

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**IMO HAVA KRİTERİ VE DİĞER ALTERNATİF HAVA
KRİTERLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Nilüfer HAFTACI

Gemi İnşaatı ve Gemi Makinaları Mühendisliği Anabilim Dalı

Gemi İnşaatı ve Gemi Makinaları Mühendisliği Programı

HAZİRAN 2012

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**IMO HAVA KRİTERİ VE DİĞER ALTERNATİF HAVA
KRİTERLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Nilüfer HAFTACI
(508101014)**

Gemi İnşaatı ve Gemi Makinaları Mühendisliği Anabilim Dalı

Gemi İnşaatı ve Gemi Makinaları Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Metin TAYLAN

HAZİRAN 2012

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 508101014 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Nilüfer HAFTACI**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**IMO HAVA KRİTERİ VE DİĞER ALTERNATİF HAVA KRİTERLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Metin TAYLAN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Doç. Dr. Barbaros OKAN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Y. Doç. Dr. Erdem ÜÇER
İstanbul Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **04 Mayıs 2012**
Savunma Tarihi : **04 Haziran 2012**

ÖNSÖZ

Bu çalışmada bana yol gösteren; bilgi, tecrübe ve anlayışıyla bana her aşamada destek olan çok değerli hocam Prof. Dr. Metin Taylan'a, yüksek lisans eğitimim boyunca bana gösterdikleri anlayış ve hoşgörü için Seft Gemi'deki yöneticilerime özellikle koordinatörüm Ferdi Çiçek'e, arkadaşım Yüksek Mühendis Özlem Akkuş'a ve her zaman yanımda olan aileme özellikle sevgili eşim Mustafa Haftacı'ya ve canım annem Nurdan Sağlam'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Mayıs 2012

Nilüfer HAFTACI
Gemi İnşaatı ve Deniz Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER	vii
KISALTMALAR	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiii
SEMBOL LİSTESİ	xv
KRİTERLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ.....	xvii
ÖZET.....	xvii
SUMMARY	xix
1. GİRİŞ	1
2. YÜZEN CİSİMLERİN DENGESİ VE BAŞLANGIÇ STABİLİTESİ	3
2.1 Arşimet Prensibi	3
2.2 Yüzen Bir Cismin Denge Şartları.....	4
2.2.1 Kuvvetler dengesi	4
2.2.2 Momentler dengesi.....	6
2.3 Stabilitenin Tanımı	7
2.4 Başlangıç Stabilitesi	8
3. HASARSIZ STABİLİTE KODU	11
3.1 Doğrultucu Moment Kolu Eğrisi ile İlgili Kriterler	11
3.2 Hava Kriteri	13
4. HAVA KRİTERİNDEKİ KABULLER VE YETERSİZLİKLER.....	17
4.1 Genel	17
4.2 Yapılan Alternatif Çalışmalar	17
4.2.1 Japonya.....	18
4.2.2 İtalya.....	18
4.2.3 Almanya	19
5. JAPON YOLCU GEMİLERİNE UYGULANAN HAVA KRİTERİ	21
5.1 Standart Rüzgar Hızı Tayini.....	22
5.1.1 Japon denizlerinde olası en kötü hava koşulları.....	22
5.1.2 Standart rüzgar hızının belirlenmesi	23
5.2 Rüzgar Basıncı	24
5.3 Dalga Dikliği	25
5.3.1 Dalga yaşı ile dalga dikliği arasındaki bağıntı	25
5.3.2 Dalga periyodu ile dalga dikliği arasındaki bağıntı	26
5.3.3 Kategoriler için dalga dikliğinin hesaplanması.....	27
5.3.4 Dalga dikliğinin çizelge olarak tanımlanması	27
6. BSRA HAVA KRİTERİ	29
6.1 Rüzgar ve Sağanak Rüzgar Yükleri	29
6.2 Yalpa Denklemindeki Parametreler	32
6.2.1 Atalet momenti.....	32
6.2.2 Yalpa sönümü	33
6.2.3 Hidrostatik geri getirme faktörü.....	34

6.2.4 Uyarıcı dalga kuvveti	34
6.3 Yalpa Tepkisinin Hesaplanması	36
6.4 Sağanak Rüzgar Tepkisinin Hesaplanması	37
6.5 Pozitif Stabilite Aralığı.....	38
6.6 Metodun Uygulanması	39
6.7 Kriter Sonuçları	39
7. MEVCUT DİĞER HAVA KRİTERLERİ.....	41
7.1 Rus Hava Kriteri.....	41
7.1.1 Gemilerin çalışma alanlarına göre sınıflandırılması	41
7.1.2 Rüzgar yatırıcı momentinin hesaplanması	42
7.2 Alman Askeri Gemileri için Hava Kriteri (BV1030-1).....	45
7.2.1 Hizmet sınıfları.....	46
7.2.2 Sinüzoidal dalgalar	46
7.2.3 Yatırıcı rüzgar momentinin hesaplanması.....	47
7.2.4 Stabilite kriterleri.....	48
7.3 İngiliz Askeri Gemileri için Hava Kriteri (NES 109)	49
7.3.1 Hizmet sınıfı	50
7.3.2 Yatırıcı rüzgar momentinin hesaplanması.....	50
7.3.3 Stabilite kriterleri.....	51
8. HAVA KRİTERLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI.....	53
8.1 IMO ve Rus Hava Kriterlerinin Karşılaştırılması	54
8.1.1 Ro-Ro gemisi.....	54
8.1.2 Kuru yük gemisi	58
8.2 IMO ve Askeri Gemi Kurallarının Karşılaştırılması	61
8.2.1 Ro-Ro gemisi.....	61
8.2.2 Kuru yük gemisi	65
9. TÜRKİYE DENİZLERİ İÇİN ÖNERİLEN HAVA KRİTERİ	69
9.1 Rüzgar Basıncı.....	69
9.1.1 Türkiye denizlerindeki en kötü hava koşulları	70
9.1.2 Standart rüzgar hızı tayini	73
9.2 Dalga Dikliği	74
9.3 Sönüm Faktörü, X_1	76
9.4 Efektif Dalga Eğimi Katsayısı, r	78
9.5 Yatırıcı Rüzgar Momentinin Meyil Açısıyla Değişmesi.....	78
9.6 Alternatif Hava Kriterinin IMO Hava Kriteriyle Karşılaştırılması	82
9.7 Alternatif Hava Kriterinin Diğer Hava Kriteriyle Karşılaştırılması	84
10. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	87
KAYNAKLAR.....	89
EKLER.....	91
ÖZGEÇMİŞ.....	103

KISALTMALAR

IMO	: International Maritime Organization
A	: Assembly
IS CODE	: Intact Stability Code
SOLAS	: Safety of Life at Sea
MSC	: Maritime Safety Committee
BV	: Building Regulations for German Naval Vessels
NES	: Naval Engineering Standard
BSRA	: British Society for Research on Ageing
DIN	: Deutsches Institut für Normung
MODU	: Mobile Offshore Drilling Unit
UK	: United Kingdom
ITTC	: International Towing Tank Conference
MOD	: Ministry of Defence
MCA	: Maritime Coastguard Agency
NATO	: North Atlantic Treaty Organization

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1 : X_1 katsayısı.....	14
Çizelge 3.2 : X_2 katsayısı.....	14
Çizelge 3.3 : k katsayısı	15
Çizelge 3.4 : s katsayısı	15
Çizelge 5.1 : Standart rüzgar hızına göre rüzgar basıncı değerleri ve dalga dikliği formülleri	22
Çizelge 5.2 : Denizlerde karşılaşılabilecek en kötü hava koşulları	23
Çizelge 5.3 : IMO Kriterindeki dalga dikliği	28
Çizelge 5.4 : Kıyı Suları 1 kategorisi için dalga dikliği	28
Çizelge 5.5 : Kıyı Suları 2 kategorisi için dalga dikliği	28
Çizelge 6.1 : Hız-alan çarpımı ve alan merkezlerinin elde edilmesi	31
Çizelge 6.2 : f_1 ve f_2 katsayıları için değerler	35
Çizelge 6.3 : ℓ_1 , ℓ_2 , ℓ_3 ve ℓ_4 katsayıları için değerler	35
Çizelge 6.4 : BSRA ve IMO hava kriterinin karşılaştırılması	39
Çizelge 7.1 : Rüzgar Basıncı	43
Çizelge 7.2 : X_1 katsayısı.....	44
Çizelge 7.3 : X_2 katsayısı.....	44
Çizelge 7.4 : k katsayısı	44
Çizelge 7.5 : s katsayısı	45
Çizelge 7.6 : $c_w = 1.20$ için çeşitli rüzgar hızlarında rüzgar basıncı.....	47
Çizelge 7.7 : Çeşitli rüzgar hızları için statik meyil açısı	49
Çizelge 7.8 : Askeri gemi kurallarının karşılaştırılması	52
Çizelge 8.1 : Ro-Ro ve kuru yük gemisinin genel özellikleri.....	53
Çizelge 8.2 : Ro-Ro gemisinin yükleme kondisyonları	53
Çizelge 8.3 : Kuru yük gemisinin yükleme kondisyonları	54
Çizelge 8.4 : Ro-Ro gemisi için tam yüklü kalkışta moment kolu değerleri.....	55
Çizelge 8.5 : Ro-Ro gemisi için tam yüklü kalkışta hava kriteri sonuçları	55
Çizelge 8.6 : Ro-Ro gemisi için tam yüklü varışta moment kolu değerleri	57
Çizelge 8.7 : Ro-Ro gemisi için tam yüklü varışta hava kriteri sonuçları.....	57
Çizelge 8.8 : Kuru yük gemisi için tam yüklü kalkışta moment kolu değerleri	59
Çizelge 8.9 : Kuru yük gemisi için tam yüklü kalkışta hava kriteri sonuçları	59
Çizelge 8.10 : Kuru yük gemisi için tam yüklü varışta moment kolu değerleri.....	60
Çizelge 8.11 : Kuru yük gemisi için tam yüklü varışta hava kriteri sonuçları	60
Çizelge 8.12 : Ro-Ro gemisi için BV 1030-1'e göre moment kolu değerleri	63
Çizelge 8.13 : Ro-Ro gemisi için BV 1030-1 kriterleri.....	63
Çizelge 8.14 : Ro-Ro gemisi için NES 109'a göre moment kolu değerleri	64
Çizelge 8.15 : Ro-Ro gemisi için NES 109 kriterleri	64
Çizelge 8.16 : Kuru yük gemisi için BV 1030-1'e göre moment kolu değerleri	67
Çizelge 8.17 : Kuru yük gemisi için BV 1030-1 kriterleri	67
Çizelge 8.18 : Kuru yük gemisi için NES 109'a göre moment kolu değerleri.....	68
Çizelge 9.1 : Türkiye denizlerinde karşılaşılan en kötü hava koşulları	70

Çizelge 9.2 : Türkiye denizlerindeki rüzgar hızları	72
Çizelge 9.3 : Nato'ya göre deniz durumları	72
Çizelge 9.4 : Japon kriteri ve Türkiye denizleri.....	73
Çizelge 9.5 : Türkiye denizlerindeki dalga yaşı değerleri ve dalga yaşı ve dalga dikliği arasındaki bağıntı	75
Çizelge 9.6 : IMO kriterindeki dalga dikliği.....	76
Çizelge 9.7 : Türkiye denizleri için dalga dikliği	76
Çizelge 9.8 : Rus kriterine göre X_1 katsayısı	76
Çizelge 9.9 : Efektif dalga eğimi katsayısının yalpa açısına etkisi.....	79
Çizelge 9.10 : Yatırımcı moment molunun BV 1030-1'e göre meyil açısıyla değişimi	80
Çizelge 9.11 : Yatırımcı moment molunun NES 109'a göre meyil açısıyla değişimi	81
Çizelge 9.12 : Alternatif hava kriteri ile IMO hava kriterinin karşılaştırılması	83
Çizelge 9.13 : Alternatif hava kriteri ile diğer hava kriterlerinin karşılaştırılması	85
Çizelge A.1: Karadeniz'de yapılan ölçümlerin enlemlere göre verilmesi.....	93
Çizelge B.1: Marmara Denizi'nde yapılan ölçümlerin enlemlere göre verilmesi	96
Çizelge C.1: Ege Denizi'nde yapılan ölçümlerin enlemlere göre verilmesi	99
Çizelge D.1: Akdeniz'de yapılan ölçümlerin enlemlere göre verilmesi.....	101

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Deplasman tipi bir tekneye etkiyen kuvvetler	5
Şekil 2.2 : Stevin kanunu	6
Şekil 2.3 : Stevin kanunu	7
Şekil 2.4 : Başlangıç stabilitesinin durumu	9
Şekil 3.1 : Doğrultma kolu eğrisi	12
Şekil 3.2 : Hava kriterinde kullanılan değerler	13
Şekil 5.1 : Japonya’da “Kıyı Suları 2” olarak tanımlanan bölge	21
Şekil 5.2 : Standart rüzgar hızını tayin etmek için yapılan test sonuçları	24
Şekil 5.3 : Dalga yaşı ile dalga dikliği arasındaki bağıntı	25
Şekil 5.4 : Standart rüzgar hızları için dalga periyodu ve dalga dikliği arasındaki bağıntı	27
Şekil 6.1 : Ek kütle jirasyon katsayısının belirlenmesi	33
Şekil 6.2 : Pozitif stabilite aralığının belirlenmesi	38
Şekil 7.1 : Rus hava kriterinde kullanılan değerler	42
Şekil 7.2 : BV 1030-1’e göre moment kolu eğrileri	49
Şekil 7.3 : NES 109’a göre moment kolu eğrileri	51
Şekil 8.1 : Ro-Ro gemisi için tam yüklü kalkış durumunda moment kolu eğrileri ...	55
Şekil 8.2 : Ro-Ro gemisi için tam yüklü varış durumunda moment kolu eğrileri	57
Şekil 8.3 : Kuru yük gemisi için tam yüklü kalkışta moment kolu eğrileri	59
Şekil 8.4 : Kuru yük gemisi için tam yüklü varışta moment kolu eğrileri	60
Şekil 8.5 : Dalga tepesindeki Ro-Ro gemisi	61
Şekil 8.6 : Sakin sudaki Ro-Ro gemisi	62
Şekil 8.7 : Ro-Ro gemisi için BV 1030-1’e göre moment kolu eğrileri	63
Şekil 8.8 : Ro-Ro gemisi için NES 109’a göre moment kolu eğrileri	64
Şekil 8.9 : Dalga tepesindeki kuru yük gemisi	65
Şekil 8.10 : Sakin sudaki kuru yük gemisi	65
Şekil 8.11 : Kuru yük gemisi için BV 1030-1’e göre moment kolu eğrileri	67
Şekil 8.12 : Kuru yük gemisi için NES 109’a göre moment kolu eğrileri	68
Şekil 9.1 : Aylık ortalama ve en uç değer yüzeysel rüzgar hızları	71
Şekil 9.2 : Aylık ortalama ve en uç değer belirgin dalga yükseklikleri	71
Şekil 9.3 : Japon kriteri ve Türkiye denizleri	73
Şekil 9.4 : Dalga yaşı ile dalga dikliği arasındaki bağıntı	75
Şekil 9.5 : X_1 sönüm faktörü için Rus kriteri ve MCA deney sonuçları	77
Şekil 9.6 : Yatırımcı moment kolunun BV 1030-1’e göre meyil açısıyla değişimi	80
Şekil 9.7 : Yatırımcı moment kolunun NES 109’a göre meyil açısıyla değişimi	81
Şekil 9.8 : Alternatif hava kriteri ile IMO hava kriterinin karşılaştırılması	83
Şekil 9.9 : Alternatif hava kriteri ile diğer hava kriterlerinin karşılaştırılması	84
Şekil A.1 : Karadeniz’de yapılan ölçümler	92
Şekil B.1 : Marmara Denizi’nde yapılan ölçümler	92
Şekil C.1 : Ege Denizi’nde yapılan ölçümler	98
Şekil D.1 : Akdeniz’de yapılan ölçümler	100

SEMBOL LİSTESİ

γ	: Özgöl ağırlık
γ_z	: z derinliğinde akışkan içerisindeki basınç
Δ	: Deplasman
W	: Yüzen cismin ağırlığı
∇	: Yeri değiştirilen sıvı hacmi
W_i	: Toplam gemi ağırlığını oluşturan i. eleman
C_B	: Blok katsayısı
L	: Gemi boyu
B	: Gemi genişliği
T	: Su çekimi
ρ	: Sıvı yoğunluğu
m_i	: Geminin i. elemanının kütlesi
Φ	: Bölüm 2'e göre meyil açısı
GM	: Metasantr yüksekliği
KB	: Sephiye merkezi
BM	: Metasantr yarıçapı
KG	: Ağırlık merkezi
GZ	: Doğrultucu moment kolu
GM_0	: Başlangıç metasantr yüksekliği
M_T	: Merkezkaç kuvvetinden dolayı oluşan yatırıcı moment
V_0	: Servis hızı
I_{w1}	: Durağan rüzgar nedeniyle oluşan yatırıcı moment kolu
P	: Rüzgar basıncı
A	: Geminin su hattı alanı üstündeki projeksiyon alanı
z	: A alanının alan merkezi ile geminin su altı projeksiyon alan merkezi veya ortalama draft değerinin yarısı arasındaki mesafe
g	: Yerçekimi ivmesi
I_{w2}	: Rüzgar sağanağı moment kolu
ϕ_0	: Geminin durağan rüzgar etkisi altında geminin yaptığı meyil açısı
ϕ_1	: Geminin rüzgar tarafındaki yalpa açısı
X_1	: B/T oranına göre belirlenen sönüm katsayısı
X_2	: Geminin C_B oranına göre belirlenen sönüm katsayısı
k	: Yalpa ve lama omurgalarının sönüm katsayısı
A_k	: Yalpa omurgalarının toplam alanı veya lama omurganın projeksiyon alanı, her ikisinin bulunması durumunda bu alanların toplam değeri
r	: Efektif dalga eğimi katsayısı
OG	: Geminin ağırlık merkezi ile su hattı arasındaki mesafe
s	: Dalga dikliği katsayısı
T_1	: Yalpa periyodu
V_w	: Standart rüzgar hızı
C_D	: Sürtünme direnci katsayısı
δ	: Bölüm 5'e göre dalga dikliği
β	: Dalga yaşı

C	: Dalga hızı
V	: Rüzgar hızı
T_w	: Dalga periyodu
u_h	: h yüksekliğindeki hız
z₀	: Deniz yüzeyinin pürüzlülük faktörü
h_a	: Ortalama hız yüksekliği
F_{ws}	: Sabit rüzgar kuvveti
M_{ws}	: Yatırımcı rüzgar momenti
U_G	: Sağanak rüzgar hızı
U_M	: Ortalama rüzgar hızı
k	: Bölüm 6'ya göre sağanak rüzgar hızı faktörü
M_G	: Sağanak rüzgar yatırımcı momenti
I	: Kütle atalet momenti
m	: Ek kütle atalet momenti
k_x	: Atalet jirasyon katsayısı
λ	: Dalga boyu
H	: Dalga yüksekliği
k_w	: Meyil ettirici kol
A_{wθH}	: BV 1030'a göre A alanı merkezinin kaide hattından düşey mesafesi
c_w	: Sürüklenme katsayısı
φ	: Meyil açısı
φ_{ref}	: Referans meyil açısı
φ_{stat}	: Statik meyil açısı
h_{rem}	: Kalan doğrultucu kol

IMO HAVA KRİTERİ VE DİĞER ALTERNATİF HAVA KRİTERLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

ÖZET

Gemilerde ilk resmi Uluslararası stabilite kuralları IMO (International Maritime Organization) A.167 önergesiyle 1968 yılında uygulanmaya başlanmıştır. Temel olarak bu önerge, gemilerin başlangıç metasantr yüksekliği ve doğrultucu moment kolu eğrisi altında kalan alan değerleri için bazı kriterleri içermektedir. Gemilere etki eden dış unsurlarla ilgili herhangi bir parametre dikkate alınmamakta idi. Bundan dolayı, IMO 1985 yılında A.562 önergesiyle, gemilerin yalpa ve rüzgarın bileşik etkisi altındaki durumunu inceleyen hava kriterini yürürlüğe koymuştur. 1993 yılında ise daha önceki önergeleri A.749 önergesinde toplayarak, bu kriterlerin, 24 metre ve daha büyük tüm gemilere uygulanmasını zorunlu hale getirmiş ve daha önceki önergeleri yürürlükten kaldırmıştır. Daha sonra, A.749 önergesi 1998 yılında “Intact Stability (IS) Code” (Hasarsız Stabilite Kodu) olarak güncellenmiş ve 2008 yılında nihai halini almıştır. Ancak uygulanmaya başladığı dönemdeki mevcut gemileri referans alan ve birçok kabule dayanan hava kriterinde bazı eksiklik ve yetersizlikler olduğu bugün IMO tarafından kabul edilmekte ve alternatif kriter çalışmaları halen devam etmektedir.

Bu çalışmada, ilk olarak yüzen cisimlerin dengesi ve başlangıç stabilitesi hakkında ön bilgi verilmiştir. Daha sonra gemilerin uyması gereken stabilite kriterleri doğrultucu moment kolu eğrisi ile ilgili kriterler ve hava kriteri başlığı altında verilmiştir. Mevcut hava kriterindeki kabuller ve yetersizlikler belirtilmiş ve Japonya, İtalya ve Almanya gibi ülkelerin konu ile ilgili yaptıkları alternatif çalışmalar sunulmuştur. IMO hava kriterine ek olarak Japon yolcu gemilerine uygulanan hava kriteri, BSRA (British Society for Research on Ageing) hava kriteri, Rus hava kriteri ve Alman askeri gemilere uygulanan BV 1030-1 (Building Regulations for German Naval Vessels) ile İngiliz askeri gemilerine uygulanan NES 109 (Naval Engineering Standard) gibi alternatif kriterler detaylı bir şekilde değerlendirilmiş ve karşılaştırmalı örneklerle geminin dış etkilere karşı stabilite davranışını en gerçekçi yansıtan tümleşik bir kriter araştırılmıştır. Sonuç olarak, hava kriterinin, Türkiye denizlerindeki tipik kritik rüzgar hızlarına göre uyarlanmış şeklini içeren Ulusal bazda alternatif bir hava kriteri önerilmiştir. Önerilen alternatif hava kriteri, mevcut hava kriteri ve diğer hava kriterleri örnek gemiler ile karşılaştırılmıştır.

EVALUATION OF IMO WEATHER CRITERION AND OTHER ALTERNATIVE WEATHER CRITERIA

SUMMARY

The first official international stability rules were implemented in 1968 by IMO A.167 resolution. This resolution, basically includes some criteria for the initial metacenter height and areas under the righting arm curve. However, the external factors that affect the ship stability were not taken into account in these first stability implementations. Therefore, IMO put the weather criteria, which analyses the cases under the effect of roll and wind, into force in 1985 by IMO resolution A.562. In 1993, this criteria were made compulsory for ships above 24 m and previous resolutions were abolished and collected under resolution A.749. Afterwards, A.749 resolution was updated in 1998 as “Intact Stability Code” and took its final form in 2008. However, it is accepted even by IMO that there are some shortcoming in this weather criterion which is based on old ship data and various assumptions. Therefore, an alternative criteria studies have been already in progress at IMO.

In the first chapter of this study, a brief information about the importance of stability rules and the historical development of intact stability criterias that are implemented on ships is presented. Stability rules determine the criterias related to approval of ship design, construction of a new ship or departure of a ship from the port. These rules are constituted in regard to many experiences and theoretical models. The first official intact stability rules were implemented in 1968 by IMO A.167. At present time, the intact stability rules within the scope of “Intact Stability Code”, which became compulsory under the 1988 Load Lines Protocol and the 1974 SOLAS Convention, are implementing.

In the second chapter, the laws of buoyancy and initial stability are presented as preliminary information. The equilibrium condition of a floating body is the equilibrium of forces and moments. The equilibrium of forces means the weight of the body is equal to the weight of displaced fluid volume and the equilibrium of moments means the total moment of forces acting on ship at any point equals to zero. Also in this chapter, stability is defined and intact stability is explained. It is indicated that for the stability of a floating body, the metacenter point must be above the centre of gravity.

A general information about “Intact Stability Code” is given in the third chapter. This code has been assembled to provide, in a single document, mandatory requirements and recommended provisions relating to intact stability, based primarily on existing IMO instruments and this code contains intact stability criteria for cargo ships, cargo ships carrying timber deck cargoes, passenger ships, fishing vessels, special purpose ships, lumber on the deck, passenger ships, fishing ships, special purpose ships, offshore supply ships, mobile offshore drilling units, pontoons and cargo ships carrying containers on deck and container ships of 24 m in length and above. Intact stability criteria that is mandatory is explained under the headings of “the criteria regarding righting lever curve properties” and “weather criterion”.

The criteria regarding righting lever curve properties include critical values for intact metacentre height and area values under the righting arm curve. However, weather criterion includes the critical values required of a ship to withstand the combined effects of beam wind and rolling. In addition, assumptions in the IMO weather criterion are explained in detail.

In the fourth chapter, the assumptions and shortcomings of the existing weather criterion are detailed and discussed. In IMO weather criterion, calculation of the dynamic heeling angle is based on the assumption that effect wind velocity increases suddenly at zero time to its maximum value. Wind pressure is selected arbitrarily in a such a way that the average ship considered safe has to satisfy the criterion. Therefore calculation of the weather criterion is not related to the actual wind force that the ship may encounter. Wave steepness coefficient that changes due to the wind velocity also is not realistic. The change of wind heeling moment with the angle of heel is also neglected. Moreover, some parameters like damping coefficient, X_1 , effective wave slope coefficient, r and wave steepness coefficient, s which are used in computing the angle of roll are not sufficient for modern ships. In this chapter, the alternative studies conducted by Japan, Italy and Germany about this issue are also presented.

The Japanese weather criterion implemented on Japanese passenger vessels is mentioned in chapter five. In the criterion, ships are classified into three categories, namely “Ocean-going”, “Coasting-1” and “Coasting-2”, based on their navigating area. For each category, a standard wind velocity, which was determined to ensure the adequate safety against capsizing of a ship in a beam wind and wave condition, is assigned. Standard wind velocities are assigned based on that severity of ocean wind, which a ship may be encounter at sea, is varied according to its navigating area. In the Japanese criterion, the wind pressure and the calculation formula for wave steepness used in the criterion are set up for each category of ships corresponding to the standard wind velocities. Namely the standard wind velocities for Coasting-1 and Coasting-2 category ships were assigned to 19 m/s and 15 m/s respectively. For Ocean-going category ships it was determined as 26 m/s as critical wind velocity for the IMO weather criterion. The Japanese stability standard has been enforced from 1 February 1957. As for passenger ships in Japan, several intact capsizing accidents were reported before this standard; however, over 50 years, no capsizing accident has been observed in vessels complying with the standard. This implies that the corresponding wind pressure to the standard wind velocities and the calculation formulae for wave steepness are quite adequate for ensuring the safety against capsizing of a ship under dead ship condition, considering the number of passenger ships registered in Japan, i.e. about 600 ships in 2007 and several thousand ships over 50 years.

In chapter six, BSRA (British Society for Research on Ageing) weather criterion for intact ship stability assessment is given. The criterion presents the results of an attempt by BSRA to improve the performance of the IMO weather criterion by introducing improved methods for the computation of ship-environment related parameters and ship responses. Following the description of the introduced parameters, the proposed form of the criterion is presented is briefly discussed. Results of the calculations for three UK sample ships are presented together with the corresponding results for the IMO criterion. Finally, the relative advantages of the proposed scheme are discussed.

In chapter seven, Russian weather criterion, Building Regulations for German Naval Vessels and Naval Engineering Standards for English Naval Vessels are evaluated in addition to IMO weather criterion. In Russian criterion, ships are classified according to navigation areas and wind pressure, which is used in computation of wind heeling lever, and wave steepness, which is used in computation of the angle of roll, are separated into three groups. Unlike IMO, the maximum value of effective wave slope coefficient is limited by 1. In addition, it is seen that many modern ships stay out of the ratio B/T for X_1 coefficient given by IMO and X_1 damping coefficient is given between 2.4 and 6.5 of B/T . In BV 1030-1, ships are classified to five operational area groups with respect to expected wind velocities. Righting and heeling levers are calculated for not only still water, but also wave crest and wave trough conditions. Another important difference with the IMO weather criterion is the changing of wind heeling moment with the angle of heel. In NES 109 standarts, ships are classified to three operational area groups with respect to expected wind velocities. As in BV 1030-1, another important difference with the IMO weather criterion is the changing of wind heeling moment with the angle of heel. Furthermore, wind heeling levers for naval ships of United States, France and Canada are calculated using the same method with NES 109 criterion.

In chapter eight, IMO weather criterion is compared with Russian weather criterion, Building Regulations for German Naval Vessels and Naval Engineering Standards for English Naval Vessels. In application, a Ro-Ro vessel navigating between Samsun and Russia and a dry cargo ship ocean-going are used to see differences between weather criterions. Righting and wind heeling levers for fully loaded departure and arrival conditions of Ro-Ro and dry-cargo vessels are calculated. Results are given seperately as moment arm curves and moment arm values by comparing IMO. Finally, the criterion results are presented and discussed. By comparative examples, a realistic criterion that ship's stability behaviour aganist to external factors is studied.

In chapter nine, an alternative weather criterion applicable to ships sailing along Turkish coastal waters, which incorporates critical wind speeds in Turkish waters, is proposed. In proposed criterion, maximum and average wind velocities are determined by using "Turkish Coastal Winds and Deep Sea Wave Atlas". It was determined that Japanese weather criterion was intended to ensure the safety against capsizing of a ship in a beam wind and wave condition in intermediate area between the maximum and average wind velocities. Therefore, a standard wind velocity, which is determined to ensure the adequate safety, is assigned for Turkish waters based on the Japanese criterion. As a consequence, it is proved that wind pressure value 504 Pa, which IMO accept, is more than the required value for ships navigate in Turkish waters. The standard wind velocity is offered as 18 m/s for Turkish waters and wind pressure is calculated as 242 Pa, which is approximately half of the value accepted by IMO. In addition to wind pressure, wave steepness is also determined corresponding to given standard wind velocity. The maximum value of effective wave slope coefficient is limited by 1. Change in wind heeling moment with the angle of heel is taken into consideration at calculation of wind heeling lever. Finally, an alternative weather criterion applicable to ships sailing along Turkish coastal waters, which incorporates critical wind speeds in Turkish waters, is proposed.

1. GİRİŞ

Stabilite kuralları, gemi dizaynının onaylanmasında, yeni inşaata başlanmasında, ya da geminin bir limandan ayrılmasına izin verilmesindeki kriterleri belirtmektedir. Eğer bir gemi verilen kurallardaki gereklilikleri sağlıyorsa, bu geminin herşeye rağmen yüzmeye devam edebileceği anlamına gelmez. Fakat geminin hayatta kalma şansı büyüktür, çünkü stabilite kuralları birçok deneyime ve kabul edilebilir birçok teorik modellere dayandırılarak oluşturulmuştur. Bu durumun aksine, eğer bir gemi belirtilen stabilite kriterlerini karşılamıyorsa, bu geminin kesinlikle batacağı anlamına gelmez, ancak burada risk faktörü daha yüksektir. Gemi sahibi dizaynı kabul etmeme ya da yetkili makam (liman başkanlığı gibi) geminin sefere çıkmasına izin vermeme hakkına sahiptir. Aslında, stabilite kuralları kabul edilebilir emniyet sınırlarını belirleyen uygulama kodları ya da kuralları (tüzük) olarak adlandırılabilir. Bu kurallar sadece dizayn yapanlar ya da gemi inşaatçıları için değil aynı zamanda ilgili yükleme durumunda gemilerinin gereklilikleri karşılayıp karşılamadığını kontrol etmek zorunda olan kaptanlar için de geçerlidir.

Bütün stabilite kuralları bir kısım yükleme durumları için yapılması zorunlu hesapları belirtmektedir. Bazı kurallara “ve daha tehlikeli olabilen başka herhangi bir durum” şeklinde bir cümle eklenmektedir. Projeden sorumlu Gemi İnşaatı Mühendisinin görevi, bu durumları tanımlamak, eğer böyle bir durum mevcut ise stabilite kriterlerini karşılayıp karşılamadığını kontrol etmektir. Ayrıca, teknolojik gelişmeler, deneyimlerin birikimi ve özellikle büyük deniz afetleri mevcut stabilite kurallarının sürekli olarak düzeltilmesini zorunlu hale getirmektedir. Bu nedenle Gemi İnşaatı Mühendisi verilen kurallara göre bir geminin stabilitesini kontrol etmeden önce bu kuralların yürürlükteki en son sürümünü ayrıntılı bir şekilde okumalıdır.

IMO olarak bilinen Uluslararası Denizcilik Örgütü (International Maritime Organization) 1948 yılında kurulmuştur. IMO’nun amacı, gemicilik sektörü ile ilgili olarak, mevzuat açısından hükümetler arasında işbirliği ile denizde güvenlik,

seyrüsefer etkinliği ve gemilerden kaynaklanan deniz kirliliğinin önlenmesini sağlamaktır. IMO, Birleşmiş Milletlerin bir temsilcisidir [1].

Gemilerin stabiliteleri ile ilgili çalışmalar çok eskilere dayanmasına rağmen, gemilere uygulanan ilk Uluslararası stabilite kuralları IMO A.167 önergesiyle 1968 yılında uygulanmaya başlanmıştır. Bu önergedeki kriterler, Rahola'nın 1939 yılında yaptığı çalışmalar baz alınarak geliştirilmiştir. Rahola söz konusu çalışmasında, daha önce devrilen gemilerin stabilitelerini incelemiş ve bazı kriterler geliştirmiştir. A.167 önergesi geminin başlangıç metasantr yüksekliği ve doğrultucu moment kolu eğrisi altında kalan alan değerleri için bazı kriterleri içermektedir. Bu kriterlerin uygulamaları karmaşık olmayıp çok basittir. Ancak herhangi bir fiziksel modele dayanmadığı için geliştirilmesi zor olup emniyet derecesi de bilinmemektedir. A.167 önergesi 100 m'den küçük yük ve yolcu gemilerine uygulanmak üzere yürürlüğe konulmuştur. A.167 önergesinin uygulanmasından kazanılan deneyim sonrası, bu önergedeki kriterlerin 100 metreden büyük yük ve yolcu gemilerine uygulanması IMO tarafından tavsiye edilmiştir. Bu önergedeki kriterler tavsiye niteliğinde olmasına rağmen, ülkeler ve klas kuruluşları bu kriterlerin uygulanmasını zorunlu kılmışlardır.

A.167 önergesindeki kriterler gemilere etki eden dış etkilerle ilgili herhangi bir unsuru dikkate almamaktadır. Bu yüzden, IMO 1985 yılında A.562 önergesiyle hava kriterini yürürlüğe koymuştur. Bu önergedeki kriterler A.167 önergesinde olmayan dış etkilere karşı, kötü hava koşullarında gemilerin sağlaması gereken kriterler olup özellikle projeksiyon alanları büyük olan yolcu, ro-ro konteyner vb. gibi gemi tiplerine A.167'deki kriterlere ilave olarak uygulanmaya başlanmıştır. IMO A.562 önergesindeki kriterlerin 45 m ve üzeri balıkçı gemilerine de uygulanmasını tavsiye etmiştir.

IMO, 1993 yılında gemilere uygulanan stabilite kriterlerini A.749(18) önergesinde toplayarak yürürlüğe koymuş ve daha önce konuyla ilgili yayınladığı önergeleri yürürlükten kaldırmıştır [2].

A.749(18) önergesi 1998 yılında "Intact Stability Code" – MSC.75(69) adı altında güncellenmiştir. En son yapılan değişikliklere göre 2008 yılında Hasarsız Stabilitate Kodu nihai halini almış ve 1975 SOLAS Sözleşmesi ile 1988 Load Line Protokolünde kodun uygulanması zorunlu hale getirilmiştir.

2. YÜZEN CİSİMLERİN DENGESİ VE BAŞLANGIÇ STABİLİTESİ

Bir deniz aracının dizaynında en temel gereklerden biri o deniz aracının görevi gereği taşıması gereken yük veya yolcu ile tamamen yüklenmiş iken istenen su hattında yüzebilmesini sağlayacak sephiyenin mevcut olmasıdır. Bunun kadar önemli ikinci bir zorunluluk deniz aracının değişik yükleme durumlarında dik durabilmesini sağlayacak başlangıç stabilitesinin bulunmasıdır [3].

Stabilite problemlerinin ele alınmasında aşağıdaki kabuller yapılır:

- Akışkan sıkıştırılmaz;
- Viskozitenin etkisinin olmadığı;
- Yüzey geriliminin önemli bir rolü olmadığı;
- Su yüzeyinin bir düzlemden oluştuğu kabul edilmektedir.

İlk varsayım, uygulamada karşılaşılan su derinlikleri için doğru bir yaklaşımdır. İkinci varsayım ise statik (hareketin olmadığı) koşullarda doğrudur ve gemi hidrostatikinde çok düşük hızlarda iyi yaklaşımlar verebilmektedir. Üçüncü varsayım ise ilgilenilen yüzen cisimlerin boyutları ve dalga yükseklikleri dikkate alındığında doğru olmaktadır. Dördüncü kabul ise hiçbir zaman doğru değildir hatta korunaklı limanlarda bile geçerli olmaz. Buna rağmen bu hipotez, genel ve kullanışlı sonuçlar elde edilmesine, gemiler ile diğer yüzen cisimlerin temel özellikleri hakkında hesap yapılmasına olanak verir.

2.1 Arşimet Prensibi

Bir akışkan içerisine batırılan bir cisim, yer değiştiren sıvının ağırlığı kadar yukarı yönlü bir kuvvete maruz kalmaktadır. Bu ifade Arşimet Prensibi olarak bilinmektedir. Arşimet Prensibi matematiksel olarak da diğer genel hidrostatik kanunların bilinmesi halinde türetilir. Özgül ağırlığı γ olan bir akışkan düşünelim. O zaman bir z derinliğinde akışkan içerisindeki basınç γ_z olacaktır. Bu, z yüksekliğinde ve birim kesit alanına sahip bir akışkan sütununun ağırlığıdır.

Atmosferik basıncın Arşimet prensibinin elde edilmesinde rol oynamadığı bilinmektedir.

2.2 Yüzen Bir Cismin Denge Şartları

Bir cismin denge halinde olması için ivmelenmeye maruz kalmaması gerekir. Newton'un ikinci kanunu, bir cisme etkiyen kuvvet ve momentlerin toplamının sıfıra eşit olması halinde bunun mümkün olacağını göstermektedir. Yüzen bir cisme her zaman iki kuvvet tesir eder. Bu kuvvetler cismin kendi ağırlığı ve kaldırma kuvvetidir. Bu kısımda Arşimet prensibi olarak ifade edilen kuvvetlerin toplamını dikkate alan dengenin birinci koşulu gösterilecektir. Momentlerin toplamıyla ilgili ikinci koşul ise Stevin kanunu olarak bilinmektedir.

