

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**AÇIK DENİZ YAPI UYGULAMALARI VE BUNLARIN TASARIM
PARAMETRELERİNİN İRDELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. Murat YAYLACI

**AĞUSTOS 2007
TRABZON**

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

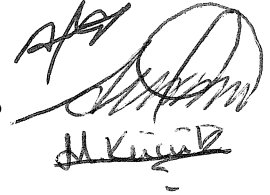
**AÇIK DENİZ YAPI UYGULAMALARI ve BUNLARIN TASARIM
PARAMETRELERİNİN İRDELENMESİ**

İnş. Müh. Murat YAYLACI

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
“İnşaat Yüksek Mühendisi”
Ünvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 27.07.2007
Tezin Savunma Tarihi : 15.08.2007**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Adem DOĞANGÜN
Jüri Üyesi : Prof. Dr. Ing. Ahmet DURMUŞ
Jüri Üyesi : Yrd. Doç. Dr. Haydar KÜÇÜK**



Enstitü Müdürü: Prof. Dr. Emin Zeki BAŞKENT

Trabzon 2007

ÖNSÖZ

Açık deniz yapı uygulamaları ve bunların tasarım parametrelerinin irdelenmesi konusundaki bu çalışma Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak gerçekleştirilmiştir.

Tez danışmanlığını yürüten, maddi ve manevi desteğini her zaman hissettiğim, tezimin her aşamasında bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım Sayın Prof. Dr. Adem DOĞANGÜN'e sonsuz teşekkür eder, saygılarımı sunarım.

Çalışmalarım boyunca yakın ilgi ve desteğini gördüğüm, özellikle önerileriyle bana cesaret veren değerli bölüm başkanım Sayın Doç. Dr. Ercan Köse'ye minnettar olduğumu belirtir teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmamın yürütülmesi sırasında bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım Arş. Gör. Uzeyir Karahalil ve Yüksek Kimyager Fatma Karahalil'e çok teşekkür ederim. Bu çalışmada şahsımdan yardımlarını esirgemeyen ve çalışmam sırasında takıldığım her noktada bana yardımcı olan çalışma arkadaşım Arş. Gör. Hasan Ölmez'e teşekkürlerimi sunarım.

Öğrenim hayatım boyunca bana emeği geçen tüm hocalarımı saygı ile anar kendilerine minnettar olduğumu belirtmek isterim. Hayatım süresince beni sabır ve şefkatle destekleyen, başta annem Zinnet YAYLACI ve babam Hasan YAYLACI olmak üzere ailemin tüm fertlerine teşekkürlerimi bir borç bilirim

Murat YAYLACI

Trabzon 2007

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET.....	VI
SUMMARY.....	VII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VIII
TABLolar DİZİNİ.....	XII
SEMBOLLER DİZİNİ.....	XIII
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Açık Deniz Yapıları ile İlgili Daha Önce Yapılmış Çalışmalar.....	2
1.3. Açık Deniz Yapılarının Temel Esasları.....	10
1.3.1. Aktarma.....	11
1.3.2. Kurulum.....	13
1.3.3. Çalışma.....	16
1.3.4. Yapı Ömrü.....	17
1.4. Açık Deniz Yapılarının Türleri.....	19
1.4.1. Sondaj Gemileri.....	19
1.4.2. Yarı Dalgıçlar Yapılar.....	26
1.4.3. Dalgıçlar Yapılar.....	32
1.4.4. Yükselen Platformlar.....	38
1.5. Açık Deniz Platformları.....	44
1.5.1. Ceket Tipi Platform.....	45
1.5.2. Yerçekimi Tip Platform.....	48
1.5.3. Gergi Ayaklı Platform.....	50
1.5.4. Kriko Tip Platform.....	51
1.6. Açık Deniz Yapılarının Dünyadaki Durumu.....	53
1.7. Açık Deniz Yapılarının Türkiye'deki Durumu.....	55
1.7.1. Akkaya.....	58
1.7.2. Ayazlı.....	59

1.7.3.	Hopa	60
1.7.4	Akçakoca	61
2.	AÇIK DENİZ YAPILARINA ETKİYEN YÜKLER	62
2.1.	Kalıcı Yükler	63
2.2.	Hareketli Yükler	63
2.3.	Üretim ve Tesisat Yükleri	63
2.3.1	Kaldırma Elemanlarının Çalışması Esnasında	64
2.3.2.	Tahliye Elemanlarının Çalışması Esnasında	65
2.3.3.	Nakliye Esnasında	67
2.3.4.	Denize İndirme ve Dikine Çevirme Esnasında	68
2.4.	Çevresel ve Tesadüfî Yükler	69
2.4.1.	Rüzgâr Yüğü	75
2.4.1.1.	Tip 1 Yapılar	79
2.4.1.2.	Tip 2 Yapılar	80
2.4.1.3.	Tip 3 Yapılar	83
2.4.1.4.	Tip 4 Yapılar	83
2.4.2.	Dalga Yüğü	84
2.4.2.1.	Giriş	84
2.4.2.2.	Düzenli Dalgalar	88
2.4.2.3.	Düzensiz Dalgalar	90
2.4.2.3.1.	Düzensiz Dalgaların Matematiksel Tanımı	91
2.4.2.4.	Dalga Teorileri	94
2.4.2.4.1.	Lineer (Airy) Dalga Teorisi	96
2.4.2.4.2.	Stokes Teorileri	101
2.4.2.5.	Deniz Dalgalarının Spektral İfadesi	103
2.4.2.5.1	Pierson-Moskowitz (P.M) Deniz Spektrumu	104
2.4.2.5.2	JONSWAP Deniz Spektrumu	105
2.4.2.5.3	Bretschneider Deniz Spektrumu	106
2.4.2.6.	Kazıklara Gelen Dalga Yüğü	107
2.4.2.6.1.	Tanım	107
2.4.2.6.2.	Dikey Silindirik Kazıklar ve Kırılmamış Dalgalar	108
2.4.2.6.3.	Kuvvetlerin ve Momentlerin Hesaplanması	109

2.4.2.6.4. Girdapların Yol Açtığı Çapraz Kuvvetler	111
2.4.3. Akıntı Yüğü.....	113
2.4.3.1. Giriş.....	113
2.4.3.2. Akıntı Türleri	115
2.4.3.2.1. Astronomik Gelgitlerden Oluşan Akıntılar.....	116
2.4.3.2.2. Hava Akımlarından Oluşan Akıntılar	116
2.4.3.2.3. Fırtınaların Neden Olduğı ve Rüzgarlardan Kaynaklanan Akıntılar ..	116
2.4.3.3. Deniz Büyümesi	117
2.4.3.3.1. Fırtınadan Dolayı Su Seviyesinin Yükselmesi.....	117
2.4.3.3.2. Astronomik Yükselme.....	118
2.4.3.3.3. Rüzgârdan Dolayı Su Seviyesinin Yükselmesi	118
2.4.3.4. Akıntı Kuvvetleri	119
2.4.3.4.1. Akıntı Sürüklenme Kuvveti	119
2.4.3.4.2. Kaldırma Kuvveti.....	121
2.4.3.4.3. Yüzey Sürtünme Kuvveti	122
2.4.3.4.4. Kabarma ve Alçalmalardan Meydana Gelen Kuvvetler	122
2.4.3.4.5. Coriolis Kuvveti	124
2.4.4. Deprem Yüğü.....	124
2.4.4.1. Deprem Hareketleri.....	129
2.4.4.1.1. Ana Kayanın Hareketi.....	129
2.4.4.1.2. Yerel Etkiler	130
2.4.4.2. Sıvılaşma	131
2.4.4.3. Tsunami.....	134
2.4.4.4. Deprem Etkileri.....	136
2.4.5. Buz ve Kar Yüğü.....	139
2.4.6. Sıcaklık Farkından Meydana Gelen Yüğüler.....	141
3. YAPILAN ÇALIŞMALAR	142
3.1. Örnek 1.....	142
3.2. Örnek 2.....	147
3.3. Analiz Sonuçları.....	152
4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	154
5. KAYNAKLAR	155
ÖZGEÇMİŞ	

ÖZET

Günümüzde dünyada enerji ihtiyacının bu kadar arttığı bir dönemde ve ülkemizin denizlerle çevrili olduğu düşünüldüğünde açık deniz yapı teknolojisinin ülkemiz için önemi ortaya çıkmaktadır. Özellikle gelişmiş ülkeler bu konuda çok önemli mesafeler almasına rağmen, maalesef ülkemizde bu konuyla ilgili büyük bir bilgi ve teknoloji eksikliği bulunmaktadır. Bu bağlamda çalışmanın amacı açık deniz yapı sınıflarını yapısal ve biçimsel özellikleri ile birlikte açıklamak ve bunların maruz kaldıkları yükleri ayrıntılı olarak irdelenmiştir.

Bu amaç doğrultusunda gerçekleştirilen çalışma dört bölüm halinde sunulmaktadır. Çalışmanın birinci bölümünde açık deniz yapılarının genel tanıtımı, açık deniz yapıları konusunda daha önceden yapılmış başlıca çalışmalar, açık deniz yapılarının türleri, açık deniz platformları, açık deniz yapılarının tasarımlarının temel esasları, açık deniz yapılarının dünyadaki ve ülkemizdeki durumu konularında bilgiler verilmektedir.

Çalışmanın ikinci bölümünde, açık deniz yapılarının maruz kaldıkları yük ya da yük etkileri kalıcı (sabit) yükler, hareketli yükler, üretim ve tesisat yükleri ve çevresel ve rastgele yükler üzerinde durulmaktadır. Bu bölümde açık deniz yapılarının tasarımında son derece önemli parametrelerden olan rüzgar, dalga, akıntı ve deprem yüklerinin karakteristikleri ve hesap yöntemleri üzerinde de durulmaktadır.

Üçüncü bölümde, örnek bir açık deniz yapısının yapısal ve malzeme özellikleri tanıtılmakta, incelenen kuvvetlerin etkileri modeller üzerinde dikkate alınmakta ve bilgisayar programı yardımı ile hesaplamalar gerçekleştirilmektedir. Bu hesaplamalarda sonlu elemanlar yöntemini temel alan ANSYS yazılımı kullanılmaktadır.

Çalışmanın son bölümünde, elde edilen sonuçlar ve öneriler sunulmakta, bu bölümü kaynaklar listesi ile yazarın özgeçmişi izlemektedir.

Anahtar Kelimeler: Açık Deniz Yapıları, Açık Deniz Platformları, Rüzgâr Yüğü, Dalga Yüğü, Akıntı Yüğü, Deprem Yüğü

SUMMARY

Applications of Offshore Structure and Explicated of Design Paramaters

If we think that there is a demand of new energy sources in the world and Turkey is a peninsula, it is very important offshore structure technology in our country. Although advanced countries improved very much in this subject, there is a lack of knowledge and technology about this subject in Turkey. For his reason, the main goal of my study is to investigate the offshore structures structural and formal characteristics.

Fort this aim excuted study is presented four parts. In first part of study, knowledges about general definition of offshore structures, briefs of before studies on this subject, fundamentals of offshore structures, kinds of offshore structures, offshore platforms and circumstance of offshore structures technology in our country and in the world are given generally.

In the seconda part of this study, offshore structure are exposed loads or load effect permanent, live, construction and installation, environmantel and accidental loads themes are studied. In this part, wind, wave, current, earthquake loads important fort he desing paramaters of offshore structures are emphasized.

In the third chapter, an offshore structure and its material properties represened in the examples.Loads influencing the structure are applied on models and solved by using computer software which solves the problems using with finete element method is ANSYS.

In consequence of this thesis, the results and suggestions obtained are introduced, list of bibliograpy and autobiography.

Key Words: Offshore Structures, Offshore Platforms, Wind Load, Wave Load, Current Load, Earthquake Load

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. Açık deniz yapılarından örnekler	2
Şekil 2. Açık deniz yapısının üretimi	11
Şekil 3. Açık deniz yapısının aktarılması	12
Şekil 4. Açık deniz yapısının tamamının aktarılması	13
Şekil 5. Tipik ceket tipi platformun kurulum birimleri	14
Şekil 6. Açık deniz yapısının kurulumu	15
Şekil 7. Açık deniz yapısının kurulumu	15
Şekil 8. Açık deniz yapısının çalışması	16
Şekil 9. Açık deniz yapısının çalışması	17
Şekil 10. Açık deniz yapısının ömrü.....	18
Şekil 11. Açık deniz yapısının ömrü.....	18
Şekil 12. Sondaj gemisi I.....	21
Şekil 13. Sondaj gemisi II.....	22
Şekil 14. Sondaj gemisi III	23
Şekil 15. Sondaj gemisi IV	24
Şekil 16. Sondaj gemisi V	25
Şekil 17. Yarı dalgıç yapısı I	27
Şekil 18. Yarı dalgıç yapısı II	28
Şekil 19. Yarı dalgıç yapısı III.....	29
Şekil 20. Yarı dalgıç yapısı IV	30
Şekil 21. Yarı dalgıç yapısı V.....	31
Şekil 22. Dalgıç yapısı I.....	33
Şekil 23. Dalgıç yapısı II	34
Şekil 24. Dalgıç yapısı III.....	35
Şekil 25. Dalgıç yapısı IV.....	36
Şekil 26. Dalgıç yapısı V	37
Şekil 27. Yükselen platform I.....	39
Şekil 28. Yükselen platform II.....	40
Şekil 29. Yükselen platform III	41
Şekil 30. Yükselen platform IV	42

Şekil 31. Yükselen platform V	43
Şekil 32. Açık deniz platform tipleri	44
Şekil 33. Açık deniz platformları.....	45
Şekil 34. Ceket tip platform.....	46
Şekil 35. Ceket tip platform	46
Şekil 36. Kazık temel çakma türleri	47
Şekil 37. Tipik yerçekimi platform	49
Şekil 38. Tipik yerçekimi platform.....	49
Şekil 39. Gergi ayaklı platform	50
Şekil 40. Gergi ayaklı platform	51
Şekil 41. Kriko tip platform.....	52
Şekil 42. Kriko tip platform.....	52
Şekil 43. Açık deniz yapılarının zamanla derinlik değişimi.....	54
Şekil 44. Açık deniz rüzgâr enerji bölgesi.....	55
Şekil 45. Batı Karadeniz ortak arama projesi	57
Şekil 46. Batı Karadeniz platform yerleşim planı	57
Şekil 47. Akkaya'daki platform.....	58
Şekil 48. Akkaya'daki platform.....	58
Şekil 49. Ayazlı'daki platform	59
Şekil 50. Ayazlı'daki platform	59
Şekil 51. Hopa sondaj gemisi	60
Şekil 52. Hopa sondaj gemisi	60
Şekil 53. Akçakoca'daki platform	61
Şekil 54. Akçakoca'daki platform	61
Şekil 55. Açık deniz yapısına etkileyen yükler	62
Şekil 56. Değişik koşullar altında kaldırma olayı.....	64
Şekil 57. Değişik durumlarda kaydırılarak tahliye	66
Şekil 58. Yüzen yapıların hareket halindeki davranışları.....	67
Şekil 59. Ceket tipi platformun denize indirme ve dikey çevirme şeması	68
Şekil 60. Açık deniz yapısına etkileyen çevresel yükler	70
Şekil 61. Bir saat müddetle esen rüzgârın hızı	71
Şekil 62. En büyük sağanak hızı.....	72
Şekil 63. Rüzgârın sebep olduğu seviye yükselmesi	72

Şekil 64. En büyük gel-git yüksekliği.....	73
Şekil 65. 50 yılda bir kere rastlanan maksimal dalga yüksekliği	73
Şekil 66. Farklı alanlardaki çalışma koşullarının karşılaştırılması.....	74
Şekil 67. Dalga ve rüzgâr kuvvetlerinin karşılaştırılması.....	77
Şekil 68. Tipik bir açık deniz yapısının geometrisi	78
Şekil 69. Aerodinamik tepki grafiği	81
Şekil 70. Yapı çevresindeki akım ve yükselmeler.....	82
Şekil 71. a)Akım çiftlerinin asama çatı üzerinde etkisi, b)Akım yüzey altındaki gerilim etkileri	83
Şekil 72. Yerçekimi tip platform ayaklarının yön sapması	84
Şekil 73. Tipik dalga gösterimi.....	86
Şekil 74. Basit bir dalga görünümü	87
Şekil 75. Düzenli dalga görünüşü.....	89
Şekil 76. Basit harmonik dalga.....	91
Şekil 77. İlerleyen dalga için koordinat sistemi.....	92
Şekil 78. Dalga sembollerinin gösterimi	94
Şekil 79. Su zerreciklerinin gösterimi	95
Şekil 80. Tipik dalga profili.....	96
Şekil 81. Dalga gösterimi	101
Şekil 82. Su zerreciklerinin gösterimi	103
Şekil 83. Dikey silindirik kazığa gelen dalga kuvvetleri.....	108
Şekil 84. Sabit dalga çiftlerinin neden olduğu uniform akıntılar.....	114
Şekil 85. Vortex akıntısı	115
Şekil 86. Dikey yapılar üzerine devam eden akıntılar	117
Şekil 87. Silindir önünde yığılan akım	120
Şekil 88. Rüzgâr gerilme akıntıları ve gel-git akıntılarının hız dağılımı.....	123
Şekil 89. Sismik dalgaların yayılması	129
Şekil 90. Değişik dönüş periyotlarına göre pik yatay ana kaya ivmeleri	130
Şekil 91. Sıvılaşma mekanizması	132
Şekil 92. Deprem etkisinde ceket tipi bir platform.....	138
Şekil 93. Açık deniz yapısı üzerinde buz yükü	140
Şekil 94. Ceket tip platformun boyutları	142
Şekil 95. Analiz sonrası yapının yer değiştirmesi	144

Şekil 96. Analiz sonrası yapının yer değiştirmesinin değişik yönden görünümü.....	144
Şekil 97. Analiz sonrası yapının X yönünde gerilme dağılımı	145
Şekil 98. Analiz sonrası yapının Z yönünde gerilme dağılımı	145
Şekil 99. X yönündeki gerilme dağılımının elemanlar üzerindeki gösterimi	146
Şekil 100. XZ yönündeki gerilme dağılımının elemanlar üzerindeki gösterimi	146
Şekil 101. Örnek platformun boyutları	147
Şekil 102. Analiz sonrası yapının yer değiştirilmesi	149
Şekil 103. Analiz sonrası yapının yer değiştirmesinin değişik yönden görünümü	149
Şekil 104. Analiz sonrası yapının X yönünde gerilme dağılımı	150
Şekil 105. Analiz sonrası yapının Y yönünde gerilme dağılımı.....	150
Şekil 106. X yönündeki gerilme dağılımının elemanlar üzerindeki gösterimi	151
Şekil 107. X yönündeki yer değiştirilmesinin elemanlar üzerindeki gösterimi	151

TABLULAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. Örnek 1 sondaj gemisinin teknik özellikleri	21
Tablo 2. Örnek 2 sondaj gemisinin teknik özellikleri	22
Tablo 3. Örnek 3 sondaj gemisinin teknik özellikleri	23
Tablo 4. Örnek 4 sondaj gemisinin teknik özellikleri	24
Tablo 5. Örnek 5 sondaj gemisinin teknik özellikleri	25
Tablo 6. Örnek 1 yarı dalgıç yapısının teknik özellikleri	27
Tablo 7. Örnek 2 yarı dalgıç yapısının teknik özellikleri	28
Tablo 8. Örnek 3 yarı dalgıç yapısının teknik özellikleri	29
Tablo 9. Örnek 4 yarı dalgıç yapısının teknik özellikleri	30
Tablo 10. Örnek 5 yarı dalgıç yapısının teknik özellikleri	31
Tablo 11. Örnek 1 dalgıç yapısının teknik özellikleri	33
Tablo 12. Örnek 2 dalgıç yapısının teknik özellikleri	34
Tablo 13. Örnek 3 dalgıç yapısının teknik özellikleri	35
Tablo 14. Örnek 4 dalgıç yapısının teknik özellikleri	36
Tablo 15. Örnek 5 dalgıç yapısının teknik özellikleri	37
Tablo 16. Örnek 1 yükselen platformun teknik özellikleri.....	39
Tablo 17. Örnek 2 yükselen platformun teknik özellikleri.....	40
Tablo 18. Örnek 3 yükselen platformun teknik özellikleri.....	41
Tablo 19. Örnek 4 yükselen platformlarının teknik özellikleri	42
Tablo 20. Örnek 5 yükselen platformun teknik özellikleri.....	43
Tablo 21. Açık deniz yapılarının dünyadaki sayıları	54
Tablo 22. Dalgaların sınıflandırılması.....	87
Tablo 23. C_D 'nin d/D ye göre değişimi.....	121
Tablo 24. API tasarım felsefesi.....	127
Tablo 25. Ceket tipi platformun boyutları	143
Tablo 26. Yapıya etki edebilecek dalga, rüzgâr yükleri ve yapı ağırlığı.....	143
Tablo 27. Örnek 2 platformun boyutları.....	148
Tablo 28. Yapıya etki edebilecek dalga,rüzgar yükleri ve yapı ağırlığı.....	148

SEMBOLLER DİZİNİ

DWT	: Gemini yüküyle beraber ağırlığı (Dead Weight Ton)
Draft	: Yapının su altında kalan bölümü
TLP	: Gergi ayaklı platform (Tension Leg Platform)
API	: American Petroleum Enstitue
S	: Strouhal sayısı
V	: Hız
H	: Dalga yüksekliği
T	: Dalga periyodu
A	: Denizin durumu ile ilgili sabit
U	: Rüzgâr hızı
D	: Kazık çapı
R	: Maksimum rüzgâr hızının yarıçapıdır.
ρ_a	: Havanın yoğunluğu
C_d	: Elemanın geometrik şekline göre sürtünme katsayısı
$P(t)$: Zamana bağlı basınç gerilmesi
f_s	: Yayılma frekansı
ζ_a	: Dalga genliği
λ	: Dalga genişliği
k	: Dalga sayısı
ω	: Dairesel dalga frekansı
c	: Dalga faz hızı
a	: Amplitüd
η	: Sakin su seviyesinin üstündeki (veya altındaki) su kotudur
ϕ	: Hız potansiyeli fonksiyonu
P_o	: Serbest su yüzeyindeki basınç hava basıncı
$\xi(x,t)$: Genlik fonksiyonu
d	: Su derinliği
β	: Dalga faz açıları

- γ : Dalga faz açıları
 Δh : Dalganın orta çizgisi
 ω_p : Tepe frekansı
 α_n : Dalga verilerinden elde edilen şekil parametresini
 g : Yerçekimi ivmesini
 C_M : Atalet veya kütle katsayısı
 C_D : Sürüklenme katsayısı.
 f_i : Kazığın birim boyunun atalet kuvveti,
 f_D : Kazığın birim boyunda sürüklenme kuvveti,
 ρ : Sıvı yoğunluğu,
 u : Kazığın aksında su parçacıklarının yatay hızı
 η_c : Dalga zirvesinin yüksekliği
 ϕ_m : Elde olan grafiklerden elde edilen katsayıdır
 α_m : Şekillerinden elde edilen katsayıdır
 F_L : Kaldırma kuvveti
 F_{Lm} : Maksimumu kaldırma kuvveti
 C_L : Ampirik kaldırma katsayısı
 Δp : Basınç düşmesi
 Δp_0 : Merkezde basınç azalması
 u_w : Su seviyesinin 10m yükseklikteki rüzgâr hızı
 K : Boyutsuz bir katsayı
 A_p : Akım yönündeki iz düşüm alanı
 C_L : Silindir çemberler için yaklaşık $C_D / 3$ kadar alınan bir kaldırma kuvveti katsayısı
 U_{TZ} : z seviyesindeki akım hızı.
 U_{TS} : Yüzeydeki akım hızı,
 ψ : Açı cinsinden bulunan enlemdir
 $\sigma_{üg}$: Yer ivmesinin karesel ortalamasının karekökü
 $S_1(\omega)$: Yüksek geçiş filtresi

- ω_f : Filtrenin frekans
- ξ_f : Filtrenin sönüm parametrelerini
- f_{ic} : 7 ile 28 kg / cm^2 arasında değiştiği kabul edilen buz basınç mukavemeti,
- A_{ic} : kazık çapı veya yapı kalınlığı ile buz kalınlığının çarpımına eşit temas alanı
- F_{iw} : Sürükleyici kuvvet
- C_{iw} : Rüzgâr kesme gerilmesinin sürükleme katsayısı
- A_{is} : Buz tabakası yüzey alanı

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Açık deniz yapıları genel anlamıyla petrol ve doğal gaz üretimi için inşa edilen yapı türleridir. Açık deniz yapıları ile elde edilen petrol dünya enerji tüketiminin 1988 yılında %9'unu karşıladığı, bu değer 2000 yılında %24 ulaştığı bilinmektedir. Günümüzde ise bu rakam daha da yukarılara çıkmıştır. Dünyada zaman ilerledikçe açık deniz yapı teknolojisinin daha da ilerleyeceği tahmin edilmektedir. Bunun nedenleri arasında, dünyada enerji ihtiyacının artan bir eğilim göstermesi, karadaki enerji rezervlerinin azalmaya başlaması ve açık denizlerde keşfedilmemiş petrol yataklarının ve yeni enerji kaynaklarının bulunması sıralanabilir.

1950'li yılına kadar açık deniz teknolojisi denilince akla ilk olarak gemi inşaatı ve balıkçılık teknolojisi gelmekteydi. Ancak günümüzde, açık denizde petrol ve doğalgaz araştırmaları ve buna paralel olarak okyanusların dibinden bu doğal kaynakları çıkartma çalışmaları çok daha önemli olmuştur. Deniz altından petrol ve doğalgaz üretiminin sağladığı ekonomik faydalar son derece önemlidir. Bilhassa petrol ve doğalgaz sondajı, bunların çıkarılması, çıkarılan hammaddenin işlenmesi ve nakli için, o zamana kadar kullanılmamış araç ve gereçlerin tasarımı ve imalatı gerekli olmaktadır. Bunun içinde yeni teknolojilere gereksinim duyulmuş ve bu konuyla ilgili çalışmalar yoğunlaşmıştır. Açık deniz yapılarına günümüzde önemli bir ihtiyaç vardır ve bu doğrultuda sayıları gün geçtikçe artmaktadır. 1940'dan beri açık deniz yapıları sabit yapılar olarak inşa edilmeye çalışılmaktadır. Yapılan bu sabit açık deniz yapılarının su derinlikleri de artmaktadır. Bu derinlik artıkça bu durumu dikkate alabilecek yeni hesap yöntemleri geliştirilmek zorunda kalınmaktadır.

Dünyada açık deniz yapıları (Şekil 1) son yıllarda hızla artarak geniş bir alana yayılmaktadır. Açık deniz yapıları en genel anlamda platformlar olarak bilinmektedir. Petrol platformlarının yanı sıra denizlerdeki depolama tankları, tanker yükleme platformları, kazıklar üzerine inşa edilen deniz yapıları, denizaltı boru hatları ve açık deniz de rüzgâr enerjisi elde etmek için inşa edilen yapılar da açık deniz grubuna girmektedir. Açık deniz faaliyetlerinin araştırma, tasarım, makine imalatı, yapı inşası ile birlikte yapının

işletim süresince bakım ve onarımını da içerdiği göz önüne alındığında bu faaliyet alanının büyüklüğü ortaya çıkmaktadır.



Şekil 1. Açık deniz yapılarından örnekler [1].

1.2. Açık Deniz Yapıları ile İlgili Daha Önce Yapılmış Bazı Çalışmalar

Horr ve Safi [2], çalışmalarında Timoshenko boru eleman tekniğini kullanarak açık deniz platformlarının dinamik analizi üzerinde durmuşlardır. Borulu yapıların matematik modellemesindeki kesme kuvvetinin etkileri ve dönel titreşim elemanlarının davranışı başlıca önemli hususları teşkil etmektedir. Çalışmanın amacı sonlu elemanlar yönteminin (FEM) açık deniz yapılarında uygulanması olarak belirtilebilir. Açık deniz yapılarının dinamik analizinde sonlu elemanlar yöntemi ile Timoshenko boru eleman teorisi karşılaştırılmıştır. Çalışmada iki farklı analitik model kullanılarak sayısal örnek de yapılmıştır.

Newman ve Lee [3], yaptıkları çalışmada açık deniz yapı analizinde sınır elemanları yöntemini kullanmışlardır. Sınır elemanlar yönteminin geniş bir kullanım alanı vardır. Çalışmada dalga yükleri ve diğer hidrodinamik etkiler sınır elemanları yöntemi ile hesaplanmıştır. Dalga yükleri ve bunların tepkilerini hesaplamak açık deniz yap tasarımı

için önemli rol oynamaktadır. Yüksek sıralama ve düşük sıralama teknikleri kullanılarak elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Bonillier, Chakrabarti ve Christiansen [4], yaptıkları çalışmada rüzgar etkisinin yüzen açık deniz yapılarında önemli bir tasarım parametresi olduğunu simülasyon ve deneyler yardımıyla gösterilmeye çalışılmışlardır. Çalışmada rüzgar spektrumunun geniş bantlı olduğu gösterilmeye gayret edilmiştir. Yapılan deneysel çalışmada, değişik rüzgâr etkisini incelemek için bir fon modeli oluşturulmuştur.

Zheng ve Liaw [5], açık deniz yapılarının Price teoremi yaklaşımıyla tepki spektrumunun tahmini konusunda çalışmışlardır. Çalışmada Volterra serileri yöntemi yerine Fourier serilerine dayanan Price teoremi kullanılarak tepki spektrumu incelenmiştir. Açık deniz yapılarında başlıca dinamik tepkilerinin kaynağı dalga kuvvetleri olduğundan bunlar üzerinde durulmuştur. Çalışmada iki yaklaşım karşılaştırılarak VSFD yönteminin frekans değerlerinin, PTFT yöntemindeki hesaplanan frekans değerlerinden daha düşük olduğu görülmüştür.

Moses ve Stahl [6], karma çelik açık deniz yapılarının ISO standartlarında kalibrasyon gelişimi konusunda çalışmışlardır. Çalışma American Petroleum Institute (API) tarafından desteklenmiş ve açık deniz yapılarının yapımındaki gelişmeler incelenmiştir. Çalışmada yükler ve bunların tepki faktörlerinin tasarımdaki etkisi üzerinde durulmuştur. API çalışmalarına dayanan ISO-LRFD kalibrasyon kriterleri tartışılmıştır.

Schulz ve Kallinderis [7], çalışmalarında hidrodinamik yüklerin sayısal tahmini ve açık deniz yapılarında girdap titreşim etkisi konusu irdelenmiştir. Açık deniz yapılarında hidrodinamik yüklerin sayısal olarak temsili üzerinde durulmuştur. Sıkıştırılmaz akışkanların etkileri açık deniz biliminde karşılaşılan zorluklandıdır. Sıkıştırılmaz akışkanların yapılara ve esnek yapılara etkisi incelenmiştir. Çalışmada yükselen bir açık deniz yapısı modellenmesi yapılmış ve bu modelde frekans, ortaya çıkan dinamik tepkiler ve sayısal değerler irdelenmiştir.

Heredia-Zovani ve Montes-Iturrizaga [8], boru elemanlarda yorulma zararlarının olasılık dağılımının Bayesian modellenmesi üzerine çalışılmıştır. Yorulmadan kaynaklanan zararlar bu tür yapılar için en önemli konularındandır. Açık deniz yapılarında bu yorulma genelde dalga yüklerinden meydana gelmektedir. Yapının ömrü boyunca bu zararlar birikerek çatlamalara ve yapıda deformasyonlara neden olmaktadır. Bunun için açık deniz yapılarının boru elemanlarında kırılma ve çatlama mekaniğini parametrelerinin Bayesian modeli yardımıyla olasılık dağılımı üzerinde durulmuştur.

Bea [9], çalışmasında açık deniz yapılarının güvenilirlik analizinde performans şekil değerlendirme faktörlerini incelemiştir. Çalışmada anlatılmak istenen niteliksel değerlendirme ve niteliksel olasılık arasındaki ilişki ki bu analizler açık deniz yapılarının güvenlik hesaplarında kullanılmaktadır. Tasarım esnasında güvenlik hesaplarını yapmak için sayısal bir yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemde birbirini izleyen belli adımlar vardır. Bu yönteme SMAS (Safety Management Assessment System) adı verilmiştir.

Sweetman [10], açık deniz yapılarında pratik olarak hava aralığı hesabının nasıl yapılacağı konusunda çalışma yapmıştır. İstenilen hava aralığı konusunda iki yeni yöntem geliştirilmiştir. Örnek bir model üstünde bu iki yöntemle hesaplamalar yapılmış ve elde edilen değerler tartışılmıştır.

Taiebat ve Carter [11], çalışmalarında açık deniz yapı temellerinin kısmi deneysel yöntemlerle sınılaşma analizleri konusu üzerine durmuşlardır. Çalışmada açık deniz yapıları için 3 boyutlu sınılaşma analizleri gerçekleştirilmiştir. Mohr-Coulomb modeli kullanılmıştır. Periyodik yükler altındaki yapı davranışı deneysel olarak incelenmiştir. Deniz yapı temeline genelde periyodik yüklere ki bunlar dalga kuvvetleri örnek olabilir maruz kalırlar. Bu yükler genelde kısa periyotlarda yüksek genliklere sahip olurlar. Taneli zeminde periyodik yükler altında laboratuvar şartları altında testler yapılmış ve temellerin tepkileri incelenmiştir.

Suhardjo ve Karem [12], rastgele oluşan dalgalar altında açık deniz platformlarının geri-ileri beslemeli kontrolü konusunu incelemişlerdir. Çalışmada hidrodinamik sürtünme kuvveti JONSWAP dalga spektrumu kullanılarak hesaplanmıştır.

Ferrant, Le Touze ve Pelletier [13], açık deniz yapılarının düzensiz dalga kırınımı için bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada dalga kırınımının zaman etki alanı içinde sayısal simülasyon yardımıyla modellenmesi yapılmıştır. Bu konuyla ilgili çalışmada iki farklı yöntem sunulmuştur. Hidrodinamik etkileşimin etkilerini doğru bir şekilde tahmin edebilmek, açık deniz yapı tasarım ve yapımı için önemli konudur.

Ellermann [14], deniz yapılarının rastgele dalgalarda doğrusal olmayan dinamiği konusunda çalışma gerçekleştirmiştir. Açık deniz yapılarının ve gemilerin dinamiğinde birkaç farklı etki ön plana çıkmakta ve bunlardan bazıları lineer olmayan karakteristiğe sahiptir. Çalışmada okyanus dalgaları Pierson-Moskowitz ve Jonswap dalga spektrumları ile tanımlanmıştır

Yazdchi [15], açık deniz borularının ve platformların dinamik analizi için su üstünde kalmasını sağlama teknikleri konusunda çalışma gerçekleştirmiştir. Çalışmada hidrostatik

ve hidrodinamik yükler ele alınmıştır. Boru elemanların izotropik, homojen ve lineer olduğu kabul edilmiştir. Eksenel kuvvet, eğilme momenti ve kesme kuvveti nedeniyle oluşan deformasyon etkileri tartışılmıştır.

Ramos, Pereira, Darwish, Motta ve Carneiro [16], tekil yada çoğul aşırı yüklemelerin çelik yapı üzerinde artan yorulmalara etkisi üzerine inceleme yapmışlardır. Söz konusu yüklerin çatlamalara etkileri ve bu çatlamaların nasıl yavaşlatılabileceği değerlendirilmiştir.

Lee ve Bowness [17], boru elemanlı açık deniz yapılarında, yorulma üzerinde çalışma yapmışlardır. Çalışmada açık deniz yapılarında boru elemanların bağlantı yerlerinde yorulmadan kaynaklanan kırılma mekaniği incelenmiştir.

Thompson ve Harper [18], açık deniz yapılarında kontrol durumunun geçerli yeni yaklaşım modeli ve ölçek modelinin yönleri konusunda çalışma gerçekleştirilmiştir. Açık deniz yapıları sonlu tasarım ömrüne sahiptir ve beklenen ömür bazı geçerli nedenler olmadan uzatılamaz, yapı denetim sistemini dahil etme gibi. Projeye uygun modelleme yapılarak buna akustik sinyaller gönderilir ve bu sinyallere göre yapının davranışı incelenmiştir.

El Naggar, Shayanfar, Kimiaei ve Aghakouchak [19], açık deniz yapı kazılarının doğrusal olmayan yer hareketi analiz bilgileri ile doğrusal olmayan sismik tepki analizi için basitleştirilmiş BNWF modelini ortaya koymuşlar. Açık deniz yapılarının temel kazıkları doğrusal olmayan çok güçlü sismik tepkilere maruz kalırlar. Açık deniz platformları için bu temel kazıkları çok önemlidir. Bu çalışmada basit bir şekilde bu yapıların dinamik hareketi incelenmiştir. Bunun için BNWF (Beam Nonlinear Winkler Foundation) modeli kullanılmıştır. Bu modelin hesaplamalarında ise ANSYS bilgisayar programı tercih edilmiştir. Bu çalışma yer hareketinin tepki analizleri ve sismik tepkilerin bu kazıklara yaptığı etki üzerine çalışılmıştır. Deprem nedeniyle meydana gelen sismik tepkiler nedeniyle kazılar, zemin ve yapı arasındaki etkileşim incelenmiştir. Bu konuyla ilgili birçok çalışma ve sayısal yöntem vardır.

Moe ve Niedzwecki [20], çalışmalarında maksimum geniş bantlı olasılık yöntemlerinin frekansı çalışmada incelenmiştir. Bir çok mühendislik problemi olası yada rasgele meydana gelen doğa olayları nedeniyle ortaya çıkmaktadır. Doğal çevre için bu olaylar bir gerçektir örnek olarak rüzgar, dalga ve depremler gibi ki bunlar açık deniz yapıları üzerinde çok önemli yükler oluştururlar. Yapı tasarımı açısından beklenen en yüksek değerleri belirlemek çok önemlidir. Çalışmada bu değerleri bulmak için bir

frekans bant aralığı bulunmaya çalışılmış ve bu yapılırken Gaussian ve Pierson-Moskowitz dalga modeli kullanılmıştır.

Naess ve Karlsen [21], açık deniz yapılarında dalgalar nedeniyle oluşan yüksek geçiş ve ekstrem tepki seviyelerinin sayısal metotlarla hesaplanması konusu üzerinde çalışmışlardır. Akıntı ve yatay yer hareketi nedeniyle oluşan ve platform ayaklarını etkileyen kuvvetleri stokastik olarak hesaplanmaya çalışılmıştır.

Nichols [22], çevredeki uyarıcıları kullanarak açık deniz yapılarının yapısal dayanım denetlenmesi konusunu incelemiştir. Bu çalışmada çevredeki uyarıcıların yapı üzerindeki etkisi araştırılmıştır ve açık deniz yapılarında meydana gelebilecek zararları bulmak için deneysel modeller yapılmıştır. Açık deniz yapıları periyodik dalga kuvvetlerine, şiddetli fırtınaya, deniz depremlerine ve deniz suyunun neden olduğu korozyon etkilerine dayanmak zorundadır. Bu bağlamda yapıları bu yönlerden denetlemek ve bu yüklere karşı dayanabilmesi için yeni teknikler araştırmak amacıyla gerçekleştirilmiştir.

Grime ve Langley [23], sabit açık deniz yapılarında ekstrem hareketleri tanımlamak için en uygun geçiş değerinin tahmin yöntemleri kullanarak bulunması üzerinde durmuşlardır. Sabitlenmiş yüzen açık deniz yapılarına etkileyen ekstrem hareketler karşısındaki yapının tepkisi ve bunların tahmini açık deniz yapı endüstrisinde en önemli konulardan biridir ve bunların tahmin edilebilmesi de oldukça zordur. Yapının tasarım sırasında bazı değerler tam olarak bilinemeyebilir. Bunun tahmini için deneysel bileşenler ve istatistiksel yöntemler kullanılmaktadır. Çalışmada bu geçiş değerlerini Faltinsen ve Lokenin yaklaşımını kullanarak bulmaya çalışılmıştır.

Harland, Taylor ve Vugts [24], açık deniz yapıları üstündeki aşırı kuvvetler ve onun değişkenliği konusunda çalışılmıştır. Açık deniz yapılarının tasarımında aşırı kuvvetler çok önemlidir. Bunlar genelde yüzyılda çıkabilecek ekstrem kuvvetlerdir. Çalışma değişkenlik gösteren tasarım dalga kuvvetlerinin nasıl değerlendirileceği ve yorumlanacağı üzerinde yoğunlaşmıştır. Bunun için sayısal uygulamalar da gerçekleştirilmiştir.

Langen ve Skjastad [25], açık deniz ağırlık platformlarının dinamik davranışlarının tahmini ve hesaplanması konusunu incelemiştir. Gullfaks C platformunun dinamik özelliklerini ve dinamik davranışları incelenmiştir. Çalışmada platformun ölçülendirilmesi ve sayısal tahminleri yapılmıştır.

Naess ve Pisano [26], sürtünme kuvvetinin etkin olduğu açık deniz yapılarında dinamik tepkilerin frekans etki alanı konusunda çalışmıştır. Açık deniz yapılarının

düzensiz dalgalar nedeniyle maruz kaldığı hidrodinamik sürtünme kuvvetlerini tanımlanmakta ve stokastik yaklaşımlar kullanılmaktadır.

Hung, Cuong ve Quan [27], Vietnam deniz koşullarında açık deniz yapılarının genel güvenilirliğini sağlamak, nihai ve yorulma limit durumlarını birleştirmek konusu üzerinde çalışmışlardır.

Çalışma;

*Dalga yüklerinin Vietnam deniz koşullarında ceket elemanlar üzerinde etkisi,

*Yorulma yükleri nedeniyle çelik ceket tipi yapıların güvenirliliği,

*Yorulma yükleri nedeniyle beton ağırlık tipi yapıların güvenirliliği,

*Genel yapı güvenirliliğini sağlamak ve tasarım için yeni bir yaklaşım, konularını içermektedir.

Benjamin ve Darell [28], açık deniz yapıları üzerinde dalga grubu etkilerini incelemişlerdir. Açık deniz yapılarının dinamik tepkisini hesaplamak için birçok yöntemde dalga spektrumu kullanılmaktadır. Dalga grupları içinde en geniş dalganın etkisini bilmek tasarım aşamasında önemlidir, çünkü bu yapının zarar görmesine neden olabilir. Çalışmada dalga kuvvetlerinin açık deniz yapıları üzerindeki dinamik etkileri analitik olarak incelenmiştir.

Yang, Li ve Hu [29], açık deniz yapılarında enerji dağıtma yöntemiyle zararların yerinin belirlenmesi konusunda çalışma yapmıştır. Çalışmada açık deniz yapılarında görülen zararların yerinin belirlenmesi incelenmiş ve uygulanabilir iki ve üç boyutlu kafes yapılar sunulmuştur.

Rudlin [30], açık deniz yapısının yorulma çatlamlarının denetlenmesi üzerinde çalışma yapmıştır. Bilindiği gibi açık deniz yapıları yorulma çatlamlarına neden olan dalga ve rüzgar yüküne maruz kalmaktadır. Çatlakların büyüme oranı yükün geçmişine, çevreye, yapı ve elemanların tasarımına bağlıdır. Bu nedenle çalışmada bunun periyodik olarak denetlenmesi vurgulanmıştır.

Mistree, Lyon ve Shupe [31], açık deniz yapılarının tasarımında zarar toleransı konusu üzerinde çalışmışlardır. Çalışmada açık deniz yapıları zarar toleransı üzerinde tartışılmış ve bu konuda bir metod geliştirilmeye çalışılmıştır. Çalışmada bu konuda bir modelleme yapılmış ve bu model üzerinde sonlu elemanlar yöntemiyle sayısal uygulamalar yapılmıştır.

Hayward, Pearson ve Stirling [32], açık deniz yapılarında su baskınlarının farkına varmak için akıllı ultrasonik kontrol sistemi üzerinde çalışmışlardır. Çalışma açık deniz

yapılarının maruz kaldığı su baskınlarının yüksek frekanslı ses dalgaları yardımıyla denetlenmesi üzerine yapılmıştır. Çalışmada örnek bir modelleme yapılmıştır ve elde edilen sonuçlar irdelenmiştir.

Bekker ve Komarova [33], açık deniz yapılarında buz etkisinin güvenilirlik değerlendirmesi konusunda çalışma gerçekleştirmiştir. Donan denizlerde bulunan gaz ve petrol işleyen yapıların güvenlik problemi üzerinde durulmuştur. Buzul kütlelerinin sürüklenmesi nedeniyle açık deniz yapıları üzerinde bir dış yük oluşmaktadır. Gaz ve petrol işleme ve keşfi için uygun olmayan çevre koşullarında kurulan açık deniz yapıları büyük risk taşımaktadır. Bu yapılar rüzgar, dalga, buz, sıcaklık değişimi ve deprem gibi birçok dış yüklere maruz kalmaktadır. Kuzey bölgelerde soğuk hava koşullarında ve donan denizlerde, buz yükleri tasarımda önemli rol oynar. Çalışmada buz kütleleri geometrik, kinematik, fiziksel ve mekanik olarak incelenmiştir.

Ozakı ve Hayashı [34], açık deniz bina yapılarının deprem tasarımı konusu üzerinde çalışmıştır. Çalışmada açık deniz yapı fonksiyonları, Japonya'nın sismik özellikleri konusu incelenmiştir.

Reddy ve Cheema [35], rastgele oluşan buz kuvvetlerine karşı açık deniz yapılarının tepkisi konusu üzerine çalışmıştır. Çalışmada fiziksel modelleme yapılarak bunun üzerinden sayısal uygulama gerçekleştirilmiştir.

Abdelnour, Comfort, Pilkington ve Wright [36], açık deniz yapıları üzerinde buz kuvvetleri konusunda çalışılmışlardır. Çalışmada bir açık deniz yapısı üzerinde modelleme yapılarak buz kuvvetlerinin etkisi gerçek yapı ile karşılaştırılmıştır. Çalışmada karşılaştırılan gerçek yapı olarak Kanada Körfezi'ndeki sondaj yapısı seçilmiştir.

Karadeniz [37], açık deniz yapılarında olasılık ve yorulma güvenlik analizi için ileri düzeyde yazılım programı üzerinde çalışmıştır. Çalışmada gelişmiş yöntemler kullanılarak spektral, stokastik yorulma ve yorulma güvenilirlik analizi yapan SAPOS programını geliştirmiştir. SAPOS programı, pratik uygulamalar için tasarlanmış ve daha ileriki araştırmalar içinde kullanılabileceği belirtilmiştir. Programın girdi ve çıktıları açıklanmış ve üçayaklı bir açık deniz platformu için girdi ve çıktı dosyaları gösterilmiştir. SAPOS programında elde edilen sonuçlar basit bir şekilde açıklanabilecek şekildedir. SAPOS programında dalga kuvvetleri Morisons eşitliğine göre hesaplanmaktadır. Şiddetli deniz koşullarında ise Pierson-Moskowitz ve Jonswap spektrumları kullanılmaktadır. SAPOS programı Fortran 77 dilinde yazılmıştır.

Chen ve Milburn [38], açık deniz yapısı üzerinde doğrusal olmayan dalga etkileşiminin etkisini sayısal olarak incelenmiştir. İncelemede dinamik tepkiler Morisons eşitliğine göre yapılmıştır. Dalgalar sınıflandırılarak bunlar arasında karşılaştırmalar yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar analiz edilmiştir. Doğrusal olmayan dalga tanımlanmış ve bu dalgalara yapının tepkisi incelenmiştir.

Cornet ve Timco [39], buz yüklerinin etkisinin Molikpaq yapısı üzerindeki etkisini incelemiştir. 1986 yılında Kanada'nın Beaufort denizinde Molikpaq yapısı sondaj esnasında buz yüklerine maruz kalmış bu da araştırmacılar tarafından buz yüklerinin etkisinin incelenmesi gerektiğini ortaya koymuştur. Çalışmada bu yapının buz yükleri etkisi altında bir elastik modellemesi yapılmış ve çalışmada buz yüklerinin yapı üzerindeki yaptığı deformasyonlar araştırılmıştır. Çalışmada buz yüklerinin genel karakteristikleri için grafikler sunulmuştur.

Winterstein ve Engebretsen [40], tasarım yüklerini tahmini ve yüzen okyanus yapılarının tepkisi üzerine bir çalışma yapmışlardır. Örnek bir modelleme yapılmış ve bundan elde edilen sayısal değerler irdelenmiştir. Yapılan incelemelerde değişik yapı türleri üzerine çalışılmış ve bunlar arasında kıyaslamalar gerçekleştirilmiştir.

Krunic ve Winterstein [41], ekstrem dalga tepelerinin olasılıkla modellemesi konusunda çalışma yapmışlardır. En uç dalga tepesi, en düşük dalga tepesi ve ortalama dalga tepesi dikkate alınmıştır. Yapılan modellemelerle değişik durumlardaki dalgaları incelemiştir. Dalga kuvvetlerin hesaplamak için katsayılar önermişlerdir.

Williams, Thompson ve Housby [42], açık deniz jack-up platform elemanlarının lineer olmayan dinamik analizi konusunu incelemiştir. Çalışmada jack-up yapı elemanlarının fırtına yükleri altında iki boyutlu sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak lineer olmayan dinamik analizi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen değerler irdelenerek frekans diyagramları çizilmiştir.

Jha ve Winterstein [43], lineer olmayan okyanus dalgalarının tahmini ve bunların elde edilen bilgilerle karşılaştırılması konusunda çalışma yapmışlardır. Çalışmada hidrodinamik kuvvetler temel esaslarıyla incelenmiştir. Çalışmada dalga etkilerine ilişkin bağıntıların çıkarılması elde edilen veriler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu şekilde dalga modellemesi yapılmıştır.

Özüdoğru [44], açık deniz yapılarının asismik geoteknik tasarımı hakkında bir çalışma sunmuştur. Çalışmasında bir açık deniz yapısının deprem tasarımı esnasında dikkat

edilmesi gereken parametreleri söylemiştir. Dinamik analiz için zemin parametreleri ve zemin- yapı- su sistemi incelenmiştir.

Mestanzade ve Yazıcı [45], çalışmalarında yüzen platformların (TLP) dinamik davranışları konusunu incelemişlerdir. Bu yapılar deniz madenlerinde kazık yapmak ve petrol çıkarmak için kullanılmaktadır. Çalışmada örnek bir yapı üzerinde dinamik incelenmeler yapılmış ve 1/100 ölçeğinde bir model oluşturulmuştur. Bu model üzerinde deneyler yapılmış, elde edilen deney sonuçları teorik değerler karşılaştırılmıştır. Çalışmanın sonucunda TLP model testinde alınan sonuçlar ile teorik sonuçlar arasındaki farkın %15 olduğu görülmüştür. Dinamik deney sonuçlarından, halatlarda çekme kuvvetinin küçük olduğunda, hesap ve test sonuçlarının arasındaki farkların az olduğu görülmüştür.

Zhao ve Burdekin [46], çalışmalarında açık deniz yapılarının dinamik yapısal bütünlüklerini incelemişlerdir. Bu tür yapıların, elemanları ve bileşenleri statik ve dinamik yüklere maruz kalırlar. Bu çalışmada iki tür dalga teorisi üzerinde durulmuştur. Bunlar Stokes ve Gridded dalga teorileridir. Çalışmalarında ABAQUS yazılımından yararlanmışlardır. Bu bağlamda modelleme teknikleri geliştirmişlerdir.

1.3. Açık Deniz Yapılarının Temel Esasları

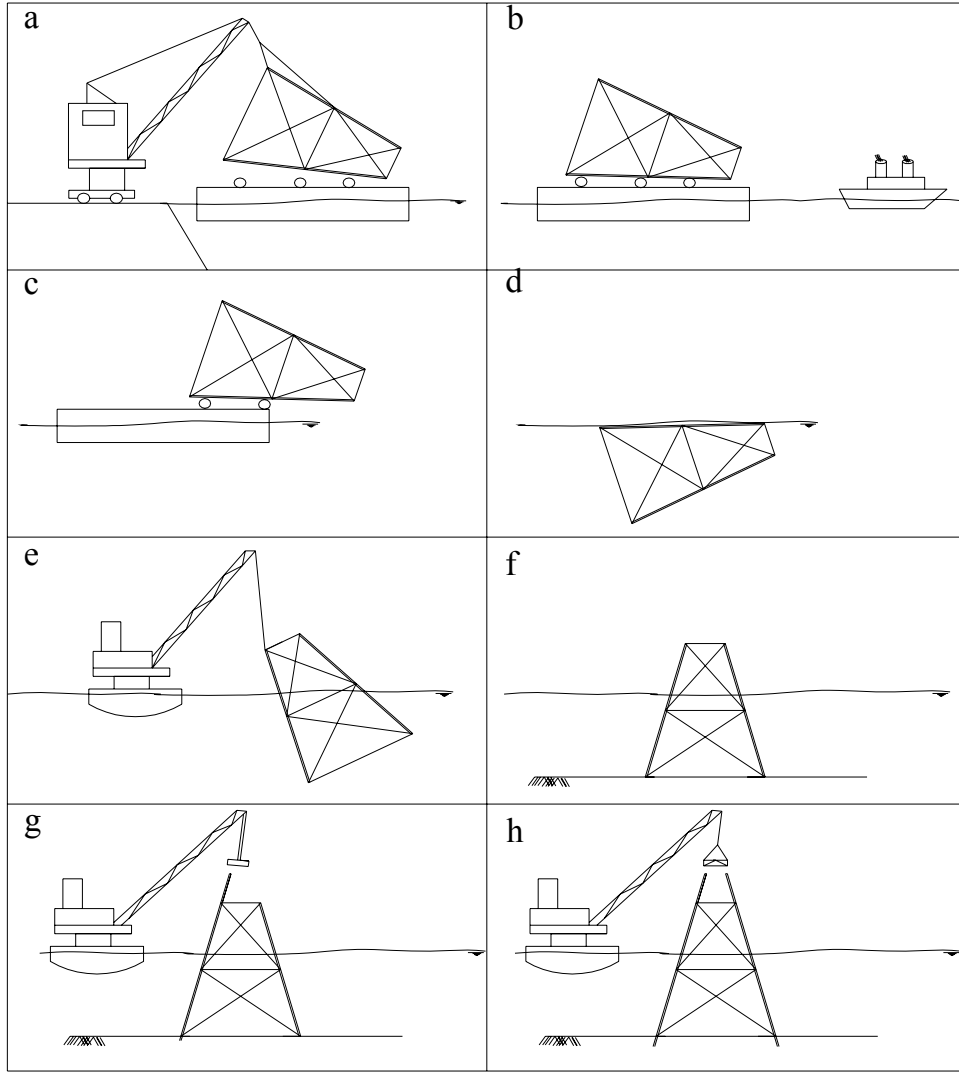
Açık deniz yapılarının, doğalgaz ve petrol alanında gelişiminde dört ana teknik aktivite bulunmaktadır. Bunlar;

- Mühendislik ve tasarım faaliyetleri
- Üretim ve saklama faaliyetleri
- Kuyu üretimi için sondaj çalışması
- Yükleme sisteminin sağlanması (tanker, borular)

Bir açık deniz yapısının başlangıcından sonuna kadar takip eden dört temel süreç bulunmaktadır

- Aktarma
- Kurulum
- Çalışma
- Yapı Ömrü

Şekil 2’de açık deniz yapısının basit bir üretim gösterimi vardır.

