) ve (d/gT^2) gibi boyutsuz değişkenler, sektörel boyutsuz değişken (z/d), karasız akış boyutsuz zaman değişkeni (t/T) ve proje yüzey alanı (A) parametrelerini göz önünde bulundurmaktadır. Her iki modelden elde edilen hidrodinamik kuvvetler kıyaslanmış

ve uygunlukları belirlenmiştir. YSA ile eğitim sonucunda elde edilen modelin ANSYS-Fluent programı ile hesaplanan hidrodinamik kuvvet değerlerini tahmin etmedeki başarısı değerlendirilerek hidrodinamik kuvvetlerin katılık oranı ile ilişkilendirilebileceği sonucuna ulaşılmıştır. Hassas, karmaşık ve uzun süreli çalışmayı gerektiren açık deniz yapılarının katılık oranı-hidrodinamik kuvvet ilişkisi kullanılarak daha hızlı ve pratik projelendirilebileceği ortaya konulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Açık Deniz Yapıları, Katılık Oranı, ANSYS-Fluent, Silindirik Cisme Etkiyen Hidrodinamik Kuvvet

2017, 129 sayfa



ABSTRACT

PhD Thesis

Determination of Hydrodynamic Forces Acting on Space-Truss System Members in Offshore Structures Depending on Solidity Ratio

Begüm Yurdanur DAĞLI

**Manisa Celal Bayar University
Graduate School of Applied and Natural Sciences
Department of Civil Engineering**

Supervisor: Prof. Dr. Ümit GÖKKUŞ

Generally, the wind-induced horizontal forces acting on a space-truss system constructed on land have been calculated by using EIA-TIA-222G standart based on solidity ratio of its sectors. In this case, the wind velocity can also be defined as steady-state flow increasing with structure height. Therefore, such velocities will cause the drag forces on structural members.

When constructing similar structures in marine, it is seen that the project area will be exposed to the unsteady flow of wave movement. Horizontal wave particle velocities and accelerations due to the unsteady flow of harmonically oscillating wave cause to occur the drag forces as well as the inertia forces. In addition to this, the wave motions around vertical, lateral and braced members transform the fluctuations within structure sectors. In this case, the calculation of hydrodynamic forces on these members becomes complicated and can be only accomplished numerically. Modelling and analysis process is rather complicated with considerably long processing time. Because of this, a new approach is proposed to make ease the process for designers.

In order to calculate hydrodynamic forces which include different solidity ratios and wave parameters, both ANSYS-Fluent and Artificial Neural Network (ANN) are used in modelling and solving numerically. In this study, at the beginning of solving process, the ANN model is at first used without performing ANSYS-Fluent model and then, it is founded that the equivalent hydrodynamic forces can be obtained from the ANN model processing the parameters satisfying the Second Order Stokes wave theory such as different wave heights (H), periods (T) and water depths (d) together with both constant and variable solidity ratios.

Moreover, it is concluded that the hydrodynamic forces on the basis of ANN model, which provides relatively esay way, can be practically calculated in accordance with the solidity ratio of each sector for unsteady flow. In developing an accurate ANN model, these forces are firstly calculated by the ANSYS-Fluent software for the seven-different structures which have both constant and variable solidity ratio. The ANN model considers several parameters; solidity ratio of each sector (e), dimensionless numbers such as $H/(gT^2)$ and $d/(gT^2)$, sectorial dimensionless numbers (z/D), dimensionless number for unsteady flow (t/T) and

project area of each sector (A) for each structure. The forces obtained from the both models are compared and their conveniences are proved statistically. It is concluded that hydrodynamic forces calculated will be associated with their solidity ratios by evaluating the success of ANN model in predicting those of ANSYS-Fluent It has been demonstrated that it is possible to be projected more rapidly and practically by using the solidity ratio-hydrodynamic force relationship of the offshore structures, which require precise, complex and long-term operation.

Keywords: Offshore Structures, Solidity Ratio, ANSYS-Fluent, Hydrodynamic Forces on Cylindrical Bodies

2017, 129 pages



1. GİRİŞ

Uzay taşıyıcı sistemler, mafsallı düğüm noktaları ile birbirine eksenel yük aktaran doğrusal çubuklar ağından oluşan düzenlerdir. Bu sistemlerin üç boyutlu kafes ve çerçeve olmak üzere iki farklı şekilde tasarımı yapılabilmektedir. Uzay taşıyıcı sistemli yapılar üstünlükleri nedeni ile hem kara üstü hem de deniz yapılarında sıklıkla tercih edilmektedir. Her iki doğrultuda yük aktarabilen yüksek dereceden hiperstatik sistemlerdir [1]. Bu özellik uzay sistemleri güvenlik açısından ön plana çıkarmaktadır. Prefabrikasyona müsait olması nedeni ile kalite kontrolün denetim altında olduğu üretim imkanlarına sahiptir. Montaj kolaylığı sayesinde sökülüp tekrar başka alanlarda değerlendirilebilen yapı sistemleridir. Yapı teknolojilerinde aranan hızlı üretim ve kolay montaj beklentisi modüler ve hafif uzay taşıyıcı sistemler ile karşılanmaktadır. Tanımlanan geometrik özelliklere uygun imal edilebilen yapı sistemlerinde çelik ve paslanmaz çelik en çok tercih edilen malzemedir. Büyük açıklıkların geçilmesine ve yüksek kulelerin inşasına olanak sağlayan sistemler rüzgar ve dalga gibi etkili iki çevresel faktöre karşı direnç göstermektedirler. Zamanla değişen rüzgar ve dalga kuvvetleri yapı stabilitesi üzerinde büyük rol sahibidir.

Çok geniş kullanım alanına sahip uzay taşıyıcı sistemler, karasal ve açık deniz yapıları olmak üzere iki gruba ayrılmış ve bu şekilde tanım aralığı sınırlandırılarak tanıtılması yoluna gidilmiştir.

1.1. Uzay Kafes Tipi Karasal Yapılar

Enerji iletim hatlarındaki ana direkler (kuleler), rüzgar türbin kuleleri, köprü ve viyadük ayakları, GSM ve haberleşme kuleleri uzay kafes tipi çelik yapılardan bazılarıdır.

Eğri yüzeyli ve düzlem yüzeyli olmak üzere ikiye ayrılan uzay kafes yapıyı oluşturan elemanlar; çubuk, düğüm noktaları (cıvata, somun ve pimler), mesnet, temel ve kaplama malzemesinden meydana gelmektedir [2]. Uzay kafes tipi karasal yapıların tasarımı, zati ağırlıklar, servis kuvvetleri, deprem kuvvetleri, rüzgar kuvvetleri ve termal kuvvetler dikkate alınarak yapılmaktadır. Şekil 1.1.'de görüldüğü gibi narin ve yüksek kafes yapılar için ise en etkili tasarım kuvveti

rüzgardır. Özellikle etrafı açık yapılarda rüzgar basınç faktörleri, kapalı alanlara göre 3 kat daha fazla olabilmektedir [3].

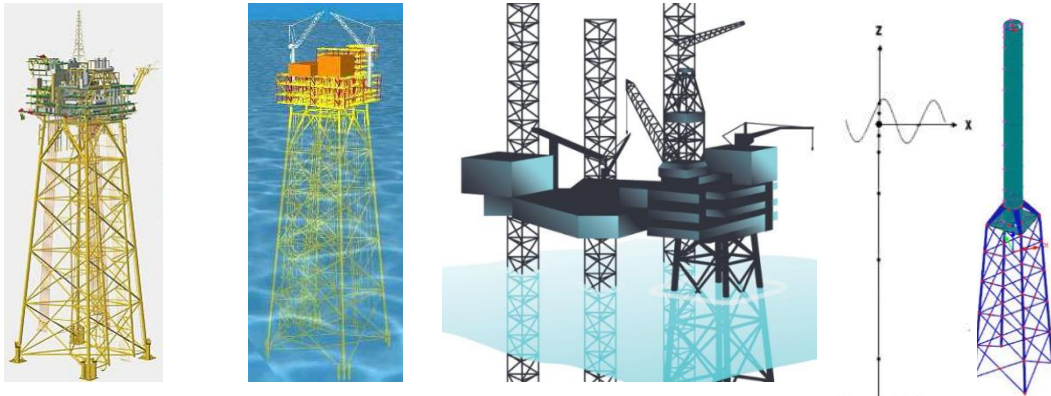


Şekil 1.1. Uzay kafes tipi karasal yapı örnekleri

Bu nedenle kule tipi uzay kafes yapılara etkiyen rüzgar kuvvetlerinin hesabına ilişkin geliştirilmiş yaklaşımlar ile basitleştirilmiş hesap esasları bulunmaktadır.

1.2. Uzay Kafes Tipi Açık Deniz Yapıları

Enerji ihtiyacının artması ile birlikte açık denizlerde sondaj imkanı sağlayan ahşap ayaklı platformlar zamanla çevre şartlarına uyumlu hale getirilerek ceket tipi çelik uzay kafes yapı modelinin gelişmesini sağlamıştır [4]. Şekil 1.2.'de uzay taşıyıcı sistem kullanılarak tasarlanan açık deniz yapılarına ait örnekler görülmektedir.



Şekil 1.2. Uzay kafes tipi açık deniz yapı örnekleri

Günümüzde ise doğal kaynaklardan ve yenilenebilir kaynaklardan enerji üretimi yoluna gidilmektedir. Bu kaynaklardan karasal alanlarda yararlanılabildiği gibi deniz ortamından da yararlanılabilmesi için açık deniz teknolojilerinde önemli ilerlemeler kaydedilmiştir.

Uzay kafes tipi açık deniz yapılarının karada inşa edilenlerden farkı, tasarım aşamasında etkili olan hidrodinamik kuvvetlerdir. Rüzgarın yanı sıra dalga etkisi de çok önemli bir çevresel kuvvettir. Bu nedenle hesaplara doğru şekilde yansıtılması hem kurulum ve montaj aşamasında hem de yapı ekonomik ömrü boyunca büyük önem taşımaktadır.

1.3. Literatür Özeti

Günümüze kadar farklı açık deniz yapıları üzerine yapılan çalışmaların yanı sıra farklı yükleme koşulları ve analiz yöntemlerine ilişkin de birçok araştırma yapılmıştır.

Penzien ve diğ. [5] açık deniz kulelerinin rastgele dalgalara ve deprem kuvvetleri altında stokastik analizine ilişkin çalışma yapmışlardır. Pierson-Moskowitz dalga spektrumu, rüzgar tarafından oluşturulan yüzey dalgalarının neden olduğu rastgele deniz durumunu tanımlamak için lineer dalga teorisi ile birlikte kullanılmıştır. Deprem hareketi nedeni ile oluşacak yatay yer ivmesi sonlu süredeki sıfır ergodik Gaussian işlemi ile karakterize edilmiştir. Dört farklı yükseklikteki kulelerin farklı su derinliklerindeki enine kesme ve devrilme momenti değerleri elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar tasarım yönetmeliğindeki değerler ile karşılaştırılmıştır.

Nichols [6], açık deniz yapılarında meydana gelebilecek hasarları belirleyebilmek amacı ile deneysel modeller ile çevresel uyarıcılara karşı, yapısal dayanım kontrolü yapmıştır. Açık deniz yapılarının maruz kaldığı periyodik dalga kuvvetleri, fırtına, deprem ve korozyon etkisi dikkate alınarak yapılan çalışma, yapının bu kuvvetlere karşı dayanabilmesini sağlamak amacı ile yeni teknikler araştırmak amacıyla gerçekleştirilmiştir.

Açık deniz yapılarının çeşitliliği, bu yapıların birçok çevresel faktör etkisinde bulunması ve değişen koşullara en uygun yapıyı tasarlama ihtiyacı sonucunda geniş bir çalışma alanı ortaya çıkmıştır.

Hao ve Liuk [7] kıyı şeridi yakınlarında bulunan rüzgar türbinlerinin servis ömrü boyunca maruz kaldığı, gemi etkilerinden kaynaklanan potansiyel tehlikeyi ortaya koymak amacı ile mono kazık, tripod ve ceket tip yapı modelleri üzerinde karşılaştırmalı bir çalışma yapmışlardır. Gemi geçişi sırasında yapıya etkileyen ilave basınç kuvveti farklı senaryolar altında analiz edilerek eğilme moment, çelik tüketimi, hasar alanı kriterlerine göre ceket tipi yapıların optimum anti-darbe performansına sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Li ve diğ. [8] ekonomi ve buz dayanımının tasarımı etkileyen iki önemli parametre olduğu Bohai Körfezinde yaptıkları çalışmada düğüm noktalarındaki yorulma ömrünü dikkate alarak optimum dizaynı belirlemeyi amaçlamışlardır.

Kim ve Lee [9] çevresel kuvvetler altındaki ceket tipi açık deniz rüzgar türbini destek yapısının güvenilirlik analizi gerçekleştirmişlerdir. Limit durum fonksiyonu, çamur içerisindeki dinamik davranış esas alınarak tanımlanmıştır. Dalga ve rüzgar etkisi altında gerçekleştirilen çalışma kapsamında güvenilirlik indeksi, birinci derece güvenilirlik metodu kullanılarak bulunmuştur.

Günümüzde giderek artan enerji gereksinimi de açık deniz yapıları alanında yeni bir araştırma sahasını ön plana çıkarmıştır. Özellikle ceket olarak adlandırılan çelik uzay kafes sistemler kullanılarak modellenen petrol platformları ve rüzgar türbin kuleleri konusunda yapılan çalışma sayısı her geçen gün artmaktadır.

Yamada ve diğ. [10] çalışmalarında açık deniz platformlarının rastgele dalga ve deprem hareketi etkisi altında dinamik davranışını ortaya koymuşlardır. Deniz dalgaları Bretschneider güç spektrumu ile modellenirken dalga kuvvetleri Morison denklemi ile belirlenmiştir. Depremden kaynaklanan yanal yer ivmesi Tajimi-Kanai güç spektrumu ile tanımlanmıştır. Zemin-yapı dinamik etkileşiminin ve deniz dalgalarının sebep olduğu hidrodinamik sönüm etkileşiminin incelendiği çalışmada dalgaların açık deniz yapılarının sismik davranışını azalttığı vurgulanmıştır.

Elshafey ve diğ. [11] çalışmalarında, modellenen ceket tipi açık deniz yapısı üzerinde yapılan deneysel ve teorik araştırma sonuçlarını karşılaştırmışlardır. Deney kapsamında hem hava hem de su etkisi değerlendirilmiştir. Model rastgele dalga kuvvetlerine tabi tutulmuştur. Yapı ağırlığındaki değişimin etkisi ve dalga kuvvet karakteristikleri incelenmiştir. Deneysel çalışma sonuçları ve sonlu elemanlar metodu kullanılarak elde edilen yapının dinamik davranışına ilişkin sonuçlar karşılaştırılmış ve birbiri ile tutarlı olduğu gözlenmiştir.

Bea ve diğ. [12] açık deniz platformlarında yanal yükleme kapasitelerini belirlemek için analitik hesaplara alternatif olabilecek basitleştirilmiş bir yöntem geliştirmeye çalışmışlardır. Farklı boyutlarda aynı geometriye sahip platform üzerinde lineer ve lineer olmayan analizler yapılmıştır. Analiz sonucunda elde edilen yükleme ve kapasite değerlerinin, geliştirilen yöntem ile elde edilen değerler ile benzerlik gösterdiği görülmüştür. Basitleştirilmiş yöntem doğrulanarak, ileride yapılacak platformların geliştirilmesinde katkıda bulunabileceği vurgulanmıştır.

Foster [13], açık deniz kulelerinin lineer olmayan dinamik analizi için model geliştirmiştir. Okyanus, kuvvet ve yapısal sistemlerin modelleri detaylı olarak incelenmiş ve çözüm için gerekli denklemler formüle edilmiştir. Verilen sayısal bir örnekte sonuçlar grafiksel olarak sunulmuştur.

Raheem ve Aal [14] çevresel kuvvetler altında sabit ceket tipi platformun nonlineer dinamik analizi üzerine çalışmışlardır. Yapısal kuvvetler ve dalga kuvvetleri altında oluşturulan üçüncü mertebe sonlu elemanlar modeli ile gerilme ve deplasmanlar belirlenmiştir. Akıntı ve 5. Mertebe Stokes dalgası dikkate alınarak kuvvetler Morison denklemi ile belirlenmiştir. Deniz ortam koşulları değiştirilerek elde edilen sonuçlar karşılaştırmalı olarak oraya konmuştur. Yapının doğal frekansı ve mod yapısı incelenmiştir. Emniyetli tasarım açısından nonlineer etkilerin doğru bir şekilde simüle edilmesinin önemi vurgulanmıştır.

Abhinav ve Saha [15] çalışmalarında sabit ceket tipi rüzgar türbinin dalga kuvvetleri altındaki davranışını yapı zemin etkileşimini dikkate alarak ve ihmal ederek hesaplamış ve sonuçları karşılaştırmışlardır. Dinamik analiz için dalga yüksekliği, dalga süperpozisyonu yöntemi ile belirlenmiştir. Dalga parametrelerinin

tahmini JONSWAP dalga spektrumu ile yapılmıştır. İki farklı model üzerinde gerçekleştirilen çalışmada yapının doğal frekansındaki değişim incelenmiştir.

1.4. Tezin Amacı

Karasal ortamda kullanılan uzay kafeslere etkiyen rüzgar kökenli yanal kuvvetlerin hesabında EIA-TIA-222G şartnamesine göre her sektöre ilişkin katılık oranını esas alan bir fonksiyonla, sektöre etkiyen yanal kuvvetin belirlenmesine yönelik bir hesaplama biçimi uygulanmaktadır. Bir akışkan olan rüzgar akımı, kararlı akış olarak dikkate alınmaktadır. Bu nedenle uzay kafes oluşturan elemanlar üzerinde zamanla değişmeyen akışkan hızına yönelik bir çalışmayı gerektirir. Çubuk elemana etkiyen sürüklenme kuvveti, çubukların rüzgarla temas ettiği yüzey alanlarında basınç etkisi yaparken ard bölgelerinde ise bir vakum söz konusu olmaktadır. Her bir sektörün orta kotlarına etkiyen rüzgar kuvvetleri belirlenirken iç çubuklara etkiyen kuvvetlerin toplamalarının hesaplanması yerine, eşdeğer yanal kuvvet oluşturacağı kabul edilerek sektör iç bölgelerindeki çapraz ve dikey-yatay çubukların proje alanları için bir katılık oranı uygulanmaktadır. Tekil yanal kuvvet bağıntısında yer alan bu katılık oranı ile rüzgarın iç çubuklara etkimesi durumunda doğacak kuvvete eşdeğer bir yanal rüzgar kuvveti hesaplanmaktadır. Bileşke kuvvet olarak hesaplanan bu kuvvetler, sektör köşelerindeki düğümlere tekil yük olarak dağıtılmaktadır. Alt ve üst sektörlerden etkiyen yanal kuvvetlerin bileşkeleri tekil kuvvetleri arttırmaktadır. Bu yanal yükleme tüm sektörlerle uygulanarak yapısal analiz aşamasına geçilmektedir. SAP 2000 yazılımı kullanılarak yapılan yapısal analiz sonuçları kullanılarak çubuklarda oluşacak gerilmeler ve gerilme sınır değerleriyle kıyaslaması sonucu performans analizi yapılmaktadır. Taşıyıcı sistem çubuklarının kapasitelerinin uygun elde edilmesiyle analiz sonuçlandırılmakta aksi halde taşıyıcı elemanların geometrileri değiştirilerek iterasyonla uygun sonuçlar elde edilinceye kadar analiz tekrarlanmaktadır.

Deniz ortamında ise karadakine benzer bir uzay kafes, uzay çerçeve ve uzay çerçeve-kafes birleşimli taşıyıcı sisteme etkiyen kuvvetler iki farklı hesaplama ile temsil edilmektedir. Birincil yüklemelerde dikkate alınan; su üstündeki çelik çubuklara karadakine benzer şartname ve yöntemle hesaplanan kararlı akış formundaki rüzgar kuvvetleridir. İkincil yüklemelerde ise ele alınan; su altındaki çubuklara etkiyen kararsız akış formundaki dalga kuvvetleridir. Genellikle derin ve orta su

kesimlerinde doğan bu kuvvetler sığ sularda da etkili olabilmekte ve yapının su altında kalan tüm elemanlarına ya da kısmen bazı derinliklere kadar olanlarına uygulanmaktadır. Dalga kuvvetlerinin rastgele ya da periyodik olması durumuna göre dalga parametreleri hesaplanabilmektedir. Bu nedenle dalga kayıtlarının incelenerek, dalga özellikleri hakkında bilgi edinilmesi önem arz etmektedir. Diğer bir önemli nokta ise; periyodik dalgalar için temel parametre olarak seçilen derinlik (d), tasarım dalga periyodu (T) ve yüksekliğe (H) göre dalga teorilerinin farklılık göstermesidir. Kullanılacak lineer ya da non-lineer dalga teorileri, bu temel parametreler dikkate alınarak belirlenmektedir. Dalga hız ve ivme bağıntılarına seçilen dalga teorisine bağlı olarak lineer ya da non-lineer formda ulaşılmaktadır.

Kararsız akışı temsil eden dalga akımı ile dalga periyodu boyunca ortaya çıkacak olan dalga hızları ve ivmeleri, su altındaki bir sektör içinde kalan ana ayaklara, çaprazlara ve diyafram olarak adlandırılan yatay çubuklara hidrodinamik kuvvetler uygulamaktadır. Bu kuvvetler; dalga hızı esaslı hidrodinamik sürüklenme kuvvetleri (drag force) ve dalga ivmesi esaslı atalet kuvvetleridir (inertia force). Bu kuvvetlerin toplamı, her bir sektörün ağırlık merkezinin ortalama derinliğine göre, sektörde yer alan tüm çubukların yüzey alanına ve eğimine bağlı olarak belirlenmektedir. Belirli bir derinlikteki atalet ve sürüklenme kuvveti toplamı hesaplanarak sektör köşelerindeki düğüm noktalarına etkitilmektedir. Noktasal yüklemenin yanı sıra çubuk yüzeylerine üniform olarak da yüklenebilmekte olup daha karmaşık bir analizi gerektirdiğinden tercih edilmemektedir.

Kararlı rüzgar akışını temsile eden tasarım rüzgar hızı ve iç çubukları temsil eden katılık oranı prensibi ile sektörel yanal toplam kuvvet hesaplamaları yapılabilmektedir. Tüm çubuklara uygulanan rüzgar yüküne eşdeğer kabul edilen bu kuvvet ile düğüm noktalarına dağıtılan tekil yüklemeler altında yapısal analiz yapılabilmektedir. Ancak, kararsız dalga akışında tüm çubuklara etkileyen hidrodinamik kuvvetler ayrı ayrı hesaplanmaktadır. Tüm çubukların konumları ve geometrileri ile kendilerine etkileyen dalga parametrelerinin ve kuvvetlerinin doğru ve ayrı ayrı hesaplanması, zamana bağlı değişkenlikleri, gerek hidrodinamik analizlerde gerekse yapısal analizlerde statik analizden ziyade dinamik analizi gerekli kılmaktadır. Bu da tasarımcı ve analist için birçok karmaşa ve güçlüklerin doğmasına

sebeptir. Dolayısıyla hesaplamalarda hassas ve doğru sonuçların hızlı ve pratik bir şekilde elde edilmesini engellemektedir.

Bu tez kapsamında, tasarımcı ve analist için daha kolay hesaplama sağlayabilecek yeni bir hesaplama yöntemi ileri sürülmektedir. Karasız akış (dalga) ortamında su altında kalan uzay taşıyıcı sistem elemanlarına etkiyen hidrodinamik kuvvetlerin belirlenmesinde; kararlı akış (rüzgar) ortamında su üstündeki uzay taşıyıcı elemanlara etkiyen yanal kuvvetlerin hesaplanmasında kullanılan katılık oranı yaklaşımına benzer bir yöntemin geliştirilmesi amaçlanmaktadır. Uzay çerçeve ve kafes elemanlara etkiyen hidrodinamik kuvvetler için basitleştirilmiş ve genelleştirilmiş bir çözüm yöntemi elde edilmeye çalışılmıştır. Farklı geometrilere ve katılık oranlarına sahip yapısal modeller üzerinde, farklı deniz ortam koşulları altında oluşacak hidrodinamik kuvvetler, su altında dalgadan etkilenen her bir çubuk için ANSYS-Fluent yazılımı kullanılarak hesaplanmıştır. Hidrodinamik kuvvetler ile katılık oranı arasındaki ilişkiyi fonksiyonel olarak ifade edebilmek için modellerden elde edilen dalga kökenli ve yapısal kökenli parametreler Yapay Sinir Ağları (YSA) yöntemi kullanılarak değerlendirilmiştir. Yeni bir kontrol modeli üzerinde konum, yapısal geometri ve dalga parametreleri üretilerek; ANSYS-Fluent yazılımı ile hesaplanan hidrodinamik kuvvetlerin, YSA yöntemi ile geliştirilen bağıntılardan elde edilecek kuvvetlerle karşılaştırılması ve yeni önerilen yöntemin doğrulamasının yapılması bu çalışma kapsamında hedeflenmektedir.

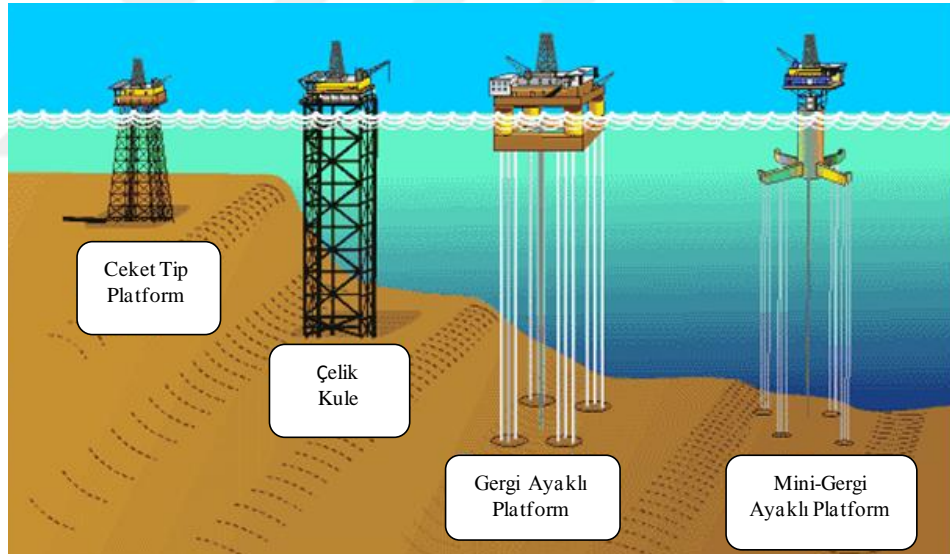
2. GENEL BİLGİLER

2.1. Açık Deniz Yapı Tipleri

En genel anlamda platformlar olarak bilinen açık deniz yapıları denizlerdeki depolama tankları, tanker yükleme platformları, kazıklar üzerine inşa edilen deniz yapıları, denizaltı boru hatları ve açık deniz rüzgâr enerjisi elde etmek için inşa edilen yapıları da kapsamaktadır. Açık deniz yapılarını sabit yapılar ve hareketli yapılar olmak üzere iki ana gruba ayırmak mümkündür.

2.1.1. Sabit Açık Deniz Yapıları

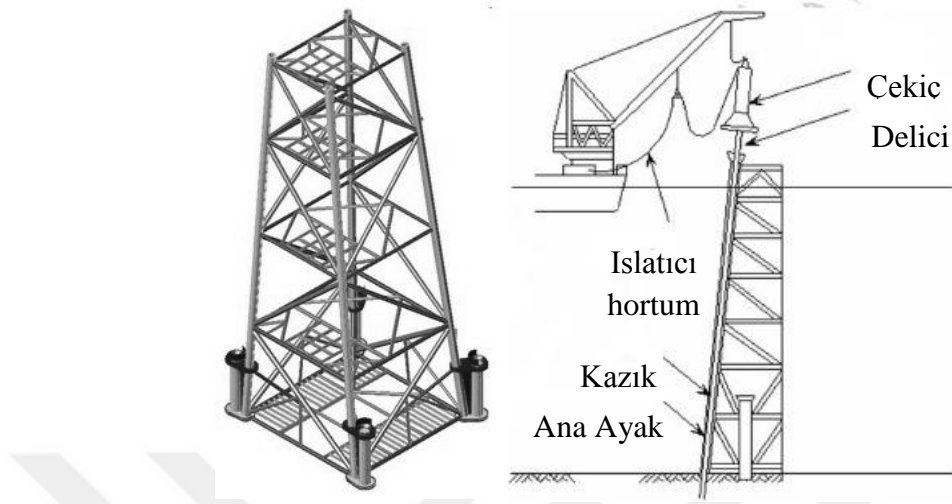
Kullanım amacı, çalışma alanı ve etkileneceği çevresel koşullara göre; ceket tip platformlar ve kuleler, betonarme ağırlık yapıları, gergi halatlı platformlar biçiminde tasarlanmaktadır. Sabit açık deniz yapılarına ait örnekler Şekil 2.1'de verilmiştir.



Şekil 2.1. Sabit açık deniz yapıları

Ceket Tip Yapılar: Genellikle 150 m'den az su derinliklerinde inşa edilen kafes çelik ayaklar ve bunların üzerine yerleştirilen çalışma platformu (güverte) ve modüllerden oluşurlar. Ceket tip kuleler 4 ayaklı, 6 ayaklı ve 8 ayaklı olacak şekilde tasarlanabilmektedirler [16]. Bu tür yapılar sahada inşa edildikten sonra proje bölgesine taşınarak yerinde birleştirilir ve çalışma pozisyonu alırlar. Bu yapıların dengesi çelik kazıklarla birlikte deniz zeminine sabitlenerek sağlanmaktadır.

Şekil 2.2’de görüldüğü gibi 1–2 m çapındaki kalın çelik borulardan oluşan kazıklar 100m’ye kadar deniz yatağına girebilmektedirler [17].



Şekil 2.2. Ceket tip yapı

Yüksek taşıma kapasiteleri ve geniş alanlarda uzun zaman çalışabilmeleri nedeni ile tercih edilen ceket tipi yapıların dezavantajları ise derinlik arttıkça maliyetin artması, başlangıç ve bakım maliyetinin yüksek olması, çelik yapı elemanlarının korozyondan etkilenmeleridir.

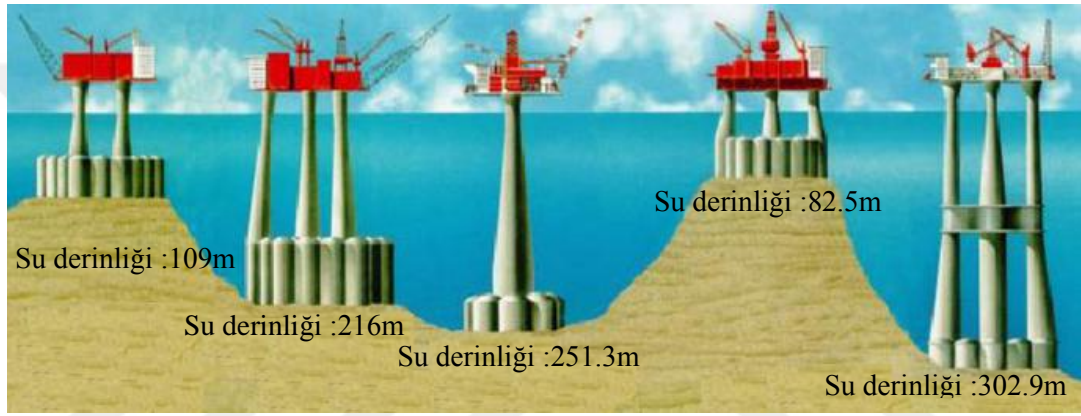
Çelik Kuleler: Üç veya daha fazla ayaklı uzay kafes ana çerçevenin, yatay ve diyagonal elemanlarla desteklenmesi ile oluşan sistemlerdir. Şekil 2.3’de görüldüğü gibi karada inşa edilen çelik kule yüzdürülerek yerine götürülmektedir.



Şekil 2.3. Meksika Körfezi'ndeki Baldpate platformu [18]

Yapının tabanında köşe ayakların etrafında bulunan yuvalara yerleşen kazıklı temel ile zemine sabitlenebilmektedirler. Etek kazıkları olarak adlandırılan ek kazık elemanlar, yapının çevresi boyunca tabana bağlanarak temel güçlendirilebilmektedir.

Betonarme Ağırlık Tipi Yapılar: Sert çevre, iklim şartlarına sahip bölgeler için, betonarme ağırlık tipi platformlar en yaygın kullanılan çözüm yöntemidir. Genellikle, deniz tabanının kazıklı temel için müsait olmadığı yerlerde uygulanırlar. Farklı derinliklerde farklı tasarımlara sahip betonarme ağırlık tipi yapılara ilişkin örnekler Şekil 2.4'te verilmiştir.

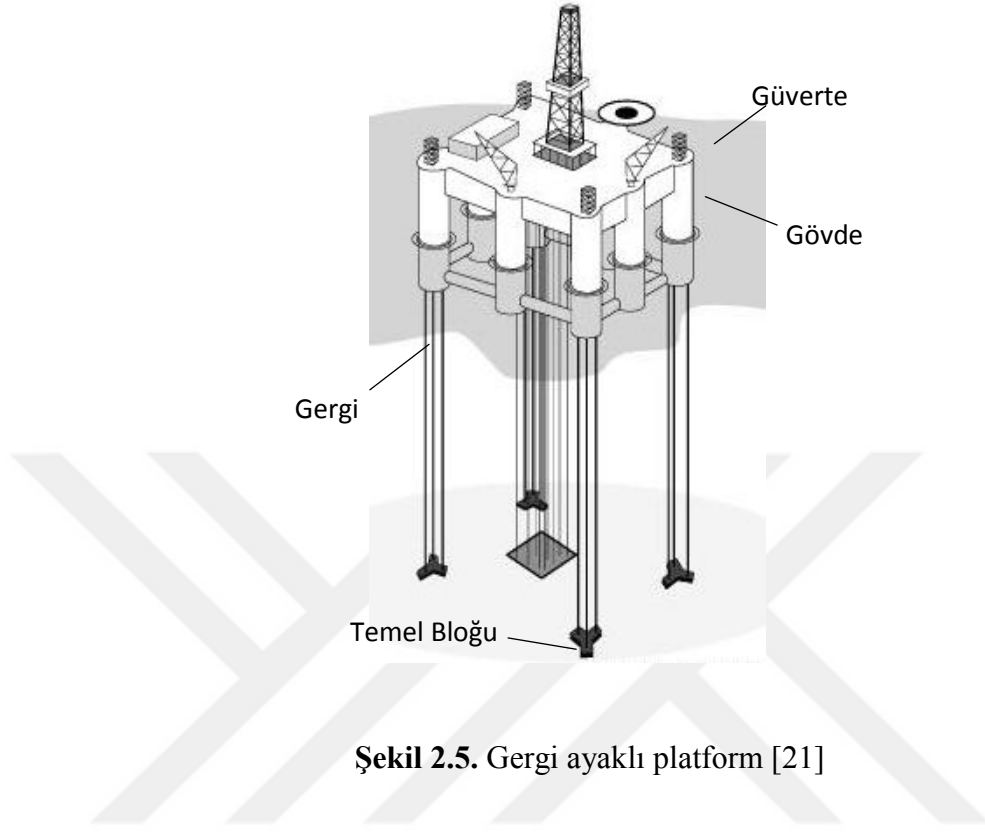


Şekil 2.4. Betonarme ağırlık tipi yapılar

Deniz tabanının büyük yüklemelere dirençli olduğu bölgelerde kullanılabilirler. Yapının yatay ve düşey stabilitesi, yapının kendi ağırlığı ile sağlanmaktadır. Ağırlık, zemin ile temas eden bölümün boyutlarını belirler. Çok geniş ayak tabanlarına sahip olmaları imalat ve montajı zorlaştırıp, masrafı arttırsa da büyük taşıma kapasitesine sahip olmaları ve tabandaki depolarında petrol stoklanabilmesi avantajlı yönleridir.

Gergi Ayaklı Yapılar: Derin sular için geliştirilen ve uygulaması yapılan sistemlerden biri de gergi ayaklı platformdur [19]. Demirleme sistemleri sayesinde düşey konumlandırılarak sabit hale getirilen gergi ayaklı platformlar yatay yüklerin gergi halatları ile taşınması prensibini kullanmaktadır. Böylece rüzgar türbini, televizyon, GSM ve radyo kulelerinde sıklıkla uygulanan platform yalnız düşey yükleri taşıyacak hafif bir yapı olmaktadır.

Şekil 2.5'te örneklenen platformlar başlıca güverte, gövde, gergi ve temel bloğundan oluşmaktadır [20].



Şekil 2.5. Gergi ayaklı platform [21]

Su derinliğinin sınırlayıcı parametre olmaması nedeni ile genellikle 300m den fazla derinliğe sahip denizel alanlarda tercih edilmektedirler.