Yüzen bir cisme başka kuvvetler de etki edebilir, örneğin; rüzgar kuvveti, çekme veya manevra sırasındaki merkezkaç kuvvetleri gibi.

2.2.1 Kuvvetler dengesi

Serbest şekilde yüzen cisimlerin ağırlığı ile hidrostatik kuvvetler denge durumundadır. Böylece Arşimet prensibi aşağıdaki şekilde yeniden tanımlanabilir. Yüzen bir cismin yer değiştirdiği sıvı hacminin ağırlığı o cismin ağırlığına eşittir. Yüzen bir cisim tarafından yeri değiştirilen akışkanın ağırlığına özel olarak deplasman denir. Deplasman, Yunanca büyük delta harfi (Δ) ile gösterilir. Eğer yüzen cismin ağırlığı da W ise o zaman cisme etki eden kuvvetlerin dengesi,

$$\Delta = W \quad (2.1)$$

şeklinde ifade edilir. Yeri değiştirilen sıvı hacmi ise ∇ (nabla) sembolü veya V harfi ile gösterilmektedir. Bu semboller yardımıyla Arşimet prensibi,

$$\gamma \nabla = W \quad (2.2)$$

denklemini sağlamaktadır. Eğer yüzen cisim bir gemi ise bu denklem aşağıdaki şekilde yeniden düzenlenmelidir:

$$\gamma C_B LBT = \sum_{i=1}^n W_i \quad (2.3)$$

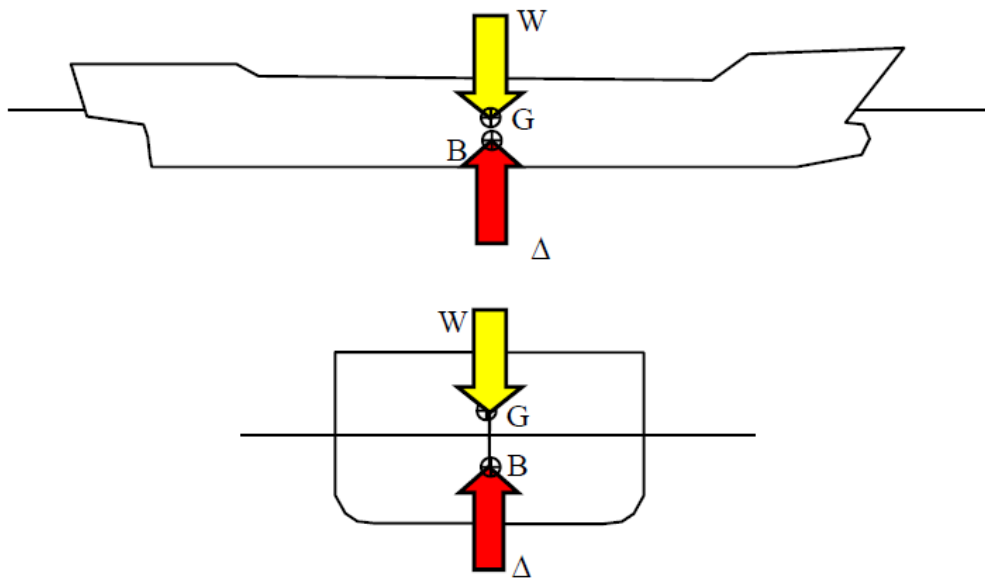
Burada; W_i , toplam gemi ağırlığını oluşturan i. elemandır. Örneğin, W_1 tekneyi, W_2 donanımı, W_3 gemi makinerlerini temsil edebilir. L, B, T ve C_B simgeleri ise sırasıyla gemi boyu, genişliği, su çekimi ve blok katsayısını göstermektedir.

Yukarıdaki denklem hidrostatik hesaplamalarda, verilen bir deplasman için su çekimini veya ölçülen bir su çekimine karşılık gelen deplasmanı bulmak için çok sık kullanılmaktadır. Gemi tasarımında ise bu denklem ya bir tasarım denklemi veya tasarım optimizasyon problemlerinde eşitlik kısıtlaması olarak kullanılmaktadır.

Deplasman ağırlığı yerine deplasman kütlesi $\rho \nabla$ ile çalışılabilir. Burada ρ cismin içinde bulunduğu sıvının yoğunluğudur. Böylece yukarıdaki ifade şu şekilde yeniden yazılabilir:

$$\rho C_B L B T = \sum_{i=1}^n m_i \quad (2.4)$$

Burada; m_i geminin i. elemanının kütlesidir. DIN standartlarında da Δ kütle Δ_F ise deplasman ağırlığı olarak tanımlanmıştır. Burada “F” indisi “kuvvet için” kullanılmıştır. ∇ simgesi ise “hacmi” göstermektedir. B noktası, İngilizcede “center of buoyancy” olarak adlandırılır ve sephiye merkezini göstermektedir. Kaldırma kuvveti etkiye hattı her zaman B noktasından geçmektedir. G noktası ise İngilizcede “center of gravity” olarak adlandırılır ve ağırlık merkezini göstermektedir. Bir gemiye etkiyen ağırlık ve sephiye kuvvetleri Şekil 2.1’de gösterilmektedir.

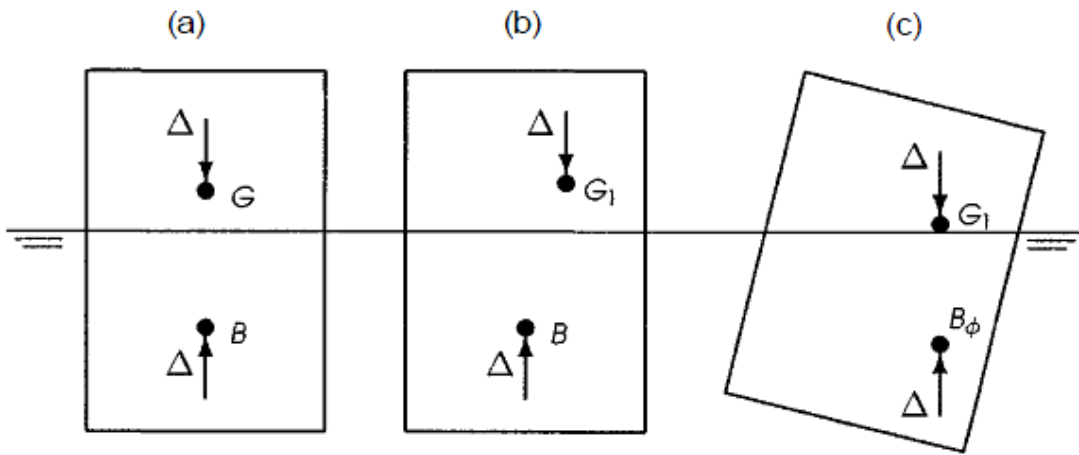


Şekil 2.1: Deplasman tipi bir tekneye etkiyen kuvvetler [3].

2.2.2 Momentler dengesi

Bu kısımda yüzen bir cisim için dengenin ikinci koşulu ele alınacaktır. Etki eden kuvvetlerin herhangi bir noktaya göre momentlerinin toplamı sıfır olmalıdır. Bu durum Şekil 2.2 (a)'da gösterilen yüzen bir cismin ağırlık merkezi (G) ile sephiye merkezinin (B) aynı düşey doğrultuda olmasıyla sağlanmaktadır. Cismin ağırlığı (Δ) ve kaldırma kuvveti (Δ) eşit ve ters yönlü olmakla beraber aynı doğrultudadır. Bu kuvvetlerin herhangi bir referans noktasına göre alınan momentleri toplamı da sıfırdır.

Şimdi ağırlık merkezi G'nin bir düzlem üzerinde yeni bir G_1 noktasına doğru Şekil 2.2 (b)'deki gibi yer değiştirdiğini düşünelim. Momentler toplamı artık sıfır değildir; bu durum cismin saat yönünde Φ açısı kadar meyletmesine sebep olur. Sağ tarafta bir hacim batarken sol tarafta da başka bir hacim çıkmaktadır. Sonuç olarak sephiye merkezi B_Φ ile gösterilen yeni bir noktaya doğru yer değiştirir. G_1 ve B_Φ noktaları aynı düşey doğru üzerinde oldukları bir konumda yüzen cisim yeni bir denge konumunda bulunacaktır. Bu durum Şekil 2.2 (c)'de gösterilmiştir.

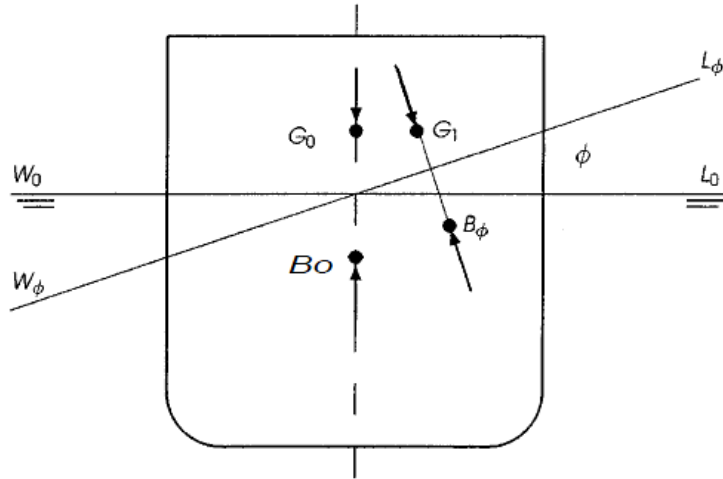


Şekil 2.2: Stevin kanunu [1].

Şekil 2.2'de gösterilen durumları tek bir şekil üzerinde de çizmek mümkündür. Bunu yapmak için, cismin Φ açısıyla saat yönünde meylettiğini göstermek ve su hattını sabit tutmak yerine cismi sabit tutup su hattını saatin tersi yönünde Φ açısı kadar döndürmek yeterlidir. Böylece başlangıç durumuna karşılık gelen W_0L_0 su hattı Şekil 2.3'de gösterilmiştir. Δ 'ya eşit olan ağırlık kuvveti, başlangıç ağırlık merkezi G_0 'dan etkimekte ve düşey yönde olup aynı zamanda W_0L_0 su hattına da diktir. Kaldırma

kuvveti (Δ), başlangıç sephiye merkezi B_0 'dan etkimektedir ve aynı şekilde düşey doğrultuda ve başlangıçtaki su hattına diktir.

Şimdi ağırlık merkezinin yeni konumu olan G_1 noktasına doğru yer değiştirdiğini varsayalım. Yüzen cisim, aynı yöne doğru bir Φ açısına ve yeni $W_\Phi L_\Phi$ su hattındaki denge konumuna ulaşmaya kadar dönecektir. Yeni sephiye merkezi B_Φ 'dir. G_1 ve B_Φ 'yi birbirine bağlayan çizgi düşey ve $W_\Phi L_\Phi$ su hattına diktir. Ağırlık ve sephiye kuvveti bu çizgi doğrultusunda etkir. Böylece, yüzen cisim için, ağırlık merkezi ile sephiye merkezi aynı düşey çizgi üzerinde olduğundan dengenin ikinci koşulu da sağlanmaktadır. Şekil 2.2 ve 2.3'de cismin yeni konumuna doğru dönmesi halinde ambar ağzının, pencere ve havalandırma gibi suyun girebileceği hiçbir açıklığın olmadığı kabul edilmiştir. Eğer bu varsayım doğru değilse, cisim ya daha karmaşık koşullar altında dengeye gelecek ya da batacaktır.



Şekil 2.3: Stevin kanunu [1].

2.3 Stabilitenin Tanımı

Bir yüzen cismin denge durumunda olduğunu düşünelim ve bazı kuvvet veya momentlerin cismin konumunda küçük bir değişiklik meydana getirdiğini varsayalım. Bu kuvvet veya momentlerin etkisi sona erdiğinde üç durum söz konusu olabilir:

1. Cisim başlangıç konumuna geri döner; bu durumda denge koşulunun stabil olduğu söylenir.

2. Cismin konumu değişmeye devam eder. Bu durumda dengenin stabil olmadığı söylenir. Pratikte de, bu bir cismin ters dönmesi anlamına gelebilir.
3. Cisim yeni konumunda sabit kalır ve en küçük bir müdahalede cisim başlangıç konumuna döner veya başlangıç konumundan uzaklaşmaya devam eder. Bu duruma ise nötr denge adı verilir.

Ayrıca bir cismin yüzme durumu aşağıdaki üç durum ile birbirinden ayrılabilir:

1. Bir cismin toplam hacmi, ağırlığının suyun özgül ağırlığına bölünmesiyle elde edilenden büyükse; cisim yüzer ve su çekimi, ağırlık eklenip çıkarılarak kontrol edilebilir.
2. Cismin ağırlığı, tam olarak toplam hacmin suyun özgül ağırlığıyla çarpımına eşitse; cisim herhangi bir derinlikte yüzer ve konumu ağırlık eklenip çıkartılarak kontrol edilemez. Eklenen bir ağırlık cismi nötr denge durumuna getirip dibe batırırken, çıkartılan en hafif ağırlık da cismi yüzeye çıkartıp cismi stabil denge durumuna getirir.
3. Cismin ağırlığı, hacminin suyun özgül ağırlığı ile çarpımından büyükse; cisim batar. Konumunu değiştirmek için cismin ya ağırlığı azaltılmalı ya da bir şekilde sephiye eklenmelidir.

2.4 Başlangıç Stabilitesi

Şekil 2.4(a) dik konumdaki bir geminin meyilsiz halde enine dikey kesitini göstermektedir. Eğer bu kesit sephiye merkezi B'den geçiyorsa Stevin kanunundan dolayı ağırlık merkezi G'nin de burada olduğu bilinmektedir. Burada su hattı da W_0L_0 'dır. Ağırlık kuvveti W, ağırlık merkezi G doğrultusunda etki ederken; sephiye kuvveti Δ ise, sephiye merkezi B_0 'dan etkir. W ve Δ kuvvetleri eşit ve aynı doğrultudadır. Gemi bu halde denge durumundadır. Şimdi geminin sancak tarafına Φ kadar küçük bir açı ile meylettğini düşünelim.

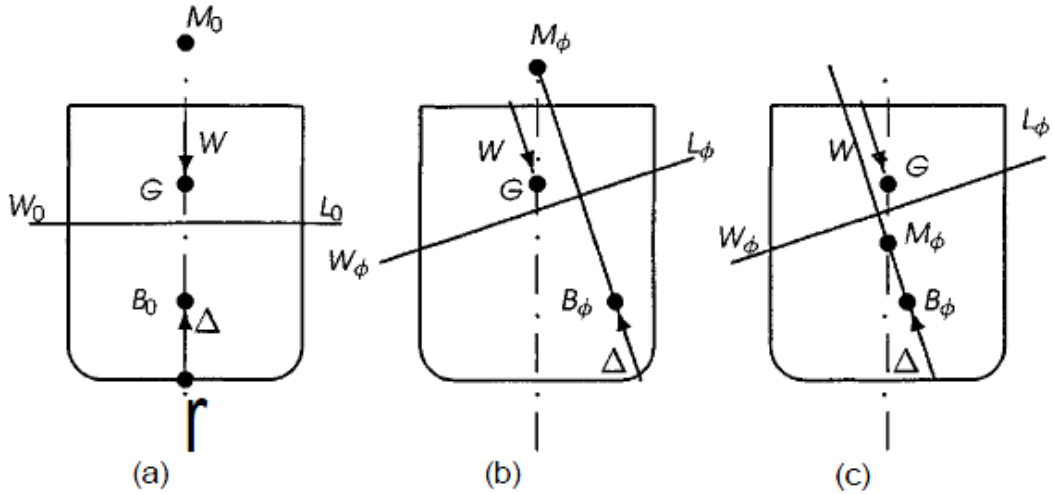
Şekil 2.4 (b)'de de böyle yapılmış ve yeni su hattı $W_\Phi L_\Phi$ olarak gösterilmiştir. Eğer ağırlıklar sabitse ki öyle olması gerekir, geminin ağırlık merkezi de aynı G noktasında sabit kalacaktır. Sancak tarafında bir hacim suya batarken, iskele tarafında da eşit bir hacim sudan çıkacağı için sephiye merkezi sancak tarafındaki yeni B_Φ noktasına doğru yer değiştirecektir. Hem W hem Δ kuvveti düşey yönde olup $W_\Phi L_\Phi$ su hattına diktir. Bu iki kuvvet, gemiyi başlangıç konumuna geri döndürme

etkisine neden olan iskeleye doğru bir moment oluşturacaktır. Böylece bu geminin stabil olduğu söylenebilir.

Şekil 2.4 (c)'de de Φ açısıyla sancak tarafa meyletmiş bir gemi görülmektedir. Bu durumda W ve Δ kuvvetlerinin oluşturduğu moment gemiyi sancak tarafa daha da meylettirmektedir. Bu durumda gemi stabil değildir.

Şekil 2.4 (b) ve (c)'deki durumlar arasındaki fark metasantr kavramıyla açıklanabilir. Bu soyut kavram ilk defa 1746 yılında Pierre Bouguer tarafından ortaya atılmıştır. Tekrar Şekil 2.4 (b)'ye bakıldığında kesikli-noktalı çizgi, geminin iskele sancak simetri düzlemi olan merkez hattını göstermektedir. Daha genel olarak yüzen herhangi bir cisim için kesikli-noktalı çizgi meyilden önce sephiye kuvvetinin etki doğrultusunu verir. Kaldırma kuvvetinin yeni etki doğrultusu ise $W_\phi L_\phi$ 'ye dik olan yeni sephiye merkezinden geçer. Her iki doğru bir M_ϕ noktasında kesişir. Bouguer bu noktaya metasantr adını vermiştir.

Şekil 2.4'e bakıldığında iki meyil durumu arasındaki fark görülebilir. (b)'de metasantr noktası ağırlık merkezi G 'den yukarıda, (c)'de ise metasantr noktası ağırlık merkezi G 'nin aşağısındadır. Sonuç olarak yüzen bir cismin dengesinin stabil olabilmesi için metasantr noktasının ağırlık merkezinden yukarıda olması gerekir.



Şekil 2.4: Başlangıç stabilitesinin durumu [1].

Burada vurgulanması gereken metasantr noktası tanımının gemi formundan bağımsız olduğudur. Bu yüzden yukarıdaki şekillerde metasantr noktasının merkez hattı ile yeni kaldırma kuvvetinin etkiye doğrultusunun kesişiminde oluşması sadece dik konumdan meyletmiş simetrik tekneler için geçerlidir.

Tam olarak merkez hattı ile kaide hattının kesiştiği K noktası referans alınarak dikey koordinatlar buradan yukarı doğru ölçülebilir. Böylelikle K noktası z koordinatlarının orjini olur. K'nın gemi omurgasındaki en düşük nokta olarak seçilmesi tavsiye edilir; bu durumda z koordinatı negatif olmayacaktır. K noktasının gösterimi de karina kelimesinin baş harfi olması dolayısıyla hatırdaki daha kolay kalacaktır. Aynı şekilde M_0 noktası başlangıç metasantr noktası olup, dik konuma karşılık gelen metasantr noktasını belirtmektedir ve aşağıdaki denklemle ifade edilir:

$$\overline{GM} = \overline{KB} + \overline{BM} - \overline{KG} \quad (2.5)$$

Başlangıç stabilitesi ise aşağıdaki şekilde ifade edilir:

$$GM \geq 0 \quad (2.6)$$

Burada; $\overline{GM}$ vektörüne metasantr yüksekliği denir. $\overline{KB}$ vektörü ise sepiye merkezinin z koordinatını verir; bu koordinat teknenin suya batan kısmının merkezi olarak hidrostatik hesaplarla bulunur. $\overline{BM}$ vektörü ise, metasantr yarıçapını ifade etmektedir. $\overline{KG}$ vektörü yüzen cismin ağırlık merkezinin z koordinatıdır ve ağırlık hesaplarından elde edilir. $\overline{KB}$ ve $\overline{BM}$ gemi geometrisine bağlı iken $\overline{KG}$ ağırlık dağılımına bağlıdır [1].

3. HASARSIZ STABİLİTE KODU

Hasarsız stabilite kodu, hasarsız stabilite ile ilgili önerilen mevcut IMO kurallarını tek bir dökümanda toplamak amacıyla hazırlanmıştır. Kodun amacı, gemi, gemide bulunan personel ve çevre için oluşabilecek riskleri en aza indirerek emniyetle bir seyir sağlamak için zorunlu olan ve tavsiye edilen stabilite kriterlerini ve diğer önlemleri sunmaktır. Zorunlu olan genel stabilite kriterleri Bölüm 3.1 ve 3.2’de verilecektir.

Hasarsız stabilitesi kodu, aksi belirtilmediği müddetçe aşağıda verilen 24 metre ve daha büyük gemi tipleri ve diğer deniz araçlarına uygulanır:

- Yük gemileri
- Güvertesinde kereste taşıyan yük gemileri
- Yolcu gemileri
- Balıkçı gemileri
- Özel amaçlı gemiler
- Açık deniz ikmal gemileri
- Mobil açık deniz sondaj üniteleri (MODU)
- Dubalar
- Güvertesinde konteyner taşıyan yük gemileri ve konteyner gemileri [4].

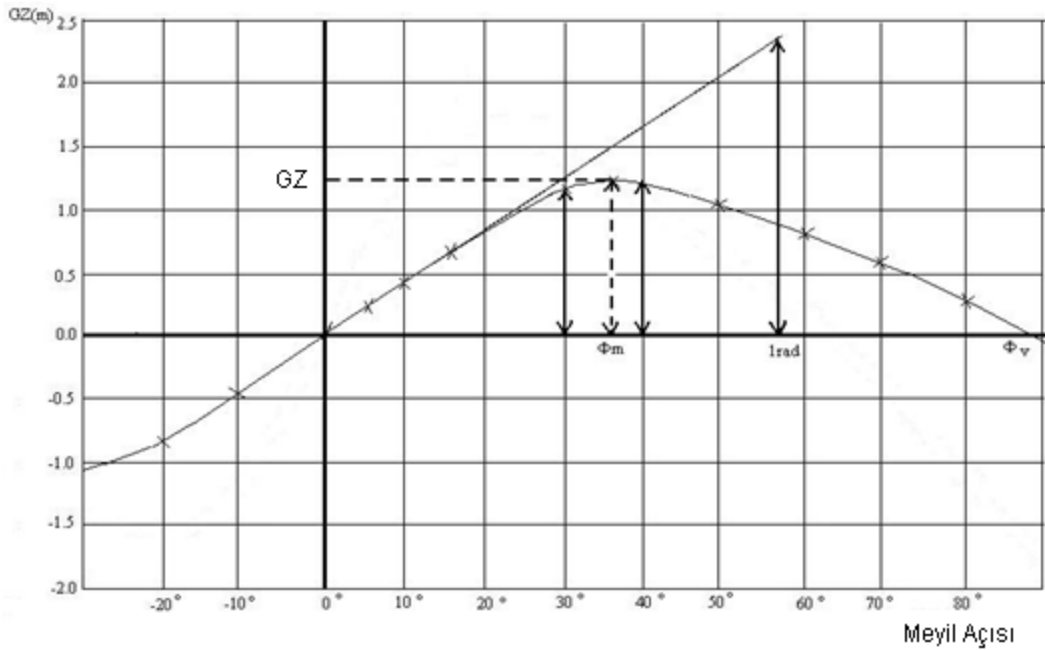
3.1 Doğrultucu Moment Kolu Eğrisi ile İlgili Kriterler

Gemilerin başlangıç metasantr yüksekliği ve doğrultucu moment kolu eğrisi altında kalan alan değerleri için bazı kriterleri içermektedir. Bu kurallarda bahsedilen su alma açısı, tekne, üst yapı veya güverte evleri üzerinde hava geçmez şekilde kapatılamayan bir açıklığın su içine girmeye başladığı en küçük meyil açısını ifade etmektedir. Şekil 3.1’de meyil açısına göre değişen doğrultucu moment kolu eğrisi görülmektedir. İlgili kriterler aşağıdaki gibidir:

1. 30° meyil açısına kadar doğrultucu kol eğrisi altında kalan alan 0.055 m.rad değerinden az, 40° veya su alma açısına kadar (hangisi daha küçükse),

doğrultucu kol eğrisi altında kalan alan 0.09 m.rad değerinden az olmamalıdır. 30° ile 40° arasında veya su alma açısı 40° den küçükse 30° ile bu açı arasında doğrultucu kol eğrisi altında kalan alan 0.03 m.rad değerinden az olmamalıdır.

2. Doğrultucu moment kolu değeri 30° veya daha büyük bir açıda minimum 0.20 m olmalıdır.
3. Maksimum doğrultucu kol değeri 25°, tercihen 30 dereceden daha büyük bir meyil açısında oluşmalıdır.
4. Başlangıç metasentr yüksekliği GM_0 0.15 metreden az olmamalıdır [4].



Şekil 3.1: Doğrultma kolu eğrisi.

Yolcu gemileri bu kurallara ilave olarak iki ek koşulu daha sağlamalıdır: Birincisi, tüm yolcular bir tarafa toplandığında oluşan meyil açısı 10 dereceyi geçmemelidir. Bir yolcunun ağırlığı 80 kg kabul edilir. Ayakta duran bir yolcu için ağırlık merkezi güverteden itibaren 1 metre yükseklikte, oturan bir yolcu için ise oturduğu koltuktan itibaren 0.30 metre olarak alınır. Yolcu gemileri için ikinci ilave koşul ise, manevradaki dönüş esnasında merkezkaç kuvvetten dolayı oluşan meyil açısıdır. Bu kuvvetten dolayı oluşan yatırıcı moment aşağıdaki formül ile hesaplanır:

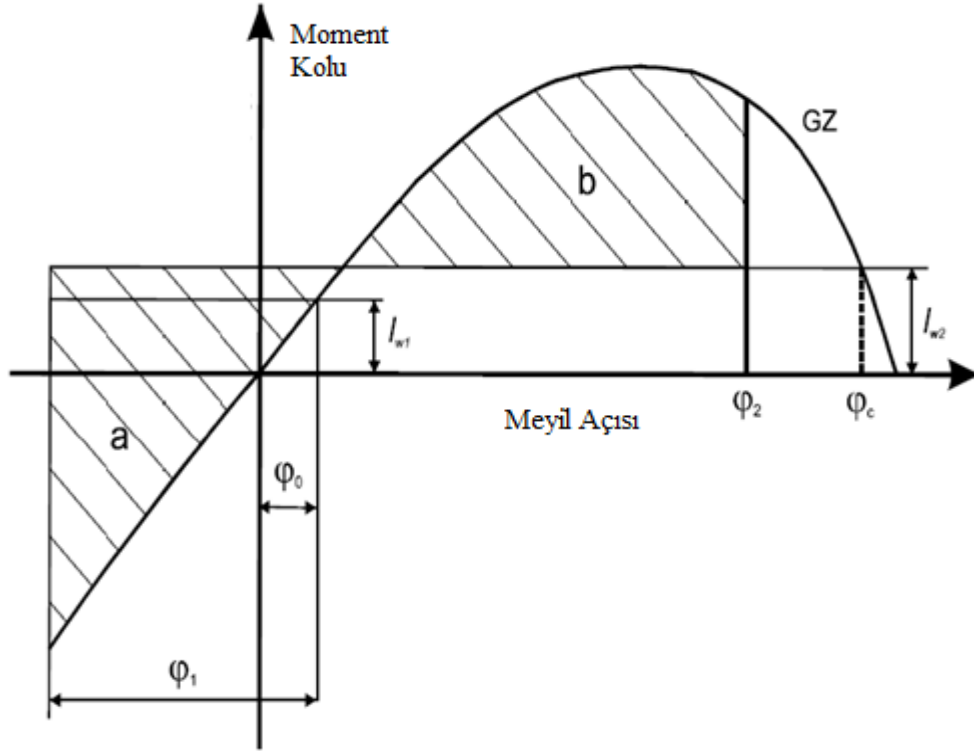
$$M_T = 0.02 \frac{V_0^2}{L} \Delta \left(KG - \frac{T}{2} \right) \quad (3.1)$$

Burada; V_0 , ms^{-1} olarak servis hızıdır. Aynı şekilde, manevra esnasında oluşan açı 10 dereceyi geçmemelidir. Burada meyil açısını sınırlamanın nedeni, daha büyük açılarda yolcuların panikleme olasılığıdır [1].

3.2 Hava Kriteri

Gemiler, yalpa ve rüzgarın bileşik etkisi altında tüm yükleme durumlarında bu kriterin gereklerini karşılamalıdır. Kriteria göre:

1. Şekil 3.2’de gösterilen “b” alanı “a” alanına eşit veya daha büyük olmalıdır.
2. Durağan rüzgar etkisi altında geminin yaptığı meyil açısı 16° veya güverte kenarı suya girme açısının % 80’inden (hangisi küçükse) büyük olmamalıdır.



Şekil 3.2: Hava kriterinde kullanılan değerler [4].

Şekilde; b alanı, ϕ_2 ile sınırlıdır. Bu açı 50° veya teknede, üst yapıda veya güverte binalarında su geçirmez biçimde kapatılamayan açıklıkların suya girme açısı ϕ_f değerlerinden hangisi küçükse o alınır. ϕ_c rüzgar sağanağı moment kolu ve GZ eğrisinin ikinci kesişim noktasındaki açıdır. Gemi, merkez hattına dik olarak etkiyen ve düzgün rüzgar yatırma koluna (l_{w1}) neden olan düzgün rüzgar basıncına maruzdur. Durağan rüzgar nedeniyle oluşan yatırıma moment kolu (l_{w1}) metre cinsinden aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$lw_1 = \frac{PAZ}{1000g\Delta} \quad (3.2)$$

Burada; P rüzgar basıncı değeridir ve 504 Pa olarak alınır. Gemilerin korumalı sularda seyir yapması durumunda yetkili idarenin onayıyla bu değer azaltılabilir. A metre² cinsinden su hattı alanının üstünde gemi ve güverte üzerindeki yükün projeksiyon alanıdır. Z metre cinsinden, A alanının alan merkezi ile geminin su altı projeksiyon alan merkezi veya ortalama draft değerinin yarısı arasındaki mesafedir. Δ ton olarak deplasman kütlesi ve g yerçekimi ivmesidir. Yerçekimi ivmesinin değeri 9.81 m/s²'dir. Rüzgar sağanağı moment kolu ise (lw₂) aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

$$lw_2 = 1.5lw_1 \quad (3.3)$$

Kural, durağan rüzgar etkisi altında geminin yaptığı meyil açısını φ₀ olarak tanımlar ve ani esen rüzgarın gemiyi φ₀ statik açısında rüzgara doğru φ₁ açısına kadar meyil ettirdiğini varsayar. Geminin rüzgar tarafındaki yalpa açısı φ₁ aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\varphi_1 = 109kX_1X_2\sqrt{rs} \quad (3.3)$$

Burada; X₁ Çizelge 3.1'den elde edilen geminin B/T oranına göre belirlenen sönüm katsayısıdır. X₂ ise çizelge 3.2'den elde edilen geminin C_B oranına göre belirlenen sönüm katsayısıdır [4].

Çizelge 3.1: X₁ katsayısı [4].

B/T	≤2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	3.0	3.1	3.2	3.4	≥3.5
X ₁	1.0	0.98	0.96	0.95	0.93	0.91	0.90	0.88	0.86	0.82	0.80

Çizelge 3.2: X₂ katsayısı [4].

C _B	≤0.45	0.50	0.55	0.60	0.65	≥0.70
X ₂	0.75	0.82	0.89	0.95	0.97	1.00

k katsayısının kullanımı ile IMO kuralları stabilitedeki sönüm etkisini dolaylı olarak hesaba katmış olur. Daha açık bir şekilde belirtmek gerekirse, bu durumda kural, keskin sintine dönümlerinin yalpa omurgalarının ve lama omurgalarının yalpa genliğini düşürdüğünü kabul eder. Statik bir açıdan rüzgara doğru meyleden bir geminin ani bir rüzgara maruz kaldığı kabul edilirse, dinamik etkiler şiddetli bir

şekilde ortaya çıkmaya başlar [1]. k katsayısı yuvarlak karinalı ve lama ve yalpa omurgasız gemiler için 1.0, yuvarlak karinalı olmayan gemiler için 0.7 alınmalıdır. Yuvarlak karinalı ve lama ve/veya yalpa omurgalı gemiler için ise Çizelge 3.3'den elde edilir.

Çizelge 3.3: k katsayısı [4].

$(A_k 100 / LB)$	0.0	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	≥ 4.0
k	1.0	0.98	0.95	0.88	0.79	0.74	0.72	0.70

Burada; A_k metre² cinsinden yalpa omurgalarının toplam alanı veya lama omurganın projeksiyon alanı, her ikisinin bulunması durumunda bu alanların toplam değeridir. L ve B sırasıyla metre cinsinden geminin su hattı boyu ve kalıp genişliğidir.

Denklem 3.3'de verilen, rüzgar tarafındaki yalpa açısı ϕ_1 'i hesaplamak için gerekli r, efektif dalga eğimi katsayısı aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$r = 0.73 \pm 0.6 \frac{OG}{T} \quad (3.4)$$

Burada; OG metre cinsinden geminin ağırlık merkezi ile su hattı arasındaki mesafedir ve yukarı yönde pozitif kabul edilir. T ise metre cinsinden geminin ortalama kalıp değeridir.

Denklem 3.3'de verilen s, Çizelge 3.4'den elde edilen dalga dikliği katsayısı olup yalpa periyodu T_1 'in bir fonksiyonudur. Yine kurala göre T_1 saniye cinsinden aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanır:

$$T_1 = \frac{2CB}{\sqrt{GM}} \quad (3.5)$$

Burada; GM metre cinsinden serbest su yüzeyi düzeltilmesi yapılmış metasantr yüksekliğidir. C değeri ise aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$C = 0.373 + 0.023 \frac{B}{T} - 0.043 \frac{L}{100} \quad (3.6)$$

Çizelge 3.4: s katsayısı [4].

T_1	≤ 6	7	8	12	14	16	18	≥ 20
s	0.100	0.098	0.093	0.065	0.053	0.044	0.038	0.035

Çizelgelerdeki ara değerler lineer interpolasyonla elde edilmelidir [4].

4. HAVA KRİTERİNDEKİ KABULLER VE YETERSİZLİKLER

4.1 Genel

Uygulanmaya başladığı dönemdeki mevcut gemileri referans alan ve birçok kabule dayanan hava kriterinde bazı eksiklik ve yetersizlikler olduğu bugün IMO tarafından kabul edilmekte ve alternatif kriter çalışmaları halen devam etmektedir. Stabilité hesaplarında uygulanan hava kriteri ilgili kabul ve yetersizlikler aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Dinamik rüzgar yatırıcı momentinin hesabı, rüzgar hızının aniden sıfırdan maksimum değerine ulaşması kabulü esasına dayanır. Bu doğru bir yaklaşım değildir.
- Rüzgar hızının türbülans bileşenleri ihmal edilmektedir.
- Rüzgar yatırıcı momentinin meyil açısıyla değişimi ihmal edilmektedir.
- Dalıp çıkmanın doğrultucu moment koluna etkisi ihmal edilmektedir.
- Yalpa genliğinin hesabı, lineer olmayan etkiler ve parametrik rezonans oluşma olasılığı ihmal edilerek büyük ölçüde basitleştirilmiştir.
- Rüzgar basıncı, ortalama bir geminin güvenli olduğu düşünülerek rastgele seçilmiştir. Ayrıca, hava kriterinin hesaplanması bir geminin karşılaşabileceği rüzgar hızıyla bağıntılı değildir.
- Hava kriterinin temel eksikliği ise, geminin güvenliği konusunda yanlış varsayımda bulunulmasına neden olmaktır. Tüm bu karmaşık hesaplamalar ile, hem dizayner hem de kaptan açısından hava kriterini sağlayan geminin tamamen güvenli olduğu düşünülmektedir [5].

4.2 Yapılan Alternatif Çalışmalar

Bugüne kadar hava kriteri ve bu kriterdeki yetersizliklerle ilgili birçok çalışma yapılmıştır. Bu bölümde Japonya, İtalya ve Almanya'nın konuyla ilgili yapmış olduğu çalışmalar anlatılacaktır.

4.2.1 Japonya

Japonya’da, hava kriterinin küçük yolcu gemilerine uygulanması ile ilgili bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışma, birkaç model üzerinde yapılan yalpa testlerini içermektedir. Bu testlere göre, tavsiye edilen sönüm katsayısı değeri 0.02’nin çok düşük ve hesaplanan efektif dalga eğimi katsayısının çok yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bu iki faktör, yalpa açısı değerinin olması gerekenden daha fazla hesaplanmasına neden olmaktadır.

4.2.2 İtalya

İtalya’da, araştırmacılar IMO hava kriterinin büyük yolcu gemilerine uygulanmasında karşılaşılan problemlerle ilgilenmişler ve OG/T, B/T ve yalpa periyodunun büyük değerleri bulduğu gemilerde, yalpa açısının olması gerektiğinden fazla hesaplandığını saptamışlardır. Araştırmacılar, yalpa açısı tahminlerini aşağıdaki dört temele dayandırmaktadırlar:

1. IMO, efektif dalga eğimi katsayısını hesaplamak için kullandığı denklemi OG/T oranı 0.4 ile 0.6 arasında değişen gemilerden elde etmiştir. Dolayısıyla efektif dalga eğimi katsayısı bu değerlere göre en büyük 1 elde edilmektedir. Ancak birçok modern geminin OG/T oranı 1’den büyük çıkmaktadır. Bu yüzden araştırmacılar, efektif dalga eğimi katsayısının en büyük değerinin 1 alınması gerektiğini savunmuşlardır.
2. X_1 değeri, B/T’nin 2.4 ve 3.5 değerleri arasında lineer olarak değişmektedir. Bu aralığın dışında X_1 değeri için sabit değerler kabul edilmiştir. Fakat birçok modern geminin B/T oranı 3.5’den büyüktür.
3. IMO’nun uyguladığı yöntem, B/T=2.9, $C_B=0.6$ ve %2 yalpa omurgası alanına sahip bir gemi için Japon kriterinin uyguladığı yöntemle aynı güvenlik seviyesini verecek şekilde ayarlanmıştır. Fakat birçok modern gemi bu parametrelerden önemli ölçüde farklılık göstermektedir.
4. “s” değeri için verilen tablo, yalpa periyodu değerleri 6 ile 20 saniye olan gemilere göre verilmiştir. Bu aralığın dışında sabit değerler kabul edilmektedir. Fakat birçok modern geminin yalpa periyodu 20 saniyeyi geçmektedir.