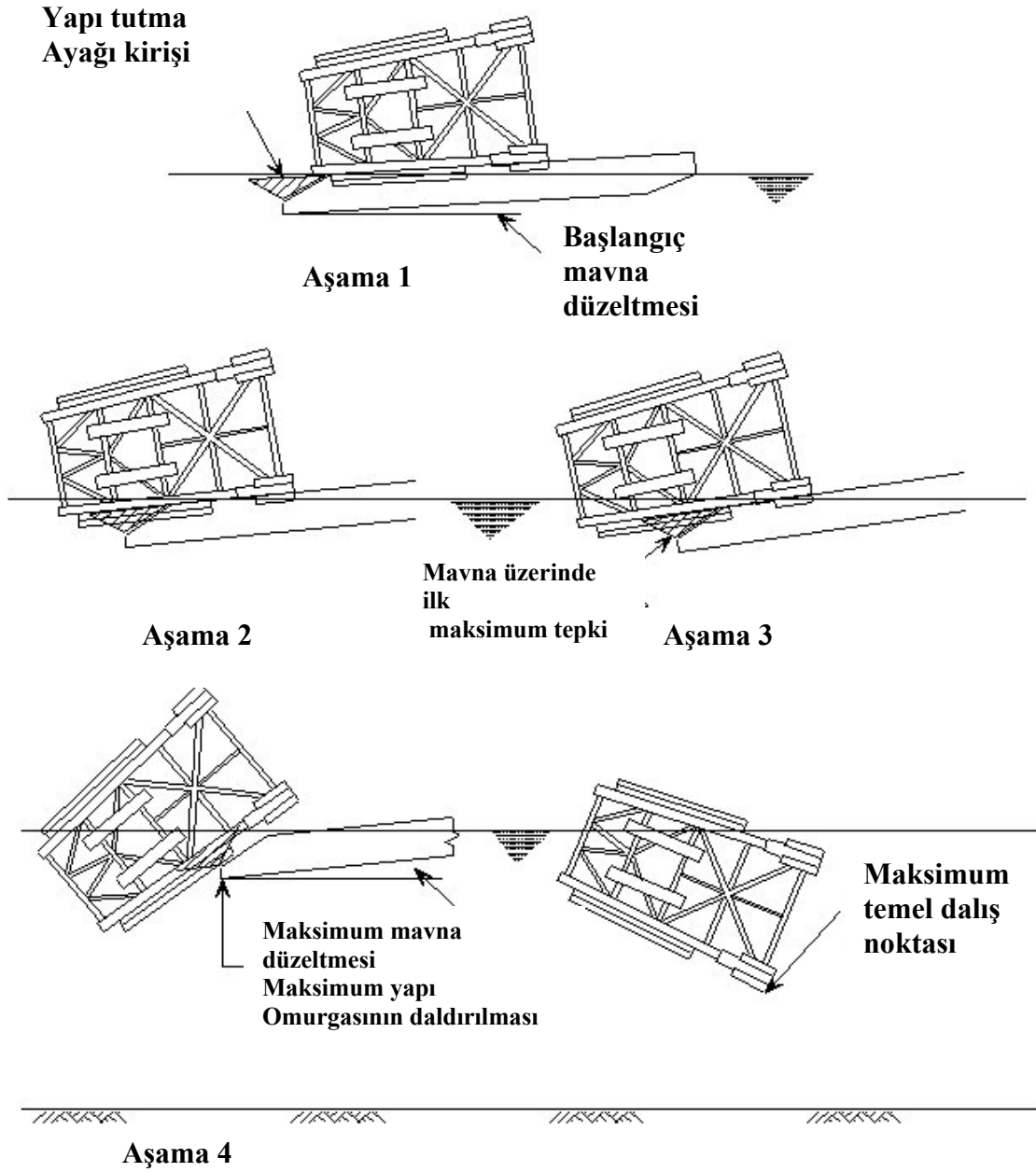


Şekil 2. Açık deniz yapısının üretimi [47].

1.3.1. Aktarma

Tersanelerde ya da inşa alanlarında yapımı biten açık deniz yapısının bir şekilde çalışma alanına getirilmesi gerekmektedir. Açık deniz yapıları deniz içinde faaliyet gösterdikleri için genelde gemiler yardımıyla götürülmektedir. Bu yapılar bir bütün olarak götürüldüğü gibi, elemanlar olarak götürülüp monte edilebilir. Yapının denize inişi sırasında çok dikkatli olunmalıdır. Çünkü tonlarca ağırlığında yapı denize yerleşim sırasında batabilir. Şekil 3’de açık deniz yapılarının denize indirilişi, suyun içine

yerleştirilmesi ve götürülmesi gösterilmiştir. Şekil 4’de ise söz konusu yapıların tamamının aktarılması görülmektedir.



Şekil 3. Açık deniz yapısının aktarılması [48].

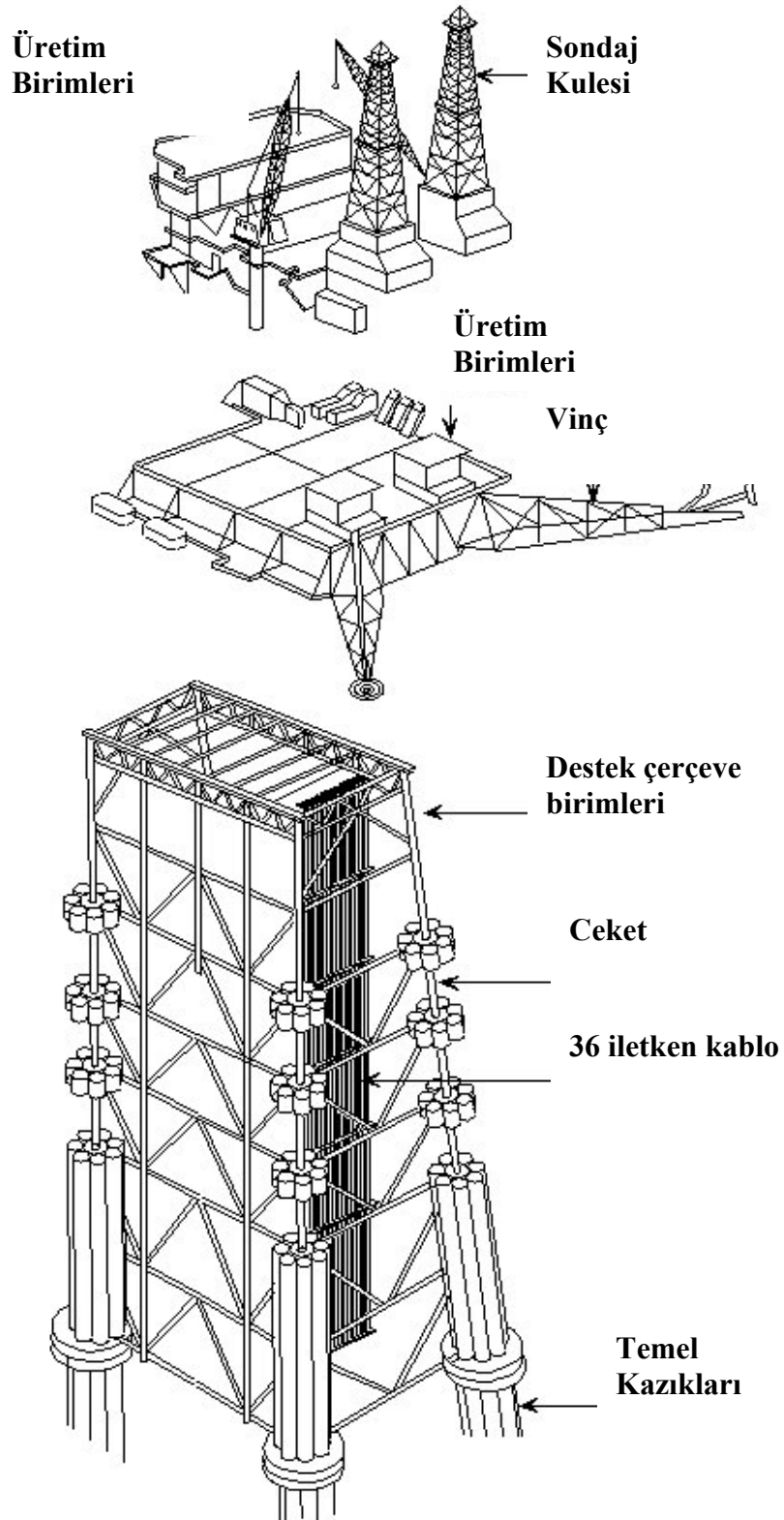


Şekil 4. Açık deniz yapısının tamamının aktarılması [49].

1.3.2. Kurulum

Açık deniz yapıları genel olarak çelik elemanlardan oluşmaktadır. Açık deniz yapısının kurulumu bir geminin yapım aşamalarına benzemektedir. Bu yapıların kurulumunda açık deniz yapıları saç ve bazı çelik elemanları birleştiren kaynak teknolojisi ya da çelik elemanların ara bağlantı elemanları çok büyük önem kazanmaktadır. Bu yapıların uzun dönemde etkilenecekleri yüklerden dolayı kaynak dikişlerinin kopması ya da bağlantı elemanlarının görevini yerine getirememesi gibi sorunlar suyun içinde bulunan yapıda çok büyük sorun teşkil edebilir. Bunun için yapının kurulum esnasında çok dikkatli olunmalıdır.

Kurulum ya denizin içinde bölüm bölüm birleştirilerek ya da bir bütün olarak inşa alanında yapılır. Örnek olarak Şekil 5’de bir açık deniz platformunun birleştirilmesi şematik olarak görülmektedir. Şekil 6’da ve Şekil 7’de ise açık deniz yapılarının kurulumları değişik yönlerden görülmektedir.



Şekil 5. Tipik ceket tipi platformun kurulum birimleri [48].



Şekil 6. Açık deniz yapısının kurulumu [50].



Şekil 7. Açık deniz yapısının kurulumu [51].



Şekil 9. Açık deniz yapısının çalışması [53].

1.3.4. Yapı Ömrü

Her yapının bir ömrü olduğu gibi açık deniz yapılarının da bir çalışma ömrü vardır. Fakat açık deniz yapıları çalışma koşulları nedeniyle klasik yapılardan farklı özelliklere sahiptirler. Genel anlamıyla düşündüğümüzde bu yapılar petrol hammaddesi ile iç içe oldukları için yangın, patlama ve bunun gibi olayların meydana gelme olasılığı normal bir yapıda meydana gelme olasılığından çok daha yüksektir. Açık deniz yapılarında kullanılacak malzemenin de çok kaliteli olması ve deniz suyuyla temas halinde olduğu için normal yapılarda kullanılan betondan ya da çelikten daha kaliteli olması gerekir. Bu malzemelerin en önemli özelliği ise korozyona karşı dayanıklı olmaları gerekmektedir.

Yapı ömrü ile ilgili diğer bir problem ise mühendislik ve imalat esnasında yapılacak hatalardır. Tasarım esnasında yapılacak en ufak bir hata ya da imalat esnasındaki kaynak dikişinin ya da bağlantı elemanın hatası yapının görevini yerine getirememesine neden olabilir. Bu yapı ömrünü beklenenden kısa yapar bu da istenilmeyen bir durumdur. Yapı ömrüne ilişkin iki olay Şekil 10 ve Şekil 11’de görülmektedir.



Şekil 10. Açık deniz yapısının ömrü [54].



Şekil 11. Açık deniz yapısının ömrü [55].

1.4. Açık Deniz Yapılarının Türleri

İnşa edilecek bir açık deniz yapısının türünü belirlerken bazı kıstaslar göz önüne alınmalıdır. Bu kıstaslar en genel anlamıyla düşünüldüğünde, yapının kullanım amacı, çalışma alanı ve etkileneceği çevresel koşullar olarak söylenebilir. Günümüzde genel anlamda bilinen dört ana model açık deniz yapısı vardır.

- Sondaj Gemileri
- Yarı Dalgıç Yapılar
- Dalgıç Yapılar
- Yükselen Platformlar

Aşağıda bu dört yapı tipi ile ilgili olarak örnekler ve verilen bu örneklerin teknik özellikleri sunulmaktadır. Verilen örnekler bu konuyla ilgili iki büyük şirketi olan Transocean ve Noble tarafından inşa edilmiştir.

1.4.1. Sondaj Gemileri

Sondaj gemileri; sondaj kulesi, ay havuzu denilen bir açıklığın üzerine oturtulmuştur. Sondaj gemileri diğer platformlara nazaran demirleme ve DWT (Dead Weight Ton) bakımından avantajlı, fakat dalga yüklerinin etkisiyle yalpa, dalıp çıkma gibi hareketleri yapmaya daha yatkındır. Sondaj gemilerinin birçokları geleneksel demir ve demir halatlarından ibaret bir sabitleme sistemine sahiptirler. Sondaj sırasında demirler gemi etrafında çeşitli yönlerde dağıtılırlar. Yeni yapılan en gelişmiş tekneler ise, yerlerinde dinamik pozisyonlama sistemi ile durabilmektedir. Bunlar bilgisayar kontrollü, gövdenin muhtelif yerlerine yerleştirilmiş iticilerle çalışmaktadır. Demir halatlarına bağımlı olmanın avantajı belirgindir. Bunlar sondaj gemisinin kullanabileceği su derinliğini de sınırlamaktadır. Çünkü ağır demirler ve zincirler, geminin yükünü artırmaktadırlar. Dinamik pozisyonlama sistemine sahip gemiler değişen rüzgâr, dalga ve akıntı şartlarına da çok kolay ve çabuk uyum göstermektedirler. Sondaj gemilerinin dezavantajları; güverte alanlarının dar olması, dalgalı deniz durumlarında zayıf stabiliteye sahip olmaları ve sondaj işlemlerinin büyük hareketlere uygunluğu gerekmektedir. Dinamik pozisyonlama sistemleri dalgaların meydana getirdiği salınımlara karşı çok az etkin olmaktadır.

Sondaj gemilerinin başta gelen avantajları; düşük ulaşım maliyeti ve zamanı, güverte yükünün ve vinç yükünün fazla olması ve hareket kabiliyetleridir. Diğer tipler ister çekilsinler, ister kendileri hareket etsinler, birkaç millik hıza sahiptirler. Sondaj gemileri ise normal geminin hızı ile hareket edebilirler. Sondaj gemilerinin sayısı günümüzde artmıştır ve sondaj çalışmaları için tercih edilir olmuştur. Sondaj gemileri çok büyük gemilerden meydana gelmektedir. 1980 yılında dünyada 90 adet sondaj gemisi vardır [50]. Günümüzde ise bu sayı çok artmıştır. Çünkü bu geminin yapacağı işlem açısından teknik şartları sağlaması gerekir.

Aşağıda iki büyük şirket olan Transocean ve Noble şirketlerinin sondaj gemileri örnek olarak verilmiştir. Bu örneklerde bunların genel ve teknik özellikleri gösterilmeye çalışılmıştır.

- Noble Leo Segerius (Şekil 12), (Tablo 1)
- Noble Muravlenko (Şekil 13), (Tablo 2)
- Transocean Deepwater Pathfinder (Şekil 14), (Tablo 3)
- Transocean Discoverer Spirit (Şekil 15), (Tablo 4)
- Transocean Deepwater Discovery (Şekil 16), (Tablo 5)

Örnek 1.Noble leo sergerius



Şekil 12. Sondaj gemisi I [50].

Tablo 1. Örnek 1 sondaj gemisinin teknik özellikleri [50].

Genel Bilgiler		Kapasiteler	
Yapı Türü	Sondaj Gemisi	Personel Sayısı	115
Tasarlayan	Gusto Engineering Pelican Class	Değişken Yük	540 kN
Yapım	RSV Gusto, Holland	Beton Hacmi	552 m ³
Yapım Yılı	1981; 1997; 2002	Sıvı Çamur	693 m ³
Su Derinliği	1699 m	Sondaj Suyu	1693 m ³
Sondaj Derinliği	6096 m	Kullanma Suyu	693 m ³
Gövde Boyutları	156 m x 26 m x 13 m	Yakıt	2661 m ³
Operasyon Draftı	7 m	<u>Donanımlar</u>	
Seyir Draftı	7 m	Çekiş Gücü	2250 kW
Fırtına Draftı	7 m	Pompalar	1200 kW
Çalışma Alanı	Brezilya	Toplam Güç	14400 kW
		Kaldırma Yüğü	455 kg
		Vinç Boyutları	56mx13mx11 m
		Güverte Açıklığı	7mx8 m

Örnek 2.Noble muravlenko



Şekil 13. Sondaj gemisi II [50].

Tablo 2. Örnek 2 sondaj gemisinin teknik özellikleri [50].

<u>Genel Bilgiler</u>		<u>Kapasiteler</u>	
Yapı Türü	Sondaj Gemisi	Personel Sayısı	116
Tasarlayan	Gusto Engineering Pelican Class	Değişken Yük	540 kN
Yapım	Rauma-Repola Oy, Pori, Finland	Beton Hacmi	552 m ³
Yapım Yılı	1982; 1997	Sıvı Çamur	693 m ³
Su Derinliği	1400 m	Sondaj Suyu	1700 m ³
Sondaj Derinliği	6096 m	Kullanma Suyu	693 m ³
Gövde Boyutları	149mx29mx13 m	Yakıt	2661 m ³
Operasyon Draftı	7 m	<u>Donanımlar</u>	
Seyir Draftı	7 m	Çekiş Gücü	2250 kW
Fırtına Draftı	7 m	Pompalar	1200 kW
Çalışma Alanı	Brezilya	Toplam Güç	14400 kW
		Kaldırma Yüğü	4,55 kN
		Vinç Boyutları	56mx13mx11 m
		Güverte Açıklığı	7mx8 m

Örnek 3. Transocean deepwater pathfinder



Şekil 14. Sondaj gemisi III [49].

Tablo 3. Örnek 3 sondaj gemisinin teknik özellikleri [49].

<u>Genel Bilgiler</u>		<u>Kapasiteler</u>	
Yapı Türü	Sondaj Gemisi	Personel Sayısı	116
Tasarlayan	R&B/Conoco	Değişken Yük	210 kN
Yapım	Samsung Heavy Industries, Korea	Beton Hacmi	453 m ³
Yapım Yılı	1998	Sıvı Çamur	2520 m ³
Su Derinliği	3048 m	Sondaj Suyu	2242 m ³
Sondaj Derinliği	9144 m	Kullanma Suyu	818 m ³
Gövde Boyutları	221mx42mx20m	Yakıt	4091 m ³
Operasyon Draftı	7 m	<u>Donanımlar</u>	
Seyir Draftı	7 m	Çekiş Gücü	4922 kW
Fırtına Draftı	7 m	Pompalar	1641 kW
Çalışma Alanı	Nijerya	Toplam Güç	35090 kW
		Kaldırma Yüğü	11,38 kN
		Vinç Boyutları	52mx15mx12m
		Güverte Açıklığı	8mx4m

Örnek 4. Transocean discover spirit



Şekil 15. Sondaj gemisi IV [49].

Tablo 4. Örnek 4 sondaj gemisinin teknik özellikleri [49].

<u>Genel Bilgiler</u>		<u>Kapasiteler</u>	
Yapı Türü	Sondaj Gemisi	Personel Sayısı	200
Tasarlayan	Transocean Offshore Discoverer	Değişken Yük	1400 kN
Yapım	Astano, Spain	Beton Hacmi	453 m ³
Yapım Yılı	2000	Sıvı Çamur	2520 m ³
Su Derinliği	3048 m	Sondaj Suyu	2242 m ³
Sondaj Derinliği	10668 m	Kullanma Suyu	818 m ³
Gövde Boyutları	255mx38mx19m	Yakıt	4091 m ³
Operasyon Draftı	12 m	<u>Donanımlar</u>	
Seyir Draftı	7 m	Çekiş Gücü	2250 kW
Fırtına Draftı	7 m	Pompalar	1200 kW
Çalışma Alanı	Meksika Körfezi	Toplam Güç	29082 kW
		Kaldırma Yüğü	11,37 kN
		Vinç Boyutları	69mx24mx24m
		Güverte Açıklığı	8mx4m

Örnek 5. Transocean deepwater discover



Şekil 16. Sondaj gemisi V [49].

Tablo 5. Örnek 5 sondaj gemisinin teknik özellikleri [49].

<u>Genel Bilgiler</u>		<u>Kapasiteler</u>	
Yapı Türü	Sondaj Gemisi	Personel Sayısı	140
Tasarlayan	R&B/Samsung	Değişken Yük	1400 kN
Yapım	:Samsung Heavy Industries,	Beton Hacmi	504 m^3
Yapım Yılı	2000	Sıvı Çamur	2445 m^3
Su Derinliği	30408 m	Sondaj Suyu	2771 m^3
Sondaj Derinliği	9144 m	Kullanma Suyu	1435 m^3
Gövde Boyutları	227mx42mx19m	Yakıt	4920 m^3
Operasyon Draftı	12 m	<u>Donanımlar</u>	
Seyir Draftı	9 m	Çekiş Gücü	3729 kW
Fırtına Draftı	7 m	Pompalar	1641 kW
Çalışma Alanı	Ekvator Ginesi	Toplam Güç	29828 kW
		Kaldırma Yüğü	9,10 kN
		Vinç Boyutları	64mx29mx23m
		Güverte Açıklığı	16mx12m

1.4.2. Yarı Dalgıç Yapılar

Yarı dalgıçlar kare, üçgen, beşgen bir güverteye veya platforma sahiptirler. Bu güverte kolonlar üzerine oturtulmuştur. Sabit kolonlar su altında büyük hacimli ayaklara bağlıdır. Bu ayaklar yapının su üstünde kalmasını sağlamaktadır. Yarı dalgıçların çalışma alanları değişebilir bu nedenle yarı dalgıçların hareket kabiliyetleri oldukça iyidir ve çok kötü hava şartlarında bile yönlerini değiştirmezler. Yapının çalışma ve sondaj boyunca demir çapalarla sabitlenmesi sağlanır.

Tasarımda ana amaç ana kaldırma elemanlarını su altında tutarak dalga etkisini azaltmaktır. Bundan dolayı kötü hava şartlarında bile yapı daha dengeli olup yatay hareketler ve yalpalamalar daha azdır. Çalışma bölgesine hareket sırasında tanklar boşaltılarak ayaklar su yüzeyine kadar çıkartılır. Böylece hareket halindeki su direnci azaltılmış olur. Bu yapının avantajları; yüksek hızla yer değişimi yapabilmesi, stabil olması, dalga etkilerine karşı minimum tepki vermesi ve geniş güverte çalışma alanına sahip olmasıdır. Dezavantajı ise; yapının yapım aşamasındaki yüksek maliyeti, sınırlı güverte yükünün olması, yapısal yorulmanın çok olması ve uzun mesafede taşıma olayının maliyetli olmasıdır.

Aşağıda Transocean ve Noble şirketlerinin yarı dalgıç yapıları örnek olarak verilmiştir. Bu örneklerde bunların bazı genel ve teknik özellikleri gösterilmeye çalışılmıştır.

- Noble Amos Runner (Şekil 17), (Tablo 6)
- Noble Clyde Boudreaux (Şekil 18), (Tablo 7)
- Noble Homer Ferrington (Şekil 19), (Tablo 8)
- Transocean Arctic (Şekil 20), (Tablo 9)
- Transocean Paul B. Loyd (Şekil 21), (Tablo 10)

Örnek 1. Noble amos runner

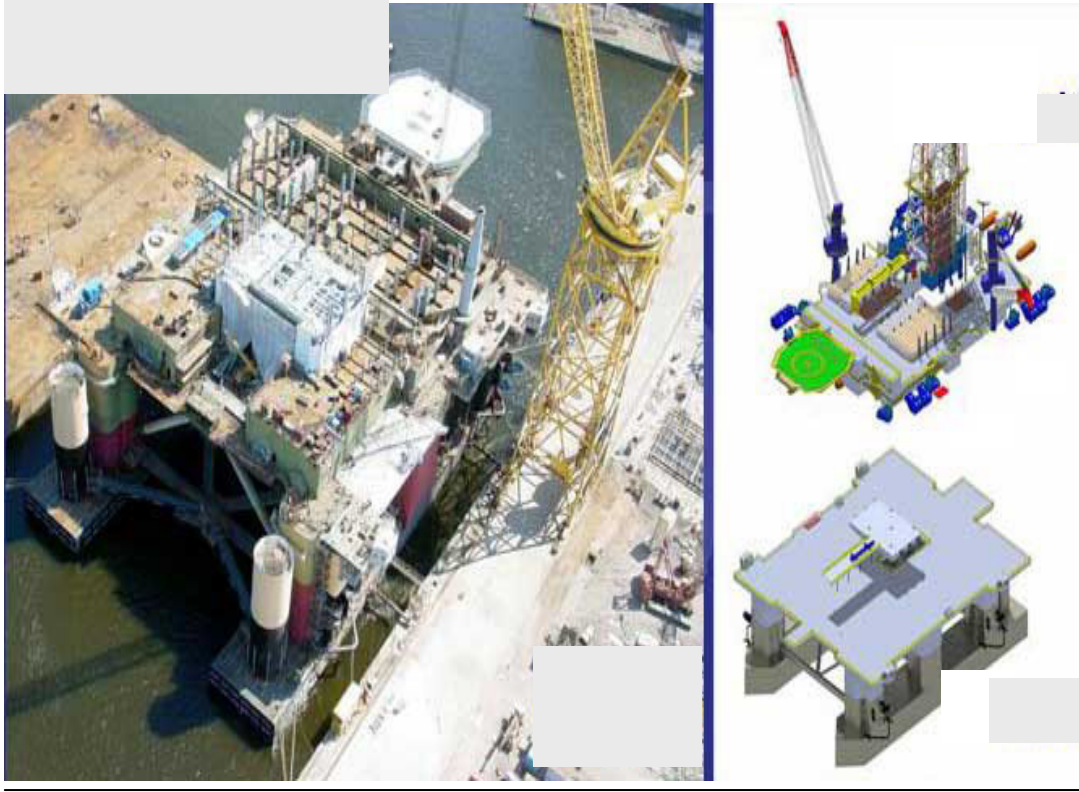


Şekil 17. Yarı dalgıç yapısı I [50].

Tablo 6. Örnek 1 yarı dalgıç yapısının teknik özellikleri [50].

<u>Genel Bilgiler</u>		<u>Kapasiteler</u>	
Yapı Türü	Yarı dalgıç	Personel Sayısı	106
Tasarlayan	Noble EVA	Değişken Yük	2260 kN
Yapım	Ingalls Shipbuildin Corp, Mississippi	Beton Hacmi	517 m ³
Yapım Yılı	1981;1999	Sıvı Çamur	1719 m ³
Su Derinliği	2438 m	Sondaj Suyu	1412 m ³
Sondaj Derinliği	9906 m	Kullanma Suyu	450 m ³
Gövde Boyutları	100mx91mx40m	Yakıt	1942 m ³
Operasyon Draftı	24 m	<u>Donanımlar</u>	
Seyir Draftı	13 m	Çekiş Gücü	2237 kW
Fırtına Draftı	18 m	Pompalar	9322 kW
Çalışma Alanı	Meksika Körfezi	Toplam Güç	9321 kW
		Kaldırma Yüğü	6,83 kN
		Vinç Boyutları	52mx12mx12m

Örnek 2. Noble clyde borudreaux



Şekil 18. Yarı dalgıç yapısı II [50].

Tablo 7. Örnek 2 yarı dalgıç yapısının teknik özellikleri [50].

<u>Genel Bilgiler</u>		<u>Kapasiteler</u>	
Yapı Türü	Yarı dalgıç	Personel Sayısı	200
Tasarlayan	Modified Friede & Goldman	Değişken Yük	350 kN
Yapım	Vyborg Shipyard	Beton Hacmi	730 m ³
Yapım Yılı	1987;1997;2007	Sıvı Çamur	1808 m ³
Su Derinliği	3048 m	Sondaj Suyu	1620 m ³
Sondaj Derinliği	10668 m	Kullanma Suyu	528 m ³
Gövde Boyutları	83 mx70m	Yakıt	2046 m ³
Operasyon Draftı	20 m	<u>Donanımlar</u>	
Seyir Draftı	9 m	Çekiş Gücü	1864 kW
Fırtına Draftı	15 m	Pompalar	1641 kW
Çalışma Alanı	Meksika Körfezi	Toplam Güç	9620 kW
		Kaldırma Yüğü	9,10 kN
		Vinç Boyutları	52mx24mx12m

Örnek 3. Noble homer ferrington



Şekil 19. Yarı dalgıç yapısı III [50].

Tablo 8. Örnek 3 yarı dalgıç yapısının teknik özellikleri [50].

<u>Genel Bilgiler</u>		<u>Kapasiteler</u>	
Yapı Türü	Yarı dalgıç	Personel Sayısı	150
Tasarlayan	Modified Friede & Goldman	Değişken Yük	250 kN
Yapım	Vyborg Shipyard, Vyborg USSR	Beton Hacmi	412 m ³
Yapım Yılı	1985;1999; 2004	Sıvı Çamur	1007 m ³
Su Derinliği	1829 m	Sondaj Suyu	1033 m ³
Sondaj Derinliği	9144 m	Kullanma Suyu	470 m ³
Gövde Boyutları	77mx69mx24m	Yakıt	1114 m ³
Operasyon Draftı	17 m	<u>Donanımlar</u>	
Seyir Draftı	6 m	Çekiş Gücü	2237 kW
Fırtına Draftı	12 m	Pompalar	1193 kW
Çalışma Alanı	Batı Afrika	Toplam Güç	7457 kW
		Kaldırma Yüğü	6,83 kN
		Vinç Boyutları	52mx12mx12m

Örnek 4. Transocean arttic



Şekil 20. Yarı dalgıç yapısı IV [49].

Tablo 9. Örnek 4 yarı dalgıç yapısının teknik özellikleri [49].

<u>Genel Bilgiler</u>		<u>Kapasiteler</u>	
Yapı Türü	Yarı dalgıç	Personel Sayısı	100
Tasarlayan	Marotec AS Marosso 56 design	Değişken Yük	310 kN
Yapım	Mitsubishi Heavy Industries,Japan	Beton Hacmi	375 m ³
Yapım Yılı	1986	Sıvı Çamur	180 m ³
Su Derinliği	500 m	Sondaj Suyu	2721 m ³
Sondaj Derinliği	7620 m	Kullanma Suyu	235 m ³
Gövde Boyutları	67mx67mx10m	Yakıt	2721 m ³
Çalışma Koşulları	Dalga:9m, Rüzgar:36m/s Akıntı:1.1m/s	<u>Donanımlar</u>	
Fırtına Koşulları	Dalga:32m, Rüzgar51m/s Akıntı:1.6m/s	Çekiş Gücü	2250 kW
Seyir Draftı	12 m	Pompalar	1200 kW
Çalışma Alanı	Norveç	Toplam Güç	9000 kW
		Kaldırma Yüğü	6,50 kN
		Vinç Boyutları	51mx12mx12m

Örnek 5. Transocean paul b.loyd



Şekil 21. Yarı dalgıç yapısı V [49].

Tablo 10. Örnek 5 yarı dalgıç yapısının teknik özellikleri [49].

<u>Genel Bilgiler</u>		<u>Kapasiteler</u>	
Yapı Türü	Yarı dalgıç	Personel Sayısı	100
Tasarlayan	Aker H-4.2 DP	Değişken Yük	300 kN
Yapım	Hyundai Heavy Industries, Ulsan, South Korea, Hiroshima, Japan	Beton Hacmi	340 m ³
Yapım Yılı	1990	Sıvı Çamur	521 m ³
Su Derinliği	610 m	Sondaj Suyu	2232 m ³
Sondaj Derinliği	7620 m	Kullanma Suyu	693 m ³
Gövde Boyutları	110mx73mx40m	Yakıt	2905 m ³
Fırtına Koşulları	Dalga:32m, Rüzgar:56m/s Akıntı:2m/s	<u>Donanımlar</u>	
Operasyon Draftı	24 m	Çekiş Gücü	1850 kW
Seyir Draftı	12 m	Pompalar	1200 kW
Çalışma Alanı	Kuzey Denizi	Toplam Güç	14400 kW
		Kaldırma Yüğü	6,80 kN
		Vinç Boyutları	64mx12mx12m

1.4.3. Dalgıç Yapılar

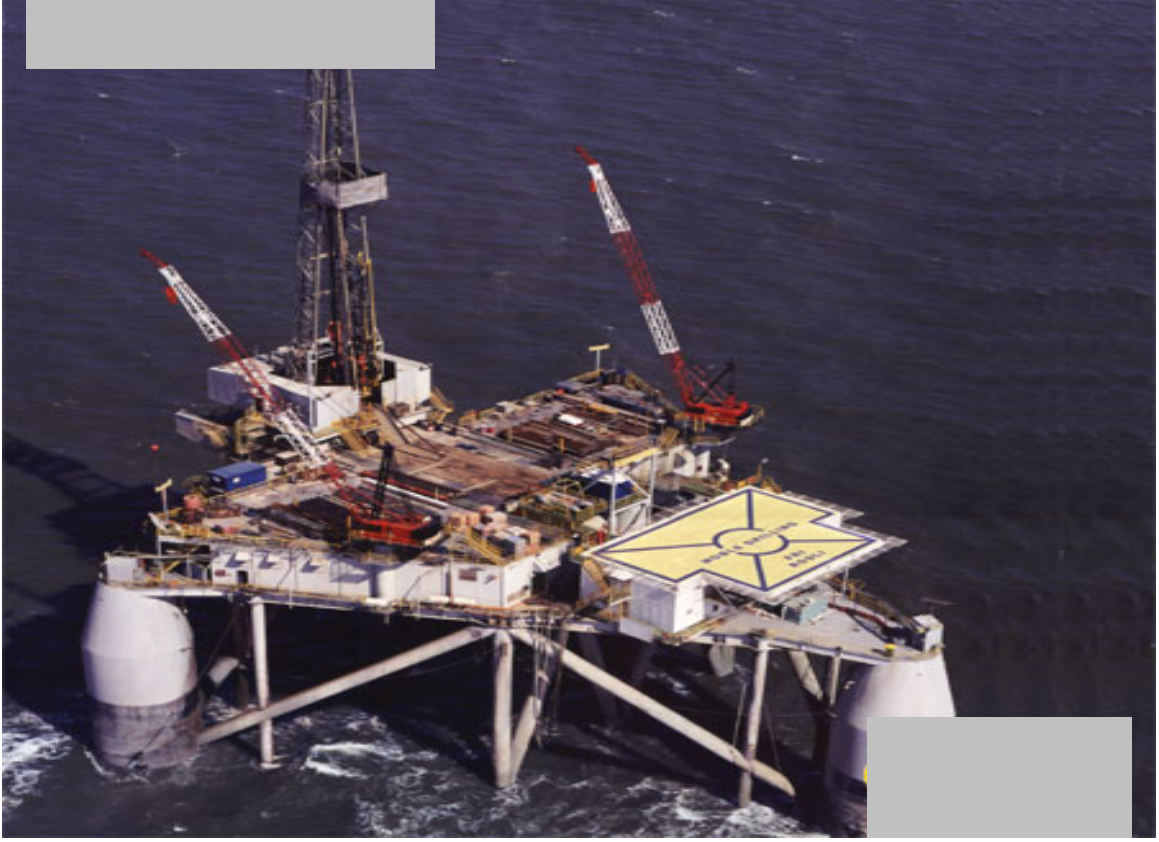
İsminden de anlaşılacağı gibi batarlar deniz tabanına oturtulur ve sondaj çalışma süresince orada dururlar. İşlem bitince tanklar boşaltılarak yapı yüzdürülür ve yeni bir çalışma sahasına çekilir. Orada tanklara deniz suyu doldurularak tekrar deniz tabanına oturtulur. Böylece yapı faaliyet hazırlıkları tekrar başlar. Bu şekilde çalışma kolay ve daha emniyetlidir. Bu yapıların avantajı; düşük maliyetli olması, yeniden kullanılabilir olması yani gemiye dönüşebilmeleri ve hareket kabiliyetlerinin yüksek olmasıdır. Dezavantajına gelince, çalışma alanlarının sınırlı olması, düşük güverte yük kapasitelerine sahip olmaları, hareketleri esnasında küle yapılarının zarar görebilmeleri, dalgalı deniz durumlarında stabiliteilerinin zayıf olması ve ancak sınırlı derinliklerde çalışabilmeleri mümkündür.

Sahillerde petrol aramakta kullanılan ilk sondaj yapıları yarı dalabilen (dalgıçlar) yapılardır. Bu yapıların geliştirilmesi çok az olmuştur ve sayıları diğer yapılara nazaran pek artmamıştır. 1979 yılında 16 adet dalgıç yapısı mevcuttur [50]. Bunların yapısal şekilleri yarı dalgıç yapılara benzemektedirler. Ancak yarı dalgıç yapılar çok daha büyük yapılardır. Alt kısımları boru şeklinde, daha doğrusu dairesel kesitli ayak şeklinde olup kolonlar bunların üzerine oturmuştur. Kolonların üzerine ise güverte bölümü oturtulmuştur. Kolonlar arasındaki bağlantılar yapının sistemine yeterli rijitliği vermektedir. Bu yapıların avantajı kullanımının kolay, emniyetli, maliyetlerinin az olması ve sondaj için sabit bir yere oturtulmuş olmalarıdır. Dezavantajları ise kullanılabilecekleri su derinliklerinin sınırlı olmasıdır.

Aşağıda Transocean ve Noble şirketlerinin dalgıç yapıları örnek olarak verilmiştir. Bu örneklerde bunların bazı genel ve teknik özellikleri gösterilmeye çalışılmıştır.

- Noble Fri Rodli (Şekil 22), (Tablo 11)
- Noble Joe Alford (Şekil 23), (Tablo 12)
- Noble Lester Pettus (Şekil 24), (Tablo 13)
- Transocean Actinia (Şekil 25), (Tablo 14)
- Transocean Amirante (Şekil 26), (Tablo 15)

Örnek 1. Noble fri rodli



Şekil 22. Dalgıç yapısı I [50].

Tablo 11. Örnek 1 dalgıç yapısının teknik özellikleri [50].

<u>Genel Bilgiler</u>		<u>Kapasiteler</u>	
Yapı Türü	Dalgıç yapısı	Personel Sayısı	56
Tasarlayan	Transworld Submersible	Değişken Yük	130 kN
Yapım	Chicago B&I, Pascagoula	Beton Hacmi	170 m ³
Yapım Yılı	1979; 1998	Sıvı Çamur	293 m ³
Su Derinliği	21 m	Sondaj Suyu	295 m ³
Sondaj Derinliği	7620 m	Kullanma Suyu	156 m ³
Gövde Boyutları	87mx85m	Yakıt	171 m ³
Seyir Draftı	6 m	<u>Donanımlar</u>	
Çalışma Alanı	Meksika Körfezi	Çekiş Gücü	1500 kW
		Pompalar	1200 kW
		Toplam Güç	10000 kW
		Kaldırma Yüğü	4,55 kN
		Vinç Boyutları	43mx9m

Örnek 2. Noble joe alford



Şekil 23. Dalgıç yapısı II [50].

Tablo 12. Örnek 2 dalgıç yapısının teknik özellikleri [50].

<u>Genel Bilgiler</u>		<u>Kapasiteler</u>	
Yapı Türü	Dalgıç yapısı	Personel Sayısı	84
Tasarlayan	Pace Marine; Pace 85G	Değişken Yük	130 kN
Yapım	Vemar Shipyard, Houston, Texas	Beton Hacmi	272 m ³
Yapım Yılı	1982; 2006	Sıvı Çamur	41 m ³
Su Derinliği	21 m	Sondaj Suyu	156 m ³
Sondaj Derinliği	7620 m	Kullanma Suyu	186 m ³
Gövde Boyutları	61mx60m	Yakıt	450 m ³
Seyir Draftı	3 m	<u>Donanımlar</u>	
Çalışma Alanı	Meksika Körfezi	Çekiş Gücü	1500 kW
		Pompalar	1200 kW
		Toplam Güç	10000 kW
		Kaldırma Yüğü	4,69 kN
		Vinç Boyutları	45mx9m

Örnek 3. Noble lester pettus



Şekil 24. Dalgıç yapısı III [50].

Tablo 13. Örnek 3 dalgıç yapısının teknik özellikleri [50].

<u>Genel Bilgiler</u>		<u>Kapasiteler</u>	
Yapı Türü	Dalgıç yapısı	Personel Sayısı	84
Tasarlayan	Pace Marine; Pace 85G	Değişken Yük	130 kN
Yapım	Vemar Shipyards, Houston, Texas	Beton Hacmi	272 m ³
Yapım Yılı	1982; 2005	Sıvı Çamur	238 m ³
Su Derinliği	21 m	Sondaj Suyu	900 m ³
Sondaj Derinliği	7620 m	Kullanma Suyu	186 m ³
Gövde Boyutları	61mx60m	Yakıt	450 m ³
Seyir Draftı	4 m	<u>Donanımlar</u>	
Çalışma Alanı	Meksika Körfezi	Çekiş Gücü	1500 kW
		Pompalar	1200 kW
		Toplam Güç	10000 kW
		Kaldırma Yüğü	5,92 kN
		Vinç Boyutları	45mx9m

Örnek 4. Transocean actinia



Şekil 25. Dalgıç yapısı IV [49].

Tablo 14. Örnek 4 dalgıç yapısının teknik özellikleri [49].

<u>Genel Bilgiler</u>		<u>Kapasiteler</u>	
Yapı Türü	Dalgıç yapısı	Personel Sayısı	100
Tasarlayan	Friede & Goldman L-1033 Enhanced Pacesetter	Değişken Yük	190 kN
Yapım	Hitachi Zosen, Nagasu, Japan	Beton Hacmi	226 m ³
Yapım Yılı	1982	Sıvı Çamur	80 m ³
Su Derinliği	457 m	Sondaj Suyu	1540 m ³
Sondaj Derinliği	7620 m	Kullanma Suyu	530 m ³
Gövde Boyutları	82mx78mx35m	Yakıt	1956 m ³
Çalışma Koşulları	Dalga:15m, Rüzgâr:35m/s, Akıntı:0,5 m/s	<u>Donanımlar</u>	
Fırtına Koşulları	Dalga:31m, Akıntı:1.24 m/s	Çekiş Gücü	1500 kW
Operasyon Draftı	4 m	Pompalar	1200 kW
Çalışma Alanı	Hindistan	Toplam Güç	2400 kW
		Kaldırma Yüğü	6,00 kN
		Vinç Boyutları	55mx12mx12m

Örnek 5. Transocean amirante



Şekil 26. Dalgıç yapısı V [49].

Tablo 15. Örnek 5 dalgıç yapısının teknik özellikleri [49].

<u>Genel Bilgiler</u>		<u>Kapasiteler</u>	
Yapı Türü	Dalgıç yapısı	Personel Sayısı	100
Tasarlayan	Modified Aker H-3	Değişken Yük	250 kN
Yapım	Rauma Repola Oy, Finland	Beton Hacmi	226 m ³
Yapım Yılı	1978;1981;1997	Sıvı Çamur	463 m ³
Su Derinliği	1067 m	Sondaj Suyu	8903 m ³
Sondaj Derinliği	7620 m	Kullanma Suyu	530 m ³
Gövde Boyutları	74mx63mx37m	Yakıt	1956 m ³
Çalışma Koşulları	Dalga:9m, Rüzgâr:34m/s, Akıntı:1,1 m/s	<u>Donanımlar</u>	
Fırtına Koşulları	Dalga:21m, Rüzgâr:52 m/s	Çekiş Gücü	1500 kW
Operasyon Draftı	4 m	Pompalar	1200 kW
Çalışma Alanı	Meksika Körfezi	Toplam Güç	2400 kW
		Kaldırma Yüğü	6,00 kN
		Vinç Boyutları	55mx12mx12m

1.4.4. Yükselen Platformlar

Yükselen platformlar hareket edebilen, bağımsız bir ayak ve güverte bölümlerinden oluşan sondaj çalışmalarını gerçekleştiren yapılardır. Yükselen platformlar, sondaj sırasında bacaklar üzerinde taşınan ve yeni bir çalışma sahasına çekilirken yüzebilen bir gövdeye sahiptir. Sondaj alanına giderken ayaklar, kaldırma kuvvetini sağlayan yüzen gövde görevi yapar. Sondaj yerinde mesnetler deniz tabanına indirilir, platform mesnetler üzerine doğru yukarıya doğru tırmanır. Tırmanma miktarı dalga yüksekliğini aşacak miktardadır. Bu pozisyonda sondaj işlemi yapılabilir. Başka yere gideceği zaman, platform kilitleri çözülerek bacaklar üzerine denize indirilir, kaldırma kuvveti platformca sağlanacağından mesnetler yukarı çekilir ve yeni çalışma bölgesine gitmek için hazırlık tamamlanmış olur.

Yükselen platformların büyük avantajı, sabit bir sondaj yeri sağlayabilmeleri, maliyetlerinin çok olmamasıdır. Dezavantajı ise yavaş hareket edebilmeleri, sondaj yerine otururken, kalkarken ve taşıma sırasında dalga etkilerinin ve hava koşullarının tehlikeli olması ve fazla derin olmayan bölgelerde çalışabilmeleridir. Genel olarak bir yükselen platform yapısı dikey olarak 3 yada 4 ayaktan oluşur.

Aşağıda Transocean ve Noble şirketlerinin yükselen platform yapıları örnek olarak verilmiştir. Bu örneklerde yapının bazı genel ve teknik özellikleri gösterilmeye çalışılmıştır.

- Noble Roy Rhodes (Şekil 27), (Tablo 16)
- Noble Eddie Paul (Şekil 28), (Tablo 17)
- Transocean Shelf Explorer (Şekil 29), (Tablo 18)
- Transocean Trident 4 (Şekil 30), (Tablo 19)
- Transocean G.H Galloway (Şekil 31), (Tablo 20)

Örnek 1. Noble roy rhodes



Şekil 27. Yükselen platform I [50].

Tablo 16. Örnek 1 yükselen platformun teknik özellikleri [50].

<u>Genel Bilgiler</u>		<u>Kapasiteler</u>	
Yapı Türü	Yükselen platform	Personel Sayısı	90
Tasarlayan	Marathon LeTourneau 116-C	Değişken Yük	140 kN
Yapım	Marathon LeTourneau, Singapore	Beton Hacmi	280 m ³
Yapım Yılı	1979	Sıvı Çamur	360 m ³
Su Derinliği	91 m	Sondaj Suyu	964 m ³
Sondaj Derinliği	7620 m	Kullanma Suyu	211 m ³
Gövde Boyutları	74mx61mx8m	Yakıt	507 m ³
Seyir Draftı	5 m	<u>Donanımlar</u>	
Ayak Uzunluğu	105 m	Çekiş Gücü	1500 kW
Kazık Çapı	14m	Pompalar	1200 kW
Çalışma Alanı	Orta Doğu	Toplam Güç	4500 kW
		Kaldırma Yüğü	4,55 kN
		Vinç Boyutları	48mx9mx9m

Örnek 2. Noble eddie paul



Şekil 28. Yükselen platform II [50].

Tablo 17. Örnek 2 yükselen platformun teknik özellikleri [50].

<u>Genel Bilgiler</u>		<u>Kapasiteler</u>	
Yapı Türü	Yükselen platform	Personel Sayısı	90
Tasarlayan	Marathon LeTourneau Class 84-E.R.C.™	Değişken Yük	170 kN
Yapım	Marathon LeTourneau, Vicksburg, Mississippi	Beton Hacmi	178 m ³
Yapım Yılı	1975;1995	Sıvı Çamur	270 m ³
Su Derinliği	119 m	Sondaj Suyu	1031 m ³
Sondaj Derinliği	7620 m	Kullanma Suyu	211 m ³
Gövde Boyutları	76mx61mx8m	Yakıt	851 m ³
Seyir Draftı	5 m	<u>Donanımlar</u>	
Ayak Uzunluğu	152 m	Çekiş Gücü	1500 kW
Kazık Çapı	14m	Pompalar	1200 kW
Çalışma Alanı	Meksika Körfezi	Toplam Güç	440 kW
		Kaldırma Yüğü	5,92 kN
		Vinç Boyutları	48mx9mx9m

Örnek 3. Transocean shelf explorer



Şekil 29. Yükselen platform III [49].

Tablo 18. Örnek 3 yükselen platformun teknik özellikleri [49].

<u>Genel Bilgiler</u>		<u>Kapasiteler</u>	
Yapı Türü	Yükselen platform	Personel Sayısı	86
Tasarlayan	CFEM T2005-C	Değişken Yük	200 kN
Yapım	CFEM, Dunkirk, France	Beton Hacmi	156 m ³
Yapım Yılı	1982	Sıvı Çamur	277 m ³
Su Derinliği	91 m	Sondaj Suyu	737 m ³
Sondaj Derinliği	7620 m	Kullanma Suyu	323 m ³
Gövde Boyutları	86mx75mx8m	Yakıt	377 m ³
Seyir Draftı	5 m	<u>Donanımlar</u>	
Ayak Uzunluğu	133 m	Çekiş Gücü	2250 kW
Kazık Çapı	14 m	Pompalar	1200 kW
Çalışma Koşulları	Dalga:10m,Rüzgâr:26m/s Akıntı:0,52m/s	Toplam Güç	6200 kW
Fırtına Koşulları	Dalga:23m,Rüzgâr:43m/s Akıntı:1m/s	Kaldırma Yüğü	5,00 kN
Çalışma Alanı	Endonezya	Vinç Boyutları	48mx11mx11m

Örnek 4. Transocean trident 4



Şekil 30. Yükselen platform IV [49].

Tablo 19. Örnek 4 yükselen platformun teknik özellikleri [49].

<u>Genel Bilgiler</u>		<u>Kapasiteler</u>	
Yapı Türü	Yükselen platform	Personel Sayısı	116
Tasarlayan	Marathon LeTourneau Class C-116	Değişken Yük	180 kN
Yapım	Marathon LeTourneau, Brownsville, Texas, USA	Beton Hacmi	136 m ³
Yapım Yılı	1980;1990	Sıvı Çamur	391 m ³
Su Derinliği	91 m	Sondaj Suyu	819 m ³
Sondaj Derinliği	7620 m	Kullanma Suyu	212 m ³
Gövde Boyutları	74mx61mx8m	Yakıt	502 m ³
Seyir Draftı	5 m	<u>Donanımlar</u>	
Ayak Uzunluğu	125 m	Çekiş Gücü	1500 kW
Kazık Çapı	14 m	Pompalar	1200 kW
Çalışma Koşulları	Dalga:9m,Rüzgâr:26m/s Akıntı:0m/s	Toplam Güç	4500 kW
Fırtına Koşulları	Dalga:13m,Rüzgâr:52m/s Akıntı:0,52m/s	Kaldırma Yüğü	5,66 kN
Çalışma Alanı	İtalya	Vinç Boyutları	49mx9mx9m

Örnek 5. Transocean G.H. galloway



Şekil 31. Yükselen platform V [49].