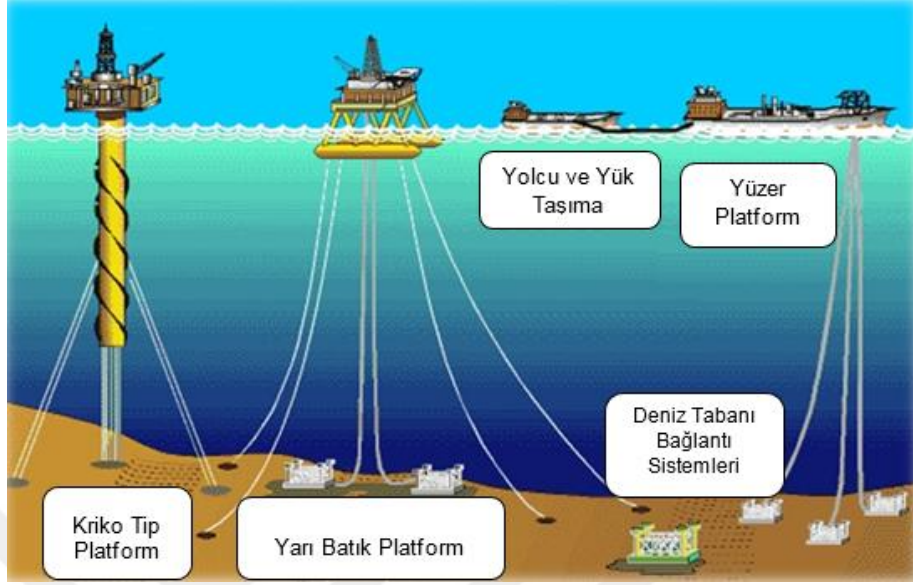
2.1.2. Hareketli Açık Deniz Yapıları

Hareketli açık deniz yapıları daha işlevsel bir kullanım imkanı sunan yüzer çalışma prensibine sahip yapılardır. Bunlar üç grupta incelenebilmektedirler: (1) yüzer platformlar (floating), (2) yarı batık platformlar (semi-submersible), (3) kriko-tipi açık deniz yapıları (jack-up).

Özellikle daha derin sularda tercih edilen demirleme esaslı yüzer platform sistemleri Şekil 2.6'da görüldüğü gibi oldukça fazla çeşitliliğe sahiptir.

Optimum tasarımın belirlenebilmesi için mevcut seçeneklerden stabilite açısından en verimli olanının seçilmesi gerekmektedir. Stabilite kriterleri son tasarımı şekillendirecek ana parametreleri belirlemesi nedeniyle büyük öneme

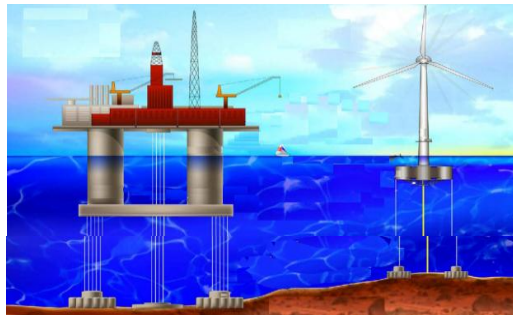
sahiptir. Bununla birlikte yapının maliyet açısından da gerçekleştirilebilir olması önemlidir.



Şekil 2.6. Hareketli açık deniz yapıları

Yüzer Platformlar: Çok derin sularda kullanılabilen derinlikten bağımsız yapılardır. Demirleme ile stabiliteleri sağlanmaktadır. Yüzdürülerek istenilen derinlikte demirleme yapılabilmektedir.

Yarı Batık Yapılar: Dubalar üzerinde yükselen kolonlar ve kolonlar üzerine oturan çalışma platformundan oluşup stabilitelerini su altı ve üstüne yayılan hacimleri sayesinde sağlamaktadırlar. Şekil 2.7'de yarı batık petrol platformu ve yarı batık yüzer platform sistemli rüzgar türbini ayrı ayrı örneklenmiştir.

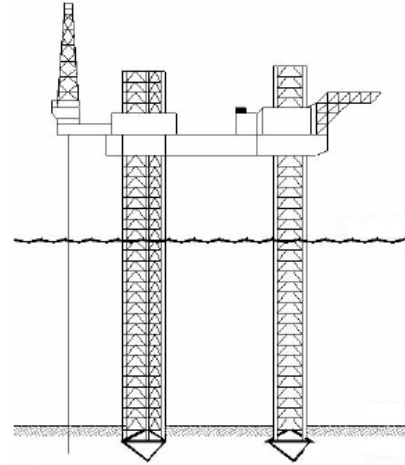


Şekil 2.7. Yarı batık yapı

Kare, üçgen, beşgen bir güverteye veya platforma sahiptirler. Silindirik kesitli duba tipi ayaklar yapının daha az dalga kuvvetine maruz kalmasını sağlamaktadır. Çelik halatlar ile deniz tabanına bağlanırlar.

Diğer hareketli açık deniz yapılarına kıyasla en önemli üstünlüğü kötü hava şartları altında dahi daha az yatay ve yalpalama hareketi yaparak 1500 metreye kadar çalışma alanına sahip olmalarıdır. Yapım ve taşıma aşamasında maliyetinin fazla olması ise en büyük dezavantajıdır.

Kriko Tip Yapılar: Deniz tabanına oturan ayaklar ve bu ayaklar üzerinde hareket edebilen bir güverteden meydana gelmektedirler. Genel olarak dikey 3 yada 4 ayaktan oluşmaktadır. Özellikle petrol endüstrisinde sondaj çalışmalarında kullanılırlar. 5 MW'a kadar olan rüzgar türbinlerinde de uygulama alanları bulunmaktadır [22]. Şekil 2.8'de örneği görülen yapılar, proje bölgesine yözdürülerek getirilmekte deniz tabanına oturduktan sonra çalışma platformu istenilen seviyeye yükseltilmektedir.



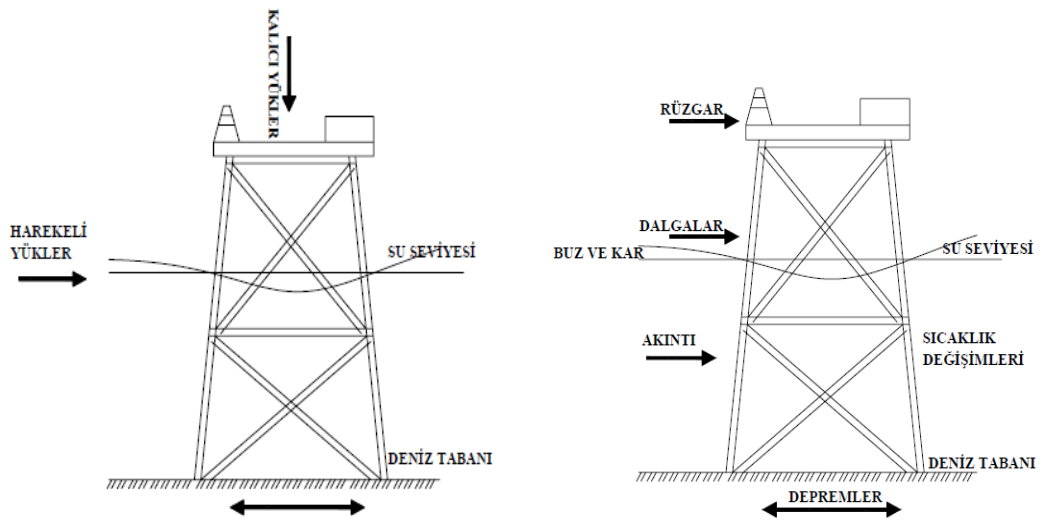
Şekil 2.8. Kriko tip yapı [23]

Kullanım alanının 100 metreden sığ sularla sınırlı olması ve taşıma kapasitesinin az olması nedeni ile açık deniz yapılarının içinde nadiren tercih edilirler [20]. Ancak petrol araştırma aşamasında kullanılan hareketli yapıların %60'ını oluşturmaktadırlar [19].

2.2. Açık Deniz Yapılarının Maruz Kaldığı Kuvvetler

Açık deniz yapılarının tasarımı yapılırken amaç emniyetli, işlevsel ve ekonomik bir yapı ortaya koyabilmektir. Bu nedenle gerek kurulum gerekse işletim süresi boyunca yapıya etkiyecek kuvvetler büyük önem taşımaktadır. Uzay taşıyıcı sistemler, eksenel yük taşıyıcı elemanların bir kompozisyonu oldukları için açık deniz yapılarında sıklıkla tercih edilmektedirler. Bu yapılarda kullanılan elemanlar genellikle çelik profillerden oluşmaktadır. Profil geometrileri değişmekle birlikte, eşit-farklı kollu korniyerler ya da silindirik boru tipleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Taşıyıcı elemanlarda meydana gelebilecek iç kuvvetlerin belirlenmesinde kullanılacak birçok statik ve dinamik analiz yöntemleri mevcuttur. Bunların çoğu bilgisayar destekli analiz yöntemleri olup nümerik analiz esasına göre hesaplama yapılmaktadır.

Açık deniz yapılarını diğer yapılardan ayıran en büyük fark birçoğunun imal edildiği bölge ile kullanıldığı bölgenin farklı olmasıdır. Yani yapı karada veya korunaklı sularda inşa edildikten sonra proje bölgesine parça parça ya da bütün olarak taşınmaktadır. Bu da taşıma ve yerleştirme sırasında ortaya çıkabilecek ilave yüklere sebep olmaktadır. Açık deniz yapılarına etkiyen kuvvetler; yapısal kuvvetler (kalıcı kuvvetler, hareketli kuvvetler, deformasyon kuvvetleri, kaza kuvvetleri) ve çevresel kuvvetler olmak üzere belirli başlıklar altında toparlanabilir [19]. Şekil 2.9'da uzay taşıyıcı sistem ile modellenmiş bir deniz yapısı üzerine etkiyen kuvvetler görülmektedir.



Şekil 2.9 Açık deniz yapılarına etkiyen kuvvetler

2.2.1. Yapısal Kuvvetler

Sabit Kuvvetler: Zamanla değişim göstermeyen öz ağırlık ve sabit donanım yükleri ile hidrostatik kuvvetlerden oluşmaktadır. Kullanılan yapı malzemesinin hacim ve özgül ağırlık değerlerine göre ayrıntılı olarak hesaplanabilmektedirler. Yapı elemanlarının boyutlandırılması aşamasında tahmin edilen sabit yük değerlerinin ortalaması alınmaktadır [24].

Hareketli Kuvvetler: Büyüklük ve konum açısından zamana bağlı değişim gösteren yükler bu sınıfa girmektedir. Yapının işlevi nedeniyle üzerinde bulunan ve sabit olmayan kuvvetlerdir. Bunlar ekipman, makine yükleri, vinç kullanımı, demirleme, helikopter iniş ve kalkışı, depolama tanklarındaki sıvı çalkantısı gibi hareket kaynaklı kuvvetlerden oluşmaktadır. Yapı elemanlarının boyutlandırılması aşamasında yapı özelliklerine bağlı olarak kuvvet değerlerinin ortalaması kabul edilebildiği gibi en büyük değerler de kullanılabilir [24].

Deformasyon Kuvvetleri: Yapı sistemini oluşturan elemanların zamanla farklı sıcaklık seviyelerine maruz kalması sonucu oluşan genleşme ve büzülme gibi etkilerle ortaya çıkan ve özellikle uzay taşıyıcı sistem gibi hiperstatik yapılarda önemli zorlamalar meydana getiren yüklerdir. Zemin, temel, yapı etkileşimi çerçevesinde değerlendirilen farklı oturma sonrasında yapısal elemanlara ikincil kuvvetler etkimektedir [25]. Ön gerilmenin de dahil edilebileceği bu kuvvet sınıfı değerlendirilirken en büyük değer yaklaşımı dikkate alınmaktadır [24].

Kaza Kuvvetleri: Yangın, patlama başta olmak üzere gemi çarpması, nesne düşmesi gibi zamanı belli olmayan can ve mal kaybına, hasara yol açan istenmeyen olayların etkisi kaza kuvvetleri kapsamında değerlendirilmektedir. Mühendislik yaklaşımlarındaki gelişim ile beraber kullanılan CAD ve CAM programları sayesinde meydana gelen kaza sayısı alt düzeye indirgense de kaza kuvvetlerine sebep olan koşulların görülme sıklığı azımsanmayacak kadar fazladır. Kaza kuvvetlerinin belirlenmesi yapının kullanım amacına uygun olarak yapılmaktadır.

2.2.2. Çevresel Kuvvetler

Çevresel yükler açık deniz yapıları üzerinde en etkili kuvvet grubunu oluşturmaktadır. Rüzgar, akıntı, deprem, kar-buz ve dalga gibi kuvvetler bu gruba

dahildir. Bir açık deniz yapısının tasarımında çevresel kuvvetlerin doğru ve hızlı tespiti son derece önem taşımaktadır aksi takdirde hasar, can ve mal kayıpları kaçınılmazdır.

Açık deniz yapılarının hesaplarında karşılaşılan belirsizlikler, fiziksel koşulların değişkenliğinden olduğu kadar deneysel çalışmalara uygun geliştirilen bağıntılardan da kaynaklanmaktadır. Yapının ekonomik ömrü boyunca ortaya çıkabilecek hasar riski bu belirsizlik faktörleri ile ilişkilidir. Yapıda göz önüne alınan kuvvetlerin tekerrür süreleri yük çeşidine ve yapı önemine göre değişmektedir [26]. Açık deniz yapılarında genellikle elli veya yüz yılda bir gözlenebilecek en büyük kuvvet değerleri dikkate alınmaktadır. Oşinografi ve meteorolojik verilere bağlı olarak yapılan tahminler sonucu elde edilen bu değerler tasarım yükü olarak adlandırılmaktadır.

2.2.2.1. Rüzgar Kuvveti

Hem karaüstü hem de açık deniz yapıları tasarımında kullanılan en yaygın çevresel faktör rüzgar kuvvetleridir. Karada karşılaştığı engeller nedeni ile hızı ve etkisi azalan rüzgar kuvveti açık denizlerde önemli bir tehdit oluşturmaktadır. Ortalama rüzgâr hızı değerleri açık denizlerde daha büyüktür. Rüzgar kuvveti açık deniz yapısının deniz yüzeyinin üstünde kalan bölgesinde etkilidir. Yani güverte üzerinde kalan ekipman, donanım ve yapı elemanları rüzgar kuvvetine maruz kalmaktadır. Bir açık deniz yapısında çevresel kuvvetlerin %5 ila %10'u rüzgar yükünden kaynaklanmaktadır [27].

Rüzgarın yapı üzerindeki etkisi periyoduna bağlı olarak farklı şekillerde değerlendirilmektedir. Periyodun bir dakikanın altında kalması durumunda ani rüzgar olarak tanımlanırken, periyodun bir dakikadan fazla olması koşulunda ise devamlı rüzgar olarak sınıflandırılmaktadır. Devamlı rüzgar yükleri dinamik karakterli olmasına rağmen açık deniz yapılarının statik tepki verdiği kabul edilmektedir. Fakat rüzgarın frekansının, yapının frekansına yakın enerjiye sahip olması durumunda dinamik analiz gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Açık deniz yapısına gelen global yükler devamlı rüzgar hızı dikkate alınarak belirlenirken, yapısal elemanların boyutlandırılması şiddetli rüzgar hızı verilerine göre yapılmaktadır [28].

Rüzgara ilişkin veriler; projenin yapılacağı bölgedeki uzun süreli kayıtlardan, kıyıda konumlanan meteoroloji istasyonlarından, sinoptik haritalardan sağlanabileceği gibi uluslar arası hava tahmin kurumlarından (ECMWF, NOAA) da alınabilmektedir [26]. Rüzgar özelliklerine ilişkin veriler hem açık deniz yapısının deniz ortamı dışındaki elemanlarına etkileyen rüzgar kuvvetinin hesaplanabilmesi amacı ile hem de yapıya etkiyecek dalganın özelliklerinin tahmininde kullanılır. Ancak kıyıdaki meteoroloji istasyonundan rüzgar hızına ilişkin alınan veriler gerçeği yansıtmamaktadır. Rüzgar hız profili kara ve deniz ortamında farklıdır. Bu nedenle hem kara hem de deniz ortamında aynı anda araştırma yapılarak elde edilen rüzgar hızı değerleri karşılaştırılmış ve Denklem (2.1)'de verilen bağıntı ile aradaki ilişki ortaya konulmuştur.

$$U_{\text{deniz}} = (U_{\text{kara}})^{2/3} \quad (2.1)$$

Burada U_{deniz} denizde U_{kara} ise karada 10m referans yüksekliğinde ölçülen rüzgar hızlarını ifade etmektedir. Rüzgar hızı, süre ve yüksekliğe bağlı olduğundan ölçümler belirlenen referans yüksekliği ve süresi dikkate alınarak değerlendirilmektedir. Genellikle kullanılan referans yüksekliği 10m iken süresi ise 1 dakika, 10 dakika ya da 1 saat olarak değişmektedir [26]. Ölçüm yapılan yükseklik ve referans yüksekliği arasındaki fark Denklem (2.2)' de verilen bağıntı yardımı ile giderilebilmektedir.

$$U_{z'} = U_z (z'/z)^n \quad (2.2)$$

Bağıntıda z seviyesindeki rüzgar hızı U_z , z' seviyesindeki rüzgar hızı $U_{z'}$ ile gösterilmektedir. Bölge pürüzlülüğü ile değişen n katsayısı 1/10 ile 1/4 arasında değerler almaktadır. Deniz ortamında genellikle $n \geq 1/7$ seçilmektedir.

Deniz ortamında kaydedilen verilere bağlı olarak rüzgar hızının ortalama değerine ilişkin elde edilen bağıntı Denklem (2.3)'de verilmiştir.

$$U(t) = C_t U(t_r) \quad (2.3)$$

Burada, $U(t)$ 10m referans yüksekliğinde ölçülen ortalama rüzgar hızını, C_t rüzgar hızı ortalama zaman faktörünü, $U(t_r)$ referans rüzgar hızını, t ortalama süreyi, t_r ise referans süreyi göstermektedir. Bağtıda kullanılan hız değerlerinin birimi m/s, süre ise dakika olarak alınmaktadır. Rüzgar hızı ortalama zaman faktörü C_t Denklem (2.4) ile hesaplanmaktadır. Tablo 2.1’de ortalama süre t ’ye karşılık gelen C_t değerleri verilmektedir.

$$C_t = 1 - 0.047 \ln(t/t_r) \quad (2.4)$$

Tablo 2.1. Ortalama süre ve rüzgar hızı ortalama zaman faktörü ilişkisi

t	C_t
3 saniye	1.249
5 saniye	1.225
15 saniye	1.173
1 dakika	1.108
10 dakika	1.000
1 saat	0.916

100 yıllık tekerrür süresi boyunca beklenen 1 dakikalık en büyük rüzgar hızı U_s ile gösterilen devamlı rüzgar hızı olarak ifade edilirken 3 dakika boyunca kayıt edilen en büyük rüzgar hızı, şiddetli rüzgar hızı U_G olarak kullanılır. Aralarındaki ilişki ise,

$$U_G = 1.137 U_s \quad (2.5)$$

şeklindedir.

Rüzgar kuvvetleri yapının geometrisine bağlı olarak değişmektedir. Bu nedenle yapısal analiz sırasında elemanlar ayrı ayrı incelenmektedir. Bir açık deniz platformu genel olarak sondaj kulesi, vinç, yaşam ve ofis alanı, güverte ve destekleyici ayaklardan meydana gelmektedir.

Rüzgar, yaşam ve ofis alanları gibi dörtgen donanımlara etkirken özellikle yapı köşeleri büyük kuvvetlere maruz kalmaktadır. Üç boyutlu model oluşturularak stabilite analizi gerçekleştirilen yapıların yükseklikleri ve önlerinde rüzgar hız profilini değiştirebilecek bir engelin varlığı kuvvet hesabında önem taşımaktadır. Güverte gibi yatay uzunluğu yüksekliğine oranla büyük olan elemanlarda rüzgarın oluşturduğu kaldırma kuvveti hasara sebep olan bileşendir. Düşey yönde deplasman için yapıyı zorlayan rüzgar akımı yüzeye paraleldir. Platformların taşıyıcı ayaklarının su yüzeyinin üstündeki kısımları da rüzgarın sürüklenme ve atalet kuvvetleri dikkate alınarak analiz edilmektedir. Morison denklemi kullanılarak elde edilen kuvvetlere karşı yapının dayanımı analiz edilmektedir. Platformların üzerinde yer alan uzay taşıyıcı sistem kuleler rüzgarın sürüklenme etkisinin baskın olduğu elemanlardır. Morison bağıntıları kullanılarak hesaplanabilirler.

2.2.2.1.1. Rüzgar Kuvvetleri Hesabında Katılık Oranı Yaklaşımı

Özellikle uzay taşıyıcı sistemi oluşturan yapı elemanları arasından geçen akışkan (external flow), yapı elemanlarının yüzeylerine viskoz etkilerden doğan sürüklenme kuvveti (drag force) ve ivme hareketinden doğan atalet kuvvetleri (inertia force) uygulanmaktadır. Karada bulunan kafes tipi kulelerin her bir katmanına etkiyen rüzgar hızları mevcuttur. Katmanların tabandan yüksekliğine göre değişen bu tasarım rüzgar hızları, katmanlar arası bölgede bulunan kafes elemanların herbirinin menba ve mansap yüzeylerinde sürüklenme kuvveti oluşturmaktadır. Katmalar arası bölgedeki çubukların geometrileri ve konfigürasyonları, bir çubukta basınç oluştururken arkasındaki çubukta vakum oluşturabilir. Rüzgar, geçişi esnasında çubukların aralarındaki mesafelere, çubuk çaplarına, yatay-dikey özellikle çapraz elemanların konumlarına ve konfigürasyonlarına bağlı olarak vorteks (girdap) oluşturmaktadır. Dolayısıyla çubukların herbiri üzerindeki sürüklenme kuvvetleri yapıdan yapıya değişikliklere neden olmaktadır. Bu durumda; ANSYS-Fluent, Flow 3d ve Abaqus gibi programlarla her yapıya özel nümerik model üzerinde sürüklenme kuvvetlerinin hesaplanması gerekmektedir. Ancak bu programlar, hücre ağı tasarımı ve sonlu/sınırlı elemanlar metodu gibi sayısal analiz yöntemleri ile çözümleme yapmaktadırlar. Yapının konfigürasyonu karmaşık hale geldikçe ve çubuk elemanların sayısı arttıkça buna bağlı olarak hücre ağı sayısı da artacaktır. Bu da çözüm süresini uzatmaktadır. Bazen de bilgisayarın kapasitesi yetmemekte ya da analiz gerçekleştirilememektedir.

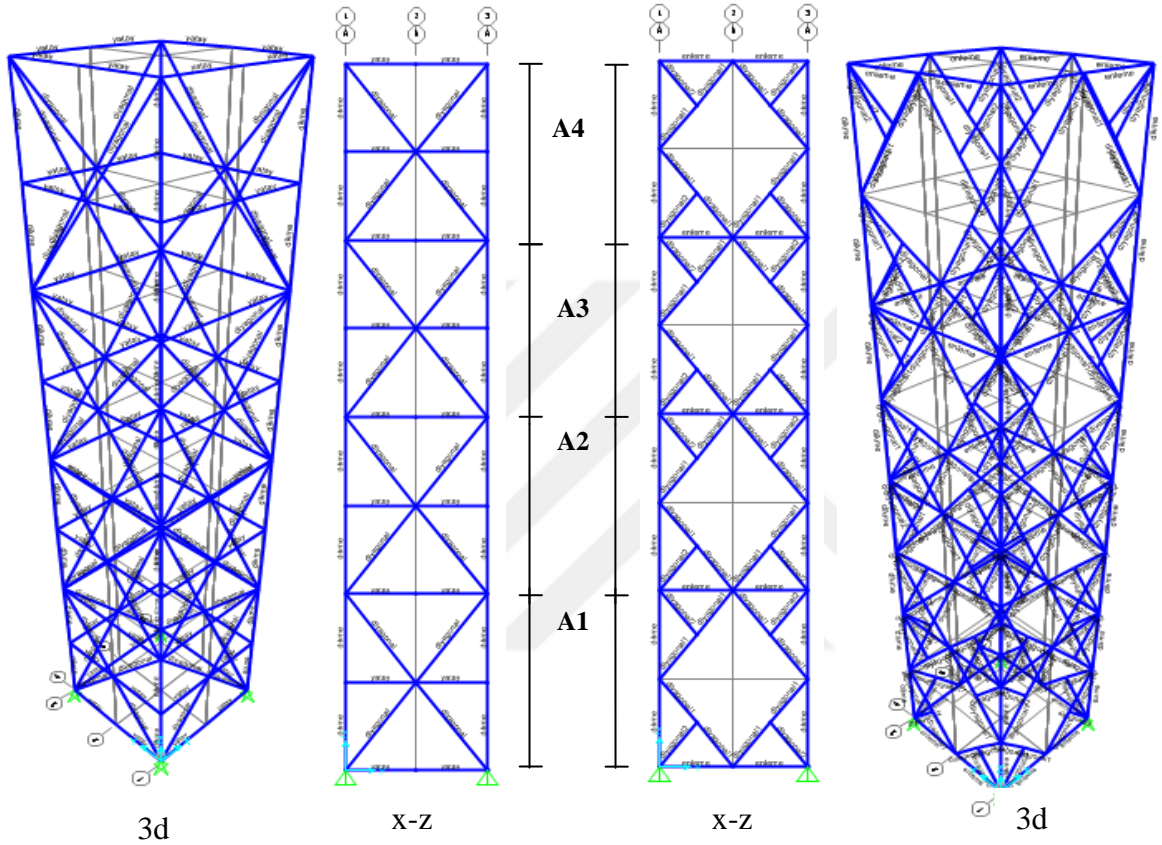
Buna çözüm olarak EIA-TIA-222G (Structural Standards for Steel Antenna Towers and Antenna Supporting Structures) şartnamesi; çelik kulelerin analizinde tasarımcıya kolaylık sağlamak amacıyla katılık oranına (solidity ratio) bağlı çözümlere yaparak, akışkan kökenli sürüklenme kuvvetinin daha kolay hesaplanması için bir çözüm üretmiştir. Yapının topolojisinden bağımsız sadece rüzgarın etkideği cephedeki malzemeli alan oranına dayalı üretilen bağıntılar iletişim sistemleri için geliştirilmiştir. Aynı donanıma sahip uzay taşıyıcı sistem kulere etkileyen rüzgar kuvvetlerinin hesabında da projenin uygulandığı bölgedeki rüzgar hızı verilerine ilişkin güncellenen parametreler ile sonuç alınabilmektedir.

2.2.2.1.2. Rüzgar Kuvvetlerinin EIA-TIA-222G Şartnamesi İle Hesabı

Günümüzde gelişen teknoloji ve enerji ihtiyacı ile yapı yükseklikleri de artmaktadır. Bu artış hafif ve dayanımı yüksek yapısal tasarımı ön plana çıkarmaktadır. Hem kara hem de deniz ortamında istenilen performansa uygun yapısal dizayn uzay taşıyıcı sistemler ile sağlanabilmektedir. GSM, anten, rüzgar türbin kulesi gibi yapılarda sıkça kullanılan uzay kafes sistemlerin maruz kaldığı rüzgar kuvvetlerinin hesabına ilişkin şartnameler bulunmaktadır. Katılık oranı yaklaşımına bağlı geliştirilen hesap yöntemleri sayesinde rüzgar kuvvetleri basitleştirilmiş bağıntılar yardımı ile belirlenmektedir.

Uzay taşıyıcı sistem ile modellenen kulelerin katmanları arası bölgeye sektör denilmektedir. Rüzgar esme yönüne göre çelik kafes kulenin her bir sektörünün ön yüzeyindeki (menba) çubukların proje yüzey alanlarının toplamı ve bununla beraber sektörlerin her birinin içinde yer alan yatay-dikey-çapraz elemanların tümünün proje yüzey alanları hesaplanmaktadır. Buna da toplam proje yüzey alanı ya da gross proje yüzey alanı denilmektedir. Katılık oranı ise her bir sektördeki menba proje yüzey alanı toplamının toplam proje yüzey alanına oranını veren bir katsayıdır. ANSYS-Fluent, Flow 3d ve Abaqus gibi programlar sayesinde nümerik modelleme yapılarak farklı konfigürasyonlar ve geometrileri temsil eden katılık oranı ile rüzgar-kökenli hidrodinamik sürüklenme kuvvetleri arasında bir ilişki kurulmuş ve katılık oranına bağlı bir formülasyon geliştirilmiştir. EIA-TIA-222G şartnamesinde bulunan bu katılık oranı fonksiyonu ile karmaşık konfigürasyonlu uzay taşıyıcı sistem yapıların her bir sektörüne etkileyen hidrodinamik sürüklenme kuvvetlerinin bulunması artık nümerik modellemeyi gerektirmemektedir.

Uzay taşıyıcı sistem ile modellenen yapı öncelikle sektör olarak adlandırılan kesitlere ayrılmaktadır. Şekil 2.10’da iki farklı topolojiye sahip uzay taşıyıcı sistem ile tasarlanmış yapı verilmiştir. İki model de eşit sayıda sektöre ayrılmıştır. Sektör sınıflandırılmasında kullanılan harf sistemi profil özelliklerine bağlı değişmektedir. Şekilde görüldüğü gibi 4 sektör de aynı profil kesitlerinden oluşmaktadır.



Şekil 2.10. Uzay taşıyıcı sistem sektörleri

Rüzgar kuvvetleri her sektör için Denklem (2.6) kullanılarak ayrı ayrı hesaplanmaktadır.

$$F_R = q_z G_H [C_F A_E + \sum (C_A A_A)] \quad (2.6)$$

Bağıntıda q_z rüzgar basıncını, G_H ani rüzgar tepki faktörünü, C_F yapı kuvvet katsayısını, A_E bir yüzeydeki taşıyıcı elemana ait yapısal bileşenlerin izdüşüm alanını, C_A lineer ya da tekil kuvvet katsayısını, A_A ise aksesuar izdüşüm alanını ifade etmektedir.

Rüzgar hızının karesi ile orantılı olan rüzgar basıncı,

$$q_z = 0,613K_z v_R^2 \quad (2.7)$$

şeklinde hesaplanmaktadır. Rüzgar hızı v_R (m/sn) alınarak, basınç q_z (Pa) biriminde elde edilmektedir.

Etki katsayısını ifade eden K_z

$$K_z = [z/10]^{2/7} \quad (2.8)$$

olarak verilmiştir. Bağtıda kullanılan z , yapının tabanından itibaren ele alınan sektörün orta noktasına kadar olan mesafeyi ifade etmektedir. Rüzgar etki katsayısı 1.00 ile 2.58 arasında değişen değerler almaktadır. Ani rüzgar tepki faktörü ise türbülans nedeni ile yapı üzerinde oluşacak ilave yükleri ifade etmektedir. Uzay taşıyıcı sistemli yapılar için rüzgar tepki faktörünü veren bağıntı Denklem (2.9)'da görülmektedir.

$$G_H = 0,65 + 0,60/(h/10)^{1/7} \quad (2.9)$$

Yapının zeminden en üst kotuna kadar olan toplam yüksekliği h ile gösterilir ve birimi (m)'dir. Rüzgar tepki faktörü $1,00 \leq G_H \leq 1,25$ koşulunu sağlamalıdır. Yapının davranışını ifade edebilmek amacı ile geometrik özelliklere dayanılarak geliştirilmiş yapı kuvvet katsayısı Denklem (2.10) ile hesaplanmaktadır.

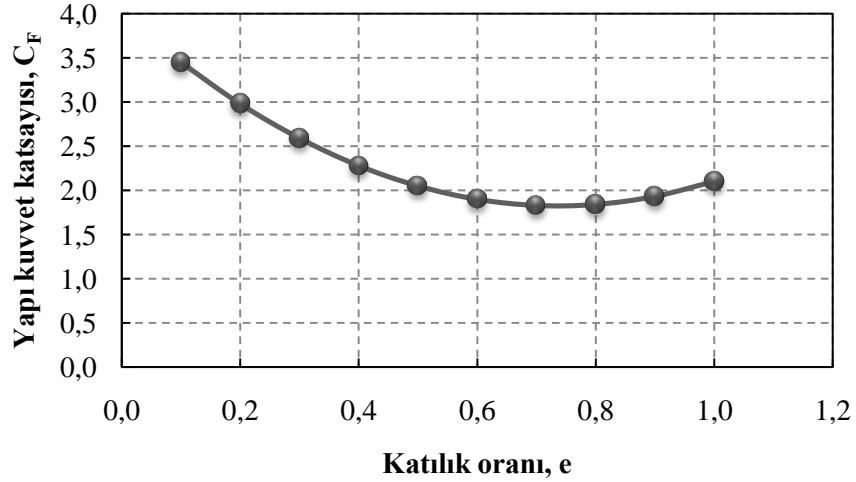
$$C_F = 4,0e^2 - 5,9e + 4,0 \quad (2.10)$$

Yapı geometrisi e olarak verilen ve katılık oranı olarak tanımlanan parametre ile temsil edilmektedir.

$$e = (A_F + A_R) / A_G \quad (2.11)$$

Rüzgarın etkideği yüzeydeki yapısal elemanların izdüşüm alanı A_F ile gösterilmektedir. Projenin yapıldığı bölgede kar ve buzlanma etkisi ihmal edilmeyecek kadar etkili ise uzay taşıyıcı sistem elemanlarının etrafında oluşacak kesit artışı A_R ile hesaplara dahil edilmektedir. A_G ise yüzeyin tamamının katı olarak kabul edilmesiyle elde edilen toplam izdüşüm alanını ifade etmektedir.

Malzemeli yüzey alanının toplam alana oranını veren katılık oranı hesaplanırken malzemeli alana elemanların etrafında oluşan kar ve buz alanı dahil edildiği gibi ek ve aksesuarlar da yapısal eleman olarak sisteme dahil edilebilmektedir. Şekil 2.11’de katılık oranı değerlerine karşılık yapı kuvvet katsayısının değişimi verilmiştir.



Şekil 2.11. Katılık oranına bağlı yapı kuvvet katsayısının değişimi

Taşıyıcı sistemi oluşturan yapısal elemanların izdüşüm alanları A_E ,

$$A_E = D_F A_F + D_R A_R R_R \quad (2.12)$$

şeklinde verilmektedir. Burada D_F düz, D_R ise eğrisel (buz+kar) yüzeyler için rüzgar yön faktörüdür.

Rüzgarın yapı üzerinde kritik yüklemelere sebep olacağı geliş açlarına ait yön faktörü değerleri Tablo 2.2’de görülmektedir.

Tablo 2.2. Rüzgar yön faktörü

Kule kesiti	Dörtgen		Üçgen		
	Rüzgar yönü	Normal	$\pm 45^0$	Normal	60^0
D_F	1.0	1+0.75e	1.0	0.80	0.85
D_R	1.0	1+0.75e	1.0	1.0	1.0

Denklem (2.12)' de kullanılan R_R ise eğrisel yüzeyler için azaltma faktörüdür ve aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır.

$$R_R = 0,51e^2 + 0,57 \quad (2.13)$$

Eğrisel yüzey azaltma faktörü için alınabilecek en büyük değer 1.0 olarak belirlenmiştir.

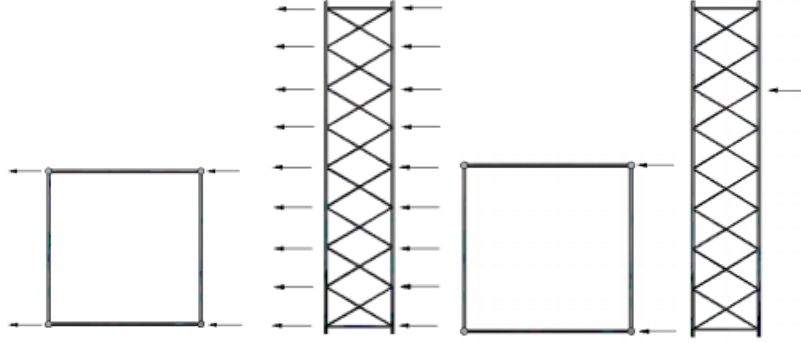
Rüzgar kuvveti hesaplanırken kulenin birleşim noktalarında kullanılan ek levhalar ile aksesuar elemanları taşıyıcı sisteme dahil edilmeden ayrıca ele alınmaktadır. Denklem (2.6)'da kullanılan C_A rüzgar normalindeki düzlemde bulunan aksesuar boyunun genişliğine oranına bağlı olarak belirlenmektedir. Bu oran hesaplanırken bağlantı noktalarındaki boşluklar, kesilmeler dikkate alınmaz. Boy/en oranı ile aksesuar kuvvet katsayısı C_A arasındaki ilişki Tablo 2.3'te verilmiştir.

Tablo 2.3. Aksesuar kuvvet katsayısı

Eleman yüzey özelliği	Boy/en ≤ 7	Boy/en ≥ 25
	C_A	C_A
Düz	1.4	2.0
Eğrisel	0.8	1.2

Hesap esasları açıklanan F_R rüzgar kuvvetinin, incelenen sektörün orta noktasına etkidiği kabul edilmektedir.

Şekil 2.12’de görüldüğü gibi sektör ortasına etkiyen kuvvetin düğüm noktalarına eşit olarak dağıtılması prensibi ile stabilite analizleri gerçekleştirilmektedir.