4.2.3 Almanya

Almanya’da yapılan çalışmalar, daha çok hava kriterinin RoRo, RoPax ve bazı konteyner gemilerine uygulanması üzerine olmuştur. Yalpa açısının olması gerektiğinden daha fazla hesaplandığı görülmüş ve bazı ek faktörler tanımlanmıştır.

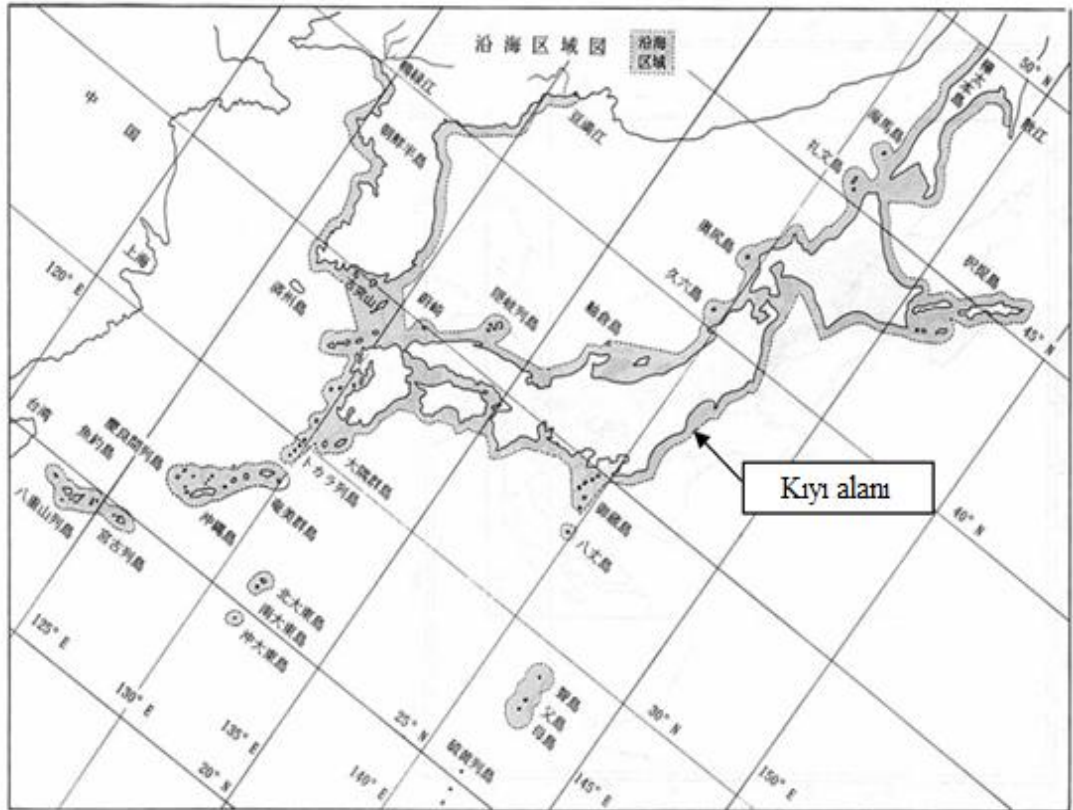
Gemilerin bir çoğunun artan meyil açılarında eğimin azaltılması ile yüksek başlangıç stabilitelerine sahip olduğu belirtilmiştir. Yalpa periyodu hesabı GM’e dayandırılmış fakat meyil açısının etkisi de hesaba katılmıştır. Daha büyük yalpa periyotlarının, daha büyük meyil açılarında düşük GM ile ilgili olduğu belirtilmiştir.

Özellikle güvertelerinde yük taşıyan gemilerin, varsayılan değerlerden daha büyük atalet momentine sahip oldukları ifade edilmiştir. Birçok geminin ise daha büyük B/T oranları ve buna bağlı olarak daha büyük ek kütle momentleri bulunmaktadır [6].

5. JAPON YOLCU GEMİLERİNE UYGULANAN HAVA KRİTERİ

2008 IS Code’da yer alan hava kriteri, Japon yolcu gemilerine ait stabilite standartlarına dayanmaktadır. Bu kriter Japon stabilite standartları ile birlikte Rusya Federasyonu ait yalpa açısı hesaplarını içermektedir.

Japon kriterinde gemiler seyir alanlarına göre üç sınıfa ayrılmaktadır. Bunlar; “Okyanus Aşırı (Ocean-going)”, “Kıyı Suları 1 (Coasting-1)” ve “Kıyı Suları 2 (Coasting-2)” olarak isimlendirilmektedir. Kıyı Suları 2 sınıfındaki gemiler, Seto İç Denizi’nde ya da Şekil 5.1’de görülen Japonya kıyılarından 20 deniz mili ile sınırlı kalan alanda 2 saatten fazla olmayacak şekilde seyir yaparlar. Kıyı Suları 1 sınıfındaki gemiler ise kıyı alanları içinde ve Okyanus Aşırı sınıfındaki gemiler kıyı alanların dışında seyir yaparlar.



Şekil 5.1: Japonya’da “Kıyı Suları 2” olarak tanımlanan bölge [7].

Her bir kategori için, bordadan gelen dalga durumunda, geminin alabora olmaması için yeterli emniyeti sağlayacak standart rüzgar hızı V_w belirlenmiştir (Çizelge 5.1). Standart rüzgar hızları, gemilerin seyir alanlarında karşılaşılabilecekleri rüzgar şiddetine göre atanmıştır.

Bu kriterde, rüzgar basıncı (P) ve dalga dikliğini (s) hesaplamak için verilen formül, standart rüzgar hızına bağlı olarak her kategorideki gemi grubu için ayrı ayrı verilmiştir. Dalga dikliğinin çizelge halinde verildiği IMO kriterinden farklı olarak, bu kriterde dalga dikliği, yalpa periyoduna bağlı olarak Çizelge 5.1'deki formüllerle hesaplanmaktadır.

IMO hava kriterinde kullanılan dalga dikliği rüzgar hızına ve yalpa periyoduna bağlıdır. Bu nedenle, rüzgar hızı deniz durumuna göre değişiyorsa dalga dikliği de değişmelidir. Ancak dalga dikliğinin en küçük değeri 0.035, en büyük değeri 0.1 olmalıdır.

Çizelge 5.1: Standart rüzgar hızına göre rüzgar basıncı değerleri ve dalga dikliği formülleri [7].

Kategori	V_w (m/s)	P (Pa)	s (dalga dikliği)
Kıyı Suları 2	15	168	0.155-0.0130T
Kıyı Suları 1	19	269	0.153-0.0100T
Okyanus Aşırı	26	504	0.151-0.0072T

1 Şubat 1957 yılında yürürlüğe giren Japon stabilite standartları, yolcu gemilerinin hava kriteri ile birlikte diğer GM ve maksimum doğrultucu moment kolu ilgili kriterleri sağlamalarını zorunlu hale getirmiştir. Bu standardın Japonya'da yolcu gemileri için kabul edilmesinden önce birçok gemi alabora olmuştur. Ancak, bu standartla birlikte, son 50 yılda böyle bir kaza meydana gelmemiştir. Bu durum, sadece 2007 yılında 600 gemi ve standardın uygulanmaya başladığı tarihten itibaren binlerce geminin Japonya'da kayıt altına alındığını düşündüğümüzde, standart rüzgar hızı ve buna bağlı olarak rüzgar basıncı ve dalga dikliği formülasyonunun, gemilerin devrilmeye karşı emniyetini sağlamak için oldukça yeterli olduğunu göstermektedir.

5.1 Standart Rüzgar Hızı Tayini

5.1.1 Japon denizlerinde olası en kötü hava koşulları

Japon kriterinin geliştirilmesi esnasında, her kategorideki gemiler için denizde karşılaşılabilecek en kötü hava koşulları belirlenmiştir. Kıyı Suları 2 (Coasting-II)

sınıfındaki gemiler için cephe rüzgarlarının, Kıyı Suları 1 (Coasting-I) sınıfındaki gemiler için düşük rüzgarların ve Okyanus Aşırı sefer yapan gemiler için tayfunların en kötü rüzgar durumları olduğu tahmin edilmiştir.

Rüzgar gözlem verilerine dayanarak, her kategorideki gemi grubu için emniyetli bir seyir sağlayacak rüzgar türü ve hızı Çizelge 5.2’de verilmiştir. Kriterin baz aldığı durumlar için birtakım değerlendirmeler yapıldıktan sonra Japon kriterinin, bordadan gelen rüzgar ve dalga koşullarında alaboraya karşı emniyeti sağlamayı amaçladığı saptanmıştır. Burada bahsedilen dalga koşulları tayfun ya da düşük rüzgarların ortalama ile maksimum değerleri arasında kalan ara alandır.

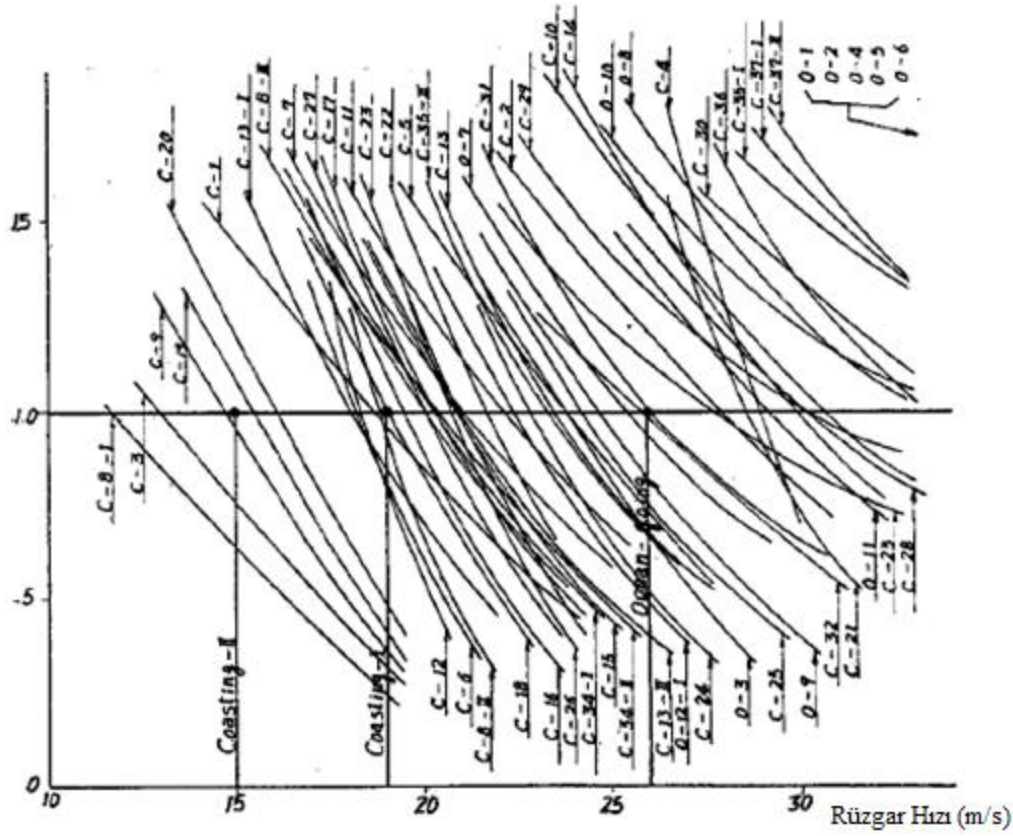
Çizelge 5.2: Denizlerde karşılaşılabilecek en kötü hava koşulları [7].

Kategori	Ortalama sabit rüzgar hızı	Maksimum rüzgar hızı	Rüzgar
Kıyı Suları 2	15 m/s	-	Cephe rüzgarı
Kıyı Suları 1	15 m/s	32 m/s	Düşük rüzgarı
Okyanus Aşırı	20 m/s	50 m/s	Tayfun

5.1.2 Standart rüzgar hızının belirlenmesi

Ortalama sabit rüzgar hızı ile maksimum rüzgar hızı arasındaki ara alanda kalan rüzgar hızını tayin etmek için çok fazla sayıda seçenek bulunmaktadır ve bu alandaki dalgaların düzensizliği belirsizdir. Japon kriteri, düzensiz dalgalardaki yalpa ve ani rüzgarı belirlemek için olasılık yaklaşımı kullanmaktadır. Bu yaklaşımlar son durumdaki olasılıklı emniyet seviyesini belirsizleştirmektedir. Ayrıca, standart rüzgar hızı tüm bu belirsiz etkenler hesaba katılarak belirlenmektedir.

Japon kriteri için standart rüzgar hızının bir parametre olarak alındığı, 50 gemi üzerinde testler gerçekleştirilmiştir. Bunlardan, 37’si Kıyı Suları 1 ve Kıyı Suları 2 sınıfına giren gemiler, 13’ü ise Okyanus Aşırı sefer yapan gemilerden seçilmiştir. Şekil 5.2’deki verilere dayanarak, standart rüzgar hızı, Kıyı Suları 2 sınıfındaki gemiler için 15 m/s, Kıyı Suları 1 sınıfındaki gemiler için 19 m/s ve Okyanus Aşırı sınıfındaki gemiler için 26 m/s olarak atanmıştır. Daha sonra IMO 26 m/s rüzgar hızını kritik rüzgar hızı olarak kabul etmiştir. Bu rüzgar hızları, gerçek rüzgar istatistiklerinden değil, gemilerin kaza istatistiklerinden elde edilmektedir. Bununla birlikte, Çizelge 5.2’deki rüzgar hızları atanan rüzgar hızları ile kıyaslandığında, atanan rüzgar hızlarının daha gerçekçi olduğu görülmektedir.



Şekil 5.2: Standart rüzgar hızını tayin etmek için yapılan test sonuçları (Watanabe, 1956; Yamagata, 1959) [7].

5.2 Rüzgar Basıncı

Japon kriterinde kullanılan rüzgar basıncı (P), her kategori için atanan standart rüzgar hızına (V_w) göre aşağıdaki denklem ile hesaplanmaktadır:

$$P = \frac{1}{2} \rho C_D V_w^2 \quad (5.1)$$

Burada; ρ havanın yoğunluğunu ifade eder ve değeri 1.225 kg/m^3 'dür. C_D ise sürtünme direnci katsayısıdır ve değeri 1.22 olarak alınır.

Sonuç olarak, her kategorideki gemi grubu için ayrı bir rüzgar basıncı hesaplanmaktadır (Çizelge 5.1). Buna göre, okyanus aşırı sefer yapan gemiler için rüzgar hızı 504 Pa olarak alınmıştır. Bu değer ayrıca IMO'nun hava kriterinde kullanılan değer ile aynıdır. Rüzgar basıncı, Kıyı Suları 1 sınıfına giren gemiler için 269 Pa ve Kıyı Suları 2 sınıfına giren gemiler için 168 Pa olarak tayin edilmiştir [7].

Sürtünme direnci katsayısı, yolcu gemileri ve tren taşıyan feribotlara yapılan deneyler sonucu bulunmuştur. 0.95 ile 1.28 arasında çıkan deney sonuçlarına göre

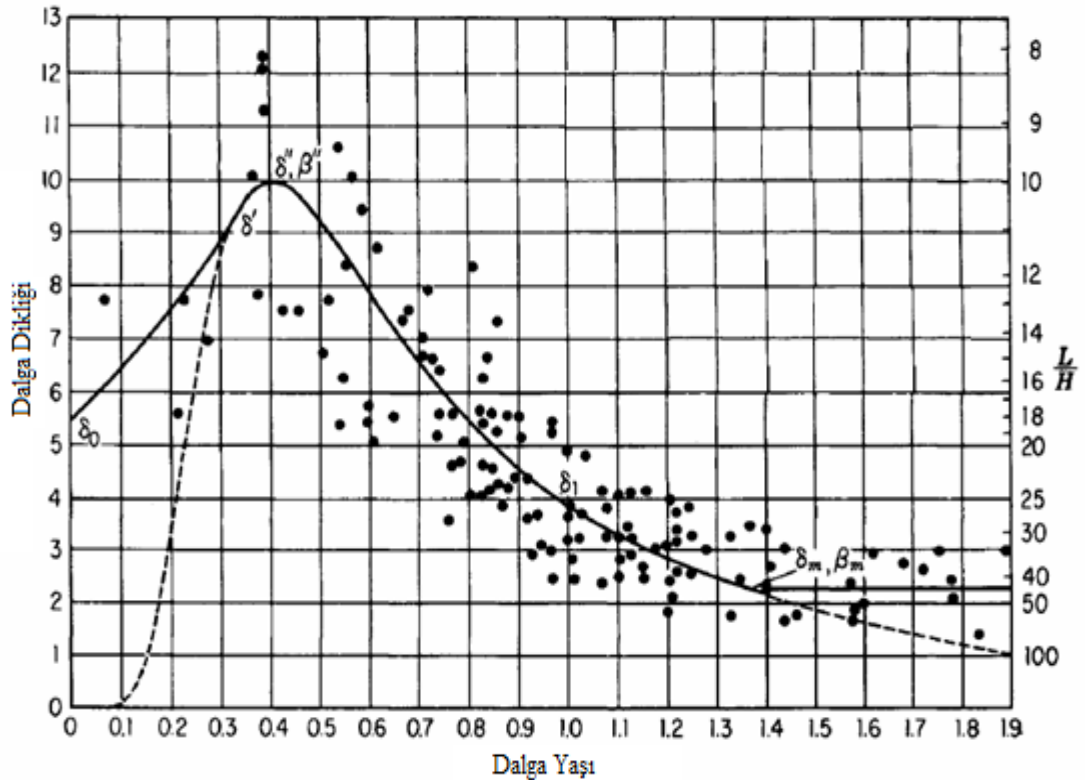
sürtünme direnci katsayısının ortalama 1.22 alınmasına karar verilmiştir. Bu değer aynı zamanda IMO tarafından da kullanılmaktadır [8].

5.3 Dalga Dikliği

Hava kriterinde kullanılan dalga dikliği, rüzgar hızına bağlı olarak değişmektedir. Eğer standart rüzgar hızı belli ise, buna bağlı olarak dalga dikliği belirlenebilmektedir. Bu bölümde, her kategoride, dalga dikliği hesaplama formülü türetmek için gerekli olan bilgi verilecektir. Dalga dikliğini ifade etmek için “ δ ” sembolü kullanılacaktır.

5.3.1 Dalga yaşı ile dalga dikliği arasındaki bağıntı

Şekil 5.3’de, iklim verileri kullanarak deniz durumu tahmini yapabilmek için Sverdrup ve Munk (1947) tarafından kullanılan dalga yaşı (dikey eksen) ve dalga dikliği (yatay eksen) arasındaki bağıntı görülmektedir. Dalga yaşı “ β ” sembolü ile ifade edilmektedir.



Şekil 5.3: Dalga yaşı ile dalga dikliği arasındaki bağıntı (Sverdrup ve Munk, 1947) [7].

Dalga yaşı aşağıdaki denklemde gösterildiği gibi dalga hızı (C) ile rüzgar hızı (V) arasındaki orandır:

$$\beta = \frac{C}{V} \quad (5.2)$$

Sverdrup ve Munk, yukarıdaki şekilde siyah noktalar ile gösterilen verileri ve teorik değerlendirmeleri göz önüne alarak, dalga yaşı ve dalga dikliği arasındaki bağıntıyı türetilmiş eğri ile göstermişlerdir. Dalga dikliği ve dalga yaşı arasındaki bağıntı şekilde görüldüğü gibi dalga yaşının 0 ile 0.350 değerleri arasında, 0.350 ile 1.369 değerleri arasında ve 1.369 ve daha büyük değerleri arasında olmak üzere üç bölümden oluşmaktadır.

5.3.2 Dalga periyodu ile dalga dikliği arasındaki bağıntı

Dalga dikliği, geminin rezonans yalpa hareketine denk gelmektedir. Buna göre, kriterde kullanılan yalpa periyodunun, geminin doğal yalpa periyodu ile aynı olduğu varsayımında bulunulabilir.

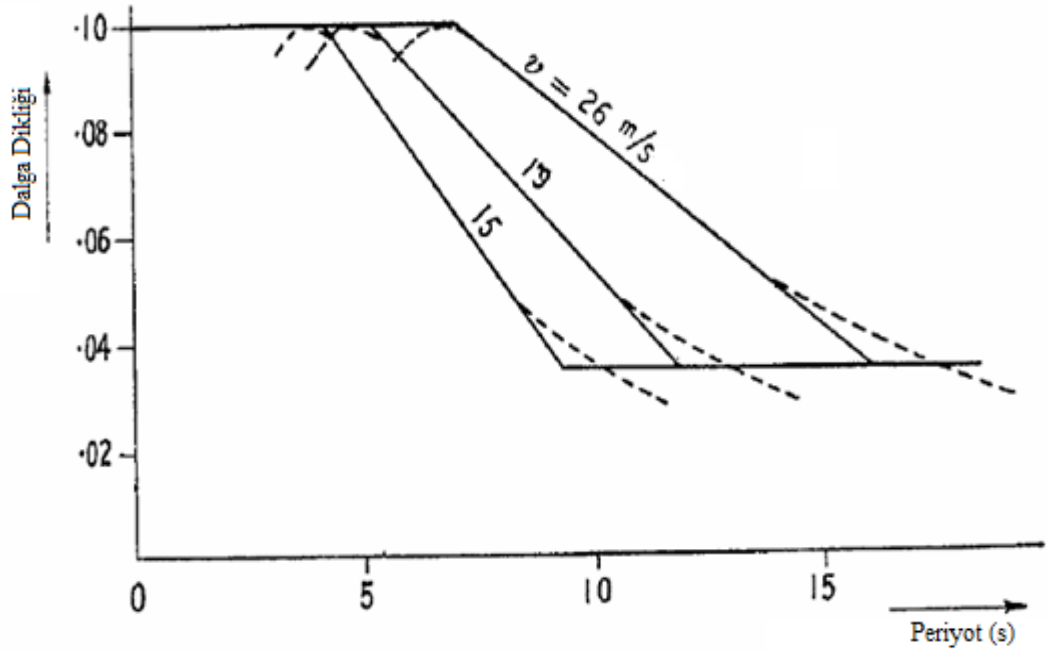
Aşağıdaki denklem, dispersiyon bağıntısı olarak bilinen, dalga hızı (C) ile dalga periyodu (T_w) arasındaki ilişkiyi göstermektedir. “g” yerçekimi ivmesini göstermektedir.

$$C = \frac{gT_w}{2\pi} \quad (5.3)$$

Yukarıdaki 2 denklemi kullanarak, dalga yaşı ve dalga periyodu arasındaki aşağıdaki bağıntı elde edilebilir:

$$\beta = \frac{gT_w}{2\pi V} \quad (5.4)$$

Her kategori için verilen rüzgar hızlarını yukarıdaki denklemde yerine koyarsak, Sekil 5.3’de gösterilen dalga yaşı ve dalga dikliği arasındaki ilişki Yamagata tarafından 1959 yılında önerilen ve Şekil 5.4’de gösterilen dalga periyodu ve dalga dikliği bağıntısına dönüştürülebilmektedir.



Şekil 5.4: Standart rüzgar hızları için dalga periyodu ve dalga dikliği arasındaki bağıntı (Yamagata, 1959) [7].

5.3.3 Kategoriler için dalga dikliğinin hesaplanması

Şekil 5.4’de gösterildiği gibi dalga periyodu ve dalga dikliği arasındaki bağıntı dalga dikliğinin en küçük ve en büyük değerine göre sınırlandırılmıştır. Bu kısıtlama IMO’nun olası okyanus dalga spektrumuna dayanmaktadır. Çizelge 5.1’de dalga dikliğini hesaplamak için verilen formüller, her kategori için Şekil 5.4’de gösterilen lineer eğrilerin fonksiyonlarıdır.

5.3.4 Dalga dikliğinin çizelge olarak tanımlanması

IMO kriterinin geliştirilmesi esnasında, dalga dikliği için verilen formulasyonun, lineer yaklaşımın her iki ucunda uygunsuz sonuçlar verdiği görülmüştür. Bu uygunsuzluğu gidermek için, en küçük ve en büyük değerler sabit tutularak bu değerler arasında lineer yaklaşım yoluna gidilmiştir.

Çizelge 5.3’de Okyanus Aşırı sefer yapan gemiler için kullanılan dalga dikliği değerleri verilmiştir. Bu değerler ayrıca IMO tarafından da uygulanmaktadır. Çizelge 5.4’de Kıyı Suları 1 kategorisindeki gemiler, Çizelge 5.5’de Kıyı Suları 2 kategorisinde sefer yapan gemiler için dalga periyoduna bağlı olarak dalga dikliği değerleri verilmiştir [7].

Çizelge 5.3: IMO Kriterindeki dalga dikliği (Okyanus Aşırı kategorisi) [7].

T(s)	6.0	7.0	8.0	12.0	14.0	16.0	18.0	20.0
δ	0.100	0.098	0.093	0.065	0.053	0.044	0.038	0.035

Çizelge 5.4: Kıyı Suları 1 kategorisi için dalga dikliği [7].

T(s)	4.5	5.5	6.0	7.0	9.0	11.0	12.0	13.0	14.0
δ	0.100	0.099	0.093	0.083	0.063	0.046	0.041	0.037	0.035

Çizelge 5.5: Kıyı Suları 2 kategorisi için dalga dikliği [7].

T(s)	3.5	4.0	4.5	5.0	7.0	9.0	9.5	10.0	10.5
δ	0.100	0.099	0.096	0.900	0.064	0.042	0.038	0.037	0.035

6. BSRA HAVA KRİTERİ

BSRA (British Society for Research on Ageing) tarafından verilen hava kriteri, gemi ve çevre ile ilgili parametreleri ve gemi tepkilerinin hesabı için kanıtlanmış metotları kullanarak mevcut hava kriteri performansını kanıtlamak amacıyla yapılan çalışmaların sonucunu göstermektedir. Hava kriterindeki parametreler belirtilmiş, ardından kriterin önerilen formu gösterilmiştir. 3 örnek İngiliz gemisi için yapılan hesaplamaların sonuçları, IMO hava kriterinin sonuçları ile karşılaştırılarak verilmiştir. Sonuç olarak önerilen hava kriterinin avantajları değerlendirilmiştir.

BSRA, matematik modellemeyi kullanarak Japonlar tarafından önerilen hava kriterinin hesaplama aşamalarını rasyonalize etmek için bir çalışma gerçekleştirmiştir. Bu çalışma; rüzgar, sağanak rüzgar ve dalga yüklerinin tespiti ve geminin bu olaylara tepkisinin hesaplanmasını orijinal önerideki gibi ele almıştır ve önerilen kriterin yalnızca daha doğru olması amacını taşımaktadır. IMO hava kriteri arkasındaki mantık birçok yetersizlik içerir ve bunlardan bazıları UK (United Kingdom) tarafından IMO'ya sunulmuştur. BSRA matematik modelleme projesinin temel amacı rasyonel bir stabilite kriteri düzenlemek ve geçici kriterleri yenilemek olduğu için kriterin bu yönü hiç düşünülmemiştir.

6.1 Rüzgar ve Sağanak Rüzgar Yükleri

Japon önerisinde sunulduğu gibi hava kriterinin rüzgar bileşeni, geminin rüzgar yönünde yalpa yaptığı durumda, sabit rüzgar meyil momenti M_{ws} 'yi ve M_{ws} 'nin 1.5 katı olan birleştirilmiş sağanak rüzgar momentini içerir. Sabit rüzgar meyil momenti ve sağanak rüzgar faktörü hesaplamaları aşağıdaki seçimleri gerektirir:

- Ortalama rüzgar hızı (Ortalama periyodu içeren)
- Sağanak rüzgar süresi
- Rüzgar hızı profilleri
- Seçilen koşul için hesaplama metodu

Mevcut araştırmaların sınırı dahilinde, ortalama rüzgar hızı değerleri 10 dakikalık periyotlarla alınmıştır. Ortalama rüzgar hızı için uygun değerler okyanus aşırı sefer yapan gemiler için 26 m/s kıyı sularında sefer yapan gemiler için 20 m/s olarak seçilmiştir. Sağanak rüzgar hesabı kabulü için (hem alan dengesi hem dinamik hesaplama açısından) sağanak rüzgarın yalpa periyodunun çeyreği kadar zamanda sonlanması gerekir. Sonuç olarak, sağanak rüzgar süresinin 5 saniye yada yalpa periyodunun çeyreğinden hangisi büyük ise o değer olarak seçilmesi gerekir.

Rüzgar profili ve yatırııcı rüzgar momenti hesabı için, deney bazlı Gould metodu kabul edilmiştir. Bu metoda göre rüzgar profili aşağıdaki gibi güç kanunu ile verilir:

$$\left(\frac{u_h}{u_{ref}} \right) = \left(\frac{h}{h_{ref}} \right)^{1/m} \quad (6.1)$$

Burada; u_h , h yüksekliğindeki hızı ve u_{ref} ve h_{ref} bu değerler için verilen referans değerleri göstermektedir. m kuvveti, deniz yüzeyinin pürüzlölük faktörü z_0 ve ortalama hız yüksekliği h_a 'ın fonksiyonu olarak aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$m = \ln(h_a / z_0) \quad (6.2)$$

$$z_0 = 7.31 \times 10^{-7} u_{10}^2 + 8.68 \times 10^{-8} u_{10}^3 \quad (6.3)$$

$$h_a = \sqrt{h_1 h_2} \quad (6.4)$$

Burada; u_{10} , 10 metredeki ortalama rüzgar hızını, h_1 ve h_2 sırayla rüzgar kuvveti hesabı için gerekli alt ve üst yükseklikleri ifade eder. Pratik olması amacıyla, h_1 değerinin h_2 değerinin 0.1 katı alınması tavsiye edilir.

Sabit rüzgar kuvveti, deneysel olarak bulunan C_y kuvvet katsayısı ve yüzey ortalama rüzgar hızı $\bar{U}$ yardımı ile hesaplanır. Gould üst yapıları 16 farklı tipe ayırır. Bu üst yapılar, farklı yöndeki rüzgar hızları için kuvvet katsayıları sağlamasına rağmen, mevcut kritere göre sadece bordadan gelen dalgalar önemlidir. Ortalama yüzey rüzgar hızı, gemi profilinin çok sayıda segmente ayrılmasıyla hesaplanır. En genel alan eleman şekli yamuk olarak seçilmektedir. Tüm segmentlerin integrasyonundan sonra ortalama hız-alan çarpımı ve alan merkezi aşağıdaki gibi elde edilir (izelge 6.1).

Çizelge 6.1: Hız-alan çarpımı ve alan merkezlerinin elde edilmesi [9].

Şekil	Ortalama hız-alan çarpımı ($A\bar{U}^2$)	Alan merkezi (Z_c)
Yamuk	$\frac{m^2 b H}{2(m+1)(m+2)} \frac{1-r^{2(m+1)/m}}{1-r} U_H^2$	$\frac{H(m+2)}{3m+2} \frac{1-r^{(3m+2)/m}}{1-r^{2(m+1)/m}}$
Üçgen	$\frac{m^2 b H}{2(m+1)(m+2)} U_H^2$	$\frac{H(m+2)}{3m+2}$
Dikdörtgen	$\frac{m b H}{m+2} U_H^2$	$\frac{H(m+2)}{2(m+1)}$

Burada; H en büyük yüksekliği, b genişliği, A alanı ve U_H ise H yüksekliğindeki hızı ifade etmektedir.

Sonuç olarak, sabit rüzgar kuvveti ve F_{WS} ve yatırıncı rüzgar momenti M_{WS} aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

$$F_{WS} = \frac{1}{2} \rho_A C_y \sum_{i=1}^N A_i \bar{U}_i^2 (H_i / h_{ref})^{2/m} \quad (6.5)$$

$$M_{WS} = \frac{1}{2} \rho_A C_y \sum_{i=1}^N A_i \bar{U}_i^2 (Z_{ci} + Z_R)(H_i / h_{ref})^{2/m} \quad (6.6)$$

Burada; ρ_A havanın yoğunluğunu, N segment sayısını ve Z_R su altı direnç kuvvetinin su yüzeyinden itibaren ölçülen yüksekliğini vermektedir. Z_R yaklaşık olarak draftın yarısı (normalde sağanak rüzgar etkisi için bu değerden daha küçük olmasına rağmen) alınabilir.

Mitsuta, sağanak rüzgar hız değişkeninin, ortalama rüzgar hızı ve sağanak rüzgar süresinin fonksiyonu olduğunu araştırmış ve aşağıdaki denklemi önermiştir:

$$U_G = \left(\frac{S}{D} \right)^{-\alpha} U_M \quad (6.7)$$

Burada; U_G ve U_M sırasıyla sağanak rüzgar ve ortalama rüzgar hızlarını ifade etmektedir. S sağanak rüzgar süresini, D periyodu ve α Mitsuta tarafından deneysel olarak 0.09 bulunan değeri ifade eder. Japon kriteri için önerilen karakteristik değerler olan sağanak rüzgar süresini 5 saniye ve periyodu 10 dakika olarak kullandığımızda, sağanak rüzgar faktörü 1.54 olarak elde edilmektedir. Rüzgar kuvveti, hızın karesiyle orantılı olduğundan, rüzgar kuvveti için sağanak rüzgar

faktörü 2.35 çıkmaktadır. BSRA hava kriteri kapsamında sağanak rüzgar hızı faktörü k aşağıdaki formül ile hesaplanır:

$$k = (S / 600)^{-0.018} \quad (6.8)$$

Burada; S, yalpa periyodunun çeyreği yada 5 saniye hangisi büyük ise o değer alınmalıdır. Sonuç olarak sağanak rüzgar yatırıcı momenti aşağıdaki gibi elde edilir:

$$M_G = kM_{ws} \quad (6.9)$$

6.2 Yalpa Denklemindeki Parametreler

Bordadan gelen dalgalarda gemi hareketini ifade etmek için aşağıdaki denklem kullanılır.

$$(I + m)\ddot{\theta} + b\dot{\theta} + c\theta = e_w \cos \Omega t \quad (6.10)$$

Burada; I ve m sırasıyla, kütle ve ek kütle atalet momentini, b yalpa sönüm faktörünü, c hidrostatik geri getirme faktörünü ve e_w ve Ω sırasıyla yalpa genliğini ve frekansını temsil etmektedir. Bu büyüklüklerin belirlenmesinde kullanılan metotlar aşağıda sunulacaktır.

6.2.1 Atalet momenti

Atalet momentleri aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$I + m = \rho \nabla [(k_x + k'_x) B]^2 \quad (6.11)$$

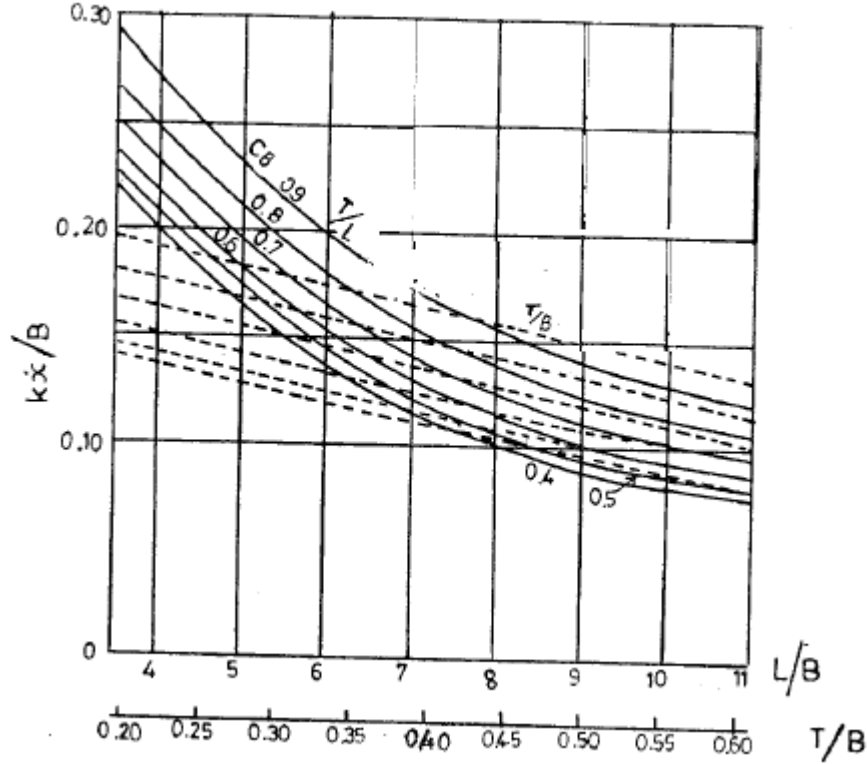
Burada; ρ su yoğunluğunu, ∇ sualtı hacmini, B genişliği, ve k_x ile k'_x sırasıyla atalet ve ek kütle jirasyon katsayılarını temsil etmektedir. Atalet jirasyon katsayısı yaklaşık olarak aşağıdaki denklem ile bulunur:

$$k_x = 0.3725 + 0.0227(B/T) - 0.0043(L/10) \quad (6.12)$$

L metre cinsinden gemi boyunu temsil etmektedir.

Ek kütle jirasyon katsayısı yaklaşık olarak Denklem 6.13 ile elde edilir. Denklemde yer alan (L/B) , (B/T) ve C_B oranlarının fonksiyonu olan c_0 , c_1 ve c_2 katsayıları Motora tarafından verilen Şekil 6.1’de gösterilen eğriler sayesinde bulunur.

$$k'_x = c_0 + c_1 C_B + c_2 C_B^2 \quad (6.13)$$



Şekil 6.1: Ek kütle jirasyon katsayısının belirlenmesi (Motora) [9].

6.2.2 Yalpa sönümü

Yalpa sönümü hesabı Ikeda, Himeno ve Tanaka tarafından önerilen metoda dayanmaktadır. Bu metot yalpa sönümünün beş bileşenden oluştuğunu kabul eder. Bu bileşenler aşağıdaki gibidir:

1. Yüzey sürtünmesi sönümü, B_F
2. Girdap sönümü, B_E
3. Kaldırma kuvveti sönümü, B_L
4. Yalpa omurgası sönümü, B_{BK}
5. Dalga sönümü, B_W

Bu bileşenlerden bazıları açısız yalpa hareketiyle birlikte lineer, bazıları quadratik biçimde davrandığından toplam yalpa sönüm momentinin lineerleştirilmesiyle aşağıdaki ifade elde edilir:

$$b = (b_1 + \frac{4}{3\pi} \Omega \vartheta_0 b_2) \quad (6.14)$$

Burada; θ_0 yalpa genliğini ifade etmektedir.

Mevcut kriterde, geminin ileri doğru hızı sıfır alınır ve θ_0 için yalpa genliği değeri ya da 20° hangisi büyük ise o değer alınır. Kriter için gerekli diğer bilgiler kesit alanları, su hattı yarı genişlikleri ve doğrultucu moment kolu hesabında da kullanılan trimsiz durumda dizayn istasyonlarındaki yerel draft değerleridir.