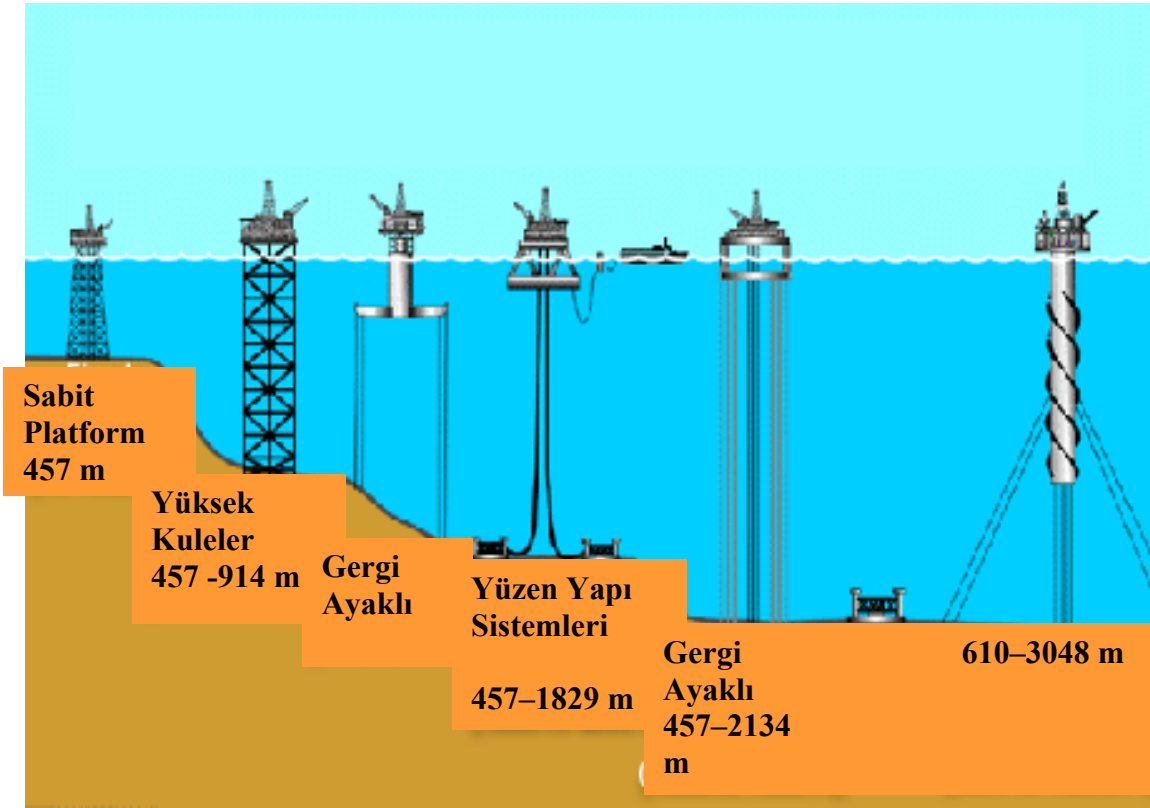
Tablo 20. Örnek 5 yükselen platformun teknik özellikleri [49].

<u>Genel Bilgiler</u>		<u>Kapasiteler</u>	
Yapı Türü	Yükselen platform	Personel Sayısı	88
Tasarlayan	Friede & Goldman L-780 Model II	Değişken Yük	130 kN
Yapım	Astilleros Corrientes SA, Buenos Aries	Beton Hacmi	113 m ³
Yapım Yılı	1984	Sıvı Çamur	315 m ³
Su Derinliği	91 m	Sondaj Suyu	912 m ³
Sondaj Derinliği	7620 m	Kullanma Suyu	228 m ³
Gövde Boyutları	75mx53mx8m	Yakıt	413 m ³
Seyir Draftı	4 m	<u>Donanımlar</u>	
Ayak Uzunluğu	127 m	Çekiş Gücü	2250 kW
Kazık Çapı	12 m	Pompalar	1200 kW
Çalışma Koşulları	Dalga:15m,Rüzgâr:26m/s	Toplam Güç	6300 kW
Fırtına Koşulları	Dalga:31m,Rüzgâr:52m/s	Kaldırma Yüğü	5,66 kN
Çalışma Alanı	İtalya	Vinç Boyutları	48mx11mx11m

1.5. Açık Deniz Platformları

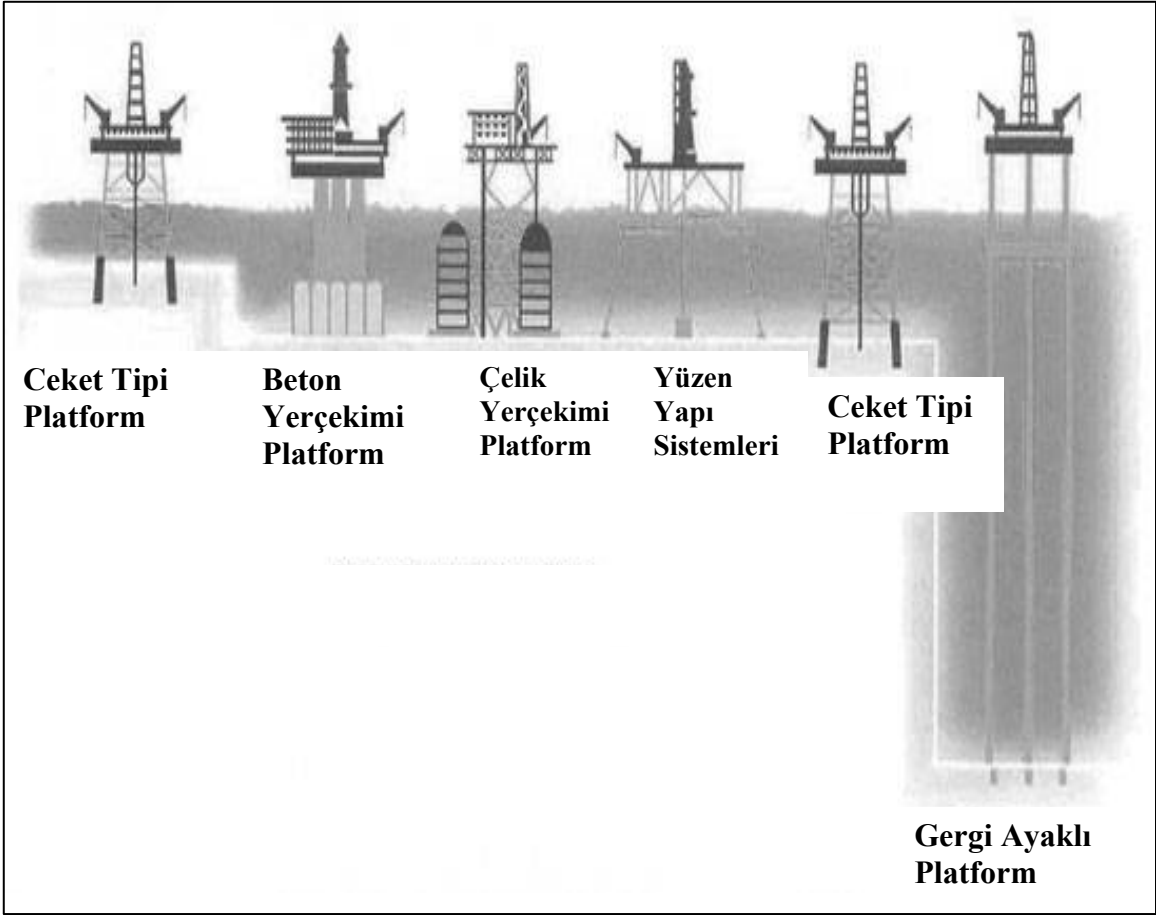
Açık deniz platformları, deniz altındaki doğal kaynakların, özellikle de deniz altı petrol madenlerinin ortaya çıkarılması ve geliştirilmesi amacıyla kullanılmaktadır. Açık deniz platformları dört başlık altında toplanabilir [56]. Bunlar (Şekil 32) ve (Şekil 33);

- Ceket Tip Platform
- Yerçekimi Tip Platform
- Gergi Ayaklı Platform
- Kriko Tip Platform



Şekil 32. Açık deniz platform tipleri [56].

Bu açık deniz platformları kendine özgü ayırt edici özellikler taşımaktadır. Yapılacak olan platform seçiminde, yapının yapılacağı yerdeki su derinliği, yapının ne amaçla kullanılacağı ve amaçlanan işe göre gerekli olan güverte araç gereçleri rol oynamaktadır [57].



Şekil 33. Açık deniz platformları [56].

1.5.1. Ceket Tip Platform

Bu sabit platformlar petrol ve doğalgaz üretimi için suyun derinliklerinde sabitlenip kullanılan yapılardır. Genelde bu yapılar çelik kafes sistemlerden oluşmaktadır. Şekil 34 ve 35'te görüldüğü gibi bu çelik kafes sisteminin üzerine güverte kısmı yerleştirilmektedir.

Dünyada en çok kullanılan açık deniz yapı türüdür. Yaygın olarak 150 m'den daha az su derinliklerinde yapılmasına karşın, 300 metreye kadar olan su derinliklerinde de yapılabilir. Bu platformlar 4 ayaklı, 6 ayaklı ve 8 ayaklı kuleler şeklinde inşa edilmektedir. Bu yapılar iki kısımdan oluşmaktadır [56]. Bu tür yapılar sahada inşa edildikten sonra çalışma alanına nakil edilir ve çalışma pozisyonu alır. Bütün bu işlemler sırasında yapıya ek olarak önceden de anlatıldığı gibi yükler etki etmektedir.



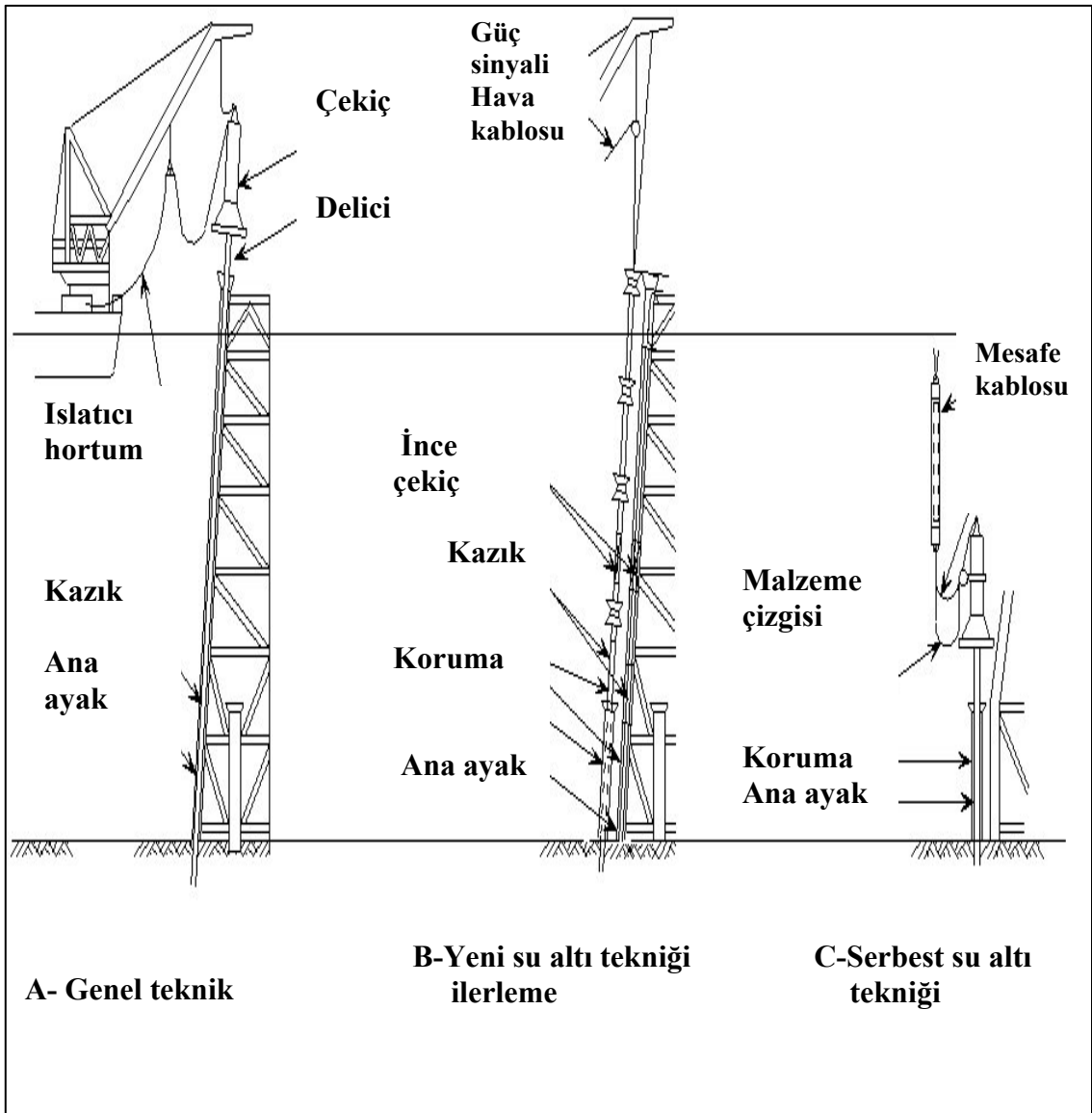
Şekil 34. Ceket tip platform [48].



Şekil 35. Ceket tip platform [58].

1. Altyapı (Ceket) : Çelik elemanların kaynak yardımıyla ya da bağlantı elemanları yardımıyla birleştirilmektedir. Bu yapılar çelik kazıklarla birlikte deniz zeminine sabitlenmektedir. Kazıklar 1–2 m çapındaki kalın çelik borulardır ve 100 m ye kadar deniz yatağına girebilirler [57].

Bu temeller genelde Şekil 36’da görüldüğü gibi 3 şekilde çakılır [48].



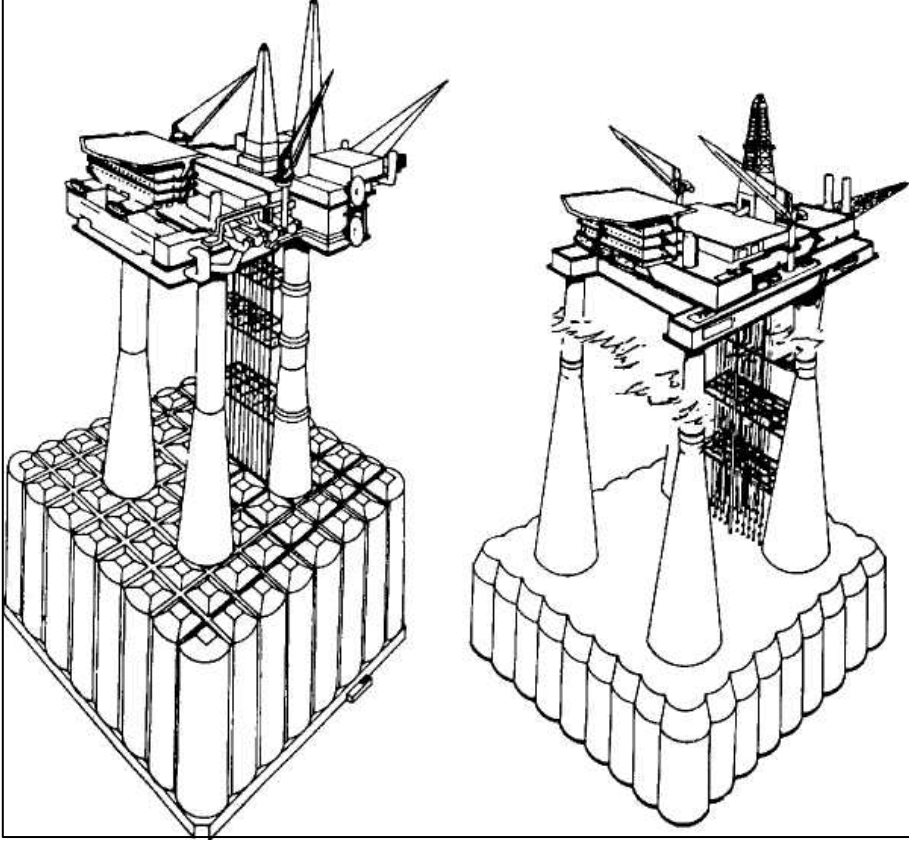
Şekil 36. Kazık temel çakma türleri [48].

2.Üstyapı (Güverte) : Bu kısım yapını işlevini yerine getirmesi için gerekli araç ve gereçlerin bulunduğu bölümdür. Bunlar, gaz türbini, pompalar, kompresörler, vinçler, helikopter sahası vb. şeyleri içeren üretim malzemeleri, geçici meskenler ve yiyecek depolarıdır [57].

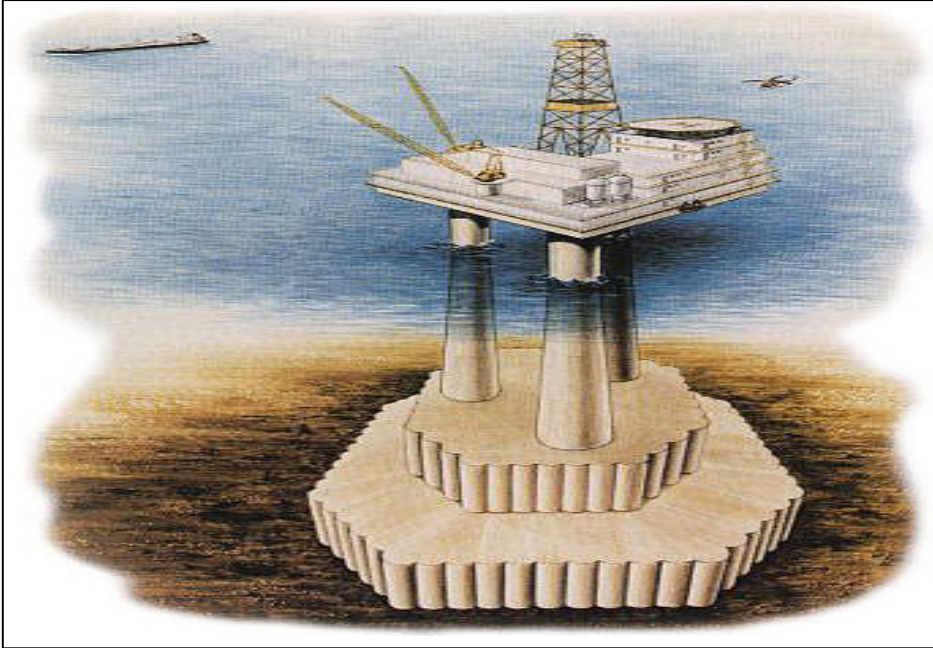
Bu yapıların avantajları; yüksek güverte yüküne sahip olmaları, bölüm bölüm inşa edilip çalışma alanına nakil edilebilmeleri, geniş alanlarda uzun zaman çalışabilmeleri, çok iyi stabiliteye sahip olmalarıdır. Dezavantajları; derinlik arttıkça maliyetin artması, başlangıç ve bakım maliyetinin yüksek olması, tekrar kullanılmayacakları, çelik yapı elemanlarının korozyondan etkilenmeleridir.

1.5.2. Yerçekimi Tip Platform

Bu tür yapılar değişik çalışma alanlarında ve zor çevre koşullarına sahip bölgelerde örnek olarak Kuzey Denizi'nde tercih edilmektedir. Diğer bir ana model ise genelde ağırlık betonlarından oluşan açık deniz platformlarıdır. Genelde, deniz tabanının kazıklı temel için uygun olmadığı yerlerde çelik veya betondan yapılmaktadır. Bu tip platformlara örnek Şekil 37 ve Şekil 38'de verilmiştir. Yapının zemin ile temas eden alt bölümü ağılığa bağlıdır, stabildir ve toprağın davranışı yapı için önemlidir. Bu yapı türleri için zeminin davranışı çok önemlidir. Bu nedenle yapı tasarlanmadan önce zemin bilgileri detaylı olarak bilinmek zorundadır. Bu yapılar çok geniş ayak tabanlarına sahiptirler ve bunların üzerine güverte kısmı yerleştirilir.



Şekil 37. Tipik yerçekimi platform [59].

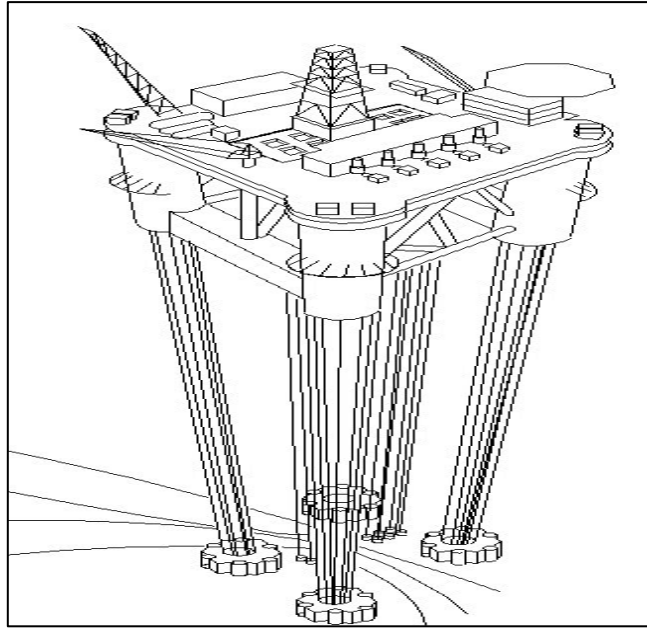


Şekil 38. Tipik yerçekimi platform [55].

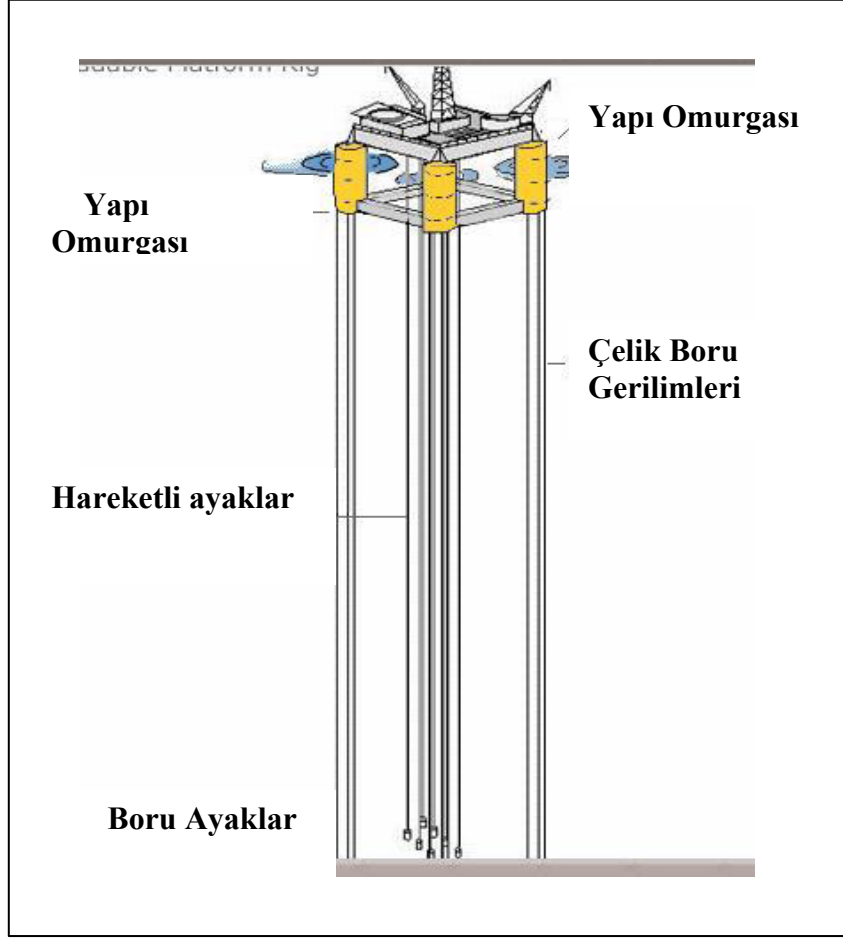
Bu yapıların avantajları; güverte yük kapasitesinin yüksek olması, çalışma alanının geniş olması, yapı ömrünün uzun olması ve depolama kapasitesinin fazla olmasıdır. Dezavantajları; derinlik artıka maliyetin artması, temel yerleşimi için deniz tabanının düzgün olması ve kullanılan malzemenin çok olmasıdır.

1.5.3. Gergi Ayaklı Platform

Gergi ayaklı platformlar gergin bağlantılarla yüzen platform yapılarıdır ve deniz madenlerinde kazı yapmak ve petrol çıkarmak için kullanılmaktadır. Bu yapılar esasen sabit platformların kullanılması ekonomik olmayan küçük madenlerde kullanılmakta ve farklı yerlere taşınabilmektedir. Gergi ayaklı platformlar genellikle 250 ile 600 m arasında derinlikte kullanılmaktadır fakat bu tip yapılar 300 m den daha az derinliklere sahip denizlerde daha verimli çalışabilmektedir. Bu yapılar, çok sayıda esnek bağlantı elemanlarıyla deniz dibine yerleştirilen büyük bir betonarme plağa tutturulmaktadır [57]. Deniz tabanının üzerindeki kazıkların tepesine bağlanan dubalara oturtulan bir güverteye sahiptirler. Bu kazıklar her zaman gergide duran uzun borulardan oluşmaktadır. Bunun sayesinde esnekliğini koruyabildiği için kolonların burkulmadan dolayı hasar görme veya çökme riski yoktur. Üst yapının yüzmesi nedeniyle bağlantı elemanları, sürekli olarak çekme etkisinde kalmaktadırlar. Şekil 39 ve Şekil 40’da örnekleri verilmiştir.



Şekil 39. Gergi ayaklı platform [48].



Şekil 40. Gergi ayaklı platform [60].

Bu yapıların avantajları; hareket kabiliyetlerinin olması, yenilenebilir olmaları, stabil olmaları, minimum dikey harekete izin vermeleri, su derinlik kapasitelerinin yüksek olması, düşük bakım maliyetlerinin olması olarak söylenebilir. Dezavantajları ise; başlangıç maliyetinin yüksek olması, gergi ayaklarının yorulma mekanizmasına maruz kalmaları, depolama olayının çok az ya da hiç olmaması ve bakım olayının zor şartlarda gerçekleşmesidir.

1.5.4. Kriko Tip Platform

Açık deniz yapılarının içinde en az tercih edilen yapı türüdür. Genelde su derinliği sığ olan alanlarda yapılmaktadır. Bu tip platformların yüzen bölümlerden oluşan kısımları bulunmaktadır. Bu tip platforma örnekler Şekil 41 ve Şekil 42’de verilmiştir.



Şekil 41. Kriko tip platform [50].



Şekil 42. Kriko tip platform [50].

1.6. Dünyadaki Açık Deniz Yapısının Durumu

Dünyada hidrokarbon enerji türleri en çok kullanılan enerjilerdir. Petrol ve doğalgaz bir ülke ekonomisi için en önemli etkidir çünkü endüstri bu enerji kaynakları olmadan ilerleyemez. Günümüzde de görüldüğü gibi bu enerji kaynakları için savaşlar yapılmakta ve insanlar ölmektedir. Bu doğal kaynakların rezervleri gün geçtikçe azalmaktadır ve bu insanlık için büyük bir sorundur. API araştırmalarına göre 2004 yılında dünya üzerinde günlük petrol tüketiminin 13530 milyon litre, 2015 yılında 15160 milyon litre ve 2030 yılında ise bu rakamın 19230 milyon litreye ulaşacağı tahmin edilmektedir. Çünkü insan yaşamının her noktasında bu enerji kaynaklarından yararlanmaktadır. Bu nedenle kara üzerinde elde edilen petrol ve doğalgaz üretimi azaldığı için insanlar keşfedilmemiş rezervler ya da değişik enerji türleri bulmak zorundadır. Bu iki seçenekte çoğunlukla denizlerin içinden geçmektedir. Bu da açık deniz yapılarının önemini artırmaktadır. Günümüzde doğalgaz üretiminin %25 ve petrol üretiminin %24 açık deniz yapılarının çalışmasından elde edilmektedir [46].

Açık deniz yapı mühendisliği; açık deniz yapılarının tasarımı ve inşası yeni bir mühendislik konusudur. İlk açık deniz yapısı olarak 1946 yılında Meksika Körfezinde 4,5 m derinliğinde 8 km kıyından uzak bölgede çelik yapısı inşa edilmiştir [46]. 1947 yılında ise daha modern bir tasarım olan Meksika Körfezi'nde 20 m derinlikte bir açık deniz yapısı inşa edilmiştir. Sonraki yıllarda denizlerde petrol ve doğal gazın bulunmasıyla daha derin su şartlarında, daha hızlı, daha etkili ve daha kötü çevre koşullarında çalışabilen açık deniz yapıları inşa edildi. Özellikle 2. Dünya Savaşından sonra açık deniz yapı teknolojisi hızlı bir yükselişe geçmiştir. Bu nedenle tasarlanan yapı türleri ihtiyaca göre değişmiş ve kullanılan teknoloji ilerlemiştir. 1970'lere kadar açık deniz yapı konusu sadece üniversitelerde teorik olarak öğretilirdi. Fakat 1970 yılında meydana gelen petrol şoku diye adlandırılan rezervlerin bitmesi denizlerde araştırmaların daha derine gidilmesine ve teorik bilgilerin pratiğe dökülmesine yol açmıştır. 1970 sonrası 300 m ve 1980 yılında ise 550 m de sondaj çalışması yapılmıştır. Değişik türde açık deniz yapı türleri ilk olarak 1970 yılında ceket yapısıdır. İlk yerçekimi ağırlık platformu 1973 yılında Kuzey Denizi'nde inşa edilmiştir. 1980 yılında genel olarak açık deniz yapı sayısının 35 farklı ülkede 3500'e ulaştığı ve yapıların %98'nin çelik olduğu bilinmektedir [46].

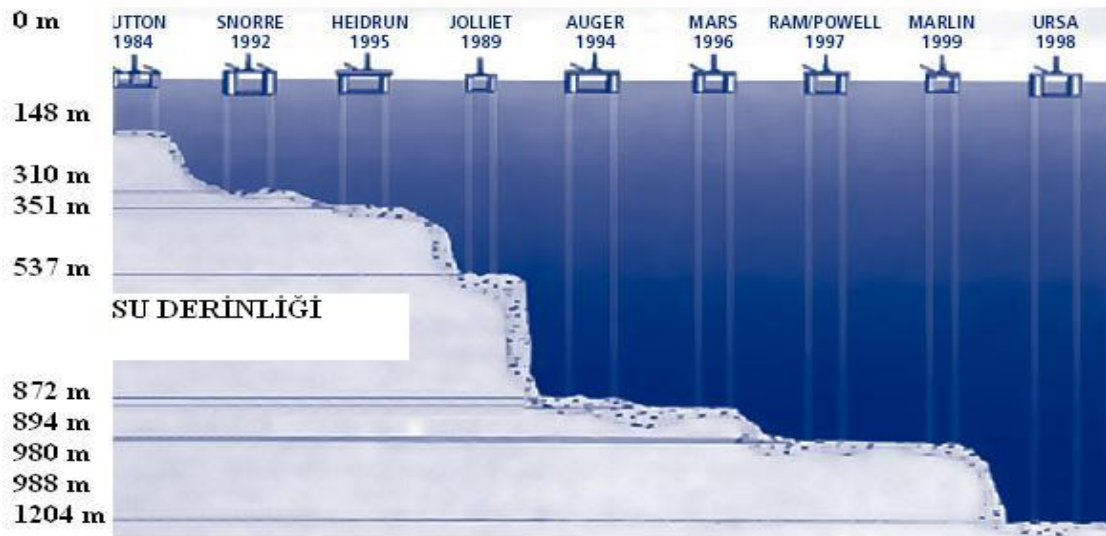
Dünyadaki bazı bölgelerde ekonominin son zamanlarda hızlı bir şekilde gelişmesiyle bu bölgelerde büyük bir enerji açığı ortaya çıkmıştır. Bu bölgelere en iyi örnek Güneydoğu

Asya (Malezya, Endonezya) ve Çin gösterilebilir. Bu nedenle bu bölgelerde birçok büyük açık deniz yapı şirketi için çok cazip olmuştur. Örnek olarak; Transocean, BP, TotalFinalElf, Vietsovpetro, Petronas Carigali gibi şirketler bu bölgelerde sondaj çalışmalarına başlamıştır. Açık deniz yapılarının dünyadaki yerleşimi amaçlarında anlaşılacağı gibi petrol ve doğalgazın bulunduğu bölgelerdir. Dünyada 53 ülkede 6500'den fazla açık deniz yapısı bulunmaktadır [57]. Tablo 21'de bunların dünyada buldukları bölgeler ve bu bölgelerde inşa edilen yapı sayıları verilmektedir.

Tablo 21. Açık deniz yapılarının dünyadaki sayıları [57].

Meksika Körfezi	4000
Asya	950
Orta Doğu	7000
Avrupa ve Kuzey Denizi	490
Afrika	380
Kuzey Amerika	340

Dünyada açık deniz yapıları zaman ilerledikçe su derinlik mesafelerinin ilerleyen bir artış eğilimi göstermektedir. Buna paralel olarak üretilen petrol ve doğalgaz üretimi artmaktadır. Bunu gösteren bilgi şekilde verilmiştir. Şekil 43'de 1884 yılından 1998 yılına kadar açık deniz yapılarının su derinliklerinin artış eğilimi gösterilmektedir.



Şekil 43. Açık deniz yapılarının zamanla derinlik değişimi [61].

Açık deniz yapı mühendisliği geleneksel yapı mühendisliğinden farklı olarak bazı özel problemlere ve konulara sahiptir. Açık denizin içinde ve zor çevre koşullarında yapıyı inşa etmek ve yapının bazı aşırı yüklere karşı ayakta kalması en büyük sorunlardandır. Fakat petrol endüstrisinin gelişmesi için bu tip sabit platformlara ihtiyaç vardı. Bu platformların bir özelliği de değişik görev yapısına uygun olmalarıdır. Günümüzde, açık deniz yapı teknolojisi gelişmesiyle açık deniz yapıları petrol arama ve üretim faaliyetlerinin yanı sıra liman mühendisliği, denizlerde maden aranmasında, balıkçılık teknolojisinde, deniz dalgaları ve rüzgârdan enerji üretilmesinde ve benzeri birçok alanda kullanılmaktadır. Şekil 44'te verilen örnekte Kuzey Denizi bölgesinde açık denizde rüzgâr enerjisi üretimi görülmektedir. Bu bölgede açık deniz yapılarıyla ilgili 200 yakın şirket bulunmaktadır [62].



Şekil 44. Açık deniz rüzgâr enerji bölgesi [62].

1.7. Türkiye'deki Açık Deniz Yapısının Durumu

Yakın zamanda Türkiye'nin birçok yerinde liman, tersane ve açık deniz yapısı inşa edilmektedir. Bu büyük ve masraflı projeler gerek devlet gerekse de özel müteşebbisler tarafından yapılmaktadır. Ülkemizde inşa edilmiş olan limanlara bakıldığında, bu liman yapıları(mendirek, iskele, rıhtım, vb) bir süre sonra ya ihtiyacı karşılayamaz hale gelmiş yada yanlış planlama sonucu doğa yapısını bozmuş ve çevre kirliliği meydana gelmiştir.

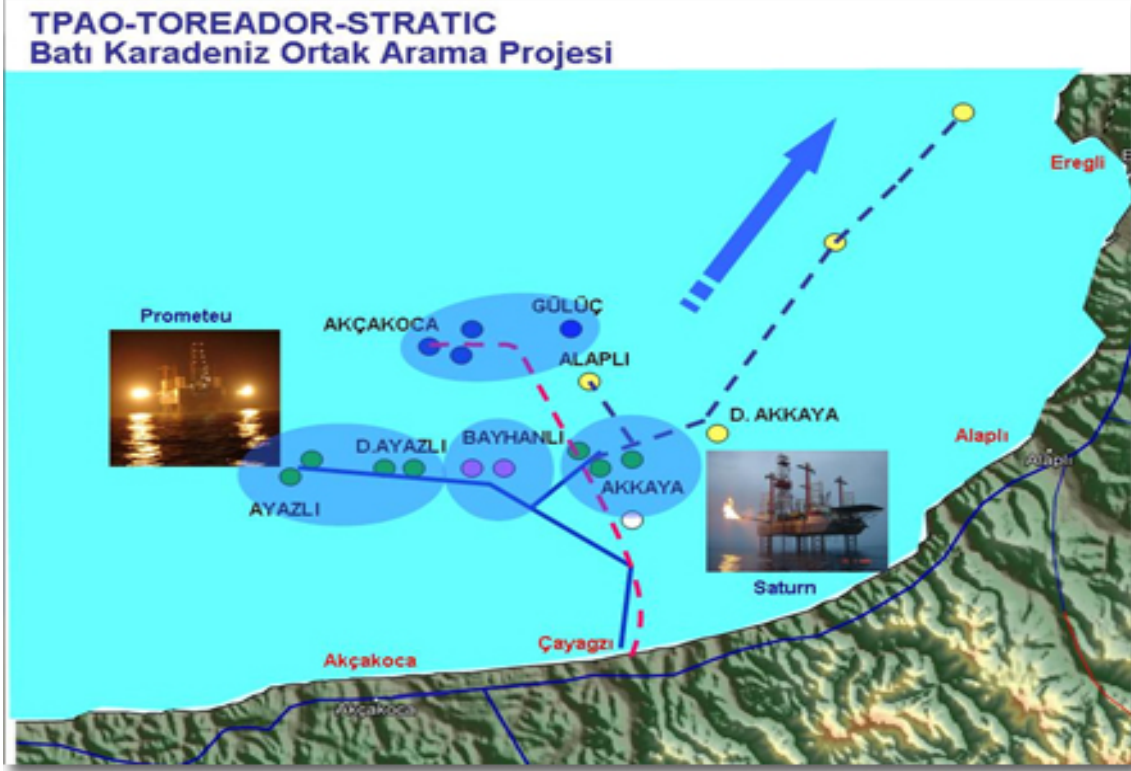
Gelecekteki ihtiyaç tam olarak araştırılmadığı için eski birçok iskele kapasitesinin üzerinde çalışmaya zorlanmıştır. Birçok liman yapısı da ekonomik olmaktan uzak durumdadır [63].

Uzun bir kıyı şeridine sahip olan Türkiye’de denize yönelik çalışmalar gün geçtikçe artmakta ve buna paralel olarak çeşitli deniz yapıları yaygınlaşmaktadır. Açık deniz yapısı tasarlanırken, yapının imalat ve işletimi süresince etkileneyeceği yüklerin tahmini önemli bir mühendislik problemidir. Bu konuyla ilgili olarak ülkemiz gün geçtikçe ilerlemektedir. Geçmişteki kazalar büyük kayıplara neden olurken, bu tip yapıların tasarım ve inşasında seçilecek olan yöntemlerin yeterli ve güvenilir olmaları gerektiğini ortaya koymuştur.

Türkiye’de bu konuyla ilgili çalışmaları TPAO (Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı) yapmaktadır. Bu kurum ülkemizin petrol ve doğalgaz ihtiyacını karşılayan bir kurumdur. TPAO sondaj faaliyetleri, Trakya, Güneydoğu Anadolu Bölgesi ve Karadeniz açık deniz alanlarında yoğunlaşmıştır. TPAO, ülkemizin her geçen gün daha büyük ölçüde ihtiyaç duyduğu en önemli enerji kaynaklarından birisi olan petrol ve doğalgazın, öncelikle öz kaynaklarımızdan olmak üzere yurtiçi ve yurtdışı kaynaklarından sağlanması amacıyla kara alanlarının yanı sıra özellikle son yıllarda denizlerimizde yoğun bir arama ve sondaj faaliyetlerinde bulunmaktadır. Bu arama faaliyetleri sonucunda gerçekleştirilmesi muhtemel keşiflerin bir an önce üretime alınması ve ekonomiye kazandırılabilmesi için gerekli her türlü hazırlığı ve doğru planlamayı yapmaktadırlar. Özellikle Karadeniz’de, 2004 yılı içerisinde Ayazlı kuyusundaki gaz keşfine takiben Akçakoca yakınlarındaki yeni arama, tespit ve üretim kuyularının açılmasına ilişkin programlar yapılmış ve ilave kuyular açılmıştır (Şekil 45) ve (Şekil 46). Ayrıca, Doğu Karadeniz’de BP şirketi ile ortak yürütülen arama çalışmaları sonucunda, ülkemiz denizlerinde ilk derin deniz arama sondajı yapılmıştır [63].

Denizlerimizdeki sondaj çalışmaları, TPAO tarihinde erişilmemiş bir düzeyde bütün hızıyla devam etmektedir. TPAO, 2005 yılında ortakları Tareador-Stratic ve BP ile birlikte Karadeniz’de Ayazlı, Akkaya ve Hopa kuyularının sondajının aynı anda gerçekleştirerek denizlerde bir ilke imza atmıştır. Yeni keşif olarak ise Akçakoca gaz kuyusu yapılmıştır [63].

- Ayazlı
- Akkaya
- Hopa
- Akçakoca



Şekil 45. Batı Karadeniz ortak arama projesi [63].



Şekil 46. Batı Karadeniz platform yerleşim planı [63].

1.7.1. Akkaya alışmaları

TPAO-TOREADOR-STARTIC ortak girişimi ile burada 3 adet sondaj kuyusu açılmıştır. Buralarda inşa edilen açık deniz yapıları Şekil 47 ve Şekil 48’de görülmektedir.



Şekil 47. Akkaya’daki platform [63].



Şekil 48. Akkaya’daki platform [63].

1.7.2. Ayazlı Çalışmaları

TPAO-TOREADOR-STARTIC ortak girişimi ile burada 3 adet sondaj kuyusu açılmıştır. Ayazlı bölgesinde yeni keşif çalışmaları da yapılmaktadır. Buralarda inşa edilen açık deniz yapıları Şekil 49 ve Şekil 50’de görülmektedir.



Şekil 49. Ayazlı'daki platform [63].



Şekil 50. Ayazlı'daki platform [63].

1.7.3. Hopa alışmaları

Doğu Karadeniz Bölgesi'nde TPAO-BP ortak çalışması bulunmaktadır. Ortak işletme anlaşması kapsamında, açılan Hopa kuyusu Ocak 2006 itibariyle tamamlanmıştır. Bu kuyudan elde edilen verilerle jeofizik ve jeolojik çalışmalara devam edilmektedir. Şekil 51 ve Şekil 52'de bu konuyla ilgili olarak sondaj gemileri verilmiştir [63].



Şekil 51. Hopa sondaj gemisi [63].



Şekil 52. Hopa sondaj gemisi [63].

1.7.4. Akçakoca Çalışmaları

Batı Karadeniz ortak işletme anlaşması kapsamında açılan Akçakoca'daki arama kuyuları gazlı kuyular olarak tamamlanmıştır. 2006 yılında Akçakoca'da yeni çalışma alanları keşfedilmiştir. Şekil 53 ve Şekil 54'te Akçakoca'daki platformlar verilmiştir [63].



Şekil 53. Akçakoca'daki platform [63].

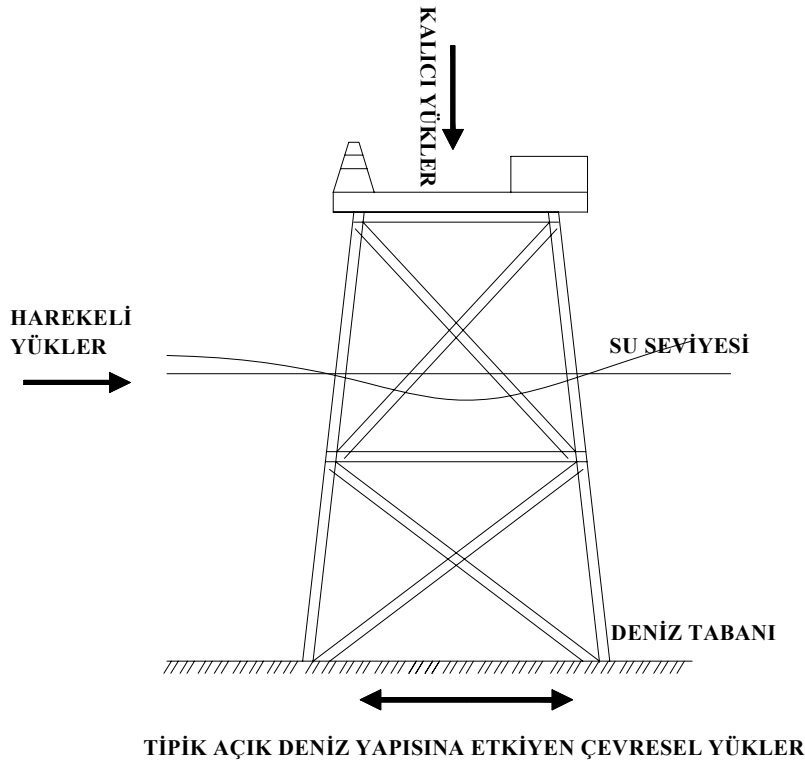


Şekil 54. Akçakoca'daki platform [63].

2. AÇIK DENİZ YAPILARINA ETKİYEN YÜKLER

Tasarım esnasında dikkate alınması gereken yüklerin belirlenmesi mühendis için en önemli konudur. Yapı tasarımında yapıya etkiyebilecek bütün statik ve dinamik yükler dikkate alınmalıdır. Yapı analizine başlamadan önce deniz şartlarında yapıya etkileyebilecek bütün önemli yükler incelenir. Mühendislerin amacı yapıya etkileyebilecek bu yükleri ana başlıklar altında karakterize etmektir. Örnek olarak suyun üstündeki rüzgâr, su yüzeyindeki dalga ve akıntı verilebilir. Yapılara etkiyen yükleri en genel şekilde aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir (Şekil 55).

- Kalıcı Yükler
- Hareketli Yükler
- Üretim ve Tesisat Yükleri
- Çevresel ve Tesadüfi Yükler



Şekil 55. Açık deniz yapısına etkiyen yükler

2.1. Kalıcı Yükler

Kalıcı yükler aşağıdaki yüklerden oluşmaktadır;

- Yapının kendi ağırlığı
- Yapının üzerinde devamlı duran araçlar
- Yapı elemanları üzerinde etkiyen hidrostatik kuvvetler başlığı altında toplanır

2.2. Hareketli Yükler

- Yapı işlevi nedeniyle bulunan gereçler ve kullanılan elemanlar.
- Sondaj, geminin demirlenmesi, helikopterin inişi, vincin çalışması gibi olaylarda meydana gelen yükler.

Bu olaylardan kaynaklanan yüklerle ilgili verileri hesaplamak tasarımcının yapması gereken en önemli konulardandır. BS6235 standardına göre yükler aşağıda verilmektedir [48];

- Mürettebat ve geçit yerleri: $3,2 \text{ kN/m}^2$
- Çalışma alanları: $8,5 \text{ kN/m}^2$
- Depolama ve muhafaza etme yerleri: $6,78 \text{ kN/m}^2$ [48].

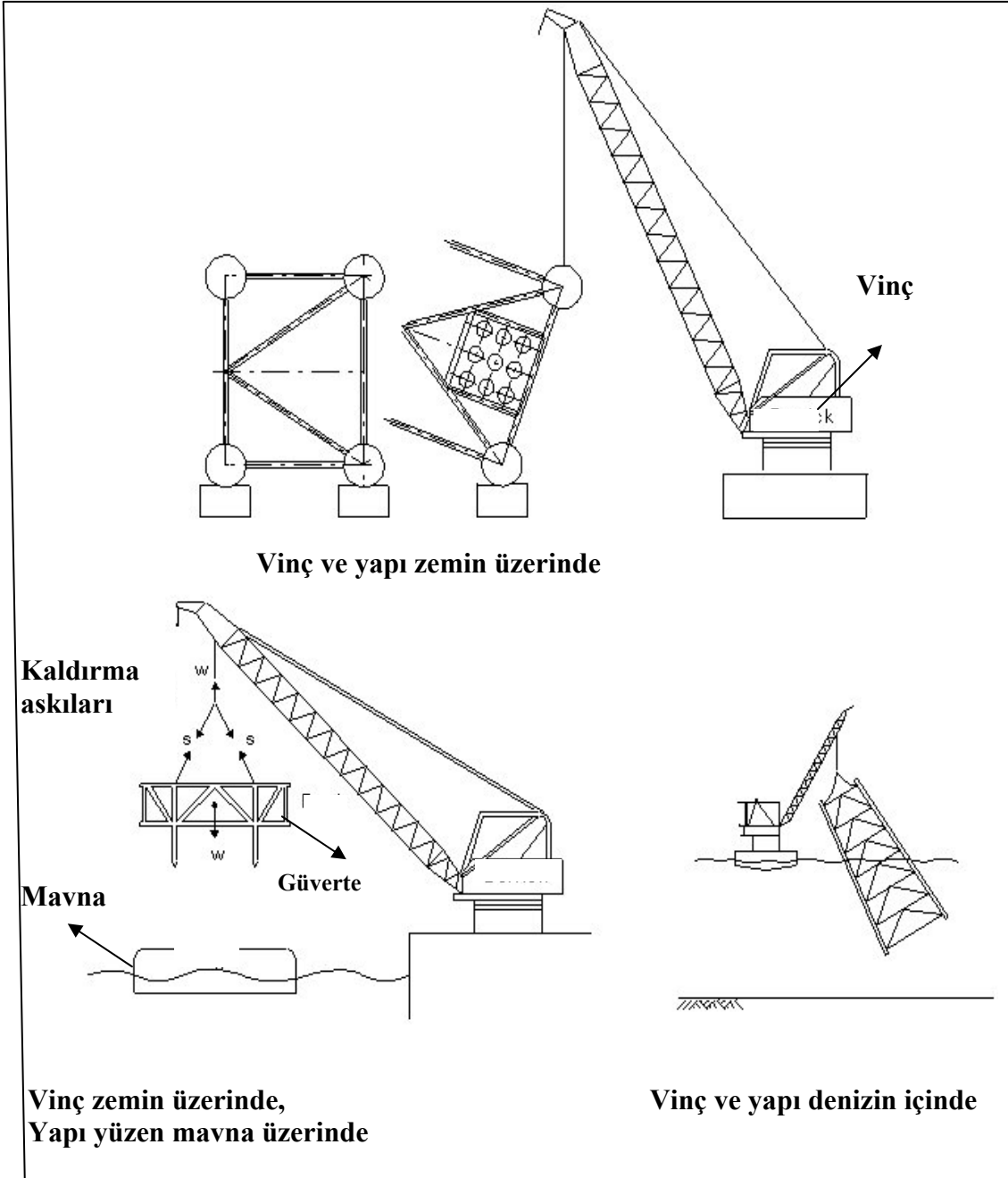
2.3. Üretim ve Tesisat Yükleri

Bu yükler; geçici, yapıda üretim boyunca meydana çıkan ve açık deniz yapılarının kurulumunda bulunan elemanların meydana getirdiği yüklerdir ve bu yüklerden kaynaklanan kuvvetlerdir [48].

- Kaldırma elemanlarının çalışması esnasında
- Tahliye elemanlarının çalışması esnasında
- Nakliye esnasında
- Denize indirme ve dikine çevirme esnasında

2.3.1. Kaldırma Elemanlarının Çalışması Esnasında

Kaldırma elemanları çalışırken yapıya tasarımcının dikkate alması gereken önemli yükler etki etmektedir. Bu kuvvetler genelde yapının dikey elemanlarına etkiler. Kaldırma elemanlarının çalışma yerleri ve şekilleri farklıdır. Buna örnek Şekil 56’da verilmiştir.



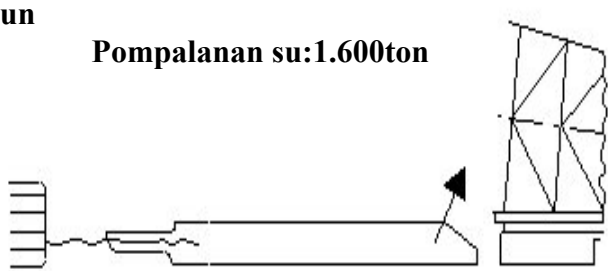
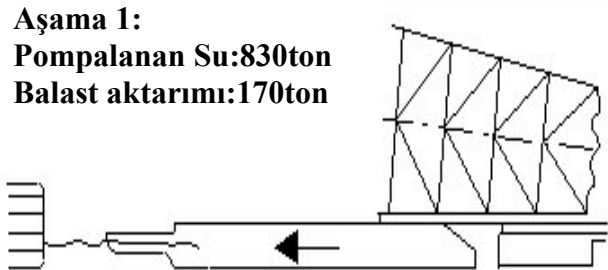
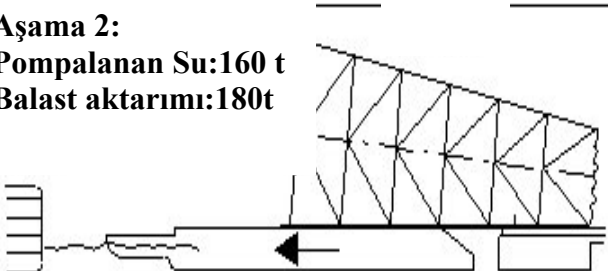
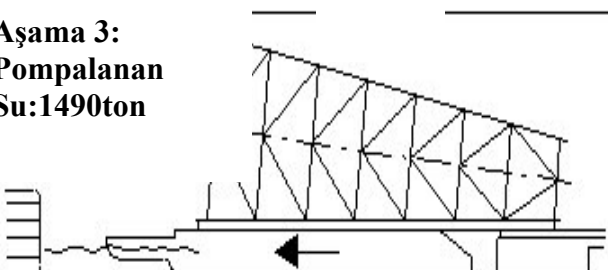
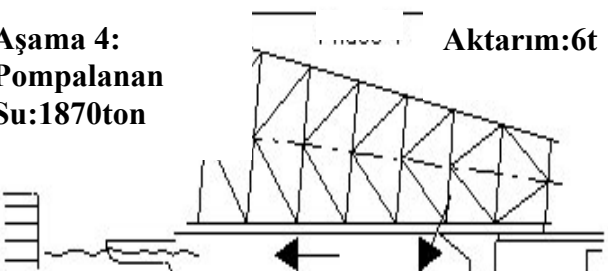
Şekil 56. Değişik koşullar altında kaldırma olayı [48].

Bütün yapı elemanları ve birleşim noktaları tasarlanırken bu kuvvetler dikkate alınmalıdır. Bu yüklerle ilgili bilgiler API-RP2A standartlarında bulunmaktadır. Kaldırma yükleri genelde yatay olarak etki yapmazlar.