Şekil 2.12. Rüzgar kuvvetinin düğüm noktalarına dağılımı [29]

Taşıyıcı sistem dışında kalan ve ikincil yapılar olarak adlandırılan buz koruması, platform, merdiven gibi elemanlara etki eden rüzgar kuvveti

$$F_R = q_z G_H \sum (C_A A_C) \quad (2.14)$$

şeklinde hesaplanmaktadır. Taşıyıcı sisteme yapısal bağlantısı olmayan elemanların izdüşüm alanı A_C ile tanımlanmaktadır. Uzay taşıyıcı sistemli yapılarda düşey elemanlar dikmeler, yatay elemanlar enlemeler ve belirli bir açı ile bağlanan diyagonal elemanlar bulunmaktadır. Diyagonaller üzerine etkiyen rüzgar kuvveti yatay ve düşey bileşenlerden oluşmaktadır. Bu bileşenler yatayda sürüklenme düşeyde ise kaldırma kuvvetidir. Gergiler üzerinde de etkili olan sürüklenme kuvveti Denklem (2.15) ile hesaplanmaktadır.

$$F_D = q_z G_H C_D d_g L_C \quad (2.15)$$

Düşey yönde deplasmana sebep olan kaldırma kuvveti ise;

$$F_L = q_z G_H C_L d_g L_C \quad (2.16)$$

bağıntısı ile ifade edilmektedir. Burada q_z gerginin (diyagonal elemanın) ortasındaki rüzgar basıncını, d_g gergi çubuğunun çapını, L_C gergi çubuğunun boyunu, C_D akışkan partikülünün hızından dolayı oluşan kuvvete karşı direnç katsayısını, C_L akışkan partikülünün düşey hareketinden dolayı oluşan kuvvete karşı kaldırma kuvveti katsayısını ifade eder. Diyagonal eleman ile rüzgar geliş doğrultusu arasında θ açısı olması durumunda sürüklenme ve kaldırma kuvveti katsayıları

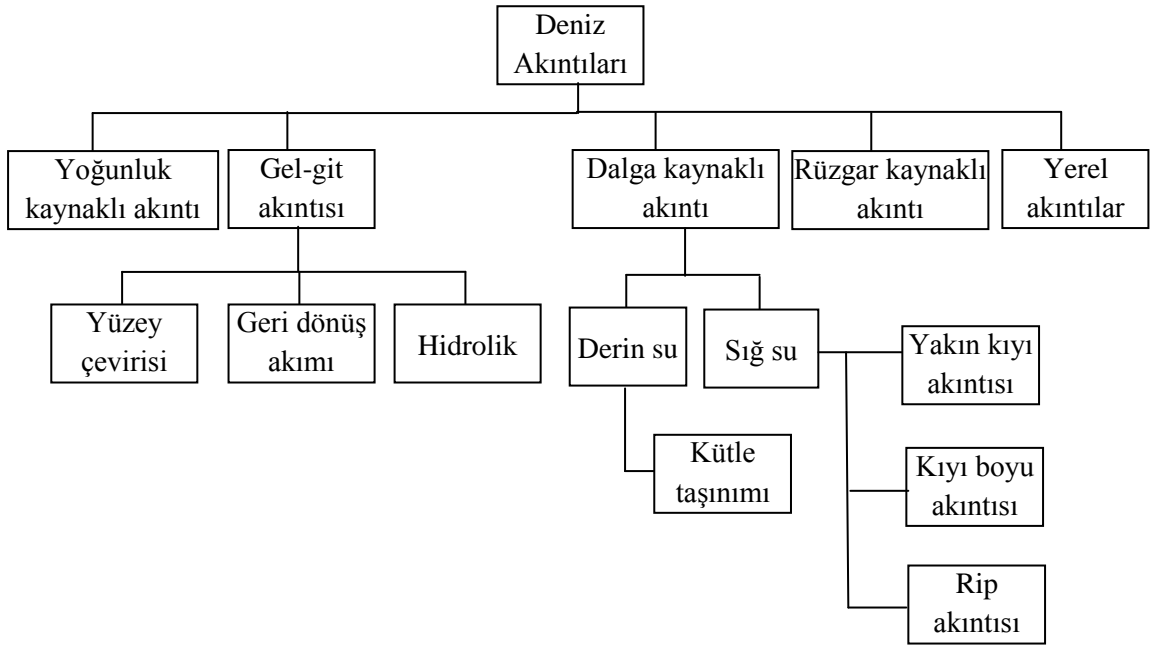
$$C_D = 1.2 \sin^3 \theta \quad (2.17)$$

$$C_L = 1.2 \sin^2 \theta \cos \theta \quad (2.18)$$

bağıntıları ile hesaplanmaktadır.

2.2.2.2. Akıntı Kuvveti

Su kütlelerinin çeşitli nedenlerle hareketi sonucu oluşan akıntı açık deniz yapıları üzerinde etkili bir kuvvet meydana getirmektedir. Rüzgar, hava akımı, yüzey dalgaları başta olmak üzere kaynağına bağlı olarak sınıflandırılan akıntı türleri Şekil 2.13'te verilmiştir.

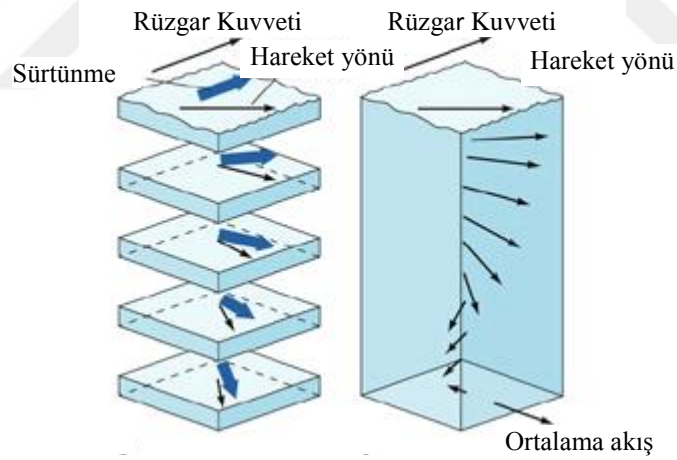


Şekil 2.13. Deniz akıntılarının sınıflandırılması [30]

Rüzgar ve yoğunluk gradyanlarındaki değişim derin su akıntılarına sebep olan başlıca faktörlerdir. Denizlerdeki tabakalaşma, derinliğe bağlı değişen sıcaklık ve tuzluluk farkından kaynaklanmakta ve deniz altında inşa edilen yapıların tasarımında büyük rol oynamaktadır. Yüzey altı akıntılarının hesabı, gözlemler neticesinde elde edilen ve Denklem (2.19) ile ifade edilen akıntı hızı dikkate alınarak yapılmaktadır [28].

$$U_{ss}(z) = \left[\frac{z+d}{d} \right]^{1/7} U_{so}(0) \quad (2.19)$$

Burada $U_{ss}(z)$ ve $U_{so}(0)$ sırası ile yüzey altındaki ve deniz seviyesindeki akıntı hızlarını, d su derinliğini, z düşey koordinatı göstermektedir. Rüzgarın su yüzeyinde oluşturduğu gerilimden kaynaklanan akıntılar yüzeye yakın açık deniz yapıları üzerinde etkili akıntılardır. Şekil 2.14’de verilen Ekman Spirali ile tanımlanan akıntı formunun rüzgar yönü ile 45^0 ’lik açı yaptığı ve tabana doğru sürtünme etkisi ile yön değiştirerek etkisini kaybettiği görülmektedir.



Şekil 2.14. Ekman spirali

Rüzgar etkisi ile oluşan akıntılar için tasarım hızı,

$$U_w(z) = k(z)U_s \quad (2.20)$$

bağıntısı ile hesaplanmaktadır. Burada; $U_w(z)$ yüzeye yakın akıntı hızını, U_s ise sürekli rüzgar hızını ifade etmektedir. Düşey koordinat z ile değişen $k(z)$ faktörü 0~0.01 aralığında değişim göstermektedir.

Kıyıya yaklaşan dalgaların oluşturduğu akıntılar yakın kıyı, kıyı boyu ve rip olmak üzere sınıflandırılmaktadır. İki boyutlu kompleks bir yapıya sahip yakın kıyı akıntıları, deniz tabanı ve kıyı sahil yapısının etkisindedir. Kırılan dalgaların yarattığı türbülans etkisi ile oluşan akıntılar en önemli kıyı şekillendirici faktörlerdir. Rip akıntıları ise sabit, ani, gezici olmak üzere farklı yapılara sahiptirler. Kıyıya dik gelen dalgaların geri dönüşü sırasında deniz tabanındaki derin alanlarda güçlenerek oluşturdukları hızlı ve tehlikeli akıntılardır.

Dalga kırılmasından kaynaklanan sığ su akıntılarında tasarım hızı,

$$U_{ns} = 2s\sqrt{gH_B} \quad (2.21)$$

şeklinde hesaplanmaktadır. Bağıntıda kullanılan U_{ns} yakın kıyı akıntı hızı, s eğim, g yerçekimi ivmesi, H_B ise kırılan dalga yüksekliğini göstermektedir.

Akıntı kuvvetlerinin oluşturduğu yüzey çevirisi, geri dönüş akımı, katı madde taşınımı; su partikül hızının değişimine, dalga yüzey genişliğinde farklılığa, vorteks etkisi ile yapı elemanları üzerinde ilave gerilmelere neden olmaktadır. Bu nedenle deniz yapıları üzerinde sürüklenme, kaldırma kuvvetlerine yol açan rüzgar ve gel-git kaynaklı akıntı yüklerinin tasarım aşamasında önemi büyüktür. Akıntı basıncı Denklem (2.22)'de verilen bağıntı ile hesaplanmaktadır.

$$q_D(z) = \frac{1}{2}\rho U_D^2(z) \quad (2.22)$$

Burada; $q_D(z)$ akıntı basıncını, $U_D(z)$ akıntı hızını, ρ deniz suyu yoğunluğunu, d ise derinliği ifade etmektedir. $U_D(z)$ akıntı yapısına göre $U_w(z)$, $U_{ss}(z)$ ve $U_{ns}(z)$ değerleri dikkate alınarak belirlenmektedir.

Akıntı nedeni ile oluşacak $F(z)$ kuvveti ise,

$$F(z) = q_D(z) A \quad (2.23)$$

ile hesaplanmaktadır. Bağlantıda kullanılan A akıntı etkisindeki yapının izdüşüm alanını ifade etmektedir.

2.2.2.3. Deprem Kuvveti

Açık deniz yapılarına etkiyen deprem kuvvetleri, iki farklı sismik düzey dikkate alınarak belirlenmektedir [28]. Bunlar; mukavemet düzeyi depremi ve süneklik düzeyi depremidir. Mukavemet düzeyi depremi kapsamında yapılan analizlerde lineer elastik mukavemet koşulları geçerlidir. Ağırlık merkezinden etkiyen deprem kuvveti, süneklik düzeyi depremi kapsamında değerlendirilirken plastik deformasyona izin verilmektedir. Yapısal elemanlarının, stabiliteyi bozmayacak şekilde sünek olarak tasarımına dayalı analiz için birleşik elemanların yük aktarımında yapılacak hatalar çok ağır sonuçlar doğurabilmektedir. İskele, marina, rıhtım gibi yapılar dalga kökenli hidrodinamik kuvvetler dikkate alınarak projelendirildikleri için büyük yanal kuvvetlere karşı stabilite analizleri yapılmaktadır. Bu nedenle zemin hareketinden kaynaklı kuvvetler çoğu zaman tasarım aşamasında göz önünde bulundurulmuş en büyük yanal yük değerinin altında kalmakta ve yapı açısından büyük problemlere yol açmamaktadır. Yer hareket ivmesinin $0.05g$ 'den az olması durumunda deprem analizine ihtiyaç duyulmamaktadır [28]. Ancak yüksek, uzun kazıklı yapılar için deprem yükü yapısal hasarlara sebep olabilmektedir. Ayrıca deprem etkisi ile deniz tabanında meydana gelen sıvılaşma ve yüksek enerjili tsunami dalgası büyük yıkımlara yol açabilmektedir. Sabit açık deniz platformlarına etkiyen sismik yüklere ilişkin hesaplar genellikle API-RP2A şartnamesine uygun yapılmaktadır [31]. Dinamik tepki analizini esas alan çözüm yöntemi, dayanım ve süneklik seviyesi olmak üzere iki farklı yaklaşımı dikkate almaktadır. Belirlenen tekerrür periyodu süresince meydana gelebilecek deprem kuvvetlerine karşı yapının, önemli bir hasar görmeden, işlevini yitirmeden tasarımı; dayanım seviyesini, çok ender olarak karşılaşılabilecek deprem koşullarında hasar görse de yıkılmadan ayakta kaldığı tasarım süneklik seviyesini ifade etmektedir.

2.2.2.4. Kar-Buz Kuvveti

Kar ve buz kuvvetleri iklim şartlarına, zeminden yüksekliğe göre değişen yüklerdir. Ağır kış koşullarının hakim olduğu bölgelerde konumlandırılan deniz yapılarında görülen uzun süreli buzlanma ve kar etkisi, tüm yükleme durumlarına eklenerek incelenmektedir. Ayrıca yapı elemanları üzerinde ortaya çıkan kesit artışı rüzgar hesaplarında da dikkate alınmaktadır. Bunun yanı sıra sürüklenen buz kütleleri açık deniz yapısı üzerinde kaldırma, sürüklenme, çarpma, aşınma etkilerine sebep olmaktadır.

Rüzgar kaynaklı sürüklenme kuvveti Denklem (2.24) ile verilmiştir.

$$F_{iw} = 0.0034 C_{iw} v_R^2 A_{is} \quad (2.24)$$

Bağıntıda kullanılan F_{iw} rüzgar sürüklenme kuvvetini, C_{iw} sürüklenme katsayısını, v_R rüzgar hızını ve A_{is} buz külesine ait yüzey alanını göstermektedir. Sürüklenme kuvvetinin akımdan kaynaklandığı durumda ise,

$$F_{ic} = C_{ic} U_a^2 A_{is} \quad (2.25)$$

bağıntısından faydalanılmaktadır. Burada F_{ic} akım sürüklenme kuvvetini, C_{ic} akım sürüklenme katsayısını, U_a ise akım hızını ifade etmektedir. Akıntı hızının büyük olduğu durumlarda ortaya çıkan çarpma yükleri de artmaktadır.

Buz kütlelerinin açık deniz yapılarına çarpmaları sonucu oluşabilecek hasarların tahmini amacıyla laboratuvar ortamında geliştirilen modeller ile testler yapılmaktadır.

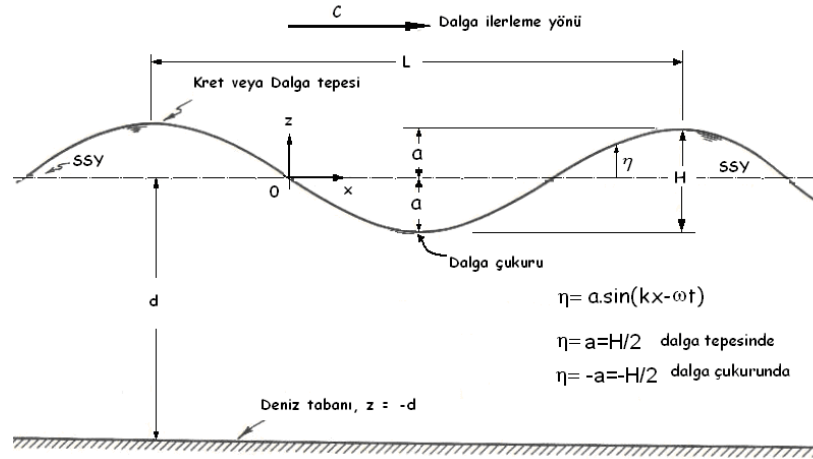
2.2.2.5. Dalga Kuvveti

Bu çalışma kapsamında kararsız akış olarak uygulanan dalga kuvvetinin tanımlanmasında dalga özellikleri, tasarım parametreleri, transformasyonu, kırılması ve teorileri ele alınmıştır.

2.2.2.5.1. Dalga Özellikleri

Açık deniz yapılarına etkiyen en önemli çevresel faktör olan dalga; en genel olarak bir hidrolik sistemin dengesini bozan çalkantı olarak tanımlanabilmektedir. Su kütlesinde oluşan bu salınım hareketi genellikle yüzeyde esen hava akımının enerjisini aktararak ürettiği rüzgar dalgalarından kaynaklanmaktadır. Rüzgar hızının 1m/s değerini aşması ile rüzgar dalgaları meydana gelmektedir [32]. Rüzgar hızının artması ile birlikte temel parametreler; dalga boyu, yüksekliği ve periyodu da artmaktadır. Rüzgar dalgaları rastgele özelliğe sahip olup, gelişim ve sönümlenme aşamaları su yüzeyinin hareketi, akım hızı ve basınç ile ilişkili stokastik bir süreç olarak ifade edilebilmektedir. Dalgaların değişen yükseklikler ile sabit periyotta kıyıya kadar yol alması olayına dispersiyon denilmektedir.

Dalga profili en basit olarak sinüs dalgası ile temsil edilmektedir. Bu yaklaşım Fourier teoremi'nde belirtilen, kompleks dalgaların sinüs dalgalarının süperpozisi ile oluştuğu ifadesi ile desteklenmektedir. Şekil 2.15'te dalga karakteristikleri sinüs dalgası üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 2.15. Dalga karakteristikleri

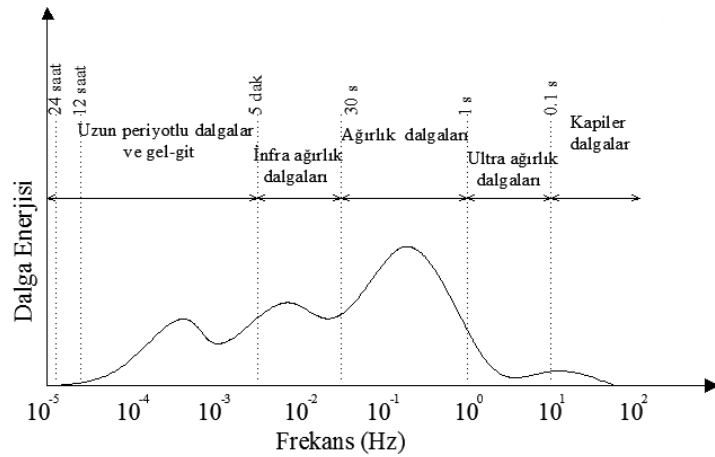
Şekil 2.15'te verilen ve dalga karakterini ortaya koyan temel parametrelerden biri de L dalga boyudur. Dalganın en yüksek noktası dalga tepesini, en alçak noktası ise dalga çukurunu ifade etmektedir. Ardışık iki tepe ya da çukur arasındaki mesafe ise dalga boyu olarak adlandırılmaktadır. 40 ile 400 metre arasında değişen dalga boyu, dalgaların sınıflandırılmasında da belirleyici bir değişkendir.

Su derinliği d 'nin dalga boyuna oranı (d/L) bağıl derinlik olarak tanımlanmaktadır. Tablo 2.4'de görüldüğü gibi bağıl derinlik değerlerine göre dalga üç sınıfa ayrılmaktadır.

Tablo 2.4. Bağıl derinliğe göre sınıflandırma

Sınıflandırma	Bağıl derinlik
Sığ su dalgası	$<1/20$
Geçiş derinliği dalgası	1/20 ile 1/2 arası
Derin su dalgası	$>1/2$

Bağıl derinliğe göre sınıflandırma kriterleri kapsamında hiperbolik fonksiyonlarda limit değerler kullanılarak dalga özelliklerine ilişkin geliştirilen bağıntılar sadeleştirilmiştir. Bu sınıflandırma kapsamında değişen momentum dengesi, uzun ve kısa dalga için geçerli olan düşey akım ivme etkisini de ortaya koymaktadır. Düşey ivme, yavaş değişen uzun dalgalar için önemli bir değişken değildir ancak ani olarak özelliklerinde farklılık gözlenen kararlı kısa dalgalar için göz önünde bulundurulması gereken ayırt edici bir parametredir. Akım çizgisinin eğriliği uzun dalgalar için zayıftır ve hız yaklaşık olarak üniform bir dağılım gösterir. Kısa dalgalar için ise hız dağılımı üniform olmaktan uzak ve akım çizgisi eğriliği fazladır. Birim zamanda gözlem noktasından geçen dalga sayısı f dalga frekansı olarak adlandırılır. Şekil 2.16'da frekansa bağlı dalga sınıflandırılması verilmiştir.

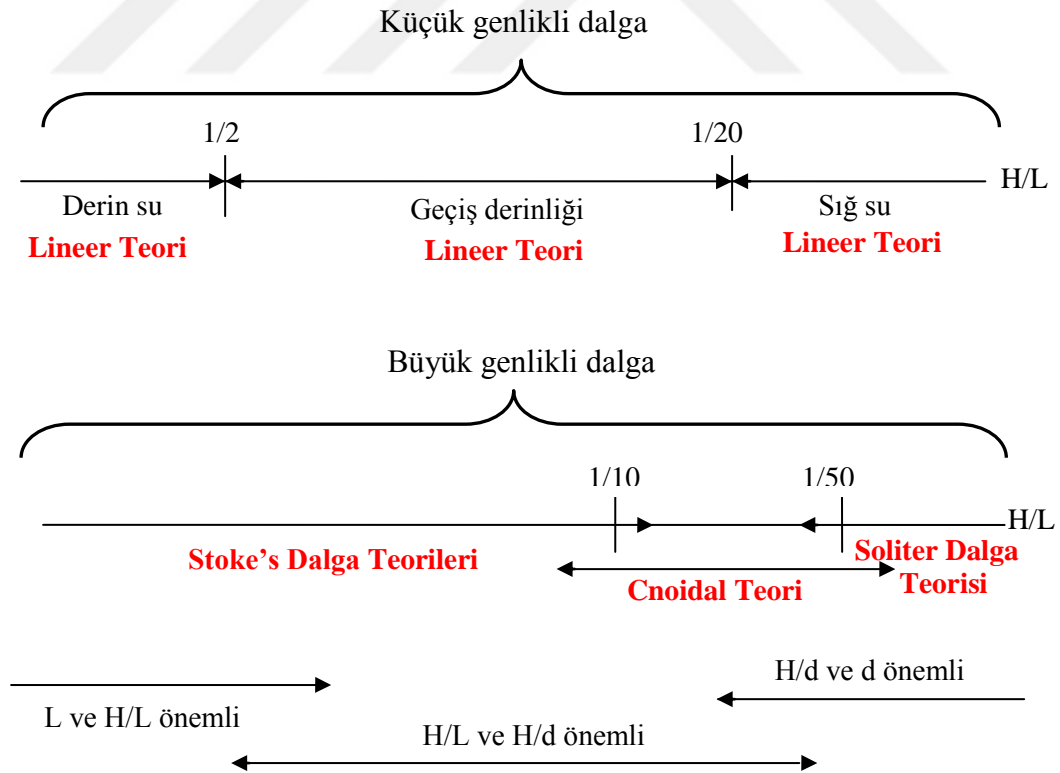


Şekil 2.16. Frekansa göre dalga sınıflandırılmaları [32]

Sabit bir kesitten ardışık iki dalga tepesi ya da çukurunun geçmesi için gerekli olan süre dalga periyodu T ile tanımlanmaktadır. Rüzgar dalgalarının periyodu 30s ile sınırlandırılırken, güneş ve ay çekim kuvvetlerinden kaynaklanan gel-git dalgalarının periyodu 12 ile 24 saat arasında değişmektedir. Atmosfer basıncındaki değişimden kaynaklanan fırtına kabarmaları ise 1 ile 30 gün arasında değişen periyot sürelerine sahiptir [32].

Hidrodinamik kuvvetlerin belirlenmesinde önem taşıyan bir diğer parametre ise dalga tepesi ve çukuru arasındaki mesafeyi ifade eden H dalga yüksekliği ve bu yüksekliğin yarısı (lineer dalgalar için) a genliktir. Dalganın sahip olduğu enerji dalga yüksekliği ile orantılıdır. Dalga yüksekliğinin dalga boyuna oranı dalganın dikliğini (H/L) göstermektedir. Kısa rüzgar dalgalarının dikliği 0.05 ile 0.08 arasında değişmektedir [32].

Şekil 2.17 üzerinde dalga teorilerinin kullanıldığı sınırlar ve bu sınırlar içerisinde kalan etkili değişkenler gösterilmiştir.



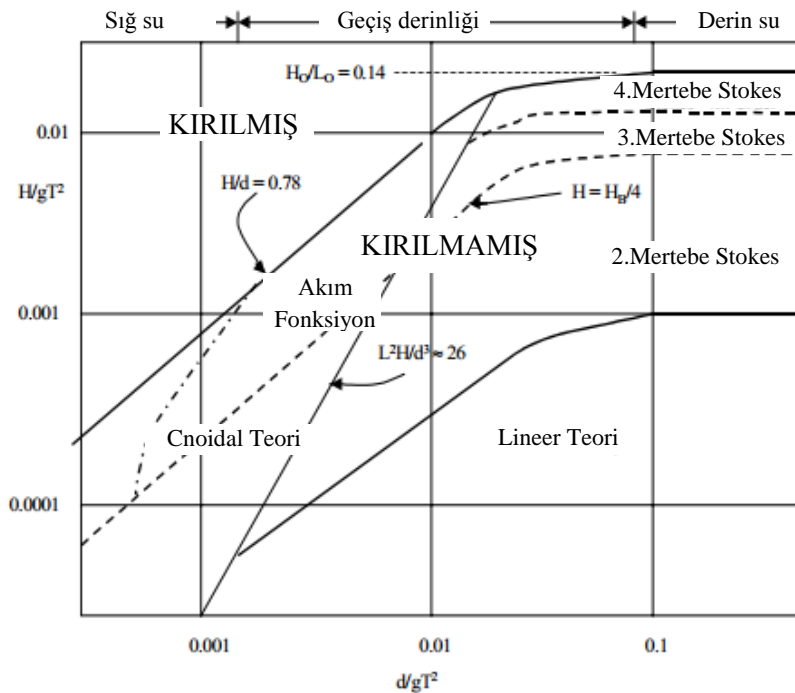
Şekil 2.17. Küçük ve büyük genlikli dalga teorileri ve geçerli olduğu bölgeler

Küçük genlikli ve büyük genlikli dalgalar olmak üzere ikiye ayrılan bu grup için dalga dikliğinin 1/20 değeri belirleyicidir. $H/L < 1/20$ koşulunda (küçük genlikli dalga) lineer dalga teorileri kullanılırken, $H/L > 1/20$ durumunda (büyük genlikli dalga) non-linear dalga teorileri ile dalga parametreleri hesaplanmaktadır. Dalga yüksekliğinin su derinliğine oranı (H/d) bağıl dalga yüksekliği olarak isimlendirilmektedir.

Ursell parametresi U , bağıl dalga yüksekliği H/L ve dalga boyu L , kullanılarak elde edilen, lineer ve nonlinear terimlerin etkili olduğu sınırların belirlenmesi amacı ile geliştirilmiş boyutsuz bir parametredir.

$$U = \left(\frac{L}{d}\right)^2 \left(\frac{H}{d}\right) = \frac{HL^2}{d^3} \quad (2.26)$$

Denklem (2.26) ile ifade edilen Ursell parametresinin 1'den çok küçük değerler alması ($U \ll 1$) koşulunda lineer teori kullanılırken, 26'dan büyük olduğu durumda ise Cnoidal teori geçerlilik kazanmaktadır. Dalga teorileri ve Ursell parametresi sınırı Şekil 2.18'de gösterilmiştir.



Şekil 2.18. Dalga teorileri geçerlilik sınırları [30]

Su derinliği d , dalga periyodu T ve yüksekliği H dikkate alınarak elde edilen Şekil 2.18’de görüldüğü gibi lineer teori oldukça geniş bir geçerlilik bölgesine sahiptir. Ancak dalga formunda ortaya çıkan asimetri ve kütle taşınımı, lineer teori yaklaşımı ile ifade edilemediği için nonlinear teoriler olan Stokes, Cnoidal, Soliter dalga teorileri geliştirilmiştir.

2.2.2.5.2. Dalga Parametreleri

Dalgayı tanımlayan başlıca parametreler; dalga yüksekliği H , dalga periyodu T , dalga boyu L ile sınıflandırma kriteri olarak kullanılan dalga dikliği (H/L) ‘‘Dalga zellikleri’’ bölümünde açıklanmıŐtır. Bu karakteristiklerin yanı sıra, dalganın aldığı birim mesafe uzaysal frekansının dalga boyuna oranını veren dalga sayısı k ,

$$k = \frac{2\pi}{L} \quad (2.27)$$

birim zamandaki frekansı gösteren açısal frekans ω ;

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \quad (2.28)$$

bağıntıları ile ifade edilmektedir. Dalga ukur ve tepesinin, hareket olmadığında sakin su seviyesi (SSS) olarak adlandırılan düzeye göre zaman ve konuma bağlı yaptığı düşey yer deđiŐtirme dalga profili η olarak isimlendirilmektedir.

$$\eta = a \sin(kx - \omega t) \quad (2.29)$$

Dalga yayılma hızı c ise Denklem (2.30)’da verilmiştir.

$$c = \frac{L}{T} \quad (2.30)$$

Dalgayı meydana getiren unsurlar; bağlı derinlik, frekans, dalga dikliği başta olmak üzere dalganın temel parametreleri olan yükseklik, boy ve derinliğe göre kategorilere ayrılmaktadır.

Bu kategoriler kapsamında dalgayı en iyi ifade edecek bağıntılar geliştirilmiştir. Bu bağıntılar dalga hızı, ivmesi gibi deniz yapıları üzerine etkiyecek hidrodinamik kuvvetlerin hesaplarında kullanılan değerleri veren denklemlerden oluşmaktadır. Geliştirilen bağıntılar; çeşitli dalga teorileri bünyesinde ele alınmaktadır.

2.2.2.5.3. Dalga Transformasyonu

Dalgaların açık denizden kıyıya ulaşana kadar geçirdikleri değişimler dalga transformasyonu olarak adlandırılırken sığlaşma, sapma, dönme, yansıma ve kırılma şeklinde sınıflandırılmaktadır. Transformasyon hareketi dalganın yüksekliği, boyu, enerjisi ve yönünün değişmesine sebep olmaktadır. Bu nedenle sığ ve geçiş derinliklerinde inşa edilecek yapılar için parametrelerin doğru belirlenmesi çok büyük önem taşımaktadır. Kıyıya doğru ilerleyen, tepe ve taban eş derinlik çizgileri birbirine paralel olan dalgaların, derinliğin azalması ile birlikte boyu kısalarak yükseklikleri artar. Bu değişim sığlaşma olarak tanımlanmaktadır.

İki boyutlu hareket için dalga boyundaki değişim

$$\frac{H}{H_0} = K_s = \sqrt{\frac{C_{g0}}{C_g}} \quad (2.31)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Denklem (2.31)' de kullanılan K_s sığlaşma katsayısı C_g dalga grup hızını temsil etmektedir ve

$$C_g = \frac{1}{2} \left[1 + \frac{2kd}{\sinh(2kd)} \right] \sqrt{\frac{g}{k} \tanh(kd)} \quad (2.32)$$

şeklinde verilmektedir. Alt indis olarak kullanılan “0” ise derin su parametrelerini göstermektedir. Bağıntıdan da anlaşılacağı üzere sığlaşma, derinlik ile grup hızının değişiminden kaynaklanmaktadır.

Belli bir açı ile kıyıya yaklaşan dalgaların yön değiştirerek batimetri çizgilerine paralel duruma gelmesi dalga sapması olarak adlandırılmaktadır. Dalga

sapmasının en önemli etkisi batimetriye bağlı olarak dalga yüksekliklerinde meydana gelen ve kıyı yapılarının tasarımı üzerinde tesiri olan değişimdir. Sapma katsayısı K_r , Denklem (2.33)'te verilmiştir. θ_0 dalga tepelerinin derin su koşullarında batimetri ile yaptığı açığı, L_0 derin su dalga boyunu, θ_1 ise sığ su koşullarında dalga tepesi ile batimetri arasındaki açığı göstermektedir.

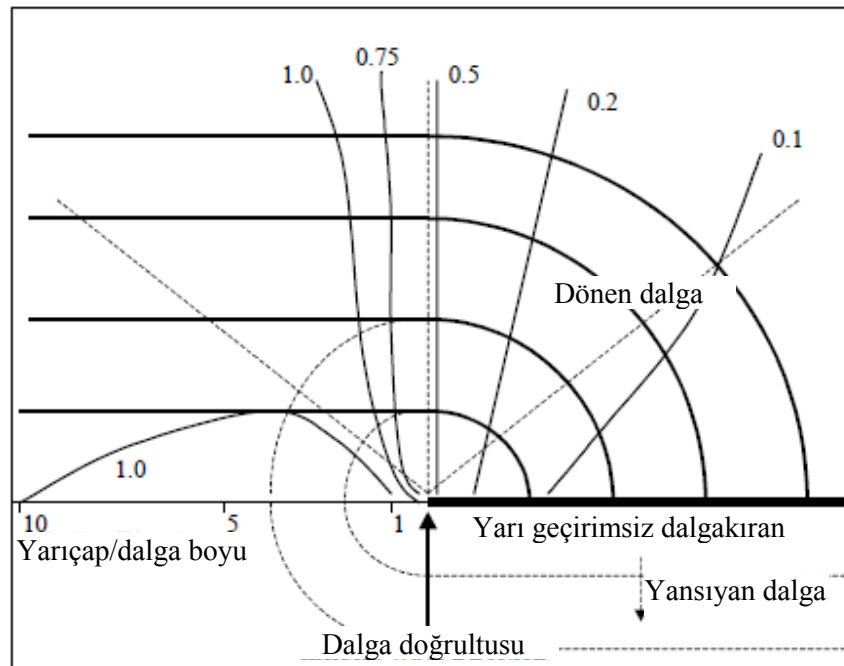
$$K_r = \sqrt{\frac{b_0}{b_1}} = \sqrt{\frac{\cos \theta_0}{\cos \theta_1}} = \left(\frac{1 - \sin^2 \theta_0}{1 - \sin^2 \theta_1} \right)^{1/4} \quad (2.33)$$

Sığılaşma ve sapma etkisinin birlikte görülmesi durumunda dalga yüksekliği

$$H = H_0 K_s K_r \quad (2.34)$$

bağıntısı ile hesaplanmaktadır.

İlerleme doğrultusunda bir engel ile karşılaşan dalganın cepler boyunca yanıl taşınımına dönme denilmektedir. Şekil 2.19'da dalgakıran etkisi ile meydana gelen dönme hareketi görülmektedir.



Şekil 2.19. Yarı geçirimsiz dalgakıran etkisi ile dalga dönmesi

Şekil 2.19’da görüldüğü gibi gelen dalga dalgakırana çarptıktan sonra bir kısmı yansımakta bir kısmı yapının uç kısmından arka tarafa dönerek dairesel yaylar oluşturmakta bir kısmı ise dalgakırandan etkilenmeyip bozulmadan hareketine devam etmektedir. Gelen ve dönen dalga boyları arasındaki ilişkiyi ortaya koyan dönme katsayısı

$$K_d = \frac{H_d}{H_s} \quad (2.35)$$

olarak ifade edilmektedir. Bağıntıda kullanılan H_d ve H_s sırası ile dönen ve gelen dalga yüksekliklerini göstermektedir.

Düşey bir engele çarpan dalganın enerjisini tüketmeden geri dönmesine yansıma denilmektedir. Gelen ve yansıyan dalganın genliği arasındaki oran yansıma katsayısı C_r olarak adlandırılmaktadır. Tam yansıma ya da kısmi yansıma dalga enerjisinin ne kadarının engel üzerinde sönmüldüğü ile ilişkili bir durumdur.

$$C_r = \frac{H_r}{H_s} \quad (2.36)$$

Dalga enerjisi dalga yüksekliğinin karesi ile orantılı olduğu için yansıyan dalga enerjisi de yansıma katsayısının karesi ile aynı orana sahiptir. Düzgün geçirimsiz şevlerde dalga yansıması fazla olurken taşdolgu şevlerde enerjinin büyük bir kısmı harcandığından yansıma da azalmaktadır.

2.2.2.5.4. Dalga Kırılması

Dalğanın stabilitesini kaybetmesi sonucunda formunun bozulması kırılma olarak değerlendirilmektedir. Kıyıda ya da kıyıya yakın sularda inşa edilen yapılar için dalga kırılması ani ilave yüklerin oluşmasına neden olduğundan büyük önem taşımaktadır. Farklı periyota ve yüksekliğe sahip dalgalar kırılma bölgesinde çeşitli nedenler ile bozulmaktadırlar. Bu nedenlerin başında dalganın yatay hız bileşeninin dalga yayılma hızından büyük olması durumu gelmektedir. Ayrıca su partikülünün yüzeyde sahip olduğu en büyük düşey ivme değerinin yer çekimi ivmesine

eşitlenmesi durumu da dalga kırılmasının sebeplerindedir. Derin su ve sığ su sınırları içerisinde dalga kırılması farklı kriterlere bağlı olarak gerçekleşmektedir. Dalga kırılması derin suda dalga dikliğinin maksimum değeri aşması sonucu meydana gelmektedir. Bu değer

$$\frac{H_0}{L_0} = 0.142 \approx \frac{1}{7} \quad (2.37)$$

olarak belirlenmiştir. Sığ suda ise sığlaşma nedeni ile dalga boyu kısalarak, dalga hızı azalmaya dalga yüksekliği artmaya başlar. En büyük yüksekliğe ulaştığında ise dalga kırılması meydana gelmektedir.