6.2.3 Hidrostatik geri getirme faktörü

Yalpa hidrostatik geri getirme faktörü, katı bir lineer yaklaşımla aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$c = \rho g \nabla \overline{GM} \quad (6.15)$$

Burada; g yerçekimi ivmesini ve $\overline{GM}$ başlangıç metasantr yüksekliğini ifade eder. Bununla birlikte, $\overline{GZ} - \theta$ eğrisi alışılmışın dışında bir eğilim gösteriyorsa veya yalpa genliği büyükse (20 derece veya daha büyük değerleri için) yukarıda ifade geçersiz olur. Uygun bir lineer yaklaşım ile eşdeğer $\overline{GM}_e$ değeri θ_0 açısına kadar aşağıdaki gibi elde edilir:

$$\overline{GM}_e = 2 \int_0^{\vartheta_0} \overline{GZ} d\vartheta / \vartheta_0^2 \quad (6.16)$$

Burada; θ_0 yalpa genliği ve 20° 'den büyük seçilir. Böylece hidrostatik geri getirme faktörü aşağıdaki halini alır:

$$c = \rho g \nabla \overline{GM}_e \quad (6.17)$$

6.2.4 Uyarıcı dalga kuvveti

Bu bileşen Watanabe tarafından önerilen aşağıdaki formül ile yaklaşık olarak hesaplanır:

$$e_w = \rho g \nabla \overline{GM} \tau \alpha \quad (6.18)$$

Burada; α dalga dikliğini ifade eder. τ ise gemi genişliğinin dalga boyuna kıyasla küçük olmadığı durumlarda dalga dikliği üzerindeki geminin etkisini gösteren ve 1'den küçük alınması gereken bir faktördür. Bu değiştirme faktörü aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\tau = 1 - \frac{B}{2GM} \phi \quad (6.19)$$

Burada ϕ aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\phi = \frac{\beta}{3} \left\{ f_1 + \gamma^2 \ell_2 \right\} + \frac{\beta^2}{6} \left\{ \frac{f_2}{5\gamma} - \frac{3}{2} f_1 \gamma \ell_1 + \frac{3}{4} \gamma^3 \ell_3 \right\} + \frac{\beta^3}{6} \left\{ \frac{2}{3} \gamma^3 f_1 \ell_2 - \frac{1}{5} (\gamma^5 \ell_4 + f_2) \right\} \quad (6.20)$$

Denklem 6.20'de yer alan ifadeler aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\gamma = 2r_1 / B \quad (6.21)$$

$$r_1 = C_B T / C_W \quad (6.22)$$

$$\beta = B / (2R) \quad (6.23)$$

$$R = L\Omega / (2\pi) \quad (6.24)$$

Burada; C_W su hattı alanı katsayısını ve $f_1, f_2, \ell_1, \ell_2, \ell_3$ ve ℓ_4 Çizelge 6.2 ve 6.3'de C_W ve GF/T oranlarının fonksiyonu olarak verilen katsayıları ifade etmektedir. GF ise yüzme merkezi ile ağırlık merkezi arasındaki mesafedir.

Çizelge 6.2: f_1 ve f_2 katsayıları için değerler [9].

C_W	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
f_2	0.336	0.460	0.588	0.726	0.874	1.020
f_1	0.500	0.610	0.740	0.826	0.944	1.000

Çizelge 6.3: ℓ_1, ℓ_2, ℓ_3 ve ℓ_4 katsayıları için değerler [9].

GF/T	-0.4	-0.2	0.0	0.2	0.4
ℓ_1	1.905	1.400	1.000	0.610	0.210
ℓ_2	2.705	1.842	1.000	0.526	0.315
ℓ_3	3.842	2.095	1.000	0.421	0.095
ℓ_4	5.442	2.526	1.000	0.386	0.095

6.3 Yalpa Tepkisinin Hesaplanması

Yalpa tepkisinin hesaplanmasındaki ilk adım ani dalga koşullarını seçmektir. Hesaplamaları basitleştirmek için bir dizayn dalgası yaklaşımı kabul edilmiş ve bu dizayn dalgası, ITTC (International Towing Tank Conference) ile birlikte ortalama sıfırdan geçiş periyoduna ($\bar{T}$) göre değişen belirli dalga yüksekliği $(\tau_w)_{1/3}$ olarak seçilmiştir. Belirgin dalga yüksekliği aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

$$(\tau_w)_{1/3} = \bar{T}^2 / 12.6025 \quad (6.25)$$

Ortalama sıfırdan geçiş periyodu lineer doğal yalpa periyoduna eşit olarak aşağıdaki gibi alınır:

$$T_n = \frac{2\pi(k_x + k'_x)B}{\sqrt{gGM}} \quad (6.26)$$

Bu değerin okyanus aşırı sefer yapan gemiler için 20 saniye, kıyı sularında sefer yapan gemiler için 16 saniyeden az olması gerekir.

Buna bağlı olarak, dalga dikliği aşağıdaki formül ile hesaplanır:

$$\alpha = 4\pi^2(\tau_w)_{1/3}(g\bar{T}^2) \quad (6.27)$$

Ani dalga frekansı $\Omega = 2\pi/\bar{T}$ olarak tanımlanır. Bununla birlikte, dalga dikliğinin 0.142857'den büyük olmasına izin verilmez.

Diğer adım, dizayn dalgası karakteristiklerini belirlemektir. Daha önce dalga hareketini ifade etmek için verilen denklemin (Denklemler 6.10) her iki tarafı $(I+m)$ 'e bölünürse aşağıdaki denklem elde edilir:

$$\ddot{\theta} + 2d\omega\dot{\theta} + \omega^2\theta = F_2 \cos\Omega t \quad (6.28)$$

Denklemler 6.28'de yer alan ifadeler aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$d = 0.5b/[(I+m)\omega] \quad (6.29)$$

$$\omega^2 = 2\pi/T_n \quad (6.30)$$

$$F_2 = e_w / (I + m) \quad (6.31)$$

Yalpa tepkisi için genel denklem aşağıdaki gibi elde edilir:

$$\mathcal{G} = e - d\omega t \left\{ \left(\mathcal{G}_* \cos \omega_1 t + \frac{\theta_* d\omega + \dot{\theta}_*}{\omega_1} \sin \omega_1 t \right) - \frac{F_a}{\left[(\omega_2 - \Omega_2)^2 + 4d^2 \omega^2 \Omega^2 \right]} \right\} \quad (6.32)$$

$$+ \frac{F_a}{\left[(\omega^2 - \Omega^2)^2 + 4d^2 \omega^2 \Omega^2 \right]} \cos(\Omega t - \phi)$$

$$\phi = \tan^{-1} \left[2d\Omega / (\omega^2 - \Omega^2) \right] \quad (6.33)$$

Burada; θ_* ve $\dot{\theta}_*$ sırasıyla başlangıç yalpa açısını ve açısal hızı ifade etmektedir. ω_1 ise aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\omega_1 = \sqrt{\omega^2 - d^2} \quad (6.34)$$

6.4 Sağanak Rüzgar Tepkisinin Hesaplanması

BSRA kriterinde, IMO kriterinde olduğu gibi, sağanak rüzgar tepkisini belirlemek için alan dengesi gibi yarı dinamik bir yaklaşım kullanılmıştır. Ayrıca tamamen dinamik bir metot da uygulanmıştır. Bu yaklaşım için çözüm denklemi aşağıdaki gibidir:

$$(I + m)\ddot{\mathcal{G}} + b\dot{\mathcal{G}} + \rho g \nabla \overline{GZ}(\mathcal{G}) = M_G U(t) \quad (6.35)$$

Hesaba dayalı yaklaşımlar, yalpa açısı negatif olduğunda, dinamik genlik oranlarının ve yarı dinamik tepkilerin 0.7 ile 1.0 arasında değiştiğini ve daha büyük değerler elde edildiğini ortaya koymaktadır. Bununla birlikte, yalpa açısının pozitif olması durumunda, dinamik metotta yarı dinamik metoda göre daha büyük değerler elde edilmektedir.

6.5 Pozitif Stabilite Aralığı

Başlangıç stabilitesi değerlendirmesinde kullanılan Popov'un stabilite kriterlerinin uygulanmasında pozitif stabilite aralığı, basit bir geometrik modelden elde edilmiştir. Kritere göre yalpa hareketi aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$\ddot{\vartheta} + 2d\omega\dot{\vartheta} + g(\vartheta) = e(t) \quad (6.36)$$

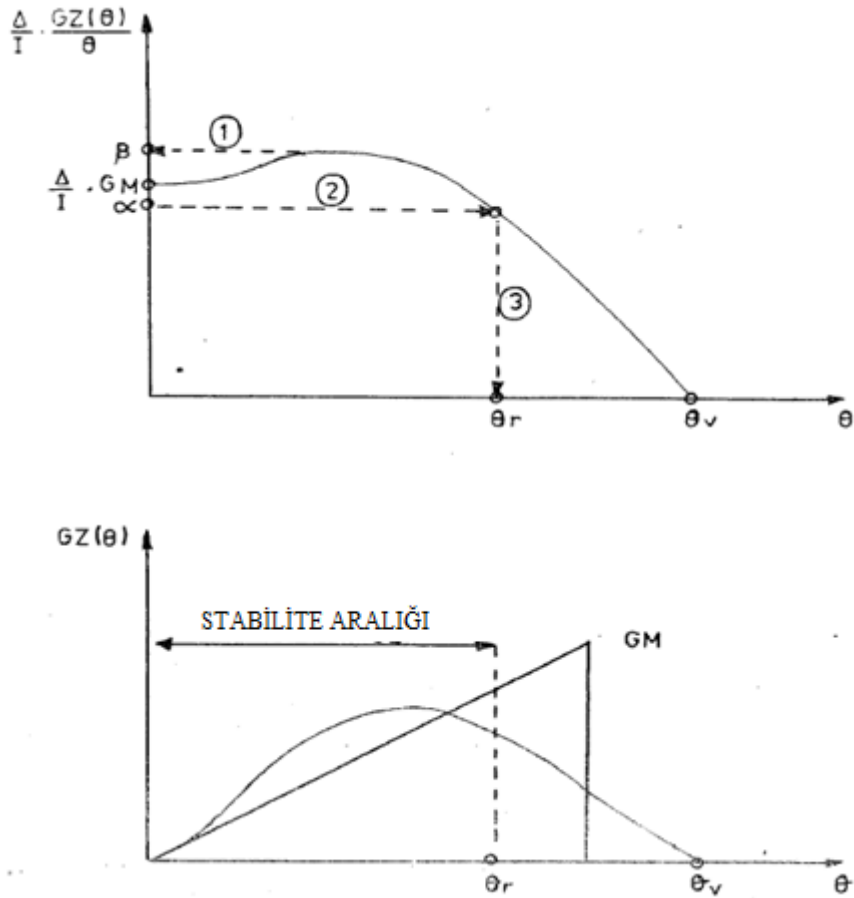
Sabit aralık aşağıdaki gibi belirlenir:

$$0 \leq \alpha \leq \frac{g(\vartheta)}{g} \leq \beta \quad (6.37)$$

α ve β aşağıdaki şartı sağlamalıdır:

$$2d\omega \geq \sqrt{\beta} - \sqrt{\alpha} \quad (6.38)$$

Stabilite aralığını belirlemede kullanılan metot Şekil 6.2'de gösterilmiştir.



Şekil 6.2: Pozitif stabilite aralığının belirlenmesi [9].

Buna göre aşağıdaki adımlar izlenir:

1. β 'nın en büyük değeri belirlenir. β aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

$$\beta = \left(\frac{\Delta \overline{GZ}}{I \vartheta} \right)_{\max} \quad (6.39)$$

2. Denklem 6.38'e göre α belirlenir.
3. α 'ya bağlı olarak θ_r açısı belirlenir.

BSRA hava kriterine göre stabilite aralığı θ_r veya 50° (hangisi daha küçükse) olarak seçilir.

6.6 Metodun Uygulanması

BSRA hava kriterine göre örnek üç UK gemisinin farklı yükleme koşullarında IMO hava kriteriyle karşılaştırması yapılmıştır. Çizelge 6.4'de hesaplanan sabit rüzgar altındaki meyil açıları ve rüzgar doğrultusundaki yalpa açıları sunulmuştur. Gemiler UK3, UK11 ve UK18 olarak gösterilmiştir.

Çizelge 6.4: BSRA ve IMO hava kriterinin karşılaştırılması [9].

Gemi	Deplasman	φ_0		φ_1	
		IMO	BSRA	IMO	BSRA
UK3	1581.8	12.581	4.065	-8.125	-19.020
	1880.7	18.003	9.109	-2.883	-13.160
	1746.1	19.674	9.044	-0.283	-13.130
	1423.1	15.134	8.832	-4.130	-8.830
	1567.1	17.937	8.016	-1.242	-14.770
UK11	654.2	9.721	6.225	-18.165	-17.480
	1078.7	2.868	1.988	-29.975	-15.840
	1020.0	19.597	3.717	-3.825	-11.780
	677.2	21.252	13.107	-1.450	-12.700
UK18	2159	13.077	8.311	-4.734	-8.440
	1943	10.960	6.539	-7.675	-10.420
	2847	22.304	21.926	9.094	-8.980
	2706	20.360	9.729	3.814	-9.590

6.7 Kriter Sonuçları

BSRA hava kriterinin amacı rasyonel bir stabilite kriteri türetmek değil; genel hesaplama sırasını değiştirmeden hava kriteri uygulamasına mümkün olduğunca çok

mantıklı açıklama getirmektir. Bunu başarmak için, çevresel katkıların son hesabı, doğrultma moment kolu hesaplama metotlarına göre daha uyumlu hale getirilmiştir.

Sonuçların analizine bakıldığında, BSRA hava kriterinin gemi türüne ve yükleme koşullarına bağlı olarak IMO kriterinden daha çok veya daha az bağlayıcı olabildiği görülmektedir. Bu önemli farklar aşağıdaki gibi özetlenebilir.

1. Sabit rüzgar yatırıncı momenti hesabında, rüzgar profili eğimi ve uygun kuvvet katsayısı kullanımı yaklaşımı daha gerçekçi kılar. Örneğin aynı alana sahip profiller için IMO kriterinde hesaplanan rüzgar kuvveti herhangi bir fark göstermezken, BSRA metodu bu ihtiyacı karşılar.
2. Sağanak rüzgar faktörü daha gerçekçi bir şekilde belirlenmektedir.
3. Başlangıç metasandır yüksekliğini eşit alma anormal sonuçlar çıkmasını önler.
4. Yalpa tepkisi hesabında gemi özellikleri daha fazla dikkate alınır ve gerçekçi olmayan dalga periyodu seçimlerinin önüne geçilir.
5. Popov'un stabilite kriterlerini kullanarak limit açısı belirlemek daha gerçekçi bir yaklaşımdır [9].

7. MEVCUT DİĞER HAVA KRİTERLERİ

7.1 Rus Hava Kriteri

Rus Loydu Kuralları, IMO hava kriteriyle temelde aynı olup, daha önce bahsedilen IMO kriterindeki bazı eksiklikler Rus Loydu Kurallarında giderilmiştir. Gemiler seyir alanlarına göre sınıflandırılmış ve rüzgar yatırıcı momenti hesabında kullanılan rüzgar basıncı seyir alanlarına göre üçe ayrılmıştır. IMO'dan farklı olarak efektif dalga eğimi katsayısının en büyük değeri 1 olarak kısıtlanmıştır. Ayrıca, birçok modern geminin IMO tarafından X_1 katsayısı için verilen B/T oranının dışında kaldığı görülmüş ve X_1 değeri B/T'nin 2.4 ile 6.5 değerleri arasında verilmiştir.

7.1.1 Gemilerin çalışma alanlarına göre sınıflandırılması

Rus Loydu klasına sahip gemiler, çalışma alanlarında karşılaşılabilecekleri maksimum dalga yüksekliklerine göre aşağıdaki gibi sınıflandırılmaktadır:

Sınırsız : Bu kategorideki gemiler için herhangi bir kısıtlama yapılmamıştır. Bu gemiler okyanus aşırı sefer yapan gemilerdir.

R1 : Dalga yüksekliği % 3 seviye aşımı olasılığı ile 8.5 metre olan deniz alanlarında seyreden, korunaklı bölgeden 200 milden fazla uzaklaşmayan ve izin verilen korunaklı bölgeler arası uzaklığı 400 milden fazla olmayan gemileri kapsar.

R2 : Dalga yüksekliği % 3 seviye aşımı olasılığı ile 7.0 metre olan deniz alanlarında seyreden, korunaklı bölgeden 100 milden fazla uzaklaşmayan ve izin verilen korunaklı bölgeler arası uzaklığı 200 milden fazla olmayan gemileri kapsar.

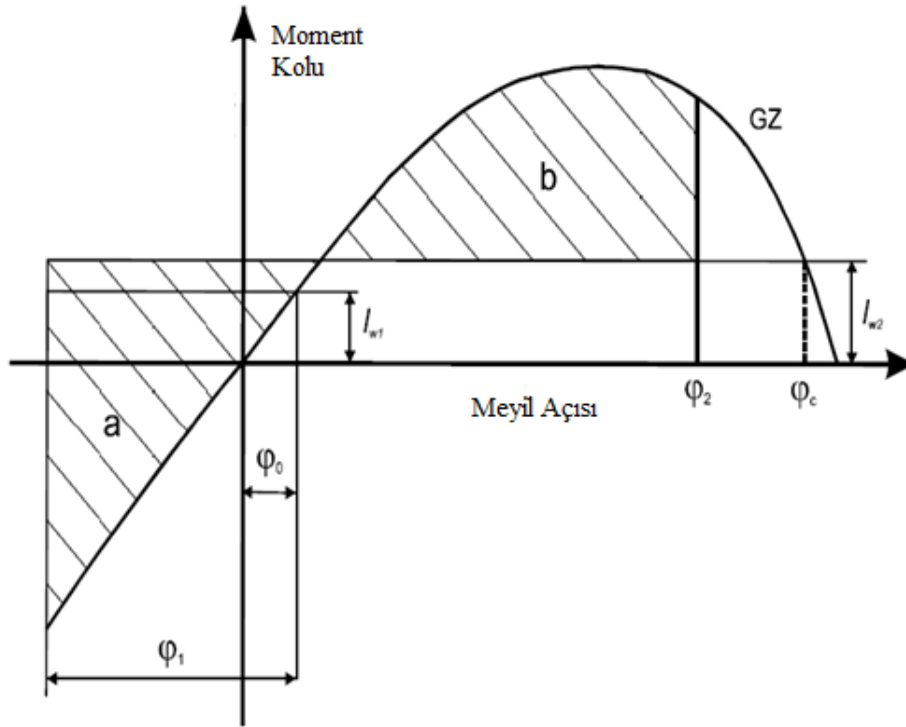
R2-RSN : Dalga yüksekliği % 3 seviye aşımı olasılığı ile 6.0 metre olan nehir ve deniz alanlarında seyreden veya açık denizlerde korunaklı bölgeden 50 milden fazla uzaklaşmayan ve izin verilen korunaklı bölgeler arası uzaklığı 100 milden fazla olmayan ya da kapalı denizlerde korunaklı bölgeden 100 milden fazla uzaklaşmayan ve izin verilen korunaklı bölgeler arası uzaklığı 200 milden fazla olmayan gemileri kapsar.

R3-RSN : Dalga yüksekliği % 3 seviye aşımı olasılığı ile 3,5 metre olan deniz ve nehir alanlarında seyreden ve bu alanlardaki özel kısıtlamalara ve havzanın rüzgar ve dalga durumundan meydana gelen seyir koşullarına uyumlu olan ve hiçbir durumda korunaklı bölgeden uzaklığı 50 milden fazla olmayan gemileri kapsar.

7.1.2 Rüzgar yatırıcı momentinin hesaplanması

IMO hava kriteri'nde belirtildiği gibi bu kriter 24 m ve daha büyük boydaki gemilere uygulanır. Gemi, merkez hattına dik olarak etkiyen ve düzgün rüzgar yatırma koluna (l_{w1}) neden olan düzgün rüzgar basıncına maruzdur. Bu durağan rüzgar etkisi altında gemi φ_0 kadar meyil etmektedir. Kurala göre ani esen rüzgar gemiyi φ_0 statik açısından rüzgara doğru φ_1 açısına kadar meyil ettirir.

Gemilerin tüm yükleme durumlarında, yalpa ve rüzgarın bileşik etkisi altında Şekil 7.1'de gösterilen “b” alanı “a” alanına eşit veya daha büyük olmalıdır. Ayrıca φ_0 açısı 16° veya güverte kenarının suya girdiği açının % 80'ninden (hangisi küçükse) küçük olmalıdır.



Şekil 7.1: Rus hava kriterinde kullanılan değerler [4].

Şekilde görüldüğü gibi “b” alanı $\varphi_2 = 50^\circ$ ya da korumasız açıklıkların suya girme açısı φ_f (hangisi küçükse) ile sınırlandırılmıştır. φ_c açısı doğrultucu moment kolu ile l_{w2} yatırıcı moment kolunun ikinci kez kesiştiği açıdır.

Şekildeki l_{w1} moment kolu aşağıda gösterildiği gibi hesaplanmalıdır:

$$l_{w1} = \frac{PAZ}{1000g\Delta} \quad (7.1)$$

Burada; P rüzgar basıncı değeridir ve gemilerin çalışma alanlarına göre Çizelge 7.1'e göre belirlenir. A metre² cinsinden su hattı alanının üstünde gemi ve güverte üzerindeki yükün projeksiyon alanıdır. Z metre cinsinden A alanının alan merkezi ile geminin su altı projeksiyon alan merkezi veya ortalama draft değerinin yarısı arasındaki mesafedir. Δ ton cinsinden deplasman değeri ve g yerçekimi ivmesidir. Değeri 9.81 m/s² dir.

Kural, IMO hava kriterinde olduğu gibi rüzgar sağanağı moment kolunun (l_{w2}) aşağıdaki gibi hesaplandığını varsayar:

$$l_{w2} = 1.5l_{w1} \quad (7.2)$$

Çizelge 7.1: Rüzgar Basıncı [10].

Çalışma Alanı	Rüzgar Basıncı (Pa)
Sınırsız	504
Sınırlı R1	353
Sınırlı R2, R2-RSN, R3-RSN	252

Kurala göre, geminin rüzgar tarafındaki yalpa açısı ϕ_1 aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\phi_1 = 109kX_1X_2\sqrt{rs} \quad (7.3)$$

Burada; X_1 geminin B/T oranına göre Çizelge 7.2'den elde edilen, X_2 geminin C_B oranına göre Çizelge 7.3'den elde edilen sönüm katsayılarıdır. k değeri ise yalpa ve/veya lama omurgası etkisinin hesaba katılmasıyla Çizelge 7.4'den elde edilen katsayıdır. Yuvarlak karinalı ve lama ve yalpa omurgasız gemiler için bu değer 1, yuvarlak karinalı olmayan gemiler için 0.7 alınmalıdır. r katsayısı aşağıdaki gibi hesaplanmalıdır.

$$r = 0.73 \pm 0.6 \frac{OG}{T} \quad (7.4)$$

Bu değer 1'den büyük alınmamalıdır. Burada; OG ağırlık merkezi ile su hattı arasındaki mesafedir. Ağırlık merkezi su hattının üstündeyse (+), altındaysa (-) alınmalıdır. d ise geminin ortalama draft değeridir.

Denklem 7.3'deki dalga dikliği katsayısı s , çalışma alanlarına göre yalpa periyoduna bağlı olarak Çizelge 7.5'den elde edilen katsayıdır. T_1 , yalpa periyodu aşağıda gibi hesaplanır. Denklem 7.5'deki GM değeri serbest su yüzeyi düzeltmesi yapılmış metasantr yüksekliğidir. B metre cinsinden geminin genişlik değeridir. C ise Denklem 7.6'da gösterildiği gibi hesaplanır.

$$T_1 = \frac{2CB}{\sqrt{GM}} \quad (7.5)$$

$$C = 0.373 + 0.023 \frac{B}{T} - 0.043 \frac{L}{100} \quad (7.6)$$

Çizelge 7.2: X_1 katsayısı [10].

B/T	X_1
≤ 2.4	1.00
2.6	0.96
2.8	0.93
3.0	0.90
3.2	0.86
3.4	0.82
3.5	0.80
3.6	0.79
4.0	0.78
4.5	0.76
5.0	0.72
5.5	0.68
6.0	0.64
≥ 6.5	0.62

Çizelge 7.3: X_2 katsayısı [10].

C_B	≤ 0.45	0.50	0.55	0.60	0.65	≥ 0.70
X_2	0.75	0.82	0.89	0.95	0.97	1.00

Çizelge 7.4: k katsayısı [10].

$(A_k 100 / LB)$	0	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	≥ 4.0
k	1.00	0.98	0.95	0.88	0.79	0.74	0.72	0.70

Burada; A_k metre² cinsinden yalpa omurgaların toplam alanı veya lama omurganın projeksiyon alanıdır. Her ikisinin bulunması durumunda bu alanların toplam değeridir. L ve B sırasıyla metre cinsinden geminin su hattı boyu ve kalıp genişliğidir. IMO hava kriterinde olduğu gibi, bu durumda kural, keskin sintine dönümlerinin yalpa omurgalarının ve lama omurgalarının yalpa genliğini düşürdüğünü kabul eder.

Çizelge 7.5: s katsayısı [10].

T_1 (s)	Çalışma Alanı	
	Sınırsız	Sınırlı R1,R2, R2-RSN, R3-RSN
≤ 5	0.100	0.100
6	0.100	0.093
7	0.098	0.083
8	0.093	0.073
10	0.079	0.053
12	0.065	0.040
14	0.053	0.035
16	0.044	0.035
18	0.038	0.035
≥ 20	0.035	0.035

Çizelgelerdeki ara değerler lineer interpolasyonla elde edilmelidir [10].

7.2 Alman Askeri Gemileri için Hava Kriteri (BV1030-1)

BV 1030-1, Alman askeri gemilerine uygulanan stabilite kriteridir. Bu kriter, Alman Loydu ve Alman Donanması Gemi İnşaa Endüstrisi tarafından düzenlenmiştir. BV 1030-1, Türk Loydu Kurallarına ek olarak Türk askeri gemilerine de uygulanmaktadır.

Kurt Wendel, Federal Alman Donanması için stabilite kurallarının ilk taslağını 1961 yılında yazmıştır. Wendel, 1964 yılında BV 1033 olarak bilinen yeni sürümünü yayımlamıştır. Bu kuralların detaylı açıklamaları ve arka planı ise Arndt (1965) tarafından yapılmıştır. Onun makalesi İngiliz Gemi Araştırma Kurumu tarafından İngilizceye çevrilmiş ve BSRA'nın 5052 nolu çevirisi olarak yayımlanmıştır. BV 1033 olarak bilinen bu kuralların güncellenmiş bir versiyonu 1969 yılında yayımlanmıştır. Brandl (1981) Alman kurallarının Hollanda Kraliyet Donanması tarafından da benimsendiği belirtmiş, aynı zamanda bu kurallar Almanya'da yabancı donanmalar için inşa edilen bazı gemilerin dizaynında da kullanılmıştır. Kurallar 2001 yılında BV 1030-1 olarak nihai halini almıştır.

Yapılan çalışmalarda, boyuna ve omuzluklardan gelen dalgaların, metasantr yarıçapının hesaplanmasında kullanılan atalet momentinin anlık değişimiyle stabiliteyi etkilediği gösterilmiştir. Bu etki Alman Donanmasının stabilite kurallarında dikkate alınmıştır ve bunun ticari gemiler için de göz önüne alınması önerilmiştir [1].

Kuralda, rüzgar momentinden oluşan yatırıcı moment kolu, gemilerin teknik şartnamesinde tanımlanan, geminin seyir alanına göre karşılaşılabileceği maksimum rüzgar hızına göre hesaplanmaktadır. Sadece bu kurallarda, gemiler sakin su durumuna ilave olarak dalga tepesi ve dalga çukuru durumlarında da incelenmektedir. Gemilerin stabilite kontrolü, sakin suda genelde 40 knot rüzgar hızına göre hesaplanan rüzgar momentinin, dalga tepesi ve dalga çukuru durumlarında ise teknik şartnamede yer alan maksimum rüzgar hızına göre hesaplanan rüzgar momentinin doğrultucu moment koluyla karşılaştırılmasıyla yapılmaktadır.

7.2.1 Hizmet sınıfları

Stabilite kuralları gemilerin kullanım amaçlarına göre farklılık göstermektedir. Alman Federal Donanma kuralları gemileri aşağıda açıklanan beş farklı sınıfa ayırmaktadır.

Grup A : Bu sınıftaki gemilerin çalışma alanlarında hiçbir kısıtlama yoktur. Grup A için hesaplamalar, rüzgar hızının 90 knot olduğu durumda yapılmalıdır.

Grup B : Bu sınıf 70 knot'ı aşan rüzgar hızından sakınan gemileri kapsamaktadır. Bu sınıfa ait çalışma alanları örnekleri olarak Kuzey Atlantik, Kuzey denizi, Baltık denizi, ve Akdeniz sayılabilir. Bu grup için öngörülen rüzgar hızı 70 knot'dır.

Grup C : Bu sınıf, herhangi bir fırtına uyarısında limana sığınabilecek kıyı gemilerini içermektedir. Stabilite hesaplarında 50 knot'lık bir rüzgar hızı göz önüne alınmalıdır.

Grup D : Bu gruptaki gemiler, nehir ağzı teknesi ile liman içi operasyonlarda kullanılan güverteli teknelerden oluşmaktadır. Rüzgar hızı 40 knot olarak dikkate alınır.

Grup E : Bu sınıfa, coğrafi limitleri çok iyi tanımlanmış, kıyı ve liman operasyonları için amaçlanan üstü açık tekneler girmektedir. Stabilite hesaplarında rüzgar hızı 20 knot olarak alınmalıdır [1].

7.2.2 Sinüzoidal dalgalar

BV 1030-1 kurallarına göre, stabilite sinüzoidal dalgalar dikkate alınarak incelenmelidir. Kuralda, geminin dalga boyunun gemi boyuna eşit olduğu bir

sinüzoidal dalga üzerinde kararlı olarak yüzdüğü kabul edilir. Dalga tepesi ve çukuru, maksimum alanlı enine kesite yerleştirilmelidir.

Dalga boyu λ olarak gösterilirse, Alman donanması için tanımlanan dalga yüksekliği aşağıdaki gibidir:

$$H = \frac{\lambda}{10 + 0.05\lambda} \quad (7.7)$$

7.2.3 Yatırımcı rüzgar momentinin hesaplanması

Yanal rüzgar basıncı nedeniyle oluşan k_w , yatırımcı moment kolu, aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır:

$$k_w = \frac{A (A_{VZ} - 0.5T)}{\Delta g} P (0.25 + 0.75 \cos^3 \varphi) \quad (7.8)$$

Burada; A metre² cinsinden tüm üst yapılar, güverte evleri, direkler, silahlar, sensörler, vb. dahil, ancak buzlanma tabakası hariç olmak üzere, geminin rüzgar kuvvetlerine maruz yanal alanıdır. A_{VZ} metre cinsinden A alanı merkezinin, kaide hattından düşey mesafesidir. T metre cinsinden ortalama su çekimidir. P ise kN/m² cinsinden rüzgar basıncı değeridir ve aşağıdaki denklem ile hesaplanır:

$$P = c_w V_w^2 \frac{\rho}{2} \quad (7.9)$$

Burada; c_w sürüklenme katsayısıdır. V_w m/s cinsinden rüzgar hızı ve ρ t/m³ olarak havanın yoğunluğudur. Rüzgar basıncı yuvarlatılmış değerler olarak Çizelge 7.6'dan alınabilir [11].

Çizelge 7.6: $c_w = 1.20$ için çeşitli rüzgar hızlarında rüzgar basıncı [11].

Rüzgar hızı		Rüzgar basıncı
[kn]	[m/sn]	[kN/m ²]
90	46	1.50
80	41	1.25
70	36	1.00
60	31	0.75
50	26	0.50
40	21	0.30
30	15	0.20
20	10	0.10

Rüzgara açık yanal projeksiyon alanı A, deniz yüzeyi üzerinde tanımlanan geminin yanal projeksiyonudur. BV 1030-1 kuralları, alan elemanlarının bunların şekillerini dikkate alan aerodinamik katsayılar ile çarpılmasına izin verir. Örnek olarak dairesel elamanların alanı 0.6 ile çarpılmalıdır.

Yanal rüzgar basıncı nedeniyle oluşan yatırıcı moment kolu hesabı için verilen denklem (Denklem 7.8), 90 derece meyilde sıfır olmayan değerler verir; bu nedenle hesaba göre moment kolu 60 ila 90 derece arasındaki meyilde gerçekçi sonuçlar vermektedir [1].

7.2.4 Stabilite kriterleri

Askeri Otorite tarafından tanımlanan koşullardaki operasyonel görevlerini yerine getiren bir askeri geminin yeterli stabilitesi ile ilgili kanıt, doğrultucu kollar ile yatırıcı moment kolları arasında karşılaştırma suretiyle sağlanmaktadır.

BV 1030-1'in diğer kurallardan en büyük farkı doğrultucu kolların, aşağıdaki durumlar için ayrı ayrı hesaplanmasıdır:

- Gemi sakin suda iken
- Gemi dalga tepesi durumunda iken
- Gemi dalga çukuru durumunda iken

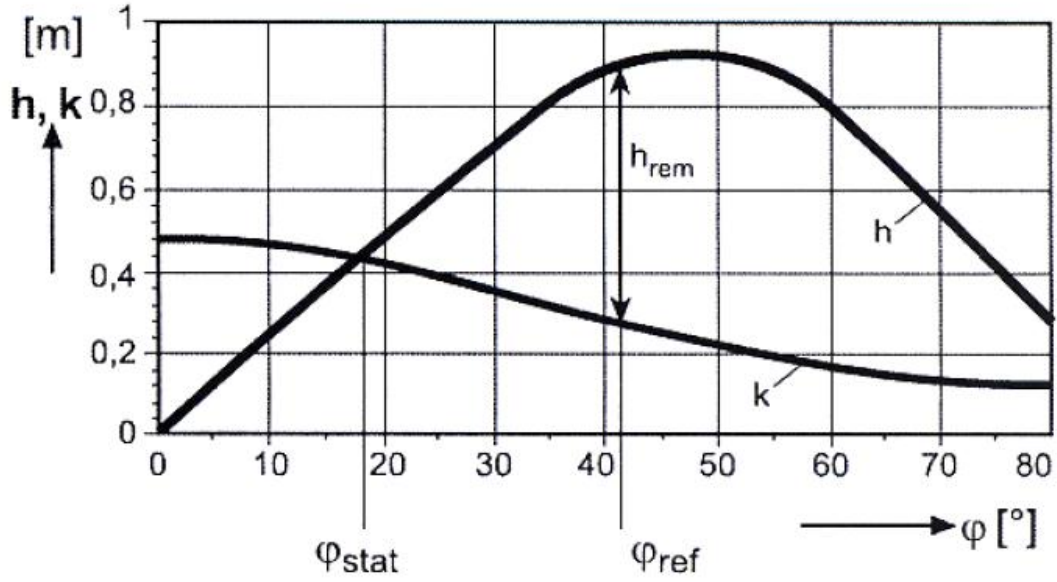
Kurala göre sakin suda, gemilerin stabilite kontrolü, 40 knot rüzgar hızına göre hesaplanan yatırıcı rüzgar momentine dönme veya yedeklemenin neden olduğu yatırıcı moment kollarının ilave edilmesiyle bulunan toplam yatırıcı momentinin doğrultucu moment koluyla karşılaştırılmasıyla yapılır. Dalga tepesi ve dalga çukuru durumlarında ise stabilite kontrolü, geminin karşılaşacağı en büyük rüzgar hızına göre hesaplanan rüzgar momenti kolunun doğrultucu moment koluyla karşılaştırılmasıyla yapılır. Örneğin B kategorisindeki bir geminin dalga tepesi ve dalga çukurundaki rüzgar momenti 70 knot'a göre hesaplanır. Ancak geminin asker ve insani yardımla ilgili malzemeleri nakliyesi yaptığı yükleme durumlarında rüzgar hızı 50 knot'a buzlanmanın olduğu durumlarda ise 40 knot'a kadar düşürülebilir.

Şekil 7.2'de moment kolu eğrileri ve ilgili açılar gösterilmektedir. Minimum doğrultucu kol, belirli bir meyil açısıyla ilişkili olup, ilgili referans açısında ölçülmektedir. Referans meyil açısı aşağıdaki şekilde tanımlanır:

$$\varphi_{ref} = 2\varphi_{stat} + 5 \quad (7.10)$$

Burada; φ_{stat} statik meyil açısını göstermektedir. Kalan doğrultucu kol h_{rem} , doğrultucu kol h ile meyil ettirici kol k arasındaki farktır. Tüm yük durumları için, aşağıda belirtilen kalan doğrultucu kol h_{rem} değerlerine uyulmalıdır:

- meyil açısı $\varphi_{stat} \leq 15^\circ$,
 $h_{rem} \geq 0.1$ ($\varphi_{ref} = 35^\circ$ de)
- meyil açısı $\varphi_{stat} > 15^\circ$,
 $h_{rem} \geq 0.1(\varphi_{stat} - 5^\circ)$ (Denklem 7.10'a göre hesaplanan φ_{ref} de)



Şekil 7.2: BV 1030-1'e göre moment kolu eğrileri [11].

Çeşitli rüzgar hızı değerlerine göre statik meyil açısı φ_{stat} Çizelge 7.7'de belirtilen değerleri aşmayacaktır [11].

Çizelge 7.7: Çeşitli rüzgar hızları için statik meyil açısı [11].

Rüzgar hızı [kn]	40	70	90
Meyil açısı φ_{stat} [°]	15	20	25

7.3 İngiliz Askeri Gemileri için Hava Kriteri (NES 109)

İngiliz Kraliyet donanmasının stabilite standardı, 1962 yılında Sarchin ve Goldberg tarafından yayımlanan kriterlerden geliştirilmiştir. İlk İngiliz yayını 1980 yılında basılan NES (Naval Engineering Standard) 109'dur. Güncel ve geçerli sürümü 4. baskıdır (MOD, 1999a). İngiliz Standartları Savunma Bakanlığı (MOD) tarafından

yayımlanmış olup askeri amaçlı gemilere, askeri rolü olmayan ancak MOD ile dizayn edilen gemilere ve yardımcı sınıfı gemilere uygulanabilmektedir. NES 109 standardının iki bölümü vardır; birincisi, klasik gemilerle ilgili ikincisi ise, özel gemilerle ilgilidir. Burada sadece klasik yani konvansiyonel gemilere ait kurallardan bahsedilecektir [1].