2.3.2. Tahliye Elemanlarının Çalışması Esnasında

Bu kuvvetler genelde yapının inşa sahasından mavnaya üzerine tahliye edilirken meydana gelen kuvvetlerdir. Tahliye olayı vinç yardımı ile kaldırılıp mavnaya üzerine yada yapının kaydırılarak mavnaya üzerine yerleştirilmesi gibi değişik şekillerde yapılabilir. Her durum için API-RP2A standardında katsayıları bulunmaktadır. Şekil 57’de görüldüğü gibi değişik şekillerle yapı tahliye edilebilir. Gel-git durumunda, değişik draft koşullarında örnek verilebilir. API-RP2A standardından bazı katsayılar örnek olarak verilmiştir [48].

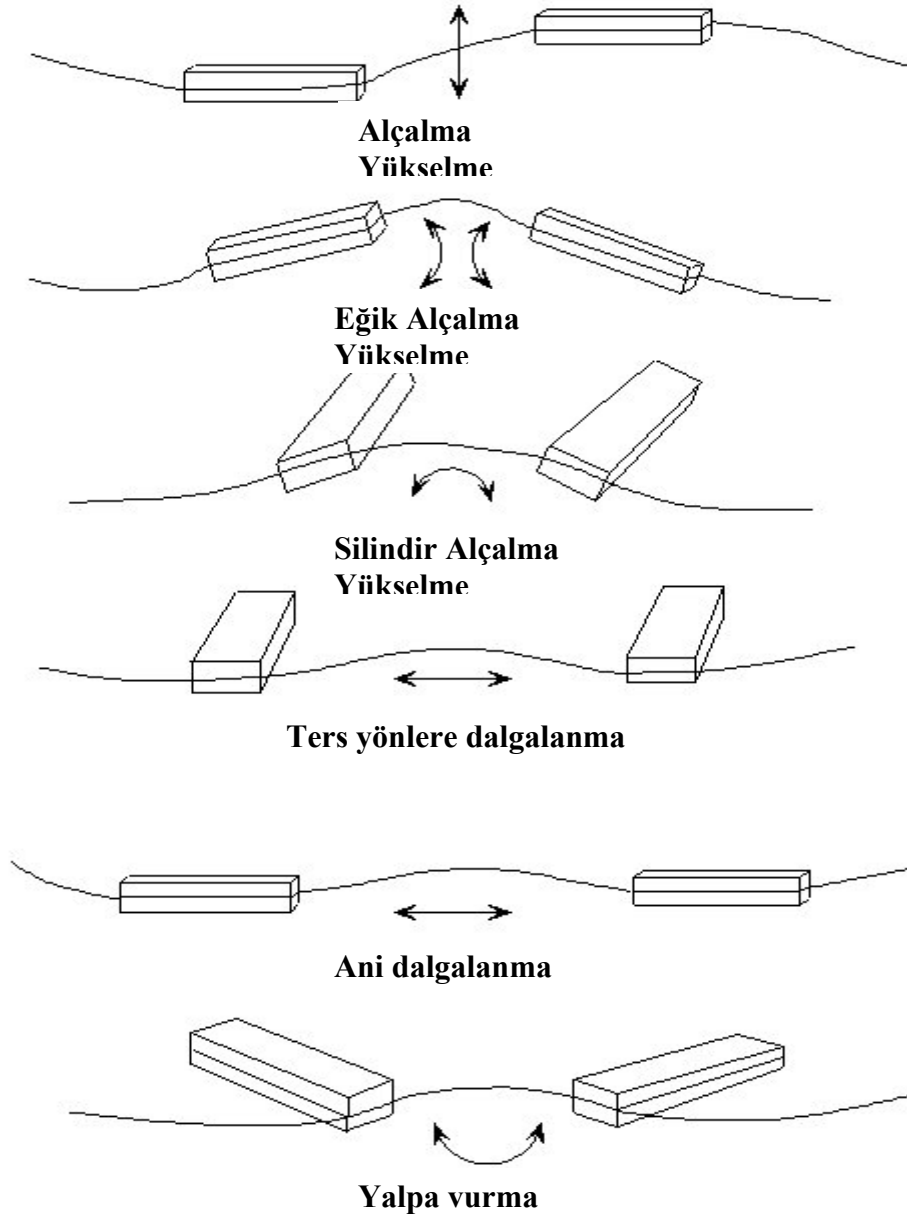
- Çelik malzemenin çelik malzemenin üstünde yağlamadan kaydırılması.
- Çelik malzemenin çelik malzemenin üstünde yağlayarak kaydırılması.
- Çelik malzemenin teflon malzeme üzerinde kaydırılması.
- Teflon malzemenin teflon malzeme üzerinde kaydırılması.

Draftı	Çıkan suyun ağırlığı	Pompalanan su:1.600ton	Yapının yük İlerlemesi aktarımı	Mavna üzerine
5,54m	37.000t		0	0
6,14m	40.220t	Aşama 1: Pompalanan Su:830ton Balast aktarımı:170ton 	65 m	8.500t
6,59m	43.000t	Aşama 2: Pompalanan Su:160 t Balast aktarımı:180t 	95m	12.800t
7,20m	47.780t	Aşama 3: Pompalanan Su:1490ton 	125m	17.000t
7,54m	50.500t	Aşama 4: Pompalanan Su:1870ton Aktarım:6t 	142m	17.000t

Şekil 57. Değişik durumlarda kaydırılarak tahliye [48].

2.3.3. Nakliye Esnasında

Bu kuvvetler açık deniz yapılarının mavna üzerine yada kendi kendine yüzmesi için nakliye yapılırken meydana gelen kuvvetlerdir. Bu kuvvetler yapı ağırlığına, geometrisine, mavna şartlarına ve nakliye sırasındaki çevresel koşullarına (dalga, rüzgar, akıntı) bağlıdır. Yüzen yapıların hareket halindeki davranışları şematik olarak Şekil 58’de verilmiştir.



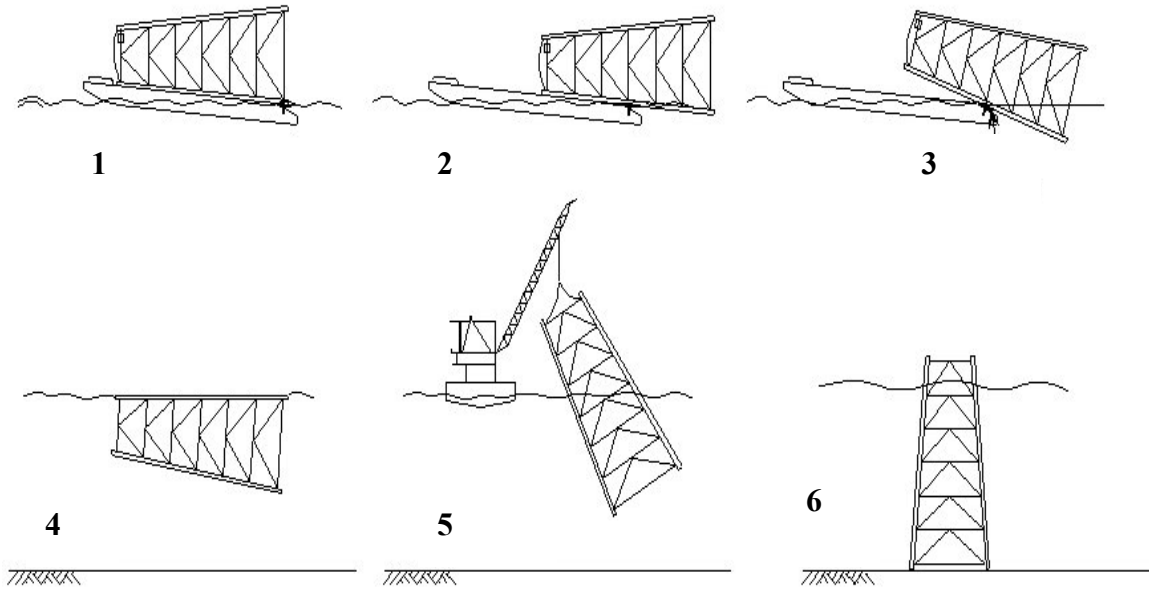
Şekil 58. Yüzen yapıların hareket halindeki davranışları [48].

Nakliye sırasında meydana gelebilecek riskleri minimize etmek için;

- Önceden belirlenmiş güzergâhı takip etmek.
- Meydana gelebilecek hava koşullarının tahmini.
- Ulaşılabilir güvenli liman yerlerini bilmek.
- Mevsimlik hava koşullarının bilinmesi.
- Tasarım rüzgar, dalga ve akıntı koşullarının analiz edilmesi ve tahmini.

2.3.4. Denize İndirme ve Dikine Çevirme Esnasında

Bu kuvvetler yapının mavnadan alınıp denize indirilmesi ve denizin içinde dikey konumu alana kadar geçen zamanda yapılan çalışmalarda meydana gelen kuvvetlerdir. Bir örnek şematik olarak Şekil 59'da verilmiştir.



Şekil 59. Ceket tipi platformun denize indirme ve dikey çevirme şeması [48].

Bir açık deniz yapısının denize indirme ve dikey çevirme esnasında 5 aşama vardır.

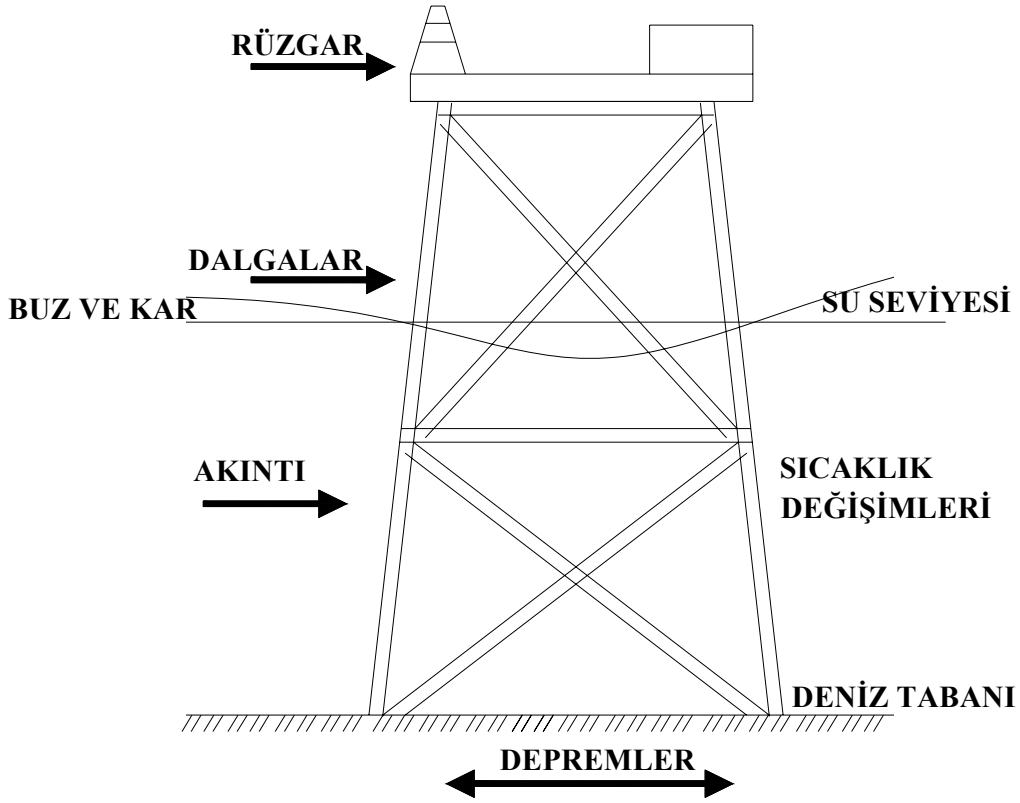
- Kızak kirişi üzerinden yapının kaydırılması.
- Yapının ayak kolu üzerinden devrilmesi.
- Yapının aynı anda döndürülmesi ve kaydırılması.
- Yapının tam olarak ayrılması ve yüzme denge pozisyonunu alması.
- Vinç mavna yardımıyla yapının dikey pozisyonunu alması.

Bu işlemler sırasında yapı dinamik ve statik yükler etkisi altındadır ve rüzgar, dalga, akıntı gibi yüklerde çalışma boyunca etkili olmaktadır.

2.4. Çevresel ve Tesadüfî Yükler

Açık deniz yapıları tasarlanırken çevresel koşullar önemlidir ve tasarımcı bu çevresel koşullardan kaynaklanan yükleri tespit etmesi gerekmektedir (Şekil 60). Yapının çevre koşulları karakterize edilirken;

- Yerleşimdeki su derinliği.
- Yerleşimdeki toprak özelliği.
- Rüzgar hızı ve hava sıcaklığı.
- Dalga, gelgit, fırtınalarda deniz yükselmesi ve akıntı.
- Depremler dikkate alınır.



Şekil 60. Açık deniz yapısına etkiyen çevresel yükler

Okyanus çevresinde gaz ve petrol kaynaklarını keşfetmek için genellikle çelik elemanlar kullanılmaktadır. Bu yapılar karmaşık şekillere sahip yapılardır. Bu yapıların uzun dönemde yüklerden dolayı bağlantı noktalarında aşırı yorgunluk ortaya çıkacaktır.

Açık deniz yapıları;

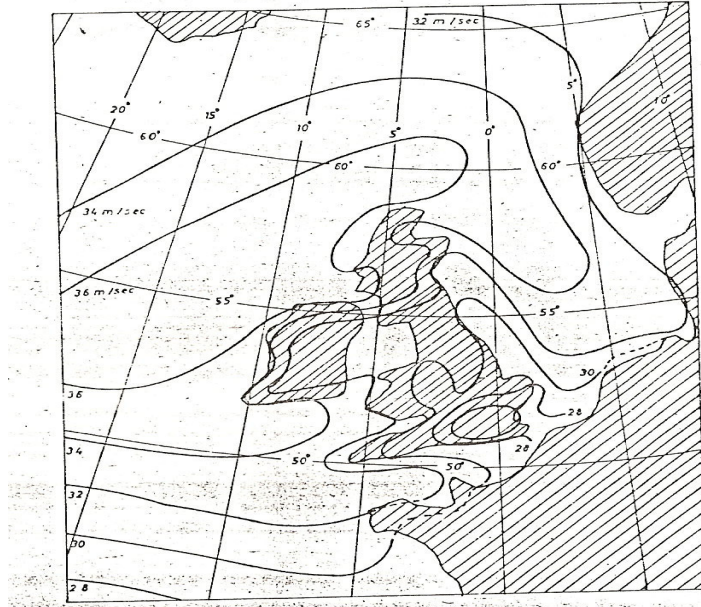
- Meteorolojik olarak rüzgar, buz ve kar, sıcaklık değişimleri.
- Okyanusta olarak dalga ve akıntı.
- Jeolojik olarak deprem yüklerine maruz kalırlar. Bu yükler deterministik olmayan özellik gösterirler ya da zaman içinde büyük değişiklik göstermektedir.

Çalışma ortamını teşkil eden deniz ve havanın fiziksel özellikleri ve bunların açık deniz yapılarına etkilerini ve yapının bu etkilere tepkisini bilmek gerekir. Bir gemi ile bir açık deniz yapısına gelen yükler arasında tabii ki bir benzerlik vardır, ama önemli farklılıklar mevcuttur. Bunların en belirginini açık deniz yapılarının iş gördükleri sırada ileri

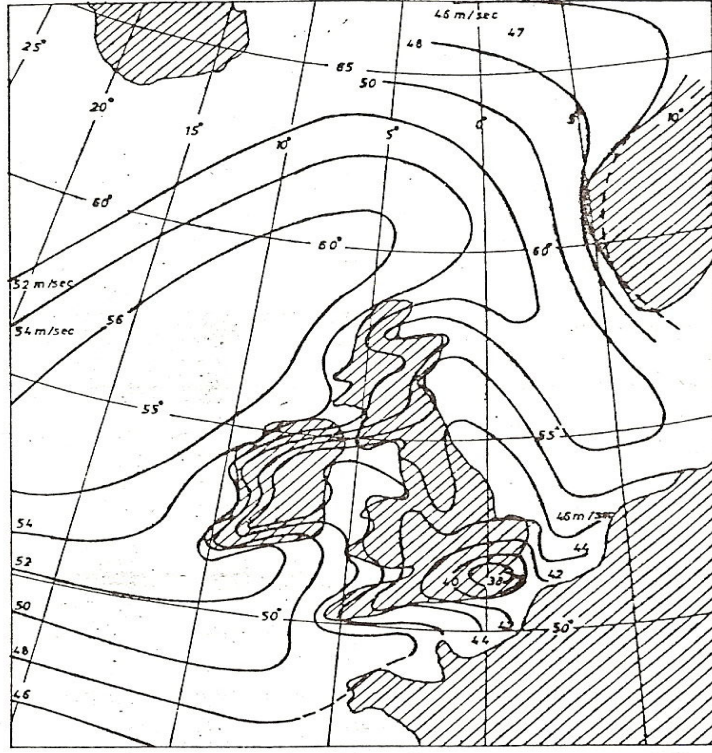
hızlarının bulunmayışıdır. Bu açıdan gemi inşaatçının klasik konularından olan direnç ve sevk problemi burada ikinci derecede önem taşır. Çevresel yükler dediğimizde ilk olarak dalga, rüzgar ve akıntı yükleri ve bunların elli veya yüz yılda bir ortaya çıkan en büyük değerleri açık deniz yapılarının tasarımında son derece önemlidir. Örneğin sabit bir platform için yaklaşmakta olan bir kasırgadan rota değiştirmek suretiyle kaçmak söz konusu olamaz. Bu konu genelde yarı batıklar için de geçerlidir. Açık deniz yapılarının formları, çalışma sırasında gerçeklemek durumunda oldukları şartlara bağlı olarak gemilerden oldukça farklıdır.

Her tasarım hesabının başlangıç noktası meteorolojik ve oşinografi verileridir. Bu verilerin neler olabileceği Kuzey denizi örnek olmak üzere aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir. Bu şekillerde 50 yıl içinde tespit edilen en yüksek değerler gösterilmektedir [64].

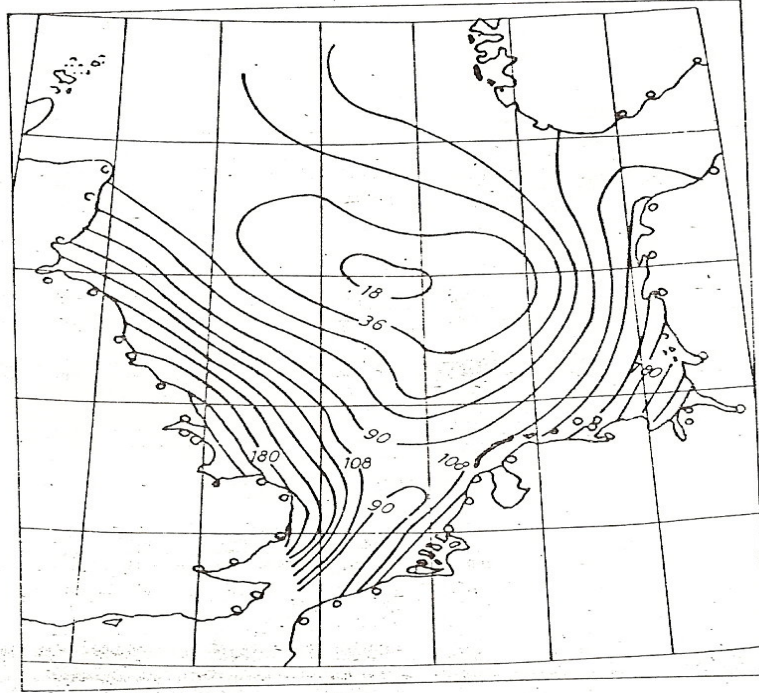
- 1 saat müddetle esen rüzgârın hızı (Şekil 61)
- En büyük sağanak hızı (Şekil 62)
- Rüzgârın sebep olduğu seviye yükselmesi (Şekil 63)
- En büyük gel-git yüksekliği (Şekil 64)
- Maksimal dalga yüksekliği (Şekil 65)



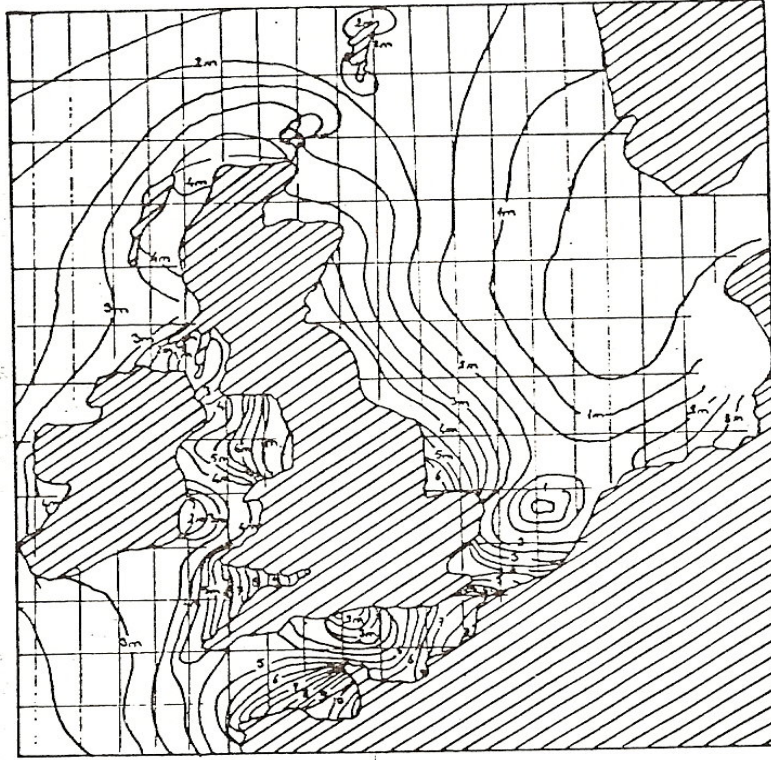
Şekil 61. Bir saat müddetle esen rüzgârın hızı [64].



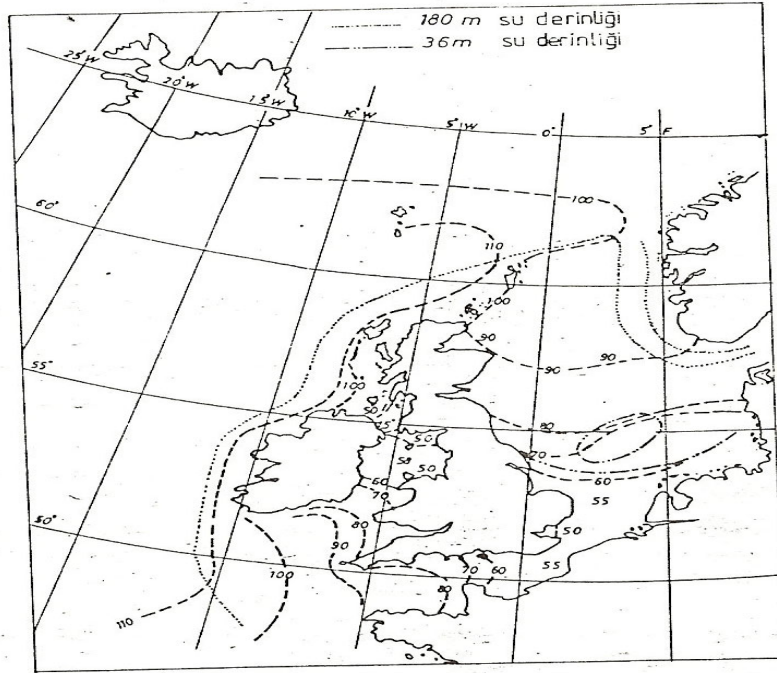
Şekil 62. En büyük sağanak hızı [64].



Şekil 63. Rüzgarın sebep olduğu seviye yükselmesi [64].

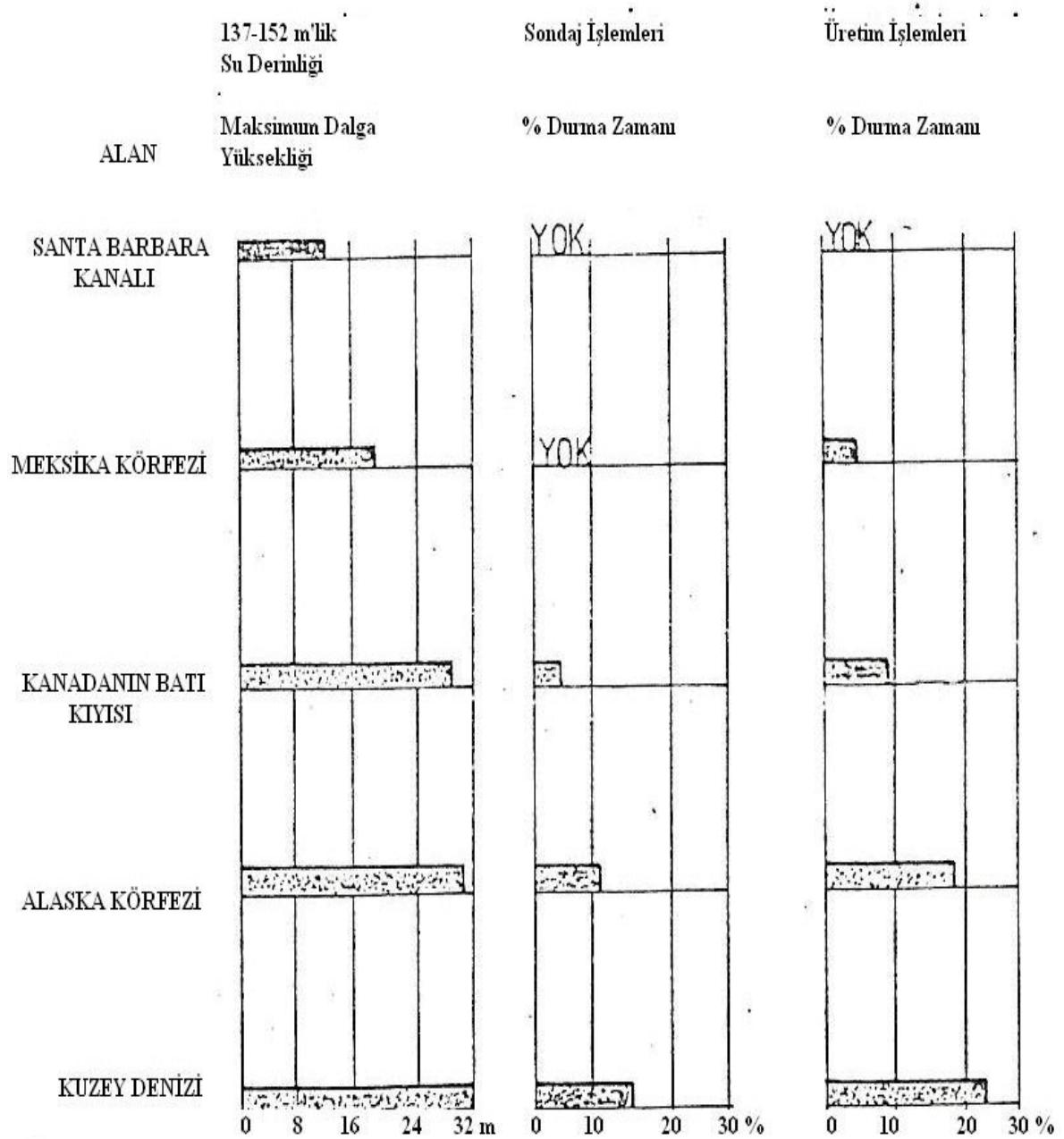


Şekil 64. En büyük gel-git yüksekliği [64].



Şekil 65. 50 yılda bir kere rastlanan maksimal dalga yüksekliği [64].

Bu şekillerle verilmiş olan veriler, bu bölge için tasarımında baz teşkil etmektedir. Aksi takdirde bu koşullar yapının hizmette bulunduğu zaman zarfında ortalama olarak hiç olmazsa bir defa meydana gelmektedir. Bu yüzden bu büyüklüklere tasarım rüzgar hızı ve tasarım dalga yüksekliği denilmektedir. Farklı alanlardaki çalışma koşullarının karşılaştırılması sonucu en ağır şartların Kuzey Denizi'nde olduğu görülür (Şekil 66) [64].



Şekil 66. Farklı alanlardaki çalışma koşullarının karşılaştırılması [64].

Açık deniz genellikle değişken ve tahmin edilemeyen hava durumu koşulları, deniz koşulları, su seviyesi dalgalanmalarına, yüksek nem, korozif tuz gibi etkilere sahiptir. Bu çevre koşulları bir açık deniz yapısı tasarlanırken dikkate alınmak zorundadır. Bunların yanında deniz büyümesi ve mümkün olabilecek gemi etkisi de dinamik yükler altında hesaba katılmalıdır. Güvenli ve uzun süreli çalışabilecek bir yapı sağlayabilmek için tasarımı yaparken ekstrem ve tesadüfi koşullar göz önüne alınmak durumundadır. Bir açık deniz yapısının tasarımında üç ana yük etkili olmaktadır. Bunlar dalga, rüzgar ve akıntıdır. Fakat diğer oluşabilecek rasgele yüklerde yapı tasarımı açısından önemlidir. Açık deniz yapısına genel olarak etkiyen çevresel ve rasgele yük etkileri;

- Rüzgar Yüğü
- Dalga Yüğü
- Akıntı Yüğü
- Deprem Yüğü
- Buz ve Kar Yüğü
- Sıcaklık Farkından Oluşan Etkiler

2.4.1. Rüzgar Yüğü

Çevresel yüklerin mühendisler için genelde en yaygın olanı rüzgardan kaynaklanan yüklerdir. Rüzgar yüğü açık deniz yapı tasarımında çok önemlidir. Çünkü rüzgar açık deniz yapılarının deniz yüzeyinin üstünde kalan yapı elemanları üzerine etkimektedir. Örnek olarak araçlar, barınacak yer, kule vinçlerinde yani yapı güvertesinin üstünde olan ekipmanlarda rüzgar yüğü etkili olmaktadır. Bu kuvvetlerin spektrumu dalgalanma spektrumu ile hesaplanmaktadır. Bunun sonucunda kuvvetin değeri ve hızı ortaya çıkmaktadır. Tipik bir açık deniz yapısında rüzgar yükünün etkisi tüm çevresel yüklerin %5–10 oluşturduğunu söylenebilir [65]. Rüzgarın neden olduğu kuvvetin yapı üzerinde ne kadar etkili olabileceğini basit bir örnek olarak; rüzgar hızı Meksika Körfezinde fırtına şartlarında 45 m/s aşması halinde neden olacağı yatay yükler yapı üzerine 445 kN üzerindedir.

Rüzgar yüğü bilgileriyle ilişkili olarak bu yükün periyodu önemlidir. Eğer bu periyot bir dakikadan az ise ani rüzgar olarak yada bir dakikadan fazla ise devamlı rüzgar diye sınıflandırılmaktadır. Bu nedenle tasarım esnasında rüzgâr koşullarını tespit etmek için

bölgede oluşan rüzgarlar hakkında detaylı bilgiler toplanmak zorundadır. Tasarım esnasında kullanabilmek için açık deniz yapısının yapılacağı bölgedeki rüzgar koşullarıyla ilgili veriler toplanır. Genelde tasarımda rüzgar iki kabulle irdelenmektedir.

- Rüzgar yükü devam eden bir harekettir ve bir dakika ortalama hıza dayanır.
- Düzensiz hareket eden rüzgar kuvvetleri bir saatlik ortalama hızlara bağlıdır ve kuvvetli rüzgar spektrumlarıyla hesaplanır.

Yöntem seçimleri eldeki parametrelere ve analizin amacına bağlıdır. Rüzgarın yönü tasarım esnasında tartışılabilir konular arasındadır.

Rüzgar ve dalga kuvvetlerini birbirleriyle büyüklük olarak karşılaştırılırsa (Şekil 67), yoğunluk farkına rağmen bunların birbirlerine yakın oldukları görülür.

$$\frac{\rho_{hava}}{\rho_{su}} = \frac{1}{800} \quad (1)$$

$$\text{Burada kuvvetler } F = \rho \frac{v^2}{2} \text{ ve} \quad (2)$$

$$\text{Momentler } M = F \cdot s \quad (3)$$

olarak hesaplanır.

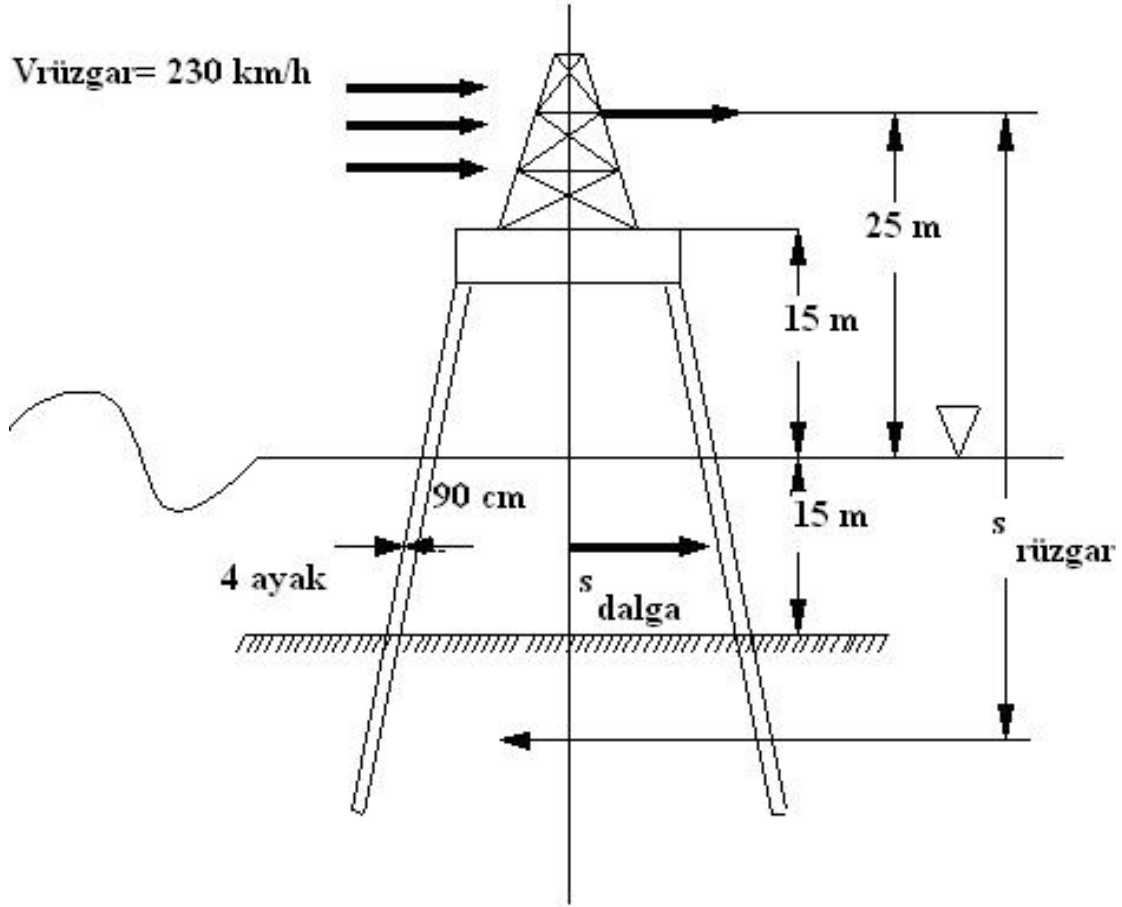
V : Hızları

s : Moment kollarını göstermektedir.

$V_{rüzgar} \gg V$ dalgadaki orbital hızı

$S_{rüzgar} > S_{dalga}$

Örnek olarak;



Şekil 67. Dalga ve rüzgar kuvvetlerinin karşılaştırılması

Bu örnekte platforma etkiyen rüzgar ve dalga momenti birbirine eşittir.

$$M_{rüzgar} = 15 \cdot 10^6 \text{ Nm}$$

$$M_{dalga} = 15 \cdot 10^6 \text{ Nm}$$

Yapı üzerindeki rüzgar yüklerini tahmin edebilmek için ilk olarak bilinmesi gereken şey rüzgarın hızıdır. Rüzgarın hızı belirlendikten sonra rüzgar kuvvetleri hesaplamak için üst yapının elemanları ayrı ayrı ele alınmaktadır. Çünkü bunların geometrileri farklıdır. Bu elemanlara gelen rüzgar kuvvetlerinin hesap teknikleri geometrilerinden dolayı farklı olacaktır [65].

Tip 3: Güverteler ve helikopter iniş platformu geniş yatay yüzeylere sahiptir. Rüzgar bu yüzey sınırlarında etkili olur. Rüzgar akımı bu yüzeylere paraleldir. Ana kuvvet ağırlıklı olarak üsteki yüzeyde etkili olur ki bu olay bu tür yapılarda düşey hareket için gerekli olan yükselmeye neden olabilir.

Tip 4: Platformun destekleyici ayaklarıdır. Ağırlık platformlarının çekilmesi süresince bu elemanlarda rüzgar yükü aynı problemlere neden olur. Analizler spektral analiz yapılmakta ve elemanlar düşey eleman olarak düşünülmektedir. Bu elemanlarda Morison eşitlikleri kullanılarak hesap yapılır.

2.4.1.1. Tip 1 Yapıları

Bu yapılar küçük çaplı silindirler içerir ve rüzgar akımı bu elemanlar üzerinde hissedilir bir etki yapmaz. Şimdi hesap yaparken rüzgar basıncı noktasal olarak aşağıdaki gibi belirlenir.

$$P(t) = \frac{1}{2} \rho_a C_d V^2(t) \quad (4)$$

$P(t)$: Zamana bağlı basınç gerilmesi.

ρ_a : Havanın yoğunluğu.

C_d : Elemanın geometrik şekline göre sürtünme katsayısı.

$V(t)$: Zamana bağlı rüzgar hızı.

Şiddetli basınç ve hızın değişik türde bileşenleri vardır.

$$V(t) = \bar{V} + v(t) \quad (5)$$

$$P(t) = \bar{P} + \rho(t) \quad (6)$$

Hız dönemlerinin sıralaması ihmal edilebilir. Bu şekilde yeni bir bağıntı olarak,

$$\bar{P} + \rho(t) = \frac{1}{2} \rho_a c_d \bar{V}^2 + \rho_a c_d \bar{V} v(t) \quad (7)$$

$$\text{yada; } \bar{P} = \frac{1}{2} \rho_a c_d \bar{V}^2 \quad (8)$$

$$\text{ve } P(t) = \rho_a c_d \bar{V} v(t) \quad (9)$$

Basınç ve hız spektrumları şu şekilde ifade edilebilir.

$$S_{pp}(t) = (c_d \rho_a \bar{V})^2 S_{vv}(f) \quad (10)$$

$$S_{\rho\rho}(t) = (2\bar{P} / \bar{V})^2 S_{vv}(f) \quad (11)$$

Su akımı dairesel bir silindir etrafında meydana gelirse kaldırma kuvveti ortaya çıkarabilir. Aynı düşünceyle hava akımı ayrılabilir ve hava girdabı saçılabilir. Bu da kaldırma kuvvetine neden olmaktadır. Yayılma frekansı f_s Strouhal sayısı S ile bulunabilir. S değeri dairesel silindirler için yaklaşık olarak 0,16 değerindedir [49].

$$S = Df_s / \bar{V} \quad (12)$$

ve kuvveti yaklaşık olarak,

$$F(z, t) = \frac{1}{2} \rho_a D c_l |\bar{V}| \bar{V} \exp(\pi i f_s t) \quad (13)$$

bağıntısıyla hesaplanabilir.

2.4.1.2 Tip 2 Yapıları

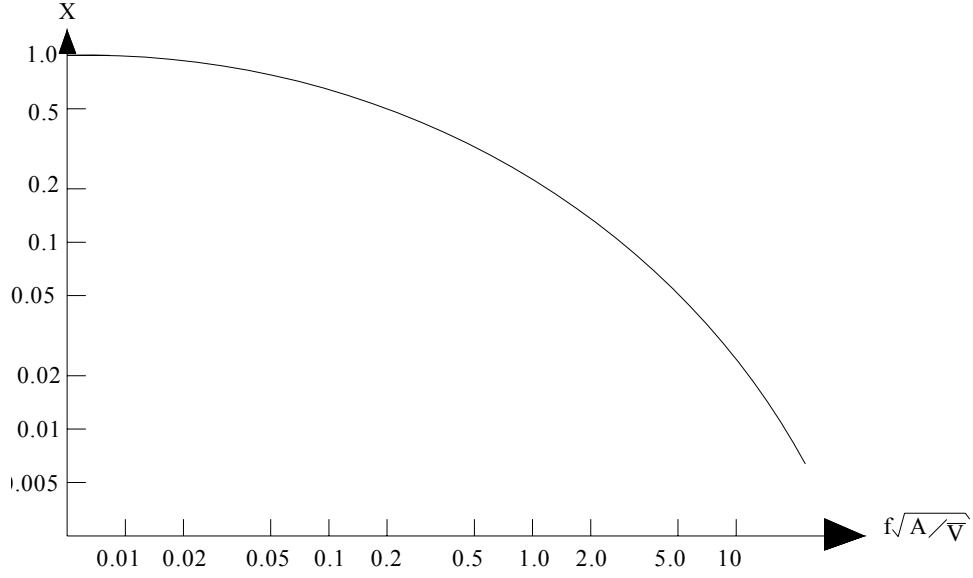
Boyutları hava akımı ile karşılaştırılabilir yapılarda (11) bağıntısında farklı olarak bir terim daha kullanılmaktadır. Bu terim aerodinamik giriş fonksiyonu olarak X^2 ifade edilmektedir.

Bu durumda;

$$S_{\rho\rho}(t) = (2\bar{P} / \bar{V})^2 X^2 S_{vv}(f) \quad (14) \text{ yazılır.}$$

Vickery X ifadesini tanımlamak için (Şekil 69),

$$X = \frac{1}{1 + (2f \sqrt{A / \bar{V}})^{4/3}} \quad (15)$$



Şekil 69. Aerodinamik tepki grafiği [65].

Grafikte her X değeri için bulunan $f\sqrt{A/\bar{V}}$ değerleri bulunmaktadır. Burada A hava akımının yapıda etki ettiği alanı ifade etmektedir. Yapı çevresindeki akım ve yükselmeler Şekil 70’de görülmektedir.

Eğer (14) denklemi integre edilirse kuvvet ve basınç spektrumu elde edilir. Bu şekilde genel olarak iki nokta önemlidir. Bunlar (y_1, z_1) ve (y_2, z_2) düzlem içinde. Bu iki nokta yardımıyla rüzgâr yönü bulunabilir.

$$S_{pp}^r(y_1, y_2, z_1, z_2, f) = 4 \exp\left(-\frac{C_V r f}{\bar{V}_G}\right) \exp\left(-\frac{C_H r f}{\bar{V}_G}\right) \times \frac{\bar{P}_G^2}{\bar{V}_G^2} X^2 \frac{\bar{V}_1 \bar{V}_2}{\bar{V}_G^2} S_{vv}(f) \quad (16)$$

1 ve 2 noktasının yerini tutan noktalar hesaplanabilir. Uzaya ait spektrumlar genelleştirilip yapıların kuvvet etki eden yüzeyleri için r modunda yazılabilir.

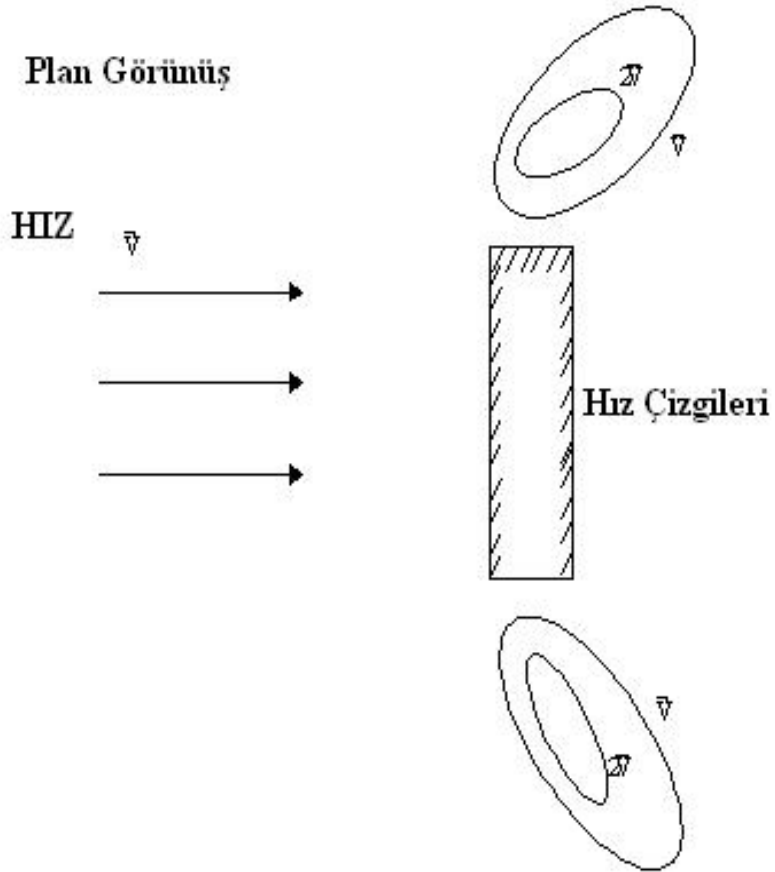
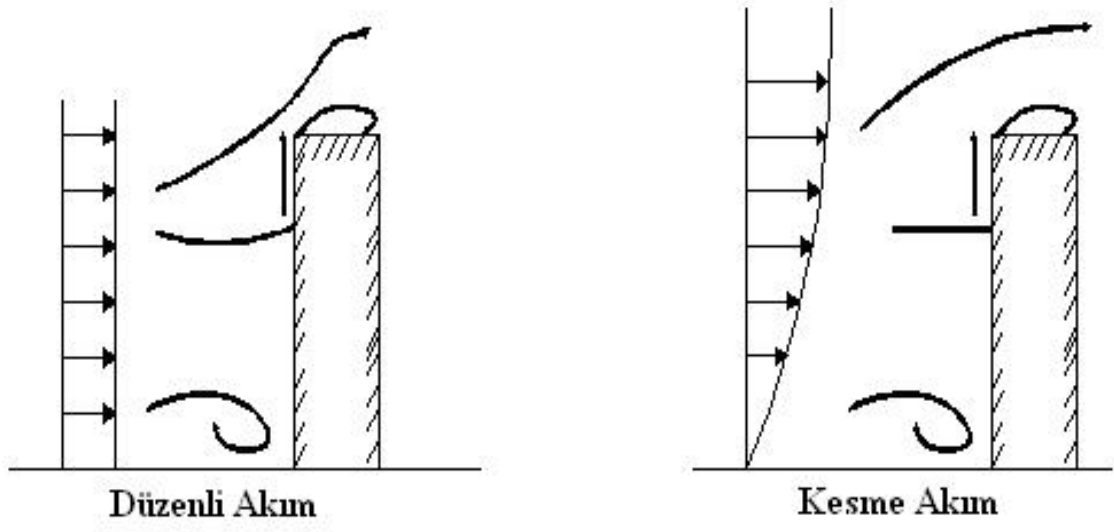
$$S_{pp}^r(f) = \iint_{\text{over area}} \iint S_{pp}^r(y_1, y_2, z_1, z_2, f) \phi_r(y_1, z_1) \times \phi_r(y_2, z_2) dy_1 dy_2 dz_1 dz_2 \quad (17)$$

$\phi_r(y, z)$ mod şekli γ terimi ile ilişkilendirilebilir ve yeni bağıntı:

$$S_{pp}^r(f) = S_{pp}(y_0, z_0, f) A^2 \iint \gamma(y_1, z_1, y_2, z_2, f) \times \phi_r(y_1, z_1) \phi_r(y_2, z_2) \frac{dy_1 dy_2 dz_1 dz_2}{A^2} \quad (18)$$

şeklindedir. Burada,

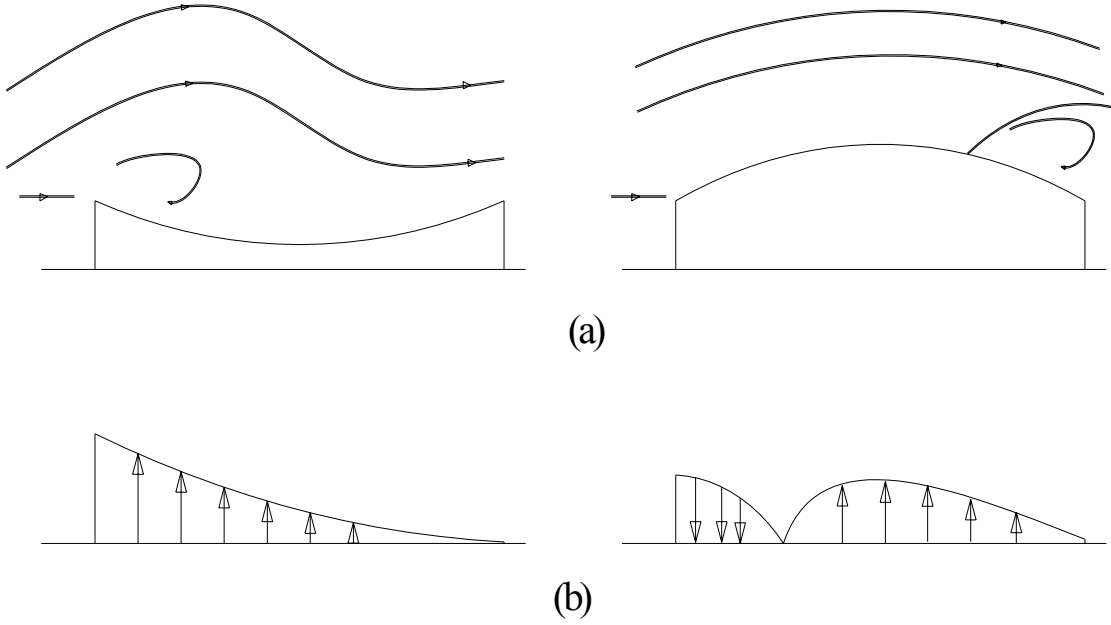
(y_0, z_0) terimi $S_{pp}(y_0, z_0)$ spektrumundaki noktayı ifade etmektedir [49].



Şekil 70. Yapı çevresindeki akım ve yükselmeler [65].

2.4.1.3. Tip 3 Yapıları

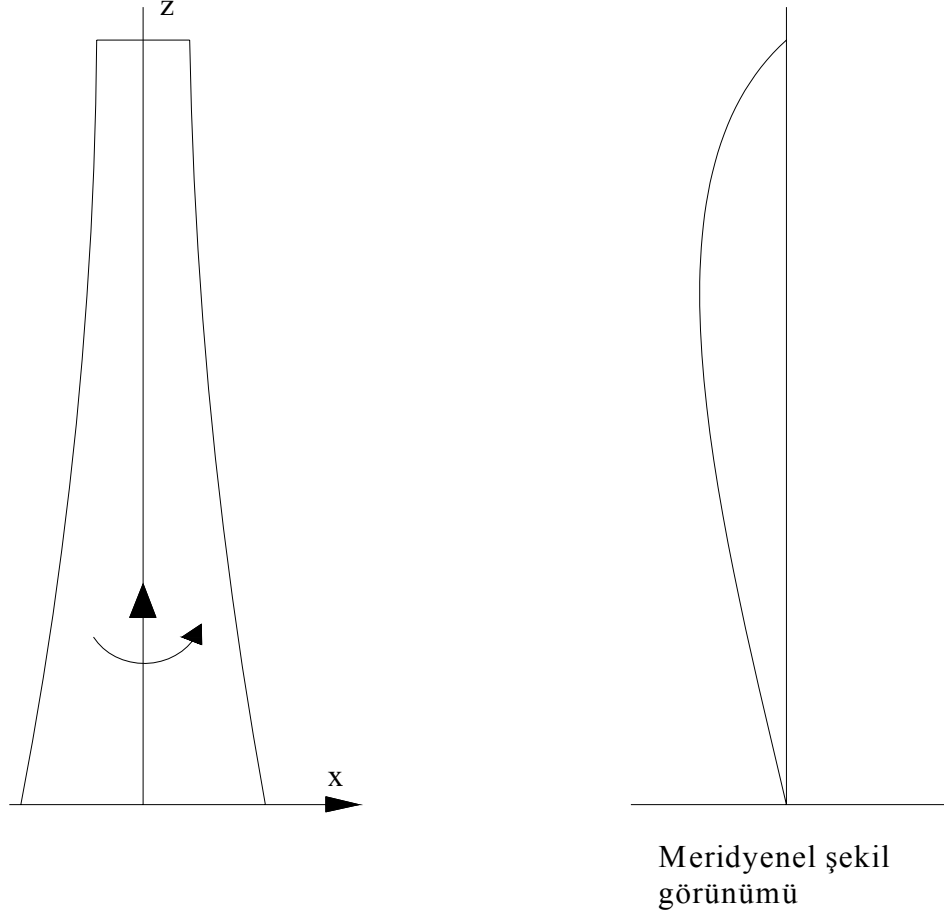
Yapıların düzgün yatay yüzeylerinde rüzgârın neden olduğu en büyük problem düşey dönmedir. Rüzgâr akımının yüzey üzerinde dağılımı şekil 71’de gösterilmiştir. Akımın dağılması basıncı yeniden dağıtabilir ve bu şekilde enerji yapı üzerinde transfer edilmiş olur. Düzenli dönüşüm dönmelerinin meydana geldiği zaman rüzgardan çıkan enerji titreşim hareketlerine neden olur. Bu olay pek güverte elemanlarında gözükmez çünkü güverte elemanları dikdörtgen yapılardır. Bu şekilde meydana gelen rüzgârın etkisi genelde çatı ve köprü elemanlarında gözükür.