Kırılma indeksi γ_b dalganın kırılmadan önce Solitary dalga özelliği taşıdığı kabul edilerek belirlenmiş olup

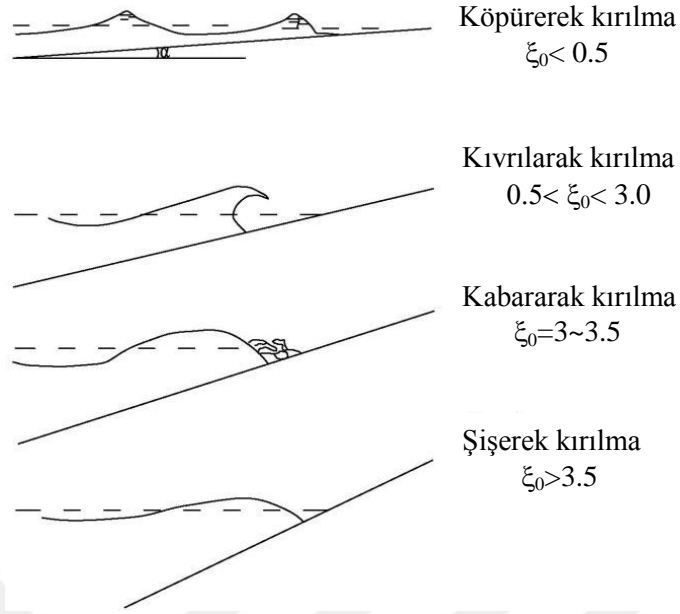
$$\gamma_b = \frac{H_b}{d_b} \quad (2.38)$$

şeklinde hesaplanmaktadır. Burada H_b , kırılan dalga yüksekliği d_b , kırılma derinliği olmaktadır.

Kırılma indeksi taban eğimi m ve periyoda bağlı olarak 0.5 ile 1.5 arasında değerler almaktadır [26]. Denklem (2.39) ile verilen surf parametresi ξ_0 , dalga kırılma şeklini belirlemektedir.

$$\xi_0 = \frac{m}{\sqrt{\frac{H_0}{L_0}}} \quad (2.39)$$

Dalga kırılma tipleri köpürerek, kıvrılarak, kabarak, şişerek olmak üzere 4 başlık altında toplanmaktadır. Şekil 2.20'de kırılma şekline göre surf parametresinin aldığı değerler görülmektedir.



Şekil 2.20. Dalga kırılma şekilleri [30]

Düzenli bir dalganın kırılma noktasındaki yüksekliği H_b , derin su dalga boyu L_0 ve yüksekliği H_0 'a bağlı olarak

$$\frac{H_b}{H_0} = 0.38 \left(\frac{H_0}{L_0} \right)^{-1/3} \quad (2.40)$$

şeklinde tanımlanmaktadır.

Dalga kırılma noktasındaki su derinliği d_b ise

$$\frac{d_b}{H_0} = 0.49 \left(\frac{H_0}{L_0} \right)^{-1/3} \quad (2.41)$$

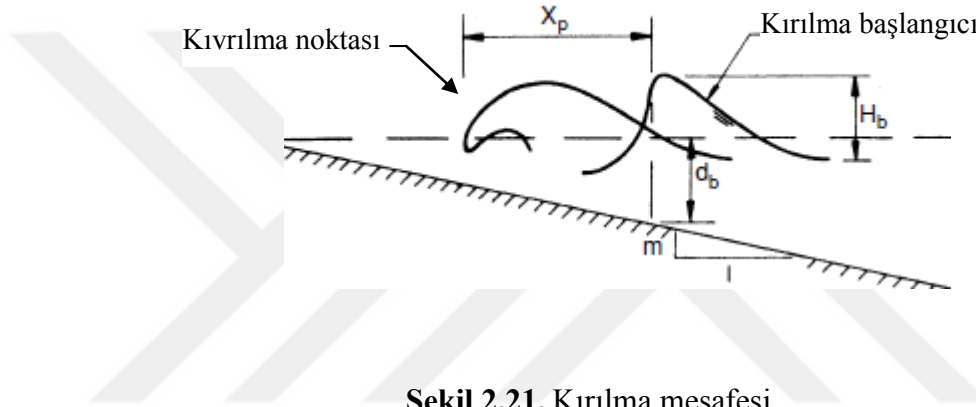
denklemleri ile elde edilmektedir.

Dalga kırılma derinliği ve yüksekliğinin belirlenmesinin yanı sıra kırılan dalganın etkili olduğu mesafenin de belirlenmesi büyük önem taşımaktadır.

Bu mesafe yaklaşık olarak kırılma yüksekliğinin 2 ile 4 katı arasında değerler almakla birlikte Denklem (2.42) ile verilen bağıntı ile de ifade edilebilmektedir [30].

$$\frac{x_p}{H_b} = 3.95 \left(\frac{\sqrt{H_0/L_0}}{m} \right)^{0.25} \quad (2.42)$$

Burada x_p Şekil 2.21’de görüldüğü gibi kırılmanın başladığı nokta ile kırılma noktası arasındaki mesafe, m ise deniz tabanına ait eğimi ifade etmektedir.



Şekil 2.21. Kırılma mesafesi

2.2.2.5.5. Dalga Teorileri

En genel anlamda küçük ve büyük genlikle olmak üzere sınıflandırılan dalga teorileri potansiyel akım teorisine dayanmaktadır. Potansiyel akım çevrintisizdir ve hız potansiyeli ϕ ve akım fonksiyonu ψ ile elde edilen hız bileşenleri ile ifade edilmektedir.

Sabit ve ergodik davranışa örnek olan akışkan partiküllerinin hareketi, mekaniğin temelini oluşturan kütle korunumu yasasına tabidir. Bu prensip altında ortaya konan Laplace denklemi, iki boyutlu akım için potansiyel fonksiyonu ϕ 'ye bağlı yazılırsa;

$$\nabla^2 \phi = \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial z^2} = 0 \quad (2.43)$$

elde edilir. Burada x ve z sırası ile yatay ve düşey koordinatları göstermektedir. Akışkan partikülünün x doğrultusunda yatay hız bileşeni u ve z doğrultusunda düşey hız bileşeni w 'den oluşmaktadır. Potansiyel fonksiyondan türetilen hız bileşenleri Denklem (2.44)'de tanımlanan bağıntılar yardımı ile ifade edilmektedir.

$$u = -\frac{\partial\phi}{\partial x} \quad \text{ve} \quad w = -\frac{\partial\phi}{\partial z} \quad (2.44)$$

Hız potansiyeli başta hız bileşenleri olmak üzere akım alanına ait tüm verileri içermektedir [32]. Deniz tabanında ve su yüzeyinde oluşan viskozite kaynaklı sınır tabakaları ince olduğundan iki boyutlu dalga hareketine ait akım fonksiyonu ψ için de Laplace denklemi mevcuttur.

$$\nabla^2\psi = \frac{\partial^2\psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2\psi}{\partial z^2} = 0 \quad (2.45)$$

Akım fonksiyonu dikkate alınarak elde edilen hız bileşenleri Denklem (2.46)'da verilmektedir.

$$u = -\frac{\partial\psi}{\partial z} \quad \text{ve} \quad w = +\frac{\partial\psi}{\partial x} \quad (2.46)$$

Denklem (2.47) ve (2.48)'den anlaşıldığı üzere birbirine dik eş potansiyel ve akım çizgilerinden oluşan sistem, akım ağı olarak isimlendirilmektedir. Bir akım çizgisi üzerindeki her noktada ψ , potansiyel çizgisi boyunca ise ϕ değerleri sabit olduğu için,

$$d\phi = \frac{\partial\phi}{\partial x} dx + \frac{\partial\phi}{\partial z} dz = u dx + w dz = 0 \quad (2.47)$$

$$d\psi = \frac{\partial\psi}{\partial x} dx + \frac{\partial\psi}{\partial z} dz = w dx - u dz = 0 \quad (2.48)$$

eşitlikleri elde edilmektedir.

Laplace denklemlerinin Bernoulli ve Euler denklemleri ile entegre edilmesi ile x ve z doğrultusunda sırası ile

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(-\frac{\partial \phi}{\partial t} + \frac{1}{2} \{u^2 + w^2\} + \frac{p}{\rho} \right) = 0 \quad (2.49)$$

$$\frac{\partial}{\partial z} \left(-\frac{\partial \phi}{\partial t} + \frac{1}{2} \{u^2 + w^2\} + \frac{p}{\rho} \right) = g \quad (2.50)$$

bağıntıları yazılabilmektedir. Burada p, ρ, g ve t sırası ile basıncı, akışkanın özgül kütleini, yerçekimi ivmesini, zamanı göstermektedir.

Lineer Dalga Teorisi: Dalga yüksekliğinin, dalga boyuna ve su derinliğine oranla çok küçük değerler alması durumunda geçerli olan en basit dalga teorisidir. Basınç su yüzeyinde sabittir. İki boyutlu ideal akışkan kabulü altında, Coriolis etkisi ihmal edilerek hesaplar yapılmaktadır.

Lineer dalga teorisi Laplace denkleminin bir çözüdür. Denklem (2.43)'de verilen Laplace denkleminin geçerlilik sınırı $-d \leq z \leq \eta$ ve $-\infty \leq x \leq \infty$ olarak tanımlanmaktadır. Bu aralıkta tabanda ve yüzeyde olmak üzere kabul edilen sınır şartları ile analiz yapılmaktadır. Geçirimsiz kabul edilen deniz tabanına dik akışın olmadığı yani düşey hız bileşeninin sıfıra eşit olduğu kinematik taban sınır şartı,

$$w = -\frac{\partial \phi}{\partial z} = 0 \quad z = -d \quad (2.51)$$

şeklinde gösterilmektedir. Su yüzeyinin de bir akım çizgisi olmasından yola çıkarak elde edilen kinematik serbest yüzey sınır şartı ise

$$w = -\frac{\partial \phi}{\partial z} = \frac{\partial \eta}{\partial t} \quad z = \eta \quad (2.52)$$

ile ifade edilmektedir.

Basıncın su yüzeyinde sabit olması Denklem (2.53)'te verilen dinamik serbest yüzey sınır şartını ortaya koymaktadır.

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} + g\eta = 0 \quad z = \eta, p = 0 \quad (2.53)$$

Akım şartlarının bir dalga boyu mesafe veya bir dalga periyodu süresi sonrasında kendini tekrarlaması,

$$\begin{aligned} \phi_x(x, z, t) &= \phi_x(x + L, z, t) \\ \phi_x(x, z, t) &= \phi_x(x, z, t + T) \end{aligned} \quad -d \leq z \leq 0 \quad (2.54)$$

şeklinde gösterilmektedir. Sınır şartlarının uygulanması ile elde edilen hız potansiyeli bağıntısı

$$\phi(x, z, t) = \frac{ag}{\omega} \frac{\cosh k(z+d)}{\cosh kd} \cos(kx - \omega t) \quad (2.55)$$

şeklindedir. Yayılma hızı c olan x - doğrultusunda ilerleyen dalgaya ait su yüzü profili ise;

$$\eta = a \sin \left[2\pi \left(\frac{x}{L} - \frac{t}{T} \right) \right] \cos(kx - \omega t) \quad (2.56)$$

olarak verilmektedir. Lineer dalga için dalga boyu L ,

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh \left(\frac{2\pi d}{L} \right) \quad (2.57)$$

şeklinde ifade edilmektedir.

Yüksek Mertebeli Stokes Dalga Teorisi: Büyük genlikli dalga teorileri, lineer olmayan terimlerin ihmal edilmesi ile tanımlanamayan, dalga tepesi ve çukuru arasında asimetrinin söz konusu olduğu durumlarda geçerli olmaktadır. Akımın

çevrintisiz olması koşulu altında türetilen temel denklemlerin çözümü yine sınır şartlarına bağlı yapılmaktadır. Kinematik taban sınır şartı Denklem (2.51)'de verildiği gibi geçerliliğini sürdürürken, kinematik serbest yüzey sınır şartı

$$-\frac{\partial\phi}{\partial z} = -\frac{\partial\eta}{\partial x}\frac{\partial\phi}{\partial x} + \frac{\partial\eta}{\partial t} \quad z=\eta \quad (2.58)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Su yüzeyinde geçerli olan dinamik sınır şartı için ise

$$-\frac{\partial\phi}{\partial z} + \frac{1}{2}\left\{\left(\frac{\partial\phi}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial\phi}{\partial z}\right)^2\right\} + gz + \frac{p}{\rho} = 0 \quad (2.59)$$

bağıntısı kullanılmaktadır. Hız potansiyelinin üstel bir serisi yardımı ile tanımlanan büyük genlikli dalga

$$\phi(x, z, t) = H\phi(z, 1)\sin(kx - \omega t) + H^2\phi(z, 2)\sin 2(kx - \omega t) + H^3\phi(z, 3)\sin 3(kx - \omega t) + \dots \quad (2.60)$$

şeklinde z'ye bağlı ifade edilebilmektedir. Stokes dalga teorisi en yaygın olarak kullanılan büyük genlikli dalga teorisidir. Şekil 2.18'de ikinci, üçüncü ve beşinci mertebe Stokes dalga teorisinin geçerlilik sınırları görülmektedir. Fourier serisi ve pertürbasyon açılımları kullanılarak elde edilen dalga parametrelerinden biri olan su yüzü profili 2. mertebe Stokes dalga teorisi için

$$\eta = \frac{H}{2}\cos\theta + \left(\frac{\pi H^2}{8L}\right)\frac{\cosh(2\pi d/L)}{\sinh^3(2\pi d/L)}[2 + \cosh(4\pi d/L)]\cos 2\theta \quad (2.61)$$

şeklinde formülize edilmektedir. Derin su koşullarında ise

$$\eta = \frac{H_0}{2}\cos\theta + \left(\frac{\pi H_0^2}{4L_0}\right)\cos 2\theta \quad (2.62)$$

bağıntısı kullanılmaktadır. Burada, $\theta = kx - \omega t$ faz açısını göstermektedir.

Derin su dalga boyu ve yüksekliği L_0 ve H_0 ile gösterilmiştir. Daha yüksek mertebelerde dalga tepesi ile sakin su seviyesi arasındaki mesafe a_T , dalga çukuru ve sakin su seviyesi arasındaki mesafe a_C arasındaki $a_T > a_C$ ilişkisi daha belirgin duruma gelmektedir [33].

Stokes 2. mertebe dalga teorisine göre su partikülüne ait yatay ve düşey hız bileşenleri sırası ile

$$u = \frac{HgT}{2L} \frac{\cosh[2\pi(z+d)/L]}{\cosh(2\pi d/L)} \cos \theta + \frac{3}{4} \left(\frac{\pi H}{L} \right)^2 c \frac{\cosh[4\pi(z+d)/L]}{\sinh^4(2\pi d/L)} \cos 2\theta \quad (2.63)$$

$$w = \frac{\pi H}{L} c \frac{\sinh[2\pi(z+d)/L]}{\sinh(2\pi d/L)} \sin \theta + \frac{3}{4} \left(\frac{\pi H}{L} \right)^2 c \frac{\sinh[4\pi(z+d)/L]}{\sinh^4(2\pi d/L)} \sin 2\theta \quad (2.64)$$

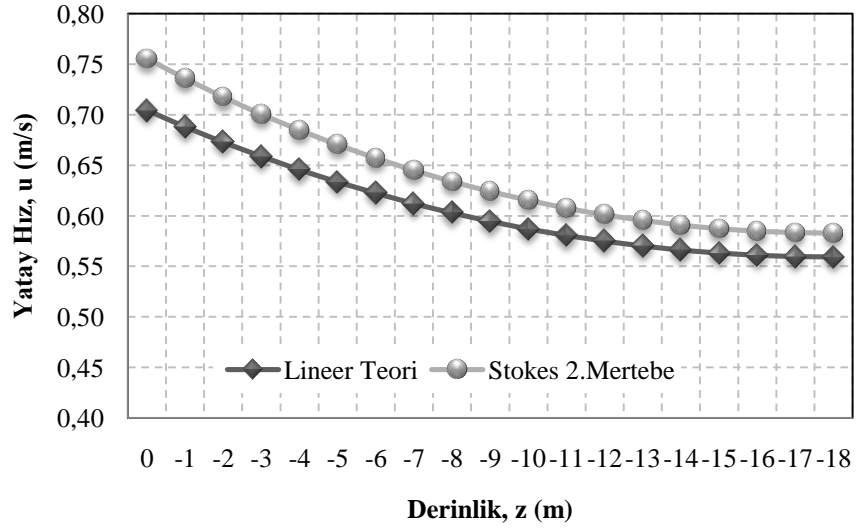
şeklinindedir. 2. mertebe teori kapsamında dalga yayılma hızı c , lineer teoriye eşdeğer kabul edilirken 3. mertebe teori için

$$c = \frac{gT}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi d}{L}\right) \left\{ 1 + \left(\frac{\pi H}{L} \right)^2 \left[\frac{5 + 2 \cosh(4\pi d/L) + 2 \cosh^2(4\pi d/L)}{8 \sinh^4(2\pi d/L)} \right] \right\} \quad (2.65)$$

bağıntısı kullanılmaktadır. 2. mertebe teori için basınç dağılımı ise

$$p = \rho g \frac{H}{2} \frac{\cosh[2\pi(z+d)/L]}{\cosh(2\pi d/L)} \cos \theta - \rho g z + \frac{3}{8} \rho g \frac{\pi H^2}{L} \frac{\tanh(2\pi d/L)}{\sinh^2(2\pi d/L)} \left\{ \frac{\cosh[4\pi(z+d)/L]}{\sinh^2(2\pi d/L)} - \frac{1}{3} \right\} \cos 2\theta \quad (2.66)$$

bağıntısı ile elde edilmektedir. Şekil 2.22'de örnek olarak dalganın yatay hız bileşeni açısından lineer teori ve 2. mertebe Stokes dalga teorilerine ilişkin karşılaştırma sonuçları görülmektedir.



Şekil 2.22. Lineer ve 2.mertebe Stokes dalga teorileri hesabı ile dalga yatay hızı

Ursell parametresinin 30 değerinin altında kalması ($U < 30$) koşulu ile dik dalgalar için 5. mertebe Stokes dalga teorisi kullanılmaktadır. Seri açılımlarında beşinci mertebe terimleri kapsayan teori için yatay hız bileşeninin genel formu

$$u = \sum_{n=1}^5 A_n \cosh nk(z+d) \cos n\theta \quad (2.67)$$

şeklindedir. Burada A_n denklem sabitleridir. Derinlik arttıkça yüksek mertebeden terimlerin etkisi azalmaktadır. Bu nedenle Stokes gibi lineer olmayan teorilerde kullanılan bu terimler sadece serbest yüzeye yakın bölgelerde önemli etkiler göstermektedir. Sakin su seviyesinden uzaklaştıkça hareket lineer dalgaya benzemeye başlamaktadır. [34]

Çok sığ sularda ve Ursell parametresinin 30'un üzerinde ($U > 30$) olduğu şartlarda ise Stokes dalga teorisi uygun değildir. Bu sınırlar dahilinde Cnoidal teori veya akım fonksiyonu teorisi daha doğru sonuçlar elde edilmesini sağlamaktadır.

Cnoidal Dalga Teorisi: Geniş dalga çukurları ile ayrılmış keskin tepeleri olan periyodik dalgalar Cnoidal dalga teorisi ile ifade edilmektedir. Ursell parametresinin 30 değerinden büyük olması durumunda sığ sularda kullanılmaktadır

[33]. Ursell parametresi sıfıra yakınsar ise lineer dalga sonsuza yakınsar ise soliter dalga özellikleri ortaya çıkmaktadır. Göreceli derinlik d/L oranının $1/8$ 'den küçük olması teorisinin uygulama alanını sınırlayan diğer bir koşuldur. Korteweg De Vries tarafından geliştirilen teoriye göre konum ve zamana bağlı su yüzü profili $\eta(x, t)$

$$\eta(x, t) = \eta_2 + Hcn^2 \left[2K(m) \frac{x - ct}{L}, m^* \right] \quad (2.68)$$

şeklinde tanımlanmaktadır. Bağtıda kullanılan η_2 dalga çukuru ile sakin su seviyesi arasındaki mesafeyi göstermektedir. Jacobian eliptik fonksiyonu cn ve birinci mertbe eliptik integral $K(m)$ eliptik modül m^* 'ye bağlıdır. Eliptik modül Cnoidal dalganın şeklini belirlemekte ve dalga parametreleri arasındaki ilişkiyi sağlamaktadır.

Cnoidal teori için dalga boyu,

$$L = d \sqrt{\frac{16 m^* d}{3 H} K(m^*)} \quad (2.69)$$

En büyük yatay ve düşey hızı sırası ile

$$u_{\max} = c \left[\frac{\eta_{\max}}{d} - \left(\frac{\eta_{\max}}{d} \right)^2 - 4 \left(\frac{1}{3} + \left(\frac{z+d}{d} \right)^2 \right) \frac{HK^2}{gT^2} \right] \quad (2.70)$$

$$w_{\max} = c \left[\frac{\eta_{\max}}{d} - \left(\frac{\eta_{\max}}{d} \right)^2 - 4 \left(\frac{1}{3} + \left(\frac{z+d}{d} \right)^2 \right) \frac{HK^2}{gT^2} \right] \quad (2.71)$$

bağıntıları ile ifade edilmektedir.

Solitary Dalga Teorisi: Yer kabuğu hareketleri sonucu oluşan, ender rastlanan çok dik tepeli dalgalardır. Dalga çukuru yatay ve çok uzun olduğundan

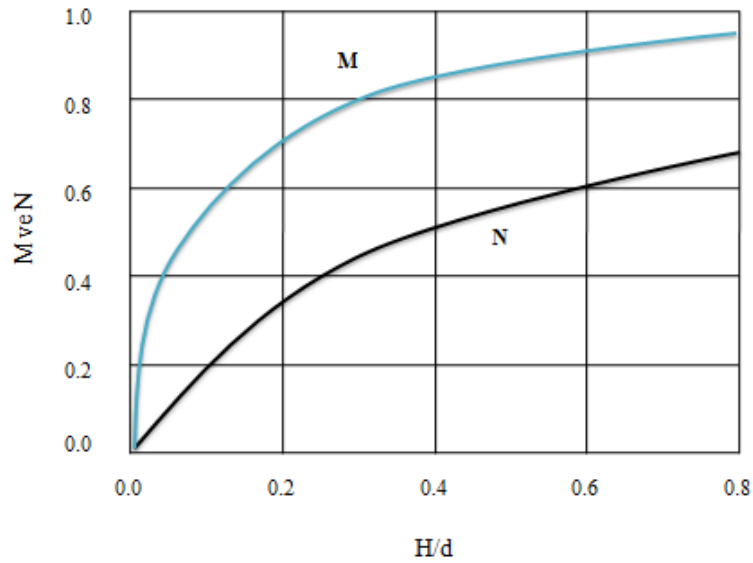
periyot etkinliğini yitirmekte ve hareket tekil bir dalga özelliklerini taşımaktadır. Solitary dalga teorisi ile tanımlanabilen en iyi örnek deprem sonrası oluşan tsunami dalgasıdır. Dalga yüksekliğinin tamamen sakin su seviyesinin üstünde kabul edilmesi ile elde edilen su yüzü profili bağıntısı Denklem (2.72)'de görülmektedir.

$$\eta(x, t) = H \cosh^{-2} \left[\frac{\sqrt{3}\varepsilon}{2d} \left(1 - \frac{5}{8}\varepsilon \right) (x - ct) \right] \quad (2.72)$$

Bağıntıda kullanılan $\varepsilon = H/d$ ve dalga hızı $c = 1.33\sqrt{gd}$ olarak verilmektedir. H/d değeri büyüdükçe yüksek mertebeden çözümlere ihtiyaç duyulmaktadır. Dalgayı tanımlamak amacı ile hesaplanan dalga hızının yatay bileşeni,

$$u = cN \frac{1 + \cos\left(M \frac{z+d}{d}\right) \cosh\left(M \frac{x}{d}\right)}{\left\{ \cos\left(M \frac{z+d}{d}\right) + \cosh\left(M \frac{x}{d}\right) \right\}^2} \quad (2.73)$$

ifadesi ile hesaplanmaktadır. Burada M ve N , H/d 'nin fonksiyonu olup Şekil 2.23'te gösterilmiştir.



Şekil 2.23. M ve N fonksiyonlarının H/d ile ilişkisi [35]

Dalga hızının düşey bileşeni ise

$$w = cN \frac{\sin\left(M \frac{z+d}{d}\right) \sinh\left(M \frac{x}{d}\right)}{\left\{ \cos\left(M \frac{z+d}{d}\right) + \cosh\left(M \frac{x}{d}\right) \right\}^2} \quad (2.74)$$

bağıntısı ile hesaplanmaktadır.

2.2.2.5.5. Açık Deniz Yapılarına Etkiyen Hidrodinamik Dalga Kuvvetleri

Açık deniz yapılarına etkileyen kuvvetlerin hesabı yapının dalga ilerleme yönündeki karakteristik boyutunun dalga boyuna oranına (D/L) bağlı olarak iki farklı şekilde yapılmaktadır. Bu oran 0.2 değerinden küçük ise dalganın yapı etkisi ile önemli bir değişime uğramadığı kabul edilmektedir. Yapı etrafında akım ayrılması oluşmamaktadır. Bu durumda yapı açık kabul edilerek Morison denklemi kullanılmaktadır [28].

$$dF_H = dF_D + dF_M = \frac{1}{2} \rho C_D D |u| u dz + \rho \frac{\pi D^2}{4} C_M \frac{du}{dt} dz \quad (2.75)$$

Burada F_D sürüklenme kuvvetini, F_M atalet kuvvetini, ρ deniz suyu yoğunluğunu, C_D sürüklenme katsayısını, C_M atalet katsayısını, D yapı karakteristik uzunluğunu, u akışkan partikülünün hızını, du/dt akışkan partikülünün ivmesini, z düşey koordinatı, t ise zamanı göstermektedir. Sürüklenme ve atalet kuvvetlerinin toplamı F_H yapı birim uzunluğuna etkileyen eksenel kuvveti ifade etmektedir. Akışkan partikülünün yaptığı deplasmanın, yapı karakteristik uzunluğuna göre önemini ifade eden Keulegan Carpenter KC boyutsuz parametresi

$$KC = \frac{U_m T}{D} \quad (2.76)$$

şeklinindedir. Bağıntıda geçen U_m yapı mevcut değilken belirlenen en büyük hızı göstermektedir.

KC ile (D/L) oranının hidrodinamik katsayılar üzerindeki etkisi Tablo 2.5'te verilmektedir.

Tablo 2.5. Hidrodinamik katsayı değişimi [32]

KC	D/L	C _M	C _D
KC>25	D/L<0.2	1.80	1.00
KC<25	D/L<0.2	1.80	0.62
KC<5	D/L<0.2	2.00	0.00
KC<5	D/L>0.2	-	-

Tablonun en son satırında yer alan KC<5 ve D/L>0.2 koşulu için Morison denklemi geçerliliğini yitirdiğinden C_D ve C_M katsayıları da mevcut değildir.

Farklı boyutlara sahip narin elemanlardan oluşan uzay taşıyıcı sistem yapıların hesaplarında da Morison denklemi kullanılabilir. Ayrıca elemanlara etkiyen kaldırma kuvvetleri (F_L) ceket tipi yapılarda ihmal edilerek sadece sürüklenme ve atalet kuvvetleri dikkate alınmaktadır [28].

Yapının boyutları dalga formunu önemli ölçüde değiştiriyor ve akım ayrılmalarına sebep oluyor ise yapı hidrodinamik olarak kompakt kabul edilerek Difraksiyon Teorisi kullanılmaktadır.

Hem küçük (D/L<0.2) hem de büyük hacimli (D/L>0.2) elemanlardan oluşan yapılar için ise Morison denklemi ve Difraksiyon teorisi birlikte kombine edilerek uygulanmaktadır.

3. ÇÖZÜM YÖNTEMİ

Bu tez kapsamında yapı geometrisinden bağımsız olarak, rüzgar kuvvetlerinin katılık oranına bağlı hesabını ön gören EIA-TIA-222G şartnamesi yaklaşımının, hidrodinamik dalga kuvveti analizleri için geçerliliği sorgulanmıştır. Dalga etkisi ile oluşan hidrodinamik kuvvetlerin zaman, dalga yüksekliği, periyodu, su derinliği gibi birçok parametreye bağlı değişmesi nedeni ile daha önce açık deniz yapıları için geliştirilmiş böyle bir çalışma ortaya konulmamıştır. Genel bir bağıntı elde edebilmek amacı ile ihtiyaç duyulan data seti ANSYS-Fluent paket programı ile yapılan analizler sonucunda elde edilmiştir.

Dalga etkisi ile meydana gelen ve zaman bağlı değişen hidrodinamik kuvvetler çevresel koşulların yanı sıra, yapının topolojisine bağlı olarak da farklılık göstermektedir. Bu çalışmada topolojideki değişim katılık oranı (e) ile ortaya konulmuştur. Deniz ortamında oluşturulan modellerin malzemeli hacimleri, toplam yapı hacmine oranlandığında elde edilen boyutsuz sayı, tez kapsamında katılık oranı (e) olarak kabul edilmiştir.

Sektörel katılık oranı sabit model (KOS) ve sektörel katılık oranı değişken Model (KOD) olmak üzere iki grup yapı modeli ile çalışılmıştır. KOS modeli 3 sektörden oluşan ve 5 farklı e , değerine göre tasarımı yapılan uzay taşıyıcı sistemden oluşmaktadır. Katılık oranı (e) değerleri yapıyı oluşturan 3 sektör için, su derinliğinin hidrodinamik kuvvet üzerindeki etkisini gözlemleyebilmek için eşit alınmıştır. KOD ise yine 3 sektörlü 2 uzay taşıyıcı sistem modelden oluşmaktadır. İki grup arasındaki fark; KOD için ele alınan modellerde sektörler arasında e değerlerinin değişken olmasından kaynaklanmaktadır.

Elde edilen 7 farklı modele ilişkin hidrodinamik analizler Stokes 2. Mertebe dalga teorisi sınırları dahilinde geçerli iki farklı deniz ortam koşulu dikkate alınarak, gerçekleştirilmiştir.

KOS ve KOD yapı grupları ile yapılan analiz sonuçlarından elde edilen veri seti Yapay Sinir Ağları (YSA) ile eğitilmiştir. Su derinliği d , dalga yüksekliği H , yapı sektörü orta noktasının deniz tabanına mesafesi z^* , dalga periyodu T , kuvvetin

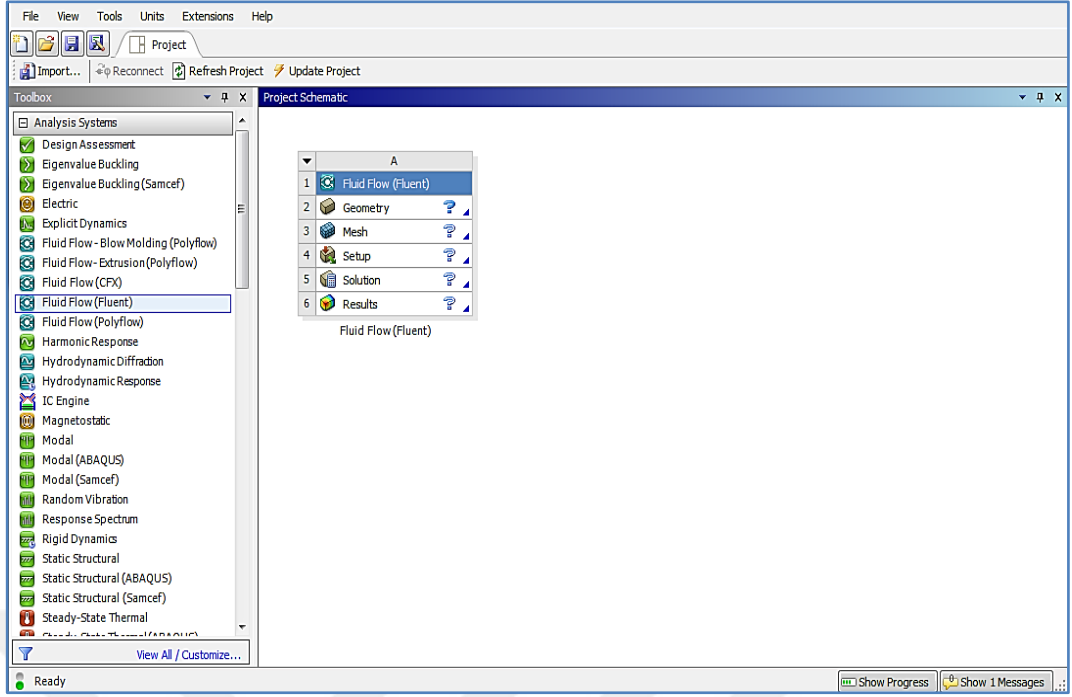
elde edildiği zaman t , sektöre ait katılık oranı e değeri ve yapı yüzey alanı A , değişken parametreler olarak belirlenmiştir. Bu parametreler H/gT^2 , d/gT^2 , t/T , z/d olarak sadeleştirilmiştir. Diğer değişkenler ise e ve A olarak korunmuştur. Elde edilen YSA sonuçları karşılaştırmalı olarak oraya konulmuştur. Biri KOS ve biri de KOD model olmak üzere iki farklı test modeli alınarak elde edilen sonuçların güvenilirliği kontrol edilmiştir.

3.1. Bilgisayar Destekli Modelleme-ANSYS-Fluent

ANSYS-Fluent sonlu hacimler yöntemini kullanan ve fiziksel modelleme yeteneği çok geniş olan bir yazılımdır. Makine, endüstri, havacılık, kimya, inşaat gibi birçok farklı sektörde yaygın şekilde kullanılmaktadır. Hesaplama akışkanlar dinamiği (HAD) yazılımı olan ANSYS-Fluent türbülanslı ve laminer akışlarda, ısı transferi problemlerinde, çok fazlı akışın söz konusu olduğu durumlarda, çevresel yüklere maruz uzay taşıyıcı sistem deniz yapılarının tasarımında hızlı ve güvenli hesap yapabilmesi nedeni ile tercih edilmektedir. HAD analizlerini temel üç başlık altında toplamak mümkündür. Bunlar,

- 1) Katı model ve sayısal ağ yapısının tanımlanması,
 - 2) Sınır koşulları ve çözüm parametrelerinin belirlenmesi ile birlikte çözümün yapılması,
 - 3) Çözüm sonrası elde edilen sonuçların değerlendirilmesi,
- olarak sıralanabilmektedir (36).

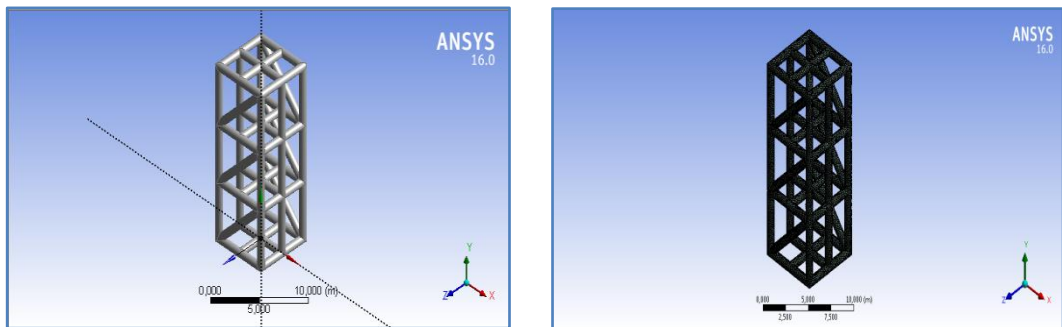
ANSYS-Fluent, ANSYS-Workbench içerisine entegre edilen ve diğer opsiyonlar ile birlikte uyumlu çalışabilen tek pencereden oluşan bir ara yüzdür. Bu nedenle kullanımda büyük ölçüde kolaylık sağlamaktadır. Ayrıca tek bir uygulama kapsamında yapılan hesapların durdurulup incelendikten sonra değiştirilmesine ya da analizin devam etmesine olanak sağlaması, doğru sonuçların daha kısa sürede elde edilmesine imkan vermektedir. Şekil 3.1'de görüldüğu gibi yazılım ekran üzerine taşınarak aktif hale getirilmektedir.



Şekil 3.1. ANSYS-Workbench ekran görüntüsü

ANSYS-Fluent ile analizin ilk aşaması, 2D veya 3D uzayında modele ait geometrinin uygun birimler kullanılarak doğru bir şekilde tanımlanmasıdır. Geometri tanımlaması Design Modeller sayfasında yer alan Sketching Toolbox ile yapılabildiği gibi, ANSYS'in desteklediği CAD (Solidworks, Catia, Pro/E, IGES, UniGraphics) programları yardımıyla oluşturulan çizim dosyalarının aktarılması ile de gerçekleştirilmektedir.

İkinci aşama ise modelin elemanlara bölünmesi yani ağ yapısının (mesh) belirlenmesidir. Şekil 3.2'de geometri ve ağ yapısına ilişkin örnek verilmektedir.