Kuralda, BV 1030-1’de olduğu gibi rüzgar momentinden oluşan yatırıcı moment kolu, gemilerin teknik şartnamesinde tanımlanan geminin seyir alanına göre karşılaşılabileceği maksimum rüzgar hızına göre hesaplanmaktadır. Ancak stabilite kontrolleri sakin su, dalga tepesi ve çukuru gibi ayrı deniz durumlarında yapılmayıp maksimum rüzgar kuvveti diğer etkilerden bağımsız olarak sadece sakin su durumu için hesaplanmaktadır.

7.3.1 Hizmet sınıfı

Gemiler karşılaşılabilecekleri rüzgar hızlarına göre belirlenen çalışma alanlarına göre aşağıdaki gibi sınıflandırılmaktadır:

Grup A : Hava koşullarına dayanıklılık gösteren okyanus aşırı sefer yapan gemiler. Bu grup operasyon filosu ile hareket eden tüm gemileri kapsar. En yüksek rüzgar hızı 90 knot’a kadar.

Grup B : Ekstrem durumlarla karşılaşması beklenmeyen okyanus aşan ya da yakın sahil gemileri. En yüksek rüzgar hızı 70 knot’a kadar.

Grup C : Rüzgar kuvveti 8 olduğunda korunaklı demirleme alanlarına geri çağırılabilir olan yakın sahil gemileri ve liman gemileri. En yüksek rüzgar hızı 50 knot’a kadar.

7.3.2 Yatırıcı rüzgar momentinin hesaplanması

Yanal rüzgar basıncı nedeniyle oluşan yatırıcı moment kolu, aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır:

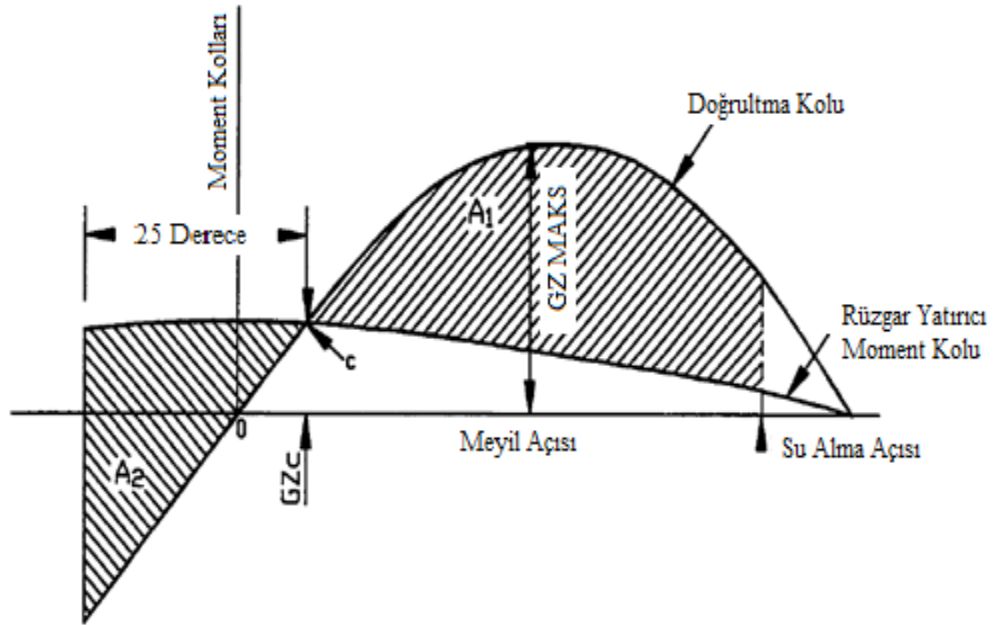
$$Moment\ kolu = \frac{0.0195V^2 Az \cos^2 \varphi}{1000\Delta} \quad (7.11)$$

Burada; A metre² cinsinden tüm üst yapılar, güverte evleri, direkler, silahlar, sensörler, vb. dahil, ancak buzlanma tabakası hariç olmak üzere, geminin rüzgar

kuvvetlerine maruz yanal alanıdır. z metre cinsinden A alanı merkezinin, su çekiminin yarısına kadar olan mesafesidir. V m/s olarak rüzgar hızı, ϕ derece olarak meyil açısı ve Δ ton cinsinden deplesman değeridir.

7.3.3 Stabilite kriterleri

Kurala göre, rüzgar, dönme, ve yedekleme gibi yatırıcı moment kolları ayrı ayrı hesaplanır ve stabilite kontrolü her bir yatırıcı moment koluna göre diğerlerinden bağımsız olarak yapılır. Burada sadece rüzgar nedeniyle oluşan yatırıcı moment kolu ile ilgili kriterler verilecektir. Şekil 7.3’de yatırıcı rüzgar moment kolu ile doğrultucu moment kolu eğrileri görülmektedir.



Şekil 7.3: NES 109’a göre moment kolu eğrileri [12].

Kurala göre rüzgar etkisi altındaki gemi tüm yükleme durumlarında aşağıdaki kriterleri sağlamalıdır.

- Rüzgar basıncı nedeniyle oluşan meyil açısı 30° ’yi geçmemelidir.
- Rüzgar yatırıcı moment kolu ile doğrultma moment kolunun kesişme noktasındaki GZ değeri maksimum GZ değerinin % 60’ını geçmemelidir.
- Şekil 7.3’de gösterilen A_1 alanı, A_2 alanının 1.4 katından büyük olmalıdır [12].

Kuralın yatırıcı rüzgar momentini hesaplama yöntemi Fransa, Kanada ve Amerika Birleşik Devletleri’nin askeri gemilere uyguladığı stabilite standartlarındaki rüzgar yatırıcı moment kolu hesap yöntemi ile aynı olup stabilite kriterleri açısından bazı

farklılıklar bulunmaktadır. Çizelge 7.8’de Amerika Birleşik Devletleri, Fransa, Kanada ve İngiltere tarafından uygulanan hava kriterleri arasındaki benzerlikler ve farklılıklar gösterilmiştir.

Çizelge 7.8: Askeri gemi kurallarının karşılaştırılması [13].

Kriter	ABD	Fransa	Kanada	İngiltere
100 kn rüzgar hızı etkisindeki meyil açısı	-	$\leq 30^\circ$	$\leq 30^\circ$	-
90 kn rüzgar hızı etkisindeki meyil açısı	-	-	-	$\leq 30^\circ$
$GZ(\theta_0)/GZ_{\max}$	≤ 0.6	≤ 0.6	≤ 0.6	≤ 0.6
θ_1	25°	25°	25°	25°
A_2/A_1	≥ 1.4	≥ 1.4	≥ 1.4	≥ 1.4
A_2 alanını kısıtlayıcı en büyük açı	-	-	$\leq 70^\circ$	$\leq 70^\circ$

8. HAVA KRİTERLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Bu bölümde, IMO hava kriteri, önceki bölümde anlatılan Rus hava kriteri ve Alman askeri gemilerine uygulanan BV 1030-1 ile İngiliz askeri gemilerine uygulanan NES 109 hava kriterleri ile karşılaştırılacaktır. Uygulamanın yapılacağı gemiler, Samsun Limanı ile Rusya Limanları arasında sefer yapan bir Ro-Ro gemisi ve okyanus aşırı sefer yapan bir kuru yük gemisidir. Gemilerin genel özellikleri Çizelge 8.1’de verilmiştir. Ro-Ro gemisi için hava kriterlerinin karşılaştırılması Çizelge 8.2’de belirtilen, kuru yük gemisinin ise Çizelge 8.3’de belirtilen tam yüklü kalkış ve tam yüklü varış kondisyonlarında yapılacaktır. Uygulamada söz konusu kondisyonlar için doğrultucu moment kolu değerleri ile IMO ve karşılaştırmanın yapılacağı hava kriterlerine göre yatırımcı rüzgar moment kolu değerleri hesaplanacaktır. Hesap sonuçları IMO ile karşılaştırmalı olarak moment kolu eğrileri ve moment kolu değerleri şeklinde ayrı ayrı verilecek ve son olarak kriter sonuçları sunulacaktır.

Çizelge 8.1: Ro-Ro ve kuru yük gemisinin genel özellikleri.

Genel Özellikler	Ro-Ro	Kuru Yük
L _{OA}	91.00 m	121.17 m
L _{BP}	84.63 m	113.00 m
L _{WL}	82.40 m	116.70 m
B	14.00 m	20.10 m
D	4.50 m	10.40 m
T	4.461 m	8.01 m
Δ	3083 t	12052 t

Çizelge 8.2: Ro-Ro gemisinin yükleme kondisyonları.

Ağırlık Grubu	Tam Yüklü Kalkış	Tam Yüklü Varış
Kargo	701 t	701 t
Balast	657.4 t	643.5 t
Yakıt	137 t	27.3 t
Yağ	7 t	0.7 t
Tatlı Su	68.4 t	7 t
Diğer Tanklar	3.6 t	34.9 t
Diğer Ağırlıklar	6.4 t	1.9 t
Deplasman	3033. 4 t	2868.9 t
Draft	4.411 m	4.226 m

Çizelge 8.3: Kuru yük gemisinin yükleme koşulları.

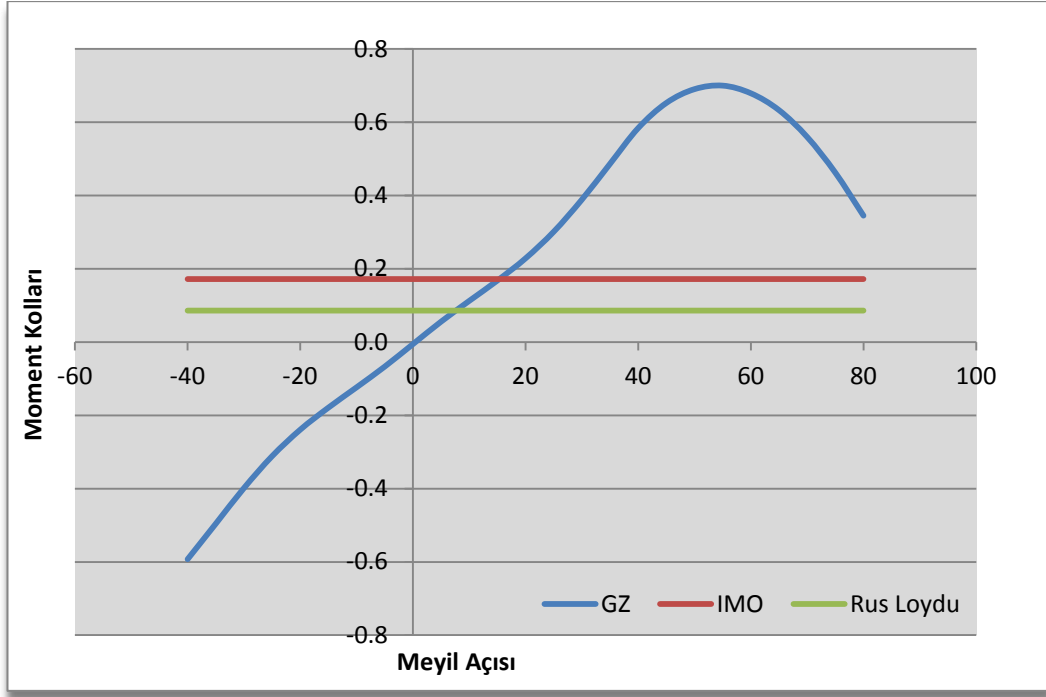
Ağırlık Grubu	Tam Yüklü Kalkış	Tam Yüklü Varış
Kargo	7134.3 t	7134.3 t
Balast	-	362.9 t
Yakıt HFO	222.1 t	35.0 t
Yakıt DO	142.8 t	40.7 t
Yağ	39.9 t	4.1 t
Tatlı Su	187.6 t	19.1 t
Diğer Tanklar	24.6 t	33.4 t
Diğer Ağırlıklar	34.1 t	30.1 t
Deplasman	12134.5 t	12008.9 t
Draft	8.010 m	7.991 m

8.1 IMO ve Rus Hava Kriterlerinin Karşılaştırılması

8.1.1 Ro-Ro gemisi

Rus Loyduna göre gemiler seyir alanlarına göre sınıflandırılmakta ve rüzgar yatırıcı momenti hesabında kullanılan rüzgar basıncı seyir alanlarına göre seçilmektedir. Kurala göre seyir sahası Samsun Limanı ve Rusya olan gemilere R2-RSN notasyonu verilmektedir. Bu durumda rüzgar basıncı 252 Pa alınır ve rüzgar yatırıcı moment kolu bu değere göre hesaplanır. IMO'ya göre ise rüzgar basıncı 504 Pa alınmaktadır. Rüzgar basıncına ilave olarak IMO ile Rus hava kriterini birbirinden ayıran diğer bir özellik ise geminin rüzgar tarafındaki yalpa açısı hesabında kullanılan dalga dikliği katsayısının farklı alınmasıdır. Daha önceki bölümlerde bahsedildiği gibi dalga dikliği rüzgar hızına bağlı olarak değiştiği için rüzgar basıncı değerlerinin dolayısıyla standart rüzgar hızlarının farklı değerler alınması dalga dikliğinin de farklı hesaplanmasına neden olur. Bu yükleme koşulunda, IMO dalga dikliği katsayısı değerini hesaplanan yalpa periyoduna göre (yalpa periyodu 13.558 s hesaplanmıştır) 0.056, Rus hava kriteri ise 0.036 olarak almaktadır.

Şekil 8.1'de tam yüklü kalkış koşulu için doğrultucu moment kolları ile IMO ve Rus hava kriterine göre hesaplanan yatırıcı rüzgar momenti kolları görülmektedir. Ayrıca Çizelge 8.4'de moment kolu değerleri verilmiştir. Görüldüğü gibi rüzgar basıncını geminin seyir alanına göre seçmek seyir alanı kısıtlı olan gemilerde yatırıcı moment kolu değerini oldukça düşürmektedir. Çizelge 8.5'de tam yüklü kalkış koşulu için IMO ve Rus hava kriteri sonuçları verilmiştir. Sonuç olarak, IMO hava kriterine göre geminin rüzgar etkisi altında yaptığı meyil açısı, Rus hava kriterine göre hesaplanan değerin neredeyse iki katıdır.



Şekil 8.1: Ro-Ro gemisi için tam yüklü kalkışta moment kolu eğrileri.

Çizelge 8.4: Ro-Ro gemisi için tam yüklü kalkışta moment kolu değerleri.

Meyil (derece)	GZ (m)	IMO (m)	Rus Kriteri (m)
-40	-0.5927	0.1721	0.086
-35	-0.4959	0.1721	0.086
-30	-0.3986	0.1721	0.086
-25	-0.3115	0.1721	0.086
-20	-0.2391	0.1721	0.086
-15	-0.1789	0.1721	0.086
-10	-0.1235	0.1721	0.086
-5	-0.0669	0.1721	0.086
0	-0.0056	0.1721	0.086
5	0.0557	0.1721	0.086
10	0.1124	0.1721	0.086
15	0.1680	0.1721	0.086
20	0.2285	0.1721	0.086
25	0.3012	0.1721	0.086
30	0.3889	0.1721	0.086
35	0.4867	0.1721	0.086
40	0.5841	0.1721	0.086
45	0.6528	0.1721	0.086
50	0.6905	0.1721	0.086
55	0.7001	0.1721	0.086
60	0.6792	0.1721	0.086

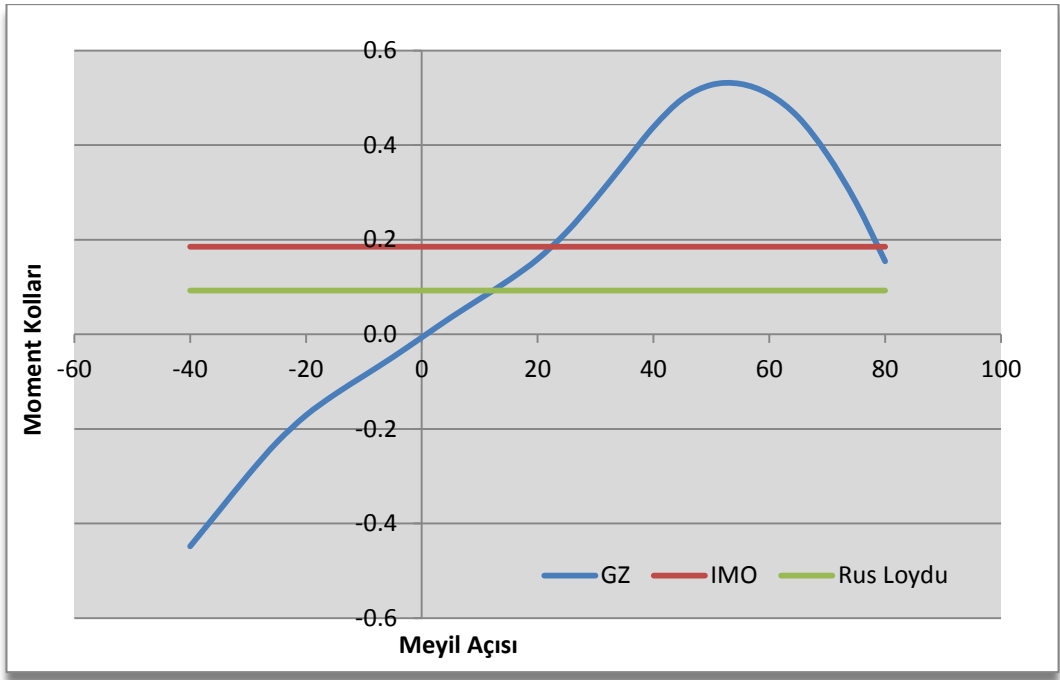
Çizelge 8.5: Ro-Ro gemisi için tam yüklü kalkışta hava kriteri sonuçları.

Kriter	IMO	Rus Kriteri	Limit Değer
a/b	2.568	6.127	1
Meyil Açısı	10.208°	5.143°	16°

Tam yüklü varış kondisyonunda tam yüklü kalkış kondisyonunda olduğu gibi rüzgar basıncı değeri Rus hava kriterine göre 252 Pa, IMO hava kriterine göre 504 Pa alınmaktadır. Ayrıca yine tam yüklü kalkış kondisyonunda olduğu gibi dalga dikliği katsayısı değerleri rüzgar hızına bağlı olarak farklı alınmaktadır. Geminin yalpa periyoduna bağlı olarak (16.589 s) dalda dikliği katsayısı Rus kriterine göre 0.035, IMO hava kriterine göre 0.042 hesaplanmaktadır.

Tam yüklü varış kondisyonunda, tam yüklü kalkış kondisyonundan farklı olarak efektif dalga eğimi katsayısı değerleri de farklı alınmaktadır. Rus hava kriterine göre efektif dalga eğimi katsayısının en büyük değeri 1 olmalıdır. IMO hava kriterinde ise böyle bir kısıtlama yoktur. Tam yüklü kalkış kondisyonunda bu değer 0.936 hesaplandığından yani 1'den küçük olduğundan her iki kriter içinde aynı alınmıştır. Ancak tam yüklü varış kondisyonu için bu değer 1.002 olarak hesaplanmaktadır. Sonuç olarak söz konusu yükleme kondisyonunda efektif dalga eğimi katsayısı IMO'ya göre 1.002, Rus Loydu'na göre ise 1.000 alınmaktadır. Bu yükleme kondisyonu için efektif dalga eğimi katsayıları arasındaki fark az olsa da bu değer Rus hava kriterinde olduğu gibi kısıtlanması ağırlık merkezi büyük olan gemilerin rüzgar tarafındaki yalpa açısı hesabında oldukça önem taşımaktadır.

Şekil 8.2'de tam yüklü varış kondisyonu için doğrultucu moment kolları ile IMO ve Rus Loyduna göre hesaplanan yatırıcı rüzgar momenti kolları görülmektedir. Çizelge 8.6'da ise moment kolu değerleri verilmiştir. Tam yüklü varış kondisyonunda yüklü su hattı değerinin azalmasıyla birlikte geminin rüzgara maruz kalan yanal alanı ve buna bağlı olarak yatırıcı rüzgar momenti değeri artmaktadır. Ayrıca söz konusu yükleme kondisyonunda deplasman değerinin azalması da rüzgar momenti değerini arttırmaktadır. Bu yüzden IMO hava kriterine göre tam yüklü kalkış kondisyonunda limit değerler aşılmazken, varış kondisyonunda gemi rüzgar etkisi altında 16.287° meyil yapmaktadır. Rus Loyduna göre ise, meyil açısı 8.332° olarak bulunmuştur. Tam yüklü varış kondisyonu için kriter sonuçları Çizelge 8.7'de verilmiştir. Görüldüğü gibi bu yükleme kondisyonunda gemi Rus kriterine göre stabilite kriterlerini sağlamaktadır. Ancak aynı gemi okyanus aşırı sefer yapmamasına rağmen IMO'ya göre bu kategoride incelendiğinden, IMO hava kriterini sağlayamamaktadır. Bu durumda geminin tam yüklü varış kondisyonunda IMO kriterlerini sağlayabilmesi için deniz suyu alarak yada güverte üstündeki yükünü azaltarak ağırlık merkezini aşağıya çekmesi ve rüzgara maruz kalan yanal alanını azaltması gerekmektedir.



Şekil 8.2: Ro-Ro gemisi için tam yüklü varışta moment kolu eğrileri.

Çizelge 8.6: Ro-Ro gemisi için tam yüklü varışta moment kolu değerleri.

Meyil (derece)	GZ (m)	IMO (m)	Rus Kriteri (m)
-40	-0.4481	0.1852	0.093
-35	-0.3728	0.1852	0.093
-30	-0.2975	0.1852	0.093
-25	-0.2279	0.1852	0.093
-20	-0.1712	0.1852	0.093
-15	-0.1267	0.1852	0.093
-10	-0.0875	0.1852	0.093
-5	-0.0482	0.1852	0.093
0	-0.0064	0.1852	0.093
5	0.0354	0.1852	0.093
10	0.0748	0.1852	0.093
15	0.1143	0.1852	0.093
20	0.1591	0.1852	0.093
25	0.2163	0.1852	0.093
30	0.2864	0.1852	0.093
35	0.3623	0.1852	0.093
40	0.4383	0.1852	0.093
45	0.4977	0.1852	0.093
50	0.5274	0.1852	0.093
55	0.5295	0.1852	0.093
60	0.5074	0.1852	0.093

Çizelge 8.7: Ro-Ro gemisi için tam yüklü varışta hava kriteri sonuçları.

Kriter	IMO	Rus Kriteri	Limit Değer
a/b	2.097	5.283	1
Meyil Açısı	16.287°	8.332°	16°

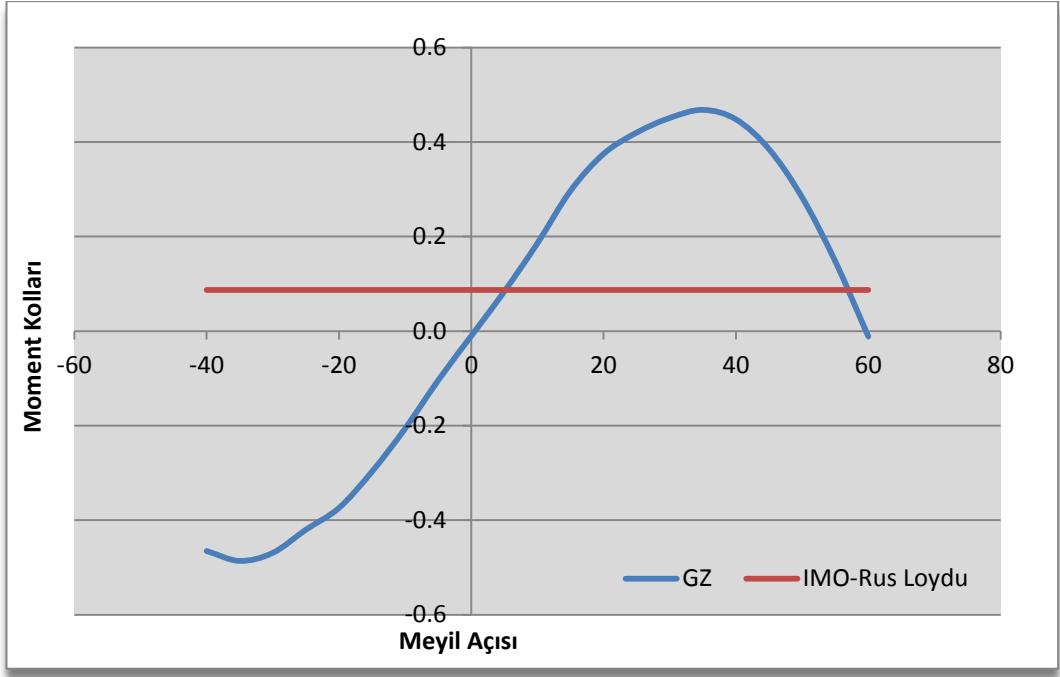
8.1.2 Kuru yük gemisi

Uygulamanın yapılacağı kuru yük gemisi daha önce de bahsedildiği gibi okyanus aşırı sefer yapmaktadır. Dolayısıyla hem IMO hem de Rus hava kriterine göre rüzgar basıncı değeri 504 Pa alınmaktadır. Rüzgar basıncı aynı olduğuna göre her iki kriter için dalga dikliği katsayıları da aynı alınmaktadır. Ayrıca, kuru yük gemisinin her iki yükleme kondisyonunda da efektif dalga eğimi katsayısı 1'den küçük çıkmaktadır (Tam yüklü kalkış kondisyonu için 0.709, tam yüklü varış kondisyonu için 0.704 olarak hesaplanmıştır). Dolayısıyla rüzgar momenti hesabında bu değer için de Rus ve IMO hava kriteri arasında fark bulunmamaktadır.

IMO ve Rus hava kriterini birbirinden ayıran diğer bir özellik B/T oranı 3.5'dan büyük olan gemiler için sönüm katsayısı değerinin farklı alınmasıdır. IMO hava kriterine göre X_1 katsayısı gemilerin B/T oranı 2.4 ile 3.5 arasında kalan değerleri için lineer olarak verilmiştir. Bu aralığın dışında sabit değerler kabul edilmiştir. Rus hava kriterinde ise X_1 sönüm katsayısı gemilerin B/T oranı 2.4 ile 6.5 arasında kalan değerleri için lineer olarak verilmiştir. Gemilerin B/T oranı 2.4 ile 3.5 arasında olduğunda IMO ve Rus hava kriteri aynı sönüm katsayısı değerlerini kullanmaktadır. Kuru yük gemisinin her iki yükleme kondisyonunda da B/T oranı 2.4 ile 3.5 arasında kaldığından X_1 sönüm katsayısı için kriterler arasında fark bulunmamaktadır.

Burada kuru yük uygulamasının verilmesinin amacı farklı gemi tipleri için kriterler arası farkı görebilmektir. Yukarıda bahsedildiği gibi Rus kriteri ile IMO hava kriteri arasındaki farklar söz konusu gemi için uygulanmadığından yatırımcı moment kolları iki kritere göre aynı hesaplanmaktadır. Ancak kuru yük gemisinin rüzgar alanı Ro-Ro gemisine göre oldukça büyük olduğundan, IMO hava kriteri ile askeri gemi kurallarının karşılaştırılmasında kuru yük gemisi oldukça önem kazanmaktadır. Bu yüzden uygulamaya dahil edilmiştir.

Şekil 8.3'de tam yüklü kalkış kondisyonu, Şekil 9.4'de tam yüklü varış kondisyonu için doğrultucu moment kolları ile IMO ve Rus Loyduna göre hesaplanan yatırımcı rüzgar momenti kolları görülmektedir. Çizelge 8.8 ve Çizelge 8.10'da yükleme kondisyonlarının moment kolu değerleri verilmiştir. Çizelge 8.9 ve 8.11'de ise yükleme kondisyonların kriter sonuçları verilmiştir. Görüldüğü gibi hem tam yüklü kalkış kondisyonunda hem tam yüklü varış kondisyonunda stabilite kriterleri sağlanmıştır.



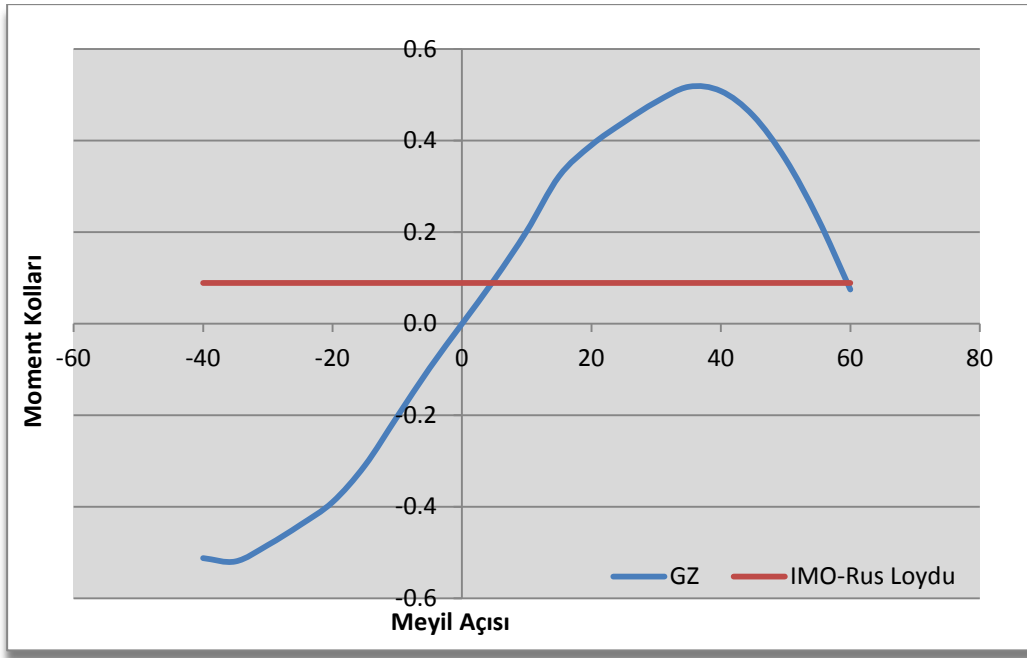
Şekil 8.3: Kuru yük gemisi için tam yüklü kalkışta moment kolu eğrileri.

Çizelge 8.8: Kuru yük gemisi için tam yüklü kalkışta moment kolu değerleri.

Meyil (derece)	GZ (m)	IMO (m)	Rus Kriteri (m)
-40	-0.465	0.087	0.087
-35	-0.486	0.087	0.087
-30	-0.469	0.087	0.087
-25	-0.420	0.087	0.087
-20	-0.374	0.087	0.087
-15	-0.297	0.087	0.087
-10	-0.206	0.087	0.087
-5	-0.104	0.087	0.087
0	-0.010	0.087	0.087
5	0.084	0.087	0.087
10	0.186	0.087	0.087
15	0.297	0.087	0.087
20	0.375	0.087	0.087
25	0.420	0.087	0.087
30	0.451	0.087	0.087
35	0.468	0.087	0.087
40	0.448	0.087	0.087
45	0.385	0.087	0.087
50	0.283	0.087	0.087
55	0.148	0.087	0.087
60	-0.011	0.087	0.087

Çizelge 8.9: Kuru yük gemisi için tam yüklü kalkışta hava kriteri sonuçları.

Kriter	IMO	Rus Kriteri	Limit Değer
a/b	2.888	2.888	1
Meyil Açısı	3.664°	3.664°	16°



Şekil 8.4: Kuru yük gemisi için tam yüklü varışta moment kolu eğrileri.

Çizelge 8.10: Kuru yük gemisi için tam yüklü varışta moment kolu değerleri.

Meyil (derece)	GZ (m)	IMO (m)	Rus Kriteri (m)
-40	-0.512	0.089	0.089
-35	-0.520	0.089	0.089
-30	-0.484	0.089	0.089
-25	-0.440	0.089	0.089
-20	-0.390	0.089	0.089
-15	-0.310	0.089	0.089
-10	-0.203	0.089	0.089
-5	-0.097	0.089	0.089
0	-0.001	0.089	0.089
5	0.096	0.089	0.089
10	0.202	0.089	0.089
15	0.322	0.089	0.089
20	0.390	0.089	0.089
25	0.440	0.089	0.089
30	0.484	0.089	0.089
35	0.517	0.089	0.089
40	0.508	0.089	0.089
45	0.454	0.089	0.089
50	0.359	0.089	0.089
55	0.229	0.089	0.089
60	0.075	0.089	0.089

Çizelge 8.11: : Kuru yük gemisi için tam yüklü varışta hava kriteri sonuçları.

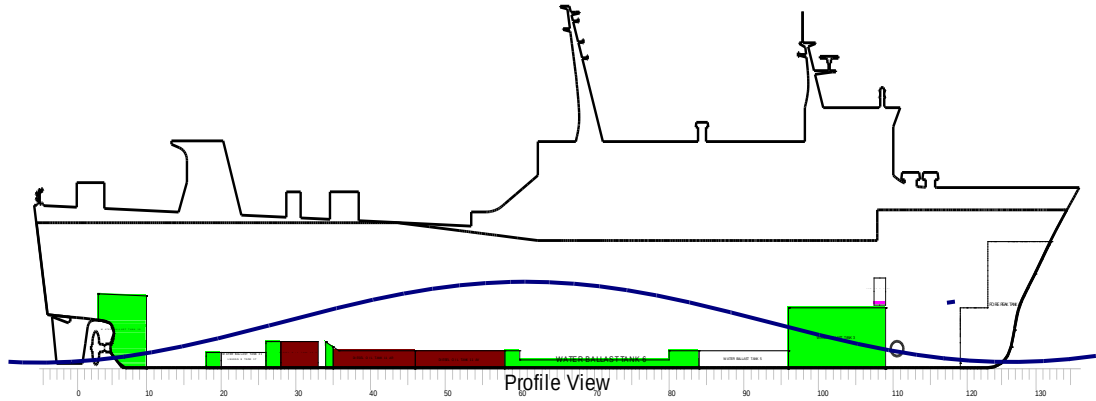
Kriter	IMO	Rus Kriteri	Limit Değer
a/b	72	72	1
Meyil Açısı	3.120°	3.120°	16°

8.2 IMO ve Askeri Gemi Kurallarının Karşılaştırılması

8.2.1 Ro-Ro gemisi

Alman askeri gemilerine uygulanan BV 1030-1 ve İngiliz askeri gemilerine uygulanan NES 109'a göre gemiler seyir alanlarında karşılabilecekleri en büyük rüzgar hızına göre sınıflandırılırlar. Ro-Ro gemisi IMO hava kriterinde sağanak rüzgar etkisinin de hesaba katılmasıyla 31.84 m/s rüzgar hızına göre kontrol edilmektedir (Buradaki rüzgar hızı, yatırıcı moment kolu değerinin kare köküyle doğru orantılı olarak değiştiğinden, standart rüzgar hızı 26 m/s ile sağanak rüzgar etkisi faktörü 1.5'un kare köküyle çarpılarak elde edilmiştir). Bu değer 62 knot'a karşılık gelmektedir. Bu durumda, gemi BV 1030-1 ve NES 109 standartlarına göre B kategorisine girmektedir. Dolayısıyla, yatırıcı moment kolu hesabında rüzgar hızı 70 knot olarak alınacaktır.

Daha önce de belirtildiği gibi BV 1030-1 kriterinde gemiler sakin su, dalga tepesi ve dalga çukuru durumlarında ayrı ayrı incelenirler. Dalga tepesi durumu geminin karşılabileceği en kötü durum olduğu için uygulamada doğrultucu moment kolu ve yatırıcı moment kolu değerleri dalga tepesinde hesaplanacaktır. Şekil 8.5'da dalga tepesindeki gemi görülmektedir.



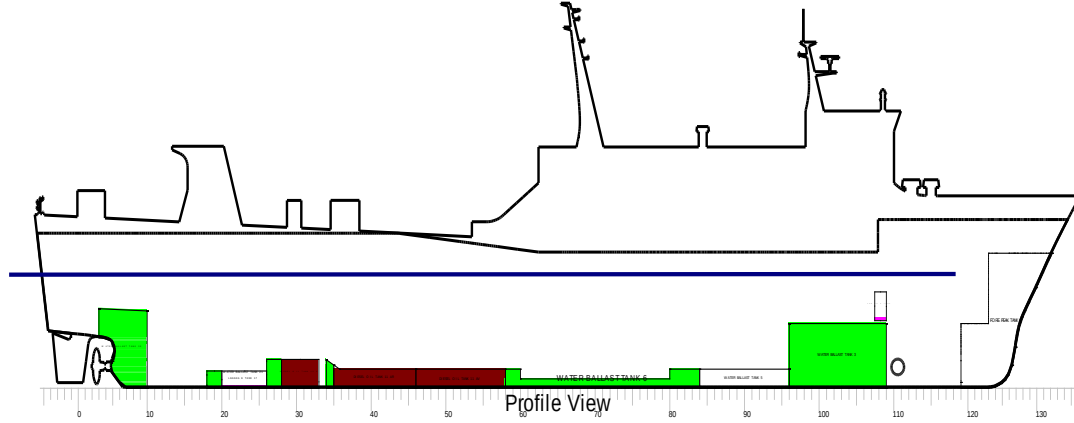
Şekil 8.5: Dalga tepesindeki Ro-Ro gemisi.

BV 1030-1'e göre geminin dalga boyunun gemi boyuna eşit olduğu bir sinüzoidal dalga üzerinde kararlı olarak yüzdüğü kabul edilir. Dalga yüksekliği ise aşağıdaki formülle bulunur:

$$H = \frac{\lambda}{(10 + 0.05\lambda)} \quad (8.1)$$

Burada; λ su hattı boyudur. Söz konusu gemi için su hattı boyu 84.63 metre olduğuna göre dalga yüksekliği yukarıdaki denkleme göre 5.95 metre olarak bulunmaktadır.

NES 109 kriterinde ise IMO hava kriterinde olduğu gibi gemi sakin su durumunda incelenecektir. Şekil 8.6’da sakin su durumundaki Ro-Ro gemisi görülmektedir.