Şekil 71. a) Akım çiftlerinin çatı üzerindeki etkisi, b) Akım yüzey altındaki gerilim etkileri [65].

2.4.1.4. Tip 4 Yapıları

Ağırlık tipi açık deniz yapılarında çok kullanılan geniş silindir destek ayakları kabuk eleman olarak rasgele yüklere karşı verdiği tepki şeklinde analiz edilmektedir. Çünkü bu elemanlar çok büyük bir boyuta sahiptir ve değişik türde çapraz elemanlar mevcuttur. Bunlar için yön belirlenmesi Şekil 72’de görülmektedir.



Şekil 72. Yerçekimi tip platform ayaklarının yön sapması [65].

2.4.2. Dalga Yüğü

2.4.2.1. Giriş

Bir açık deniz yapısının tasarımında dalgalar, kritik ve önemli etkindir. Dalgalar çok büyük miktarda kinetik enerjiye sahiptir. Bu kinetik enerji kuvvet oluşturur ve periyodik yük oluşumuna neden olur. Dalgalar düzensiz ve zamana bağlıdır. Bunlar açık deniz yapılarında stokastik yüklemelere neden olurlar. Buda stokastik analiz gerektirmektedir. Pratikte deniz spektrumları ve parametrik formüller hareketsiz deniz durumunda elde edilmektedir. Akıntının varlığında iki tür deniz spektrumu modellenmesi kullanılır. Bunlardan biri homojen dalga akıntı durumlarında, diğeri homojen olmayan dalga akıntı durumlarındadır. Dalgalar, açık deniz yapılarının su altında kalan bölümlerinde büyük kuvvetlere neden olduğu ve güverte bölümünde de etkili olabileceği için yapı tasarımının

diğer önemli bir parametredir. Örnek olarak Meksika Körfezi'nde dalga yüksekliği 15m'yi aşabilmektedir.

Dalgaların açık deniz koşullarında özelliklerini belirlemeden önce genel tanımları ve açık denizde dalgaların oluşumundan başlayarak kıyıya ulaşana kadar geçen süreç içinde meydana gelen değişimlerini genel hatlarıyla ele almak ve tanımlamak yararlı olacaktır. Burada dalga profilini karakterize eden büyüklükler ile bu büyüklüklerde değişime yol açan olaylar ve çeşitli tanımlar özet olarak verilmektedir (Şekil 73) .

Ortalama Su Seviyesi: Dalga profilinde altındaki alanla üstündeki alanın eşit olduğu çizgidir.

Dalga Yüksekliği: Dalga kreti ile dalga çukuru arasındaki düşey mesafedir.

Dalga Boyu: Sırayla iki dalga kreti veya dalga çukuru arasındaki yatay mesafedir.

Genlik: Genellikle dalga yüksekliğinin yarısına eşittir. Ortalama su seviyesinden yukarı doğru ölçülen pozitif aşağı doğru ölçülen negatif genliktir.

Dalga Periyodu: Sırayla iki dalga kretinin (çukuru) geçmesi arasındaki zaman aralığıdır.

Dalga Cephesi: Dalga kretinden (tepe noktası) geçen yanal yöndeki çizgiye denir.

Dalga Yönü: Dalgaların ilerlemekte oldukları yöndür.

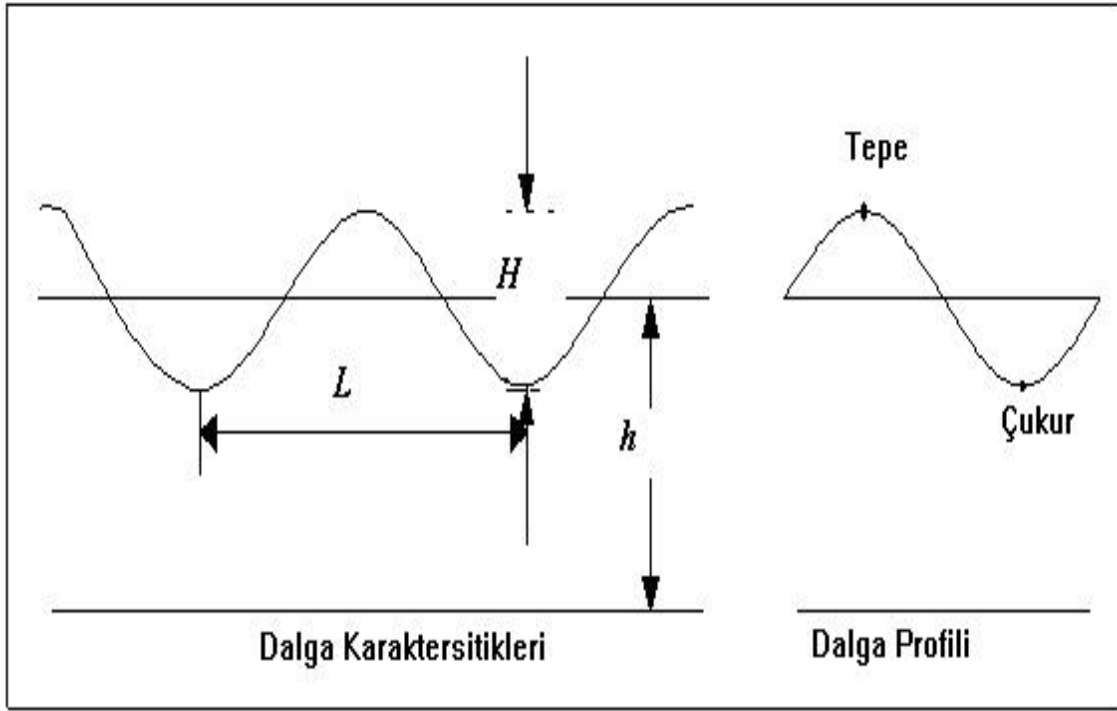
Dalga Ortogonalı: Dalgaların ilerlemekte oldukları ve dalga cephesine dik doğrudur.

Dalga Yayılma Hızı: Ortogonal üzerinde dalgaların ilerleme hızıdır (c).

Dalga Grup Hızı: Dalga enerjisinin yayılma hızıdır (c_g).

Dalga Enerjisi: Potansiyel ve kinetik enerjilerin toplamıdır (E).

Dalga Enerji Akısı: Dalga grup hızı ile enerjisinin çarpımına eşittir ve dalganın gücü olarak ta isimlendirilir [66].



Şekil 73. Tipik dalga gösterimi [66].

Derin sularda başka bir deyişle su derinliğinin dalga boyunun yarısında büyük olduğu hallerde grup hızı yayılma hızının yarısına sığ sularda ise kendisine eşittir.

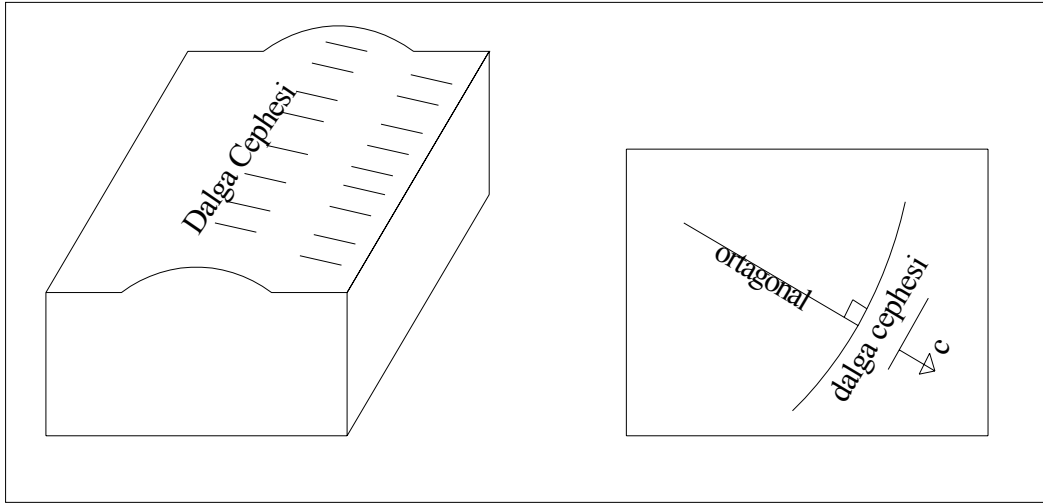
Derin sularda ;

$$c_g = \frac{c}{2} \quad (19)$$

Sığ sularda;

$$c_g = c \quad (20)$$

Bir ilerleyen dalga (Şekil 74), enerji ve momentum fakat kütle taşınması gerekmez.



Şekil 74. Basit bir dalga görünümü [66].

Birim genişlikteki dalga yüzeyinden geçen hacim q ise; sadece düzenli dalga durumunda $q=0$ olmaktadır. Küçük periyotlu dalgalarda su zerreciklerinin yörüngesi kapalı bir eğridir ve bu bir akım çizgisi değildir. Bu yörünge derin sularda daireseldir. Sığ sularda ise yatıklaşıp elips şeklini alır. Taban yakınlığında ise bir doğrudur. Su zerreciklerinin hızı, u , dalga yayılma hızından çok küçüktür, dalga kırılması anında ise eşit hale gelir [66].

$u \ll c$ Normal dalga

$u \approx c$ Kırılan dalga

Dalga Dikliği: Dalga yüksekliğinin dalga boyuna oranıdır.

Kıyı yakınlığında oluşan dalgalar çeşitli nedenlerden meydana gelebilirler. Bunların oluşum sebeplerine göre periyotları Tablo 22’de görüldüğü gibi farklı olmaktadır.

Tablo 22. Dalgaların sınıflandırılması [66].

	PERİYOT	SEBEP
Kısa periyotlu Dalgalar	$T < 30 \text{ s}$	Rüzgar dalgaları
Uzun periyotlu Dalgalar	$30 \text{ s} < T < \text{saat}$	Deprem dalgaları
Gelgit	$T > \text{saat}$	Kısa Periyotlu Dalgalar

Rüzgâr deniz yüzeyinde dalgalara neden olur. Bu olay için iki yaklaşım yapılabilir:

- Birinci durum; dalga kinematığını yaklaşık bir dalga teorisiyle hesaplamaktır.

Tasarım dalga durumu için genelde 100 yıllık periyotlar seçilir çünkü oluşan maksimum dalgaların 100 yılda bir meydana geldiği kabul edilir. Bu yaklaşımda yapının dinamik davranışı düşünülmez. Statik analiz öncelikli olur.

- İkinci durum; dalga kuvvetlerini hesaplamada dalga kuvvetini bireysel elemanlar ve bütün yapı üstünde akışkan hareketi olarak hesaba katılır.

İstatistiksel analiz yapının bulunduğu yerin dalga dağılım diyagramına bağlıdır. Oluşturulan dalga spektrumları etkin frekanslarla ve tesadüfi meydana gelen dalgalarla oluşturulur. İstatistiksel yöntem yapının kullanım süresi boyunca karşılaşılabilecek olası maksimum dalga kuvvetlerini lineer dalga teorisi ile hesaplamaktadır. İstatistiksel yaklaşım yapının dinamik analiz ve dinamik davranışlarını hesaplamada tercih edilmektedir.

Rüzgâr nedeniyle oluşan dalgalar açık deniz yapıların maruz kaldığı en önemli çevresel kuvvet bileşenidir. Dalga hesaplamalarında belli bir deniz durumu ele alınır, fakat tesadüfi meydana gelebilecek dalgalar yapılar için tehlikeli olabilir. Dalga yükleri hesaplamalarında dalga yüksekliği (H), dalga boyu (L), dalga tepe noktası ve dalga yönü çok önemlidir.

Dalgalar genelde yapı üzerinde periyodik yüklere neden olmaktadır. Denizin içindeki bütün yapılar sabit yada yüzen olsun bu yüklere maruz kalmaktadır. Dalgalar genel olarak meydana geliş nedenleri;

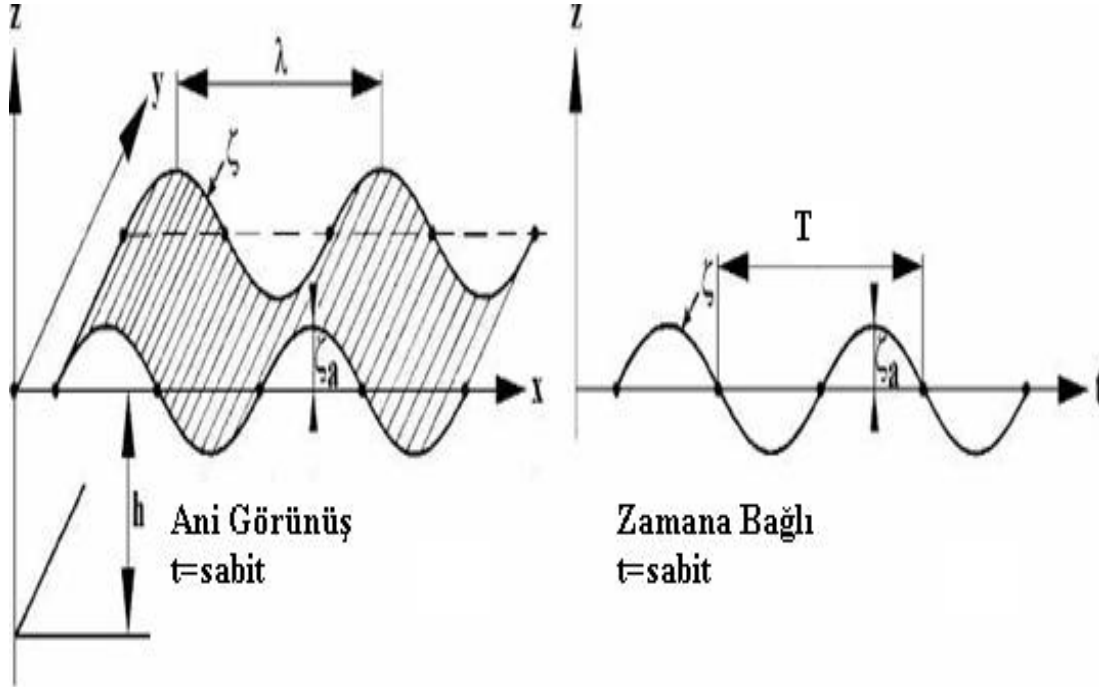
- Geminin ya da yüzen bir yapının neden olduğu dalgalar.
- Rüzgârın neden olduğu dalgalar.
- Astronomik kuvvetlerin neden olduğu dalgalar.
- Depremlerin ve yer hareketlerinin neden olduğu dalgalar.
- Genel sıvı akımlarından kaynaklanan dalgalar.

Dalgalar tasarım esnasında hesaplarda bazı kolaylıklar sağlaması açısından düzenli ve düzensiz dalgalar olmak üzere ikiye ayrılabilir.

2.4.2.2. Düzenli Dalgalar

Diğer bir ifadeyle harmonik dalgalar olarak tanımlanabilir. Düzenli dalga problemini çözmek için potansiyel teori kullanılır. Şekil 71'de düzenli dalganın değişik açıdan görünüşleri vardır. Şekil 71'de dalganın su zerreciklerinin izlediği yol ve dalga

profilinin X yönü boyunca profili vardır ve zamanla sakladığı su seviyesi X eksenini boyunca gösterilmiştir.



Şekil 75. Düzenli dalga görünüşü [59]

Dalganın en yüksek noktasına dalga tepesi, dalganın en alçak noktasına dalga çukuru denilmektedir. Dalga tepesi ve dalga çukurunun su seviyesi arasındaki mesafeye dalga genliği (ζ_a) denir. Dalga yüksekliği (H) ise dalga çukuru seviyesinden dalga tepesi seviyesine olan dikey mesafedir.

$$H = 2\zeta_a \quad \text{Sinüzoidal dalga için} \quad (21)$$

Yatay olarak iki dalga tepesi arasındaki mesafeye dalga genişliği (λ) denir. Zaman ekseninin kestiği iki nokta arasındaki yatay aralığa da periyot (T) denir.

Kosinüs ve sinüs dalgaları açısız olarak ifade edilirse, dalga genişliği ve periyodu kullanılır [50].

$$k\lambda = 2\pi \quad \text{ya da} \quad k = \frac{2\pi}{\lambda} \quad (22)$$

$$\omega T = 2\pi \text{ ya da } \omega = \frac{2\pi}{T} \quad (23)$$

k: Dalga sayısı (radyan/m)

ω : Dairesel dalga frekansı (rad/s)

$$c = \frac{\lambda}{T} = \frac{\omega}{k} \quad (24)$$

c: Dalga faz hızı.

2.4.2.3. Düzensiz Dalgalar

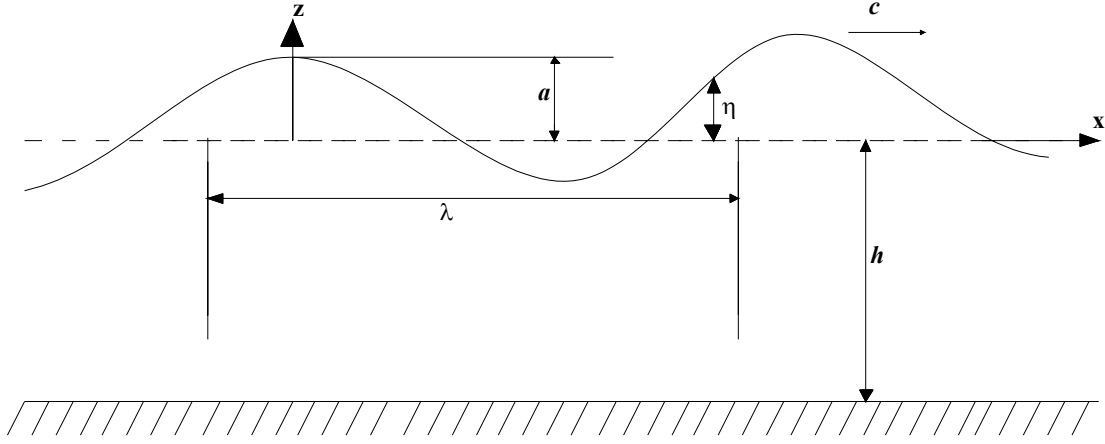
Açık denizde rüzgâr etkisi ile oluşan ve ilerleyen dalgalar göz önüne alındığında bunların büyükten küçüğe, çeşitli yönlerde birbiri üzerine eklenmiş dalgalardan oluştuğu görülmektedir. Deniz yüzeyi zaman ve yer olarak çok düzensiz ve tekrarlamayan büyüklüklerden oluşmaktadır. Rüzgârdan deniz yüzeyine geçen enerji yer ve yön olarak farklılık gösterdiğinden ana dalga enerjisi rüzgâr yönünde ilerlemekle birlikte dalgaların yönleri değişken haldedir. Bu oluşuma düzensiz dalgalar adı verilmektedir.

Düzensiz dalgaların oluşumu çok karmaşık yapıdadır ve bunların özelliklerinin teker teker inceleyerek elde etmek zordur. Bu nedenle istatistiksel yaklaşımla ele alınmaları yolu seçilmelidir. Bununla beraber dalga özelliklerinin örneğin dalga yüksekliğinin tanımlanabilmesi için zaman, frekans ve olasılık bazlarında ele alınması gerekir. Bu ise düşünülenenden daha zor bir çalışmayı gerektirmektedir. Açık deniz dalga tahmini çalışmaları ilk olarak 2. Dünya Savaşı sırasında Sverdrup Munk tarafından başlatılmış ve daha sonra Bretschneider tarafından geliştirilmiştir. Bu çalışmalardan sonra açık deniz dalgalarının spektral boyutta tanımı çalışmaları Neumann ve Pierson tarafından başlatılmıştır [66].

Açık deniz dalgalarının normal dağıldıkları varsayımla belirgin dalga yüksekliği gibi tanımlar ise ilk olarak Longuet-Higgins tarafından gerçekleştirilmiştir. Düzensiz dalgaların tanımlanması ile ilgili olarak günümüze kadar geniş çalışmalar yapılmakla birlikte bu çalışmalar oldukça yenidir ve çeyrek asırlık bir geçmişe sahiptir [66].

2.4.2.3.1. Düzensiz Dalgaların Matematiksel Tanımı

Sabit bir d su derinliğinde ilerlemekte olan basit harmonik bir dalga Şekil 76'da gösterilmektedir.



Şekil 76. Basit harmonik dalga [66].

Bu şekilde; a amplitüd, λ dalga boyu, c dalga yayılma hızı ve η sakin su seviyesinin üstündeki (veya altındaki) su kotudur. Suyun çevrintisiz ve sıkışmaz olduğu varsayıldığında bir ϕ hız potansiyeli fonksiyon tanımlanır [66].

$$\nabla^2 \Phi = \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial z^2} = 0 \quad (25)$$

$$-d \leq z \leq \eta$$

$$-\infty < x < +\infty$$

Hız potansiyel fonksiyonun çözümü için sınır şartları ise aşağıdaki gibi tanımlanabilir.

a) Tabanda

b) Yüzeyde

c) Hız potansiyel fonksiyonu;

Şeklinde tanımlanırsa yukarıdaki sınır şartlarını sağlayan

$$\eta = -\frac{1}{g} \frac{\partial \Phi}{\partial t} \quad (z=0 \text{ için}) \quad (26)$$

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} = \frac{\partial \phi}{\partial z} \quad (27)$$

$$\Phi = f(z) \sin(kx - wt) \quad (28)$$

Hız potansiyeli fonksiyonu aşağıdaki gibi elde edilir.

$$\phi = \frac{a \cdot w \cosh k(z+d)}{k \sinh k \cdot d} \sin(kx - wt) \quad (29)$$

Burada;

a : Genlik (amplitüd)

k : Dalga sayısı ($2\pi / \lambda$)

λ : Dalga boyu

w : Açısal frekans (rad/sn)

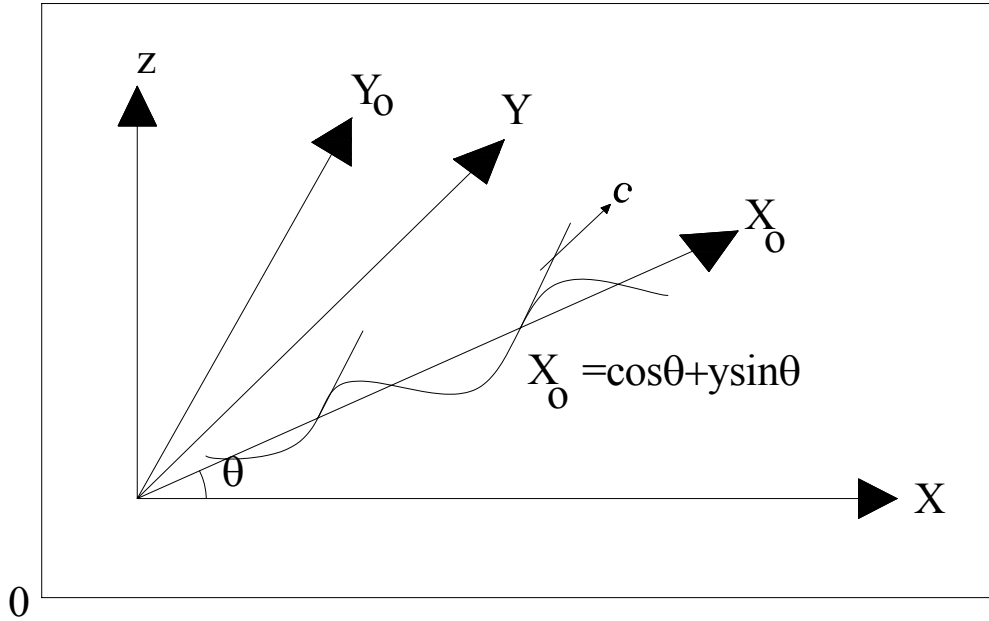
Eğer deniz yeterince derinse ($d \rightarrow \infty$) bu durumda bir ilerleyen dalganın profili,

$$\eta(x, t) = a \cdot \cos(kx - wt) \quad (30)$$

$$\eta(x, t) = a \cdot \cos\left(\frac{w^2}{g} \cdot x - wt\right) \quad (31)$$

şeklinde yazılabilir.

Koordinat sisteminde (Şekil 77) sabit olarak seçildiğinde ise (31) eşitliğini daha genel bir ifade olarak yazmak mümkün olur.



Şekil 77. İlerleyen dalga için koordinat sistemi [66].

Eğer θ , x ile x_0 eksenleri arasında ve saat ibreleri yönünde seçilen bir açı ise;

$$\eta(x, y, t) = a \cdot \cos \left[\frac{w^2}{g} (x \cdot \cos \theta + y \cdot \sin \theta) - wt + e \right] \quad (32)$$

şeklinde yazılabilir. Burada θ , $x = y = t = 0$ durumunda dalganın fazıdır.

Bu ifadeden hareketle, açık denizdeki düzensiz dalgaların bir (x, y) noktasında çeşitli yönlerden gelen basit harmonik dalgaların bileşimi olduğu kabul edilirse dalga profili aşağıdaki şekilde yazılabilir [66].

$$n(x, y, t) = \sum_i a_i \cos \left[\frac{w_i}{g} (x \cdot \cos \theta_i + y \cdot \sin \theta_i) - w_i t + e_i \right] \quad (33)$$

Bu ifade sonsuz sayıda bir t anında sonsuz sayıda çeşitli açısal frekanslarda ($0 < w_i < \infty$) ve çeşitli yönlerden genel ($0 < \theta_i < 2\pi$) dalgaların birleşimi yansıtmaktadır. e_i faz değeri yine rasgele bir değişkendir. ($-\pi < e_i < +\pi$) ve değeri w_i ve θ_i ye bağlıdır.

Genlik, a_i değeri de bir rasgele değişkendir. Herhangi bir $\Delta w \Delta \theta$ aralığında dalga enerjisi

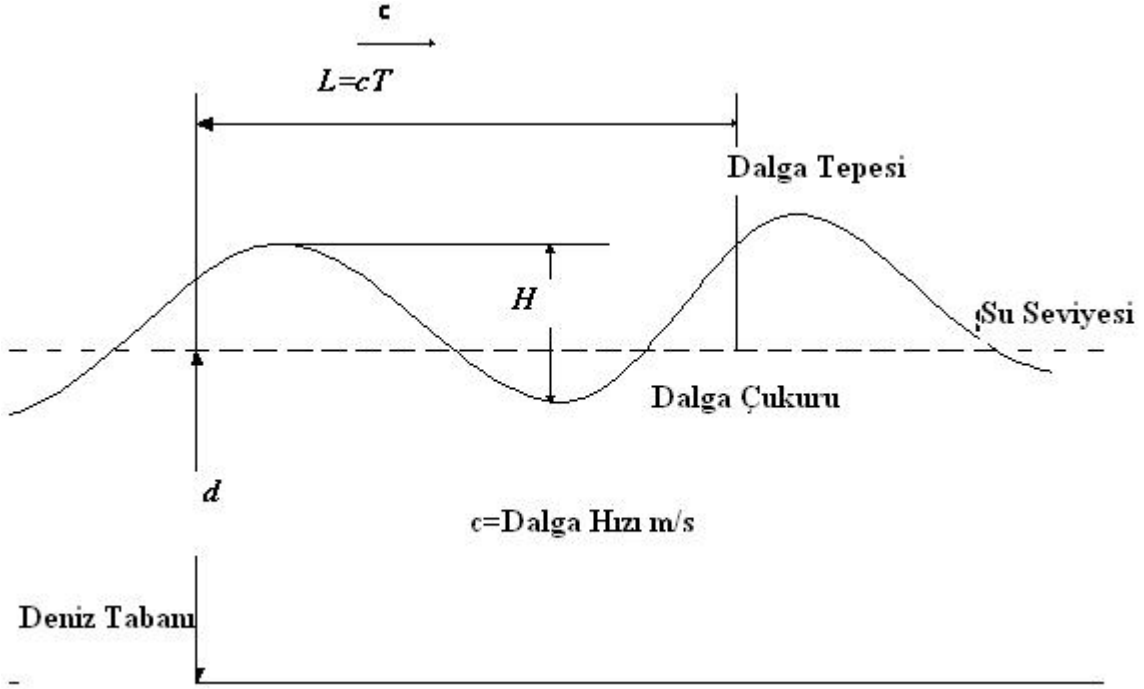
$$E_i = 1/2 \rho g a_i^2 \quad (34)$$

şeklinde yazılabilir. ρg çarpımının sabit olduğu düşünülüp yok sayılırsa $1/2 \cdot a_i^2$ ifadesi spektral yoğunluk fonksiyonu olarak ($S(w, \theta)$) tanımlanır.

$$S(w, \theta) = \sum \sum 1/2 \cdot a_i^2 = S(w, \theta) \cdot dw \cdot d\theta \quad (35)$$

2.4.2.4. Dalga Teorileri

Dalgalar için kullanılan tanımların ifade ettikleri Şekil 78’de görülmektedir.



Şekil 78. Dalga sembollerinin gösterimi

Dalga teorileri dalgaların kinematiğine ve suyun potansiyel teorisine incelenerek tanımlanır (Şekil 78). Su tanelerinin hızları ve ivmeleri hesaplanarak dalganın dinamik basıncı hesaplanır. Dalgayı tanımlarken;

Dalga yüksekliği: H ,

Periyot: T ,

Su derinliği: d olarak tanımlanır ve şekilde gösterilmiştir.

Genel olarak; serbest su yüzeyindeki denge bozulunca, yerçekiminden dolayı dalgalar meydana gelir.

İdeal (sürtünmesiz), sıkıştırılamayan ve girdapsız sıvı kabulünü yapacak olursak, hız vektörü $\nu(u, v, w)$ için

$$1. \text{sürekli} \text{lik} \text{ denkle} \text{mi} \quad \text{div} \nu = 0 \quad (36)$$

$$2. \text{girdapsızlık} \text{ şartı} \quad \text{rot} \nu = 0 \quad \text{geçerlidir.} \quad (37)$$

$$(2)\text{inci şarttan } v = -grad\phi \quad (38)$$

ve bileşenleri

$$u = \frac{\partial\phi}{\partial x}, \quad v = \frac{\partial\phi}{\partial y}, \quad w = \frac{\partial\phi}{\partial z} \quad (39)$$

elde edilir, zira genelde rot $grad\phi = 0$ olduğundan hareketin bir potansiyeli vardır ve hız vektörü bu potansiyelden türetilmiştir.

(36)ve (38) denklemlerini birleştirirsek Laplace denklemini elde ederiz.

$$\text{div } grad\phi = \Delta\phi = 0$$

$$\frac{\partial^2\phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2\phi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2\phi}{\partial z^2} = 0 \quad (40)$$

Ayrıca burada süreksiz Bernoulli denklemi de geçerlidir.

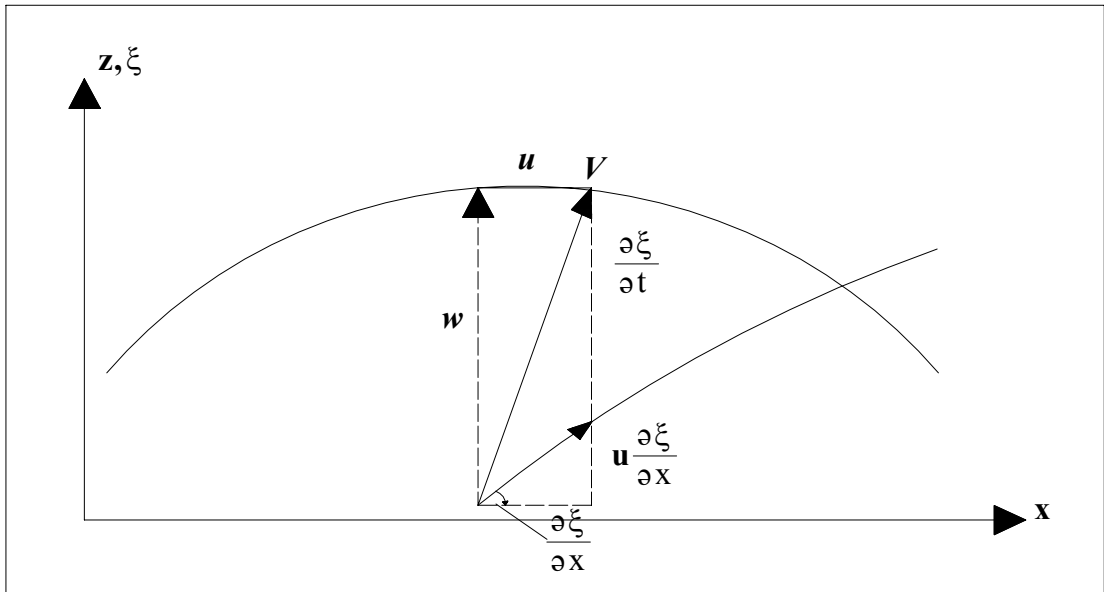
$$\delta \frac{\partial\phi}{\partial t} + \frac{1}{2} \delta |v|^2 + \rho + \delta gz = P_0 \quad (41)$$

Problemin Sınır Şartları

a) Taban sınır şartı: Deniz dibinden ($z = -d$) su geçemez yani

$$w_{z=-d} = \left(\frac{\partial\phi}{\partial z} \right)_{z=-d} = 0 \quad (42)$$

b) Kinematik su seviyesi şartı: Su zerrecikleri (Şekil 79) serbest su yüzeyini ($z = \xi$) terk edemezler.



Şekil 79. Su zerreciklerinin gösterimi

c) Dinamik Su Yüzeyi Şartı

x 'in ve t 'nin bütün değerleri için serbest su yüzeyindeki basınç hava basıncı P_0 'a eşit olmalıdır. Böylece Bernoulli denklemini kullanarak,

$$\delta \left(\frac{\partial \phi}{\partial t} \right)_{z=\xi} + \frac{\delta}{2} \left[\left(\frac{\partial \phi}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial \phi}{\partial z} \right)^2 \right] + \delta g \xi = 0 \quad (43)$$

elde edilir.

Burada aranan genlik fonksiyonu $\xi(x, t)$ ve bu fonksiyonun

Dalga yüksekliği: H ,

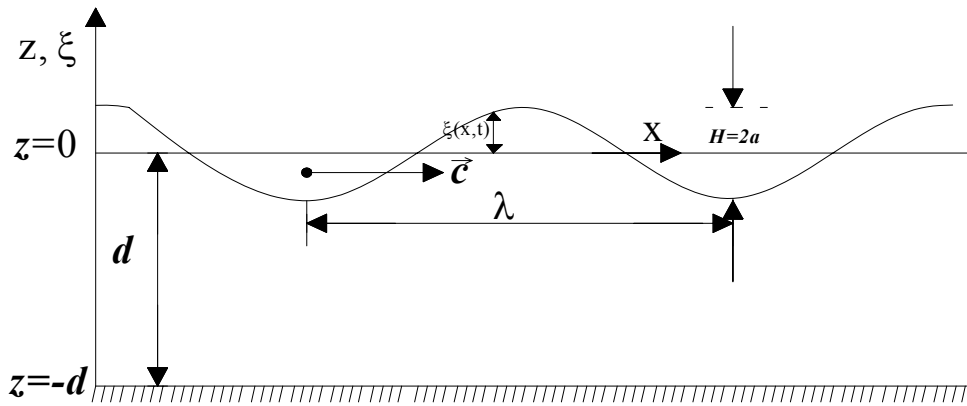
Dalga boyu: λ ,

Su derinliği: d ,

gibi büyüklüklerle olan bağıntısıdır. Bu bağıntıyı en iyi şekilde dile getirebilecek boyutsuz bir büyüklük olarak HL^2 / d^3 ifadesini kullanmak mümkündür.

Ancak bu ifade diferansiyel denklemi çözmek için kullanılan seri açınımlar yararlı olmamaktadır. Bu seri açınımlarına bağlı olarak çözümleri iki sınıfta toplamak mümkündür.

2.4.2.4.1. Lineer (Airy) Dalga Teorisi



Şekil 80. Tipik dalga profili

Burada dalganın sonsuz genişlikte olduğu kabul edilir, böylece problemi iki boyutlu incelemek mümkün olmaktadır (Şekil 80). Dalga genliği a izafi olarak küçüktür.

Laplace diferansiyel denklemi:

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial z^2} = 0 \quad (44)$$

Taban şartı:

$$\left(\frac{\partial \phi}{\partial z} \right)_{z=-d} = 0 \quad (45)$$

Lineerleştirilmiş kinematik serbest su yüzeyi şartı:

$$A \text{ genliği küçük olduğundan } \frac{\partial \xi}{\partial x} \rightarrow 0$$

$$\rightarrow \left(\frac{\partial \phi}{\partial z} \right)_{z=\xi=0} = \frac{\partial \xi}{\partial t} \quad (46)$$

Lineerleştirilmiş dinamik serbest su yüzeyi şartı:

$()^2$ terimi ihmal edilerek

$$\left(\frac{\partial \phi}{\partial t} \right)_{z=\xi=0} + g\xi = 0 \quad (47)$$

(46) ve (47) numaralı denklemleri birleştirmek suretiyle kombine edilmiş ve lineerleştirilmiş serbest su yüzeyi şartı elde edilir.

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial t^2} + g \frac{\partial \phi}{\partial z} = 0 \quad z = \xi = 0 \text{ için} \quad (48)$$

Laplace diferansiyel denklemi (44) eliptik, kısmi bir diferansiyel denklemdir. Bu denklemi çözebilmek için, aşağıdaki şekilde üç değişkenin fonksiyonlarının çarpımından oluşan bir çözüm aranır, (Değişkenleri ayırma metodu):

$$\phi = X(x)Z(z)T(t) \quad (49)$$

Denklem (1) de yerine koyup, $\phi = xzt$ böldükten sonra

$$\frac{x''}{x} = -\frac{z''}{z} = k^2 \quad (50)$$

Burada k bir sabittir, daha sonra dalga sayısı olarak tarif edilecektir. Çözüm için klasik yol takip edilir.

$$z'' - k^2 z = 0$$

$$Z(z) = e^{\alpha z} \text{ şeklinde çözüm arayarak}$$

$$\alpha^2 - k^2 = 0 \quad (\text{karakteristik denklem})$$

$$\alpha_{1,2} = \pm k$$

$$Z(z) = C_1 e^{kz} - C_2 e^{-kz}$$

Taban şartını kullanmak suretiyle

$$\frac{\partial Z}{\partial z} = C_1 k e^{kz} - C_2 k e^{-kz} = 0 \quad z = -d$$

$$\rightarrow C_2 = C_1 e^{-2kd}$$

$$Z(z) = C_1 e^{kz} + C_1 e^{-2kd} \cdot e^{-kz}$$

$$Z(z) = 2C_1 e^{-kd} \left[\frac{e^{k(z+d)} + e^{-k(z+d)}}{2} \right]$$

$$Z(z) = C_1 ch[k(z+d)] \quad (51)$$

$x'' + k^2 \cdot x = 0$ denkleminde hareketle benzer şekilde

$$X(x) = C_2 \sin(kx + \beta) \quad (52)$$

çözümü bulunur.

Genel çözümü (denklem (49)) bir sınır şartı olan denklem (48) de yerine koyacak olursak

$$\left[XZT'' + gXTZ' \right]_{z=0} = 0 \quad (53)$$

Burada bulunan çözümler (51) ve (52) kullanılmak suretiyle

$$\left[C_1 ch(kd)T'' + gTC_1 ksh(kd) \right]_{z=0} = 0 \quad (54)$$

bulunur.

$$w = \sqrt{g \cdot k \cdot th(kd)} \quad (55)$$

şeklinde bir basitleştirme ile

$$\frac{T''}{T} + w^2 = 0 \quad (56)$$

elde edilir.

Bu diferansiyel denklemin çözümü

$$T(t) = C_3 \sin(wt + \gamma) \quad (57)$$

şeklinde. Bu şekilde bulunan kimsi çözümler genel çözümde yerlerine konmak suretiyle problem halledilmiş olur. Denklem (51),(52) ve (57) denklem (49)yerine konursa

$$\phi = C_1 C_2 C_3 ch[k(z+d)] \sin(kx + \beta) \sin(wt + \gamma) \quad (58)$$

elde edilir.

Sabitlerin çarpımı yerine yeni bir sabit olan A 'yı koyup, zaman ve yeri uygun seçip β ve γ yok ederek

$$\phi = A \cosh k(z+d) \sin kx \cdot \sin \omega t \quad (59)$$

buluruz. Potansiyelin t ye göre türevini alıp

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} = A \omega \cosh k(z+d) \cdot \sin kx \cdot \sin \omega t$$

dinamik serbest su yüzeyi şartında yerine konursa

$$A \omega \cosh(kd) \cdot \sin kx \cdot \sin \omega t + g \xi = 0 \quad (60)$$

veya

$$\xi = -\frac{A \omega}{g} \cosh(kd) \cdot \sin kx \cdot \sin \omega t \quad (61)$$

elde edilir. Böylece bulunan dalga profilinin şekli harmoniktir. Bu zaman ve yere bağlı hareketin genliği olarak

$$\alpha = -\frac{A \omega}{g} \cosh(kd)$$

Kısaltmasını yaparak,

$$\xi = a \cdot \sin kx \cdot \sin \omega t \quad (62)$$

Tersine olarak

$$A = -\frac{a \cdot g}{\omega \cdot \cosh(kd)}$$

olur ve dalga potansiyeli olarak

$$\phi = -\frac{a g}{\omega} \cdot \frac{\cosh k(z+d)}{\cosh kd} \cdot \sin kx \cdot \sin \omega t \quad (63)$$

bulunur.

Yukarıda bulunan sonuçtan değişik olarak, faz açıları β ve γ uygun şekilde seçilerek aşağıdaki kombinasyonlarda birer çözümdür.

$$\xi = a \cdot \sin kx \cdot \sin \omega t$$

$$\xi = a \cdot \cos kx \cdot \sin \omega t$$

$$\xi = a \cdot \sin kx \cdot \cos \omega t$$

Bu duran dalgaları superpose ederek ilerleyen bir dalga elde etmek mümkündür.

$$\xi^+ = a(\sin \omega t \cdot \cos kx - \cos \omega t \cdot \sin kx) = a \sin(\omega t - kx) \quad (\text{dalga sağa doğru ilerliyor})$$

Buna göre potansiyel

$$\phi^+ = \frac{ag}{w} \cdot \frac{chk(z+d)}{ch(kd)} \cdot \cos(\omega t - kx) \quad (64)$$

Aynı fazlı noktalar $\theta = \omega t - kx = \text{sabit}$

$$c = \frac{dx}{dt} = \text{faz hızı} = c = \frac{w}{k} = \frac{2\pi/T}{2\pi/\lambda} = \frac{\lambda}{T} \quad (65)$$

ile ilerler. Burada

T : Periyot,

λ : Dalga boyudur.

Daha önce çıkarılan,

$$w = \sqrt{k \cdot g \cdot thkd}$$

bağıntısı ile

$$c = \sqrt{\frac{g}{k} \cdot thkd} = \sqrt{\frac{gh}{2\pi} \cdot th \frac{2\pi d}{\lambda}} \quad (66)$$

$$\frac{w^2}{k} = \frac{(2\pi)^2 \cdot \lambda}{2\pi \cdot T^2} = g \cdot thkd$$

$$\lambda = \frac{gT^2}{2\pi} thkd = \frac{gT^2}{2\pi} \cdot th \frac{2\pi d}{\lambda} \quad (67)$$

$$T = \sqrt{\frac{2\pi\lambda}{gth \frac{2\pi d}{\lambda}}} \quad (68)$$

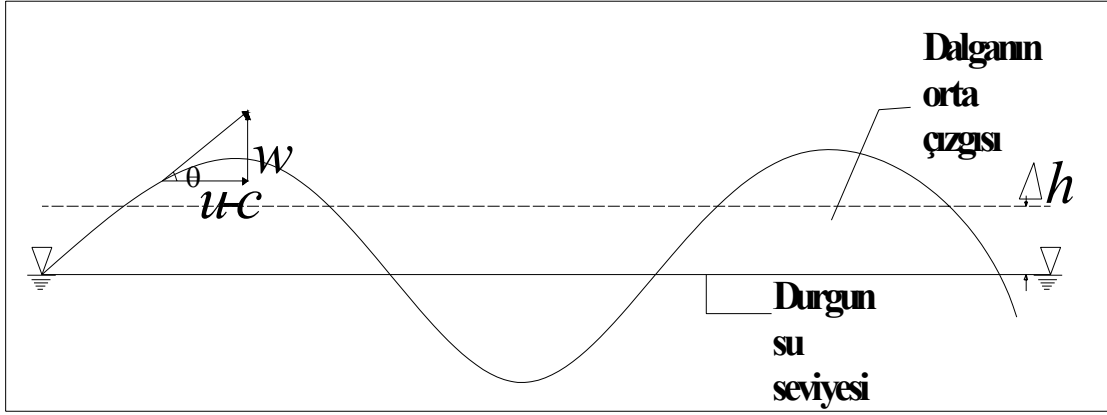
veya:

$$c = \frac{w}{k} = \frac{1}{w} gthkd = \frac{T}{2\pi} gthkd = \frac{gT}{2\pi} th \frac{2\pi d}{\lambda} \quad (69)$$

Buradan da görülür ki faz hızı dalga periyotuna bağlıdır. Uzun dalgalar kısa dalgalara nazaran daha hızlı ilerler. Aynı zamanda meydana gelen dalgalardan uzun boylu olanlar daha önce gelirler. Örnek olarak deprem verilebilir.

2.4.2.4.2. Stokes Teorileri

Burada aynı fazlı yüksek mertebeden dalgalar birbirlerine eklenir (Şekil 81).



Şekil 81. Dalga gösterimi

-Dalga tepeleri dar ve yüksektir.

-Durgun su yüzeyine göre simetri bozulmuştur.

-Süreklilik şartından dolayı dalganın orta çizgisi durgun su yüzeyinin üstüne çıkmıştır. Δh

-Teorinin mertebesini en büyük frekans veya dalga sayısından okumak mümkündür.

$$\xi = a_1 \cos(\omega t - kx) + a_2 \cos 2(\omega t - kx) + a_3 \cos 3(\omega t - kx) + \dots + a_n \cos n(\omega t - kx) \quad (70)$$

$$n=1,2,\dots,5 \quad \text{stokes } 1,2,\dots,5$$

stokes 1=Airy teorisi

Lineerleştirilmiş Airy teorisinde $\frac{1}{2}v^2$ terimi ihmal edilirken, burada dalga genliğinin etkisini göz önüne alabilmek için ikinci mertebeden bir terim olan $\frac{1}{2}[(u-c)^2 + w^2]$, Bernoulli denkleminde kullanılır [66]. Böylece;

$$\delta \frac{\partial \phi}{\partial t} \Big|_{z=\xi} + \frac{\delta}{2} [(u-c)^2 + w^2] + \delta g z = 0 \quad (71)$$

Benzer olarak eğim açısı için:

$$\text{tg} \theta = \lim_{x \rightarrow 0} \frac{\Delta \xi}{\Delta x} = \frac{d\xi}{dx} = \frac{w}{u-c} \quad (72)$$

$$u = \frac{\partial \phi}{\partial x} \quad \text{ile} \quad w = \frac{\partial \phi}{\partial z} = \text{tg} \theta \cdot (u-c) = \frac{\partial \xi}{\partial x} \left(\frac{\partial \phi}{\partial x} - c \right) \quad (73)$$

Laplace diferansiyel denklemini, tabandaki ve serbest su yüzeyindeki sınır şartları ile birlikte çözmek gerekir. Çözüm için ϕ , ξ ve c 'nin kuvvet serileri kullanılır. Hız potansiyelinin kısmi türevleri de serbest su yüzeyine göre kuvvet serilerine (Mac Laurin serileri) açılır [66].

$$\phi(x, z) = \sum_{m=1}^n \alpha^m \phi_m \quad \frac{\partial \phi}{\partial x} = \sum_{m=0}^{\infty} \frac{1}{m!} \cdot \frac{\partial^{m+1} \phi}{\partial x \partial z^m} \cdot \xi_m \Big|_{z=0}$$

$$\xi(x) = \sum_{m=1}^n \alpha^m \xi_m \quad \frac{\partial \phi}{\partial x} = \sum_{m=0}^{\infty} \frac{1}{m!} \cdot \frac{\partial^{m+1} \phi}{\partial z^{m+1}} \Big|_{z=0} \cdot \xi_m$$

$$c(x) = \sum_{m=1}^n \alpha^m c_m$$

Bu seriler Laplace denkleminde ve sınır şartlarında yerine konur. Çözümler katsayıların denkleştirilmesi sayesinde bulunur.

Sonuçlar:

a) Genel Çözüm

$$\phi = -\frac{H}{2} c \frac{ch[k(z+d)]}{sh(kd)} \sin t - kx - \frac{H}{4} \frac{3\pi c}{4l} \cdot \frac{ch2k(z+d)}{sh^4 kd} \sin 2(\omega t - kx) \quad (74)$$

$$\xi = \frac{H}{2} \left\{ \cos(\omega t - kx) + \frac{H\pi}{4L} \frac{ch \cdot kd}{sh^3 kd} [1 + 2ch^2 kd] \cos 2(\omega t - kx) \right\} \quad (75)$$

$$c = \sqrt{\frac{g}{k} thkd} \quad (76)$$

b) Derin su:

$$\xi = \frac{H}{2} \left[\cos(\omega t - kx) + \frac{\pi H}{2L} \cos 2(\omega t - kx) \right] \quad (77)$$

2. Mertebe teorisinde dalganın kırılması için sınır açısı değeri 120° dir. Kırılan dalgaların sınır yüksekliği:

$$H = 0.14\lambda = \frac{\lambda}{7} \quad (78)$$

Su zerrecikleri elipse benzer yörüngeler üzerinde ilerler, böylece taşınması meydana gelir.

Kütle taşınmasının konveksiyon hızı:

$$u_{con} = \frac{H^2}{4} k^2 c e^{2kz_0} \quad (79)$$

şeklindedir. Sayısal değeri faz açısının 2-3 %kadardır.

2.4.2.5.1. Pierson-Moskowitz (P.M) Deniz Spektrumu

Pierson-Moskowitz (P.M) deniz spektrumu,

$$S_{\eta\eta}(\omega) = \frac{A}{\omega^5} \exp\left(-\frac{5}{4} \frac{\omega^4}{\omega_p^4}\right) \quad (82)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Burada A denizin durumu (sea-state) ile ilgili olarak bir sabiti, ω_p tepe frekansı ve ω dalğanın mutlak frekansını göstermektedir. Genelde tepe frekansı deniz durumu koşullarına bağlı olarak,

$$\omega_p^4 = \frac{16}{5} \frac{A}{H_s^2} \quad (83)$$

ifadesi ile tanımlanmaktadır. A sabiti deniz durumunun modellenmesine bağlıdır [56]. Eğer deniz durumu şiddetli dalga yüksekliği H_s ile gösterilirse A sabiti;

$$A = \alpha_n g^2 \quad (84)$$

şeklinde hesaplanabilir.

Burada, α_n dalga verilerinden elde edilen şekil parametresini ve g yerçekimi ivmesini göstermektedir. (82), (83)ve (84) bağıntılarından görüldüğü gibi verilen bir H_s değeri için α_n kısa dönem deniz durumunun modellenmesinde tek belirsizliktir. Bunun için α_n doğal belirsizliklerin gösterimi için kullanılmaktadır. Eğer deniz durumunun şiddeti H_s ve dalga periyodu T_z , ile birlikte gösterilirse deniz durumunun A sabiti,

$$A = \frac{4\pi^3 H_s^2}{T_z^4} \quad (85)$$

ifadesi ile hesaplanmaktadır [57].

2.4.2.5.2. JONSWAP Deniz Spektrumu

JONSWAP deniz spektrumu,

$$S_{\eta\eta}(\omega) = \frac{A}{\omega^5} \exp\left(-\frac{5}{4} \frac{\omega_p^4}{\omega^4}\right) \gamma^{\exp\left(-\frac{(\omega-\omega_p)^2}{2\sigma^2\omega^2}\right)} \quad (86)$$

şeklinde ifade edilir. Burada γ tepe artım çarpanını ve σ bir katsayıyı göstermektedir.

σ değeri,

$$\sigma = \begin{cases} \sigma_a, \omega < \omega_p \\ \sigma_b, \omega > \omega_p \end{cases} \quad (87)$$

şeklinde gösterilir. γ, σ_a ve σ_b parametrelerinin ortalama değerleri, $\gamma = 3,3$, $\sigma_a = 0,007$ ve $\sigma_b = 0,09$ olarak alınabilir. Tepe artım fonksiyonu, ω_p nin etrafındaki frekansın dar alanında tanımlandığı için σ_a ve σ_b deki değişimlerin spektral davranışa önemsiz bir etkisinin olduğu varsayılmaktadır. Bu parametrelerdeki belirsizlikleri γ içerebilir. Onun için σ_a ve σ_b deterministik olarak düşünülür [57]. Bunların ortalama değerleri kullanılarak tepe dalga frekansı,

$$\omega_p^4 = \frac{16}{5} \frac{A}{H_s^2} \frac{1}{(1 - 0.286 \ln \gamma)} \quad (88)$$

olarak hesaplanır.