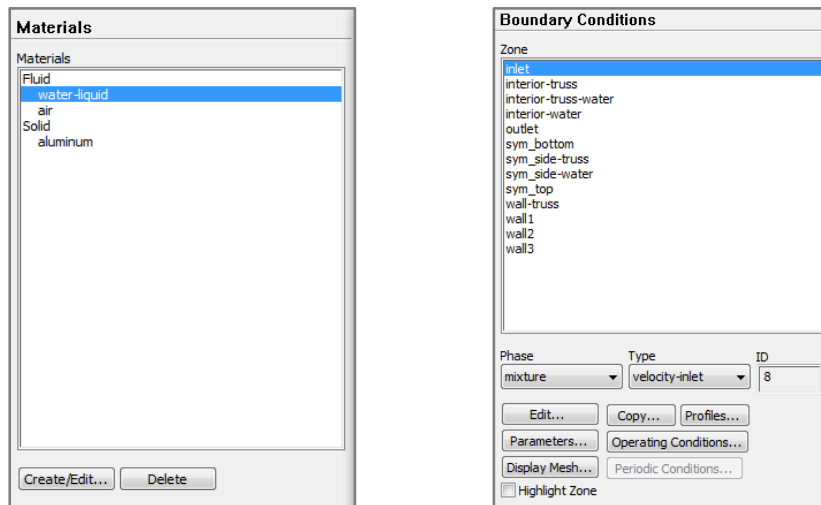


Şekil 3.2. ANSYS-Fluent yazılımı ile geometri ve ağ yapısının ile oluşturulması

Model, yapısal sürekliliği sağlayacak şekilde sonlu parçalara ayrılmaktadır. Boyut, sayı ve ağ geometrisi yapılan hesaplar doğrultusunda analiz süresini ve kalitesini arttıracak şekilde düzenlenebileceği gibi, varsayılan değerler de kullanılabilir. Elemanların ayrı ayrı kullanıcı tarafından atanması zor ve daha uzun süre almaktadır. Bu nedenle daha detaylı ağ yapısına ihtiyaç duyulan bölgeler belirlenerek eleman yoğunluğu ve büyüklüğü ile ilgili veriler bu kenarlarda tanımlanmakta, geri kalan bölgelerde ise bu kısıtlar altında otomatik ağ yapısının oluşturulmasına izin verilmektedir.

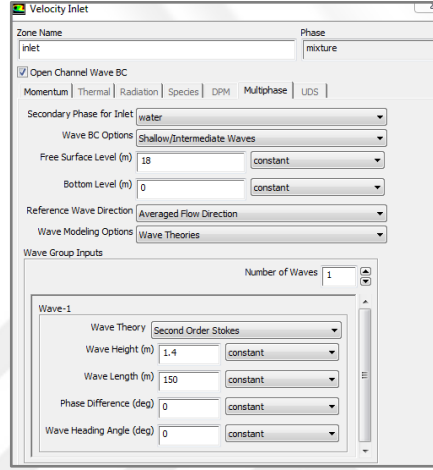
Analizi başlatmadan önceki son aşamada ise hesap aşamasında gerekli olan tüm değişkenler tanımlanmaktadır. Basınca ya da yoğunluğa dayalı çözüm seçeneklerinin yanı sıra, kararlı veya kararlı olmayan akış koşullarının belirtilmesi de gerekmektedir. Tek fazlı, çok fazlı akış seçenekleri ile birlikte türbülans modeline ait özellikler bu kademede ifade edilmektedir. Daha sonra fiziksel model seçilerek hem katı hem de akışkan ortama ilişkin malzeme özellikleri belirtilmektedir [37].

Modele uygulanan yük sonsuza kadar ivmelenen bir harekete sebep olmaktadır. Bunu önlemek amacıyla sınır şartlarının tanımlanması gerekmektedir. Sınır şartları bir yüzey boyunca atanabileceği gibi noktasal olarak da istenilen yönde (x,y,z) tanımlanabilmektedir. Bu koşullar simetri, asimetri, duvar şeklinde de ifade edilebilmektedir. Şekil 3.3'te malzeme ve sınır koşullarının tanımlanmasına ilişkin ekran görüntüsü verilmektedir.



Şekil 3.3. ANSYS-Fluent yazılımı ile malzeme ve sınır şartlarının tanımlanması

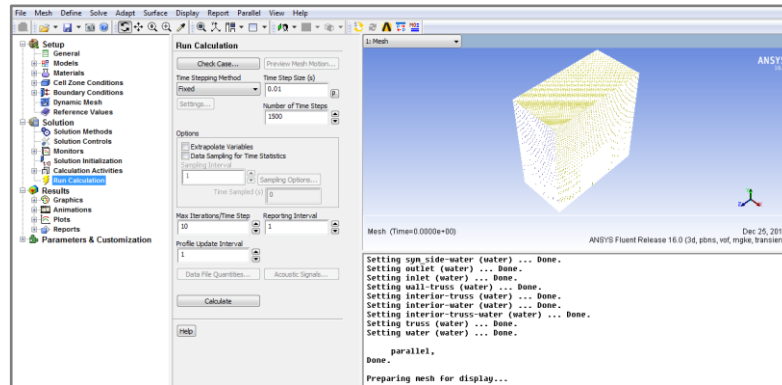
Akışkan sınır şartları genellikle basınç ve hız formundaki kısıtlardan oluşmaktadır [37]. Eğer analizler dalgalı ortamda yapılıyorsa, uygun dalga teorisi seçilerek serbest su yüzeyinin kotu ve deniz taban kotu ile dalga yüksekliği ve boyuna ilişkin veriler de girilmelidir. Eğer sadece akıntı söz konusu ise akışkan hızı tanımlanarak analiz verileri oluşturulmalıdır. Şekil 3.4'te dalga parametrelerine ilişkin veri giriş ekranı görülmektedir.



Şekil 3.4. ANSYS-Fluent yazılımı ile dalga parametrelerine ait veri girişi

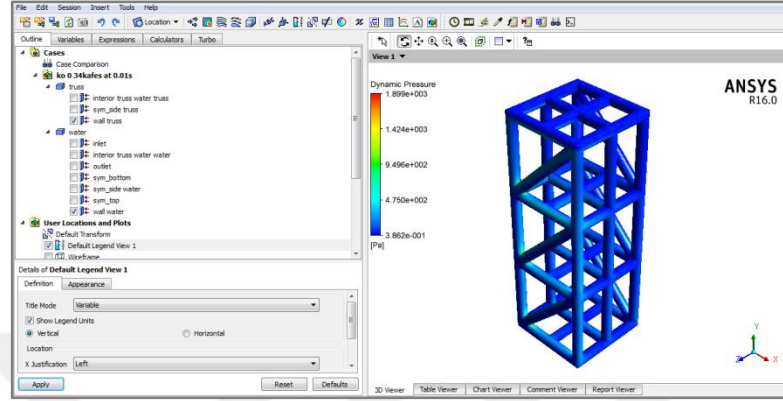
Çalışma koşulları, başlangıç koşulları ile çözücü kontrol parametreleri de yine bu kapsamda (Set up) tanımlanmaktadır.

İterasyon sayısı ve adım aralığı belirlendikten sonra analiz başlatılmaktadır. Şekil 3.5'te ANSYS-Fluent çözüm ekranı görülmektedir.



Şekil 3.5. ANSYS-Fluent çözüm ekran görüntüsü

Analizin başlatılması ile çözüm aşamasına geçilerek istenilen değerlere ilişkin sonuçlar elde edilmektedir. Yakınsama koşulları sağlandıktan sonra elde edilen sonuçların değerlendirilmesi ve yorumlanması aşamasına geçilmektedir. Şekil 3.6'da analiz sonrası sonuçların sunumuna yönelik grafik örnekleri verilmiştir.

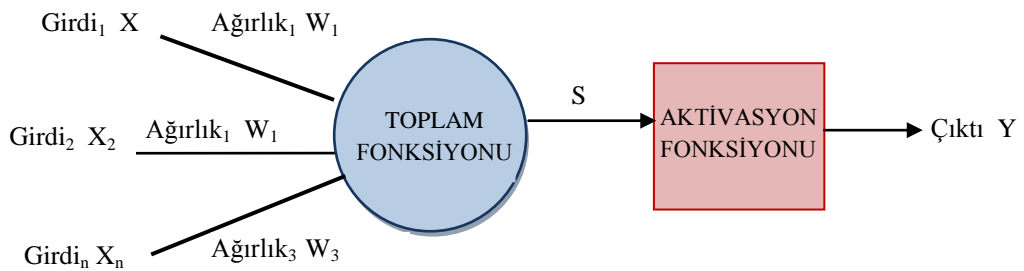


Şekil 3.6. ANSYS-CFDPost ekran görüntüsü

Tablolar halinde, kontur grafikler şeklinde istenilen sonuçlar sunulmaktadır. Animasyonlar yardımı ile grafikler görsel olarak desteklenmektedir [37].

3.2. Yapay Sinir Ağları Yöntemi (YSA)

Özellikle su kaynakları mühendisliği, kıyı-liman mühendisliği, hidroloji gibi alanlarda tercih edilen yapay sinir ağları yöntemi biyolojik sinir sisteminin yapay olarak benzerini oluşturma uğraşları sonucu ortaya çıkmıştır. Şekil 3.7'de görüldüğü gibi girdiler ($X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$), ağırlıklar ($W_1, W_2, W_3, \dots, W_n$), toplama fonksiyonu (Σ), aktivasyon fonksiyonu (f) ve çıktılar olmak üzere beş kısımdan oluşmaktadır.



Şekil 3.7. Tipik bir yapay sinir hücresi [38]

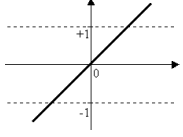
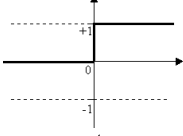
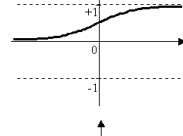
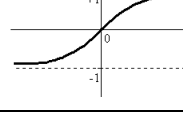
Karmaşık problemlere alternatif bir çözüm sunan ve kısaca YSA olarak isimlendirilen yöntemde kullanılan yapay sinir ağı yapay sinir hücrelerinden oluşmaktadır. Dışarıdan ya da diğer hücrelerden alınan bilgiler girdileri oluşturmaktadır. Yapay hücreye girdilerin bağlanması, bilginin önemi ve etkisini ifade eden ağırlıklar yardımı ile gerçekleşmektedir. Ağırlık ile birlikte etki de büyümektedir. Ağırlığın sıfır olması girdinin etkisiz olduğu anlamını taşımaktadır.

Toplama fonksiyonu ise hücreye gelen ağırlıklı net girdiyi hesaplamaktadır. En yaygın olarak ağırlıklı toplam fonksiyonu kullanılmaktadır.

$$S = W_1 x_1 + W_2 x_2 + \dots + W_n x_n = \sum_{i=1}^n W_i x_i \quad (3.1)$$

Aktivasyon fonksiyonu ise toplama fonksiyonu ile elde edilen net girdiyi değerlendirerek sonuca uygun çıktıyı belirlemektedir. Kullanılan farklı aktivasyon fonksiyonlarına ilişkin örnekler Tablo 3.1’de gösterilmektedir.

Tablo 3.1. Aktivasyon fonksiyonları

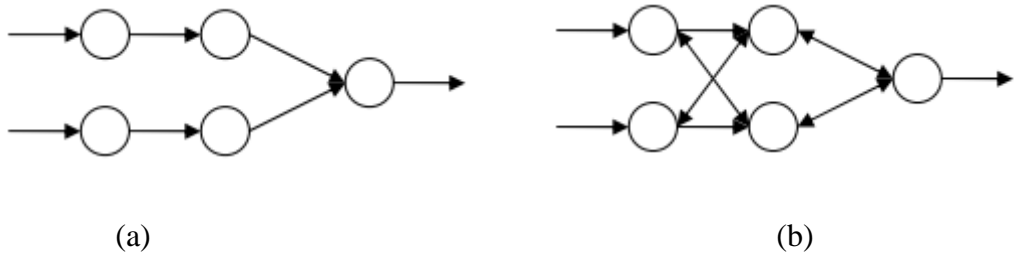
Fonksiyon	Model	Formül
Doğrusal lineer aktivasyon fonksiyonu		$f(S_i) = A \times S_i$ (A sabit bir sayı)
Adım (Step) aktivasyon fonksiyonu		$f(S_i) = \begin{cases} 1 \Rightarrow S_i > \text{Eşik} \\ 0 \Rightarrow S_i < \text{Eşik} \end{cases}$
Sigmoid aktivasyon fonksiyonu		$f(S_i) = \frac{1}{1 + e^{-S_i}}$
Tanjant hiperbolik aktivasyon fonksiyonu		$f(S_i) = \frac{e^{S_i} - e^{-S_i}}{e^{S_i} + e^{-S_i}}$

Aktivasyon fonksiyonları arasında doğrusal olmayışı, sürekli ve türevi alınabilir olması nedeni ile en yaygın olarak Sigmoid fonksiyonu kullanılmaktadır [38]. Aktivasyon fonksiyonu ile elde edilen değer yapay hücrenin çıktısıdır. Bu değer tekrar ağa dahil edilerek kullanılabilmesi gibi dış dünyaya da verilebilmektedir. Her hücrenin tek bir çıktı değeri vardır.

Doğrusal aktivasyon fonksiyonu için girdiler ve çıktılar eşittir. Girdilerin tüm değerleri için 0 ile 1 arasında çıktı üreten Logaritmik Sigmoid fonksiyonudur. Tanjant Hiperbolik fonksiyonun farkı ise çıktılarının -1 ile 1 arasında değerler almasından kaynaklanmaktadır. Seçilen aktivasyon fonksiyonu ile hücreye ait çıktı değeri belirlenmektedir.

3.2.1. YSA Ağ Yapıları

YSA'da kullanılan yapılar hücreler arası bağlantı farklılıkları dikkate alınarak belirlenmiştir. Bu farklar yöntemin performans ve karakteristiğini etkilemektedir. İleri beslemeli, geri beslemeli ve kaskat bağlantılı olmak üzere 3 grupta yapısal çeşitlilik tanımlanmaktadır. İleri ve geri beslemeli ağ yapısı Şekil 3.8'de verilmiştir. İleri beslemeli ağlarda, Şekil 3.8a'da görüldüğü gibi girdi ve çıktı düzenli katmanlar şeklinde tek yönlü ilerlemektedir. Hücreler buldukları nöronlara ya da kendinden önceki hücrelere girdi vermezler sadece sonraki katmanlar ile aralarında bağlantı bulunmaktadır. Bu ağ yapısında bağlantılar arasında döngü oluşmadığından genellikle çıktıya hızlı bir şekilde ulaşılmaktadır.



Şekil 3.8. (a) İleri beslemeli ağ yapısı, (b) Geri beslemeli ağ yapısı

Şekil 3.8b'de verildiği gibi geri beslemeli ağ yapısında hücreler kendinden önceki hücrelere ya da kendi katmanındaki hücrelere girdi verebilmektedirler. Bu ağ yapısı döngü içermektedir ve özellikle önceden tahmin uygulamaları için tercih

edilmektedirler. Kaskat bağlantılı ağ yapısında ise yapay sinir hücresi, sadece kendisinden önceki katmanlardaki hücrelerden girdi alabilmektedir.

3.2.2. YSA Öğrenme Algoritmaları

YSA'da verilen girdilere karşılık uygun çıktıların elde edilmesi, bağlantıların ağırlık değerlerinin belirlenmesine yani ağın eğitilmesine bağlıdır. İstenen çıktı değerine ulaşıncaya kadar tekrarlanan döngü ve devir sayısı ağın eğitilmesi amacı ile kullanılan öğrenme algoritmaları ile ilişkilidir. Yaygın olarak uygulanan öğrenme algoritmaları danışmanlı, danışmansız ve takviyeli öğrenme olmak üzere üçe ayrılır [39].

Danışmanlı öğrenme algoritmasında, YSA'ya girdi/çıkıtı seti verilerek, üretilen çıktılar ile hedef çıktılar arasındaki hata minimize edilmeye çalışılmaktadır. Danışman kontrolünde gerçekleştirilen bu süreç doğru çıktı değerleri elde edilene kadar devam ettirilmektedir. Danışmansız öğrenme algoritmasında ise ağa sadece girdiler tanımlanır, hedef çıktılar verilmez. Özellikle sınıflandırma problemlerinde kullanılan yöntemde parametreler arasındaki ilişkinin danışmansız olarak ağın kendi kendine öğrenmesi beklenmektedir. Takviyeli öğrenme, danışmanlı öğrenmeye benzemektedir ancak bu algortmada YSA'ya hedef çıktılar verilmez. Üretilen çıktı ve hedef çıktı arasındaki farkı ifade eden bir skor veya derece bildirilir.

3.2.3. YSA Öğrenme Kuralları

YSA için gerekli karakteristik özellik, hangi algoritma kullanılırsa kullanılsın bazı kurallara bağlı gerçekleştirilmektedir. Öğrenme kuralları, ağırlıkların tanımlanan örneğe nasıl ayarlanacağını belirlemek amacı ile kullanılmaktadır. Hebb, Hopfield, Delta, Kohonen gibi çeşitli öğrenme kuralları bulunmaktadır.

Hebb öğrenme kuralı, öğrenme kurallarının temelini oluşturmaktadır. Hebb kuralına göre birbirinden bilgi alan ve aktif olan hücrelerin arasındaki bağlantının ağırlık değeri arttırılmalıdır. Hopfield öğrenme kuralında, bağlantıların ağırlık değerlerinin kuvvetlendirilmesi ya da zayıflatılması 0 ile 1 arasında atanan sabit öğrenme katsayısı ile gerçekleştirilmektedir. Hopfield kuralının geliştirilmesi ile elde edilen Delta öğrenme kuralı üretilen ve hedef çıktı arasındaki farkın azaltılması için bağlantı ağırlık değerlerinin sürekli değiştirilmesi gerektiği yaklaşımına

dayanmaktadır. Kohonen öğrenme kuralına göre ise hücreler öğrenmek için yarışır ve kazanan ile komşuları sayılan hücrelerin bağlantı ağırlık değerleri güncellenir.

3.2.4. YSA Ağ Modeli ve Öğrenme Algoritmasının Belirlenmesi

YSA modeli hücrelerin topolojisi, toplama ve aktivasyon fonksiyonları, öğrenme algoritmaları ve öğrenme kuralına bağlı olarak oluşmaktadır. Probleme uygun ağ modelini belirlemek çok büyük önem taşımaktadır. YSA’da karmaşayı azaltmak amacı ile fazla işlemci eleman sayısı tercih edilmemektedir. İşlemci eleman sayısının sadeleştirilmesi de ağ modelinin değiştirilmesi ile gerçekleştirilmektedir. Tablo 3.2’de kullanım amacı ve bu alanda başarılı sonuç veren ağ modelleri verilmiştir.

Tablo 3.2. Ağ modeli ve kullanım alanları [40]

Kullanım amacı	Ağ modeli	Kullanım alanı
Tahmin	Çok katmanlı sinir ağları	Girdilere uygun bir çıktı değerinin tahmin edilmesi
Sınıflandırma	Lineer vektör nicelmesi	
	Adaptif rezonans ağı	Girdi sınıflarının tespit edilmesi
	Counterpropagation ağı	
	Olasılıklı sinir ağları	
Veri ilişkilendirme	Hopfield ağları	Hatalı girdilerin belirlenmesi ve eksik verilerin tamamlanması
	Boltzmann makinesi	
	Çift yönlü çağrışimli bellek (Bidirectional associative memory)	

YSA yapısının belirlenmesi aşamasında öğrenme algoritması da büyük önem taşımaktadır. Öğrenme algoritmasına bağlı mimari de zorunlu olarak atanmaktadır. Öğrenme algoritması uygulama başarısını belirlemektedir. Çalışma alanına göre

geliştirilen çok sayıda algoritma bulunmaktadır. Uygulama yöntemine yönelik en başarılı sonuç elde edilen öğrenme algoritması Tablo 3.3’ te verilmektedir.

Tablo 3.3. Öğrenme algoritmaları ve kullanım alanları [40]

Kullanım amacı	YSA
Öngörü oluşturma	Geri yayılım
	Delta bar delta
	Geliştirilmiş delta bar delta
	Yönlendirilmiş rastsal tarama
	Geri yayılım içinde öz düzenleyici haritalar Yüksek mertebeli YSA
Sınıflandırma	Doğrusal vektör parçalama modeli
	Counterpropagation
	Olasılıklı YSA
Veri ilişkilendirme	Hopfield ağları
	Boltzmann makinesi
	Çift yönlü çağrışimli bellek
	Spation-temporal pattern recognition
Veri Kavramlaştırma	Adaptif rezonans ağı
	Öz düzenleyici

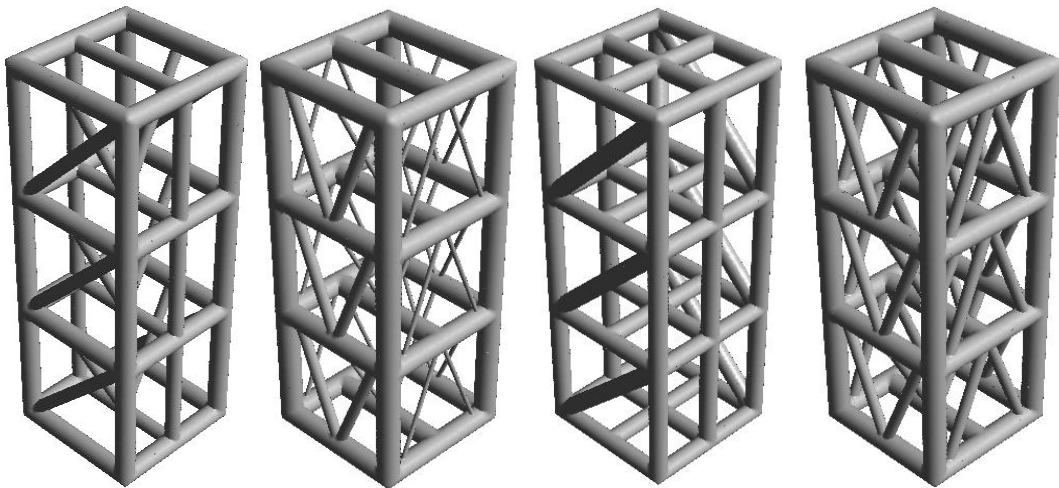
Ağ modeli ve öğrenme algoritmasının yanı sıra tasarım sürecinde ağ katman sayısı da önem taşımaktadır. Ağ katman sayısı değiştirilerek yapılan analizler neticesinde en iyi sonuçların üretilmesi amaçlanmaktadır.

3.3. ANSYS-Fluent ile Dalga Etkisindeki Uzay Taşıyıcı Sistem Yapı Modellerinin Oluşturulması

3.3.1. Geometrik Tasarım ve Yapısal Özelliklerin Tayini

Deniz yapılarına etkiyen hidrodinamik kuvvetlerin hesap aşamasında oluşturulan modeller; KOS ve KOD uzay taşıyıcı sistem yapı olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Uzay taşıyıcı sistem yapılar; 6.0mx6.0m taban alanı üzerine oturan 6.0m yüksekliğinde üç sektörden oluşan 5 model ve tabanı 3.0mx3.0m boyutlarında 3.0m yüksekliğindeki 3 sektörden oluşan 2 modelden meydana gelmektedir. Her model farklı kesitlere sahip çelik boru profillerden oluşmaktadır. Yapı malzemesi olarak kullanılan çeliğin yoğunluğu 78.50 KN/m^3 , Poisson oranı 0.3, Young modülü ise $21 \times 10^7 \text{ KN/m}^2$ olarak belirlenmiştir. Uzay taşıyıcı sistemi meydana getiren düşey elemanlar; dikme, yatay elemanlar; enleme, ana taşıyıcı sisteme açılı bağlanan ikincil elemanlar ise diyagonal olarak isimlendirilmiştir. Tasarım geometrisi açısından oluşturulan uzay taşıyıcı sistem modeller 5'e ayrılırken, kullanılan profillerin aynı geometri içerisinde değiştirilmesi ile toplamda 7 farklı model elde edilmiştir.

Üç sektörlü 5 model (KOS) için katılık oranı e , her sektörde sabit ve eşit olmak koşulu ile 0.25, 0.30, 0.32, 0.34 ve 0.36 olarak belirlenmiştir. Şekil 3.9'da KOS yapı grubuna ait modeller verilmiştir.



Şekil 3.9. KOS yapı modelleri

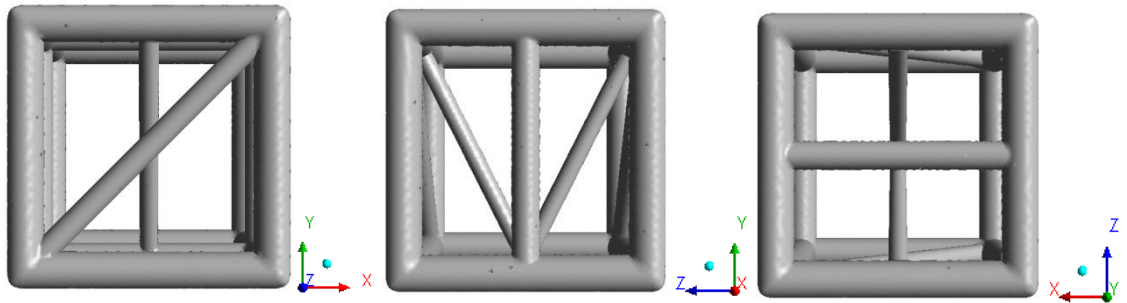
KOD olarak adlandırılan 3 sektörlü 2 uzay taşıyıcı sistem modelinde ise katılık oranı değişkendir. Bu modellerde yapı topolojik özellikleri değiştirilmeden profil boyutları değiştirilerek katılık oranındaki farklılık sağlanmıştır. Şekil 3.10'da KOD yapı grubuna ait modeller görülmektedir.



Şekil 3.10. KOD yapı modelleri

Deniz tabanındaki sektörden başlamak üzere e değerleri sırası ile 0.27, 0.19, 0.24, ve 0.53, 0.34, 0.32, olarak dikkate alınmıştır.

KOS-1: Katılık oranı e, değeri 0.25 olan uzay taşıyıcı sistem modeli KOS-1 olarak isimlendirilmiştir. Aynı topolojiye sahip 3 sektörden oluşan uzay taşıyıcı sistemin tek sektörüne ilişkin görünüş detayları Şekil 3.11'de verilmiştir.



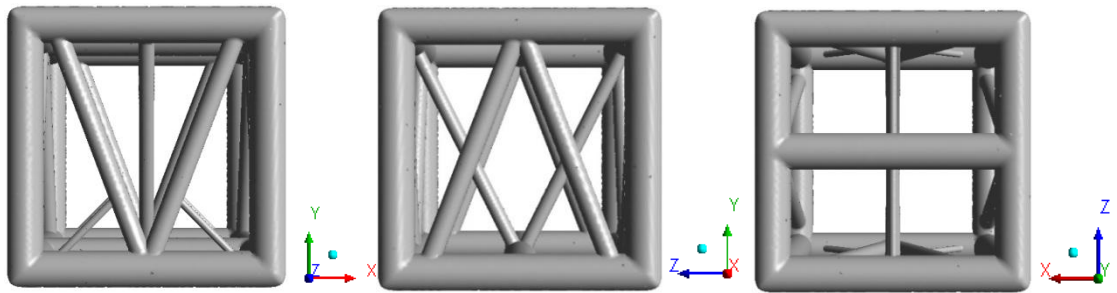
Şekil 3.11. Model KOS-1

Model KOS-1'in tasarımında kullanılan yapı elemanlarına ait boru profil adet ve boyutları Tablo 3.4'te verilmektedir. Tek sektör için malzemeli hacim 54.36m^3 olarak hesaplanmıştır.

Tablo 3.4. Model KOS-1'in tasarımında kullanılan profil adet ve boyutları

Sektör	Eleman	Adet	Çap [m]	Uzunluk [m]
1, 2, 3	Dikme	2	1.00	6.00
	Dikme	5	1.00	6.00
	Enleme	2	0.90	6.00
	Enleme	8	0.45	6.00
	Diyagonal	1	0.90	8.48
	Diyagonal	1	0.20	8.48
	Diyagonal	2	0.20	7.20

KOS-2: Katılık oranı e , değeri 0.30 olan uzay taşıyıcı sistem yapı modeli KOS-2 olarak tanımlanmaktadır. Şekil 3.12'de tek sektöre ait görünüşleri verilen uzay taşıyıcı sistemin malzemeli hacmi 65.67m^3 olarak belirlenmiştir.



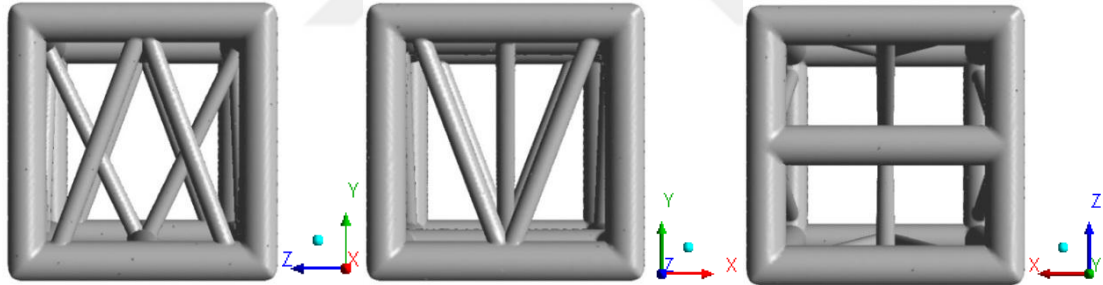
Şekil 3.12. Model KOS-2

Boru profiller kullanılarak tasarımı yapılan KOS-2'ye ait yapı elemanlarının adet ve boyutları Tablo 3.5'te verilmektedir.

Tablo 3.5. Model KOS-2'nin tasarımında kullanılan profil adet ve boyutları

Eleman	Adet	Çap [m]	Uzunluk [m]
Dikme	4	0.90	6.00
Enleme	10	0.90	6.00
Enleme	2	0.20	3.00
Diyagonal	8	0.50	6.40
Diyagonal	2	0.40	6.70
Diyagonal	4	0.20	2.40

KOS-3: Katılık oranı değeri 0.32 olan uzay taşıyıcı sistem yapı modeli ise KOS-3 olarak adlandırılmıştır. KOS-3 modeline ait tek sektör görünüşleri Şekil 3.13'te verilmiştir.



Şekil 3.13. Model KOS-3

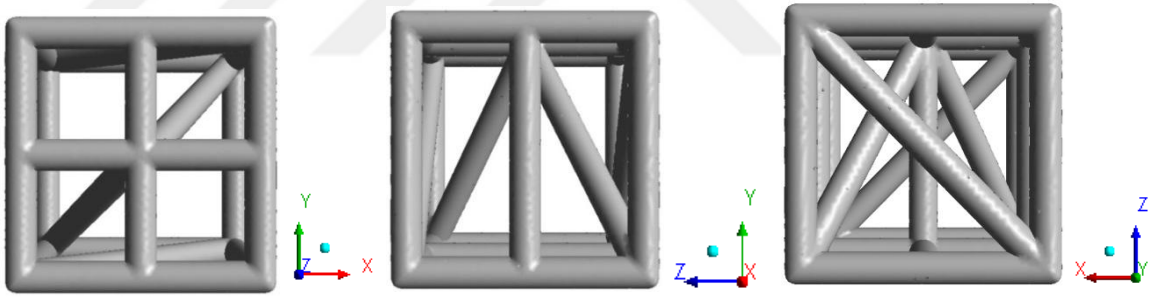
Uzay taşıyıcı sistem modelinin tek sektörüne ait malzemeli hacmi 70.11m^3 olarak hesaplanmıştır.

KOS-3 modeli boru profiller kullanılarak tasarlanmıştır. Modeli oluşturan profillere ait bilgiler Tablo 3.6'da verilmektedir.

Tablo 3.6. Model KOS-3'ün tasarımında kullanılan profil adet ve boyutları

Eleman	Adet	Çap [m]	Uzunluk [m]
Dikme	4	1.00	6.00
Enleme	10	1.00	6.00
Diyagonal	2	0.50	6.40
Diyagonal	6	0.20	6.40
Diyagonal	2	0.20	6.70

KOS-4: Katılık oranı e , değeri 0.34 olan uzay taşıyıcı sistem yapı modeli KOS-4 olarak isimlendirilmiştir. Malzemeli hacmi 73.07m³ olarak hesaplanan uzay taşıyıcı sistem KOS-4 'ün tek sektörüne ilişkin görüşleri Şekil 3.14'te gösterilmiştir. KOS-4'ün profil bilgileri ise Tablo 3.7'de verilmektedir.



Şekil 3.14. Model KOS-4

Tablo 3.7. Model KOS-4'ün tasarımında kullanılan profil adet ve boyutları

Eleman	Adet	Çap [m]	Uzunluk [m]
Dikme	7	0.80	6.00
Enleme	12	0.80	6.00
Diyagonal	2	0.80	8.48
Diyagonal	2	0.80	7.20

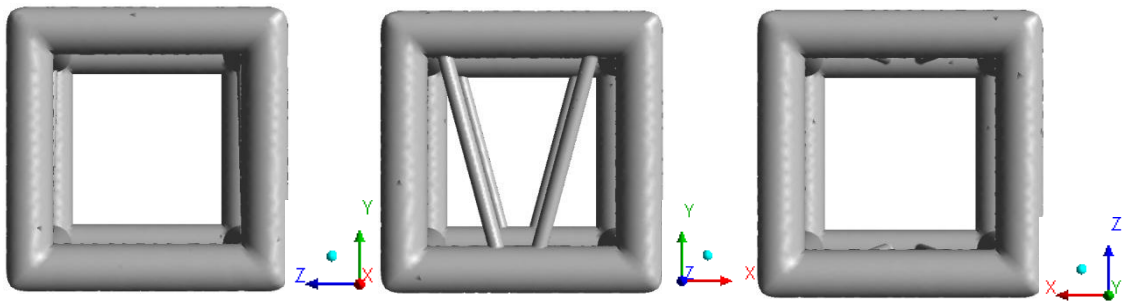
KOS-5: Katılık oranı değeri 0.36 olan uzay taşıyıcı sistem yapı modeli KOS-5 olarak isimlendirilmiştir. Malzemeli hacmi 78.76m^3 olarak hesaplanan uzay taşıyıcı sistem geometrisi, KOS-3 ile aynı özelliklere sahiptir. Ancak kullanılan profil kesitleri Tablo 3.8’de görüldüğü gibi farklıdır.

Tablo 3.8. Model KOS-5’in tasarımında kullanılan profil adet ve boyutları

Eleman	Adet	Çap [m]	Uzunluk [m]
Dikme	4	1.00	6.00
Enleme	10	1.00	6.00
Diyagonal	8	0.50	6.40
Diyagonal	2	0.50	6.70

KOD-1 ve KOD-2: Katılık oranı e, değerleri 0.27, 0.24, 0.19 olacak şekilde 3 sektörden meydana gelen uzay taşıyıcı sistem; KOD-1 olarak adlandırılmıştır.

Malzemeli hacmi 7.18 m^3 , 6.37 m^3 , 5.11m^3 olarak hesaplanan KOD-1 deniz tabanına en yakın tek sektörüne ilişkin görünüşleri Şekil 3.15’te verilmiştir.



Şekil 3.15. Model KOD-1 ve KOD-2

Boru profiller kullanılarak tasarımı yapılan uzay taşıyıcı sistem yapı modeli KOD-1’in profil bilgileri Tablo 3.9’da verilmektedir.

Tablo 3.9. Model KOD-1'in tasarımında kullanılan profil adet ve boyutları

Eleman	Adet			Çap [m]			Uzunluk [m]
	I.S.	II.S	III.S	I.S.	II.S	III.S	
Dikme	4	4	4	0.60	0.60	0.50	3.00
Enleme	4	4	4	0.60	0.50	0.50	3.00
Diyagonal	4	4	4	0.20	0.25	0.20	3.20

Tablo 3.9'da birinci sektör I.S., ikinci sektör II.S. ve üçüncü sektör III.S. ile gösterilmiştir. Geometrik özellikleri Şekil 3.15'te verilen KOD-1 ile aynı olan KOD-2 yapı modeli için katılık oranı e değerleri 0.53, 0.34, 0.32 olarak belirlenmiştir.