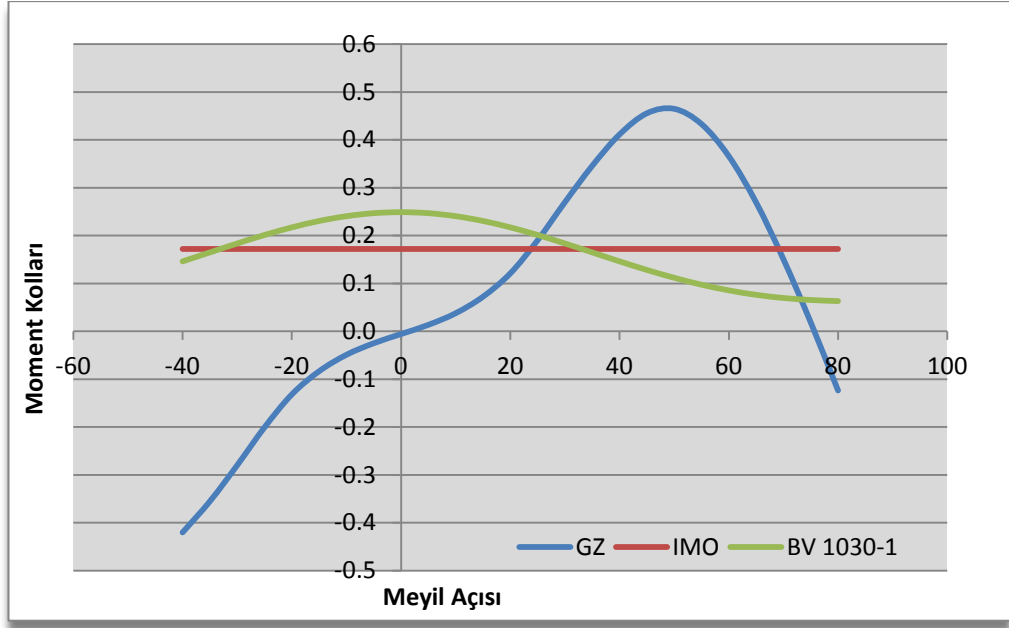


Şekil 8.6: Sakin sudaki Ro-Ro gemisi.

Doğrultma momenti kolu değerleri dalga tepesi ve sakin su durumları için farklı hesaplanmaktadır. Bu yüzden kriterlerin karşılaştırılması ayrı şekil ve çizelgelerde yapılmıştır. Şekil 8.7’de tam yüklü kalkış kondisyonu için IMO ve BV 1030-1, Şekil 8.8’de ise IMO ve NES 109 kurallarına göre hesaplanan doğrultucu ve yatırıcı rüzgar momenti kolları verilmiştir. Çizelge 8.12 ve Çizelge 8.14’de ise hesaplanan moment kolları değerleri verilmiştir. Askeri gemi kurallarının karşılaştırılması sadece tam yüklü kalkış kondisyonu için yapılacaktır.

Şekil 8.7 ve 8.8’de görüldüğü gibi dalga tepesinde doğrultucu moment kolu değerleri daha olumsuz sonuçlar vermektedir. Ayrıca yatırıcı rüzgar momentinin meyil açısıyla değişimi ihmal edilirse, yani meyilsiz durumdaki yatırıcı moment kollarını karşılaştırdığımızda, BV 1030-1’e göre hesaplanan moment değerlerin, NES 109’a göre hesaplanan değerlerden daha büyük olduğu görülmektedir. Meyilsiz durumda IMO ve NES 109’a göre yatırıcı moment kolu değerleri birbirine oldukça yakındır.

Çizelge 8.13’de BV 1030-1’e göre yükleme sonuçları verilmiştir. Tam yüklü kalkış kondisyonunda gemi stabilite kriterlerini sağlayamamaktadır. Çizelge 8.15’de ise NES 109’a göre yükleme sonuçları verilmiştir. Bu durumda stabilite kriterleri sağlanmıştır.



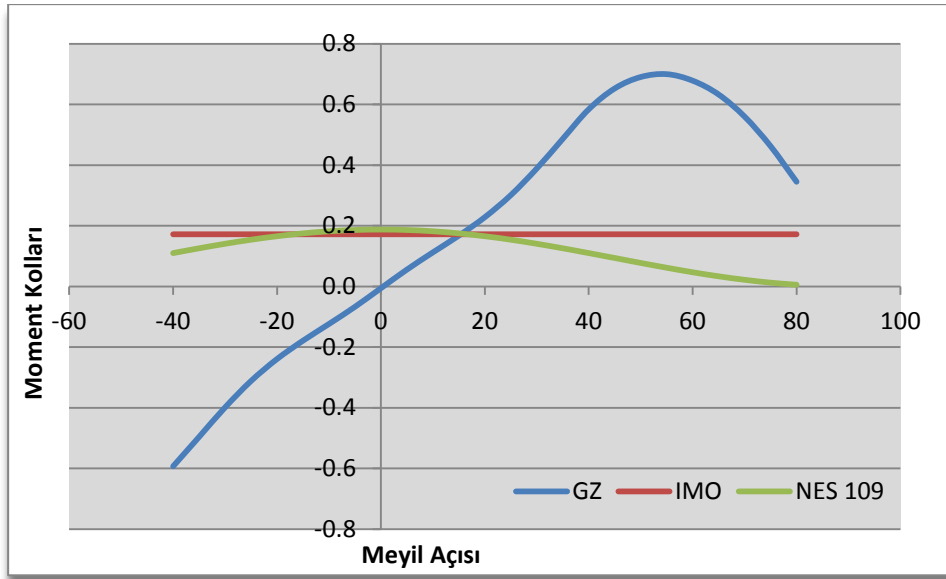
Şekil 8.7: Ro-Ro gemisi için BV 1030-1'e göre moment kolu eğrileri.

Çizelge 8.12: : Ro-Ro gemisi için BV 1030-1'e göre moment kolu değerleri.

Meyil (derece)	GZ (m)	IMO (m)	BV 1030-1 (m)
-40	-0.4201	0.1721	0.1462
-35	-0.3551	0.1721	0.1649
-30	-0.2797	0.1721	0.1836
-25	-0.2005	0.1721	0.2013
-20	-0.1318	0.1721	0.2172
-15	-0.0833	0.1721	0.2306
-10	-0.0490	0.1721	0.2406
-5	-0.0248	0.1721	0.2469
0	-0.0056	0.1721	0.2490
5	0.0136	0.1721	0.2469
10	0.0379	0.1721	0.2406
15	0.0724	0.1721	0.2306
20	0.1212	0.1721	0.2172
25	0.1903	0.1721	0.2013
30	0.2699	0.1721	0.1836
35	0.3459	0.1721	0.1649
40	0.4114	0.1721	0.1462
45	0.4556	0.1721	0.1283
50	0.4649	0.1721	0.1119
55	0.4331	0.1721	0.0975
60	0.3658	0.1721	0.0856

Çizelge 8.13: : Ro-Ro gemisi için BV 1030-1 kriterleri.

Kriter	Gerçek Değer	Limit Değer	Durum
Denge Açısı	25.575°	20°	Kaldı
Artık Kol Değeri	0.326	0.206	Geçti



Şekil 8.8: : Ro-Ro gemisi için NES 109'a göre moment kolu eğrileri.

Çizelge 8.14: : Ro-Ro gemisi için NES 109'a göre moment kolu değerleri.

Meyil (derece)	GZ (m)	IMO (m)	NES 109 (m)
-40	-0.5927	0.1721	0.1101
-35	-0.4959	0.1721	0.1259
-30	-0.3986	0.1721	0.1408
-25	-0.3115	0.1721	0.1542
-20	-0.2391	0.1721	0.1657
-15	-0.1786	0.1721	0.1751
-10	-0.1236	0.1721	0.1820
-5	-0.0670	0.1721	0.1863
0	-0.0056	0.1721	0.1877
5	0.0557	0.1721	0.1863
10	0.1125	0.1721	0.1820
15	0.1677	0.1721	0.1751
20	0.2285	0.1721	0.1657
25	0.3012	0.1721	0.1542
30	0.3889	0.1721	0.1408
35	0.4867	0.1721	0.1259
40	0.5841	0.1721	0.1101
45	0.6528	0.1721	0.0939
50	0.6905	0.1721	0.0776
55	0.6999	0.1721	0.0618
60	0.6785	0.1721	0.0469

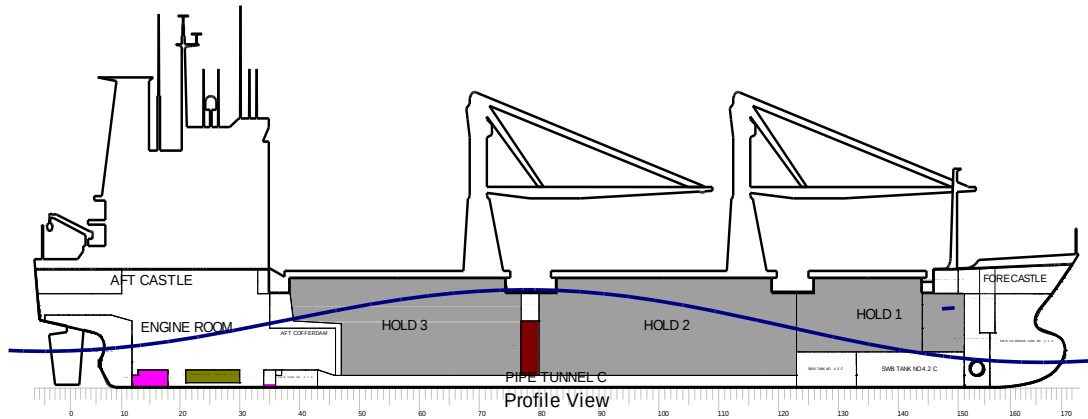
Çizelge 8.15: : Ro-Ro gemisi için NES 109 kriterleri.

Kriter	Gerçek Değer	Limit Değer	Durum
Denge Açısı	15.556°	30°	Geçti
$GZ(\theta_0)/GZ_{\text{mak}}$	0.249	0.6	Geçti
A_2/A_1	5.910	1.4	Geçti
A_2 alanını kısıtlayıcı en büyük açı	79.549	70°	Geçti

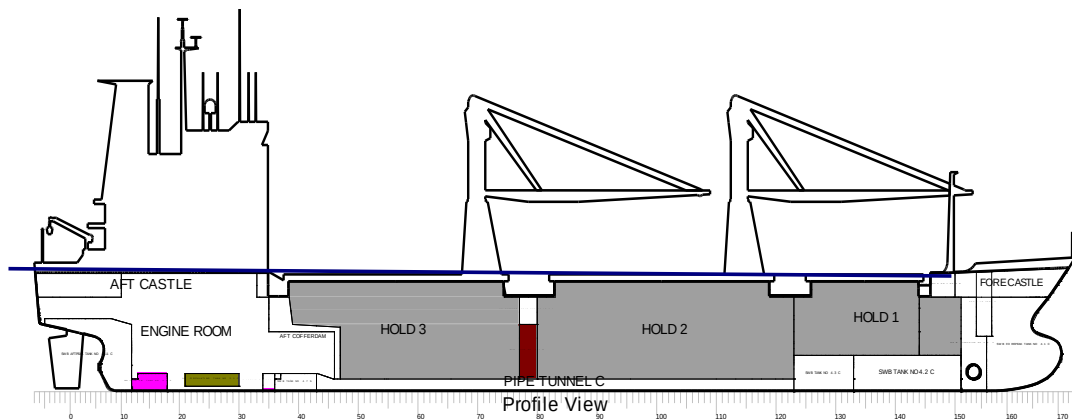
8.2.2 Kuru yük gemisi

Kuru yük gemisi okyanus aşırı sefer yaptığından hem BV 1030-1 hem NES 109'a göre Grup A kategorisinde yer almaktadır. Yani 90 knot rüzgar hızına göre stabilite kontrolleri yapılmalıdır. Ancak IMO gemilerin stabilite kontrolünü karşılaştıkları maksimum rüzgar hızına göre değil atanan standart rüzgar hızına göre yapmaktadır. Dolayısıyla söz konusu gemi IMO'ya göre sağanak rüzgar etkisinin de hesaba katılmasıyla 31.84 m/s rüzgar hızına göre incelendiğinden, askeri gemi kurallarına göre de bu değere göre yani 70 knot rüzgar hızına göre incelenecektir. Burada askeri gemi kurallarının IMO'ya göre daha ağır şartlar içerdiği açıkça görülmektedir.

Ro-Ro gemisinde olduğu gibi kuru yük gemisi de BV 1030-1'e göre dalga tepesinde incelenecektir. Denklem 8.1'e göre 116.7 metre su hattı boyu olan geminin dalga yüksekliği 7.37 metre çıkmaktadır. Şekil 8.9'da dalga tepesindeki kuru yük gemisi görülmektedir. Şekil 8.10'da ise NES 109 ve IMO kurallarına göre sakin su durumunda incelenecek kuru yük gemisi görülmektedir.



Şekil 8.9: Dalga tepesindeki kuru yük gemisi.

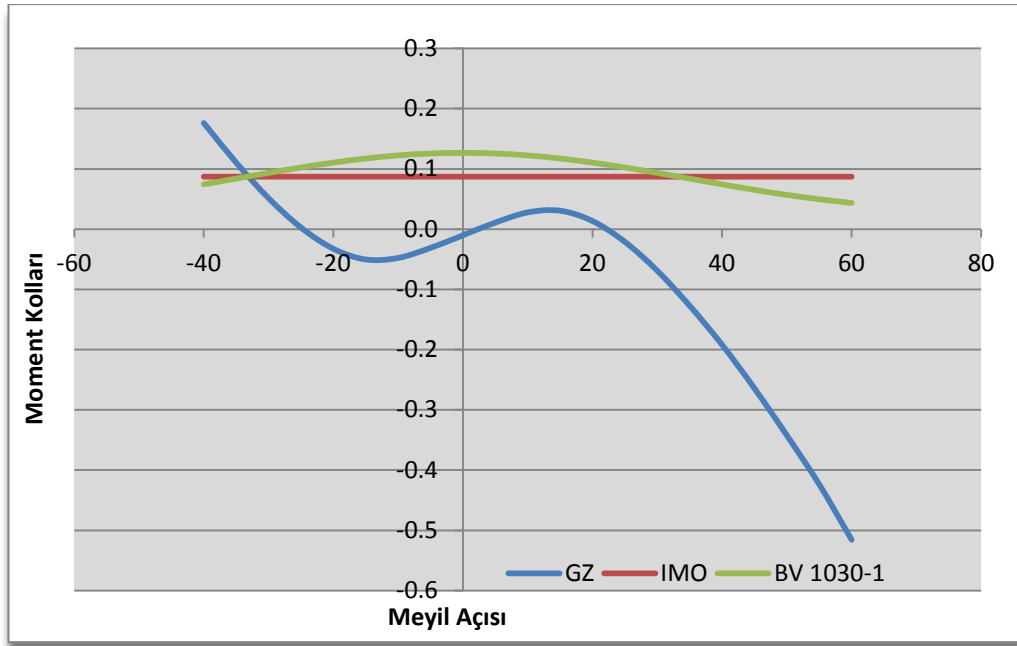


Şekil 8.10: Sakin sudaki kuru yük gemisi.

Şekil 8.11’de tam yüklü kalkış kondisyonu için IMO ve BV 1030-1, Şekil 8.12’de, IMO ve NES 109 kurallarına göre hesaplanan doğrultucu ve yatırıcı rüzgar momenti kolları verilmiştir. Çizelge 8.16 ve Çizelge 8.18’de ise moment kolları değerleri verilmiştir. Bu gemi içinde askeri gemi kurallarının karşılaştırılması sadece tam yüklü kalkış kondisyonu için yapılacaktır.

Şekil 8.11’de görüldüğü gibi dalga tepesindeki kuru yük gemisinin doğrultucu moment kolu değerleri negatif değerler almaktadır. Kuru yük gemisi IMO’ya göre hava kriteri değerlerinde oldukça iyi sonuçlar verirken BV 1030-1’e göre dalga tepesinde geminin neredeyse pozitif doğrultucu moment kolu değeri bulunmamaktadır. Çizelge 8.17’de BV 1030-1’e göre hesaplanan yatırıcı rüzgar momenti değerlerinin doğrultucu moment kolu değerleri ile karşılaştırılmasıyla elde edilen kriter sonuçları verilmiştir. Görüldüğü gibi Ro-Ro gemisinde artık kol değeri ile ilgili kriter sağlanırken kuru yük gemisinin rüzgara maruz kalan yanal alanının Ro-Ro gemisine göre çok daha fazla olması nedeniyle kuru yük gemisi BV 1030-1 stabilite kriterlerini sağlayamamaktadır.

Rüzgar momentinin meyil açısıyla değişimi ihmal edilirse, yani meyilsiz durumdaki yatırıcı moment kollarını karşılaştırdığımızda, BV 1030-1’e göre hesaplanan moment değerlerin, NES 109’a göre hesaplanan değerlerden daha büyük olduğu kuru yük gemisi için de görülmektedir. Meyilsiz durumda, Ro-Ro gemisine göre kuru yük gemisi için fark daha fazla da olsa IMO ve NES 109’a göre hesaplanan yatırıcı moment kolu değerleri birbirine daha yakın çıkmaktadır. Çizelge 8.19’da NES 109’a göre hesaplanan yatırıcı rüzgar momenti değerlerinin doğrultucu moment kolu değerleri ile karşılaştırılmasıyla elde edilen kriter sonuçları verilmiştir. Geminin NES 109’a göre IMO hava kriterinde olduğu gibi sakin suda incelenmesi ve yatırıcı rüzgar moment değerlerinin meyilsiz durumda birbirine yakın sonuçlar vermesi nedeniyle IMO hava kriterine göre iyi sonuçlar veren kuru yük gemisi A_2 alanı için verilen limit açısı değeri hariç diğer NES 109 kriterlerini de sağlamıştır. NES 109’a göre A_2 alanını kısıtlayıcı en büyük açısı değerinin 70° olması istenirken yükleme kondisyonunda 59.129° olarak hesaplanmıştır. Bu limit değeri İngiliz askeri gemileri ile Kanada askeri gemileri için incelenirken Amerika Birleşik Devletleri ve Fransa donanmasındaki gemiler için kullanılmamaktadır.



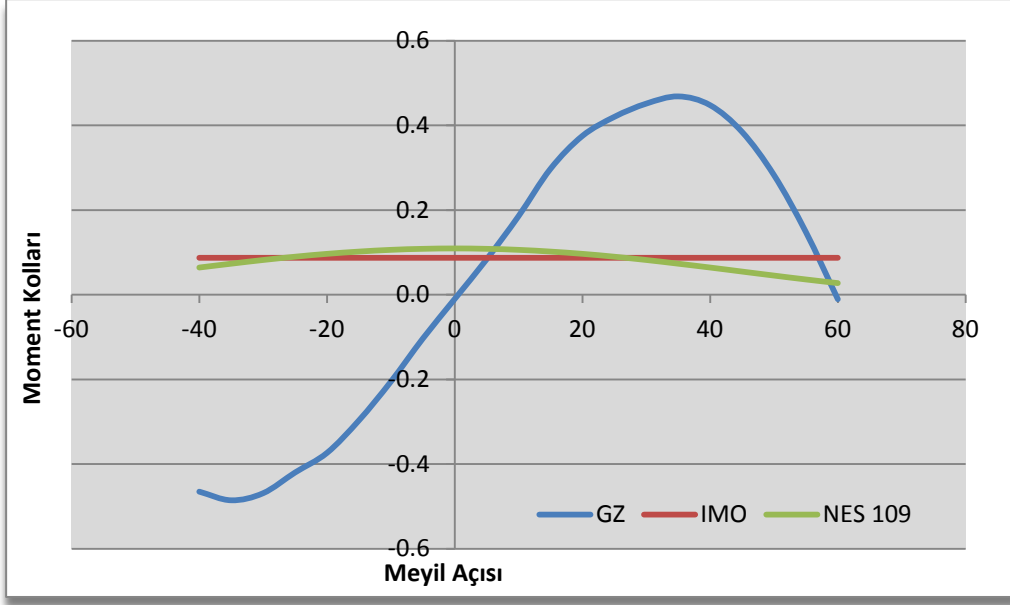
Şekil 8.11: Kuru yük gemisi için BV 1030-1'e göre moment kolu eğrileri.

Çizelge 8.16: Kuru yük gemisi için BV 1030-1'e göre moment kolu değerleri.

Meyil (derece)	GZ (m)	IMO (m)	BV 1030-1 (m)
-40	0.176	0.087	0.074
-35	0.111	0.087	0.084
-30	0.051	0.087	0.093
-25	0.003	0.087	0.102
-20	-0.033	0.087	0.111
-15	-0.050	0.087	0.117
-10	-0.048	0.087	0.122
-5	-0.031	0.087	0.126
0	-0.010	0.087	0.127
5	0.011	0.087	0.126
10	0.028	0.087	0.122
15	0.031	0.087	0.117
20	0.014	0.087	0.111
25	-0.021	0.087	0.102
30	-0.069	0.087	0.093
35	-0.127	0.087	0.084
40	-0.192	0.087	0.074
45	-0.264	0.087	0.065
50	-0.342	0.087	0.057
55	-0.424	0.087	0.050
60	-0.516	0.087	0.044

Çizelge 8.17: Kuru yük gemisi için BV 1030-1 kriterleri.

Kriter	Gerçek Değer	Limit Değer	Durum
Denge Açısı	0°	20°	Kaldı
Artık Kol Değeri	-0.211	0.100	Kaldı



Şekil 8.12: Kuru yük gemisi için NES 109'a göre moment kolu eğrileri.

Çizelge 8.18: Kuru yük gemisi için NES 109'a göre moment kolu değerleri.

Meyil (derece)	GZ (m)	IMO (m)	NES 109 (m)
-40	-0.465	0.087	0.064
-35	-0.486	0.087	0.073
-30	-0.469	0.087	0.082
-25	-0.420	0.087	0.090
-20	-0.374	0.087	0.096
-15	-0.297	0.087	0.102
-10	-0.206	0.087	0.106
-5	-0.104	0.087	0.108
0	-0.010	0.087	0.109
5	0.084	0.087	0.108
10	0.186	0.087	0.106
15	0.297	0.087	0.102
20	0.375	0.087	0.096
25	0.420	0.087	0.090
30	0.451	0.087	0.082
35	0.468	0.087	0.073
40	0.448	0.087	0.064
45	0.385	0.087	0.055
50	0.283	0.087	0.045
55	0.148	0.087	0.036
60	-0.011	0.087	0.027

Çizelge 8.19: Kuru yük gemisi için NES 109 kriterleri.

Kriter	Gerçek Değer	Limit Değer	Durum
Denge Açısı	6.252°	30°	Geçti
$GZ(\theta_0)/GZ_{\max}$	0.230	0.6	Geçti
A_2/A_1	2.225	1.4	Geçti
A_2 alanını kısıtlayıcı en büyük açı	59.129°	70°	Kaldı

9. TÜRKİYE DENİZLERİ İÇİN ÖNERİLEN HAVA KRİTERİ

Türkiye denizleri için önerilen hava kriteri, daha önce bahsedilen IMO hava kriteriyle ilgili bazı eksiklikler giderilmeye çalışarak verilecektir. Alternatif hava kriteri için izlenecek adımlar aşağıda gibidir:

- Rüzgar basıncının, gemilerin Türkiye denizlerinde karşılaşılabileceği rüzgar hızıyla bağımlı olarak verilmesi
- Dalga dikliği rüzgar hızına ve yalpa periyoduna bağlı olduğu için dalga dikliğinin de belirlenen rüzgar hızına göre verilmesi
- X_1 sönüm katsayısı değerinin, modern gemileri kapsayacak şekilde , B/T oranının 3.5'den büyük değerleri için verilmesi
- OG/T'ye bağlı olarak hesaplanan efektif dalga eğimi katsayısının maksimum 1 olarak atanması
- Rüzgar yatırıncı momentinin meyil açısıyla değişiminin verilmesi

9.1 Rüzgar Basıncı

Alternatif hava kriterinde kullanılacak rüzgar basıncını tayin etmek için Japon yolcu gemilerine uygulanan yöntem kullanılacaktır. Daha önce bahsedildiği gibi Japon hava kriterinde gemiler seyir alanlarına göre üç sınıfa ayrılmaktadır. Bu kriterin geliştirilmesi esnasında, ilk olarak her kategorideki gemiler için denizde karşılaşılabilecek en kötü hava koşulları belirlenmiştir. Daha sonra bordadan gelen dalga durumunda, geminin alabora olmaması için yeterli emniyeti sağlayacak standart bir rüzgar hızı belirlenmiştir.

Türkiye denizlerinde sefer yapan gemilerin emniyetli bir seyir sağlayacakları standart rüzgar hızını tayini etmek için Japon hava kriterinde olduğu gibi en büyük ve ortalama rüzgar hızı değerleri belirlenecektir. Buradaki amaç, IMO hava kriterinde okyanus aşırı sefer yapan gemilere göre atanan standart rüzgar hızı değeri 26 m/s ve buna bağlı olarak hesaplanan 504 Pa değerindeki rüzgar basıncının, Türkiye denizlerinde sefer yapan gemiler için gereğinden fazla alındığının gösterilmesi ve

standart rüzgar hızının rastgele olarak değil bu denizlerde karşılaşılan rüzgar hızlarına göre tayin edilmesidir.

9.1.1 Türkiye denizlerindeki en kötü hava koşulları

Karadeniz, Marmara Denizi, Ege Denizi ve Akdenizde karşılaşılan rüzgar hızlarına göre, rüzgar basıncı tayin edilecektir. Bu amaçla, Türkiye Kıyıları Rüzgar ve Derin Deniz Dalga Atlası [14] kullanılarak Türkiye denizlerinde karşılaşılan en yüksek rüzgar hızı ve ortalama rüzgar hızı bulunacaktır. Böylece rüzgar basıncı hesabında kullanılacak standart rüzgar hızı belirlenebilecektir.

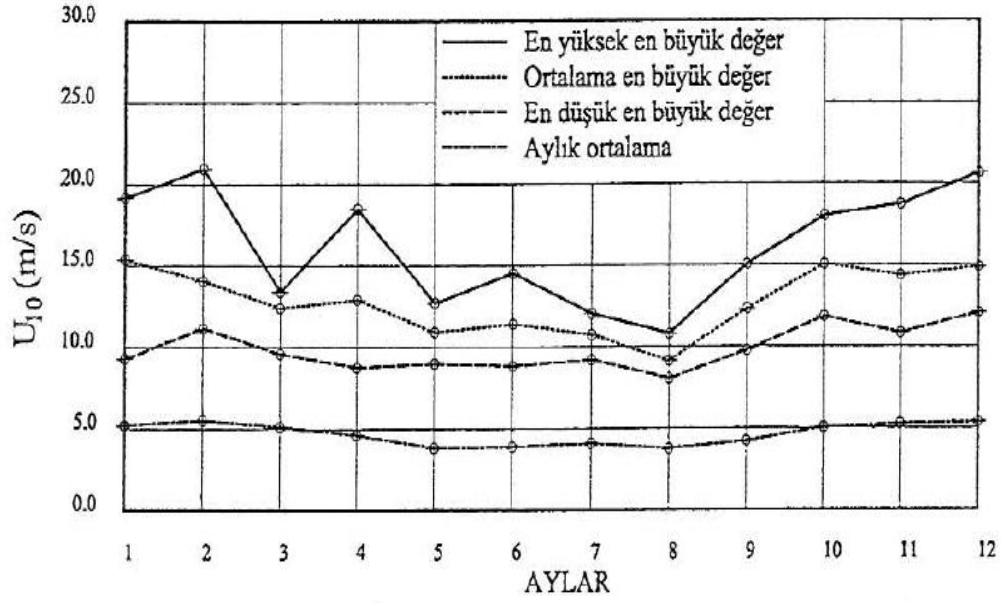
Türkiye Kıyıları Rüzgar ve Derin Deniz Dalga Atlası, yaklaşık 10 yıla dayanan çalışmaların ürünüdür ve Kıyı Alanları Yönetimi Türk Milli Komitesi, MEDCOST, Ortadoğu Teknik Üniversitesi, NATO ve Science for Stability Programme işbirliği ile hazırlanmıştır. Atlas, Türkiye kıyılarını etkileyen rüzgar ve dalga iklimlerinin temel unsurlarını, Karadeniz, Ege Denizi ve Akdeniz için 30 km, Marmara Denizi içinse 10 km aralıklarla sunmaktadır. Ek A, B, C ve D’de bu denizlerde ölçümlerin yapıldığı yerler üçer örnekle gösterilmiştir. Ayrıca, en büyük rüzgar hızları, ortalama rüzgar hızları ve en büyük dalga yükseklikleri ölçüm yapılan enlem değerlerine göre Ek A, B, C ve D’de çizelge olarak verilmektedir.

Atlasla göre elde edilen en büyük ve ortalama rüzgar hızları ile en büyük dalga yükseklikleri Çizelge 9.1’de gösterilmektedir. Buna göre en yüksek rüzgar hızının görüldüğü deniz Marmara Denizi nispi olarak en sakin deniz ise Akdeniz olarak görülmektedir.

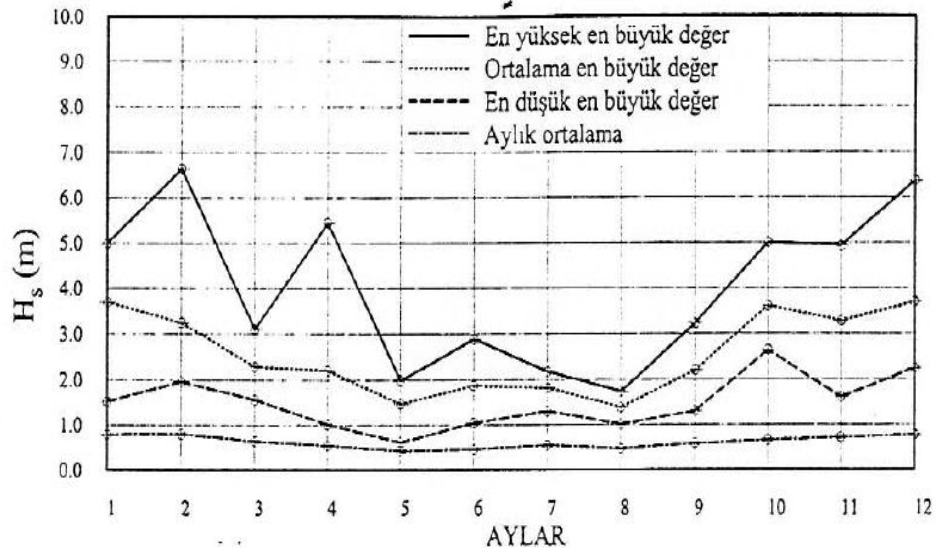
Çizelge 9.1: Türkiye denizlerinde karşılaşılan en kötü hava koşulları.

Deniz	Ortalama Rüzgar Hızı m/s	En Büyük Rüzgar Hızı m/s	En Yüksek Dalga Yüksekliği m
Karadeniz	9	27.5	9.7
Marmara Denizi	9	37.5	5.4
Ege Denizi	9	26.5	7.1
Akdeniz	8	24	9.4

Atlasdan alınan bilgiler, Şekil 9.1 ve Şekil 9.2’de örnek olarak gösterilen grafiklerden elde edilmiştir. Ölçüm yapılan enlemlere göre, Şekil 9.1’de gösterilen grafikten en büyük ve ortalama rüzgar hızı değerleri, Şekil 9.2’de gösterilen grafikten ise en büyük dalga yüksekliği değerleri okunmuştur.



Şekil 9.1: Aylık ortalama ve en uç değer yüzeysel rüzgar hızları [14].



Şekil 9.2: Aylık ortalama ve en uç değer belirgin dalga yükseklikleri [14].

En büyük ve ortalama rüzgar hızı değerleri ile en büyük dalga yüksekliği değerleri Karadeniz, Akdeniz ve Ege Denizi için kıyı bölgelerinde alınmıştır. Marmara Denizi ise diğer denizlere göre çok daha küçük olduğu için alınan ölçümler tüm denizi kapsamaktadır. Karadeniz Akdeniz ve Ege Denizlerinde bulunan en yüksek ve ortalama rüzgar hızları denizlerin büyüklüğü düşünülerek ve daha güvenli bir değer tayin etmek amacıyla %20 gibi bir güvenlik katsayısı ile çarpılacaktır. Marmara Denizi için böyle bir hesaba gerek yoktur.

Marmara Denizinde karşılaşılan en büyük rüzgar hızı değeri, diğer denizlere göre oldukça fazladır. Ancak Marmara Denizindeki seyir mesafesinin diğer denizlere göre çok daha az ve korunaklı alanların daha fazla olması sebebiyle, bu denizin Karadeniz gibi daha uzun seyir mesafesine sahip bir denize göre daha az tehlikeli olacağı düşünülmektedir, standart rüzgar hızı tayini için hız değerleri Karadenizle aynı alınmıştır. Elde edilen değerler Çizelge 9.2’de gösterilmektedir.

Çizelge 9.2: Türkiye denizlerindeki rüzgar hızları.

Deniz	Ortalama Rüzgar Hızı m/s	En Büyük Rüzgar Hızı m/s
Karadeniz	11	33
Marmara Denizi	11	33
Ege Denizi	11	32
Akdeniz	10	29

Görüldüğü gibi Çizelge 9.2’de bulunan değerler arasında büyük farklar olmadığı için standart rüzgar hızı tayini tüm Türkiye denizleri için 11 m/s ortalama rüzgar hızı ile 33 m/s en büyük rüzgar hızına göre belirlenecektir.

Çizelge 9.3’de NATO tarafından operasyon alanı Kuzey Atlantik, Akdeniz ve Kuzey Denizi, Karadeniz ve Baltık Denizi gibi iç denizler olan askeri gemiler için verilen deniz durumuna göre etkin dalga yüksekliği, rüzgar hızı ve modal dalga periyotları verilmektedir. Rüzgar hızını oluşma olasılığı %0.05 gibi küçük bir değer olduğundan en büyük 63 knot aldığımızda bu değer 32.38 m/s’ye denk gelmektedir. Bu durumda Türkiye denizleri için kabul edilen 33 m/s rüzgar hızı değerinin oldukça gerçekçi olduğu görülmektedir.

Çizelge 9.3: Nato’ya göre deniz durumları [15].

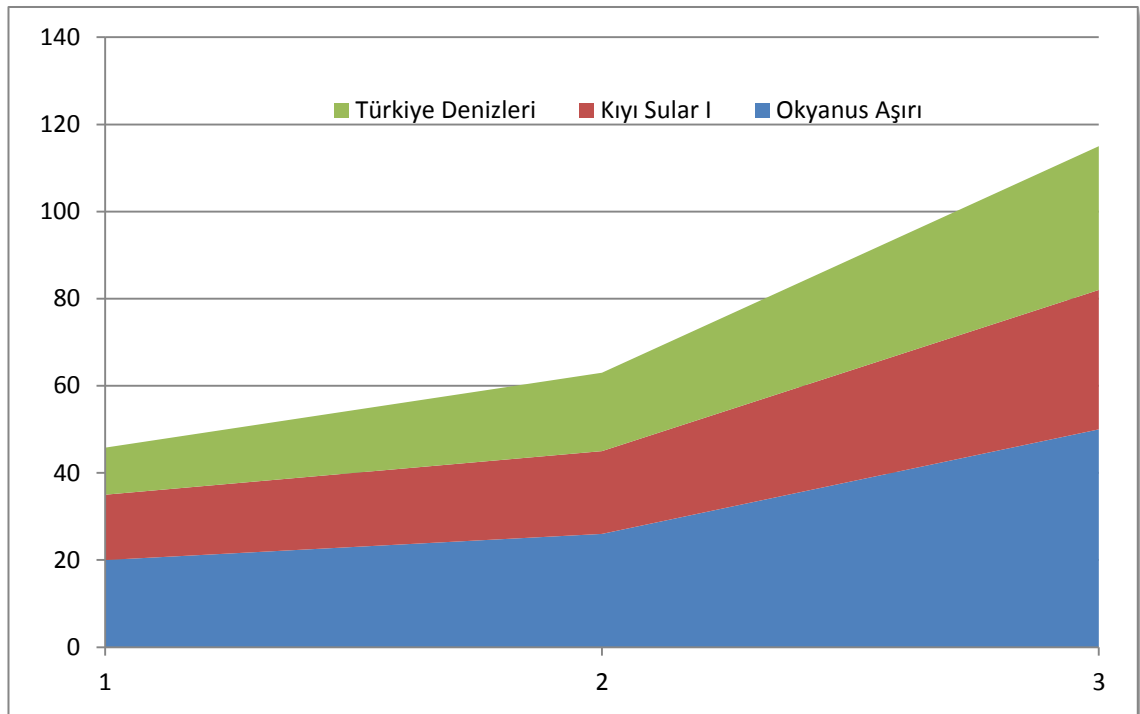
Deniz Durumu	Etkin dalga yüksekliği (m)		Rüzgar Hızı (knot)		Deniz Durumu Olasılığı (%)	Modal Dalga Periyodu (s)	
	Aralık	Ortalama	Aralık	Ortalama		Aralık	En Muhtemel
0-1	0.00-0.10	0.05	0-6	0.50	0	—	—
2	0.10-0.50	0.30	7-10	3.50	7.2	3.3-12.8	7.60
3	0.50-1.25	0.88	11-16	8.50	22.4	5.0-14.8	7.50
4	1.25-2.50	1.88	17-21	19.00	28.7	6.1-15.2	8.80
5	2.50-4.00	3.25	22-27	24.50	163	8.3-15.6	9.70
6	4.00-6.00	5.00	28 - 47	37.60	18.7	9.8-10.2	12.40
7	6.00-9.00	7.50	48 - 55	51.50	6.1	11.8-18	15.00
8	9.00-14.00	11.50	56 - 63	59.50	1.2	14.2-18.6	16.40
>8	>14	>14	>63	>63	<0.05	15.7-23.7	20.00

9.1.2 Standart rüzgar hızı tayini

Japon kriterinde ortalama hız ve en yüksek rüzgar hızı belirlendikten sonra her kategori için kaza istatistiklerine göre gemilerin bordadan gelen rüzgar karşısında yeterli stabiliteye sahip olduğu standart hız değeri bulunmuştur. Türkiye denizleri için standart hız değeri bulunurken Japon kriterindeki değerler baz alınmıştır. Buna göre, standart rüzgar hızı Türkiye denizleri için 18 m/s olarak tayin edilmiştir. Çizelge 9.4’de Japon kriterine göre Okyanus Aşırı ve Kıyı Suları I ile Türkiye denizleri için bulunan ortalama rüzgar hızı en büyük rüzgar hızı ve standart rüzgar hızı değerleri verilmiştir. Şekil 9.3’de Türkiye denizleri için atanan standart hız değerinin Japon kriterinde uygulanan yöntemle aynı eğilimde olduğu görülmektedir.

Çizelge 9.4: Japon kriteri ve Türkiye denizleri.

Kategori	Ortalama Rüzgar Hızı m/s	En Büyük Rüzgar Hızı m/s	Standart Rüzgar Hızı m/s
Okyanus Aşırı	20	50	26
Kıyı Suları I	15	32	19
Türkiye Denizleri	11	33	18



Şekil 9.3: Japon kriteri ve Türkiye denizleri.