Eğer dalga durumunun şiddeti sadece H_s ile gösterilirse A parametresi (84) denklemini kullanılarak hesaplanabilir. Bu durumda σ_n ve γ parametreleri belirsiz olmaktadır. Ayrıca bu parametrelerin bağımsız olduğu farz edilir. Eğer deniz durumunun şiddeti H_s ve T_z ikilisi ile gösterilirse, A sabiti γ terimi ile ifade edilir ve (89) denklemindeki gibi yazılabilir.

$$A = \frac{4\pi^3 H_s^2}{T_z^4} (1 - 0.286 \ln \gamma) f(\gamma)^2 \quad (89)$$

Buradaki $f(\gamma)$ fonksiyonu,

$$f(\gamma) = \frac{1}{(1 - 0.13763587 \ln \gamma)} \quad (90)$$

olarak hesaplanabilir [57].

2.4.2.5.3. Bretschneider Deniz Spektrumu

Tek parametreye sahip dalga spektrumları ancak tam gelişmiş deniz koşullar için geçerlidir ve gelişmekte olan deniz durumları için kullanılmazlar. İki parametrelili Bretschneider dalga spektrumu her iki deniz durumu için de kullanılmak üzere aşağıdaki gibi verilmektedir.

$$S(w) = 3.437 \left(\frac{F_1^2}{F_2^4} \right) \frac{g^2}{w^5} \exp \left[-0.675 \left(\frac{g}{F_2 \cdot U \cdot W} \right)^2 \right] \quad (91)$$

Burada;

$$F_1; g \cdot H / U$$

$$F_2; g \cdot T / 2 \cdot \pi \cdot U$$

U : Rüzgâr hızı,

T : Ortalama periyodudur,

U : Ortalama dalga yüksekliği.

Ortalama periyot, T periyot spektrumuna bağlı olarak bulunmalıdır, $2\pi/W$ değerinden farklıdır. Buna göre ortalama periyot

$$T = \frac{T \cdot S(T) \cdot dT}{S(T) \cdot dT} \quad (92)$$

şeklinde yazılabilir. $S(T)$ periyot spektrumudur. Yukarıda (91) ifadesi ile verilen spektrumun altındaki alan $4 \cdot H^2 / \pi$ dir. Aynı spektrumun ifadesi ortalama açılal frekans değeri kullanılarak aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$S(W) = 0.278 \left(\frac{\bar{W}^4}{W^5} \right) H^2 \exp \left[-0.437 \left(\frac{\bar{W}}{W} \right)^4 \right] \quad (93)$$

Eğer ortalama dalga yüksekliği yerine belirgin dalga yüksekliği ve modal frekans ifadesi kullanılırsa ifade;

$$S(W) = \frac{1.25}{4} \left(\frac{W_m^4}{W^5} H_s^2 \exp \left[-1.25 \left(\frac{W_m}{W} \right)^4 \right] \right) \quad \text{şeklini almaktadır.} \quad (94)$$

Bretschneider dalga spektrumunun değişik bir şekilde Mitsuyasu tarafından belirgin dalga yüksekliği ve periyoduna bağlı olarak aşağıdaki şekilde verilmiştir.

$$S(f) = 0.257 H_s^2 T_s (T_s \cdot f)^{-5} \exp \left[-1.03 (T_s \cdot f)^{-4} \right] \quad (95)$$

Burada f frekansı göstermektedir.

2.4.2.6. Kazıklara Gelen Dalga Yükleri

2.4.2.6.1. Tanım

Çok sık kullanılan kıyı ve açık deniz kazıklı yapılar dalga yüklerine maruz kalırlar. Burada çözülmesi gereken problem, akıntıyla beraber gelen dalgaların kazıklarda meydana getirdiği kuvvetlerin bulunmasıdır. Kuvvetlerin bulunması çok karmaşık bir iştir. Dalga yüklerinin bulunması problemi, ampirik katsayılar ve teorik formüllerden geçer .

Dalga yüklerine maruz kalan dairesel kazıkların, dalga kuvvetleri hesabındaki değişkenleri Şekil 83'de gösterilmiştir. Aynı özelliklere sahip dalgalarda;

H dalga yüksekliği, d su derinliği, T dalga periyodu, L dalga boyu, ρ sıvı yoğunluğu, ν kinematik viskoziteyi ifade etmektedir.

Dalga parçacıklarının hızları ve ivmeleri direk olarak kuvvetlere yol açar. Düşey kazıklar için, u : yatay akım hızı, \dot{u} : ivme ve bunların değişkenleri önemli özelliklerdir. Kazık çapı D ve kazık pürüzlülüğü ε dur. Kazık çapı, dalga boyuna nazaran çok küçük olduğu için kazık çapının dalga üzerindeki etkisi yok sayılmıştır. Önemli boyutsuz değişkenler aşağıda tanımlanmıştır [67].

$$\frac{H}{gT^2} = \text{Boyutsuz dalga adımları}$$

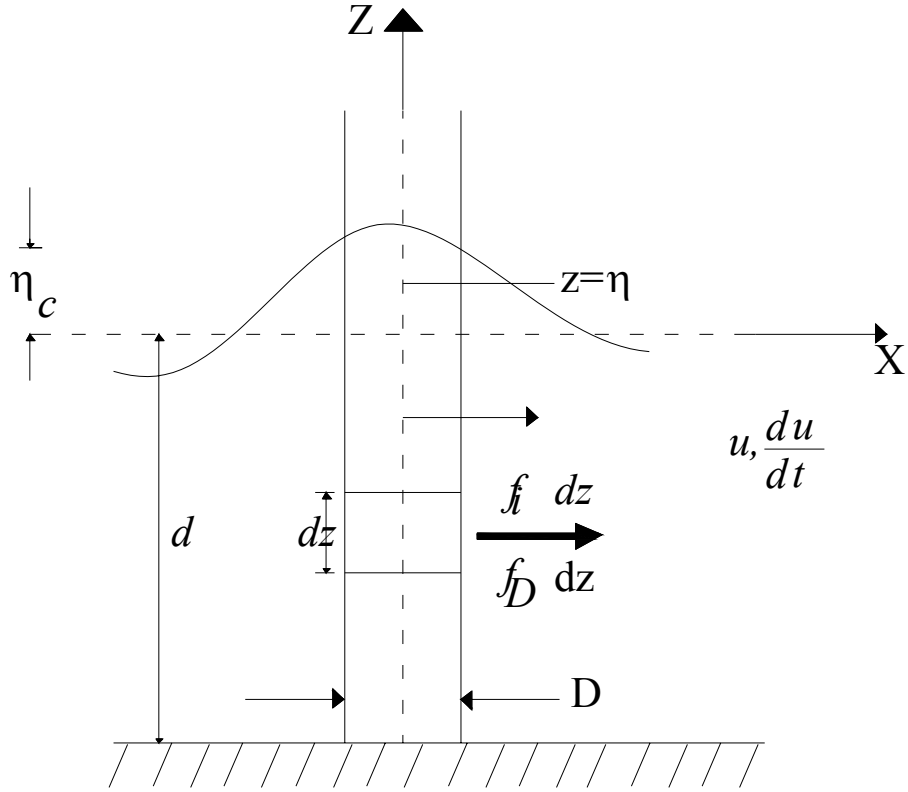
$$\frac{d}{gT^2} = \text{Boyutsuz su derinliği}$$

$$\frac{D}{L} = \text{Kazık çapının dalga boyuna oranı (küçük olduğu farz edilir),}$$

$$\frac{\varepsilon}{D} = \text{İzafi kazık pürüzlülüğü}$$

$$\frac{HD}{Tv} = \text{Reynolds sayısının bir formu}$$

Akıntının içinde bulunan kazıklardaki toplam dalga kuvveti, bu değişkenlerin bir fonksiyonudur. Dalga kuvvetlerinin uzaklıkla değişimi, su parçacıklarının hızları ve ivmelerinin nasıl kuvvetlere yol açtığı ile ilgilidir. Bu analiz kazık elemanının dz boyunca, akım hızı ve ivmesi kazığın ortasında olması durumunu inceler. Dalga kuvvet ilişkisinde iki boyutsuz katsayı kullanılır. Bunlar C_M : atalet veya kütle katsayısı, C_D : sürüklenme katsayısı. Bu konuda ilk olarak C_M ve C_D kuvvet katsayılarının bilindiği ve benzer ve düzenli dalgaların dikey silindirik kazığa etkidiği farz edilmiştir (Şekil 83) [67].



Şekil 83. Dikey silindirik kazığa gelen dalga kuvvetleri [67].

2.4.2.6.2. Dikey Silindirik Kazıklar ve Kırılmamış Dalgalar

$$f = f_i + f_D = C_M \rho \frac{\pi D^2}{4} \frac{du}{dt} + C_D \frac{1}{2} \rho u |u| \quad (96)$$

f_i : Kazığın birim boyunun atalet kuvveti,

f_D : Kazığın birim boyunda sürüklenme kuvveti,

ρ : Sıvı yoğunluğu,

D : Kazık çapı,

u : Kazığın aksında su parçacıklarının yatay hızı,

$\frac{du}{dt}$ = kazığın aksında, su parçacıklarının yatay ivmesi,

C_D : Hidrodinamik kuvvet katsayısı; sürüklenme katsayısı,

C_M : Hidrodinamik kuvvet katsayısı; atalet veya kütle katsayısı,

f_i terimi, sürtünmesiz ve ivmeli sıvı içerisinde yapılan kuvvet analizinden elde edilen kuvvet terimidir. f_D terimi, sürtünmeli sıvı içerisinde ve sabit hızlı akımda silindir yüzeyine etkiyen sürüklenme kuvveti terimidir. f_D u^2 ile doğru orantılıdır ve u doğrultusundadır. Değişik yönlü akımlar için $u^2, u, |u|$ şeklinde alınır. Kazık aksında olduğu tanımlanan (96) denklemindeki u ve du/dt nin, kazıktan kısa bir mesafe uzaklıktaki kazık tarafından etkilenmesi ihmal edilmiştir [67].

Sürtünmesiz sularda $f = f_i$ olur. Bu sonuç her kazık çapının dalga boyuna oranı (D/L_A) için geçerlidir ve kuvvet, D/L_A nın küçük değerleri için du/dt ile doğru orantılıdır. (L_A : Airy tahmini dalga boyu). Bu sonucun ışığında (96) eşitliği kazık çapının ne olması gerektiği konusunda şöyle bir sınırlama çıkar [67].

$$\frac{D}{L_A} < 0.05 \quad (97)$$

Airy dalga teorisi için d/gT^2 ye karşı gelen nispi dalga boyu L_A/L_o ve basınç faktörü K gösterilmiştir [67].

2.4.2.6.3. Kuvvetlerin ve Momentlerin Hesaplanması

Burada C_D ve C_M katsayılarının bilindiği ve sabit olduğu farz edilmiştir.

$$\eta = \frac{H}{2} \cos\left(\frac{2\pi}{T}\right) \quad (98)$$

$$u = \frac{H}{2} \frac{gT}{L} \frac{\cosh[2\pi(z+d)/L]}{\cosh[2\pi d/L]} \cos\left(\frac{2\pi}{T}\right) \quad (99)$$

$$\frac{du}{dt} \approx \frac{\partial u}{\partial t} = \frac{g\pi H}{L} \frac{\cosh[2\pi(z+d)/L]}{\cosh[2\pi d/L]} \sin\left(-\frac{2\pi}{T}\right) \quad (100)$$

bu eşitlikler (96) da kullanılırsa:

$$f_i = C_M \rho g \frac{\pi D^2}{4} H \left[\frac{\pi}{L} \frac{\cosh[2\pi(z+d)/L]}{\cosh[2\pi d/L]} \right] \sin\left(-\frac{2\pi}{T}\right) \quad (101)$$

$$f_D = C_D \frac{1}{2} \rho g D H^2 \left[\frac{gT^2}{4L^2} \left(\frac{\cosh[2\pi(z+d)/L]}{\cosh[2\pi d/L]} \right)^2 \right] \cos\left(\frac{2\pi}{T}\right) \cos\left(\frac{2\pi}{T}\right) \quad (102)$$

(96) ve (102) de gösterilen kuvvet elemanları, deniz seviyesi (z) ve zamana (t) göre değişmektedir. Atalet kuvveti " f ", $(-2\pi/T)=1$ veya $t = -T/4$ de maksimum noktasına gelir. Atalet kuvveti " f ", $t=0$ anından itibaren $t=-T/4$ de maksimum değerine ulaşır. Sürükleme kuvveti " f_D " ise $t=0$ anında, maksimum dalga yüksekliğinde maksimum değerine ulaşır [67].

Kazık boyunca, kazığın birim boyuna gelen maksimum atalet kuvvetinin değişimi, derinlikle değişen suyun hızıyla doğru orantılıdır. Maksimum değer yüzeyde $z=0$ da olur. Aynı durum sürükleme kuvveti için de geçerlidir. Fakat derinlikle birlikte çok çabuk azalır. İki kuvvetin elemanlarının hızlı bir tahmini kullanılabilir. $[K = 1/\cosh(2\pi d/L)]$. Atalet kuvveti için aşağıdaki kuvvetin, yüzeydeki kuvvete oranı K 'ya eşittir. Aynı durum sürükleme kuvveti için K^2 dir [67].

Dalga zirvesinin yüksekliği η_c ve tekil dikey kazıkların yapı tasarımı için, kazık boyunca bütün detayların bilinmesine gerek yoktur. Bizi ilk ilgilendiren $z = -d$ derinliğindeki kazığa gelen toplam yatay kuvvet ve toplam momenttir. Bunlar (96) eşitliğinin integrale edilmesinden elde edilir [67];

$$F = \int_{-d}^{\eta} f_i dz + \int_{-d}^{\eta} f_D dz = F_i + F_D \quad (103)$$

$$M = \int_{-d}^{\eta} (z+d) f_i dz + \int_{-d}^{\eta} (z+d) f_D dz = M_i + M_D \quad (104)$$

Genel olarak bu özellikler şöyle yazılabilir:

$$F_i = C_M \rho g \frac{\pi D^2}{4} H K_i \quad (105)$$

$$F_D = C_D \frac{1}{2} \rho g D H^2 K_D \quad (106)$$

$$M_i = C_M \rho g \frac{\pi D^2}{4} H K_i d S_i = F_i d S_i \quad (107)$$

$$M_D = C_D \frac{1}{2} \rho g D H^2 K_D d S_D = F_D d S_D \quad (108)$$

Burada C_D ve C_M 'in sabit olduğu kabul edilmiştir ve K_i , K_D , S_i ve S_D boyutsuzdur.

Entegrasyonun üst limiti η yerine sıfır ise:

$$K_i = \frac{1}{2} \tanh\left(\frac{2\pi d}{L}\right) \sin\left(-\frac{2\pi}{T}\right) \quad (109)$$

$$K_D = \frac{1}{8} \left(1 + \frac{4\pi d / L}{\sinh[4\pi d / L]} \right) \left| \cos\left(\frac{2\pi t}{T}\right) \right| \cos\left(\frac{2\pi t}{T}\right) \quad (110)$$

$$= \frac{1}{4} n \left| \cos\left(\frac{2\pi t}{T}\right) \right| \cos\left(\frac{2\pi t}{T}\right)$$

$$S_i = 1 + \frac{1 - \cosh[2\pi d / L]}{(2\pi d / L) \sinh[2\pi d / L]} \quad (111)$$

$$S_D = \frac{1}{2} + \frac{1}{2n} \left(\frac{1}{2} + \frac{1 - \cosh[4\pi d / L]}{(4\pi d / L) \sinh[4\pi d / L]} \right) \quad (112)$$

$$n = C_g / C.$$

(109) ve (110) eşitliklerinden maksimum kuvvet ve momentler şöyle yazılır:

$$F_{im} = C_M \rho g \frac{\pi D^2}{4} H K_{im} \quad (113)$$

$$F_{DM} = C_D \frac{1}{2} \rho g D H^2 K_{Dm} \quad (114)$$

$$M_{im} = F_{im} d S_i \quad (115)$$

$$M_{DM} = F_{DM} d S_D \quad (116)$$

K_{im} ve K_{DM} , $t = -T/4$ ve $t = 0$ da (109) ve (110)da, S_i ve S_D (112) ve (113)de verilmiştir.

(103)'den (116) ya kadar olan eşitlikler genel formüllerdir. K_{im} , K_{DM} , S_i ve S_D şekil grafiklerden elde edilebilir. Airy teorisine göre (111) ve (112) eşitliklerinde verilen S_i ve S_D , dalga açısından (e) bağımsızdır ve maksimumu değerlerdir. Diğer bazı teorilerde ise S_i ve S_D dalga açısına bağımlıdır. Grafiklerden S_{im} ve S_{DM} 'nin maksimum değerlerini verir. Dalganın lineersizlik derecesi dalga yüksekliğinin, kırılmış dalga yüksekliğine oranı olarak tanımlanır [67].

(113)'den (116)'e kadar olan formüllerle ve şekillerin yardımıyla kuvvet ve momentlerin maksimum değerleri bulunur.

Maksimum toplam kuvvetin F_m bulunabilmesi için yine elde olan grafikler kullanılır.

$$W = \frac{C_M D}{C_D H} \text{ değerinin bulunması için kullanılır} \quad (117)$$

ve maksimum kuvvet şu formülle hesaplanır:

$$F_m = \phi_m w C_D H^2 D \quad (118)$$

ϕ_m : Elde olan grafiklerden elde edilen katsayıdır.

Benzer olarak maksimum momentlerde grafiklerden faydalanarak hesaplanır. Bu şekillerden w tekrar hesaplanır ve deniz dibinde ($z = -d$) maksimum moment [67],

$$M_m = \alpha_m w C_D H^2 D d \quad (119)$$

α_m : şekillerinden elde edilen katsayıdır.

2.4.2.6.4. Girdapların Yol Açtığı Çapraz Kuvvetler

Dalgaların ilerleme doğrultusunda meydana gelen atalet kuvvetleri ve sürüklenme kuvvetlerine ek olarak çapraz kuvvetler de meydana gelir. Çapraz kuvvetler aerodinamik kaldırma kuvvetlerine benzedikleri için "kaldırma kuvvetleri" adıyla anılırlar. Kaldırma kuvvetleri dik olarak etkilemezler fakat dalga doğrultusuna ve kazık aksına dik olarak etkiler. Çapraz kuvvetler kazığın kenarlarında oluşan girdaplardan meydana gelirler. Girdaplar kazık etrafında hareket ederken kazığa yatay kuvvetler uygularlar.

Genel olarak çapraz kuvvetler, yapının dinamik davranışına bağlıdır. Yapının doğal titreşim frekansı, dalga frekansının iki katı civarında olduğu zaman, sıvı yapıyı kaldırmaya çalışır ve büyük kaldırma kuvvetleri meydana gelir. Çapraz kuvvetlerin, sürüklenme kuvvetinden yaklaşık olarak 4,5 kat daha fazla olduğu da görülmüştür [67].

Rijit yapılarda kabul edilebilir üst limit, çapraz kuvvetlerin sürüklenme kuvvetlerine eşit olduğudur. Üst limit ancak rijit yapılarda söz konusu olur. Yapı ile dalgalar arasında dinamik bir etkileşim olduğunda da büyük kaldırma kuvvetleri meydana gelir. Girdapların frekansı dalgaların frekansının iki katıdır. Yani dalga tepesi geçmeden silindir etrafında iki ve geçtikten sonrada iki tur girdap oluşur.

Maksimum kaldırma kuvveti, sürüklenme kuvvetinde olduğu gibi yatay dalga hızının karesi ile orantılıdır. Sonuç olarak kaldırma kuvvetinin hesabı için (120) formülü kullanılır.

$$F_L = F_{LM} \cos 2\theta = C_L \frac{\rho g}{2} D H^2 K_{DM} \cos 2\theta \quad (120)$$

F_L : Kaldırma kuvveti,

F_{Lm} : Maksimum kaldırma kuvveti,

$$\theta = \left(\frac{2\pi x}{L} - \frac{2\pi t}{T} \right)$$

C_L : Ampirik kaldırma katsayısı

C_L , U_{\max} , T/D sayısına bağlıdır. Burada U_{\max} derinlik ortasında maksimum yatay hızdır. C_L katsayısı 3 'ten az olduğu zaman önemli bir girdap oluşmaz ve kaldırma kuvveti de oluşmaz. U_{\max} , T/D arttığında, C_L sayısı da C_D sayısına eşit oluncaya kadar artar (sadece rijit kazıklar için). (120) eşitliğine bakıldığında maksimum kaldırma kuvvetinin, maksimum sürüklenme kuvvetine oranı yaklaşık olarak C_L/C_D oranına eşittir [67].

2.4.3. Akıntı Yükü

2.4.3.1. Giriş

Bir açık deniz yapısının tasarımı esnasında en genel yük kategorisi olarak akıntı yükleri söylenebilir. Akıntıdan kaynaklanan yükler yapının su altında kalan elemanlarında etkili olmaktadır. Bu nedenle yapı tasarımında etkilidir.

Basit bir şekilde ifade edersek;

$$v_z = v_G \left(\frac{z}{h}\right)^{\frac{1}{7}} + v_{WG} \frac{z}{h} \quad (121)$$

H [m] derinlikteki suda, tabandan z uzaklığındaki akıntı hızının büyüklüğü (v_z) bağıntı (121) kullanılarak hesaplanır.

Akıntı kuvvetlerini hesaplamak için ise

- Dizayn akıntı hızı ve yönünü,
- Uygun direnç katsayısını seçmek gerekir.

Daha sonra akıntı hızı ile dalga orbital hızı arasında vektörel toplam yapılır. Ayrıca titreşimlere ve salınımlara yol açan dinamik etkileri de hesaba katmak lazımdır.

Akıntıların genelde belirli bir hız profili bulunmaktadır. Özellikle gelgit olayının neden olduğu akıntıların ve bunlarla birlikte meydana gelen gelgit dalgalarının hız profili yapılar için önemlidir. Su parçacıklarının hareketi yaklaşık olarak yatay ve derinlikle birlikte yavaş bir şekilde azalmaktadır. Akıntının meydana gelmesi 4 ana etkene neden olur ki bunların bilinmesi meydana gelecek kuvvetlerin hesabı açısından ihtiyaç duyulmaktadır [65].

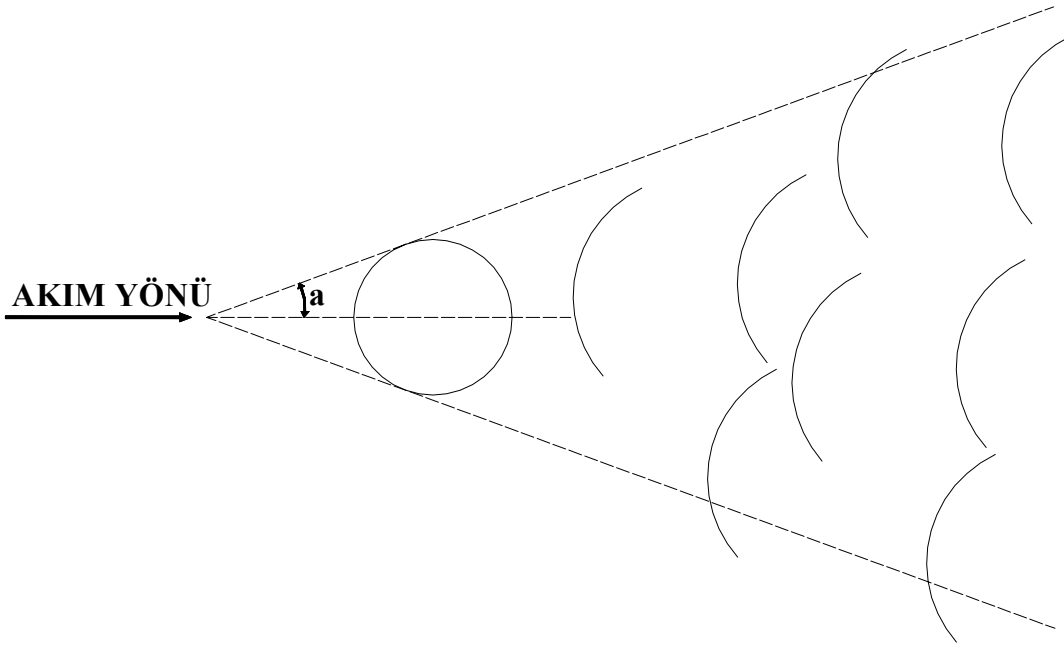
1)- Akıntı dalga yüzeyindeki su parçacıklarının hızlarını etkilemektedir. Bu yüzden elemanlarda meydana gelen sürtünme kuvveti hızların karesi ile orantılıdır. Bir dereceye

kadar küçük akıntı önemli etkiye neden olabilir özellikle büyük derinliklerde. Bu etkiler ince yapı elemanları için çok önemlidir. Bu tip elemanlar üzerindeki kuvvet hesaplamaları Morisson eşitliği kullanılarak yapılmaktadır. Bu eşitlikteki hızlar ve C_D katsayısı değişime uğramaktadır. Fakat bu şekilde iç kuvvetler değiştirilemez. Bunlar su parçacıklarının ivmeleri ile orantılı olduğu farz edilir [65].

$$F(z, t) = C_I \dot{V}_x + C_D V_x |V_x| = F_I + F_D \quad (122)$$

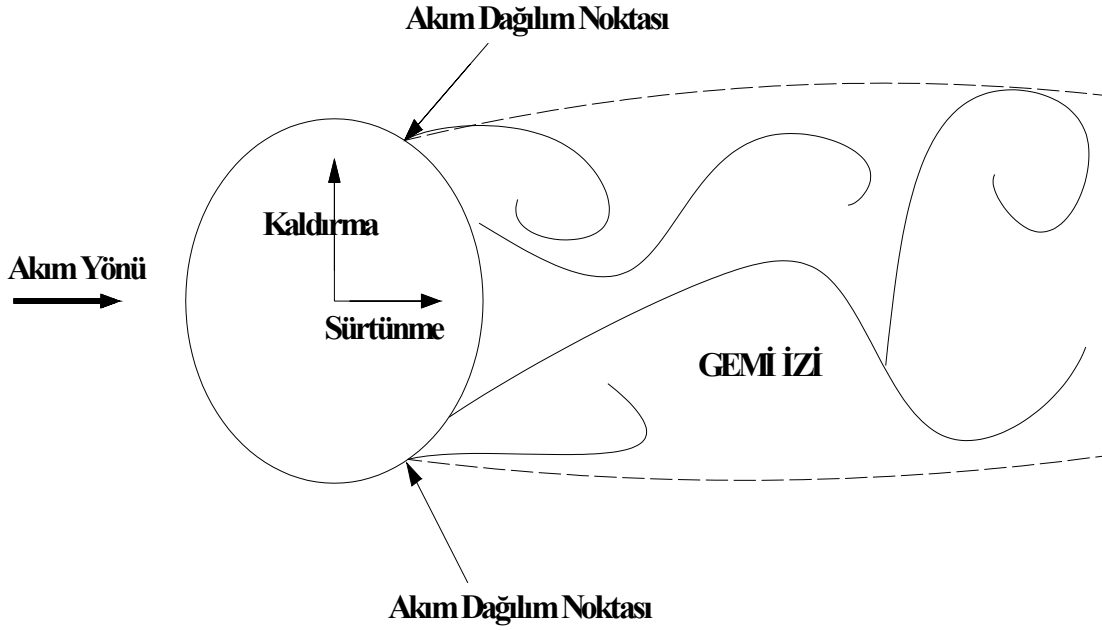
2)- Akıntı bazı yollarla dalga yüzeyi alanını değiştirebilir. Bu şekilde dalga yüzeyi genişliği değişir ve bazı dalga adımları meydana gelir. Hızın yayılması ve dalga boyunun değişimi özel frekanslara neden olur. Gerçekte dalgalar akıntı ile durdurulamaz fakat bunlar tehlikeli potansiyel enerjiye neden olurlar. Dolaylı olarak akıntı üstündeki dalga hareketi kırılabilir ve akıntı boyunca yön verilebilir eğer iki yönün açısı 90 dereceden büyükse.

3)- Sabit elemanlar üzerine akıntının çarpması su yüzeyinde sürekli olan dalga modellerine neden olmaktadır. Bu şekilde meydana gelen dalgaların hareketleri gemi yada başka bir hareketli yapının neden olduğu dalgalara benzemektedir. Bu olay Şekil 84 görülmektedir.



Şekil 84. Sabit dalga çiftlerinin neden olduğu uniform akıntılar [65].

4)- Akıntılarının neden olduğu 4. etki ise girdap akıntısı(vortex) diye adlandırılır. Bu etki zayıf elemanlar için çok önemli bir etkidir. Şekil 85'te gösterilmektedir. Vortex ayrılması elemanların yükselmesine ve kaldırma kuvvetine neden olur.



Şekil 85. Vortex akıntısı [65].

2.4.3.2. Akıntı Türleri

Akıntı kuvvetleri doğada değişik nedenlerden meydana gelebilir.

Bunlar;

- Astronomik gelgitlerden oluşan akıntılar (v_G).
- Hava akımlarından meydana gelen ve genel deniz akıntıları.
- Fırtınaların neden olduğu ve rüzgârlardan kaynaklanan akıntılar (v_{WG}) diye sınıflandırılabilir.

Akıntıdan kaynaklanan yükler yapının su altında kalan elemanlarında etkili olmaktadır. Bu nedenle yapı tasarımı için önemli bir parametredir.

2.4.3.2.1. Astronomik Gelgitlerden Oluşan Akıntılar (v_G)

Bunlar genelde ayın ve güneşin çekim kuvvetiyle oluşurlar. Coğrafi yerlerine ve ayın konumuna bağlıdır. Maksimum gelgit ilkbaharda ve yeni ayda meydana gelir. Bu şekilde bir sıralama yapılarak özel bir harita oluşturulur. En güçlü ve genel akıntı türleri bu şekilde meydana gelen akıntılardır. Gelgitler dolaylı olarak dalga ve akıntı nedeniyle kaynaklanan deniz seviyesindeki titreşimlerdir ve bu yapı üzerinde yük oluşturmaktadır.

2.4.3.2.2. Hava Akımlarından Meydana Gelen ve Genel Deniz Akıntıları

Bu akıntı türü atmosfer şartlarının denizde meydana getirdiği akıntı türüdür. Hava akımı atmosferde yüksek basınç bölgesinden düşük basınç bölgesine bir eğilim gösterir buda küçükte olsa akıntıya neden olmaktadır. Bu şekilde oluşan akıntıya hava basıncı neden olmaktadır. Yinede tasarım esnasında dikkate alınmalıdır.

2.4.3.2.3. Fırtınaların Neden Olduğu ve Rüzgârlardan Kaynaklanan Akıntılar (v_{WG})

Fırtınaların neden olduğu ve rüzgârlardan kaynaklanan akıntılar, birleşmiş rüzgâr ve fırtınadaki hava basınçlarıyla oluşurlar. Akıntı hızı rüzgâr hızının bir fonksiyonu olup, aynı zaman da rüzgârın estiği süreye ve rüzgârın mesafesine bağlıdır. Rüzgârın neden olduğu akıntılar açık deniz yapı mühendisleri için önemlidir. Çünkü bu akıntı türleri yapı üzerinde biraz daha etkilidir. Deniz yüzeyindeki fırtınalardan ya da rüzgâr basınç olaylarından meydana gelen olaylar belli bir hızla ve 45 derecelik açıyla devam eden bir akıntı oluşturmaktadır. Büyük derinliklerde bu açı ve hız artış gösterebilir. Bu olay şekilde de gösterildiği gibi ve Ekman Spiral hız vektörü olarak nitelendirilebilir [65]. Rüzgâr nedeniyle meydana gelen bu şekilde ki akıntılar aynı yönde olmazlar (Şekil 86).

$$\Delta y[m] = 0.0132\Delta p \quad [\text{mm Hg}] \quad (123)$$

Δp : Basınç düşmesi

$$\Delta p = \Delta p_0 \left(1 - e^{-\frac{R}{r}}\right) \quad (124)$$

şeklinde verilmiştir. Burada;

Δp : Hurrikande merkez noktadan r uzaklığında basınç azalması

Δp_0 : Merkezde basınç azalması

R : Maksimum rüzgâr hızının yarıçapıdır.

2.4.3.3.2. Astronomik Yükselme

Güneş ve ayın çekiminden dolayı su seviyesinin yükselmesi. Bir yarım günlük (12 saat) ve tam günlük (24 saat) periyotları vardır.

2.4.3.3.3. Rüzgârdan Dolayı Su Seviyesinin Yükselmesi

Rüzgârdaki teğetsel itme kuvvetinin bir sonucu olup, su seviyesinin yükselmesi ile dengededir.

Su seviyesinin eğimi;

$$\frac{\partial y}{\partial x} = \frac{K \cdot u_w^2}{g \cdot d} \quad (125)$$

Formülü ile hesaplanır. Burada;

u_w : Su seviyesinin 10m yükseklikteki rüzgâr hızı

g : Yer çekimi ivmesi

d : Su derinliği

K : Boyutsuz bir katsayı $K = 3 \cdot 10^6$

Su derinliği değişken olduğundan ve rüzgârdan dolayı seviye yükselmesine bağlı olduğundan, bu son büyüklüğü iteratif olarak hesap etmek gerekir.

2.4.3.4. Akıntı Kuvvetleri

Akıntı, özellikle su yapıları ve deniz araçları için dalganın yanında önemli bir kuvvet kaynağıdır. Oyulma, yığılma, korozyon artması, buz ve su üzerinde yüzen cisimleri taşıyarak çarpmaya neden olması ve dalga etkisini arttırması gibi durumlar akıntının neden olduğu etkilerdir. Suyun daha çok taban kısmı için gel-git, rüzgâr gerilmesi, hidrolik ve çalkantı akımları önemli iken yapı tasarımı için daha çok rüzgâr gerilmesi ve gel-git akıntıları önem kazanır. Sürüklenme, kaldırma ve dinamik amfilikasyon kuvvetleri akıntı kuvvetlerinin en önemlilerindedir.

2.4.3.4.1. Akıntı Sürüklenme Kuvveti

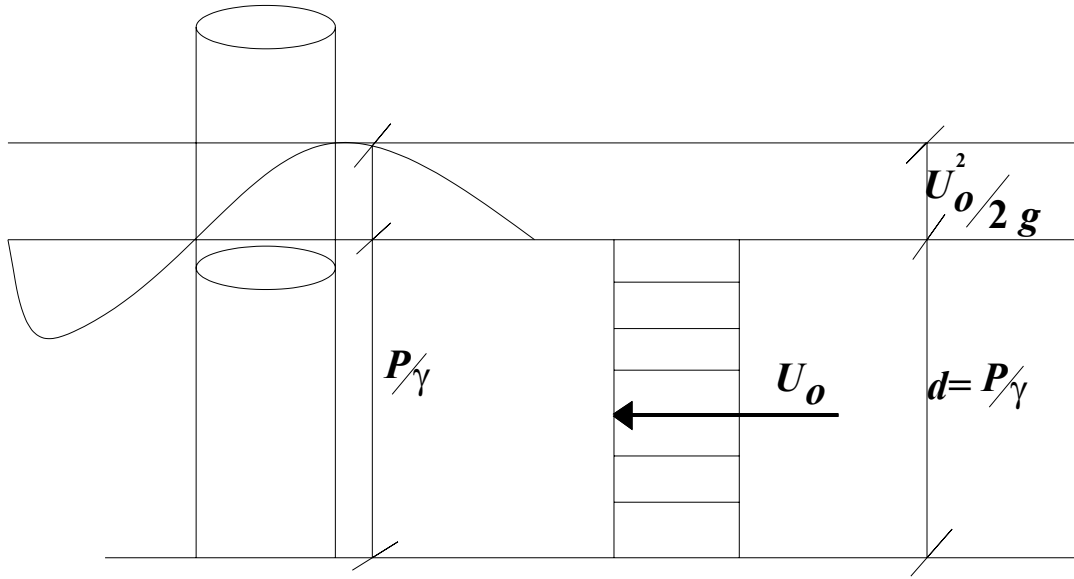
Uniform akım koşullarındaki bir silindire gelen statik basınç kuvveti yüksekliği P/γ dır. U_o hızından dolayı oluşan hız yüksekliği ise $U_o^2/2g$ olur. Silindirin akım yüzündeki (mamba) suyun hızı $U_a = 0$ olduğuna göre bu yüzde tüm yükseklik bir statik su basıncı yüksekliğine dönüşecek ve neticede silindirin bu yüzünde su kabarcaktır. Oluşan yeni durumdaki statik basınç kuvveti [68].

$$P = d\gamma \quad (126)$$

$$P = \frac{\gamma}{2g}U^2 + P \quad (127)$$

şeklinde ifade edilir.

Konuyla ilgili denklemlerini çıkarmak için Şekil 87'den ve Bernoulli denklemlerinden yararlanabilir.



Şekil 87. Silindir önünde yığılan akım [68].

Dalga kuvvetlerinin de aynı zamanda etki ettiği yapılarda akıntı hızı dalga parçacık hızı ile vektörel olarak toplanmalıdır. Toplam sürüklenme kuvveti ise hesaplanan bu yeni hıza göre aşağıdaki gibi belirlenir.

$$F_{TD} = C_D \frac{\gamma}{2g} A_p (U + u)^2 \quad (128)$$

Burada γ : Deniz suyu özgül ağırlığı ($1025,2 \text{ kg/m}^3$),

A_p : Akım yönündeki iz düşüm alanı,

C_D : Sürüklenme katsayısıdır

Sürüklenme katsayısı seçiminde çeşitli tiplerdeki ve kalınlıklardaki yapıların etrafında akım temas yüzeylerinde oluşan birikinti ve oluşumlardan (fouling) dolayı ortaya çıkan kesit değişimleri dikkate alınır.

Akıntının kritik değerlere ulaşmadığı su yapılarında ortalama ya da maksimum akıntı basıncının yapı üzerinde üniform olarak dağılıyor olduğunu varsayılabiliriz Akıntının olduğu denizler için birim alana düşen kuvvet (dinamik basınç) İngiliz birim siteminde şu şeklide bulunur [68].

$$P = \frac{F_c}{A_p} = U^2 C_D \quad (129)$$

Dar kanallarda ve su akım yönünün değiştiği nehir ağızlarında yapılan yapılarda C_D için özel hesaplamalar gerekmektedir. Bir yüzen yapı için sürüklenme kuvvetini düşünürsek su derinliğini d olarak ve yapının su kesimi derinliği D olarak adlandırılırsa sürüklenme kuvveti katsayısının $d/D=1$ iken alacağı değer logaritmik olarak azalarak $d/D=6$ olduğunda yaklaşık olarak 6 kat daha az olacaktır. Bu durum Tablo 23 'de gösterilmektedir. Önemli yapılarda katsayının belirlenmesi için model deneylerin yapılması önerilir. Rüzgâr kuvvetine benzer şekilde temas alanı arttıkça kuvvet artacaktır Bir yüzen yapı için temas alanı ise yüklü durumdaki su içinde kalan kısmın alanıdır [68].

Tablo 23. C_D 'nin d/D ye göre değişimi [68].

d/D	C_D
1,1	4,6
1,5	2,2
$\gg 7$	1,0

2.4.3.4.2. Kaldırma Kuvveti

Kaldırma kuvveti; ister dalga, isterse bahsedilen akıntı kaynaklarından dolayı olsun oluşan akımların kazıkların cephelerinde veya akıntının yığıldığı (dikilen) memba tarafında vortekslerin (çevrinti hareketlerinin) periyodik olarak peş peşe üretilmesi ile oluşur. Hidrodinamik bir kuvvet olan kaldırma kuvveti akım doğrultusuna ve kazık eksenlerine dik olarak etkinken, sabit ve yüzen yapıların tasarımında en önemli kuvvetlerden olan sürüklenme kuvveti akım doğrultusunda etkir. Büyüklük olarak yapının birim boyuna gelen kuvvet şu şekilde hesap edilebilir.

$$f_L = \frac{\gamma}{2g} C_L D U^2 \quad (130)$$

Burada C_L ; silindir çemberler için yaklaşık $C_D/3$ kadar alınan bir kaldırma kuvveti katsayısıdır. U ise dalga veya kararlı akım su hızı (ilerleme hızı) dır.

2.4.3.4.3 Yüzey Sürtünme Kuvveti

Sürüklenme kuvvetine ilave olarak yüzey sürtünme direnci de hesaplanabilir. Yapının yüzeyindeki pürüzlülüklere ve Reynolds sayısına (N_R) bağlı olarak değişen sürtünme kuvveti N_R 'nin değişik değerlerindeki akım rejimleri için, sürtünme kuvveti katsayısı (C_F) genelde 0,001 değerini alır. Yapı elemanlarında bir bozulma ve yüzeylerinde oluşumlar (rouling) yüksek miktarda ise bu değer 0,004 ile 0,006 arasında alınabilir. Yüzey sürtünme kuvveti akıntı hızının karesi ile ve S ıslak alana bağlı olarak [68].

$$F_{SF} = \frac{1}{2} \frac{\gamma}{g} C_F S U^2 \quad (131)$$

şekilde hesap edilebilir

2.4.3.4.4. Kabarma ve Alçalmalardan Meydana Gelen Kuvvetler

Astronomik gel-git hadisesinin yanında gerek rüzgâr, gerek taşkın ve mevsimlik yağışlar ve gerekse fırtına dalgalarının meydana getirdiği akımdaki düşey bir artış ya da azalış, su akımıyla birleşmesi ile su düzeyi kabarmalarının ya da alçalmalarının oluşmasına neden olur. Sabit ya da yüzen yapılar için akıntı sürüklenme kuvveti olarak hesap edilirler. Bu nedenle oluşan akım durumlarındaki hız dağılımlarını bilinmesi gerekir. Akım yükselme durumu gel alçalma durumu ise git şeklinde ifade edilen gelgit akıntıları gibi akıntıların hızları periyodik olarak değişir.

Akıntıların hızlarının seçiminde mevsimlik değişimler göz önünde bulundurulmalıdır. Mevsimlik su düzeyi artışı ortalama su düzeyinin % 10- 20 fazlası olabilir. $H/D > 1/7$ olduğu su durumu göz önünde bulundurulduğunda herhangi bir andaki bu kabarmaların neden olduğu düşey hız dağılımı şu şekilde olur;

$$U_{TZ} = U_{TS} \left(\frac{z}{d}\right)^{1/7} \quad (132)$$

Burada U_{TZ} : z seviyesindeki akım hızı.

U_{TS} : Yüzeydeki akım hızı,

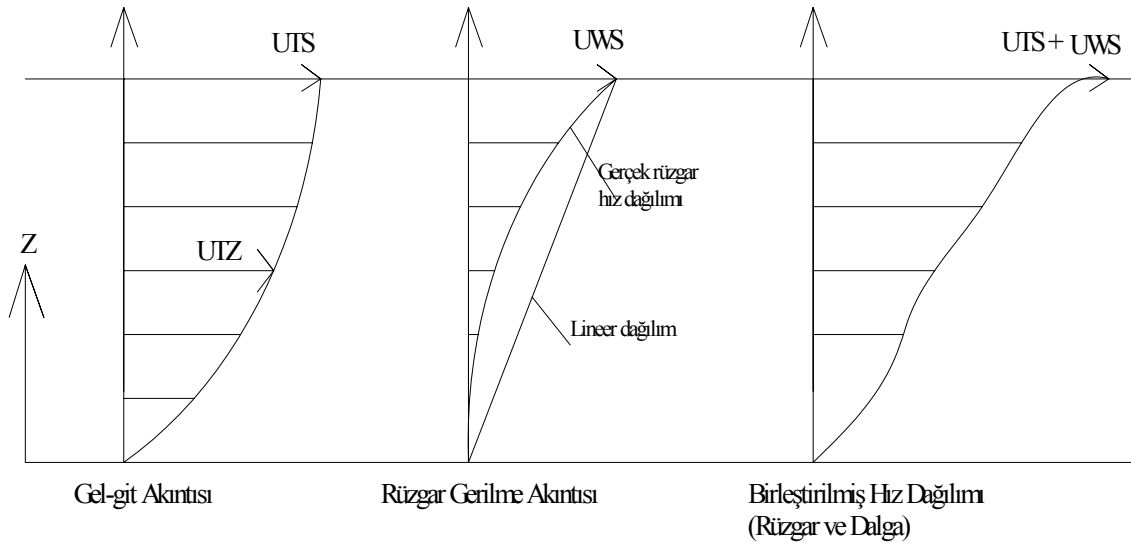
d : Su derinliğidir.

Akım hızları yüzeye yakın yerlerde en yüksek hız profiline sergilerler. Rüzgâr gerilmesinden doğan akıntılar genelde sıra dışı akım koşulları için dikkate alınır. Tasarım maksadı ile rüzgârın neden olduğu hız dağılımı, O değerini aldığı tabandan itibaren rüzgâr hızının %1-3'ü civarında olduğu su düzeyine kadar lineer değişim gösterdiği kabul edilir. Rüzgâr gerilme hızının akım içerisinde lineer dağılımı ise aşağıdaki Şekil 88'de ifade edilmektedir [68].

$$U_{wz} = U_{ws} \left(\frac{z}{d} \right) \quad (133)$$

Burada U_{wz} : z seviyesindeki rüzgârdan dolayı oluşan akıntı hızı,

U_{ws} : Yüzeydeki akıntı hızıdır.



Şekil 88. Rüzgâr gerilme akıntıları ve gel-git akıntılarının hız dağılımı [68].

Rüzgâr gerilme akıntısı belirli şartlar altında 0,5 m/s 'den fazladır. Bu hız kabaran akımın hızı ile vektörel olarak toplanmalıdır. Gel-git akıntılarının hızı ile, aşırı su kabarması ve fırtına dalgalarının birleşmesi ile su seviyesindeki artışla orantılı bir şekilde artış yapacaktır. Nehir çıkışlarında yaşanan akımların en yüksek olduğu dönemler; taşkın durumunda veya baharda buzların erimesi ile meydana gelir. Bu etkiler özellikle akıntının artıştan daha çok azalma gösterdiği bölgelerde göz önünde bulundurulmalıdır. Genel de yumuşak kumlu düz bir tabandan 30 cm yukarıdaki akım hızını 0,30 m/s alınabilir.

Güçlü rüzgâr gerilme akıntısı ve normalden daha yüksek su seviyeleri allışları genelde dalga yüksekliği ile birleştğinde oluşacak akıntı hızını, dalga parçacık hızı ile vektörel olarak toplanması gerekir. Maksimum kuvvet ve moment hesabı içinde dikkate alınan bu durum için oluşan su derinliği kullanılmalıdır. Gel-git hadisesi için alınacak liman içi su yükselmesi ise bölgelere göre değişir fakat bu değer gel - git ten fazla etkilenmeyen yurdumuzda yaklaşık 30 cm alınır[68].

2.4.3.4.5. Coriolis Kuvvetler

Bu kuvvet dünyanın dönmesi nedeniyle oluşmuş hayali bir ivme olarak kabul edilir. Ekvatorda sıfır değerini alırken kutuplarda maksimum olur. Düşey bileşeni yerçekimi kuvvetinden dolayı ihmal edilebilir. Yatay bileşende ise hareket ettiren kuvvet olarak rüzgâr kabul edilir. Rüzgârın ürettiği ve su akımı üzerinde etkili olan kuvvet için hesaplamalar şu şekilde yapılabilir;

$$F_{CH} = 2\Omega V_w \sin \psi \quad (134)$$

Burada Ω ; dünyanın açısal dönme hızı 7.3^{-5} radyan/s,

V_w : Rüzgâr hızı,

ψ : Açı cinsinden bulunan enlemdir.

2.4.4. Deprem Yüğü

Deprem kuvveti; yerçekimi kuvveti gibi ağırlık merkezine etki eden ve yerçekiminin değişik oranlarında olan (0,025–0,10 g gibi), kendi niteliğine bağlı olarak çeşitli doğrultulara sahip ve etki ettiği cismin kütlesi ile çarpılarak hesap edilen bir kuvvettir. Özellikle deprem bölgelerin açık deniz yapılarının tasarımında deprem etkisi dikkate alınmaktadır ve bu kuvvetler göz önünde bulundurulmalıdır. Deniz yapısı olarak çoğu iskele ve rıhtım genel olarak büyük yanal kuvvetlere direnecek şekilde tasarlandıklarından 0,5 s veya daha az periyotlara sahiptirler ve böylece nispeten rijit sayılabilirler. Bu özelliklerinden dolayı zemin hareketlerine karşı da bir ölçüde dayanıklıdırlar. Bunun yanında uzun kazıklara sahip konsol şeklindeki açık deniz platformlarında ve daha yüksek oranda deprem hasarına maruz kalabilecek esnek yapılarda bu tür yer hareketleri önemlidir.

Deprem ve deprem kaynaklı tsunami ve sivilaşma etkisiyle açık deniz ve kıyı yapıları çok büyük hasar görebilmektedir. Şiddetli bir depremin büyük bir kentin yakınında gelme olasılığı nadiren bir olay olabilir. Fakat bunun sosyal ve ekonomik etkileri ulusal boyut açısından yıkıcı olabilir. 1994 Los Angeles, ABD depremi (61 l ve 30 milyar \$ maddi zarar);1995 Kobe, Japonya depremi (6400'n üzerinde l ve 20 milyar \$ maddi zarar); 1999 Kocaeli; Türkiye depremi (15000'in üzerinde l ve 100 milyar \$maddi zarar); 1999 Atina, Yunanistan depremi (143 l ve 2 milyar \$maddi zarar) ve 1999 Tayvan depremi (2300'n üzerinde l ve 9 milyar \$ maddi zarar) son yıllardaki örneklerdir [69]. Sismik aktivitenin kıyı bölgelerinde farklılık göstermesine rağmen deprem felaketleri sadece dünyanın sismik aktif bölgelerinde değil, sismik olarak daha sakin bölgelerde de görülmektedir.

Depremler yüzünden oluşan zarar ve kayıpların azaltılması amacıyla, sismik tasarım yöntemleri, 20. yy. başlarında itibaren birçok bölgede kurallar ve standartlar ile tasarım uygulamaları geliştirilmiş ve gerçekleştirilmiştir. Bu metotların çoğu yerçekimi ivmesi ile tanımlanan sismik kuvvetin tanımlanan bir seviyesine direnç gösterecek şekilde tasarlanan yapılardaki kuvvet dengesi yaklaşımına dayanmaktadır. Deprem felaketleri oluşmaya devam edecektir. Bu felaketler, genellikle sismik bölgelerin yakınındaki güçlü deprem hareketleri veya zemin göçmesi dolayısıyla oluşacak hasarı, sismik tasarımın göz önüne alınmadığı bölgelerdeki orta büyüklükteki deprem hareketlerinde bile meydana gelmektedir.

Burada deniz yapıları için sunulan sismik tasarım standardının amacı hali hazırda geleneksel tasarımdaki sınırlı sayıdaki sunumlara yön vermek ve yeni bir tasarım yaklaşımına ereve oluşurmaktadır.

Standartlar genellikle:

- Performansa dayalı, bir deniz yapısının davranışına ait karakteristikleri ve özel fonksiyonları ile bölgedeki deprem olasılığına bağlı olarak belli derecede bir hasara izin verilebilmeli.
- Tasarım mühendislerine yapının sismik performansını hesaplamak için, basitten karmaşığa doğru analiz metotlarının seçimini sunmalıdır.
- Deniz yapılarında istenen fonksiyonları; ekonomik, sosyal, evre ve bölgeden bölgeye farklılık gösterebilen sismik aktiviteye göre dünyanın her tarafında yeterince genelleştirilebilecek mertebede faydalı olmalıdır.

Yüzyıllardır depremlerin yıkıcı etkilerinin bilinmesine rağmen, ancak 1950'li yıllardan sonra, sismik etkiler, şartname ve standartlarda tasarım parametreleri olarak tanımlanmaya başlamıştır. Bu standardın, tasarım mühendisleri ve deprem mühendisliği uzmanları tarafından kullanılması beklenmektedir. Standardın uygulanabilirliği, pratikte bölgesel standartları tamamlayacaktır. Eğer bir bölgenin liman yapıları tasarımı için sismik standartları ve kuralları yoksa o bölgeye uygulanabilecek yeni bir sismik tasarım metodu veya kurallarının geliştirtmesine esas teşkil edecektir. Depreme karşı deniz yapılarında; iskele, rıhtım, dalga kıran, payandalar ve açık deniz yapılarında yapının standartlarda uygunluğu sağlanmalıdır.

Sismik olarak aktif bölgelerde, tasarım maksadıyla yapılan çalışmalarda yer hareketlerinin karakteri ve şiddeti iyi bilinmelidir. Bu amaçla bölgede bulunan aktif fayların karakteristikleri ve oluşturduğu hasarlar incelenmeli maksimum deprem büyüklüğü tahmin edilmelidir. Sismik aktivitesi düşük olan yerlerde yapılar rüzgâr, dalga, akıntı gibi önemli etkenler göz önünde bulundurularak tasarlanır. Maksimum deprem ivmeleri genelde aksenal olarak sürekli olmayan yapılarda gözlemlenir. Açık deniz yapı tasarımında deprem etkisi genelde 1991 yılında uygulanmaya başlayan API RP2A standartlarına göre yapılmaktadır. API RP2A genelde sabit platformlarda ve tipik çelik ceket tipi platformlarda uygulanmaktadır. API (American Petroleum Enstitue) açık deniz yapıları için genelleştirilmiş bir deprem tepki dağılımı önerir. Buna göre ana eksen boyunca ve eksene dik doğrultu, yatay olarak gelecek maksimum ivmenin üçte ikisine eşit bir ivme, dikey doğrultuda ise maksimum ivmenin yarısı kadar bir ivme eşzamanlı olarak yapıya uygulanır. Bu uygulama her eksen üzerine yapılmalıdır. Vinç stabilitesi, üst yapılar ve diğer hassas yapılar olabilecek bir rezonans durumu için kontrol edilmelidir. Öncelikle yarı statik metotların gösterdiği potansiyel olarak yüksek kuvvetlere maruz yerlerde tepki dağılımı veya tam dinamik analiz yapılmalıdır. Bu durumda yükler artık yapı tepkisinin bir fonksiyonu haline almış olur.