Katılık oranı değerlerindeki farklılık kullanılan profil boyutlarından kaynaklanmaktadır. KOD-2 yapı modeline ilişkin profil boyutları Tablo 3.10'da verilmektedir

Tablo 3.10. Model KOD-2'nin tasarımında kullanılan profil adet ve boyutları

Eleman	Adet			Çap [m]			Uzunluk [m]
	I.S.	II.S	III.S	I.S.	II.S	III.S	
Dikme	4	4	4	0.90	0.70	0.50	3.00
Enleme	4	4	4	0.76	0.60	0.50	3.00
Diyagonal	4	4	4	0.70	0.60	0.25	3.20

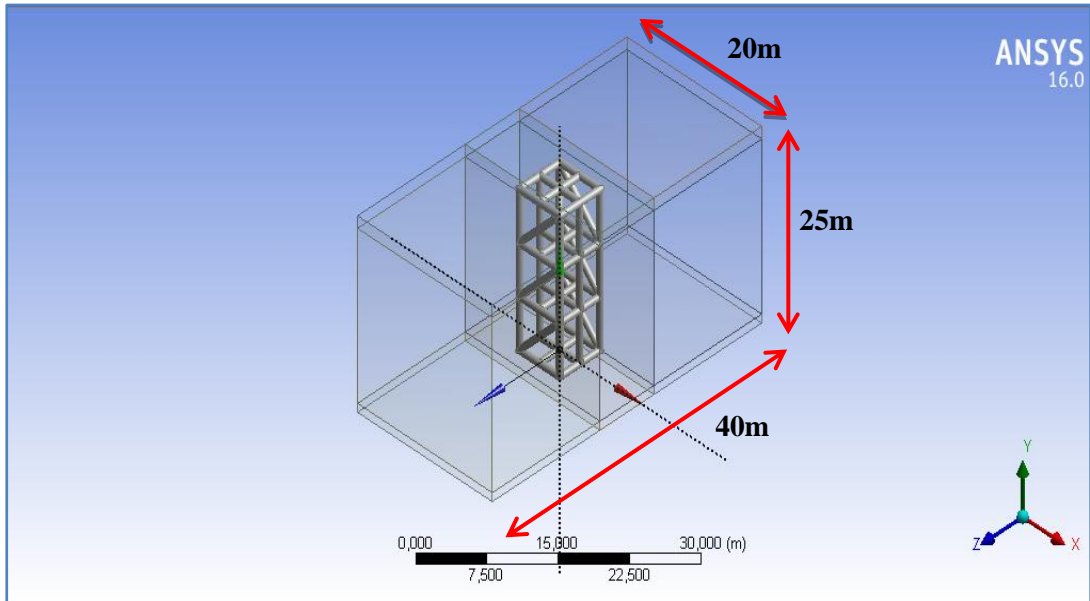
Uzay taşıyıcı sisteme ait malzemeli hacim değerleri ise 14.32 m³, 9.25 m³, 8.90m³ olarak hesaplanmıştır.

3.3.2. Akışkan Ortam Koşullarının ANSYS-Fluent ile Tanımlanması

Deniz ortamı modeli 2 farklı koşul dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir. D_1 olarak adlandırılan 1.koşulda dalga yüksekliği H , 1.40m, dalga periyodu T , 12.00sn ve derinlik d , 18.00m kabul edilmiştir. Model KOS-1-5 deniz ortamı için belirlenen D_1 parametreleri altında incelenmiştir. Aynı e , değerlerine sahip üç sektörlü uzay taşıyıcı sistem yapılarına etkiyen hidrodinamik kuvvetler belirlenmiştir.

2.koşul parametreleri D_2 için H , 1.00m, T , 5.00sn ve d , 9.00m olarak belirlenmiştir. KOD-1 ve KOD-2 modelleri üzerinde oluşan hidrodinamik kuvvet değerleri D_2 parametreleri dikkate alınarak hesaplanmıştır.

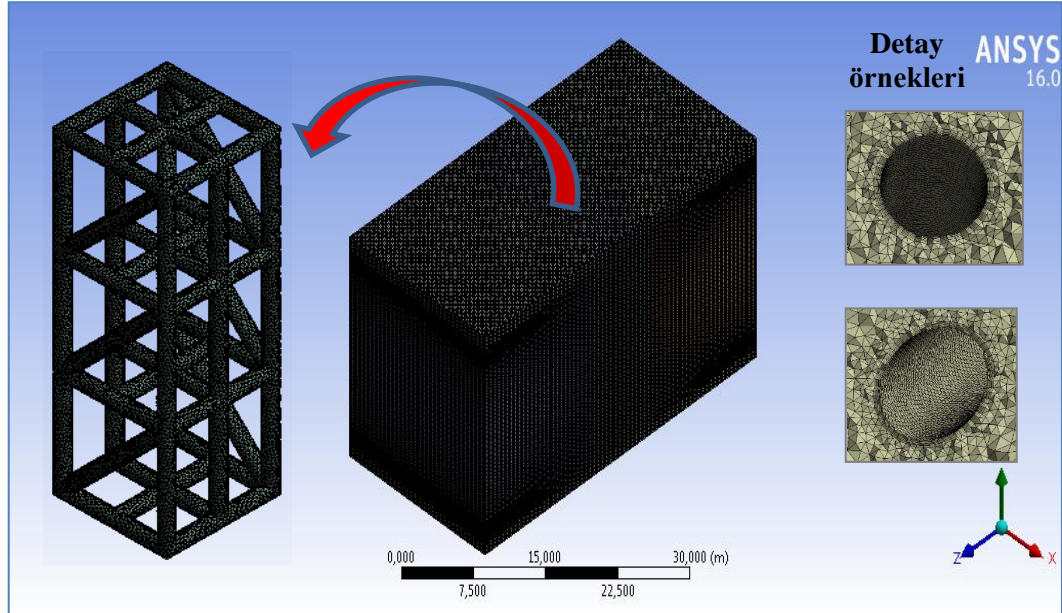
Akışkan yapı etkileşimini simüle etmek amacı ile geliştirilmiş yazılımlardan biri olan ANSYS-Fluent kullanılarak deniz ortamı için belirlenen parametreler ve akışkan özellikleri tanımlanmıştır. Şekil 3.16'da görüldüğü gibi ANSYS-Workbench-Design Modeler ile daha önce özellikleri verilen uzay taşıyıcı sisteme sahip yapılar oluşturulmuştur. Yapı etrafındaki akışkan ortam dikdörtgenler prizması ile sınırlandırılmıştır. Prizmanın boyutları yapı etrafındaki akış formunu bozmayacak şekilde seçilmiştir.



Şekil 3.16. Akışkan ortam geometrisi

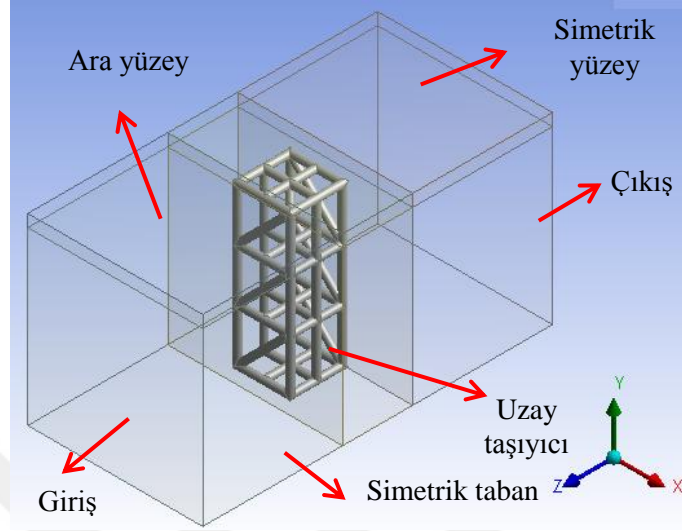
Çözüm üzerinde büyük etkiye sahip olan ağ yapısı oluşturulurken en az hücre sayısı ile en doğru sonuca ulaşmak hedeflenmiştir. Kritik bölgelerdeki hücre kalitesini arttırmak amacı ile akışkan ortam geometrisi hacimsel olarak bölgelere ayrılmıştır. Seçilen çizgisel elemanlar 'Edge Sizing' komutu ile 0.02 ve 0.01m uzunluğunda elemanlara ayrılmıştır. Hücre ağı, yapı yüzeyinde 'Face Sizing' komutu kullanılarak boyutu 0.005m olacak şekilde sıklaştırılmıştır. Yapıyı kapsayan hacimsel bölge ağ yapısı 'Body Sizing' komutu ile 0.01m olarak atanmıştır. Su yüzeyi ile dalga tepesi ve çukuru arasındaki bölgede de yine 'Body Sizing' komutu kullanılarak sıklaştırılmış ağ yapısı kullanılmıştır. Yapı yüzeyi ile etrafındaki bölge arasındaki farklı boyutlu hücre geçişi 'inflation' komutu ile kademelendirilerek daha kaliteli ağ yapısı elde edilmiştir.

Hücre ağ yapısının en uygun şekilde boyutlandırılması amacı ile güvenilirlik kontrolleri yapılmıştır. Analizler, sonucu değiştirmeyecek hücre sayısı elde edilene kadar tekrar edilmiştir. Hücre ağ yapısı oluşturulurken en büyük kenarın en küçük kenarına oranını veren 'aspect ratio' değeri 5'in altında, mevcut hücre yapısı ile optimum hücre yapısı arasındaki oranı veren 'skewness' ise 0.50'nin altında kalacak şekilde boyutlandırma yapılmıştır. Şekil 3.17'de hücre ağ yapısı verilmiştir.



Şekil 3.17. Akışkan ortam hücre ağı yapısı

Hücre ağı oluşturulduktan sonra ‘Create Named Selection’ komutu ile seçilen yüzeyler; giriş (İnlet), çıkış (outlet), simetri yüzeyi (symmetry), duvar (wall) ve ara yüzey (interface) olarak isimlendirilmiştir. Yüzey sınıflandırmaları Şekil 3.18’de verilmiştir.



Şekil 3.18. Akışkan ortam sınır şartları

Akışkan model; hava ve deniz suyu olmak üzere iki farklı fazdan oluşmaktadır. Simülasyon aşamasında kullanılan bu fazlara ilişkin önemli malzeme özellikleri Tablo 3.11’de verilmiştir.

Tablo 3.11. Malzeme özellikleri

Faz	Yoğunluk [kg/m^3]	Dinamik viskozite [kg/ms]
Hava	1.225	$1.789 \cdot 10^{-5}$
Deniz suyu	1025	$1.500 \cdot 10^{-3}$

Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) kapsamında yaygın olarak kullanılan k- ϵ türbülans modeli ile çözüm yapılmıştır. Bu modelde ‘k’ türbülansın kinetik enerjisini, ‘ ϵ ’ ise türbülansın yayılımını ifade etmektedir. Yapının varlığından etkilenen türbülans yapısı ‘Non-Equilibrium Wall Function’ modeli ile çözüme yansıtılmıştır.

Dalga modeli serbest yüzey akışı içerdiği için ‘Volume of Fluid [VOF]’ olarak adlandırılan model ile çok fazlı akış tanımlanmıştır. Serbest yüzey; hava ve deniz arasındaki yüzeydir. VOF modeli Euler-Euler yaklaşımı ile iki ya da daha fazla birbirine karışmayan akışkana ait akış denklemlerini hacimsel ortalama ile çözerek incelemektedir. Denklemlerin çözümü için implicit yöntem tercih edilmiştir.

Şekil 3.18’de tanımlanan tüm bölgelere ait sınır şartları Tablo 3.12’de verilmektedir.

Tablo 3.12. Akışkan ortam sınır şartları

Yüzey	Sınır şartı
Giriş (Inlet)	Velocity inlet (Açık kanal dalgası sınır koşulu)
Çıkış (Outlet)	Pressure outlet (Açık kanal akımı sınır koşulu)
Simetrik taban	Symmetry
Simetrik yüzey	Symmetry
Kafes ya da gözenekli yapı	wall
Ara yüzey	interior

“Açık Kanal Dalgası” ve “Açık Kanal Akımı” seçenekleri Fluent için dalga modeli oluşturmak amacı ile tanımlanmış özel sınır şartlardır. “Açık Kanal Dalgası” koşulu gelen dalganın ilerleyişini simüle etmek amacı ile kullanılmaktadır. Koşul tanımlandıktan sonra dalga parametreleri girilerek bu verilere uygun dalga teorisi seçilmiştir. “Açık Kanal Akımı” ise nehir, baraj, okyanus dalgası gibi modellerde kullanılan “VOF” formülasyonları ile çözülen iki faz arasındaki serbest yüzey şartını tanımlamak için kullanılmıştır.

Tez çalışmasında kullanılan iki farklı dalgaya ait parametrelerin tanımlamaları “Açık Kanal Dalgası” seçeneği ile “Giriş” yüzeyi için Tablo 3.13’te görüldüğü gibi yapılmıştır.

Tablo 3.13. Açık kanal dalgası sınır şartları

Veriler	D ₁	D ₂
Çok fazlı akım verileri		
Dalga teorisi	2.Mertebe Stokes	2.Mertebe Stokes
Dalga yüksekliği [m]	1.40	1.00
Dalga boyu [m]	150.00	35.00
Derinlik [m]	18.00	9.00
Türbülanslı akım verileri		
Yoğunluk	%1	%1
Ölçek uzunluğu	0.1	0.1

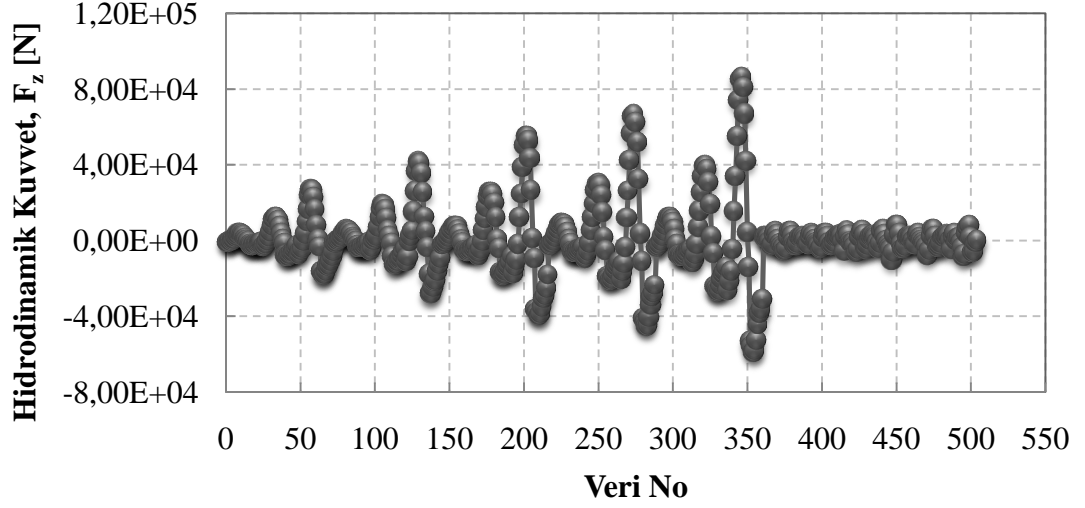
Çözüm aşamasında, iterasyon boyunca seçilen adım sayısı 1200, boyutu ise 0.01 olarak belirlenmiştir.

Uzay kafes taşıyıcı sistemler üzerinde yapılan analizler sonucunda yapıya etkiyen hidrodinamik kuvvet değerleri elde edilmiştir.

3.4. Hidrodinamik Kuvvete ilişkin Veri Setinin YSA ile Eğitilmesi

KOS ve KOD yapı modelleri ve D₁, D₂ deniz ortam koşulu altında elde edilen hidrodinamik kuvvetler YSA’nın eğitim veri setini oluşturmaktadır.

Hidrodinamik kuvvet çıktısını oluşturan girdiler 6 adettir. Bunlar; X_1 ; (H/gT^2) , X_2 ; (d/gT^2) , X_3 ; (z/d) , X_4 ; (t/T) , X_5 ; e , X_6 ; A olarak belirlenmiştir. YSA'nın çıktı hatalarını minimize ederek girdiler ve çıktılar arasındaki ilişkiyi öğrenmesi amacıyla üretilen veri adedi 504 olup Şekil 3.19'da gösterilmiştir.



Şekil 3.19. YSA eğitim veri seti

Tablo 3.14'te elde edilen hidrodinamik kuvvet verilerinin minimum değeri Y_{\min} , maksimum değeri Y_{\max} , ortalaması \bar{Y} , standart sapması S_x , çarpıklık katsayısı C_{sx} verilmiştir.

Tablo 3.14. Hidrodinamik kuvvet değerlerinin istatistik parametreleri

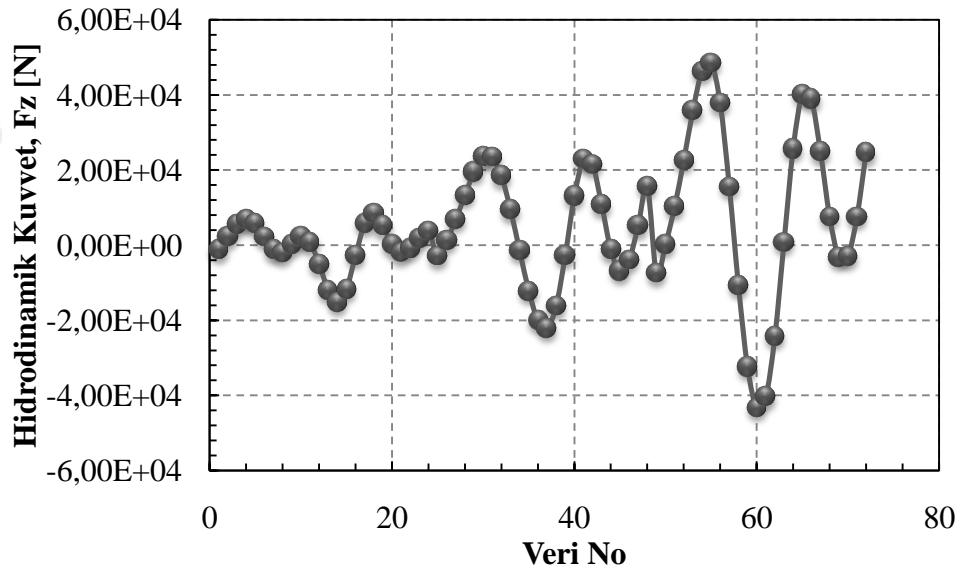
Y_{\min} [N]	Y_{\max} [N]	\bar{Y} [N]	S_x [N]	C_{sx} [N]
-58851	86320	365	18593,05	0,976217

Çalışma kapsamında YSA mimarisinde tek bir gizli katman kullanılmıştır. Gizli katmandaki nöron sayısının seçiminde deneme yanılma yönteminden yararlanılmıştır. Bu amaçla 8 ile 16 arasındaki nöron sayıları için 4 farklı YSA modeli hazırlanmıştır. En büyük korelasyon katsayısı (R^2) ve en küçük hata kareleri toplamı (SSE), en küçük ortalama mutlak yüzde hata (MAPE) ve ortalama hata

karelerinin karekökünün (RMSE) en küçük değerini veren gizli katman nöron sayısı seçilmiştir. YSA modeli için MATLAB yazılımı kullanılmıştır.

Çalışma kapsamında Tanjant hiperbolik aktivasyon fonksiyonu ve geri yayımlı öğrenme algoritmasından yararlanılmıştır. Sistem toplam hatasını minimize etmek için kullanılan birçok algoritmadan biri olan ve nispeten sonuca hızlı bir yakınsama sağlayan Levenberg-Marquardt algoritması kullanılmıştır [42].

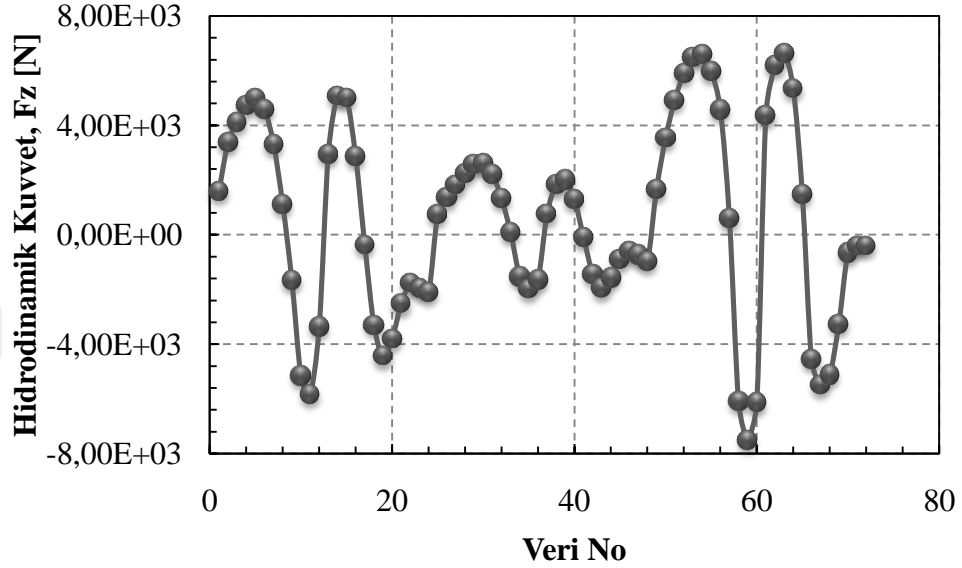
Modelin performans değerlendirmesi 2 farklı test modeli kullanılarak gerçekleştirilmiştir. T_1 olarak adlandırılan model 0.34 sabit katılık oranı kullanılarak 3 sektörlü hazırlanmıştır. Topoloji olarak KOS-4 modeli ile aynı özelliklere sahiptir. Ancak analizlerin gerçekleştirildiği deniz ortam koşulları farklıdır. Dalga yüksekliği H ; 1.30m, derinlik d ; 18.00m ve periyot T ; 8.00sn olarak belirlenmiştir. Şekil 3.20'de T_1 modeline ilişkin veri seti verilmiştir.



Şekil 3.20. T_1 veri seti

İkinci test modeli T_2 ise geometrik olarak KOD-1 ile benzerlik göstermektedir. Profil yerleşimi aynı olmakla birlikte yapı 4mx4mx12m olacak şekilde 3 sektörlü dizayn edilmiştir. Katılık oranı e , sektörler göre değişiklik göstermektedir. Deniz tabanından su yüzeyine doğru sırası ile 0.28, 0.19, 0.24 olarak

tasarım yapılmıştır. Deniz ortam koşulları diğer modellerden farklıdır. Dalga yüksekliği H; 1.20m, derinlik d; 12.00m ve periyot T; 7.00sn olarak belirlenmiştir. T₁ ve T₂ modellerinin bulunduğu deniz ortamı koşulları Stokes 2. Mertebe dalga teorisinin kapsamı içerisinde yer almaktadır. Şekil 3.21’de T₂ modeline ilişkin veri seti gösterilmiştir.



Şekil 3.21. T₂ veri seti

Modelin performans ölçütü olarak kullanılan korelasyon katsayısı R²

$$R^2 = \left[\frac{\sum_{i=1}^N (F_{z(g)}(t) - \bar{F}_{z(g)})(F_{z(h)}(t) - \bar{F}_{z(h)})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (F_{z(g)}(t) - \bar{F}_{z(g)})^2 (F_{z(h)}(t) - \bar{F}_{z(h)})^2}} \right]^2 \quad (3.2)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Ortalama mutlak yüzde hata MAPE

$$MAPE = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^N \left| \frac{F_{z(g)} - F_{z(i)}}{F_{z(g)}} \right| \quad (3.3)$$

bağıntısı ile hesaplanmaktadır.

Ortalama hata karelerinin karekökü RMSE

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (F_{z(g)} - F_{z(i)})^2} \quad (3.4)$$

şeklindedir. YSA'nın toplam hatası ise Denklem (3.5) ile belirlenmektedir.

$$E(W) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N e_i^2(Q) \quad (3.5)$$

Burada $F_{z(g)}$, ANSYS-Fluent ile belirlenen hidrodinamik kuvvet değerlerini, $F_{z(h)}$, tahmin edilen hidrodinamik kuvvet değerlerini, E , toplam sistem hatasını, Q ağ ağırlıklarını, e_i , ağ çıktısı ile beklenen değer arasındaki fark fonksiyonunu göstermektedir.

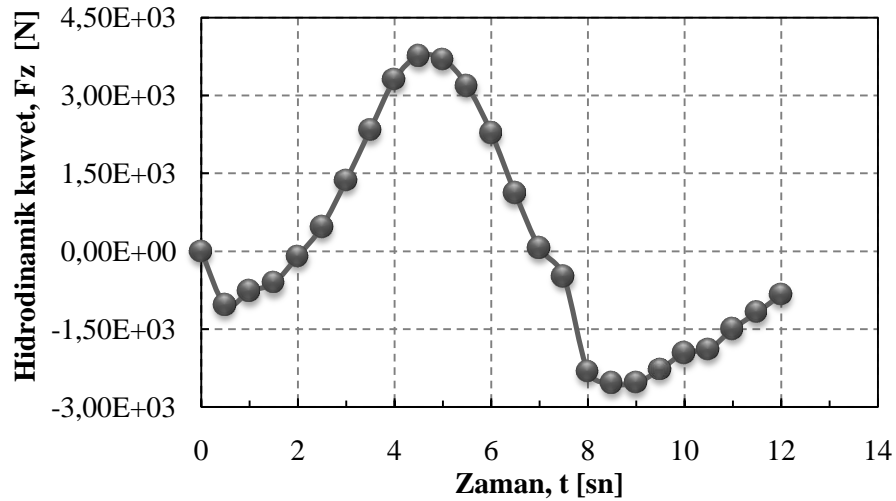
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

4.1. KOS Modelleme Yaklaşımına İlişkin Analiz Sonuçları

Katılık oranı yapı yüksekliği boyunca sabit kabul edilen modellerin deniz tabanına sabitlendiği ve tamamının su altında kaldığı kabul edilerek ANSYS-Fluent programı ile analizleri gerçekleştirilmiştir. Modeli oluşturan her bir eleman üzerine etkiyen sürüklenme ve atalet kuvvetleri toplamı, hidrodinamik kuvvet F_z olarak değerlendirilmiştir. Derinlik ve zamana bağlı elde edilen hidrodinamik kuvvet değerleri her yapı modeli için ayrı ayrı incelenmiştir.

4.1.1. Model KOS-1 İçin Hidrodinamik Kuvvet Değerleri

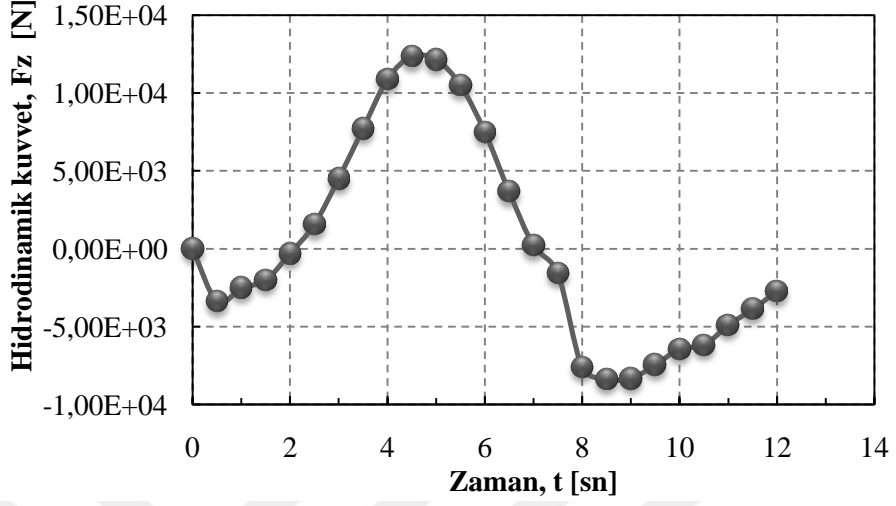
Malzemeli hacim oranı %25 olarak alınan KOS-1 modeli deniz tabanından başlamak üzere su yüzeyine doğru 1.sektör, 2.sektör ve 3.sektör olarak isimlendirilmiştir. Aynı isimlendirme diğer KOS modelleri için de geçerlidir. Su tabanı referans alındığında 1. sektör orta noktası +3m kotunda, 2.sektör orta noktası +9m kotunda ve 3.sektör orta noktası ise 15m kotunda bulunmaktadır. Şekil 4.1’de 1.sektör üzerinde oluşan hidrodinamik kuvvet değerleri verilmektedir.



Şekil 4.1. Model KOS-1-1.sektör için hidrodinamik kuvvetin zamanla değişimi

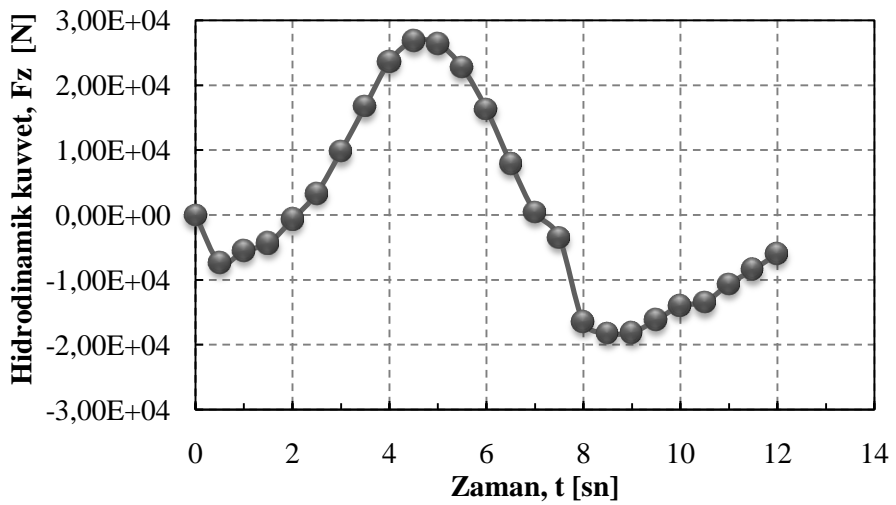
Şekil 4.1’de görüldüğü gibi periyot boyunca yapı üzerinde ortaya çıkan en büyük pozitif kuvvet değeri 3755N, en büyük negatif kuvvet değeri ise -2550N olarak belirlenmiştir.

Şekil 4.2’de 2.sektör üzerinde oluşan hidrodinamik kuvvet değerleri verilmektedir.



Şekil 4.2. Model KOS-1-2.sektör için hidrodinamik kuvvetin zamanla değişimi

Modele ait 2.sektöre ilişkin elde edilen en büyük pozitif hidrodinamik kuvvet değeri 12337 N, en büyük negatif hidrodinamik kuvvet değeri ise -8379 N olarak belirlenmiştir. Şekil 4.3’te 3.sektör üzerinde oluşan hidrodinamik kuvvet değerleri verilmektedir.

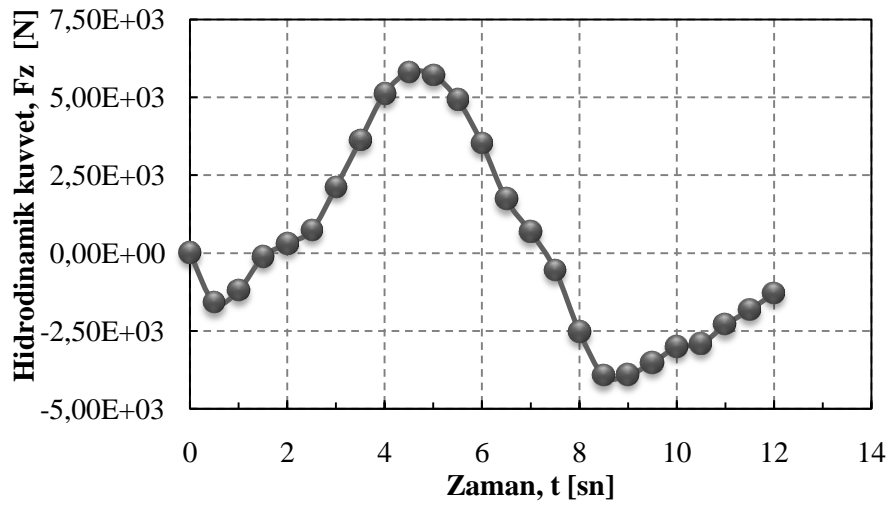


Şekil 4.3. Model KOS-1-3.sektör için hidrodinamik kuvvetin zamanla değişimi

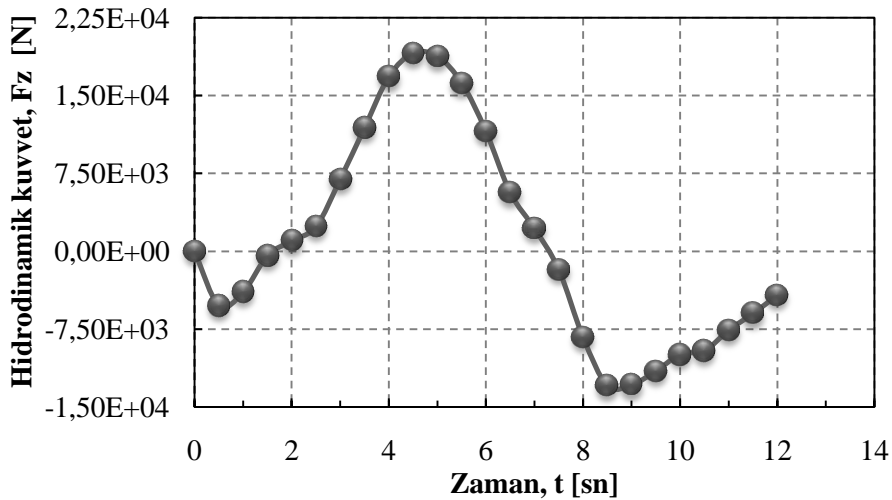
Şekil 4.3'te görüldüğü gibi 3.sektöre ait elde edilen en büyük pozitif hidrodinamik kuvvet değeri 26820N, en büyük negatif hidrodinamik kuvvet değeri ise -18215N olarak belirlenmiştir.

4.1.2. Model KOS-2 İçin Hidrodinamik Kuvvet Değerleri

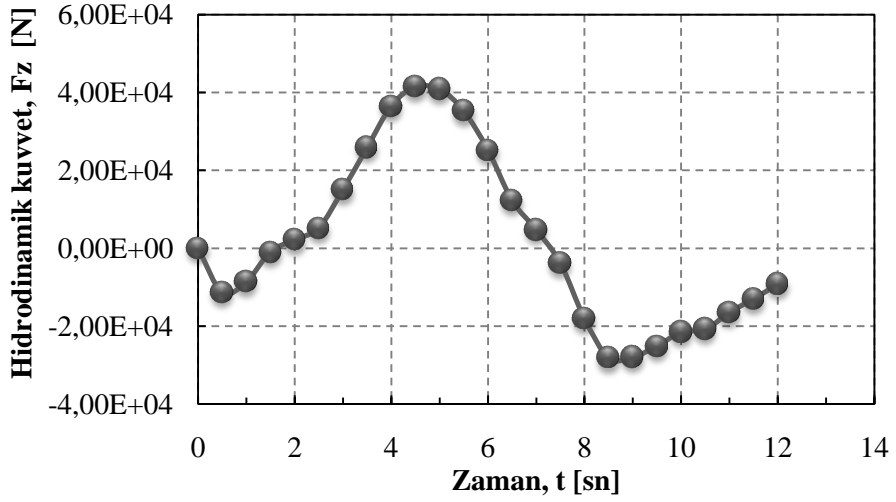
Malzemeli hacim oranı %30 olarak alınan KOS-2 modeline ait 1.sektör, 2.sektör ve 3.sektör üzerinde oluşan toplam hidrodinamik değerleri sırası ile Şekil 4.4-4.5-4.6'da görülmektedir.



Şekil 4.4. Model KOS-2-1.sektör için hidrodinamik kuvvetin zamanla değişimi



Şekil 4.5. Model KOS-2-2.sektör için hidrodinamik kuvvetin zamanla değişimi

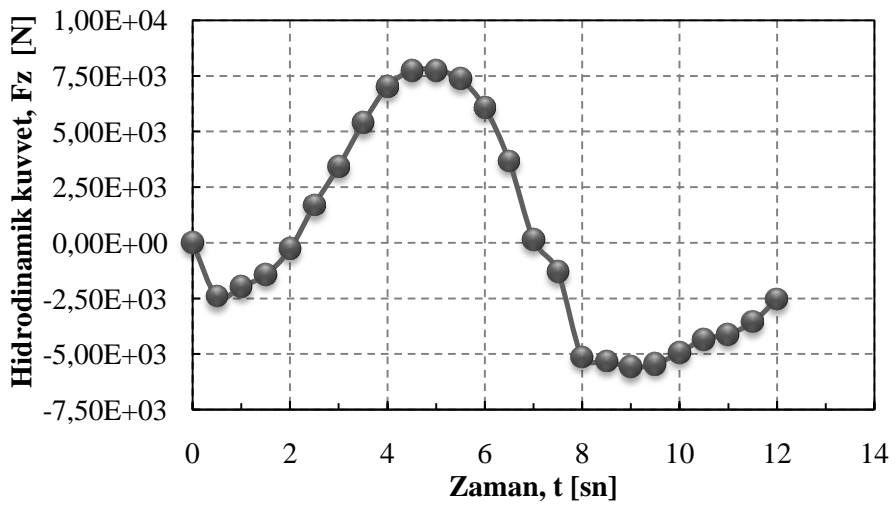


Şekil 4.6. Model KOS-2-3.sektör için hidrodinamik kuvvetin zamanla değişimi

Modele ait 1., 2. ve 3.sektöre için elde edilen en büyük pozitif hidrodinamik kuvvet değerleri 5803N, 19067N, 41450N, en büyük negatif hidrodinamik kuvvet değeri ise -3941N, -12950N, -28151N, olarak belirlenmiştir.