IMO Hava Kriterinde de olduğu gibi rüzgar basıncını hesaplamak için aşağıdaki denklem kullanılmıştır. Türkiye denizleri için atanan 18 m/s standart rüzgar hızı değerine göre rüzgar basıncı 242 Pa olarak elde edilmektedir. Alternatif hava

kriterinde Türkiye denizleri için rüzgar basıncı değeri 242 Pa olarak verilecektir. Bu değer, Karadeniz'in hava koşullarına göre belirlenmiştir. Rus Loydu'nun Karadeniz'de sefer yapan gemileri, 252 Pa rüzgar basıncına göre incelediğini göz önüne aldığımızda yapılan varsayımların oldukça gerçekçi olduğu görülmektedir.

$$P = \frac{1}{2} \rho C_D V_w^2 \quad (9.1)$$

Burada; V_w atanan standart rüzgar hızı değeridir. ρ havanın yoğunluğunu ifade eder ve değeri 1.225 kg/m^3 'dür. C_D ise sürtünme direnci katsayısıdır ve değeri 1.22 olarak alınır.

9.2 Dalga Dikliği

Japon kriterinde bahsedildiği gibi hava kriterinde kullanılan dalga dikliği, rüzgar hızına bağlı olarak değişmektedir ve eğer standart rüzgar hızı belli ise, buna bağlı olarak dalga dikliği kolayca belirlenebilmektedir. Bu bölümde de dalga dikliğini ifade etmek için “ δ ” sembolü kullanılacaktır.

Şekil 9.4'de, Japon kriterinde olduğu gibi, iklim verileri kullanarak deniz durumu tahmini yapabilmek için Sverdrup ve Munk (1947) tarafından kullanılan dalga yaşı (dikey eksen) ve dalga dikliği (yatay eksen) arasındaki bağıntı görülmektedir. Dalga yaşı “ β ” sembolü ile ifade edilmektedir. Dalga yaşı, aşağıda gösterildiği gibi dalga hızının (C) rüzgar hızına (V) oranıdır.

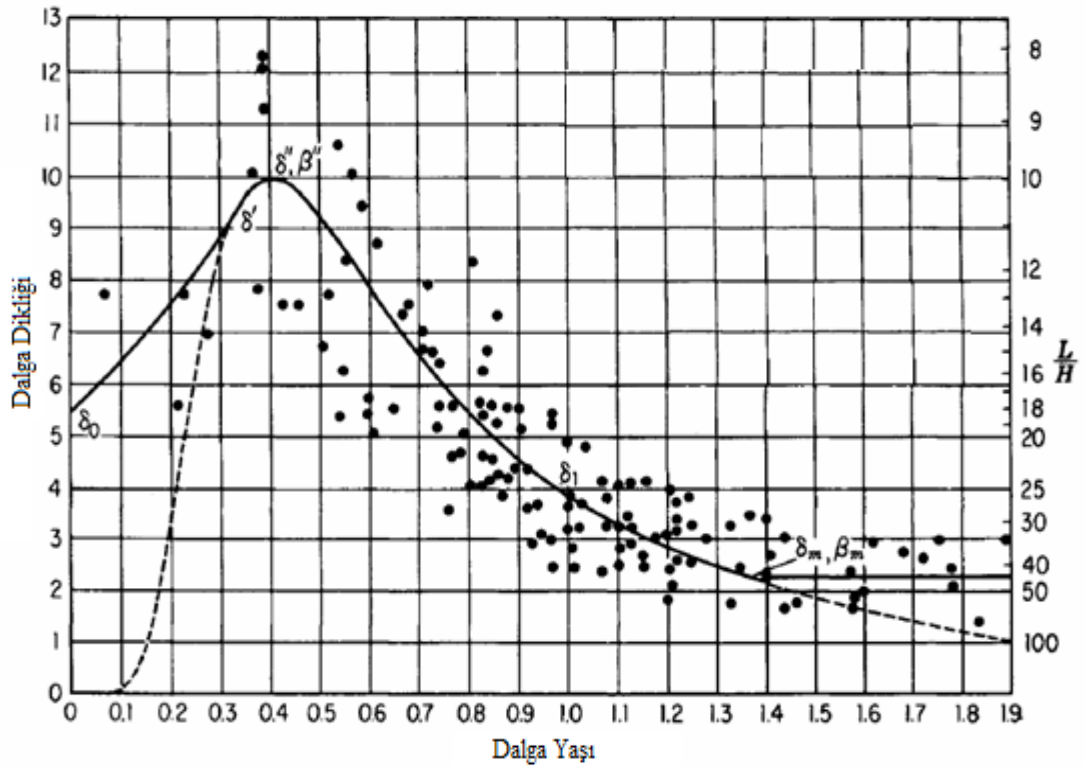
$$\beta = \frac{C}{V} \quad (9.2)$$

Japon kriterinde, dalga dikliğinin, geminin rezonans yalpa hareketine denk gelmesi varsayımıyla, kriterde kullanılan yalpa periyodunun, geminin doğal yalpa periyodu ile aynı olduğu kabul edilmiştir. Ayrıca dalga yaşı (β) ve dalga hızı için verilen dispersiyon bağıntısı kullanılarak, dalga yaşı ve dalga periyodu (T_w) arasındaki aşağıdaki bağıntı elde edilmiştir.

$$\beta = \frac{g T_w}{2\pi V} \quad (9.3)$$

Yukarıdaki bağıntı için standart rüzgar hızını 18 m/s aldığımızda dalga periyoduna göre bulunan dalga yaşı değerleri Çizelge 9.5'de verilmiştir. Ayrıca Şekil 9.4'de

verilen eğrilerden dalga yaşının 0 ile 0.350 ve 0.350 ile 1.369 aralığındaki değerleri için dalga dikliği ve dalga yaşı arasındaki bağıntılar elde edilmiştir.



Şekil 9.4: Dalga yaşı ile dalga dikliği arasındaki bağıntı (Sverdrup ve Munk, 1947) [7].

Çizelge 9.5: Türkiye denizlerindeki dalga yaşı değerleri ve dalga yaşı ve dalga dikliği arasındaki bağıntı.

Dalga Periyodu	Dalga Yaşı	Dalga Dikliği
4	0.347	$9.6925\beta^2 + 7.8722\beta + 5.3285$
5	0.434	
6	0.521	
7	0.607	
9	0.781	$-35.949\beta^4 + 12689\beta^3 - 155.35\beta^2 + 68.084\beta + 0.1735$
11	0.955	
12	1.041	
13	1.128	
14	1.215	

Okyanus aşırı sefer yapan gemiler için dalga dikliği IMO hava kriterindeki aynı çizelge ile verilecektir. Türkiye denizleri için ise standart rüzgar hızı 18 m/s ve dalga periyodu değerlerine göre dalga dikliği hesaplanacaktır. IMO'nun olası okyanus dalga spektrumuna göre en küçük dalga dikliği değeri 0.035 ile en büyük dalga dikliği değeri ise 0.100 ile kısıtlanmıştır. Buna göre Çizelge 9.6'da okyanus aşırı

sefer yapan gemiler için, Çizelge 9.7’de ise Türkiye denizlerinde sefer yapacak gemiler için dalga dikliği değerleri verilmiştir.

Çizelge 9.6: IMO Kriterindeki dalga dikliği (Okyanus Aşırı Kategorisi) [7].

T(s)	6.0	7.0	8.0	12.0	14.0	16.0	18.0	20.0
δ	0.100	0.098	0.093	0.065	0.053	0.044	0.038	0.035

Çizelge 9.7: Türkiye denizleri için dalga dikliği.

T(s)	4	5	6.0	7.0	9.0	11.0	12.0	13.0	14.0
δ	0.100	0.097	0.089	0.079	0.058	0.043	0.038	0.035	0.035

9.3 Sönüm Faktörü, X_1

X_1 faktörü gemilerin B/T oranına bağlı sönüm katsayısıdır. IMO hava kriterinde bu sönüm faktörü daha önce belirtildiği gibi, B/T nin 2.4 ile 3.5 arasındaki değerleri için verilmektedir ve bu değerler dışında sabit kabul edilmektedir. Ancak birçok modern geminin B/T oranı 3.5’den büyük olduğu için bu doğru bir yaklaşım değildir.

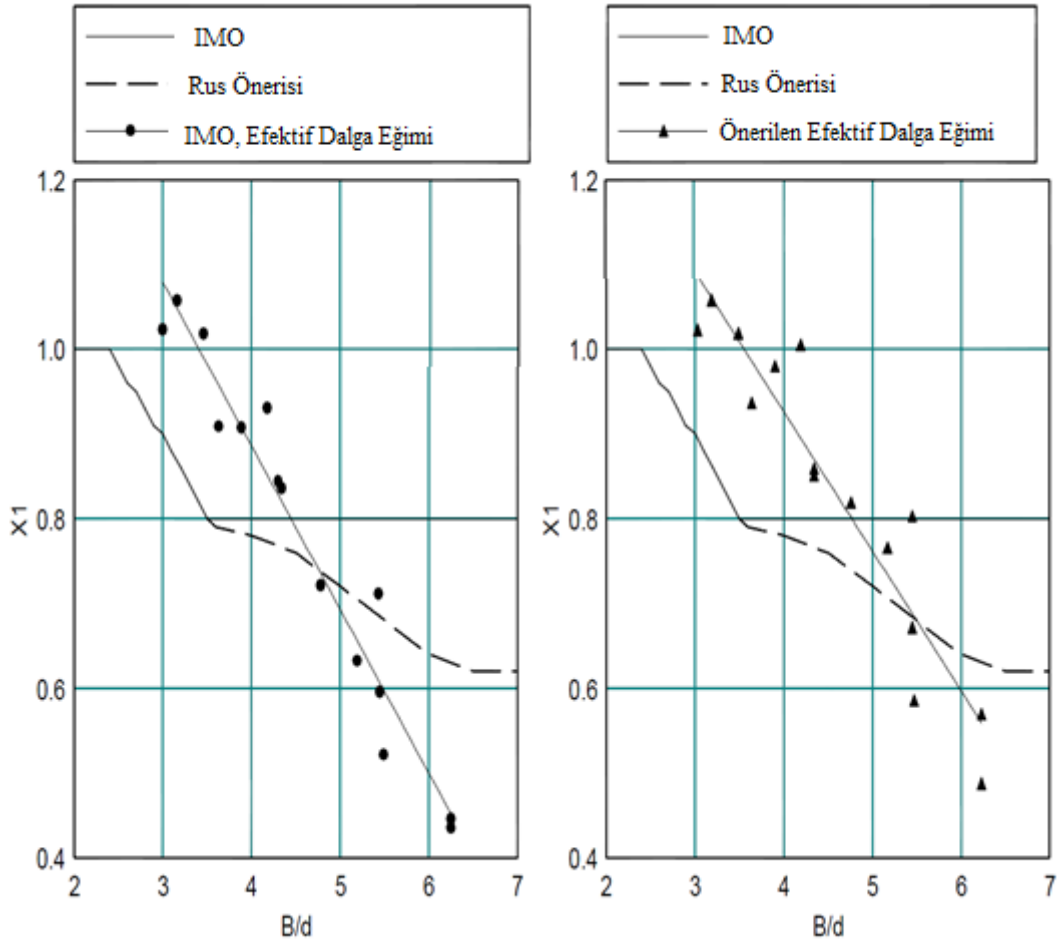
Rus Loydu bu eksikliği görerek X_1 faktörünü modern gemileri kapsayacak şekilde genişletmiştir. St. Petersburg Devlet Denizcilik Teknik Üniversitesi, B/T oranı 3.5 ile 7.0 aralığını kapsayacak şekilde değişen farklı tipteki okyanus aşırı sefer yapan 15 gemi üzerinde deney yapmışlardır ve sönüm faktörünü Çizelge 9.8’de verildiği gibi bulmuşlardır [16]. Konuyla ilgili makale Rusça yayımlandığından ve henüz çevirisi yapılmadığından, testlerin detayları ve analizler açık değildir.

Çizelge 9.8: Rus kriterine göre X_1 katsayısı [16].

B/T	X_1
≤ 2.4	1.00
2.6	0.96
2.8	0.93
3.0	0.90
3.2	0.86
3.4	0.82
3.5	0.80
3.6	0.79
4.0	0.78
4.5	0.76
5.0	0.72
5.5	0.68
6.0	0.64
≥ 6.5	0.62

Ruslar, boyları 50 m ile 182 m arasında değişen 15 gemi üzerinde test yapmışlardır. Gemilerden 10 tanesinin B/T oranları 3.6 ile 5 arasında iken diğer 5 geminin bu oranı 6.96'ya kadar çıkmaktadır. Test sonuçlarına göre buldukları çizelge, Rusya tarafından 2003'te efektif dalga eğimi katsayısı ile birlikte IMO'ya sunulmuştur. Rus önerisinde, mevcut IMO değerleri harmonize edilmiştir, yani mevcut IMO değerleri bundan etkilenmemiştir.

Daha öncede bahsedildiği gibi Rusların konuyla ilgili makalesi Rusça yayımlandığından ve henüz çevirisi yapılmadığından, testlerin detayları ve analizleri hakkında bilgi alınanmamıştır. Ancak, MCA (Maritime & Coastguard Agency) tarafından yapılan model deneyleri sonucu elde edilen X_1 sönüm faktörü değerleri Ruslar tarafından önerilen sönüm faktörü ile aynı eğilimde olmadığından söz konusu sönüm faktörü için IMO ile aynı değerler kullanılacaktır. Şekil 9.5'de X_1 sönüm faktörü için Rus kriteri ve MCA deney sonuçları görülmektedir [6].



Şekil 9.5: X_1 sönüm faktörü için Rus kriteri ve MCA deney sonuçları [6].

9.4 Efektif Dalga Eğimi Katsayısı, r

IMO, efektif dalga eğimi katsayısını hesaplamak için kullandığı aşağıdaki denklemi OG/T oranı 0.4 ile 0.6 arasında değişen gemilerden elde etmiştir. Dolayısıyla efektif dalga eğimi katsayısı bu değerlere göre en büyük 1 elde edilmektedir. Ancak birçok modern geminin OG/T oranı 0.6'dan ve yalpa açısını azaltıcı etkisi olan dalga eğimi katsayısı 1'den büyük çıkmaktadır. Bu yüzden IMO Hava kriterinde bu faktörün en büyük 1 alınması gerektiği belirtilmelidir [16].

$$r = 0.73 \pm 0.6 \frac{OG}{T} \quad (9.4)$$

Çizelge 9.9'da MCA tarafından yapılan model deneylerinde, yalpa açısının, efektif dalga eğimi katsayısının IMO'ya ve en büyük değerinin 1 alınmasına göre hesabındaki fark görülmektedir. Deneylerin yapıldığı modeller İngiltere'nin farklı kategorilerdeki yolcu gemilerine göre seçilmiştir. Görüldüğü gibi modellerin çoğunda efektif dalga eğimi katsayısı değeri 1'den büyük çıkmaktadır ve yalpa açısı hesabında bu değeri en büyük 1 almak yalpa açısını oldukça düşürmektedir. Dolayısıyla, r faktörü, alternatif olarak verilen hava kriterinde en büyük 1 alınacaktır.

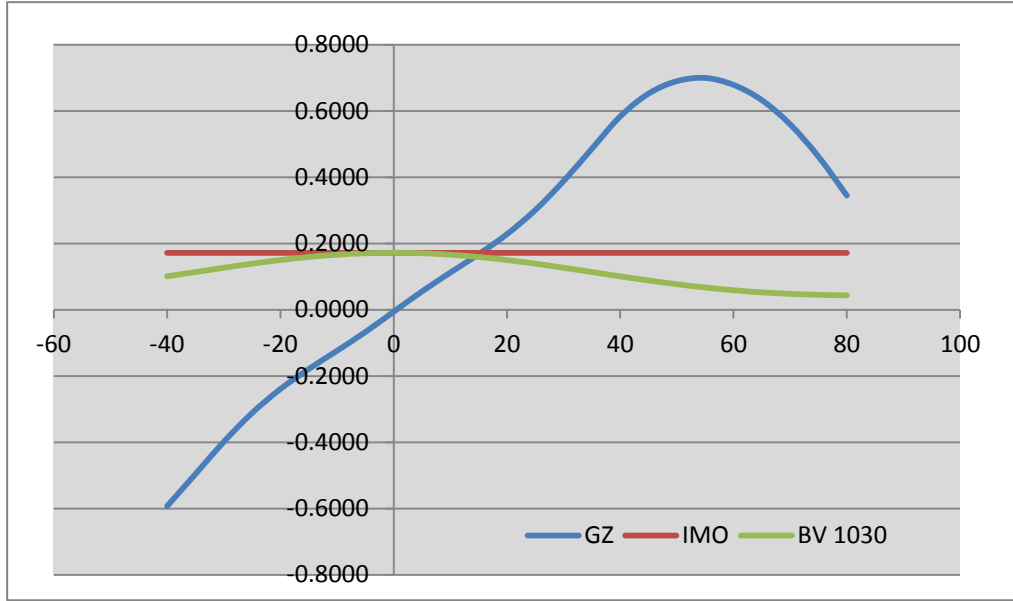
9.5 Yatırıcı Rüzgar Momentinin Meyil Açısıyla Değişmesi

IMO, meyil açısının artışı ile rüzgar yatırıcı moment kolunun azalmadığı daha güçlü bir varsayımı kabul etmektedir. Bu yaklaşım, güverte evlerinin küçük olduğu ticari gemilerde yatırıcı rüzgar momenti hesabı için çok büyük bir fark yaratmayabilir. Ancak, projeksiyon alanı büyük yolcu ve Ro-Ro gemilerinde önem kazanmaktadır. Bu yüzden, su hattı üstü alanının büyük olduğu savaş gemilerinde önceki bölümlerde anlatılan BV 1030-1 ve NES 109 askeri gemi kurallarına göre rüzgar momenti meyil açısıyla değişmektedir.

BV 1030-1'de yatırıcı rüzgar momenti üzerindeki meyilin etkisi $(0.25 + 0.75 \cos^3 \phi)$ azaltma faktörü ile NES 109'da ise su hattı üstü alanı ve bunun dikey merkezindeki azaltmayı ifade etmek amacıyla $(\cos^2 \phi)$ azaltma faktörü ile hesaplanmaktadır. Şekil 9.6'da Ro-Ro gemisi için BV 1030-1 ile IMO hava kriteri, Şekil 9.7'de NES 109 ile IMO hava kriteri arasındaki fark gösterilmektedir. Ayrıca Çizelge 9.10 ve 9.11' de bu farklar çizelge olarak sunulmuştur.

Çizelge 9.9: Efektif dalga eğimi katsayısının yalpa açısına etkisi [6].

Model	C	T	OG/d	k	X ₁	X ₂	r	s	φ ₁	r	φ ₁	FARK
				IMO Hava Kriteri						Alternatif Hava Kriteri		
M915	0.463	8.100	1.230	0.810	0.800	0.850	1.470	0.092	22.1	1.000	18.2	3.9
M929	0.437	8.350	0.730	0.740	0.800	0.810	1.170	0.091	17.1	1.000	15.8	1.3
M929H	0.432	8.240	0.550	0.740	0.800	0.830	1.060	0.091	16.6	1.000	16.2	0.5
M929L	0.444	7.310	0.730	0.740	0.800	0.780	1.170	0.096	16.9	1.000	15.6	1.3
M937	0.480	6.500	0.900	1.000	0.800	0.940	1.270	0.099	29.1	1.000	25.8	3.3
M937H	0.454	7.360	0.510	1.000	0.800	0.960	1.040	0.097	26.6	1.000	26.1	0.5
M915K	0.463	8.100	1.230	0.700	0.800	0.850	1.470	0.092	19.1	1.000	15.7	3.3
M915HK	0.453	7.940	0.930	0.700	0.800	0.880	1.290	0.093	18.6	1.000	16.4	2.2
M928	0.503	4.040	0.880	0.700	0.800	0.930	1.260	0.100	20.2	1.000	18.0	2.2
M928G	0.503	4.410	1.500	0.700	0.800	0.930	1.630	0.100	22.9	1.000	18.0	5.0
M928H	0.486	4.580	0.880	0.700	0.800	0.960	1.260	0.100	20.8	1.000	18.5	2.3
M929K	0.437	8.350	0.730	0.700	0.800	0.810	1.170	0.091	16.1	1.000	14.9	1.2
M929HK	0.432	8.240	0.550	0.700	0.800	0.830	1.060	0.091	15.7	1.000	15.3	0.5
M929LK	0.444	7.310	0.730	0.700	0.800	0.780	1.170	0.096	16.0	1.000	14.8	1.2
M935K	0.431	5.750	-0.090	0.700	0.862	0.950	0.680	0.100	16.3	1.000	19.8	-3.5
M935LK	0.438	5.680	0.000	0.700	0.802	0.940	0.730	0.100	15.5	1.000	18.2	-2.6
M935HK	0.428	5.770	-0.130	0.700	0.894	0.960	0.650	0.100	16.7	1.000	20.7	-4.0
M937K	0.480	6.500	0.900	0.730	0.800	0.940	1.270	0.099	21.2	1.000	18.8	2.4
M937HK	0.453	7.290	0.510	0.730	0.800	0.960	1.040	0.097	19.4	1.000	19.0	0.4

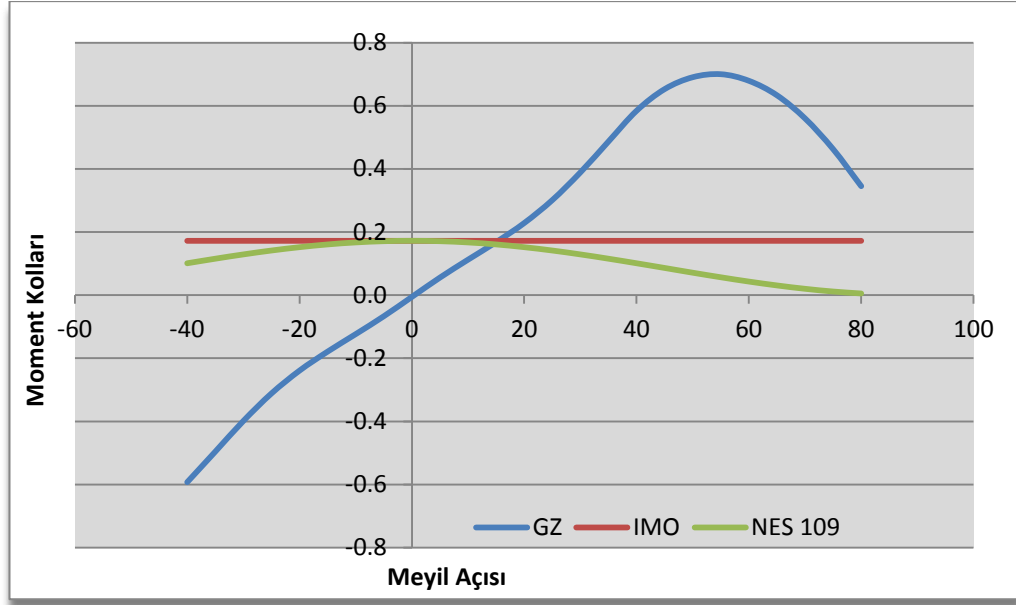


Şekil 9.6: Yatırıcı moment kolunun BV 1030-1'e göre meyl açısıyla değişimi.

Çizelge 9.10: Yatırıcı moment molunun BV 1030-1'e göre meyl açısıyla değişimi.

Meyil (derece)	GZ (m)	IMO (m)	BV 1030-1 (m)	Fark (m)
-40	-0.5927	0.1721	0.1012	0.071
-35	-0.4959	0.1721	0.1142	0.058
-30	-0.3986	0.1721	0.1271	0.045
-25	-0.3115	0.1721	0.1394	0.033
-20	-0.2391	0.1721	0.1504	0.022
-15	-0.1789	0.1721	0.1597	0.012
-10	-0.1235	0.1721	0.1666	0.006
-5	-0.0669	0.1721	0.1710	0.001
0	-0.0056	0.1721	0.1724	0.000
5	0.0557	0.1721	0.1710	0.001
10	0.1124	0.1721	0.1666	0.006
15	0.1680	0.1721	0.1597	0.012
20	0.2285	0.1721	0.1504	0.022
25	0.3012	0.1721	0.1394	0.033
30	0.3889	0.1721	0.1271	0.045
35	0.4867	0.1721	0.1142	0.058
40	0.5841	0.1721	0.1012	0.071
45	0.6528	0.1721	0.0888	0.083
50	0.6905	0.1721	0.0775	0.095
55	0.7001	0.1721	0.0675	0.105
60	0.6792	0.1721	0.0593	0.113

BV 1030-1 kriterinde, IMO hava kriteri ile arasındaki meyilden kaynaklanan farkı daha iyi görebilmek için meyilsiz durumda IMO ile aynı yatırıcı rüzgar momentini verecek rüzgar hızı seçilmiştir. Yani meyilsiz durumda iki kriter için de moment kollarının yakın olması sağlanmıştır.



Şekil 9.7: Yatırıci moment kolunun NES 109'a göre meyil açısıyla değişimi.

Çizelge 9.11: Yatırıci moment molunun NES 109'a göre meyil açısıyla değişimi.

Meyil (derece)	GZ (m)	IMO (m)	NES 109 (m)	Fark (m)
-40	-0.5927	0.1721	0.1010	0.071
-35	-0.4959	0.1721	0.1155	0.057
-30	-0.3986	0.1721	0.1291	0.043
-25	-0.3115	0.1721	0.1414	0.031
-20	-0.2391	0.1721	0.1520	0.020
-15	-0.1789	0.1721	0.1607	0.011
-10	-0.1235	0.1721	0.1670	0.005
-5	-0.0669	0.1721	0.1709	0.001
0	-0.0056	0.1721	0.1722	0.000
5	0.0557	0.1721	0.1709	0.001
10	0.1124	0.1721	0.1670	0.005
15	0.1680	0.1721	0.1607	0.011
20	0.2285	0.1721	0.1520	0.020
25	0.3012	0.1721	0.1414	0.031
30	0.3889	0.1721	0.1291	0.043
35	0.4867	0.1721	0.1155	0.057
40	0.5841	0.1721	0.1010	0.071
45	0.6528	0.1721	0.0861	0.086
50	0.6905	0.1721	0.0711	0.101
55	0.7001	0.1721	0.0566	0.116
60	0.6792	0.1721	0.0430	0.129

NES 109 kriteri için de, meyilsiz durumda IMO ile aynı yatırıci rüzgar momentini verecek rüzgar hızı seçilmiştir. Görüldüğü gibi yatırıci rüzgar moment kolunun meyil açısıyla değişimi söz konusu Ro-Ro gemisi için özellikle büyük açılarda oldukça farklıdır. Bu fark, projeksiyon alanı daha büyük gemilerde daha fazla olacaktır. BV

1030-1 ve NES 109'a göre meyil açısıyla yatırıcı rüzgar momenti değişimi için farklı azaltma faktörleri kullanılsa da kurallar arasında meyil etkisi bakımından çok büyük bir fark bulunmamaktadır.

Alternatif hava kriterinde, moment kolunun meyil açısıyla değişimi NES 109'da olduğu gibi $\cos\phi^2$ azaltma faktörü ile verilecektir.

9.6 Alternatif Hava Kriterinin IMO Hava Kriteriyle Karşılaştırılması

Sonuç olarak önerilen alternatif hava kriteri, aşağıda belirtilen konularda IMO hava kriterine göre farklılık gösterir.

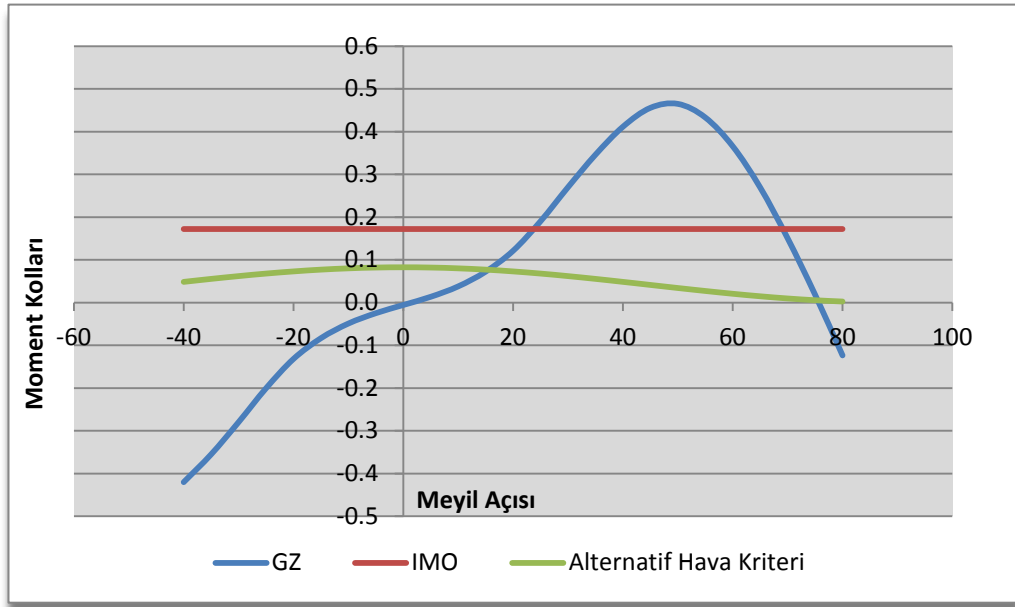
- Seyir alanı Türkiye denizleri ile sınırlı gemiler için rüzgar basıncı 242 Pa alınır. Okyanus aşırı sefer yapan gemiler için bu değer IMO'da olduğu gibi 504 Pa'dır.
- Dalga dikliği, seyir alanı Türkiye denizleri ile sınırlı gemiler için IMO'dan farklıdır.
- Efektif dalga eğimi katsayısının en büyük değeri 1 olmalıdır.
- Yatırıcı rüzgar moment kolunun meyil açısıyla değişimi moment kolu $\cos\phi^2$ faktörü ile çarpılarak ifade edilir.

Şekil 9.8'de Ro-Ro gemisi için tam yüklü kalkış kondisyonunda doğrultucu moment kolları ile IMO ve alternatif hava kriterine göre hesaplanan yatırıcı rüzgar momenti kolları görülmektedir. Çizelge 9.12'de ise moment kolu değerleri ve meyil açısına göre iki kriter arasındaki farklar verilmiştir.

Bu uygulamada efektif dalga eğimi katsayısı söz konusu yükleme kondisyonu için 1'den küçüktür. Dolayısıyla bu katsayı iki kriter için de farklılık göstermemektedir. Rüzgar basıncı, IMO hava kriterine göre 504 Pa, önerilen hava kriterine göre geminin seyir alanı Karadeniz olduğu için 242 Pa olarak alınmıştır. Dalga dikliği ise geminin yükleme kondisyonundaki yalpa periyoduna göre (13.558 s) IMO için 0.056, önerilen kriter için 0.035 hesaplanmıştır.

Görüldüğü gibi, sadece Türkiye denizlerinde sefer yapacak bir gemi için IMO tarafından verilen hava kriterini kullanmak, gemiyi olması gerekenden daha ağır dizayn şartlarına maruz bırakmaktadır. Daha önce Rus hava kriterinde belirtildiği gibi rüzgar basıncını geminin seyir alanına göre seçmek seyir alanı kısıtlı olan gemilerde yatırıcı moment kolu değerini oldukça düşürmektedir. Ayrıca yatırıcı

rüzgar moment kolunun meyil açısıyla değişimi daha gerçekçi bir yaklaşım olmakla birlikte kriter sonuçları bakımından daha olumlu sonuçlar vermektedir.



Şekil 9.8: Alternatif hava kriteri ile IMO hava kriterinin karşılaştırılması.

Çizelge 9.12: Alternatif hava kriteri ile IMO hava kriterinin karşılaştırılması.

Meyil (derece)	GZ (m)	IMO (m)	Alternatif Hava Kriteri (m)	Fark (m)
-40	-0.4201	0.1721	0.0485	0.1236
-35	-0.3551	0.1721	0.0554	0.1167
-30	-0.2797	0.1721	0.0620	0.1101
-25	-0.2005	0.1721	0.0679	0.1042
-20	-0.1318	0.1721	0.0730	0.0991
-15	-0.0833	0.1721	0.0771	0.0950
-10	-0.0490	0.1721	0.0801	0.0920
-5	-0.0248	0.1721	0.0820	0.0901
0	-0.0056	0.1721	0.0826	0.0895
5	0.0136	0.1721	0.0820	0.0901
10	0.0379	0.1721	0.0801	0.0920
15	0.0724	0.1721	0.0771	0.0950
20	0.1212	0.1721	0.0730	0.0991
25	0.1903	0.1721	0.0679	0.1042
30	0.2699	0.1721	0.0620	0.1101
35	0.3459	0.1721	0.0554	0.1167
40	0.4114	0.1721	0.0485	0.1236
45	0.4556	0.1721	0.0413	0.1308
50	0.4649	0.1721	0.0341	0.1380
55	0.4331	0.1721	0.0272	0.1449
60	0.3658	0.1721	0.0207	0.1514

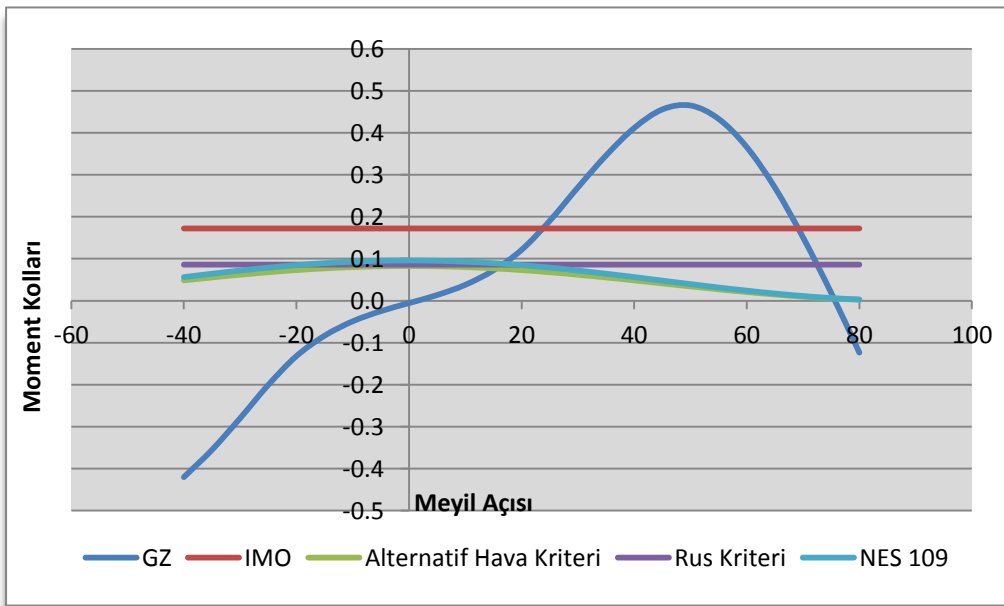
9.7 Alternatif Hava Kriterinin Diğer Hava Kriteriyle Karşılaştırılması

Bu bölümde, daha önce anlatılan Rus Kriteri, İngiliz askeri gemilerine uygulanan NES 109 ve alternatif hava kriterinin karşılaştırılması yapılacaktır. Daha önce de belirtildiği gibi Ro-Ro gemisi Karadeniz’de sefer yaptığından Rus Kriterine göre R2-RSN notasyonunda incelenmektedir. Yani rüzgar basıncı 252 Pa olarak alınır. NES 109 için ise alternatif hava kriteri için önerilen 18 m/s standart rüzgar hızı değerine göre bulunan 43 knot rüzgar hızına göre Grup C kategorisinde incelenecektir.

Şekil 9.9’da Ro-Ro gemisi için tam yüklü kalkış kondisyonunda doğrultucu moment kolları ile Rus hava kriteri, NES 109 ve alternatif hava kriterine göre hesaplanan yatırıcı rüzgar momenti kolları görülmektedir. Çizelge 9.13’de ise moment kolu değerleri ve meyil açısına göre kriterler arasındaki farklar verilmiştir.

Görüldüğü gibi Rus kriteri, NES 109 ve önerilen alternatif hava kriteri, meyilsiz durumu göz önüne aldığımızda oldukça yakın sonuçlar vermektedir. Önerilen hava kriterinde yatırıcı rüzgar momenti için meyil etkisi Nes 109 kriteriyle aynı alındığından iki kriterle göre moment kolları aynı eğilimde hesaplanmıştır.

Bu uygulamada Alman askeri gemilerine uygulanan BV 1030-1 hava kriteri incelenmeyecektir. Önerilen hava kriterinde gemiler sakin suda incelendiğinden, yine stabilite kontrollerinin sakin suda yapıldığı Rus hava kriteri ve NES 109 karşılaştırılacaktır.



Şekil 9.9: Alternatif hava kriteri ile diğer hava kriterlerinin karşılaştırılması.

Çizelge 9.13: Alternatif hava kriteri ile diğer hava kriterlerinin karşılaştırılması.

Meyil (derece)	GZ (m)	Alternatif Hava Kriteri (m)	Rus Kriteri (m)	Fark (m)	NES 109 (m)	Fark (m)
-40	-0.4201	0.0485	0.086	-0.038	0.0563	-0.008
-35	-0.3551	0.0554	0.086	-0.031	0.0643	-0.009
-30	-0.2797	0.0620	0.086	-0.024	0.0719	-0.010
-25	-0.2005	0.0679	0.086	-0.018	0.0788	-0.011
-20	-0.1318	0.0730	0.086	-0.013	0.0847	-0.012
-15	-0.0833	0.0771	0.086	-0.009	0.0895	-0.012
-10	-0.0490	0.0801	0.086	-0.006	0.0930	-0.013
-5	-0.0248	0.0820	0.086	-0.004	0.0952	-0.013
0	-0.0056	0.0826	0.086	-0.003	0.0959	-0.013
5	0.0136	0.0820	0.086	-0.004	0.0952	-0.013
10	0.0379	0.0801	0.086	-0.006	0.0930	-0.013
15	0.0724	0.0771	0.086	-0.009	0.0895	-0.012
20	0.1212	0.0730	0.086	-0.013	0.0847	-0.012
25	0.1903	0.0679	0.086	-0.018	0.0788	-0.011
30	0.2699	0.0620	0.086	-0.024	0.0719	-0.010
35	0.3459	0.0554	0.086	-0.031	0.0643	-0.009
40	0.4114	0.0485	0.086	-0.038	0.0563	-0.008
45	0.4556	0.0413	0.086	-0.045	0.0479	-0.007
50	0.4649	0.0341	0.086	-0.052	0.0396	-0.005
55	0.4331	0.0272	0.086	-0.059	0.0315	-0.004
60	0.3658	0.0207	0.086	-0.065	0.0240	-0.003

Burada dikkat edilecek husus NES 109 kriteri ile önerilen hava kriteri arasındaki farktır. Alternatif hava kriterinde, Japon kriterinde olduğu gibi gemilerin stabilite kontrolü ortalama sabit rüzgar hızı ile maksimum rüzgar hızı arasındaki ara alanda kalan standart rüzgar hızına göre yapılmaktadır. Oysa NES 109'a göre gemiler karşılaçakları en büyük rüzgar hızına göre kontrol edilirler. Ancak, bu uygulamadaki amaç, önerilen hava kriteri için atanan standart rüzgar hızının diğer kriterlerle karşılaştırılması olduğundan gemi en büyük rüzgar hızına göre değil alternatif hava kriteri için verilen rüzgar hızına göre kontrol edilmektedir.