API RP2A standardının deprem etkilerine karşı oluşum felsefesi aşağıdaki Tablo 24'te anlatılmaktadır.

Tablo 24. API tasarım felsefesi [69].

	Deprem Dayanım Seviyesi (SLE)	Deprem Süneklik Seviyesi (DLE)
Felsefesi	Normal platform çalışmalarının yarıda kalmasını engellemek.	Yapı ömrünün zarar görmesini engellemek ve kontrolünü devam ettirmektir.
Tasarım	Depremler mantıklı bir olasılıkla yapı ömrü boyunca aşmayacak şekilde gerçekleşirler.	yapının kullanım suresi boyunca nadiren meydana gelebilecek şiddetli depremlerin olma olasılığı.
Performans	Yapının elastik tepkisine önemli bir yapısal zararın görülmemesi.	İnelastik tepkide yapısal zararın meydana gelmesine rağmen yapının yıkılmaması.

API'nın (American Petroleum Institute) yapmış olduğu deprem yönetmelikleri iki tasarım seviyesi yaklaşımına dayanmaktadır. Bunlar;

- Dayanım Şartları

Deprem Dayanım Seviyesi (SLE)).platform şiddetli depremlere göre tasarlanır. Bu depremler mantıklı bir olasılıkla platform ömrü boyunca meydana gelmezler yada 100 yılda bir meydana gelme olasılıkları vardır [69].

Dayanım şartlarının amacı; oldukça şiddetli depreme maruz kaldıktan sonra yapının çalışma faaliyetlerinin kesilmesini engellemektir. Oluşturulan tepki spektrumunda zamana bağlı yaklaşım kullanılmaktadır.

- Süneklik Şartları

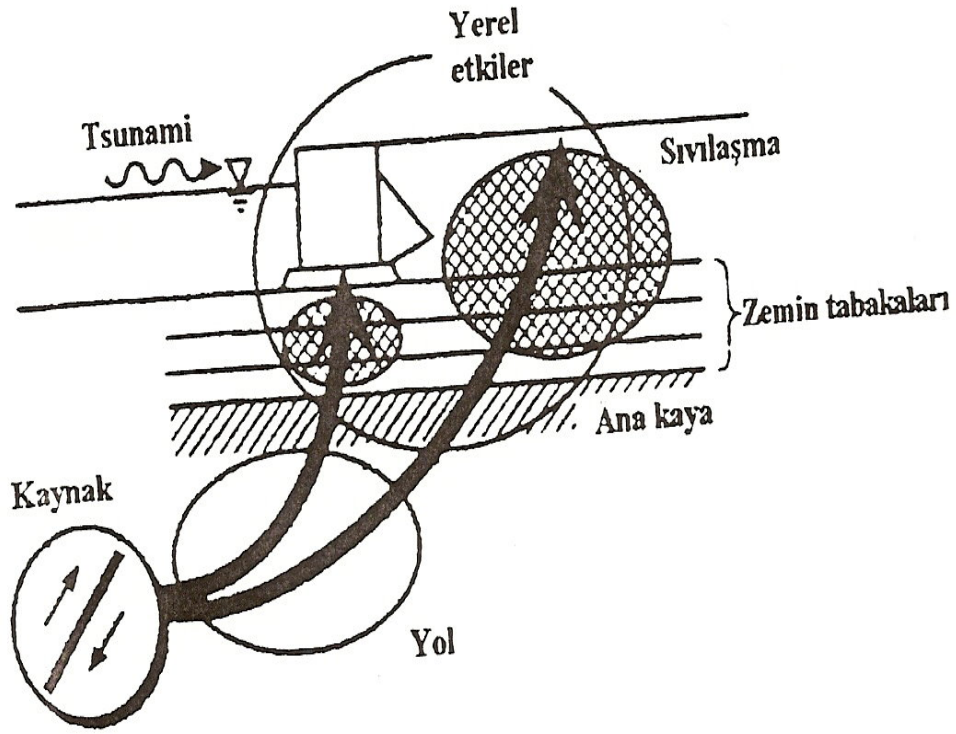
(Deprem Süneklik Seviyesi (DLE)).Yapı meydana gelme olasılığı nadir depremlere göre tasarlanır.

Süneklik şartlarının amacı; nadir olarak meydana gelen şiddetli depremlerde yapının tamamıyla yıkılmasını engellemek ve emniyete almak için uygun kapasiteyi bulmaktır. Yapı sistem elemanları zarar görebilir ve eğilebilirler fakat yapı genel olarak şiddetli deprem altında sünek davranmak zorundadır. Bu şekilde meydana çıkacak olan enerjiyi yapı harcayabilir[69].

Deprem ile oluşan sismik dalgaların yayılımı ve yüzeye ulaşması yerel zemin koşullarına bağlıdır. Bir merkezde oluşan sismik hareket, depremin büyüklüğüne, merkez uzaklığına, yerel zemin koşullarına bağlı olarak yapıları etkiler. Deprem yüklerinin

hesaplanmasında, yer hareketi (ground motion) ve bunun yarattığı yerel etkiler göz önüne alınır. Yer hareketi genelde, en yüksek yer ivmesi (PGA:Peak Ground Acceleration) veya en yüksek yer hızı (PGV: Peak Ground Velocity) ile tanımlanır. Belli bir konumdaki yerel etkiler ise depremin genlik, frekans ve süresine, merkez uzaklığına ve yerel zemin türüne bağlı oluşan yerel zemin hareketi olarak tanımlanır. Bu etkileşimi veren etki — yerel tepki katsayıları, zemin özellikleri göz önüne alınarak hazırlanmaktadır (Seed ve diğ., 1997). Olasılığa dayalı tasarımlarda ana girdi olarak verilen deprem oluşma olasılığı ise yinelenme dönemine bağlı olarak verilir ve belirlenen tasarım süresi içinde bu olasılığın aşılma durumları araştırılır. Bu çalışmaların temelini ise depremler için yapılan ve uzun dönem verilerine dayanan istatistiksel çalışmalar oluşturur.

Tasarım, yapı özelliklerine göre, verilen sismik yükler altında yapının davranışını veren deformasyon ve gerilmelerin kabul edilen limitleri içinde gerçekleştirilir. Oluşma olasılığı daha az olan, ancak, yıkıcı etkileri ile büyük hasar meydana getirerek, mal ve can kaybına neden olan büyük depremler, önceden de belirtildiği gibi son yıllarda bütün dünyada temel araştırma alanlarını oluşturmaktadırlar. Özellikle kıyı bölgelerinde, kıyı ve deniz yapıları tasarımında kıyıda oluşan depreme ek olan ve genelde deniz tabanında depremin yarattığı hareketten oluşan uzun dönemli dalgaların (tsunami) etkileri ve sivilaşma yapılan bu çalışmalarda ağırlıklı olarak göz önüne alınmaktadır. Deniz yapılarına tesir eden sismik etkilerin anlaşılması için temel kavramların bilinmesi gerekir. Şekil 89'da gösterildiği gibi, sismik dalgalar bir kabuğu ayıran fay tarafından üretilir ve dikkate alınan bölgede ana kayanın yüzeyine hareket ederek üstteki kabuk boyunca yayılır. Yer hareketleri daha sonra yeryüzüne ulaşarak, yerel dolgu zemine doğru yayılır ve yapıları etkilerler. Zemin koşullarına ve sarsıntının büyüklüğüne bağlı olarak zemin yüzeyine yakın tabakaların sivilaşması ve buna bağlı olarak zemindeki göçmeler deniz yapılarını önemli ölçüde etkileyebilecek şekilde meydana gelebilmektedir. Eğer kıyının açığında bir fay hareketi deniz yatağının düşey tektonik yer değiştirmesine yol açarsa, tsunami de oluşabilir. Bu olağan dışı durumlar mühendislik açısından deniz yapılarında sismik etkilerin değerlendirilmesi açısından önemlidir.



Şekil 89. Sismik dalgaların yayılması [70].

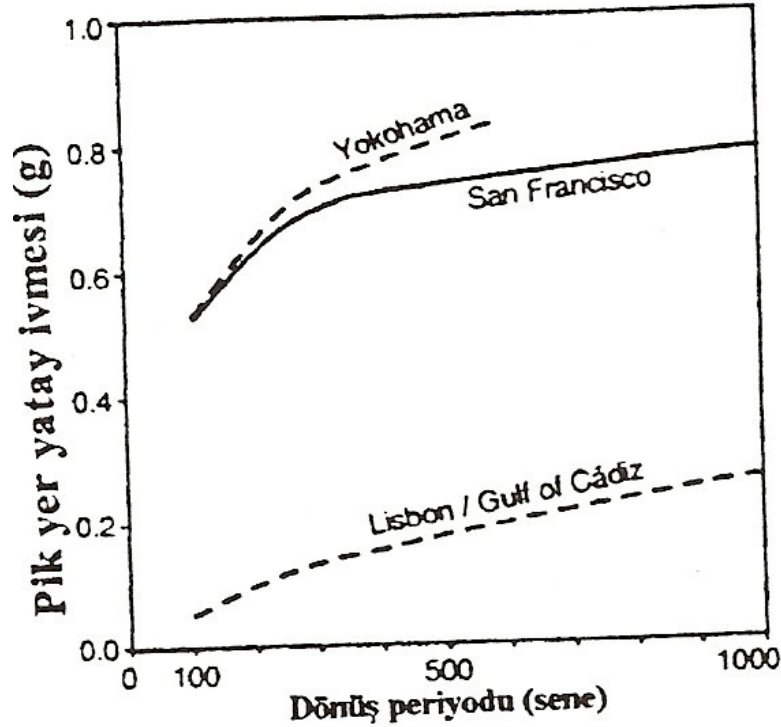
2.4.4.1. Deprem Hareketleri

2.4.4.1.1. Ana Kayanın Hareketi

Belli bir bölgedeki ana kayanın hareketi sismik analiz yardımıyla karakterize edilir. Eğer sismik analizinde belirli bir deprem senaryosu varsayımı yapılrda, ana kaya hareketi deprem kaynak parametreleri ve kaynaktan bölgeye doğru bir yol boyunca dalga yayılma etkileri ile deterministik olarak ifade edilir. Yine de genellikle, ana kayanın hareketi, oluşma frekansı ve depremin yeri ile ilgili belirsizlikleri de hesaba katarak sismik hasar analizi yardımıyla ifade edilir.

Mühendislik tasarım uygulamasındaki temel parametrelerden biri de, pik yer ivmesi (PGA) veya bazı koşullarda pik yer hızına (PGV) göre tanımlanan ana kayanın hareketinin seviyesidir. Bu parametre ya kendi başına veya davranış spektrumu ile ilgili bir ölçek ya da zemin serisi olarak kullanılır. Olası sismik hasar analizinde, ana kayanın hareketinin düzeyi dönüş periyodunun veya tanımlanan bir oluşma zamanı boyunca aşılma olasılığının bir fonksiyonu olarak tanımlanır. Şekil 90'da verilen örnekteki gibi pik yer yatay ivmeleri

göz önüne alınan bölgedeki jeolojik, tektonik ve tarihsel sismik aktivite verilerine dayanmaktadır. Şekil 90'da gösterildiği gibi sismik hasar analizlerinin sonuçları, metotlara ve kullanılan verilere bağlı olmakla beraber bunlar yapılan son araştırmalara dayanarak zaman içinde yeniden uzmanlar tarafından yenilenmelidir. Tavsiye edilen bir dönüş periyodunda ana kayanın hareketi için çoğu kez bölgenin kuralları ve standartları kullanılır.



Şekil 90. Değişik dönüş periyotlarına göre pik yatay ana kaya ivmeleri [70]

2.4.4.1.2. Yerel Etkiler

Belirli bir bölgedeki dolgu alan, genliği, frekansı, içeriğini ve süreyi değiştirerek ana kayanın hareketini önemli bir şekilde farklılaştırabilir. Bunun sebebi zeminin dinamik davranış karakteristikleridir ve "yerel etki" olarak adlandırılır. Yerel etkiler, zemin altındaki malzemenin özelliklerine ve tabakalaşmasına bağlı olduğu kadar yer hareketinin büyüklüğüne ve frekans özelliklerine de bağlıdır.

Güçlü yer hareketi yer yüzeyine doğru olarak artarak yayılırken, dolgu alanlarının azalan gerilme ve rijit sarsıntı etkilerinin büyümesine neden olmaktadır. Derinliklerine

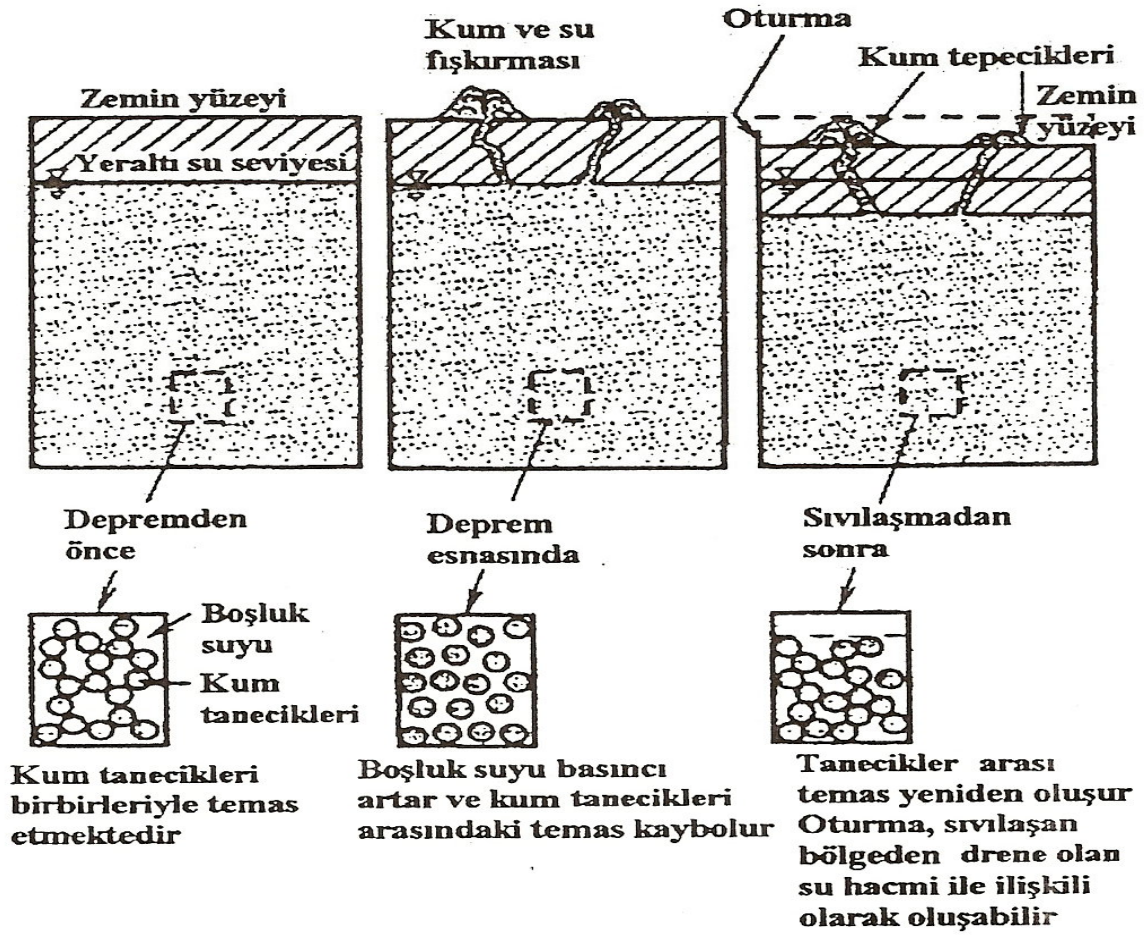
ve özelliklerine bağlı olarak, yumuşak tabakalar hareketin belirli frekanslarının büyümesine sebep olabilirler. Çok yumuşak zeminler için, sarsıntı hareketinin şiddeti azaltılabilir ve büyük gerilmeler dolgu alanın gerilmesinin dairesel kayma gerilmesine ulaştığı yere kadar artabilir. Yerel davranış analizinin zemin gerilmesine uygun yapılmasına özen gösterilmelidir.

Mühendisler uygulamalarında, yerel etkiler ya mevcut olan verilerin istatistiksel analizine esas alan bölge büyütme faktörlerinin tahmini kullanılır ya da bölgeye özel davranış analizi kullanılarak değerlendirilir. Bölge büyütme faktörleri genellikle yönetmelikler ve standartlarda belirtilir ve zemin yüzeyinde uygun değerleri elde etmek için ana kayanın PGA veya PGV' sinin bir ölçüsü veya zemin yüzey davranış spektrumlarını tanımlamak için ana kaya davranış analizi genel olarak, zemin yüzeyi hareketinin zaman serisi elde etmek üzere tek boyutlu model kullanılarak yerine getirilir. Zeminin lineer olmayan davranışı çoğunlukla eşdeğer lineer modelle idealleştirilebilir, bunda kayma modülü ve sönüm oranı gibi gerilmeye bağımlı malzeme parametrelerinin lineer olmayan davranış ve enerji sönümünü tasarım yer hareketleriyle idealleştirilerek tanımlanmaktadır [70].

2.4.3.3. Sıvılaşma

Sıvılaşma, sarsıntı etkisiyle boşluk suyu basıncının artarak etkin yatay gerilmeyi sıfır yapması şeklinde açıklanabilir. Bu durumun oluşma olasılığının yerel zemin özellikleri araştırılarak ortaya konması, zorunlu bir tasarım koşuludur.

Zemin tanecikleri sarsma hareketli ile hızlı bir şekilde birbirlerinden uzaklaşırlar ve zemindeki boşluk suyu basıncı artmaya başlar. Gevşek doymuş kumlu zeminlerde, boşluk suyu basıncı hızla yükselebilir ve öyle bir seviye ulaşılabilir ki ayrı ayrı yüzer ve zemin gerilmesi ve direnci geçici olarak kaybolur. Bu, zemin sıvılaşması denilen durumdur ve Şekil 91'de gösterilmektedir.



Şekil 91. Sıvılaşma mekanizması [70]

Sıvılaşma; yeraltı suyunun yukarı doğru hareketi ile yerçekimine karşı uyguladığı kuvvetin tanelerin batık ağırlığını yenmesiyle meydana gelir. Bu durumda tanelerin birbirine göre temas dirençleri ortadan kalkar ve taban üzerinde bulunan herhangi bir deniz yapısı gibi ağır bir cismin tabana gömülmesine neden olur. Boşluk suyu basıncı taneleri yukarı doğru kaldırarak tanelerin boşlukta gibi hareket etmesine neden olur. Dalgalı ortamda sıvılaşma her zaman mümkündür. Diğer bir şekilde tanımlanmaya çalışılırsa, zemindeki taneler arasındaki efektif gerilmeler ortadan kalktığında katı tane-su karışımı akışkan gibi davranmaya başlar, bu durum sıvılaşma olarak bilinmektedir. Sıvılaşma deprem etkilerinin yanı sıra dalga etkisinde de meydana gelebilmektedir. Özellikle deniz yapıları suya doymuş zeminler üzerine inşa edilmeleri nedeniyle sıvılaşma potansiyeli yüksek zemin yapıları mevcut olduğunda, bu yapıların deprem etkisinde hasar görmeleri ya da toptan göçmeleri söz konusu olabilmektedir.

Zemin direnci, tanecikler arasındaki sürtünme ve kenetlenme ile oluşur. Yerin altındaki herhangi bir derinlikte deprem öncesinde, zemin ağırlığı ve üzerindeki yükler kısmen toprak tanecikleri arasında kısmen de boşluk suyu tarafından taşınmaktadır. Gevşek zemin sarsıldığında, sıkılaşmaya veya bir araya gelmeye çalışır. Kompaksiyonun oluşması için drene edilmesi gereken su, yukarıdaki yükün gittikçe daha fazla kısmı boşluk suyuna aktarılır ve zemin tanecikleri arasındaki yük azalır. Sonunda boşluk suyu basıncı öyle bir seviyeye ulaşabilir ki suyun üst tabakalardan dışarı doğru fişkırmasına sebep olur ve yukarıdaki malzemenin ağırlığının tümü boşluk suyuna aktarılabilir. Bu durumda sıvılaşmış zemin yoğun akışkan gibi davranır ve büyük zemin hareketleri meydana gelebilir. Bu durum, yüksek boşluk suyu basıncı tekrar drene olana ve zemin tanecikleri arasındaki temas tekrar kurulana kadar devam eder. Bu işlemin sonucu olarak bazı tabakalar sıkılaşacak ve zemin oturmaları gözlemlenecektir. Diğer tabakalar ise çok gevşek bir halde kalacak ve gelecek depremlerde sıvılaşmaya yatkın olacaktır.

Deprem sebepli sıvılaşma potansiyeli, zeminin yüksek boşluk suyu basıncı oluşumuna direnci ve zeminin maruz kaldığı tekrarlı kesme gerilme/birim deformasyonlarına dayanımı esas olarak zeminin sıklığına, geçirimsizliğine ve malzemeye etkiyen efektif çevre gerilmelerine bağlıdır. Bu faktörlerin SPT, CPT ve kayma dalga hızı (V_s) gibi saha deney sonuçları üzerindeki etkileri araştırılır, bu geoteknik araştırmalar zeminin tekrarlı direncinin belirlenmesinde kullanılmaktadır [70].

Bir zeminin sıvılaşma hassasiyetini yeterli derecede saptamak için, malzemenin dairesel dayanımını ve istenen tasarım düzeyindeki deprem hareketinin zemin üzerindeki sismik etkisi incelenmelidir. Sismik etki deprem hareketlerinin yoğunluğu ve süresi ile ifade edilir. En gelişmiş sıvılaşma analizlerinde sıvılaşma etkileri, boşluk suyu basıncı artımı ve dağılım modellerini bir sonlu elemanlar veya hesaplamalı sonlu farklar şeması ile problemin efektif gerilme formüllerini dikkate alır.

Deprem sebebiyle oluşan dinamik boşluk suyu basınçları, zemin kütlesi içindeki hidrolik gradyanların artmasına nede olduğu için önemlidir. Sonuç olarak, boşluk suyu serbest drenaj yüzeylerine doğru hızlıca ilerler. Sıvılaşmanın bu yönü, zemindeki kum fişkırması, su çıkması ve çatlama gibi görünümünün sebebidir. Sıvılaşma ile ilgili diğer bir olay ise bir zemin tepesinin tabanında sıvılaşmış kum tabakanın mevcut olduğunu ortaya koyan yanal yayılma ve enindeki akıştır.

2.4.4.3. Tsunami

Sularda gözlenen dalgalar, denize geçen enerjinin, su ortamında yayılma biçimidir. Okyanuslar, denizler ve göllerde her zaman gözlenen dalgalar, rüzgâr enerjisinin suya geçerek oluşturduğu küçük genlikli dalgalar sınıfındaki "rüzgâr dalgaları"dır. Güneş, ay ve dünyanın çekim kuvvetleri etkisi ile okyanus ve denizlerde belirgin olarak var olan, 6 saat ya da 12 saat dönemli, yani uzun dönemli dalgalar ise "gel-git dalgası" olarak tanımlanmıştır. Dalga dönemleri sınıflandırmasına bakarak yapılan tanım içinde tsunami, bu iki tür dalga arasında yer alır ve uzun dönemli dalgalar sınıfına girer. Uzun dönemli dalgaların en çarpıcı özelliği, içinde bulunduğu su ortamın sürüklenmesi biçiminde, yani akıntılarla ilerlemesidir. Bu tür dalgalar derin sularda pek hissedilmez. Ancak sığ sulara geldikçe şiddetlenen akıntılar ve suyun bazı durumlarda aşırı tırmanması nedeniyle çok şiddetli biçiminde kendini gösterirler. Gemi pervaneleri etkisi ile limanlarda ya da kıyılarda gözlenen dalgaların ise tsunamiden farkı, hem küçük olmaları hem de tsunamilere göre daha kısa dönemli olmalarıdır.

Bunlardan başka, kapalı havzalarda İngilizcede "seiche" olarak söylenen ve Türkçede henüz bir karşılık olmadığından "salınım" olarak tanımlanabilir dalga türü ise, kapalı denizler, körfezler, göller gibi, yani kapalı basenlerde rüzgârlarla ya da depremin sarsıntıları ile oluşan çalkantılarla ortaya çıkan küçük genlikli küçük dönemli dalgaların, kıyılardan karşılıklı yansımaları sonucu kapalı alan içinde gelişen uzun dönemli bir dalgadır. Bu dalganın periyodu, alanın geometrisi ile ilişkili olan alanın serbest salınım dönemlerinden biri ile aynı olursa, dalga kıyılarda büyür. Bunun olması için de kıyılarda yansımanın yüksek düzeyde olması ve denize geçen enerjinin su ortamında bir süre dolaşması gerekir. Küçük genlikli ve küçük periyotlu dalgalar, uzun periyotlu dalgalara göre kıyılardan kolay yansıyamaz ve enerjilerinin büyük bölümünü yitirirler. Hepsinden önemlisi bahsedilen biçimde "salınım" oluşması zaman ister. Denize yakın merkezli her depremden sonra çalkantı oluşabilir. Bunu, özellikle balıkçılar daha iyi gözlemlerler. Bu tür çalkantılar ya durulur ya da bir süre içinde salınıma dönüşürler salınıma dönüştüğünde ise hemen durulmazlar. Salınım ile tsunami arasındaki farklar ise tsunaminin hemen oluşması, 4-5 dalgadan ibaret olması ve salınıma göre daha kısa sürede etkisini kaybetmesidir. Salınım daha geç oluşur. Daha fazla sayıda dalgadan ibarettir. Daha uzun süre etkili olur.

Tsunami, depremle oluşan fay kırılması, zemin çökmesi, zemin kayması, zemin göçmesi ya da volkan patlaması gibi olaylarla su ortamına geçen enerji nedeniyle oluşan dalgadır. Sismik etki ile doğrudan tsunami oluşması için, deniz tabanında depremle beraber, normal atımlı fay kırılması olmalıdır. Normal atımlı fay demek, fay kırığının olduğu çizginin bir yanındaki, zeminin, diğer yandakine göre bir miktar dikey olarak yükselmesi ya da alçalması demektir. Böylece fay kırılması ile denize dikey yönde gelen etki tsunami oluşturabilir. Yanal atımlı fay kırılmalarında zemin, fayın her iki tarafında aynı düzeyde kaldığından, bu biçimde yüzey değişimi pek olmaz. Buna bağlı olarak, yanal atımlı faylar, denize dikey yönde önemli bir etki veremediğinden tsunami yaratamazlar. Ancak, yanal atımlı fayların başladığı ya da sonlandığı noktalardaki zemin hareketi, tsunami oluşturabilecek nitelikler göstermektedir. Tsunamiler düşey taban hareketlerinden doğan uzun periyotlu dalgalardır. Bunlar çoğu kez ani fay hareketleriyle zaman zaman da deniz tabanındaki toprak kaymasıyla oluşur. Açık denizde dalga genliğinin küçük olmasına rağmen dalga yüksekliği sığ suya yaklaşırken artar. Ayrıca tsunamilerin dalga yükseklikleri V-tipli körfezlerin sonuna doğru artar. Tsunamilerin etkin dalga periyotları yakın civarda oluşan depremden dolayı 5-10 dakikayı bulabilir. Tsunamiler Pasifik Okyanusunu geçebilecek şekilde uzun mesafelere yayılabilirler. Bu durumda etkili dalga periyodu 40 dakika ile 2 saat arasında olur. Pasifik Okyanusu boyunca ilerleyen tsunamilerin karşı kıyıya varması yerel olarak oluşanlar için 5 dakikalık, uzak mesafede oluşanlar için 1 günlük zaman zarfları içinde meydana gelir. Tsunamilerin yıkıcı gücü çok büyük olabilir. Tsunamiler özellikle kıyı yapılarına zarar vermektedir. Örnek olarak 1993'de meydana gelen Hokkaido-Nansei-oki depreminde oluşan tsunamiler Okushiri Adası'nda 5 dakikada içinde dalgakıranları büyük zarar vermiş ve 200 kişinin can vermesine neden olmuştur [70].

Tsunami kaynaklı felaketlerin azaltılması için mühendislik çalışmaları, tsunami uyarıları ya da körfez girişlerinde ve kıyılarda ölçümler üzerinde yoğunlaşmaktadır. Uzak mesafedeki tsunamiler için Hawaii'deki Pasifik Tsunami Uyarı Merkezi (PTWC), Pasifik'teki Tsunami Uyarı Sistemi (TWSP)'nin operasyon merkezi olarak işlev görmektedir [70].

Yakın bir bölgedeki deprem sebebiyle oluşan tsunamiler için bölgesel tsunami uyarı merkezleri yerel yönetimlere ve halka uyarı yayınları yapar. Örnek olarak Japonya'da bölgesel tsunami merkezleri olarak işlev gören ileri teknolojiye sahip Japon Meteorolojik Ajansı (JMA) kurulmuştur. Bir depremin hemen akabinde, JMA Japonya'nın her yerine

yayılmış olan sismik hareket yayın ağından elde edilen verilerle tsunaminin merkezini ve büyüklüğünü hesaplar ve üç dakika içinde uyarı yayınlar. Uyarı bütün Japonya sahili boyunca 66 bölgeye yayılmaktadır. Tsunaminin yüksekliği ve varış zamanı ayrıca belirtilir. Uyarı Japonya içinde 100,000 fay düzlemi modeli kabul edilerek varsayılan tsunamilerin bilgisayar simülasyonu sonuçlarının esas alan bir dijital olarak yayınlanır. Tsunaminin kıyıdaki dalga yüksekliği (H), Green'in formülüyle açık denizdeki dalga yüksekliği (H_o) ve su derinliği (h_o) kullanılarak hesaplanmaktadır [70].

$$H = (h_o / h)^{\frac{1}{4}} \times H_o \quad (135)$$

Uyarılar genelde Richter ölçeğinde büyüklüğü 6.5'den fazla ve merkezi 60 km'den daha sığ derinliklerde yapılır ve halka ulusal televizyon aracılığıyla anında ulaştırılır. Deniz altındaki toprak kaymalarının ve depremlerin sebep olduğu tsunamiler için uyarı yapılması altındaki zorluk, bunların yavaş sismik fay hareketlerinden dolayı oluşmasıdır. Her ikisinin göze çarpan özelliği deniz tabanının güçlü bir sarsıntı olmaksızın hareket etmesidir. 1886 yılında Japonya'da olan Meiji-sanriku depremi (7.2M) tipik bir örnektir. Bu depremde gözle görülür bir yer hareketi olmamasına rağmen 22,000 kişi can vermiştir. 1972 Nikaragua depremi aletler yardımıyla tespit edilen ve tanımlanan tsunami depremlerine ilk örnektir.

Tsunami felaketlerini azaltmak için yapılması gereken mühendislik ölçümleri taahhüt edilmektedir. Örnek olarak, 2 km uzunluğunda ve 63 m su derinliğinde bir körfez girişindeki kompozit dalgakıran yapımı 1978'den beri sürmektedir. Bu dalgakıran körfezin sonunda yüksekliği 2,9 m'ye kadar varan tsunamilerin yüksekliğini azaltmak için tasarlanmıştır. Ayrıca bu dalgakıranla beraber potansiyel bir tsunami felaketini önlemek için Meksika körfezinde sahil boyunca 4 m yüksekliğinde dalga duvarı inşa edilmiştir.

2.4.3.4. Deprem Etkileri

Depremden kaynaklanan rasgele yer hareketi sonlu süreli bir harekettir. Bu tür yapılarda sonlu süreli işlem filtre edilmiş beyaz gürültü ile gösterilmekte ve yer ivmesi Kanai ve Tajimi (KT) güç spektrumu ile verilmektedir. Kanai ve Tajai güç spektrumu [57],

$$S_{\ddot{u}_g}(\omega) = S_0 \frac{1 + 4\xi_g^2 \left(\frac{\omega}{\omega_g}\right)^2}{\left[1 - \left(\frac{\omega}{\omega_g}\right)^2\right]^2 + 4\xi_g^2 \left(\frac{\omega}{\omega_g}\right)^2} \quad (136)$$

Şeklinde tanımlanmaktadır. Burada ξ_g yerin karakteristik sönüm oranı, ω_g yerin karakteristik açısal frekansı ve S_0 sabiti depremin gücünü göstermektedir. Bu sabit,

$$S_0 = \frac{4 \xi_g^2 \sigma_{\ddot{u}_g}^2}{\pi \left(1 + 4 \xi_g^2\right) \omega_g} \quad (137)$$

ifadesi ile gösterilir. Burada $\sigma_{\ddot{u}_g}$, yer ivmesinin karesel ortalamasının kareköküne ifade etmektedir.

(136) denkleminde dairesel frekans ω sıfıra yaklaşırken sabit bir değer meydana gelmektedir. Spektral yer hızını hesaplarken, bu yer ivmesinin spektrumu düşük frekanslarda ve sıfır noktasında bazı sayısal güçlükler doğurmaktadır. Bundan dolayı (136) denklemi bu güçlüklerin üstesinden gelebilmek için yüksek geçiş filtresi kullanılarak değiştirilmektedir. Yüksek geçiş filtresi $S_1(\omega)$ ile gösterilmekte ve (138) denklemindeki gibi ifade edilmektedir,

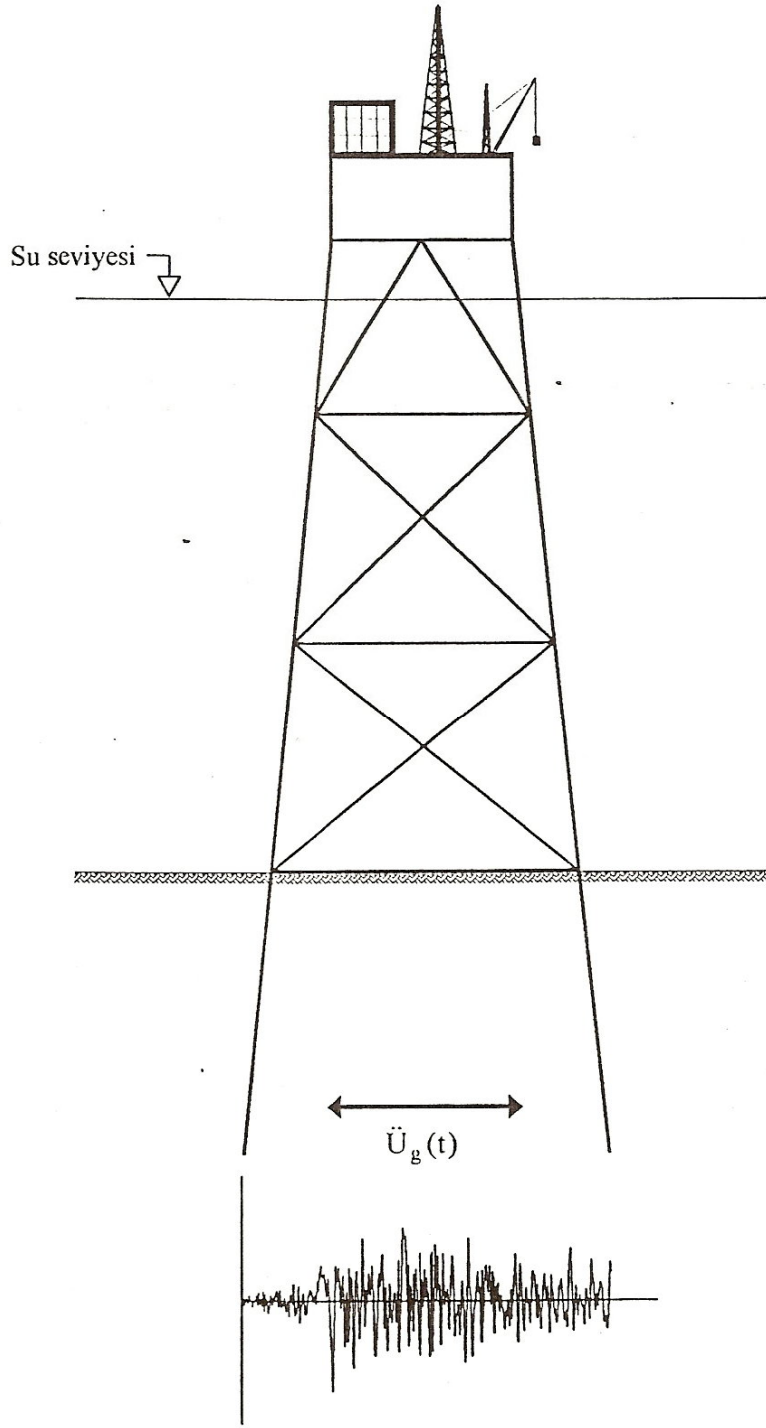
$$S_1(\omega) = \frac{\left(\frac{\omega}{\omega_f}\right)^2}{\left[1 - \left(\frac{\omega}{\omega_f}\right)^2\right]^2 + 4\xi_f^2 \left(\frac{\omega}{\omega_f}\right)^2} \quad (138)$$

Burada ω_f ve ξ_f sırasıyla filtrenin frekans ve sönüm parametrelerini göstermektedir.

Değiştirilmiş Kanai-Tajimi spektrumu,

$$S_{\ddot{u}_g \ddot{u}_g} = S_1(\omega) S_{\ddot{u}_g}(\omega) \quad (139)$$

İfadesi ile gösterilmektedir. Şekil 92'de deprem etkisindeki ceket tipi platform Şekil 92'de verilmektedir [57].



Şekil 92. Deprem etkisinde ceket tipi bir platform [57].

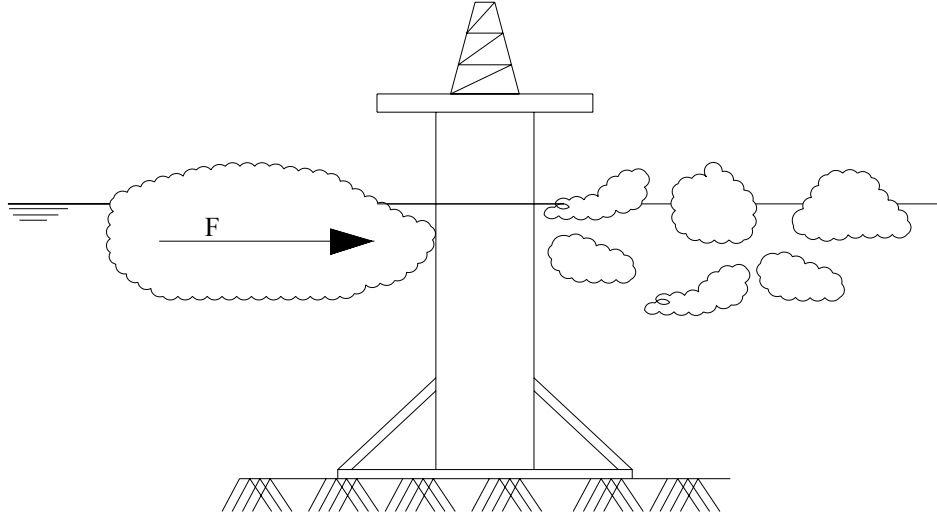
2.4.5. Buz ve Kar Yüğü

Buz çok soğuk bölgelerdeki açık deniz yapılarının bir problemidir. Buzun biçimi ve yayılması dikey ve yatay olarak büyük baskı oluşturur (Şekil 93). Buna ek olarak büyük buz kütleleri akıntı, dalga ve rüzgâr gibi nedenlerden dolayı belli bir hızla sürüklenir. Bu hız yaklaşık olarak 0,5-1,0 m/s dır. Bu kuvvet yapıyı itebilir ve yapı üzerinde yük oluşturabilir.

Buzun yapılar üzerindeki etkilerini; kaldırma kuvveti, yatay itki, sürüklemeyen dolayı buz çarpması buzlanmadan dolayı ağırlıktaki artış, ahşap elemanların ve betonun suyun yükselme ve alçalma bölgesindeki aşınmaları ve buzun içindeki kapalı havanın genişlemesi şeklinde sıralayabiliriz. Arada sırada da olsa ılıman iklimler de bile 15–30 cm veya daha fazla kalınlıklarda buzlanmanın oluşturacağından buz kaldırma kuvvetine yapının dayanabilecek şekilde tasarlanması gerekir. Özellikle hafif malzeme olan ahşap elemanlardan yapılmış yapılarda bu kuvvet daha da önem kazanır [68].

Wortley çeşitli boyutlardaki kazıklar ve farklı buz kalınlıkları için önerilen minimum buz kaldırma kuvvetini tanımlamıştır. Kaldırma kuvveti doğrudan buz eğilme mukavemeti ile orantılıdır. Wortley 'in metodu kullanılarak 14 kg/cm^2 'lik bir eğilme mukavemetine sahip buz için 30 cm çapındaki ağaç kazık üzerindeki kaldırma kuvveti, buz kalınlığının sırasıyla 30- 60 cm olduğu değerlerde yaklaşık olarak 36 kN ve 136 kN kg olacaktır. 30 cm kalınlığındaki çelik bir kazık için kaldırma kuvveti 30cm' lik buz kalınlığında 40 kN ve 60 cm buz kalınlığında 150 kN olacaktır. Kazık çapında yapılacak artış kaldırma kuvvetinde aynı büyüklükte bir artışa neden olmaz. Mesela 60 cm buz tabakası içindeki 60 cm çaplı kazık üzerinde 168 kN kaldırma kuvveti oluşur. 90 cm çapındaki kazık içinse 190 kN değerine ulaşır. Bu değer 30cm çaplı bir kazığın aldığı 150 kN 'lık kaldırma kuvveti ile mukayese edildiğinde çap artışıyla aynı oranda bir artış olmadığı görülür. Etkili aderans (yapışma) kuvveti değerleri ağaç ve çelik için $0,35 \text{ N/mm}^2$ ve beton için $0,5 \text{ N/mm}^2$ 'den küçük alınır [68].

Buzun termal hareketlerinden dolayı oluşan yatay itki son derece büyük olabilir. Barajlar ve sınırlandırılmış alanlardaki yapılarda buzun genişlemesinden dolayı metre başına 60–900 kN kadar ulaşabilen yatay itki kuvvetine maruz kalınabilir. Yatay itki kuvveti eşitlikten faydalanılarak tahmin edilebilir [68].



Şekil 93. Açık deniz yapısı üzerinde buz yükü

$$F = C_i f_{ic} A_{ic} \quad (140)$$

Burada C_i ; normal olarak 0,3 ile 0,7 arasında değişen yapı şekil ve boyutlarına bağlı bir katsayı [47],

f_{ic} : 0,7 ile 2,8 N/mm^2 arasında değiştiği kabul edilen buz basınç mukavemeti,

A_{ic} : Kazık çapı veya yapı kalınlığı ile buz kalınlığının çarpımına eşit temas alanıdır.

Aslında bir buz tabakasına etki eden yatay yük buzun sıkıştırma direncinden çok kıyı veya açık bir sahil boyunca buz tabakası üzerine etki eden rüzgâr veya akıntı gibi sürükleyici kuvvetleri e sınırlandırılabilir. Bu durumdaki rüzgâr veya akıntı hızı kesme gerilmelerinin hesabında kullanılan parametrelerdir. Rüzgârdan dolayı oluşan sürükleyici kuvvet, sürükleme denkleminin sadeleştirilmesi ile çıkarılabilir.

$$F_{iw} = 0,0034 C_{iw} V^2 A_{is} \quad (141)$$

Burada F_{iw} ; sürükleyici kuvvet,

C_{iw} ; rüzgar kesme gerilmesinin sürükleme katsayısı: (0.002 ile 0,1 arasında),

V : Rüzgar hızı,

A_{is} : Buz tabakası yüzey alanıdır.

Akımdan dolayı oluşan buz sürükleme kuvveti içinse şu eşitlik yazılır;

$$F_{ic} = C_{ic} U^2 A_{is} \quad (142)$$

Burada C_{ic} ; akım kesme gerilmesi sürüklenme katsayı (0,01 ile 0,1 arasındadır),

U : Akım hızıdır.

Güçlü akıntıların oluşturduğu buz sürüklenmesinden dolayı olan çarpma kuvvetleri hasar verici olabilirler. Çarpma sonucu oluşan kuvvetlerin bilinmesi için ilk gerekli şeyler ise buz dağının veya adacığının ağırlığı çarpma hızıdır. Rüzgârın buzı sürüklemesi durumunda buz kütlesi, genel değer olarak % 3 'den az olacak şekilde rüzgâr ortalama hızının % 1–7 arasındaki bir hızla ilerler. Akıntı nedeniyle oluşan buz sürüklenme durumunda ise buz kütleleri yüzey, akıntı hızı ile eşit bir hızda ilerlerler [68].

Laboratuar çalışmalarında kullanılan buz kütesine göre gerçekteki buz adacıklarının çarpma neticesinde uyguladığı kuvvetler daha düşüktür. Laboratuar çalışmalarında kullanılan buz kütleleri genelde sıkıştırılmış ve de suni olarak üretilmiş olduklarından dolayı daha rijit bir cisim olarak düşünülebilirler, fakat gerçekte bu buz adacıkları daha yumuşak ve içleri boşluklu bir yapıya sahiptirler.

Canadian Hydraulics Centre' de, buz içindeki büyük yapıların yüklenme ve dinamik tepkilerini daha kolay tahmin için fiziksel modeller üzerinde bir dizi çalışmalar yapılmıştır [68].

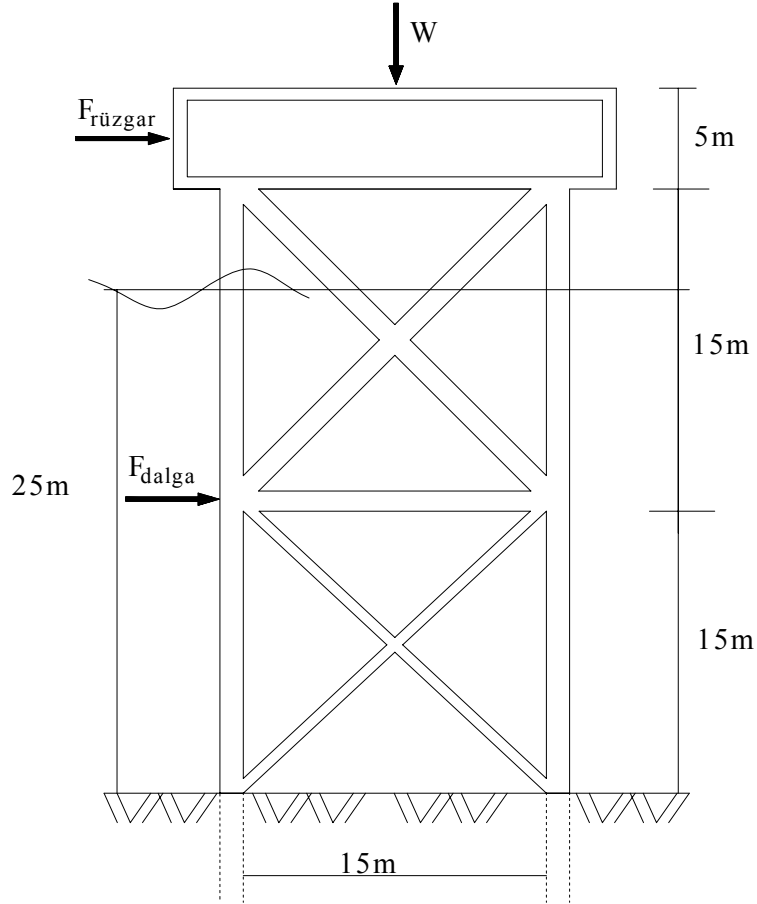
2.4.6. Sıcaklık Farkından Oluşan Yükler

Açık deniz yapıları sıcaklık değişiminden kaynaklanan yüklere maruz kalırlar ki bu yükler sıcaklık gerilmelerine neden olurlar. Böyle gerilmeleri hesaba katmak için denizde yapının yaşamı boyunca oluşabilecek aşırı sıcaklık değerleri tahmin edilmelidir. Buna ek olarak çevresel faktörler, insan faktörü ve petrol üretimi ısıl yükler yaratabilir.

3. YAPILAN ÇALIŞMALAR, BULGULAR, İRDELEMELER

3.1. Örnek 1

Örnek alınan yapı basit bir açık deniz ceket tip platformdur. Yapı deniz altındaki petrol hammaddesinin sondajı için tasarım yapılacaktır. Yapı eleman boyutlar Tablo 25’te ve yapı elemanlarının malzeme özellikleri Tablo 26’da verilmektedir. Şekil 94’de görüldüğü gibi yapının ceket ayakları deniz tabanından 30m, yapının güverte bölümü deniz tabanından 35 m yüksekliktedir ve 25m su derinliğine sahiptir.



Şekil 94. Ceket tip platformun boyutları

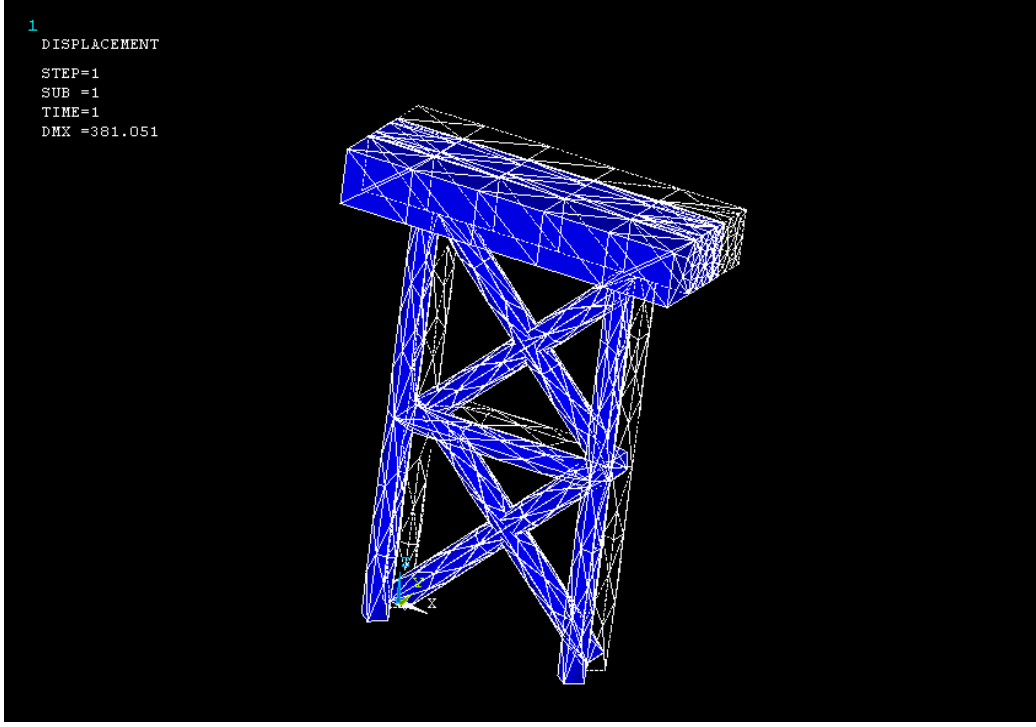
Tablo 25. Ceket tipi platformun boyutları

Güverte ayakları çapı	1,20 m
Ceket ayakları çapı	2,00 m
Güverte ayakları et kalınlığı	0,05 m
Ceket ayakları et kalınlığı	0,016 m
Köşegen bağlantı çapı	2,00 m
Köşegen bağlantı et kalınlığı	0,05 m
Çelik malzemenin yoğunluğu	7850 kg/m ³
Elastisite modülü	20,5N/m ²
Poisson oranı	0,25

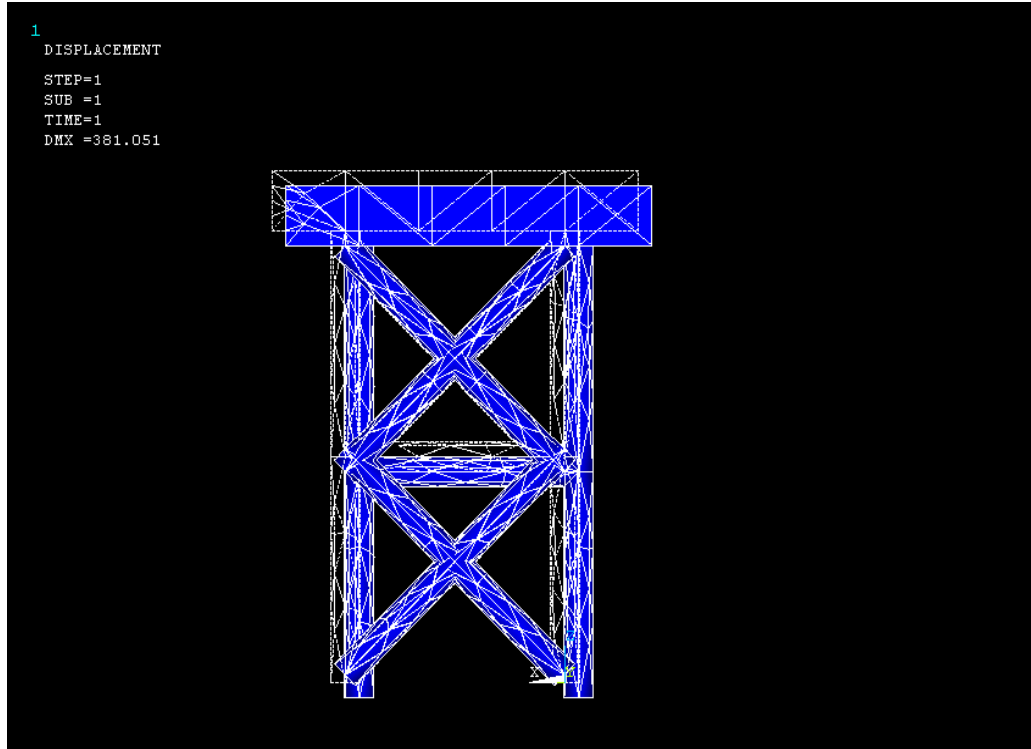
Tablo 26. Yapıya etki edebilecek dalga, rüzgâr yükleri ve yapı ağırlığı

Seçilen dalga yükü (F_{dalga})	500 kN
Seçilen rüzgâr yükü ($F_{rüzgâr}$)	450 kN
Yapı güvertesinin ağırlığı (W)	2200 kN

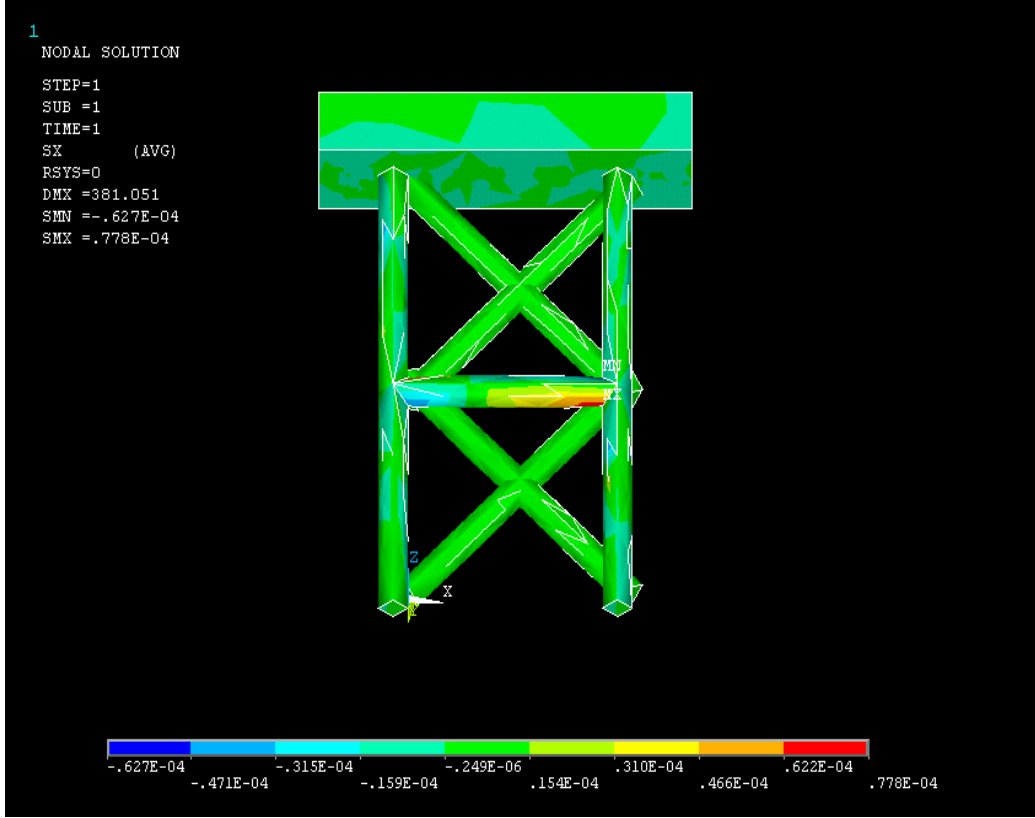
Bu örnekte açık deniz yapısı için en önemli olan iki yük değeri seçilmiş ve hesaplar buna göre yapılmıştır. Seçilen dalga yükü, rüzgâr yükü ve yapının kendi ağırlığı nedeniyle oluşan yüklerdir. Yapıya etkileyebilecek yük değerleri tablodaki gibi seçilmiştir. Bu yükler analiz sırasında şekilde görüldüğü gibi tekil yük olarak ve belli noktalara etki ettirilmiştir. Yapıya etkileyebilecek bu yükler sonlu elmanlar prensibine göre analiz yapan ANSYS programı kullanılarak yapıya etki ettirilmiş ve bir model oluşturulmuştur. Oluşturulan bu model zeminsiz olarak düşünülmüştür. Oluşturulan model yardımıyla program çalıştırılmış ve yapının gerilme dağılımı ve yer değiştirmeleri bulunmuştur. Programdan alınan gerilme ve yer değiştirme dağılım fotoğrafları Şekil (95–100)'de verilmiştir.