4.1.3. Model KOS-3 İçin Hidrodinamik Kuvvet Değerleri

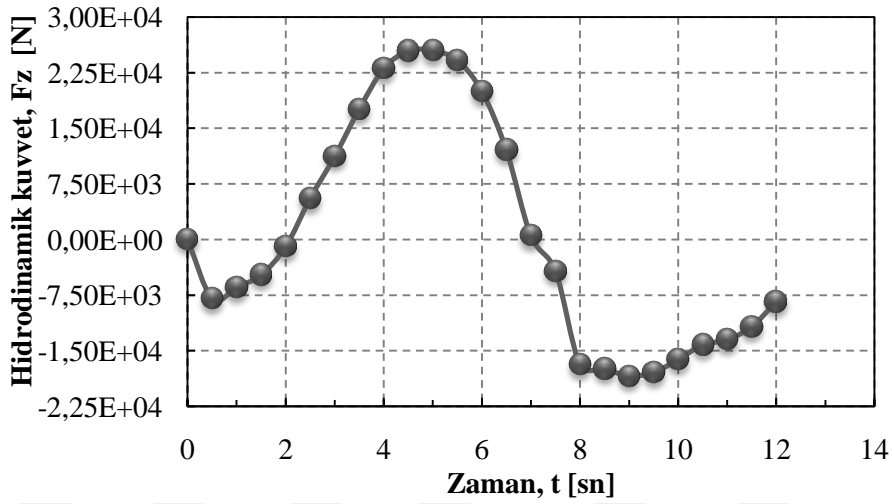
Malzemeli hacim oranı %32 olarak alınan KOS-3 modeline ait 1.sektör, üzerinde oluşan toplam hidrodinamik değerleri Şekil 4.7’de görülmektedir.



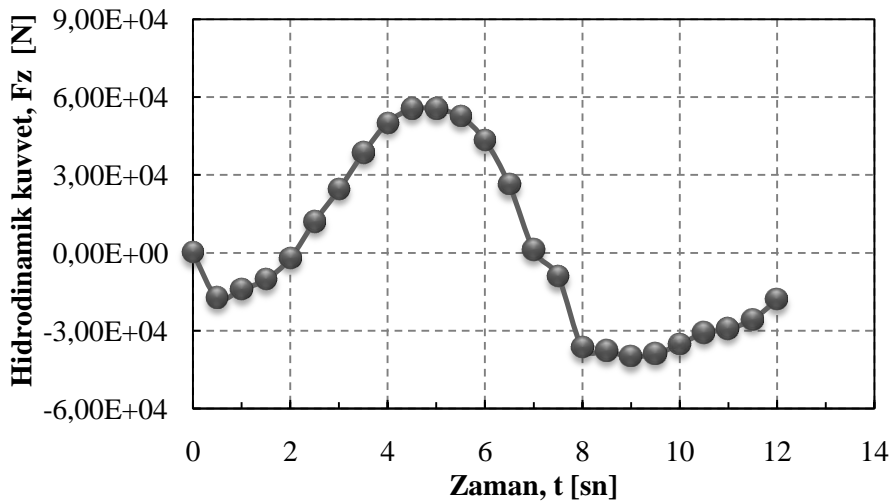
Şekil 4.7. Model KOS-3-1.sektör için hidrodinamik kuvvetin zamanla değişimi

Şekil 4.7’de verildiği gibi periyot boyunca yapı üzerinde ortaya çıkan en büyük pozitif kuvvet değeri 7749N, en büyük negatif kuvvet değeri ise -5601N olarak belirlenmiştir.

Şekil 4.8 ve 4.9’da ise 2.sektör ve 3.sektöre ilişkin hidrodinamik kuvvet değerlerinin zamanla değişimi grafik olarak verilmiştir.



Şekil 4.8. Model KOS-3-2.sektör için hidrodinamik kuvvetin zamanla değişimi

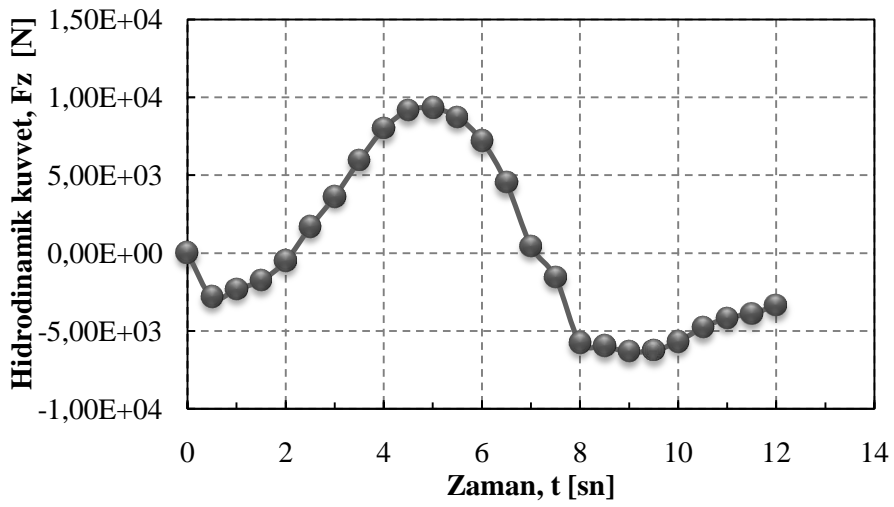


Şekil 4.9. Model KOS-3-3.sektör için hidrodinamik kuvvetin zamanla değişimi

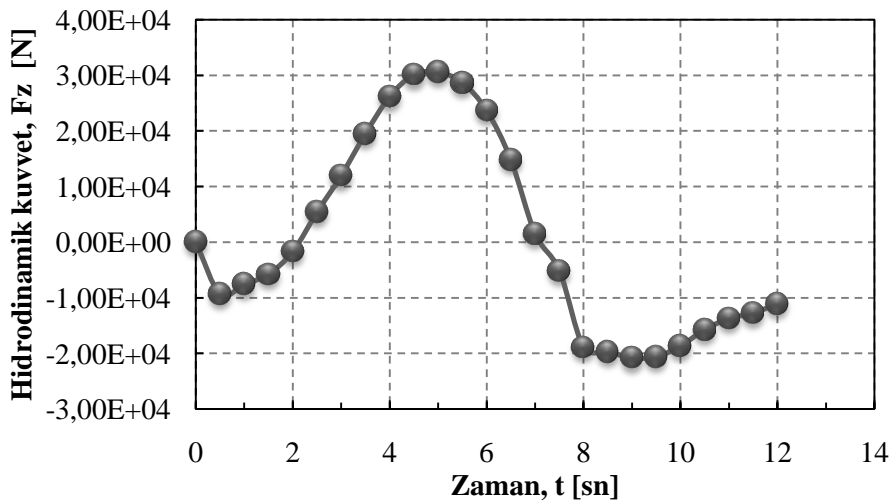
Modele ait 2. ve 3.sektöre için elde edilen en büyük pozitif hidrodinamik kuvvet değerleri 25461N, 55250N en büyük negatif hidrodinamik kuvvet değeri ise -18405N, -40010N olarak belirlenmiştir.

4.1.4. Model KOS-4 İçin Hidrodinamik Kuvvet Değerleri

Malzemeli hacim oranı %34 olarak alınan KOS-4 modeline ait 1.sektör ve 2.sektör üzerinde oluşan toplam hidrodinamik değerleri Şekil 4.10 ve 4.11’de verilmektedir.



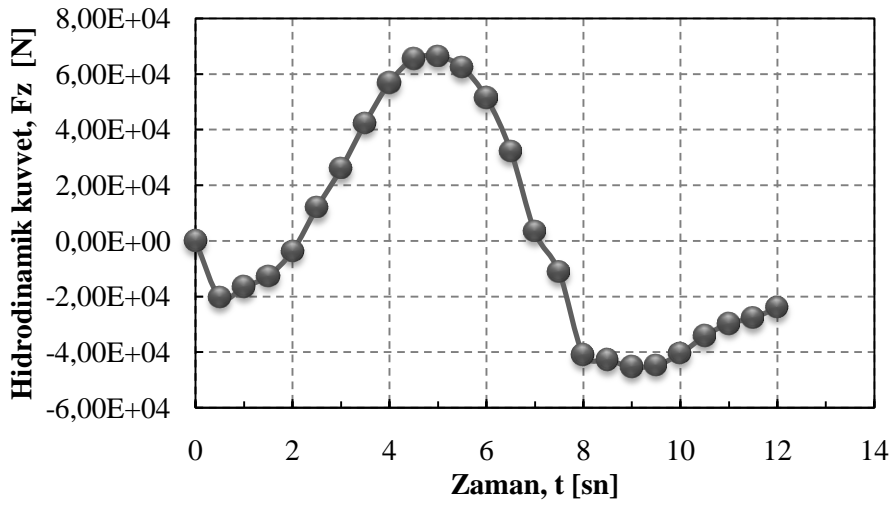
Şekil 4.10. Model KOS-4-1.sektör için hidrodinamik kuvvetin zamanla değişimi



Şekil 4.11. Model KOS-4-2.sektör için hidrodinamik kuvvetin zamanla değişimi

Model KOS-4'e ait 1.sektör için hesaplanan en büyük pozitif kuvvet 9296N iken 2. sektörde bu değer artarak 30544N olarak hesaplanmıştır. Negatif yönde en büyük kuvvet ise 1.sektör için -6338N, 2.sektör için ise -20824N olarak elde edilmiştir.

Şekil 4.12'de ise 3.sektör için belirlenen hidrodinamik kuvvet değerlerinin zamanla değişimi verilmiştir.



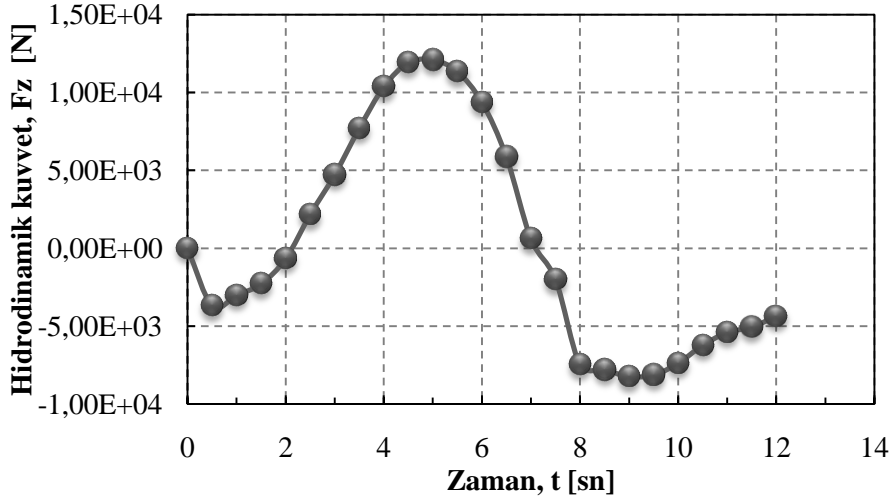
Şekil 4.12. Model KOS-4-3.sektör için hidrodinamik kuvvetin zamanla değişimi

Periyot boyunca 3. sektörde hesaplanan en büyük pozitif hidrodinamik kuvvet değeri 66400N en büyük negatif hidrodinamik kuvvet değeri ise -45270N olarak belirlenmiştir.

4.1.5. Model KOS-5 İçin Hidrodinamik Kuvvet Değerleri

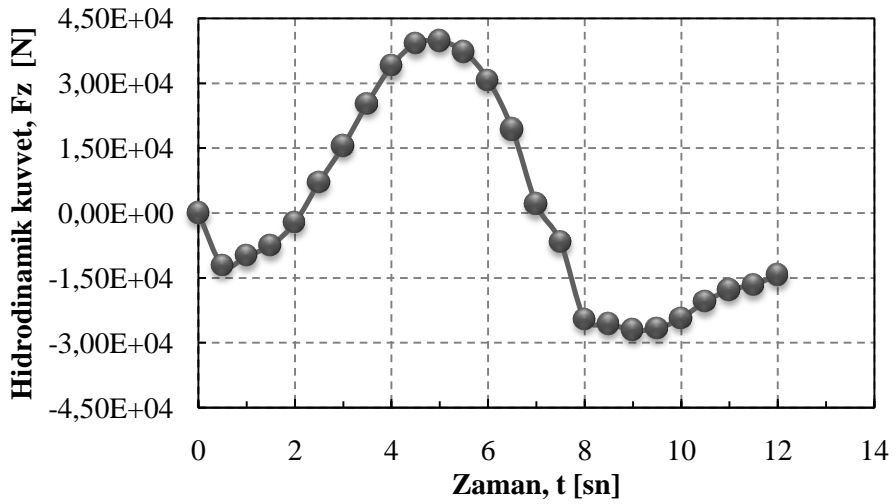
KOS-5 modeli malzemeli hacim oranı yani katılık oranı değerinin 0,36 kabul edilmesi ile oluşturulmuştur. Bu modele ait hesaplanan 1.sektör hidrodinamik kuvvetlerinin değerleri Şekil 4.13'te görülmektedir.

Şekil 4.13'te verilen grafik incelendiğinde en büyük pozitif hidrodinamik kuvvet değeri 12085N en büyük negatif hidrodinamik kuvvet değeri ise -8239N olarak belirlenmiştir.



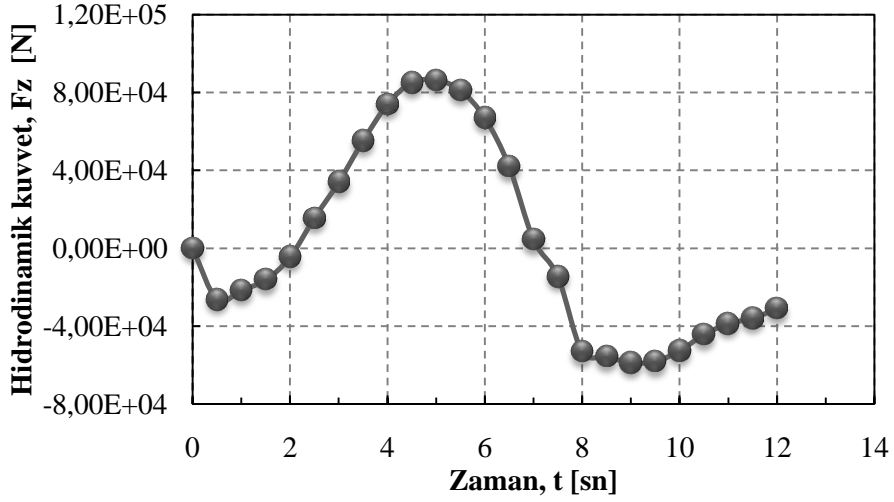
Şekil 4.13. Model KOS-5-1.sektör için hidrodinamik kuvvetin zamanla değişimi

Şekil 4.14’de 2.sektör üzerinde oluşan hidrodinamik kuvvet değerleri verilmektedir.



Şekil 4.14. Model KOS-5-2.sektör için hidrodinamik kuvvetin zamanla değişimi

Modele ait 2.sektöre ilişkin elde edilen en büyük pozitif hidrodinamik kuvvet değeri 39707N, en büyük negatif hidrodinamik kuvvet değeri ise -27071N olarak belirlenmiştir. Şekil 4.15’te ise 3.sektör üzerinde oluşan hidrodinamik kuvvet değerleri görülmektedir.



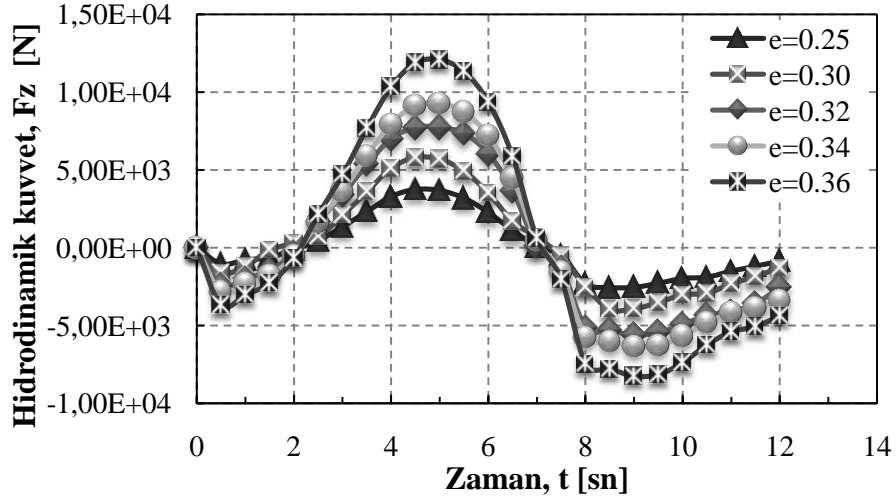
Şekil 4.15. Model KOS-5-3.sektör için hidrodinamik kuvvetin zamanla değişimi

Modele ait 3.sektöre ilişkin elde edilen en büyük pozitif hidrodinamik kuvvet değeri 86320N, en büyük negatif hidrodinamik kuvvet değeri ise -58851N olarak belirlenmiştir.

4.1.6. KOS Modelleri için Genel Karşılaştırma

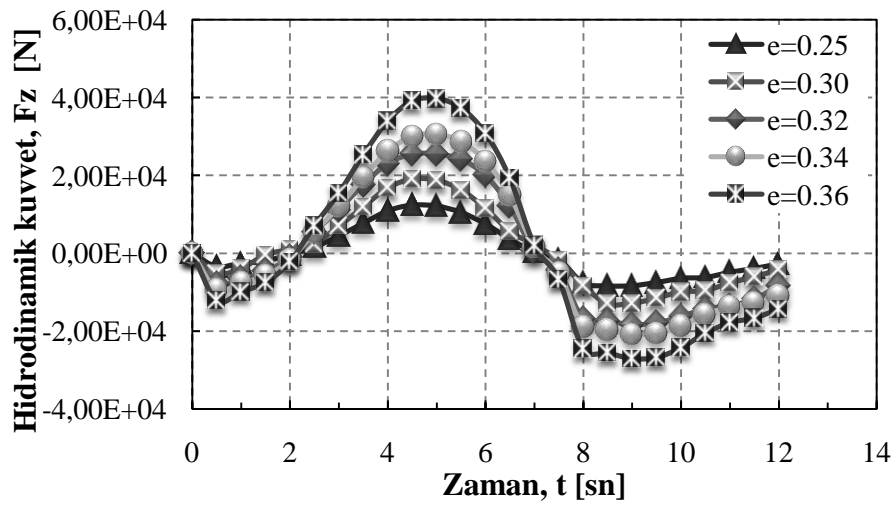
KOS yapı modelleri değerlendirilirken sektörü oluşturan dikme, enleme ve diyagonal olmak üzere her bir yapı elemanına gelen yanal kuvvetler hesaplanarak toplanmıştır. Elde edilen bu toplam sektörel hidrodinamik kuvvet değerinin sektörün orta noktasından etkidiği kabul edilmiştir. Deniz ortamında dalga etkisi altında oluşan türbülans nedeni ile, katılık oranı; karada geçerli EIA-TIA-222G şartnamesinde olduğu gibi alansal değil hacimsel olarak dikkate alınmıştır.

Deniz tabanına en yakın sektör olan 1.sektör için katılık oranı ve hidrodinamik kuvvet arasındaki ilişkiyi veren karşılaştırmalı grafik Şekil 4.16'da verilmiştir. Katılık oranı arttıkça elde edilen kuvvetlerin de arttığı görülmektedir. En büyük pozitif ve negatif kuvvet katılık oranının 0.36 olması durumunda ortaya çıkmaktadır.



Şekil 4.16. KOS modelleri hidrodinamik kuvvet değerlerinin 1.sektör açısından karşılaştırılması

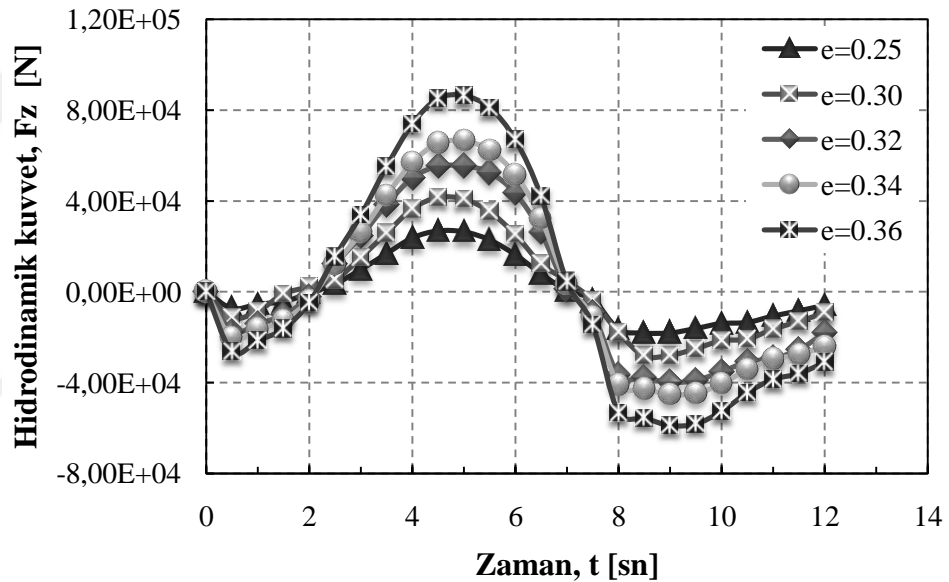
Şekil 4.16’da görüldüğü gibi en büyük pozitif hidrodinamik kuvvet değeri 12085 olup 5.sn’de meydana gelmektedir. En büyük negatif kuvvet ise -8239N değerindedir ve 9.sn’de elde edilmektedir. Akışkan partikül hızının artışı ile birlikte yüzeyine doğru artması ile dalga etkisinin daha fazla hissedildiği 2. sektör için elde edilen hidrodinamik kuvvet değerlerinin zamanla değişimi karşılaştırmalı olarak Şekil 4.17’de görülmektedir.



Şekil 4.17. KOS modelleri hidrodinamik kuvvet değerlerinin 2.sektör açısından karşılaştırılması

Şekil 4.17’de görüldüğü gibi hidrodinamik kuvvet-katılık oranı ilişkisi 2.sektör için de geçerli olmaktadır. Yani katılık oranı ile birlikte hidrodinamik kuvvet değerleri de artmaktadır. En büyük pozitif kuvvet 5.sn’de ortaya çıkmaktadır ve 39707N değerindedir. En büyük negatif yönlü kuvvet ise 9.sn’de oluşmaktadır ve değeri -27071N olmaktadır. Elde edilen bu değerler katılık oranının en fazla olduğu $e=0.36$ durumu için geçerlidir.

Şekil 4.18’de hidrodinamik kuvvetlerin genel karşılaştırması 3.sektör için değerlendirilmiştir.



Şekil 4.18. KOS modelleri hidrodinamik kuvvet değerlerinin 3.sektör açısından karşılaştırılması

Şekil 4.18’de görüldüğü yapının son sektörü olan 3.sektör için elde edilen hidrodinamik kuvvet değerleri diğer sektörler için elde edilen değerlerden daha büyüktür. Bu da akışkan partikül hızının artışından kaynaklanmaktadır.

Hidrodinamik kuvvetlerdeki artış hem derinlik hem de katılık oranı ile ilişkili olarak değişmektedir. Elde edilen en büyük pozitif ve negatif değer ise yine katılık oranının 0.36 olması durumunda hesaplanan 86320N ve -58851N olarak belirlenmiştir.

Dalganın tepe noktasında pozitif yönde, çukur noktasında ise negatif yönde artan akışkan partikül hızı nedeniyle dinamik etkiler ve hidrodinamik kuvvet değerleri de artmaktadır. Dinamik etkilerin arttığı bu durumda katılık oranı etkisi daha fazla hissedilmektedir. KOS modellerine ait her üç sektör için de elde edilen kuvvet değerleri arasındaki iraksamanın özellikle dalga tepe ve çukur noktalarında arttığı görülmektedir.

Katılık oranı arttıkça yapısal direnç artmaktadır. Gelen dalga yapıdan daha fazla etkilenmektedir. Bu nedenle en büyük yapısal direnç ve dalga formundaki en fazla bozulma $e=0.36$ olması durumunda ortaya çıkmaktadır.

Stokes 2. mertebe dalga teorisinin asimetrik bir yapıya sahip olması hidrodinamik kuvvet değerlerine de yansımaktadır. Dalga tepe ve çukurunun sakin su seviyesine olan mesafesi birbirine eşit olmadığından elde edilen hidrodinamik kuvvetlerin en büyük pozitif ve negatif değerleri de birbirine eşit değildir.

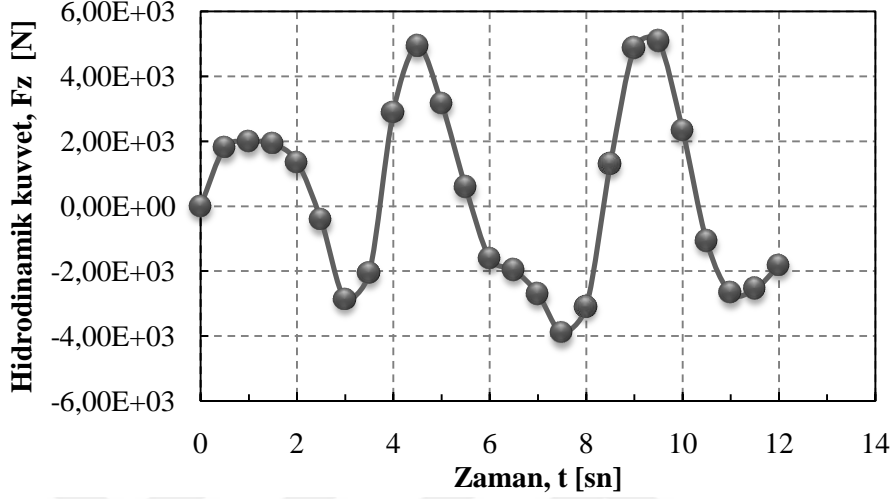
Katılık oranı her üç sektör için de sabit kabul edildiğinden KOS modellerinde derinlik boyunca kuvvetin değişimi daha belirgin olarak gözlenebilmektedir. Deniz tabanından sektör orta noktasına kadar olan mesafe arttıkça hidrodinamik kuvvet değerleri de artmaktadır. Bu nedenle en büyük hidrodinamik kuvvet değerleri, tüm KOS modelleri için, deniz tabanı ile orta noktası arasındaki mesafenin en fazla olduğu 3.sektörde ortaya çıkmaktadır. Deniz tabanına yakın sektörlerde nispeten daha küçük hidrodinamik kuvvetler elde edilmiştir.

4.2. KOD Modelleme Yaklaşımına İlişkin Analiz Sonuçları

Deniz tabanına sabitlendiği kabul edilen katılık oranı yapı yüksekliği boyunca sektörlere göre değişken kabul edilen KOD modellerinin analizi ANSYS-Fluent programı ile gerçekleştirilmiştir. 2 farklı modeli oluşturan her bir eleman üzerine etkiyen sürüklenme ve atalet kuvvetleri toplamı, hidrodinamik kuvvet F_z olarak değerlendirilmiştir. Sektörlere gelen hidrodinamik kuvvetler KOS modelleri ile karşılaştırma kolaylığı sağlaması amacı ile 12sn boyunca belirlenmiştir.

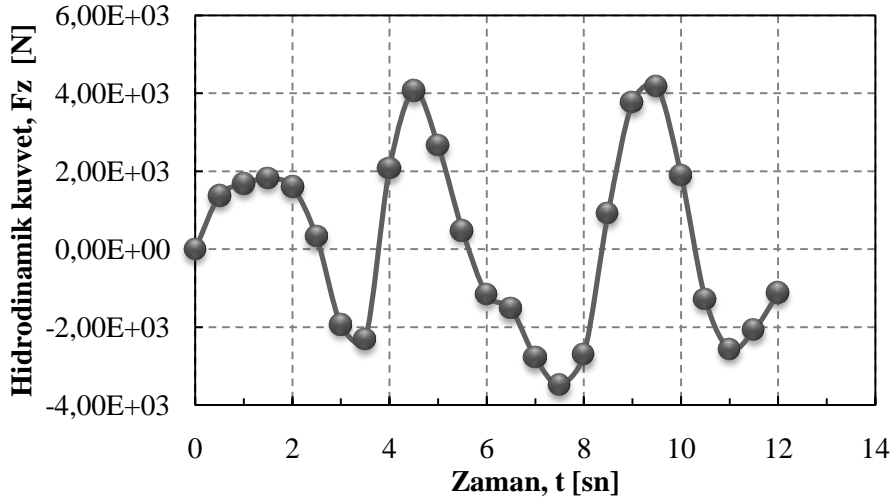
4.2.1. Model KOD-1 İçin Hidrodinamik Kuvvet Değerleri

KOD-1 modelinin deniz tabanına en yakın sektörü orta noktası +1.50m kotunda bulunmaktadır. Bu sektörün katılık oranı $e=0.27$ olup elde edilen hidrodinamik kuvvetlerin zamana bağlı değişimi Şekil 4.19’da verilmiştir.



Şekil 4.19. Model KOD-1-1.sektör için hidrodinamik kuvvetin zamanla değişimi

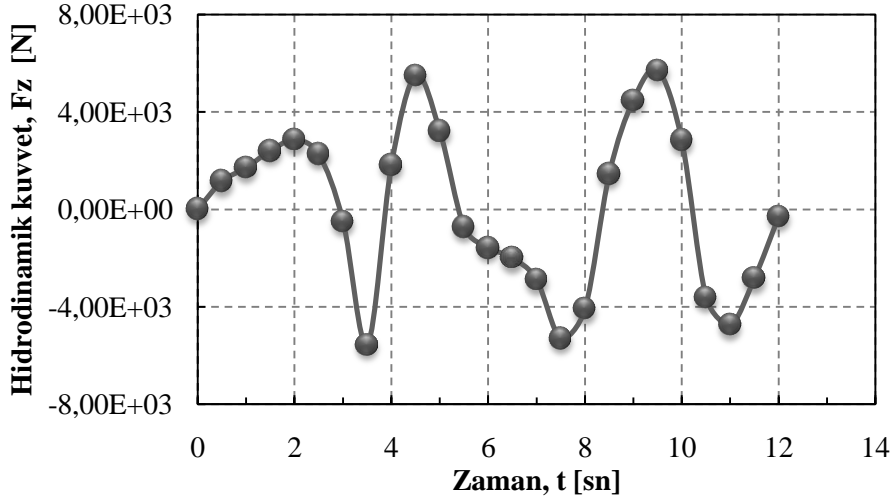
Şekil 4.20’de ise 2. sektör hidrodinamik kuvvet değerleri görülmektedir.



Şekil 4.20. Model KOD-1-2.sektör için hidrodinamik kuvvetin zamanla değişimi

2. sektörün orta noktasından deniz tabanına olan mesafesi 4.50m olarak hesaplanmıştır. Katılık oranı 0.19 olarak belirlenmiştir.

Yapının son sektörü olan 3.sektöre yönelik elde edilen hidrodinamik kuvvet değerlerinin zamanla değişimi Şekil 4.21’de verilmiştir. Sektör orta noktası ile deniz tabanı arasındaki mesafe 7.50m ve katılık oranı 0.17 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.21. Model KOD-1-3.sektör için hidrodinamik kuvvetin zamanla değişimi

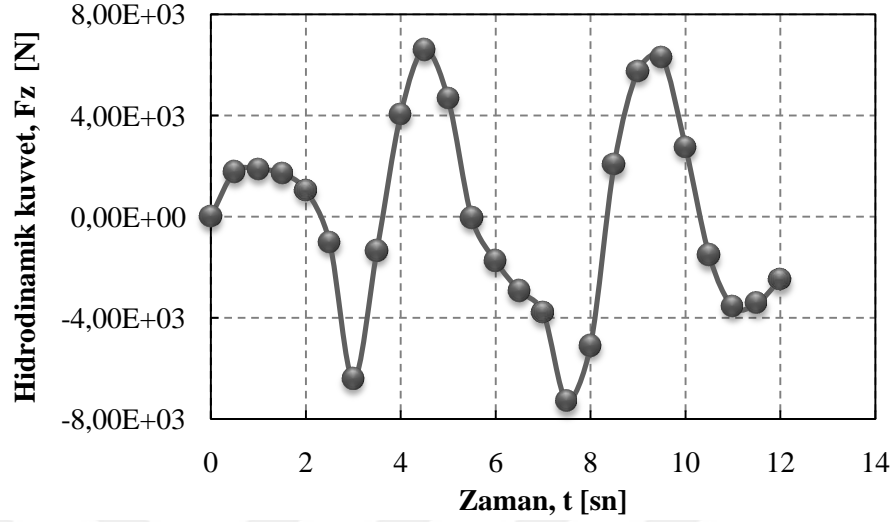
Üç sektöre ait veriler incelendiğinde en büyük pozitif hidrodinamik kuvvetin, 5706N en büyük negatif hidrodinamik kuvvetin ise -5554N olarak 3.sektörde hesaplandığı görülmektedir. Diğer sektörlere ait pozitif en büyük değerler ise 1. ve 2.sektör için sırası ile 4052N, 4922N iken negatif en büyük değerler -2328N ve -2869N olmaktadır.

KOD-1 modeli üzerinde elde edilen hidrodinamik kuvvetler büyük ölçüde iki değişken parametreye bağlıdır. Bunlardan ilki su derinliği ile birlikte dalganın yatay hızında meydana gelen değişiktir. Deniz tabanına yakın sektörlerde bu ilişki hidrodinamik kuvvetin azalmasına sebep olmaktadır. İkinci etkili değişken ise katılık oranıdır. Katılık oranı artıkça hidrodinamik kuvvet de artmaktadır.

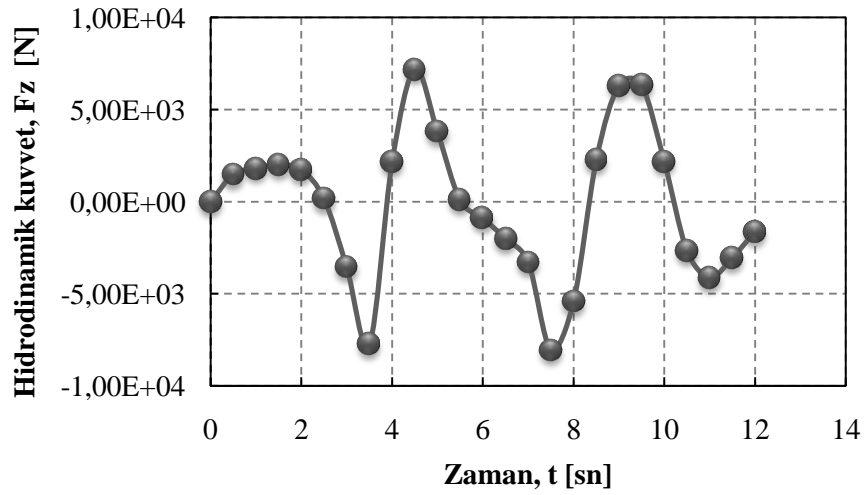
4.2.2. Model KOD-2 İçin Hidrodinamik Kuvvet Değerleri

KOD-1 ile aynı geometriye sahip olan ancak kullanılan profil boyutları bakımından farklılık gösteren KOD-2 modelinin deniz tabanına en yakın sektörü orta noktası +1.50m kotunda bulunmaktadır. Bu sektörün katılık oranı $e=0.53$ alınmıştır.

Şekil 4.22’de 1.sektör Şekil 4.23’te 2.sektöre ilişkin hidrodinamik kuvvetin zamana bağlı değişimi görülmektedir.



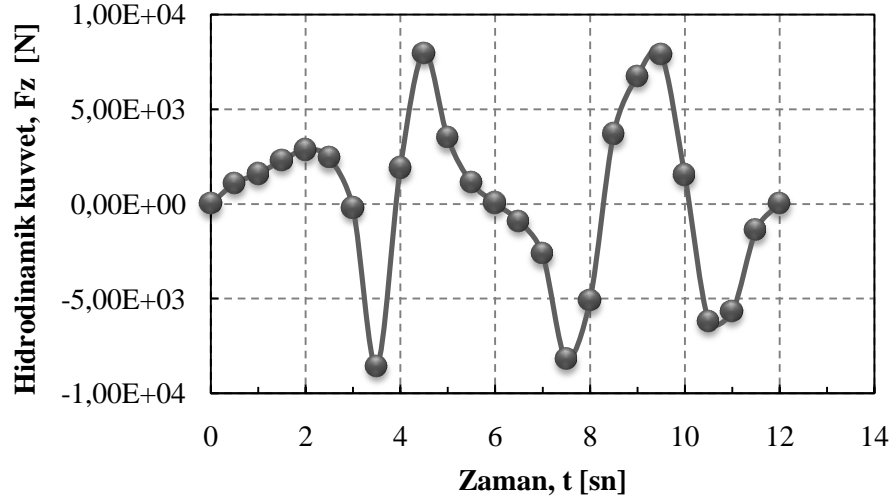
Şekil 4.22. Model KOD-2-1.sektör için hidrodinamik kuvvetin zamanla değişimi



Şekil 4.23. Model KOD-2-2.sektör için hidrodinamik kuvvetin zamanla değişimi

Şekil 4.23’te hidrodinamik kuvvetlerin zamanla değişimi verilen 2.sektör orta noktası deniz tabanı referans kabul edildiğinde $+4.50$ m kotunda bulunmaktadır. Katılık oranı 0.34 olarak tasarlanmıştır.

3.sektöre ilişkin elde edilen hidrodinamik kuvvet değerlerinin zamanla değişimi ise Şekil 4.24'te görülmektedir. Sektör orta noktası ile deniz tabanı arasındaki mesafe 7.50m ve sektörün katılık oranı 0.32 olarak belirlenmiştir.