10. SONUÇ VE ÖNERİLER

IMO hava kriteri uygulanmaya başladığı dönemdeki mevcut gemileri referans alır ve birçok kabule dayanmaktadır. Hava kriterinde bazı eksiklik ve yetersizlikler olduğu bugün IMO tarafından da kabul edilmekte ve alternatif kriter çalışmaları devam etmektedir. Bu çalışmada IMO hava kriteri ile ilgili kabul ve yetersizlikler belirtilmiş ve diğer mevcut hava kriterleri değerlendirilmiştir. Karşılaştırmalı örneklerle geminin dış etkilere karşı stabilite davranışını en gerçekçi yansıtan tümleşik bir kriter araştırılmıştır. Sonuç olarak, hava kriterinin, Türkiye denizlerindeki tipik kritik rüzgar hızlarına göre uyarlanmış şeklini içeren Ulusal bazda alternatif bir hava kriteri önerilmiştir.

Önerilen hava kriterinde, rüzgar basıncı, gemilerin Türkiye denizlerinde karşılaşılabileceği rüzgar hızıyla bağıntılı olarak verilmiştir. Karadeniz referans alınarak, standart rüzgar hızı Türkiye denizleri için 18 m/s olarak tayin edilmiştir. Rüzgar basıncı ise 242 Pa olarak hesaplanmıştır. Rus Loydu'nun Karadeniz'de sefer yapan gemileri, 252 Pa rüzgar basıncına göre incelediğini göz önüne aldığımızda yapılan varsayımların oldukça gerçekçi olduğu görülmektedir.

Hava kriterinde kullanılan dalga dikliği, rüzgar hızına bağlı olarak değişmektedir ve eğer standart rüzgar hızı belli ise, dalga dikliği hesaplanabilmektedir. Önerilen hava kriterinde, atanan standart rüzgar hızına göre Türkiye denizlerinde sefer yapan gemiler için dalga dikliği ayrı bir çizelge olarak sunulmuştur. Böylece seyir alanı kısıtlı gemiler için, okyanus aşırı sefer yapan gemilere göre verilen değerler değil emniyetli bir seyir sağlayabilecekleri rüzgar hızına göre hesaplanan değerler kullanılacaktır. Okyanus aşırı sefer yapan gemiler için dalga dikliği IMO hava kriterindeki aynı çizelge ile verilmiştir.

IMO, efektif dalga eğimi katsayısını hesaplamak için kullandığı denklemi OG/T oranı 0.4 ile 0.6 arasında değişen gemilerden elde etmiştir. Dolayısıyla efektif dalga eğimi katsayısı bu değerlere göre en büyük 1 elde edilmektedir. Ancak birçok modern geminin OG/T oranı 1'den büyük çıkmaktadır. Bu çalışmada, MCA tarafından verilen

örnek gemilerle efektif dalga eğimi katsayısının en büyük değerinin 1 alınması gerektiği gösterilmiş ve alternatif hava kriterinde bu şekilde önerilmiştir.

IMO, meyil açısının artışı ile rüzgar yatırıcı moment kolunun azalmadığı daha güçlü bir varsayımı kabul etmektedir. IMO hava kriteri ile meyil etkisinin rüzgar momenti hesabında dikkate alındığı BV 1030-1 ve NES 109 kriterleri karşılaştırılarak bu yaklaşımın projeksiyon alanı büyük yolcu ve Ro-Ro gemilerindeki önemi gösterilmiştir. Alternatif hava kriterinde, yatırıcı rüzgar momenti NES 109’da olduğu gibi su hattı üstü alanı ve bunun dikey merkezindeki azaltmayı ifade etmek amacıyla $(\cos\phi^2)$ azaltma faktörü ile hesaplanmaktadır.

Sonuç olarak, gemilerin seyir alanlarına göre sınıflandırılmaması, rüzgar yatırıcı moment kolunun meyil açısıyla değişmememesi ve geminin rüzgar tarafındaki yalpa açısının hesaplanmasında kullanılan faktörlerin modern gemilere göre seçilmemeleri gibi eksiklikler, mevcut hava kriterlerindeki uygulamalar örnek gösterilerek belirtilmiştir. Önerilen hava kriteri ile, bu eksiklikler giderilmeye çalışılmış ve örnek gemiler üzerinde yapılan karşılaştırmalarla bu faktörlerin önemi gösterilmiştir. Böylece Türkiye denizlerinde sefer yapan gemiler rastgele rüzgar basıncına göre değil karşılaşılabilecekleri olası en kötü hava koşullarına göre dizayn edilebilir ve ağır dizayn şartlarından muaf olurlar.

KAYNAKLAR

- [1] **Biran, A.** (2003). Gemi Hidrostatığı ve Stabilitesi (Yılmaz, H., Çev.), İstanbul: Birsen.
- [2] **Türk Loydu** (2002). *Intact Stabilité Kuralları*, Alındığı tarih: 12.11.2011, Adres: www.gidb.itu.edu.tr/staff/taylan/proje1/stabilite_kriterleri.pdf
- [3] **Helvacıoğlu, Ş.** (2010). Ders Notları, *Yüzen Cisimlerin Dengesi ve Başlangıç Stabilitesi*, İTÜ, İstanbul.
- [4] **IMO** (2008). Intact Stability (IS) Code - Intact Stability for All Types of Ships Covered by IMO Instruments, Resolution A.749(18), Amended by MSC.75(69). *International Maritime Organization*, United Kingdom.
- [5] **Taylan, M.** (2012). New Directions in Ship Stability and Safety Lecture Notes, İTÜ, İstanbul.
- [6] **MCA** (2007). Research Project, Intact Stability Severe Wind and Rolling Criterion – An Equivalent Standard, Final Report, *Maritime & Coastguard Agency*, United Kingdom.
- [7] **IMO** (2008). Report of the International Correspondence Group on Intact Stability, Sub-Committee on Stability and Load Lines and on Fishing Vessels, 51st session, *International Maritime Organization*, UK.
- [8] **IMO** (2008). Proposal on draft explanatory notes to the severe wind and rolling criterion, Sub-Committee on Stability and Load Lines and on Fishing Vessels, 48th session, *International Maritime Organization*, UK.
- [9] **Odabaşı, A. Y. and Vince, J.** (t.y.). BSRA Weather Criterion for Intact Ship Stability Assesment, *British Society for Research on Ageing*, UK.
- [10] **RMRS** (2012). Part IV, Stability, *Rules for the Classification and Construction of Sea-Going Ships, Volume 1*, Russia.
- [11] **BV 1030-1** (2001). Stability, *Building Regulations for German Naval Vessels 1030-1*, Germany.
- [12] **NES 109** (2000). Part 1, Conventional Ships, Stability, *Stability Standards for Surface Ships*, UK.
- [13] **Deybach, F.** (1997). *Intact Stability Criteria for Naval Ships* (yüksek lisans tezi). Adres: <http://dspace.mit.edu/>
- [14] **Özhan, E., Abdalla, S.** (2002). Türkiye Kıyıları Rüzgar ve Derin Deniz Dalga Atlası, Kıyı Alanları Yönetimi Türk Milli Komitesi / MEDCOST, Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Ankara.
- [15] **ANEP II** (1983). Standard Wave and Wind Enviroments for NATO Opertaional Areas, Source Document for Stanag 4194, North Atlantic Treaty Organization.

- [16] **IMO** (2003). Severe wind and rolling criterion (weather criterion), Subcommittee on Stability and Load Lines and on Fishing Vessels, 46th session, *International Maritime Organization*, UK.

EKLER

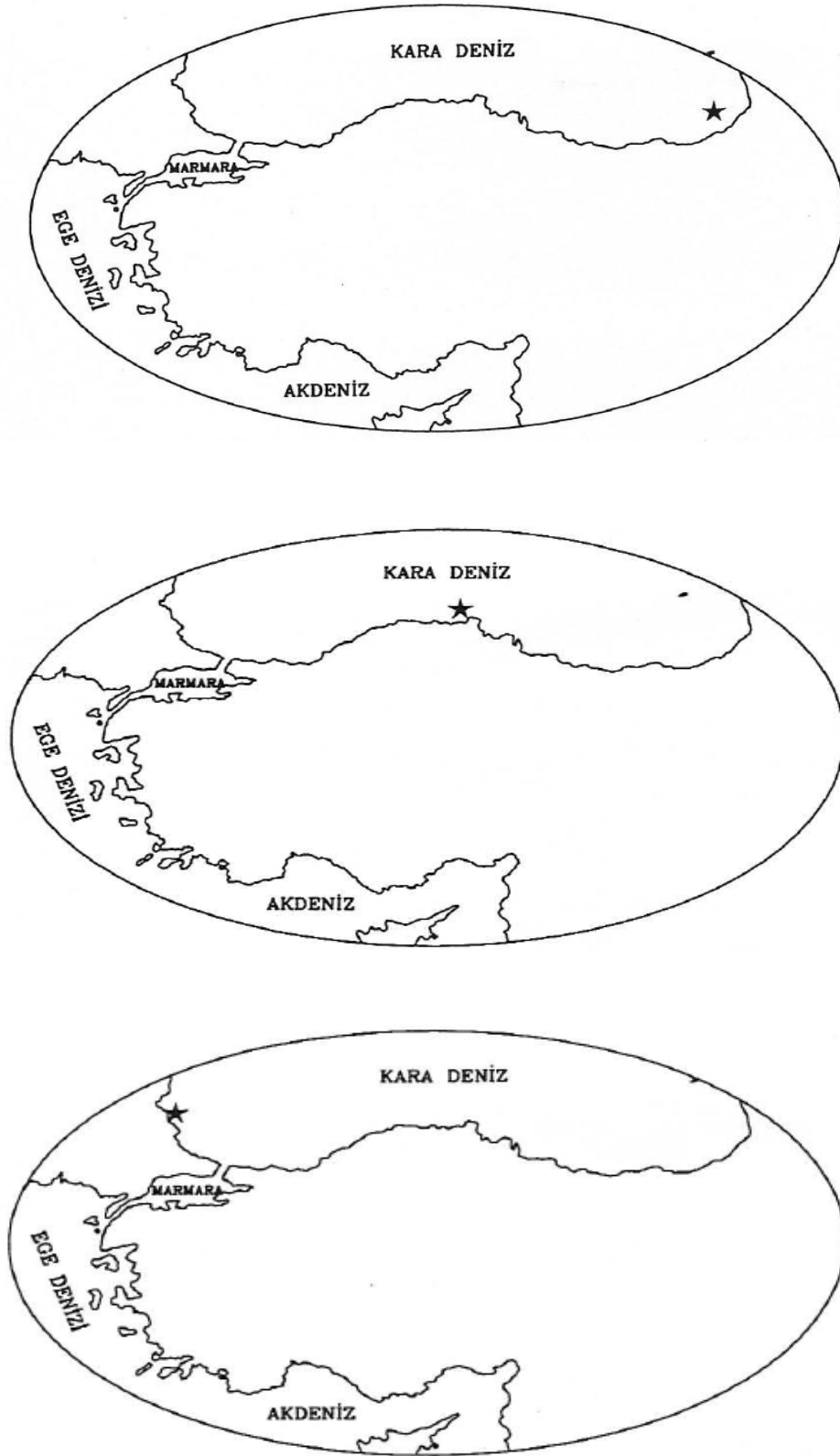
EK A: Karadeniz’de yapılan ölçümler

EK B: Marmara Denizi’nde yapılan ölçümler

EK C: Ege Denizi’nde yapılan ölçümler

EK D: Akdeniz’de yapılan ölçümler

EK A



Şekil A.1: Karadeniz’de yapılan ölçümler [14].

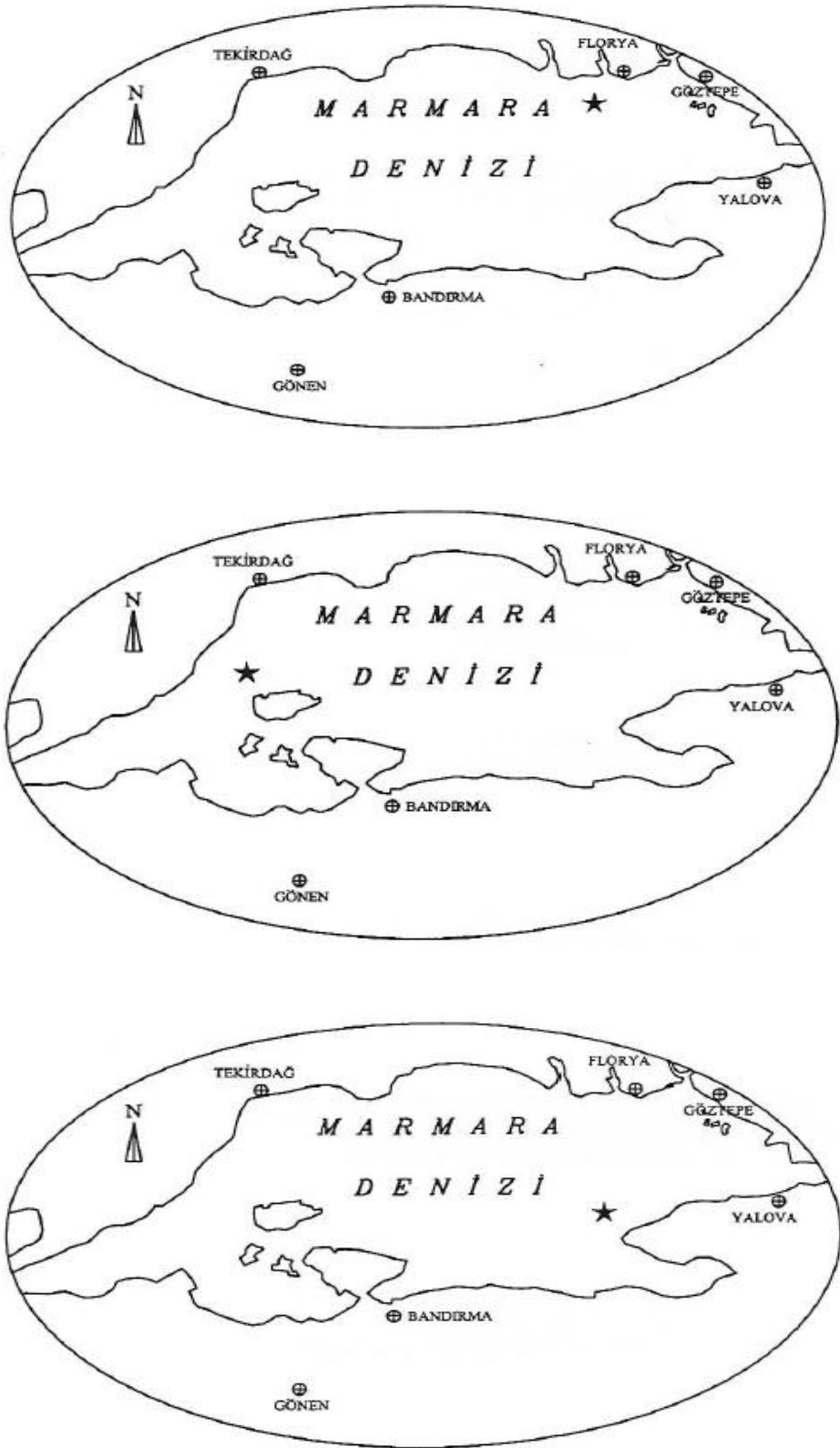
Çizelge A.1: Karadeniz’de yapılan ölçümlerin enlemlere göre verilmesi.

KARADENİZ RÜZGAR ATLASI			
Enlem	En Yüksek Rüzgar Hızı m/sn	Ortalama Aylık Rüzgar Hızı m/sn	En Yüksek Dalga Boyu m
42.00° N, 41.60° E	19.00	5.50	6.50
42.00° N, 41.30° E	19.00	5.50	7.00
41.50° N, 40.70° E	20.00	5.00	6.90
41.25° N, 40.70° E	21.00	5.50	6.70
41.25° N, 40.40° E	21.50	5.50	6.80
41.25° N, 40.10° E	21.00	6.00	6.80
41.25° N, 39.80° E	21.00	6.00	6.80
41.25° N, 39.50° E	20.00	6.00	6.80
41.25° N, 39.20° E	20.00	6.00	6.75
41.25° N, 38.90° E	20.00	6.00	6.70
41.25° N, 38.60° E	21.00	6.00	6.70
41.25° N, 38.30° E	22.00	6.00	6.60
41.25° N, 38.00° E	22.50	6.00	6.40
41.25° N, 37.70° E	22.50	6.00	6.00
41.25° N, 37.40° E	22.50	6.00	5.80
41.25° N, 37.10° E	22.50	5.80	5.00
41.50° N, 37.10° E	22.50	5.80	7.00
41.50° N, 36.80° E	22.50	5.80	6.90
41.50° N, 36.50° E	22.00	5.80	6.60
41.25° N, 36.50° E	22.00	5.50	5.20
41.50° N, 36.20° E	22.00	5.60	5.30
41.75° N, 36.20° E	22.00	5.00	7.00
41.75° N, 35.90° E	22.00	6.00	6.65
41.75° N, 35.60° E	21.00	6.00	6.00
41.75° N, 35.30° E	20.50	6.00	6.00
42.00° N, 35.30° E	23.00	6.50	7.50
42.00° N, 35.00° E	23.50	6.50	7.20
42.00° N, 34.70° E	23.50	6.50	6.85
42.00° N, 34.40° E	23.50	6.50	6.40
42.00° N, 34.10° E	23.50	6.50	6.40
42.00° N, 33.80° E	23.50	6.50	6.30
42.00° N, 33.50° E	22.50	6.50	6.10
42.00° N, 33.20° E	22.00	6.50	5.90
42.00° N, 32.90° E	21.50	6.60	5.75
42.00° N, 32.60° E	20.50	6.50	5.80
42.00° N, 32.30° E	20.00	7.00	6.00
41.75° N, 32.30° E	19.00	6.20	4.80
41.75° N, 32.00° E	19.50	6.50	5.20
41.75° N, 31.70° E	19.70	6.40	5.85
41.50° N, 31.70° E	19.00	6.40	4.80
41.50° N, 31.40° E	19.75	6.70	5.40
41.50° N, 31.10° E	20.00	7.00	5.90
41.25° N, 31.10° E	20.00	6.50	5.00
41.25° N, 30.80° E	20.50	6.60	5.80
41.25° N, 30.50° E	21.00	7.00	6.00

Çizelge A.1 (devam): Karadeniz’de yapılan ölçümlerin enlemlere göre verilmesi.

KARADENİZ RÜZGAR ATLASI			
Enlem	En Yüksek Rüzgar Hızı m/sn	Ortalama Aylık Rüzgar Hızı m/sn	En Yüksek Dalga Boyu m
41.25° N, 30.20° E	21.50	7.50	6.30
41.25° N, 29.90° E	21.50	7.50	6.70
41.25° N, 29.60° E	21.50	8.00	7.50
41.25° N, 29.30° E	21.50	8.50	8.20
41.25° N, 29.00° E	23.50	8.50	8.40
41.50° N, 29.00° E	24.00	8.70	8.80
41.50° N, 28.70° E	25.00	8.70	9.20
41.50° N, 28.40° E	26.00	8.65	9.60
41.75° N, 28.40° E	27.00	8.85	9.65
42.00° N, 28.40° E	27.50	9.00	9.50
42.00° N, 28.10° E	27.00	8.82	9.40

EK B



Şekil B.1: Marmara Denizi'nde yapılan ölçümler [14].

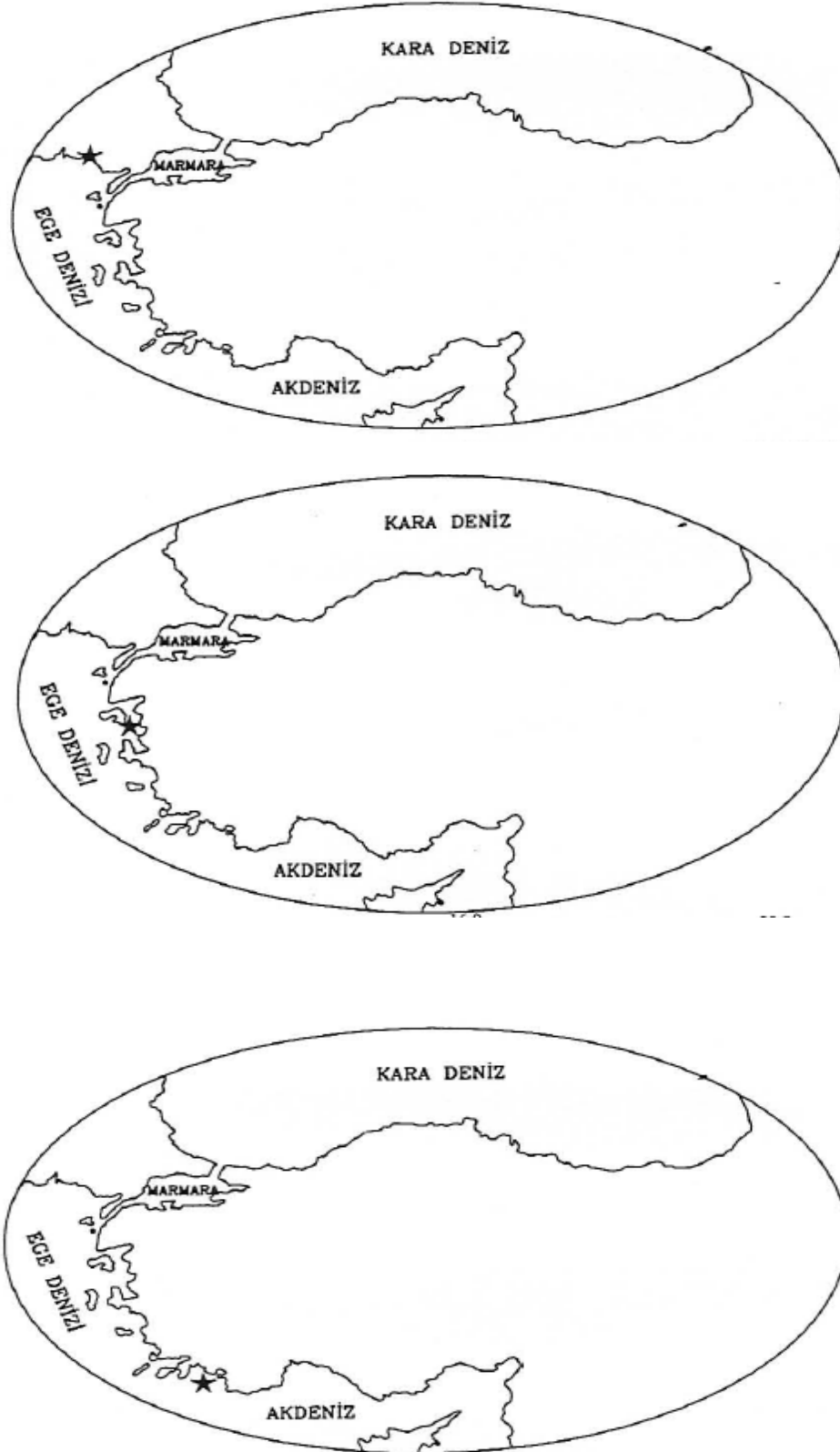
Çizelge B.1: Marmara Denizi'nde yapılan ölçümlerin enlemlere göre verilmesi.

MARMARA DENİZİ RÜZGAR ATLASI			
Enlem	En Yüksek Rüzgar Hızı m/sn	Ortalama Aylık Rüzgar Hızı m/sn	En Yüksek Dalga Boyu m
40.89° N, 28.93° E	24.75	6.70	4.75
40.89° N, 28.81° E	24.00	6.50	4.85
40.89° N, 28.69° E	25.00	6.50	5.00
40.89° N, 28.57° E	26.00	6.50	5.15
40.98° N, 28.57° E	28.00	6.50	5.35
40.98° N, 28.45° E	32.00	7.00	5.30
40.98° N, 28.33° E	35.00	7.50	5.00
40.98° N, 28.21° E	35.00	7.30	4.85
41.07° N, 28.21° E	35.00	7.30	4.30
40.98° N, 28.09° E	35.00	7.70	4.00
40.89° N, 28.09° E	33.50	7.00	4.75
40.89° N, 27.97° E	34.70	8.00	4.50
40.89° N, 27.85° E	36.10	8.50	4.25
40.89° N, 27.73° E	35.60	8.30	3.80
40.98° N, 27.73° E	37.50	8.70	3.40
40.89° N, 27.61° E	35.90	8.70	3.35
40.89° N, 27.49° E	34.30	8.70	3.35
40.80° N, 27.49° E	33.80	8.80	3.30
40.71° N, 27.49° E	32.50	8.50	3.40
40.71° N, 27.37° E	32.50	8.80	2.85
40.62° N, 27.37° E	32.00	8.70	2.90
40.62° N, 27.25° E	31.50	8.70	2.35
40.53° N, 27.25° E	29.80	8.60	2.50
40.53° N, 27.13° E	29.70	8.60	2.20
40.53° N, 27.01° E	28.80	8.80	2.40
40.44° N, 26.77° E	30.00	9.00	2.40
40.44° N, 26.89° E	30.00	9.00	2.20
40.44° N, 27.01° E	29.00	8.90	2.10
40.44° N, 27.13° E	28.80	8.70	2.00
40.44° N, 27.25° E	28.60	8.50	2.35
40.44° N, 27.37° E	28.50	8.00	2.50
40.35° N, 27.37° E	28.50	7.90	2.00
40.35° N, 27.49° E	28.00	7.50	1.90
40.35° N, 27.61° E	27.00	7.50	2.10
40.35° N, 27.73° E	26.60	7.00	2.37
40.44° N, 27.73° E	26.50	7.00	2.85
40.53° N, 27.73° E	28.50	7.00	3.35
40.53° N, 27.85° E	27.00	6.50	3.10
40.53° N, 27.97° E	26.50	6.50	3.05
40.53° N, 28.09° E	26.00	6.50	3.10
40.44° N, 28.09° E	24.50	6.50	1.90
40.44° N, 28.21° E	24.00	6.50	2.25
40.44° N, 28.33° E	24.90	6.50	2.50
40.44° N, 28.45° E	24.20	6.50	2.85
40.44° N, 28.57° E	24.00	6.50	2.90

Çizelge B.1(devam): Marmara Denizi'nde yapılan ölçümlerin enlemlere göre verilmesi.

MARMARA DENİZİ RÜZGAR ATLASI			
Enlem	En Yüksek Rüzgar Hızı m/sn	Ortalama Aylık Rüzgar Hızı m/sn	En Yüksek Dalga Boyu m
40.44° N, 28.69° E	24.80	6.50	3.10
40.44° N, 28.81° E	24.85	7.00	2.85
40.44° N, 28.93° E	25.60	7.50	2.80
40.44° N, 29.05° E	27.00	7.50	2.85
40.53° N, 28.69° E	22.20	6.50	3.70
40.62° N, 28.69° E	21.50	6.50	-
40.62° N, 28.81° E	-	-	3.70
40.71° N, 28.81° E	21.50	6.40	3.90
40.71° N, 28.93° E	21.20	6.50	3.85
40.71° N, 29.05° E	21.50	6.50	3.85
40.71° N, 29.17° E	22.50	6.50	3.90
40.71° N, 29.29° E	24.00	7.20	4.00
40.80° N, 29.29° E	27.00	8.00	4.15
40.80° N, 29.17° E	23.80	7.00	4.20
40.80° N, 29.05° E	22.00	7.00	-
40.89° N, 29.05° E	-	-	4.80
40.62° N, 27.85° E	29.00	6.50	2.30
40.71° N, 27.73° E	32.00	7.50	2.90
40.71° N, 27.85° E	31.50	7.00	3.40
40.71° N, 27.61° E	32.50	8.00	2.85
40.62° N, 27.49° E	31.50	8.20	3.20
40.53° N, 27.49° E	29.00	7.90	3.00
40.53° N, 27.61° E	28.80	7.00	3.20

EK C

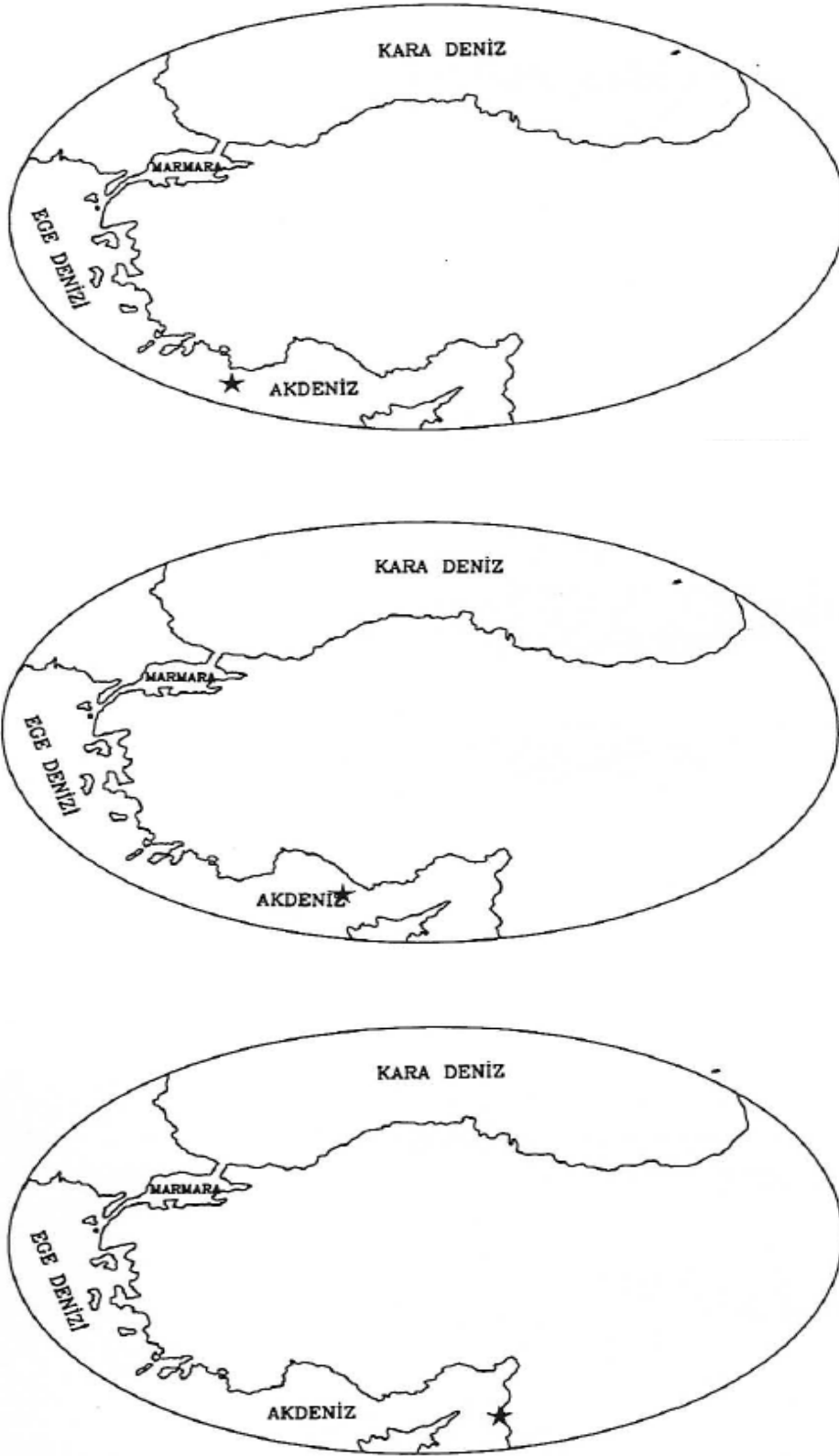


Şekil C.1: Ege Denizi'nde yapılan ölçümler [14].

Çizelge C.1: Ege Denizi'nde yapılan ölçümlerin enlemlere göre verilmesi.

EGE DENİZİ RÜZGAR ATLASI			
Enlem	En Yüksek Rüzgar Hızı m/sn	Ortalama Aylık Rüzgar Hızı m/sn	En Yüksek Dalga Boyu m
40.75° N, 25.60° E	26.00	7.50	5.70
40.75° N, 25.90° E	26.50	8.00	5.15
40.50° N, 25.90° E	26.50	8.00	5.50
40.50° N, 26.20° E	26.50	8.50	4.20
40.50° N, 26.50° E	25.50	8.50	4.00
40.25° N, 26.50° E	25.00	8.50	3.85
40.25° N, 26.20° E	26.00	8.30	4.15
40.00° N, 26.20° E	25.00	8.30	4.90
40.00° N, 25.90° E	26.00	8.00	5.80
39.75° N, 25.90° E	24.60	7.70	5.80
39.50° N, 25.90° E	24.50	7.70	6.00
39.50° N, 26.50° E	24.00	8.50	2.90
39.50° N, 26.80° E	24.00	8.10	2.50
39.25° N, 26.50° E	24.70	8.50	3.60
39.25° N, 25.90° E	24.00	8.00	6.20
39.00° N, 25.90° E	24.80	8.00	6.80
39.00° N, 26.20° E	24.70	8.30	6.05
39.00° N, 26.80° E	24.80	8.50	4.15
38.75° N, 26.80° E	25.00	8.50	4.75
38.75° N, 26.50° E	25.00	8.50	4.80
38.75° N, 26.20° E	25.00	8.50	6.20
38.50° N, 26.20° E	25.00	8.50	6.50
38.50° N, 26.80° E	25.00	8.50	4.20
38.25° N, 26.20° E	25.10	8.80	6.80
38.00° N, 26.20° E	25.50	8.70	7.12
38.00° N, 26.50° E	25.10	9.00	6.75
38.00° N, 26.80° E	25.00	8.50	5.50
38.00° N, 27.10° E	24.40	8.80	6.00
37.75° N, 27.10° E	24.00	8.70	5.90
37.75° N, 26.50° E	25.10	9.00	6.50
37.50° N, 26.50° E	25.20	9.00	6.90
37.50° N, 26.80° E	24.80	9.00	6.85
37.50° N, 27.10° E	24.20	8.90	6.85
37.25° N, 27.40° E	22.00	8.80	6.65
37.25° N, 27.10° E	23.40	9.00	6.80
37.00° N, 27.40° E	22.70	8.80	6.40
37.00° N, 28.00° E	22.00	8.50	4.85
36.75° N, 28.00° E	22.00	8.60	5.85
36.75° N, 27.70° E	22.50	8.70	6.35
36.75° N, 27.40° E	23.50	9.00	6.50
36.75° N, 28.30° E	22.00	8.30	6.60
36.75° N, 28.60° E	22.20	8.00	6.50
36.50° N, 28.60° E	22.00	8.00	6.85

EK D

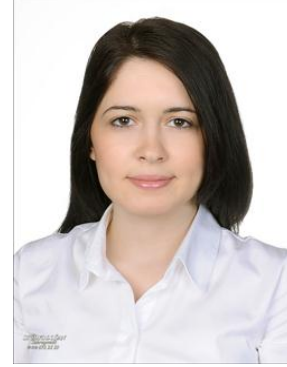


Şekil D.1: Akdeniz’de yapılan ölçümler [14].

Çizelge D.1: Akdeniz’de yapılan ölçümlerin enlemlere göre verilmesi.

AKDENİZ RÜZGAR ATLASI			
Enlem	En Yüksek Rüzgar Hızı m/sn	Ortalama Aylık Rüzgar Hızı m/sn	En Yüksek Dalga Boyu m
36.50° N, 28.90° E	22.00	7.50	6.90
36.25° N, 28.90° E	23.20	8.00	7.10
36.25° N, 29.20° E	22.50	7.50	7.00
36.00° N, 29.20° E	23.30	8.10	7.50
36.00° N, 29.50° E	22.00	7.50	8.00
36.00° N, 29.80° E	23.00	7.70	8.40
36.00° N, 30.10° E	23.50	7.50	8.70
36.25° N, 30.10° E	23.80	7.00	7.00
36.25° N, 30.40° E	22.50	6.50	7.80
36.25° N, 30.70° E	21.50	6.00	8.00
36.50° N, 30.70° E	20.00	5.70	6.50
36.75° N, 30.70° E	19.50	5.50	5.80
36.75° N, 31.00° E	17.50	5.00	6.40
36.75° N, 31.30° E	16.00	4.80	6.90
36.50° N, 31.30° E	17.00	5.00	7.75
36.50° N, 31.60° E	17.00	5.00	7.90
36.50° N, 31.90° E	18.70	5.00	8.00
36.25° N, 31.90° E	19.40	5.50	8.85
36.25° N, 32.20° E	21.00	5.50	8.90
36.00° N, 32.20° E	20.00	5.80	9.35
36.00° N, 32.50° E	21.70	6.00	9.00
36.00° N, 32.80° E	22.00	5.80	8.70
36.00° N, 33.10° E	21.50	5.50	8.00
36.00° N, 33.40° E	21.00	5.50	7.70
36.00° N, 33.70° E	21.50	5.00	7.00
36.00° N, 34.00° E	20.80	5.00	6.70
36.25° N, 34.00° E	20.00	4.90	4.40
36.25° N, 34.30° E	19.50	4.80	5.00
36.50° N, 34.30° E	18.50	4.50	3.80
36.50° N, 34.60° E	16.00	4.00	4.20
36.75° N, 34.60° E	14.80	3.70	3.00
36.50° N, 34.90° E	13.00	3.50	4.35
36.50° N, 35.20° E	10.00	2.50	4.50
36.50° N, 35.50° E	10.00	2.50	4.50
36.75° N, 35.80° E	10.00	2.30	2.90
36.75° N, 36.10° E	10.50	2.50	2.00
36.50° N, 35.80° E	10.00	2.50	4.50
36.25° N, 35.80° E	13.50	3.70	4.70
36.00° N, 35.80° E	14.00	4.00	5.20
35.75° N, 35.80° E	14.90	4.30	5.40

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Nilüfer HAFTACI

Doğum Yeri ve Tarihi: Kadıköy / 30.04.1985

Adres: Yayla Mah. Şinasi Dural Cad. Kolcuoğlu Sitesi A3 Blok Daire 8 Tuzla
İSTANBUL

E-Posta: nilusağlam@hotmail.com

Lisans: İstanbul Teknik Üniversitesi, Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri
Fakültesi, 2008