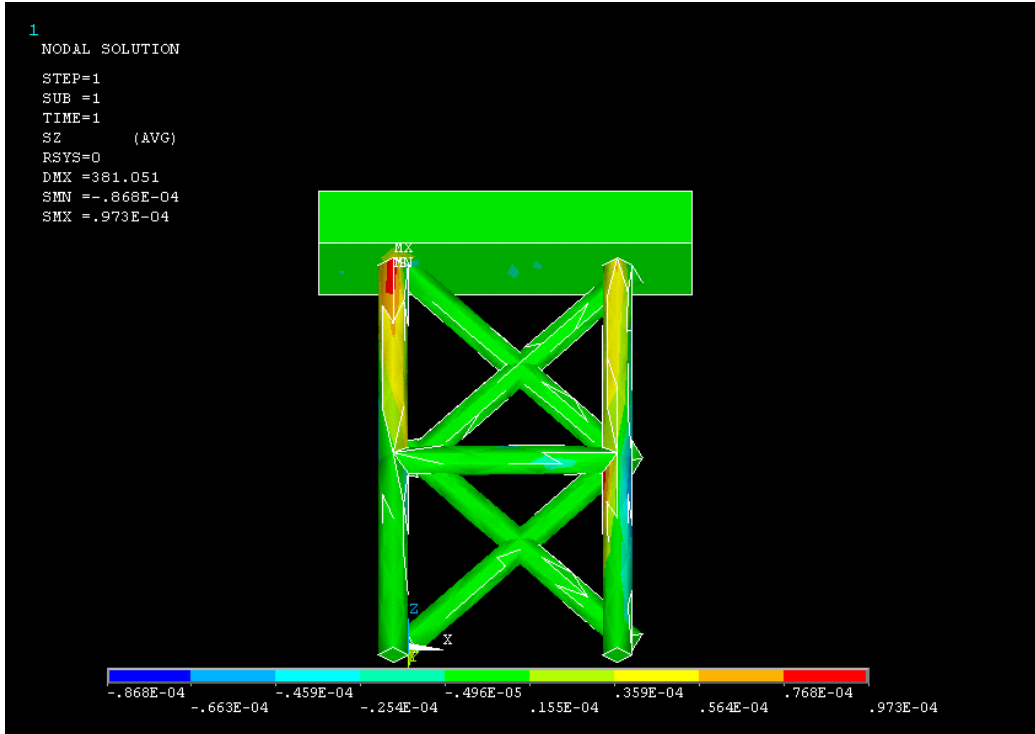
Şekil 95. Analiz sonrası yapının yer değiştirmesi



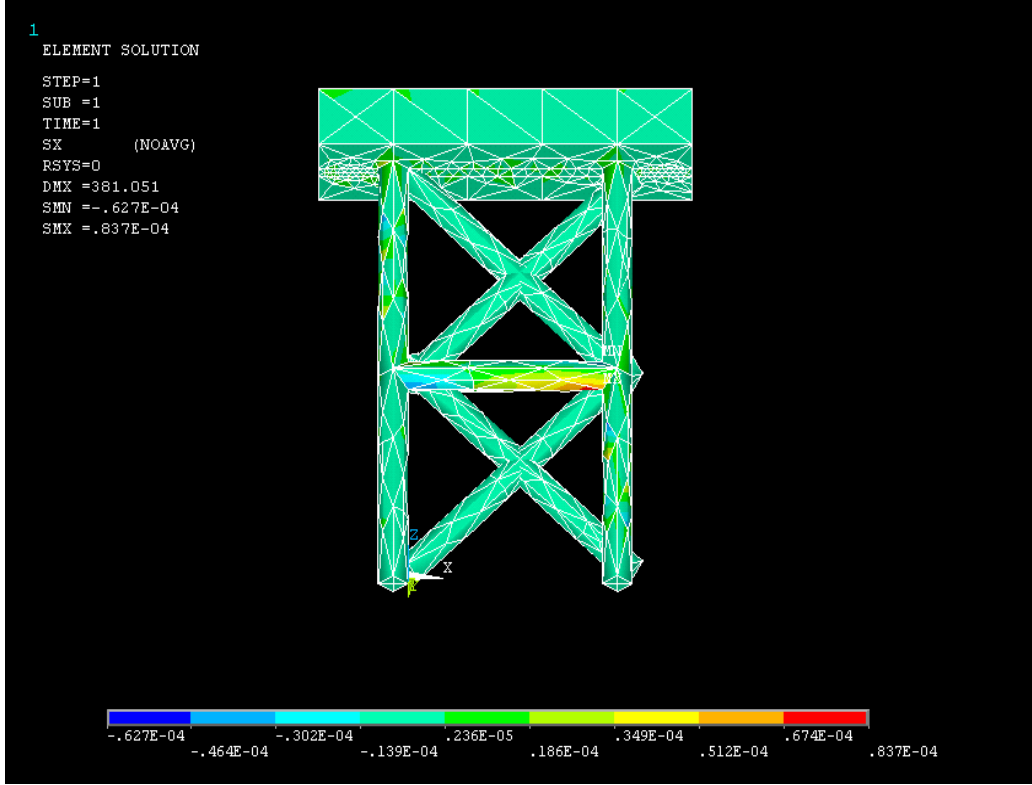
Şekil 96. Analiz sonrası yapının yer değiştirmesinin değişik yönden görünüü



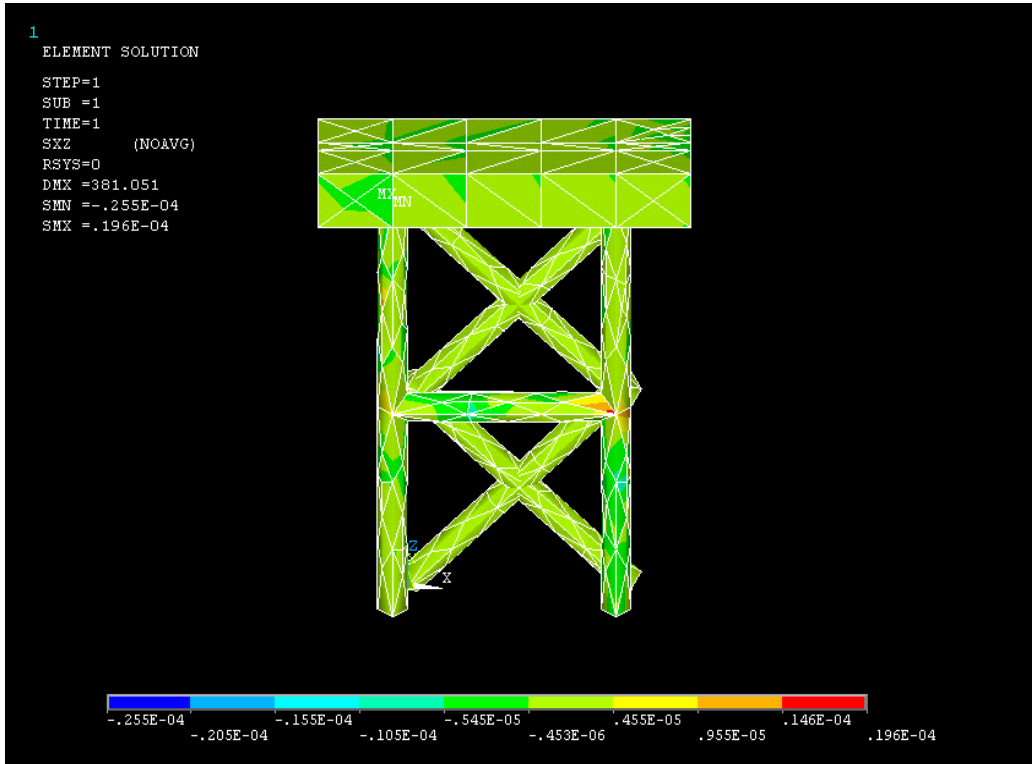
Şekil 97. Analiz sonrası yapının X yönünde gerilme dağılımı



Şekil 98. Analiz sonrası yapının Z yönünde gerilme dağılımı



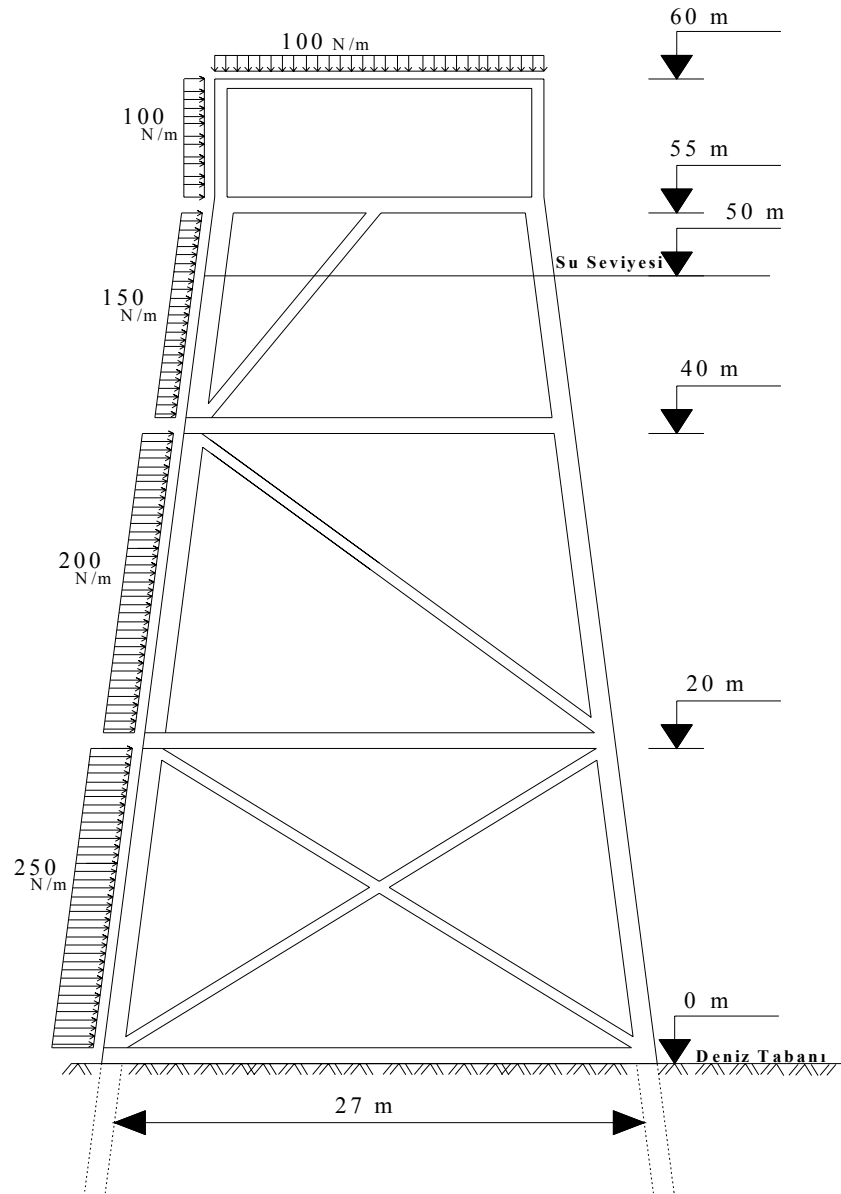
Şekil 99. X yönündeki gerilme dağılımının elemanlar üzerindeki gösterimi



Şekil 100. XZ yönündeki gerilme dağılımının elemanlar üzerindeki gösterimi

3.2. Örnek 2

Örnek alınan yapı basit bir açık deniz platformudur. Yapı deniz altındaki petrol hammaddesinin sondajı ve üretimi için tasarlanmıştır. Yapının eleman boyutları Tablo 27'de ve yapı elemanlarının malzeme özellikleri Tablo 28'de verilmektedir. Şekil 101'de görüldüğü gibi yapının ayakları deniz tabanından 55 m, yapının güverte bölümü deniz tabanından 60 m yüksekliktedir ve 50 m su derinliğine sahiptir.



Şekil 101. Örnek platformun boyutları

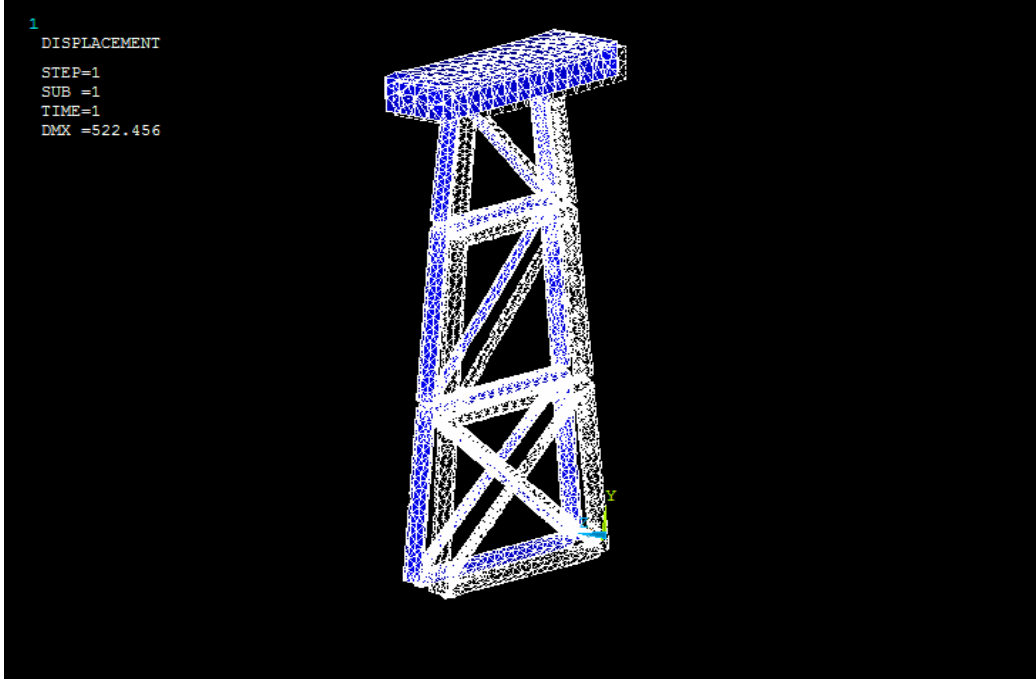
Tablo 27. Örnek 2 platformun boyutları

Güverte ayakları çapı	1,20 m
Ceket ayakları çapı	2,00 m
Güverte ayakları et kalınlığı	0,05 m
Ceket ayakları et kalınlığı	0,016 m
Köşegen bağlantı çapı	2,00 m
Köşegen bağlantı et kalınlığı	0,05 m
Çelik malzemenin yoğunluğu	7850 kg/m ³
Elastisite modülü	20,5N/m ²
Poisson oranı	0,25

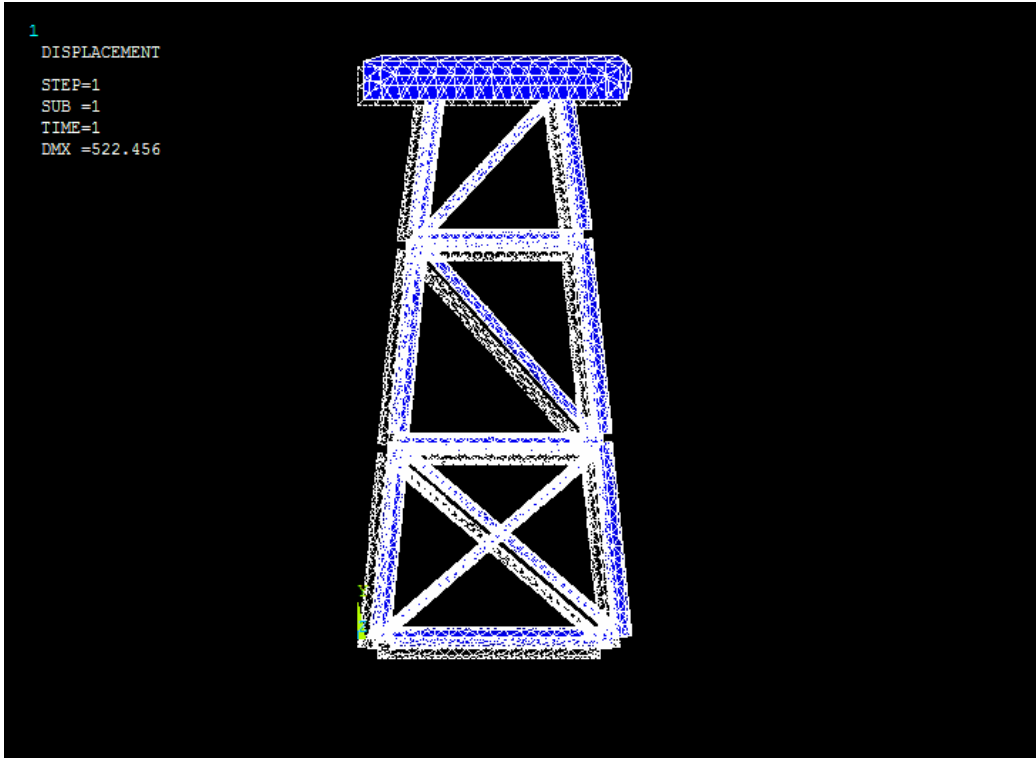
Tablo 28. Yapıya etki edebilecek dalga, rüzgâr yükleri ve yapı ağırlığı

Seçilen dalga yükü (F_{dalga})	250 N/m, 200 N/m, 150 N/m
Seçilen rüzgâr yükü ($F_{rüzgar}$)	100 N/m
Yapı güvertesinin ağırlığı (W)	100 N/m

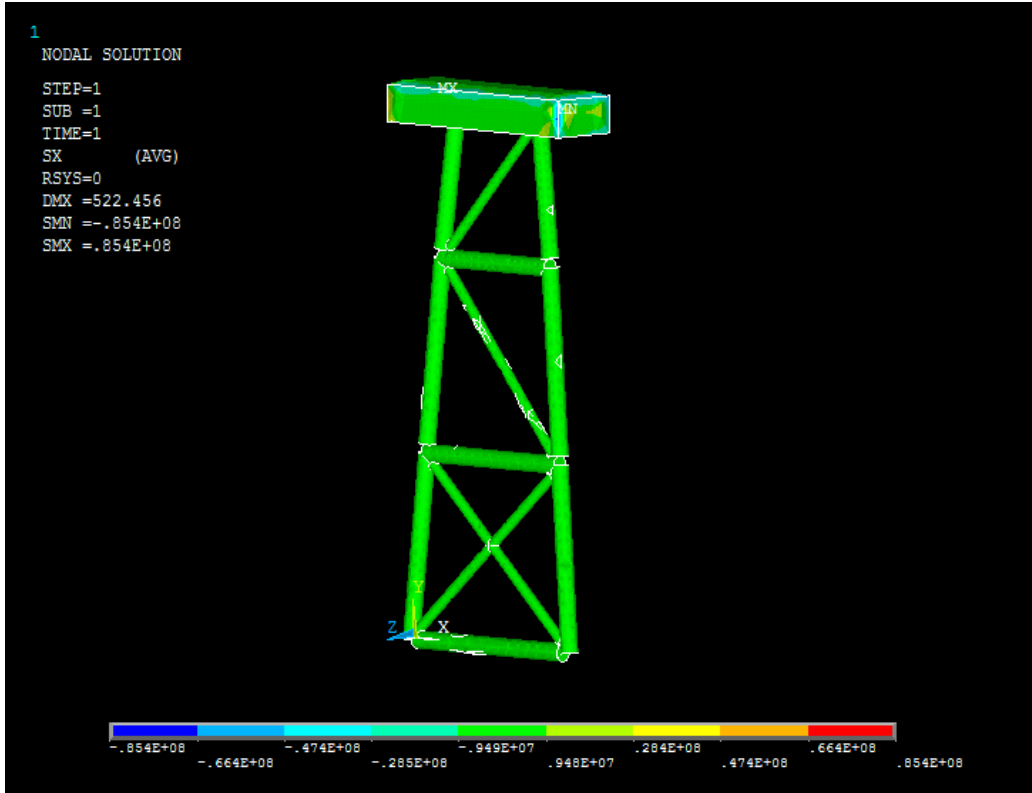
Bu örnekte açık deniz yapısı için en önemli olan iki yük değeri seçilmiş ve hesaplar buna göre yapılmıştır. Seçilen dalga yükü, rüzgâr yükü ve yapının kendi ağırlığı nedeniyle oluşan yüklerdir. Yapıya etkileyebilecek yük değerleri tablodaki gibi seçilmiştir. Bu yükler analiz sırasında şekilde görüldüğü gibi tekil yük olarak ve belli noktalara etki ettirilmiştir. Yapıya etkileyebilecek bu yükler sonlu elmanlar prensibine göre analiz yapan ANSYS programı kullanılarak yapıya etki ettirilmiş ve bir model oluşturulmuştur. Oluşturulan bu model zeminsiz olarak düşünülmüştür. Oluşturulan model yardımıyla program çalıştırılmış ve yapının gerilme dağılımı ve yer değiştirmeleri bulunmuştur. Programdan alınan gerilme ve yer değiştirme dağılım fotoğrafları Şekil (102-107)'de verilmiştir.



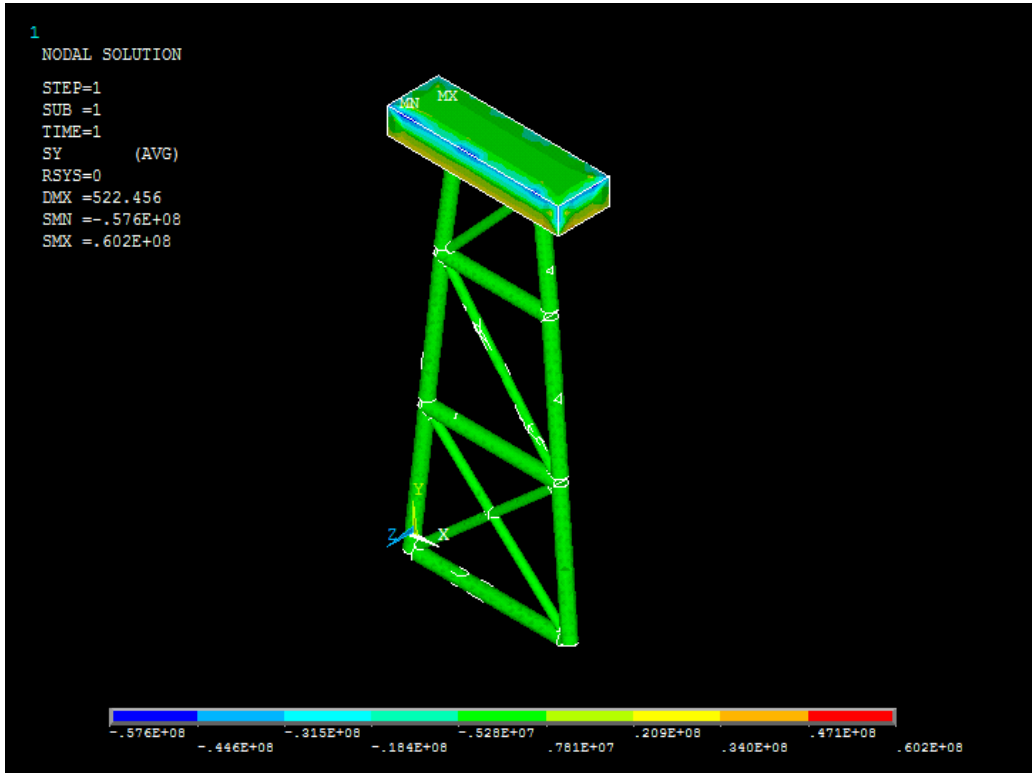
Şekil 102. Analiz sonrası yapının yer değiştirmesi



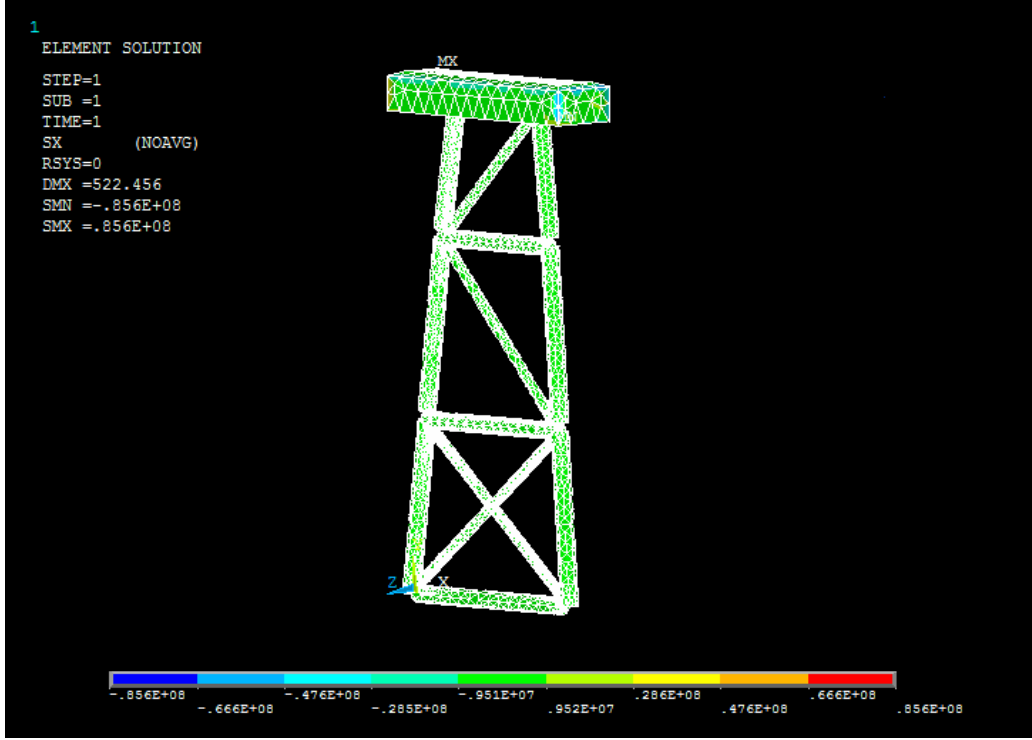
Şekil 103. Analiz sonrası yapının yer değiştirmesinin değişik yönden görünümü



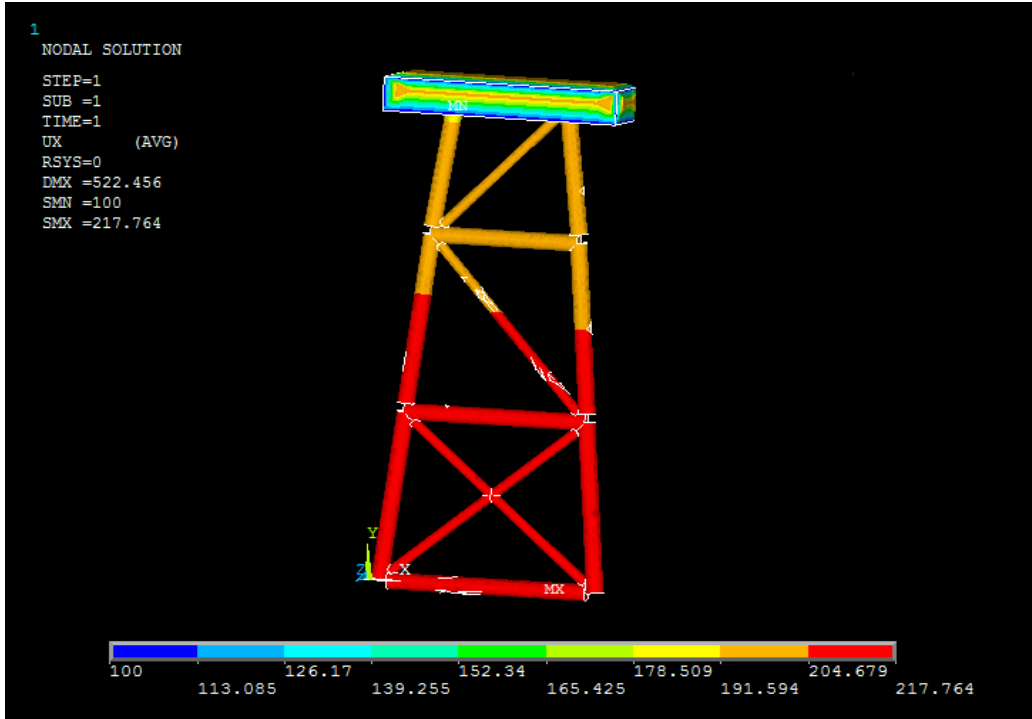
Şekil 104. Analiz sonrası yapının X yönünde gerilme dağılımı



Şekil 105. Analiz sonrası yapının Y yönünde gerilme dağılımı



Şekil 106. X yönündeki gerilme dağılımının elemanlar üzerindeki gösterimi



Şekil 107. X yönündeki yer değiştirmenin elemanlar üzerindeki gösterimi

3.3. Analiz Sonuçları

Bu çalışmalarda yapı üzerine dalga, rüzgar ve yapının kendi ağırlığı gibi yüklerin etkimesi sonucunda analizler gerçekleştirilmiştir. Yapıya verilen kuvvetler bölgenin karakteristik özelliklerine göre belirlenir. Dalga yükünü belirlerken bölgedeki dalga yükseklikleri, bunların ortalamaları ve minimum değerleri dikkate alınır. Rüzgar yükünü belirlerken bölgedeki rüzgar grafikleri kullanılır. Eldeki bütün veriler analiz edildikten sonra bu kuvvetler tek bir sayı haline gelir ve yapıya etkisi incelenir. Bu örneklerde yapıya etkileyen kuvvetlerin sayısal değerleri yazılmış ve belli yönlerden yapıya etki ettirilmiştir. Açık deniz şartları çok değişik olduğu için yapı değişik yüklerde maruz kalabilir fakat örnekte bu yüklemeler kısıtlı yapılmıştır ve yapılan analiz buna göredir. Analiz sonrası elde edilen değerlerden ve şekillerden anlaşılacağı gibi yapının bağlantı noktalarında büyük gerilmelerin meydana geldiği görülür. Bu nedenle tasarım esnasında bu bağlantı noktalarına çok dikkat edilmesi gerekir. Yapıya etkileyen bu yükler yapıda yorulmaya neden olacaktır. Fakat daha değişik çevresel yüklerin deprem, buz ve kar yükleri gibi etkin olduğu bölgelerde yapıların daha yüksek taşıma gücüne sahip kazıkların çakılması gerekmektedir.

Bu şekilde yapının ve deniz ortamında maruz kalacağı çeşitli yüklerin bilgisayar ortamında modellenerek statik ve dinamik analizlerinin yapılması ile yapının kurulması, ne tür malzemelerin, nerede ve nasıl kullanılması gerektiği gibi güçlükler ortadan kaldırılabilmektedir. Yapının ömrü açısından daha doğru fikir sahibi olunabilmektedir. Ayrıca yapılan mukavemet analizleri sonucunda, yapının hangi bölgelerinin kritik durumda olacağı, hangi bölgelerin yapımına daha fazla dikkat edilmesi gerektiği rahatlıkla görülebilmektedir.

Bu analiz sonuçlarına yapının yer değiştirme ve gerilim değerleri derinliği yükseldikçe artmaktadır. Yapının en çok zorlanan bölgeleri düğüm noktaları olduğu görülmektedir. Bu yapıların genel olarak yapım amacı açık denizlerde sondaj olduğu için bu çalışma esnasında stabil olmalarına dikkat edilmelidir. Analiz sonuçlarında yapının yer değiştirmeleri çok önemlidir. Yapının her yöndeki yer değiştirmesine dikkat edilmelidir tasarım buna göre yapılmalıdır. Yapı tasarımında lineer olarak yapılan analizler gerçekçi değerler vermeyebilir çünkü yapıya etkileyen yükler her zaman lineer özellik göstermez. Örnek olarak dalga yükleri genelde lineer özellik göstermez.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Enerji kaynakları günümüzde yaşamın vazgeçilmezi olmuş ve Dünya gündemini belirleyen başlıca konular arasına girmiştir. Artık insan yaşamının her noktasında petrol ve doğalgaz kullanımını görmek mümkündür. Bu nedenle enerji ihtiyacı artmakta, buna karşılık eski enerji kaynakları da azalmaktadır. Dolayısıyla azalan kaynakların yenilerini bulmak ve yeni enerji türleri keşfetmek dünya ülkelerinin öncelikli konularından biri haline gelmiştir. Gelişmiş ülkeler arasında yer almayı planlayan ülkemizde de bu doğrultuda çalışmaların yapılması artık bir zorunluluk olarak ortaya çıkmaktadır. Bu bağlamda çalışmanın amacı açık deniz yapı sınıflarını yapısal ve biçimsel özellikleri ile birlikte açıklamak ve bunların maruz kaldıkları yükleri ayrıntılı olarak irdelemek olarak seçilmiştir.

Bu amaç doğrultusunda gerçekleştirilen çalışmadan elde edilen sonuç ve öneriler aşağıda sunulmaktadır:

Üç tarafı denizlerle çevrili olan ülkemizde deniz kaynaklarının çok iyi kullanıldığını söylemek mümkün değildir. Buna paralel olarak açık deniz yapılarının sayısı da çok azdır.

Deniz içinde petrol ve doğalgaz çıkarmak ve işlemek kara ile kıyaslandığında çok daha maliyetli ve zordur. Bu maliyeti düşürmek için açık deniz yapı teknolojisi çok hızlı gelişmiş ve gün geçtikçe maliyetler düşmüş, yapım basitleştirilmiş ve yapının çalışma derinliği artırılmıştır. Bu da ülkelerin ve şirketlerin açık deniz yapılarına olan ilgisini artırmıştır.

Yapılan literatür taramasına göre açık deniz yapıları hakkında ülkemizde yapılan bilimsel çalışmaların aynı coğrafi özelliklere sahip gelişmiş ülkelerde yapılan çalışmalara göre oldukça az olduğu söylenebilir. Diğer taraftan ülkemizde bu yapılar için olduğu gibi genel su yapıları için de kılavuz niteliğinde standart ve yönetmelikler de bulunmamaktadır.

Açık deniz yapıları birçok alanda gerekli olmaktadır. Bunlardan ülkemizi de ilgilendirenleri aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- (1) Doğalgaz ve petrol üretiminde,
- (2) Doğalgaz ve petrol gibi enerji kaynaklarının naklinde,
- (3) Rüzgardan enerji üretiminde,
- (4) Denizaltı boru hattı yapımında,
- (5) Denizaltında metro yapımında,

Gerçekleştirilen tez çalışmasında Dünyada uygulama alanı bulmuş açık deniz yapıları sınıflandırılarak, bunların geometrik ve yapısal özellikleri tanıtılmış, her bir sınıfın tercih edildikleri durum ve koşullar irdelenmiştir.

Açık deniz yapılarının tasarımında yüklerin belirlenmesi ve yüklere karşı yapının davranışının tahmin edilmesi çok önemli olmaktadır. Sözkonusu yüklerin belirlenmesi için bölgeye ait hava sıcaklığı, su sıcaklığı, deniz suyu akıntıları, dalga özellikleri, rüzgâr verileri ve deniz şartları, deprem durumu gibi verilerin doğru belirlenmesi gereklidir. Doğru belirleyebilmek için de uzun yıllara dayanım veri birikiminin bulunması gerekmektedir. Bu nedenle ülkemiz için de bu verilerin ortaya çıkarılması ve oluşturulması büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmada bu yüklerin genel karakteristikleri ve bunların belirlenmesi için ihtiyaç duyulan parametreler sunulmuştur.

Açık deniz yapı tasarımı normal bina türü yapılardan oldukça farklı olup özel bilgi birikimi ve bu konuda uzmanlık gerektirmektedir. Bu bağlamda ülkemizde bu konuda yetişmiş insan gücünün yeterli seviyeye çıkarılmasında, ülkemizin gelecekteki hedefleri açısından faydalar bulunmaktadır.

Bir açık deniz yapısı tasarlanırken aşağıdaki hususlar ön plana çıkmaktadır:

- Açık deniz yapısının bulunduğu çevre koşulları, dalga verilerinin toplanması, akıntı durumunun bilinmesi, bölgedeki rüzgâr grafiklerinin incelenmesi,
- Tasarım dalga, rüzgâr ve akıntı özelliklerinin belirlenmesi,
- Yapıya etki edebilecek dalga ve akıntıdan kaynaklı hidrodinamik kuvvetlerin ve rüzgâr kuvvetinin hesaplanması,
- Yapının bulunduğu bölgeye göre deprem kuvvetinin, buz ve kar kuvvetinin ve sıcaklık farkından meydana gelen kuvvetlerin tasarımda hesaba katılması,
- Yapının çalışması, taşınması ve batırılması esnasında oluşan etkilerin analizi,
- Yapının bağlantı elemanlarında meydana gelebilecek yorulma analizi,
- Zeminli yapılar için gerekli olan zemin analizi,

5. KAYNAKLAR

1. www.oceanexplorer.gov. Ocean Explorer, 11 Nisan 2007.
2. Horr, A.M. ve Safi, M., Full Dynamic Analysis of Offshore Platform Structures Using Exact Timoshenko Pipe Element, ASME, 125 (2003) 168-175.
3. Newman, J.N. ve Lee C.H., Boundary-Element Methods In Offshore Structure Analysis, ASME, 124 (2002) 81-89.
4. Bobillier, B. ve Chakrabarti, S., Christiansen, P. , Physical Modeling of Wind Load on a Floating Offshore Structure, ASME, 123 (2001) 170-176.
5. Zheng, X.Y. ve Liaw, C.Y., Response Spectrum Estimation for Fixed Offshore Structures With Inundation Effect Included, ASME, 126 (2004) 337-345.
6. Moses, F. ve Stahl, B., Calibration Issues in Development of ISO Standarts for Fixed Steel Offshore Structures, ASME, 122 (2000) 52-56.
7. Schulz, K.W. ve Kallinderis, Y., Numerical Prediction of the Hydrodynamic Loads and Vortex-Induced Vibrations of Offshore Structures, ASME, 122 (2000) 289-293.
8. Heredia-Zovoni, E. ve Montes-Iturrizaga, R., A Bayesian Model for the Probability Distribution of Fatigue Damage in Tubular Joints, ASME, 126 (2004) 243-249.
9. Bea, R.G., Performance Shaping Factors in Reliability Analysis of Design of Offshore Structures, ASME, 122 (2000) 163-172.
10. Sweetman, B., Practical Airgap Prediction for Offshore Structures, ASME, 126 (2004) 147-155.
11. Taiebat. H.A. ve Carter, J.P., A Semi-Empirical Method For The Liquefaction Analysis of Offshore Foundations, 2000 John Wiley&Sons Ltd, Int. J. Numer. Anal. Meth. Geomech., 24 (2000) 991-1011.
12. Shurdjo, J. ve Karem, A., Feedback-Feedforward Control of Offshore Platforms Under Random Waves, 2001 John Wiley&Sons Ltd, Int. J. Numer. Eartquake Engng Struct Dyn., 30 (2001) 213-235.
13. Ferrant, P., Le Touze, D. ve Pelletier, K., Non-linear Time-Domain Models for Irregular Wave Diffraction About Offshore Structures, 2003 John Wiley&Sons Ltd, Int. J. Numer. Meth. Fluids., 43 (2003) 1257-1277.

14. Ellerman, K., Nonlinear Dynamic of Marine Systems in Random Waves, 2005 Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, PAMM Proc. Appl. Math. Mech., 5 (2005) 89-90.
15. Yazdchi, M., Bouyancy Potential Conserving Technique for Dynamic Analysis of Offshore Pipes and Risers, 2005 John Wiley & Sons Ltd, Int. J. Numer. Meth Engng., 63 (2005) 2040-2067.
16. Ramos, M.S., Pereira, M.V., Darwish, F.A., Motta, S.H. ve Carneiro, M.A., Effect of Single and Multiple Overloading on the Residual Fatigue Life of a Structural Steel, 2003 Blackwell Publishing Ltd. Fatigue Fract Engng Mater Struct, 26 (2003) 115-121.
17. Lee, M.M.K. ve Bowness, D., Fatigue Life of Offshore Tubular Joints Using Fracture Mechanics, 2002 Blackwell Science Ltd. Fatigue Fract Engng Mater Struct, 25 (2002) 1025-1032.
18. Thompson, M. ve Harper, M., Validation of a New Approach to Condition Monitoring of Offshore Structures-Aspects of a Scale Model, 2004 Blackwell Publishing Ltd. Strain, 40 (2004) 25-31.
19. El Naggar, M.H., Shayanfar, M.A., Kimiaei, M. ve Aghakouchak, A.A., BNWF Model for the Nonlinear Seismic Response Analysis of Offshore Piles with Nonlinear Input Ground Motion Analysis, 2005 Can. Geotech. J. 42 (2005) 365-380.
20. Moe, G. ve Niedzwecki, J.M., Frequency of Maxima of Non-Narrow Banded Stochastic Processes, Science Direct Elsevier, Applied Ocean Research, 2006 Elsevier, 12 (2005) 1-8.
21. Naess, A., Karlsen, H.C. ve Teigen, P.S., Numerical Methods for the Calculating the Crossing Rate of High and Extreme Response Levels of Compliant Offshore Structures Subjected to Random Waves, Science Direct Elsevier, Applied Ocean Research, 2006 Elsevier, 04 (2005) 1-8.
22. Nichols, J.M., Structural Health Monitoring of Offshore Structures Using Ambient Excitation, Science Direct Elsevier, Applied Ocean Research, 25 (2003) 101-114.
23. Grime, A.J. ve Langley, R.S., On the Efficiency of Crossing Rate Prediction Methods Used to Determine Extreme Motions of Moored Offshore Structures, Science Direct Elsevier, Applied Ocean Research, 25 (2003) 127-135,
24. Harland, L.A., Taylor, P.H. ve Vugts, J.H., The Extreme Force on an Offshore Structure and Its Variability, Science Direct Elsevier, Applied Ocean Research, 20 (1998) 3-14,

25. Langen, I., Skjastad, O. ve Haver, S., Measured and Predicted Dynamic Behaviour of an Offshore Gravity Platform, Science Direct Elsevier, Applied Ocean Research, 20 (1998) 15-26.
26. Naess, A. ve Pisano, A.A., Frequency Domain Analysis of Dynamic Response of Drag Dominated Offshore Structures, Science Direct Elsevier, Applied Ocean Research 19 (1997) 251-262,
27. Hung, P.K., Cuong, D.Q. ve Quan, M.H., Estimation of Total Reliability of Offshore Structures in Vietnam Sea Conditions, 4 (2004) 176-185.
28. Benjamin, Y.H. ve Darell, A., Wave Group Effects on Offshore Structures, U.S. Government Copyright, Bethesda,MD., NSTL, MS., 1386-1390.
29. Yang, H., Li, H. ve Hu, J., Damage Localization for Offshore Structures by Modal Strain Energy Decomposition Method, Proceeding of the 2004 American Control Conference Boston, 4 (2004) 4207-4212
30. Rudlin, J.R., Reliability of Inspection for Fatigue Cracks in Offshore Structures, The Institution of Electrical Engineers, IEEE (1996) 1-6.
31. Mistree, F., Lyon, T.D. ve Shupe, J.A., Design of Damage Tolerant Offshore Structures, IEEE (1982) 1201-1206.
32. Hayward, G., Pearson, J. ve Stirling, G., An Intelligent Ultrasonic Inspection System for Flooded Member Detection in Offshore Structures, IEEE, 40 (1993) 512-521.
33. Bekker, A.T. ve Komarova, O.A., Reliability Evaluation of Ice- Resistant Offshore Structures, Oceans 96 MTS/IEEE, IEEE (1996) 894-896.
34. Ozaki, M. ve Hayashi, S., Earthquake Resistant Design of Offshore Building Structures, IEEE Journal of Oceanic Engineering, 4 (1978) 152-162.
35. Reddy, D.V. ve Cheema, P.S., Response of an Offshore Structure to Random Ice Forces, IEEE ,1 (1998) 84-88.
36. Abdelnour, R., Comfort, G., Pilkington R. ve Wright., B.D., Ice forces on Offshore Structures ;Model and Full Scale Comparison and Future Improvements, IEEE (1987) 24-29.
37. Karadeniz, H., An Advanced Software for the Stochastic and Fatigue Reliability Analyses of Offshore Structures, IEEE 1990, 3 (1990) 324-329.

38. Chen, B.Y. ve Milburn, D.A., The Effect of Nonlinear Wave Interactions on an Offshore Structure, Naval Ocean Research and Development Activity NSTL, MS, U.S. Copyright, 1015-1019.
39. Cornett, A.M. ve Timco, G.W., Ice Loads on a Elastic Model of the Molikpaq, Science Elsevier, 1998 Applied Ocean Research 20 (1998), 105-118.
40. Winterstein, S.R. ve Engebretsen, K., Reliability-Based Prediction of Design Loads and Responses for Floating Ocean Structures, 17th Intl. Conf. on Offshore Mechanics and Artic Engineering Lisbon, 1998 Under review, Journal of OMAE, ASME (1998) 1-11.
41. Kronic, D. ve Winterstein, S.R., Probabilistic Modelling of Extreme Wave Crests: A Noisy Weibull Model, 8th ASCE Specialty Conference on Probabilistic Mechanics and Structural Reliability, 342 (2000) 1-6.
42. Williams, M.S. ve Thompson, R.S.G. ve Houlsby, G.T., Non-linear Dynamic Analysis of Offshore Jack-up Units, Computers and Structures 69 (1998) 171-180.
43. Jha, A.K. ve Winterstein, S.R., Nonlinear Random Ocean Waves: Prediction and Comparison with Data, Proceedings of ETCE/OMAE2000 Joint Conference Energy for the New Millenium, ETCE/OMAE 6125 (2000) 1-12.
44. Özüdoğru, K., Açık Deniz Yapılarının Asismik Geoteknik Tasarımı, Türkiye Mühendislik Haberleri Sayı 431-2004/3, 58-59.
45. Mestanzade, N., Yazıcı, G., Deniz Petrol TLP-Tipli Platformun Model Dinamik İncelenmesi, Gemi Mühendisliği ve Sanayimiz Sempozyumu, 22-25 Aralık 2004, 179-185.
46. Zhao, W., Burdekin, F.M., Dynamic Structural Integrity Assessment for Offshore Structures, ASME 126 (2004) 358-363.
47. Dawson, T.H., Offshore Structural Engineering, 1983 by Prentice-Hall, Inc., Englewood, N.J., 1983.
48. <http://www.fgg.unilj.si/kmk/ESDEP/master/wg15a/toc.htm>, Offshore Structures, 12 Nisan 2007.
49. www.deepwater.com, Transocean, 15 Nisan 2007.
50. <http://www.noblecorp.com>, Noble Corporation, 17 Mayıs 2007.
51. www.compositesworld.com, Composites World, 15 Haziran 2007.

52. www.rowan.edu, Rowan Universty, 16 Nisan 2007.
53. www.iut.ac.ir, Isfahan Universty of Technology, 16 Mart 2007.
54. www.ocsbbs.com, OCS, 15 Nisan 2007.
55. www.offshore-technology.com, Offshore Technology, 14 Mart 2007.
56. www.naturalgas.org, Natural Gas, 12 Mart 2007.
57. 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.
58. www.steeluniversity.org, Steel University, 12 Haziran 2007.
59. Journee, J.M.J., Massie, W.W., Offshore Hiydromechanics, Delft University of Technology, First Edition, January 2001.
60. www.globalsecurity.org, 12 Şubat 2007.
61. www.atp.nist.gov, Advanced Technology Program, 14 Haziran 2007.
62. www.offshore-power.net, Power, 14 Haziran 2007.
63. URL-15, www.tpao.gov.tr, TPAO, 12 Mart 2007.
64. Sükan, L.M., Açık Deniz Yapılarının Hidrodinamiği, İstanbul Teknik Üniversitesi Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri Fakültesi Ofset Baskı Atölyesi, İstanbul 1985.
65. Brebbia, C.A., Walker, S., Dynamic Analysis of Offshore Structures, First Published 1979, Butterth&Co. (Publishers) Ltd., 1979.
66. Kapdaşlı, S., Kıyı Mühendisliği, İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul 1992.
67. Aydın, M., Kazıklı Su Yapılarının Çözümü ve Silindirik Elemanlarda Dalga ve Vortex Kopması Etkisi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 1998.

68. K, M., Kazıklı Su Yapılarında Etki Eden Kuvvetler ve Bilgisayar Destekli Tasarımı Kriterleri, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2000.
69. Bai, Y., Marine Structural Design, 2003 Elsevier, First Edition, <http://www.elsevier.com>.
70. Tonguç, E., Deniz Yapılarında Sismik Tasarım ve Derince Limanı Örneği, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul 2001.

ÖZGEÇMİŞ

1982 yılında Rize’de doğdu. İlköğretim ve lise öğrenimini Rize’de tamamladı. 1999 yılında Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Bölümü’nde lisans öğrenimine başladı. 2003 yılında lisans öğrenimini tamamlayarak, 2004 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda yüksek lisans öğrenimine başladı. Ocak 2006’da Karadeniz Teknik Üniversitesi, Sürmene Deniz Bilimleri Fakültesi kadrosunda Araştırma Görevlisi olarak atandı. Halen bu görevine devam etmektedir.