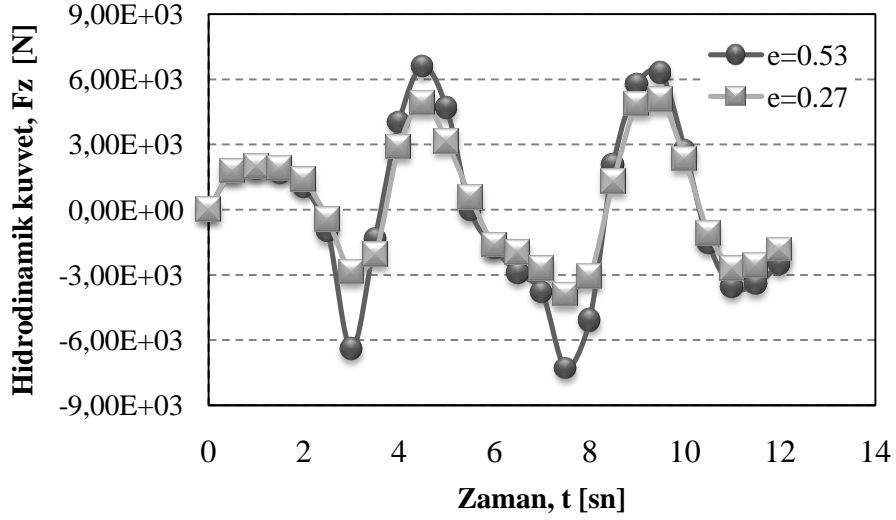


Şekil 4.24. Model KOD-2-3.sektör için hidrodinamik kuvvetin zamanla değişimi

Üç sektöre ait sonuçlar karşılaştırıldığında en büyük pozitif hidrodinamik kuvvetin, 7959N en büyük negatif hidrodinamik kuvvetin ise -8559N olarak 3.sektörde hesaplandığı görülmektedir. Diğer sektörlere ait pozitif en büyük değerler ise 1. ve 2. sektör için sırası ile 6595N, 7188N iken negatif en büyük değerler -6430N ve -7746N olmaktadır.

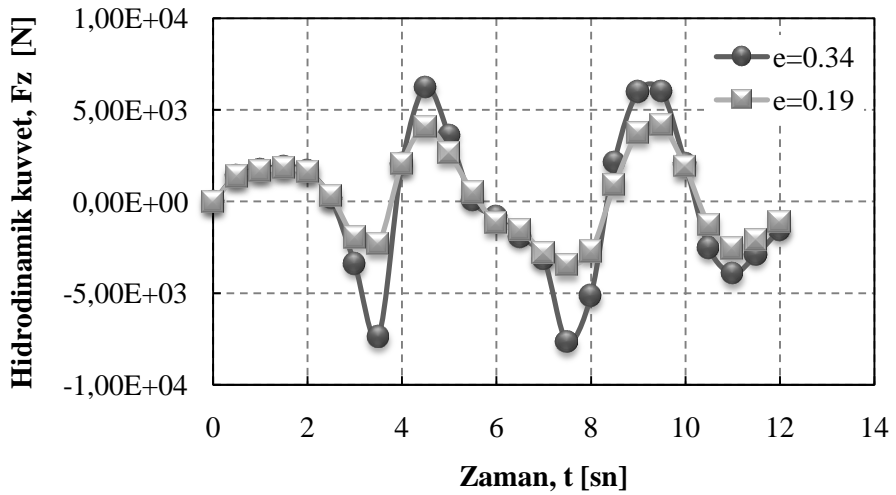
4.2.3. KOD Modelleri için Genel Karşılaştırma

Genel karşılaştırma kapsamında hidrodinamik kuvvetlerin zamanla değişimi, orta noktasından deniz tabanına olan mesafenin eşit olduğu sektörler açısından incelenmiştir. Yani 2 farklı KOD modelinin 1.sektörleri, 2.sektörleri ve 3.sektörleri karşılaştırılmıştır. Bu amaçla KOS modellerinin değerlendirilmesi kapsamında olduğu gibi sektörü oluşturan enleme, diyagonal ve dikme elemanlarına etkiyen aksenal kuvveler toplanarak 12sn boyunca incelenmiştir. KOD-1 ve KOD-2 modelleri için 1. sektör katılık oranları 0.27 ve 0.53 olmak ile birlikte elde edilen hidrodinamik kuvvet değerleri Şekil 4.25'te görülmektedir.

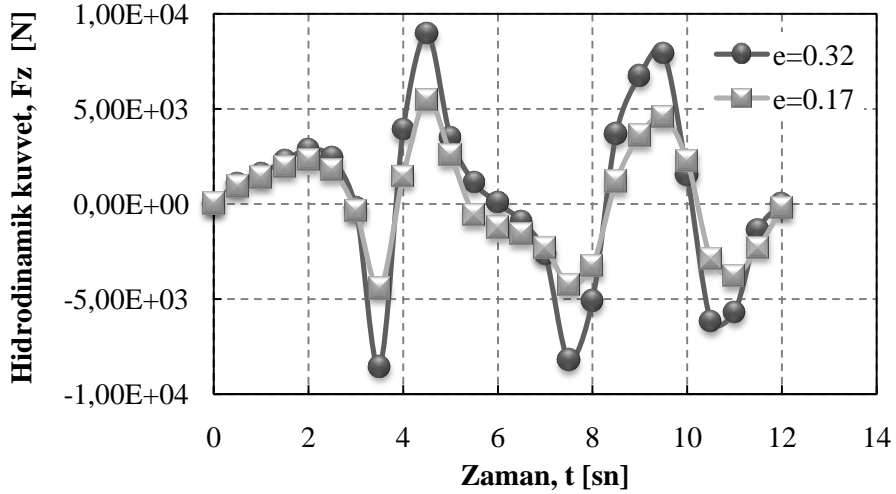


Şekil 4.25. Model KOD-1 ve KOD-2 1.sektör hidrodinamik kuvvet değerlerinin karşılaştırılması

Hidrodinamik kuvvetler birbirine yakınsamakta ancak aradaki fark özellikle dalga hız vektörünün yön değiştirdiği pik noktalarında artmaktadır. Derinlik etkisinden bağımsız olduğunda hidrodinamik kuvvetlerin katılık oranı ile birlikte artış gösterdiği görülmektedir. Şekil 4.26 ve 4.27’de iki modele ait karşılaştırma 2. ve 3.sektör hidrodinamik kuvvet değerleri dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.26. Model KOD-1 ve KOD-2 2.sektör hidrodinamik kuvvet değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 4.27. Model KOD-1 ve KOD-2 3.sektör hidrodinamik kuvvet değerlerinin karşılaştırılması

Şekil 4.27’de görüldüğü gibi hidrodinamik kuvvet arttıkça katılık oranları farklı olan sektörlere ait en büyük pozitif ve negatif değerler arasındaki fark da artmaktadır. Katılık oranı artışı etkisi daha baskın duruma gelmektedir. Dinamik etkilerin artması ile yapının özellikleri önem kazanmaktadır.

KOD modelleri için iki yapısal tasarım dikkate alınmasına karşın 6 farklı katılık oranı için karşılaştırma yapılmıştır. Su yüzeyine yaklaştıkça akışkana ait yatay hız bileşenin artması, hidrodinamik kuvvetin de artmasına sebep olmaktadır. Ancak uzay taşıyıcı sistem açık deniz yapılarının tasarımına uygun olacak şekilde, seçilen modellerde de katılık oranı yapı yüksekliği ile birlikte azalmaktadır. Bu iki ters etki, yapının üzerindeki hidrodinamik kuvvetlerin değişken parametrelerle ilişkisini ortaya koyabilmek için daha karmaşık algoritmaların kurulmasını gerektirmektedir. Hidrodinamik kuvvet üzerinde ters etkisi olan bu iki değişken nedeni ile KOD modelleri üzerinde oluşan değişim KOS modellerinde olduğu kadar açık bir şekilde gözlemlenememektedir. Ancak deniz tabanından uzaklaştıkça nispeten daha büyük hidrodinamik kuvvetler elde edilmiştir.

4.3. YSA Analiz Sonuçları

KOS ve KOD modellerinin analizi sonucu oluşturulan veri seti MATLAB yazılımı kullanılarak YSA ile eğitilmiştir. Veri seti 0.50sn'lik zaman aralıklarında, su derinliği, dalga boyu, periyot, katılık oranı ve yapı yüzey alanı ile değişen hidrodinamik kuvvet değerlerinden oluşmaktadır. Eğitim için kullanılan toplam veri sayısı 504 olarak belirlenmiştir.

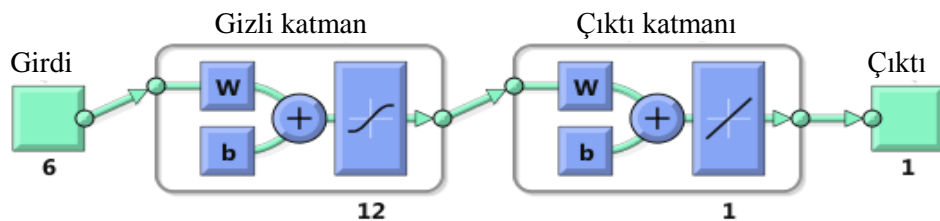
Test verileri ise iki farklı model dikkate alınarak elde edilmiştir. Her bir test modeline ait 72 kontrol değeri bulunmaktadır.

Farklı gizli katman nöron sayıları dikkate alınarak en büyük korelasyon katsayısı (R^2), en küçük hata kareleri toplamı (SSE), ortalama mutlak yüzde hata (MAPE) ve ortalama hata kareleri kökü (RMSE) değerini veren model seçilmiştir. En yüksek performans gösteren YSA modelleri Tablo 4.1'de sunulmaktadır.

Tablo 4.1. Hidrodinamik kuvvet modeli eğitim performansı

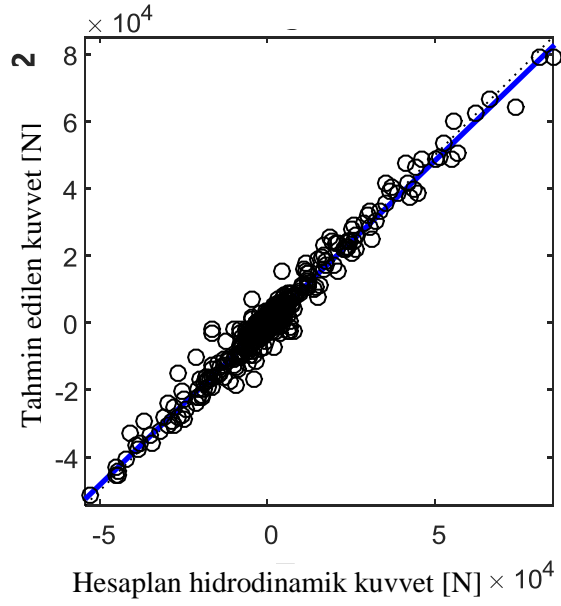
Model	Gizli katman hücre sayısı	R^2	YSA Eğitim Modeli		
			SSE	MAPE	RMSE
ANN-LM	8	0.977	5.28E+06	16.08	102.35
ANN-LM	12	0.983	4.34E+06	13.18	92.80
ANN-LM	14	0.981	5.20E+06	15.79	101.57
ANN-LM	16	0.971	5.93E+06	18.45	108.47

Gizli katman hücre sayısının 12 alınması durumunda korelasyon katsayısı 0.983 sonucunu vermektedir. Performans ölçütü için kullanılan parametreler açısından en uygun modele ilişkin sinir hücresi yapısı Şekil 4.28'de verilmiştir.



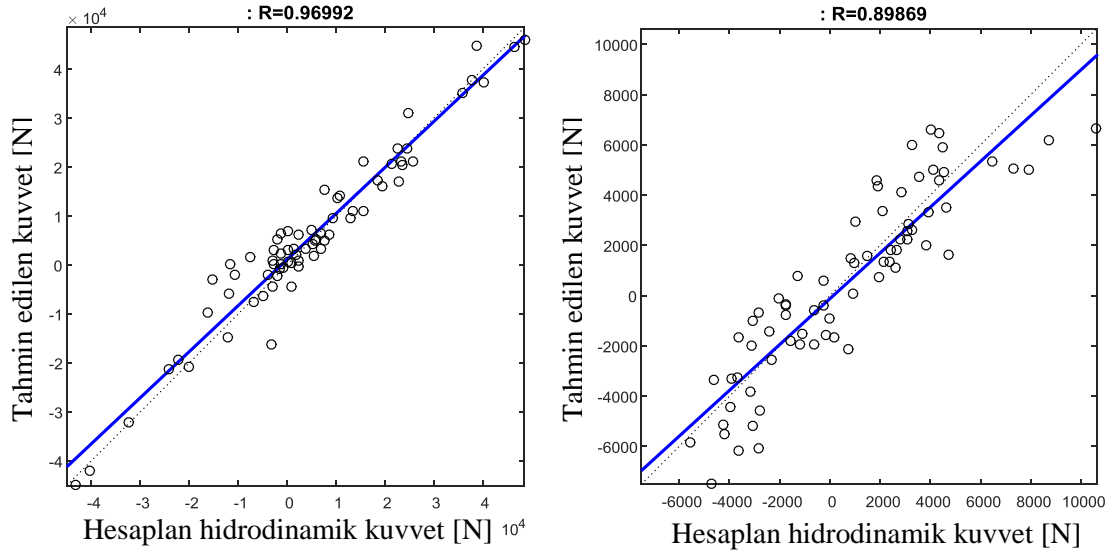
Şekil 4.28. Modele ilişkin sinir hücresi yapısı

Şekil 4.29’da ise eğitim verilerine ilişkin saçılma diyagramı görülmektedir.



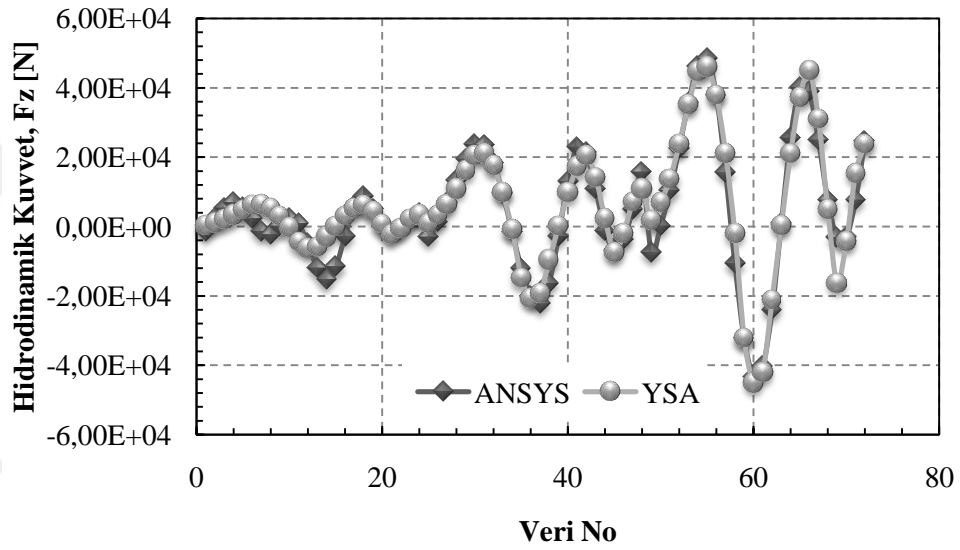
Şekil 4.29. Hidrodinamik kuvvet eğitim verileri saçılma diyagramı

Belirlenen eğitim model ile üretilen test verilerinin saçılma diyagramları Şekil 4.30’da verilmiştir.



Şekil 4.30. Test modelleri saçılma diyagramı

Birinci test modele ilişkin tahmin edilen değerler, ikinci test modeli tahmini hidrodinamik kuvvet değerlerinden daha tutarlıdır. Korelasyon katsayısı 0.969 olarak hesaplanmıştır. Bu durumun nedeni birinci modelin sektörler boyunca katılık oranının sabit kabul edilmesidir. İkinci modelde etkili parametreler hem derinlik hem de katılık oranı olduğundan elde edilen değerleri tahminlemek daha zor olmakta, korelasyon katsayısı 0.898'e düşmektedir. Şekil 4.31'de ANSYS-Fluent ile modellenip hesaplanan hidrodinamik kuvvet değerleri ile YSA ile tahmin edilen değerler T₁ test modeli için karşılaştırılmıştır.

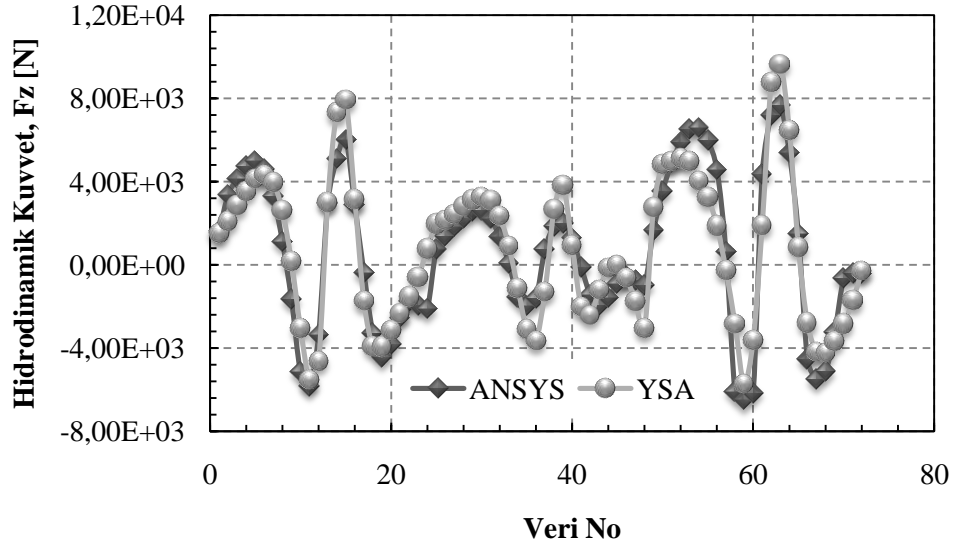


Şekil 4.31. T₁ modeline ilişkin ANSYS ve YSA sonuçlarının karşılaştırması

Şekil 4.31'de de görüldüğü gibi tahmin edilen ve hesaplanan değerler birbirleri ile tutarlıdır. En büyük pozitif kuvvet değeri ANSYS-Fluent programı ile 46349N olarak hesaplanmıştır. YSA ile tahmin edilen değer ise 44520 olarak belirlenmiştir. En büyük negatif değer ise -40412N olarak hesaplanmıştır. Tahmin edilen değer ise -42065N olmaktadır.

Tahmin tutarlılığı verilerinin geneline bakıldığında sapma bandı % 25.2 ile % 3.4 arasında değişmektedir.

Şekil 4.32’de hesaplanan hidrodinamik kuvvet değerleri ile tahmin edilen değerlerin T₂ test modeli için karşılaştırılması görülmektedir.



Şekil 4.32. T₂ modeline ilişkin ANSYS ve YSA sonuçlarının karşılaştırması

Şekil 4.32’de görüldüğü gibi elde edilen sonuçlar T₁ modeli için elde edilen sonuçlardan daha zayıftır. Bunun nedeni yapının sektörlerine bağlı olarak hem katılık oranı değişmekte hem de sektör orta noktasının deniz tabanından mesafesi artmaktadır. Hidrodinamik kuvvet üzerinde çok büyük etkisi olan bu parametrelerin değişkenliği sonuçların tutarlılığını da etkilemektedir. Pozitif en büyük hidrodinamik kuvvet değeri 7642N olarak hesaplanmıştır. Tahmin edilen değer ise 9621N olarak belirlenmiştir. En büyük negatif kuvvet ise -6511N olarak hesaplanmıştır. Tahmin edilen değer ise -5730N olarak belirlenmiştir.

Tahmin tutarlılığı verilerinin geneline bakıldığında sapma bandı %39.0 ile % 5.9 arasında değişmektedir.

T₁ ve T₂ test modelleri için hesaplanan ve tahminlenen 72 adet hidrodinamik kuvvet değerine ilişkin sapma oranı dağılımları Tablo 4.2’de görülmektedir.

Tablo 4.2. Hesaplanan ve tahmin edilen hidrodinamik kuvvet sapma oranları

Sapma oranı %	T ₁ modeli veri sayısı	T ₂ modeli veri sayısı
0-5	7	0
5-10	13	3
10-15	27	8
15-20	15	17
20-25	4	5
25-30	6	12
30-35	0	15
35-40	0	12

Tablo 4.2 de verilen değerler doğrultusunda T₁ test modeli için ortalama sapma oranı %15.6 olarak hesaplanmıştır. Sapma oranının arttığı noktalar özellikle sektör geçiş noktalarıdır. Sektör orta noktasından deniz tabanına olan mesafenin değişmesi veri tutarlılığını bozmaktadır. Ancak elde edilen sonuçlar sektörel olarak değerlendirildiğinde modelin başarılı olduğu görülmektedir.

T₂ test modeli için ortalama sapma oranı ise %27.5 olarak hesaplanmıştır. Sapma oranının arttığı noktalar T₁ test modelinde olduğu gibi sektör geçiş noktalarıdır. T₂ test modelinde, sektör geçişlerinde hem deniz tabanından sektör ortasına olan mesafe hem de katılık oranı değiştiğinden veri tutarlılığı nispeten daha fazla bozulmuştur. Hesaplanan ve tahmin edilen değerler arasındaki en büyük farklar dalga tepesi ve çukurunda yani dinamik etkilenen en baskın olduğu durumda ortaya çıkmaktadır.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında; farklı katılık oranı (e) değerleri dikkate alınarak tasarımı yapılan 7 model üzerinde inceleme gerçekleştirilmiştir. KOS olarak tanımlanan, malzemeli hacim yüzdesinin sektörler boyunca eşit kabul edildiği modeller için 3 sektörlü 5 farklı katılık oranında uzay taşıyıcı sistem esas alınmıştır. KOS modelleri için seçilen katılık oranı değerleri $e=0.25/ 0.30/ 0.32/ 0.34$ ve 0.36 'dır. KOD olarak adlandırılan malzemeli hacim yüzdesinin değişken olduğu uzay taşıyıcı modeller ise yine 3 sektörlü olarak ele alınmıştır. KOD yapı modellerinde 6 farklı katılık oranına ilişkin hesaplama yapılmıştır. Bunlar $e=0.27/ 0.19/ 0.17/ 0.53/ 0.34$ ve 0.32 'dir. Yapının lokasyonu belirlenirken dalga kırılmasının olmadığı sınırlar dikkate alınmıştır. Stokes 2. Mertebe dalga teorisinin geçerli olduğu deniz ortamı koşulları altında çalışma gerçekleştirilmiştir.

Uzay taşıyıcı sistem elemanları enleme, dikme ve diyagonal olarak isimlendirilmiştir. Periyodik salınımlı dalgaların bu yapı elemanlarına çarpması ile oluşan çalkantı kaynaklı hidrodinamik kuvvetler, ANSYS-Fluent paket programı ile hesaplanmıştır. Yapı elemanlarının üzerinde detaylı bir hücre ağı tasarımı uygulanmıştır. Ancak bu gereklilik hem modellemenin daha kompleks hale gelmesine hem de hidrodinamik kuvvetlerin belirlenme sürecinin daha uzun zaman almasına neden olmuştur.

KOS modelleri açık deniz yapılarında sıkça kullanılan çelik kule tipi yapılara örnek teşkil etmektedir. Bu yapı modelinde, uzay taşıyıcı sistemli kulenin sektörlerindeki katılık oranı değişmediğinden hidrodinamik kuvvetler üzerindeki etkili değişken parametreler, su derinliği ve farklı derinliklerdeki sektörler etkiyen dalga partiküllerinin hızları ve ivmeleridir. Deniz tabanında yaklaştıkça dalga etkisinin zayıflamasına paralel olarak 1. sektörün tabana daha yakın kesitlerinde de nispeten daha küçük hidrodinamik kuvvetler elde edilmiştir. Buna karşın, su yüzeyine yaklaştıkça dalga hızı ile birlikte etkisi de artmakta ve 3. sektörde en büyük değere sahip hidrodinamik kuvvetler hesaplanmaktadır. Dolayısıyla, dalga partikül hareketlerinin doğru modellendiği ve hidrodinamik kuvvetlere ait değerlerin teoriye uygun geliştiği görülmüştür.

KOS modellerinde derinlik boyunca kuvvetin değişimi daha belirgin olarak gözlenebilmektedir. Deniz tabanından sektör orta noktasına kadar olan mesafe arttıkça hidrodinamik kuvvet değerleri de artmaktadır. Bu nedenle en büyük hidrodinamik kuvvet değerleri, tüm KOS modelleri için deniz tabanı ile arasındaki mesafenin en fazla olduğu 3.sektörde ortaya çıkmaktadır. KOS modellerinde $e=0.25/0.30/0.32/0.34$ ve 0.36 değerleri için yapılan araştırma sonucunda en büyük hidrodinamik kuvvet $e=0.36$ durumunda 3. sektörde oluşmaktadır. Akışkan partikül hızı nedeniyle dinamik etkilerin arttığı durumda katılık oranı etkisi de daha fazla hissedilmektedir. Ayrıca her üç sektör için de elde edilen kuvvet değerleri arasındaki ıraksamanın özellikle dalga tepe ve çukur noktalarında arttığı belirlenmiştir. En büyük hidrodinamik kuvvetler dikkate alındığında ise katılık oranı artışı ile birlikte kuvvetler arasındaki fark azalmaktadır. $e=0.25$ ve $e=0.30$ için hidrodinamik kuvvetler %35.0 oranında artarken $e=0.30$ ve $e=0.32$ için bu oran %25.0, $e=0.32$ ve $e=0.34$ için %23.0 ve $e=0.34$ ve $e=0.36$ için %17.0'ye düşmektedir.

Stokes 2. mertebe dalga teorisinin asimetrik bir yapıya sahip olması hidrodinamik kuvvet değerlerine de yansımaktadır. Dalga tepe ve çukurunun sakin su seviyesine olan mesafesi birbirine eşit olmadığından elde edilen hidrodinamik kuvvetlerin en büyük pozitif ve negatif değerleri de birbirine eşit değildir.

KOD modelleri için elde edilen sonuçlarda ise iki önemli değişken etkisi hissedilmektedir. Katılık oranı yapının deniz tabanından yüksekliği arttıkça azalmaktadır. Bu nedenle hidrodinamik kuvvet, su yüzeyine olan mesafenin azalması ile artarken, katılık oranının azalması ile de azalmaktadır. Çeket tipi yapı tasarımını örnekleyen bu modellerde katılık oranı hidrodinamik kuvvetin en büyük değerler aldığı 3. sektörde daha önem kazanmaktadır. Hidrodinamik kuvvet üzerinde ters etkisi olan bu iki değişken nedeni ile KOD modelleri üzerinde oluşan değişim KOS modellerinde olduğu kadar açık bir şekilde gözlemlenememektedir. Ancak deniz tabanından uzaklaştıkça nispeten daha büyük hidrodinamik kuvvetler elde edilmiştir. Yapının sektörleri arasında ortaya çıkan hidrodinamik kuvvet farkı da KOS modellerine göre azalmaktadır. KOD-1 ve KOD-2 modeli için en ıraksak değerler 3. sektörde katılık oranının $e=0.32$ ve $e=0.17$ olduğu durumda %19.0 olarak hesaplanmıştır.

Hidrodinamik kuvvet üzerinde etkili olan dalga yüksekliği, periyodu, su derinliği, katılık oranı, sektör orta noktasının deniz tabanına mesafesi gibi parametreler arasındaki ilişkiyi ortaya koyabilmek amacı ile YSA kullanılmıştır. İki farklı deniz ortam koşulu ve 7 farklı model ile üretilen 504 veri eğitim amacı ile kullanılmıştır. Geliştirilen 2 test modeli üzerinde kontrol yapılarak sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Katılık oranı sabit kabul edilerek oluşturulan T_1 test modeline ilişkin daha tutarlı sonuçlar elde edilmiştir. T_1 modeli için korelasyon katsayısı 0.969, en büyük hidrodinamik kuvvet hata oranı % 25.2 olarak hesaplanmıştır. Sapma oranının arttığı noktalar özellikle sektör geçiş noktalarıdır. Sektör orta noktasından deniz tabanına olan mesafenin değişmesi veri tutarlılığını bozmaktadır. T_1 test modeli için ortalama sapma oranı %15.6 olarak hesaplanmıştır.

T_2 test modelinde korelasyon katsayısı 0.898'e düşmekte ve en büyük hidrodinamik kuvvet hata oranı %39.0'a çıkmaktadır. Bu durumun nedeni; T_2 test modelinde yapının sektörlerine bağlı olarak hem katılık oranı değişmekte hem de sektör orta noktasının deniz tabanından mesafesi artmaktadır. Hidrodinamik kuvvet üzerinde etkisi olan parametreler hem derinlik hem de katılık oranı olduğundan elde edilen değerleri tahminlemek daha zor olmaktadır. Bu parametrelerin değişkenliği, sonuçların tutarlılığını da etkilemektedir. T_2 test modeli için ortalama sapma oranı %27.5 olarak hesaplanmıştır. KOS ve KOD için ayrı eğitim modellerinin oluşturulması durumunda T_2 test modeli için elde edilen sapma oranı değerlerinin düşürülebileceği ve daha tutarlı sonuçlar elde edilebileceği öngörülmektedir.

Bu tez çalışması ile hidrodinamik kuvvetlerin yapı topolojisinden bağımsız olacak şekilde katılık oranı ile ilişkilendirilebileceği sonucuna ulaşılmıştır. Daha fazla veri kullanılarak oluşturulacak eğitim modelleri sayesinde yapıya etkiyebilecek hidrodinamik kuvvetlerin sektörel katılık oranına göre tahminlenmesinin mümkün olduğu görülmektedir. Önerilen yöntem ile hassas, karmaşık ve uzun süreli çalışmayı gerektiren açık deniz yapılarının projelendirilmesi aşamasında ön tasarım yapmaya imkan verecek hidrodinamik kuvvet değerlerinin daha hızlı ve pratik olarak elde edilebileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Çalışmanın daha fazla deniz ortam koşulu dikkate alınarak daha geniş tanım aralığında üretilen dalga parametreleri ile farklı sektördeki yapılar için de uygulanabilir hale getirilmesi hedeflenmektedir.



KAYNAKLAR

1. Lan, T.T. Space Frame Structures. CRC Press LLC. USA, 1999, 59s.
2. Timoshenko, S., Young, D.H. Düzlem Ve Uzay Kafes Sistemler. (Kayan, İ. Çev.) İstanbul Teknik Üniversitesi Yayınevi, 1981, 111s.
3. Narayan, S. Principles Of Space Structures. Ah Wheeler & Co Ltd, 1998, 304s.
4. CERC. Coastal Engineering Manual, Water Wave Mechanics Part II. Coastal Engineering Research Center, USA, 1998, 652 s.
5. Penzien J., Kaul M.K., Berge B. Stochastic response of offshore towers to random seawaves and strong motion earthquakes. Computers and Structures. 1972, 2, 733-756.
6. Nichols, J.M. Structural health monitoring of offshore structures using ambient excitation. Applied Ocean Research. 2003, 25, 101-114.
7. Hao, E., Liu, C. Evaluation and comparison of anti-impact performance to offshore wind turbine foundations: Monopile, tripod, and jacket. Ocean Engineering. 2017, 130(15), 218-227.
8. Li, G., Liu, X., Liu, Y., Yue, Q., Optimum design of ice-resistant offshore jacket platforms in the Bohai Gulf in consideration of fatigue life of tubular joints. Ocean Engineering. 2008, 35(5-6), 484-493.
9. Kim, D.H., Lee, S.G. Reliability analysis of offshore wind turbine support structures under extreme ocean environmental loads. Renewable Energy. 2015, 79, 161-166.
10. Yamada, Y., Iemura, H., Kawano, K., Venkataramana, K. Seismic response of offshore structures in random seas. Earthquake Engineering and Structural Dynamics. 1989, 18(7), 965-981.
11. Elshafey, A.A., Haddara M.R., Marzouk, H. Dynamic response of offshore jacket structures under random loads. Marine Structures. 2009, 22, 504-521.
12. Bea, R.G., Mortazavi, M.M., Loch, K.J. Evaluation of storm loadings on and capacities of offshore platforms. Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering ASCE. 1997, 123(2), 73-81.
13. Lee, H.H. Stochastic analysis for offshore structures with added mechanical dampers. Ocean Engineering. 1997, 24(9), 817-834.
14. Raheem, S.E.A., Aal, E.M.A.A. Finite element analysis for structural performance of offshore platforms under environmental loads. Key Engineering Materials. 2013, 159, 569-570.

15. Abhinav, K.A., Saha, N. Coupled hydrodynamic and geotechnical analysis of jacket offshore wind turbine. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*. 2015, 73, 66-79.
16. Natural Gas, www.naturalgas.org, 2015.
17. Başağa, H. Ceket Tipi Açık Deniz Platformlarının Deprem ve Dalga Kuvvetlerine Göre Stokastik Analizi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Trabzon, 2003, 120s.
18. Baldpate, www.offshore-technology.com, 2016.
19. Gökçe, K.T., Keyder E. Açık deniz yapı tipleri ve tasarım ilkeleri. *Türkiye Müh. Haberleri*. 1996, 381-387.
20. Luis, M. L. Offshore platforms design overview. www.geocities.com/angolano/OS_Platforms_design.html, 2002.
21. AWS Truewind, Offshore Wind Technology Overview, 2009.
22. Alkan, S. Bir açık deniz rüzgar türbini için yüzer platform sistemi tasarımı ve demirleme sisteminin hidrodinamik analizi. Bartın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 2013,106.
23. Frieze, P. A. Offshore structure design and construction. *Ships and Offshore Structures*.2011.
24. Det Norske Veritas (DNV), Rules For The Design, Construction And Inspection Of Offshore Structures, Norveç, 1981, 19s.
25. Mısır, İ.S., Özden, G., Kahraman, S. Temel-zemin yaylarının alansal etkileşimi ve yapı davranışına etkisi. 1.Deprem Sempozyumu, Kocaeli, 2005.
26. Yüksel Proje. T.C. Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı Altyapı Yatırımları Genel Müdürlüğü (AYGM), Kıyı Yapıları Planlama ve Tasarım Teknik Esasları, 2015, 437s.
27. Brebbia, C.A., Walker, S. *Dynamic Analysis of Offshore Structures*. Butterworth&Co. Ltd.,Londra, UK., 1979, 323s.
28. Türk Loydu. Açık deniz tesisleri yapısal dizaynı, Cilt D, kısım 62, İstanbul, 2009, 372s.
29. Tower Numerics Inc. Structural Standard for antenna supporting structures and anten. TIA-222-G. 2006, 50s.
30. CERC. Shore Protection Manual. Coastal Engineering Research Center. Army Corps Engineers. Vicsburg, US, 1984, 652s.

31. Yaylacı, M. Açık Deniz Yapı Uygulamaları Ve Bunların Tasarım Parametrelerinin İrdelenmesi. Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Trabzon, 2007, 160s.
32. Yüksel, Y., Çevik, E.Ö. Kıyı Mühendisliği. Beta Basım A.Ş. İstanbul, 2009, 732.
33. Det Norske Veritas (DNV), Environmental Conditions And Environmental Loads, Norway, 2010, 124s.
34. Chakrabarti, S.K. Handbook of Offshore Engineering. Elsevier Science. USA, 2005, 1321s.
35. Ippen, A.T. Estuary And Coastline Hydrodynamics. McGraw-Hill Book Co. USA, 1966, 744s.
36. Rao, S.S. The Finite Element Method in Engineering. Butterworth&Co. Ltd., Londra, UK, 2010, 728s.
37. ANSYS Fluent Users Guide, 2013, 2692s.
38. Öztemel, E. Yapay Sinir Ağları. Papatya Yayıncılık, İstanbul, 2003, 44s.
39. Fausett, L. Fundamentals of Neural Networks Architectures, Algorithms and Applications. Prentice-Hall, New Jersey, 1994, 48-49.
40. Karakuzu, C. Nöral Sistemlere Giriş. Bilecik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, 2012, 85s.
41. Elmas, Ç. Yapay Zeka Uygulamaları, Seçkin Kitabevi, Ankara, 2011, 424s.
42. Cıgızoğlu, H.K., Kişi, Ö. Flow prediction by three back propagation techniques using k-fold partitioning of neural network training data, Nordic Hydrology. 2005, 36(1), 49-64.
43. Şen, Z. Yapay Sinir Ağları İlkeleri, Su Vakfı Yayınları, İstanbul, 2004, 185s.
44. Tayfur, G. Soft Computing in Water Resources Engineering, WIT Press, Southampton, 2012, 288s.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Begüm Yurdanur DAĞLI

Doğum Yeri ve Yılı : İzmir, 1983

Medeni Hali : Bekar

Yabancı Dili : İngilizce

E-posta : begum.dagli@cbu.edu.tr

Eğitim Durumu

Lise : İzmir Kız Lisesi, 1997-2001

Lisans : Celal Bayar Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Böl., 2001-2005

Yüksek Lisans : Celal Bayar Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Böl., 2005-2008

Mesleki Deneyim

Celal Bayar Üniversitesi 2005-2008

MEPAŞ A.Ş. 2009-2010

Celal Bayar Üniversitesi 2010-halen