

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**GEMİ HAREKETLERİNİN İNCELENMESİ VE GEMİLERE
UYGULANMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Tahsin TEZDOĞAN**

Anabilim Dalı : Gemi İnş. ve Gemi Mak. Müh.

Programı : Gemi İnş. ve Gemi Mak. Müh.

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Metin TAYLAN

HAZİRAN 2011

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**GEMİ HAREKETLERİNİN İNCELENMESİ VE GEMİLERE
UYGULANMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Tahsin TEZDOĞAN
(508091015)**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 29 Nisan 2011

Tezin Savunulduğu Tarih : 06 Haziran 2011

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Metin TAYLAN (İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Ömer GÖREN (İTÜ)
Prof. Dr. Kadir SARIÖZ (İTÜ)**

HAZİRAN 2011

ÖNSÖZ

Tezimin danışmanlığını yürüten, ancak maalesef 11.02.2011 tarihinde aniden aramızdan ayrılarak hepimizi üzüntüye boğan Fakültemizin Dekanı değerli hocam Prof. Dr. Ali İhsan ALDOĞAN'ı saygı ve rahmetle anıyorum. Hocamın vefatı beni derinden etkilemiş ve çok büyük bir acıya sebep olmuştur. Fakültede araştırma görevlisi olarak göreve başladığım andan itibaren kendisinden her zaman destek ve güler yüz gördüm. Kendisi, tecrübelerini ve değerli bilgilerini daima benimle paylaşmıştır. Teşekkürlerin en büyüğü rahmetli hocamadır. Onu her zaman özlem ve saygıyla anacağım. Nur içinde yatsın.

Prof. ALDOĞAN'ın vefatından sonra tezimin danışmanlığını üstelenen bölüm başkanımız Sayın Prof. Dr. Metin TAYLAN'a zamanını ayırarak vermiş olduğu kıymetli katkılardan dolayı teşekkürlerimi sunmak isterim.

Tezimin gelişmesi için vermiş oldukları destek ve gösterdikleri hoşgörü için Fakültemiz öğretim üyeleri Prof. Dr. Kadir SARIÖZ, Doç Dr. Emin KORKUT ve Doç. Dr. Barboros OKAN'a teşekkür eder, saygılarımı sunarım. Değerli destekleri şüphesiz ki tezime çok önemli katkılarda bulunmuştur.

Tezimin hazırlanması için gerekli olan bilgisayar yazılımı İTÜ Lisansüstü Tezlerini Destekleme Projesi kapsamında yurtdışından satın alınmıştır. İhtiyaç duyulan miktarın eksik kısmı ise Türk Loydu Vakfı'nın değerleri katkılarıyla tamamlanmıştır. Bu sebepten dolayı her iki kuruma da teşekkür ederim.

YÖK Yüksek Lisans Yurtdışı Araştırma Bursu'ndan yararlanarak 6 haftalık süreyle tezimle ilgili teorik ve deneysel çalışmalarda bulunmak üzere İngiltere Newcastle Üniversitesi'nde Prof. Dr. Mehmet ATLAR ile birlikte çalışma imkânına sahip oldum. Sayın Prof. ATLAR'a tüm yardım ve destekleri için teşekkür eder, saygılarımı sunarım. Kendisine her zaman minnettar olduğumu eklemek isterim.

Seri 60 standart serilerine ait analitik olarak oluşturulmuş tüm denizcilik tablolarını benimle paylaşmaktan çekinmeyen Atina Ulusal Teknik Üniversitesi öğretim üyesi sayın Prof. GRIGOROPOULOS'a şükranlarımı sunarım. Diğer saygıdeğer bilim adamlarıyla beraber hazırlamış oldukları makalesi tezim için çok önemli bir kaynak olmuştur.

Tezimin hazırlanması sırasında, özellikle yurtdışında bulunduğum süre içerisinde yapmış olduğu yardımlar ve vermiş olduğu tüm desteklerden dolayı araştırma görevlisi arkadaşım Yiğit Kemal DEMİREL'e ayrıca teşekkürlerimi bildiririm.

Son olarak da var olma sebebim olan sevgili aileme teşekkür eder, her zaman benim yanımda oldukları için kendilerine saygı ve sevgilerimi sunarım.

Haziran 2011

Tahsin Tezdoğan

(Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri
Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	iii
İÇİNDEKİLER	v
KISALTMALAR	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiii
SEMBOL LİSTESİ.....	xix
ÖZET.....	xxiii
SUMMARY	xxvii
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı	1
1.2 ShipmoPC Hakkında Genel Bilgiler	2
1.3 Verilerin Programa Girilmesi.....	3
1.3.1 Geminin temel özellikleri.....	3
1.3.2 Gemi geometrisinin tanıtılması.....	3
1.3.3 Takıntılara ait bilgilerin girilmesi	4
1.3.4 Gemiye ait kütle dağılımı.....	5
1.3.5 Geminin çalışacağı koşulların belirlenmesi	5
1.3.6 Geminin hidrodinamik olarak modellenmesi.....	6
1.3.6.1 Hesaplama yöntemi.....	6
1.3.6.2 Hız düzeltmesi.....	6
1.3.6.3 Kabarma düzeltmesi.....	7
1.3.6.4 Uç etkisi	7
1.3.6.5 Düşük karşılaşma frekansı düzeltmesi	8
2. DÜZGÜN DALGALAR.....	9
2.1 Giriş.....	9
2.2 Düzgün Dalgayı Tanımlayan Parametreler	10
2.3 Potansiyel Teori.....	11
2.4 Su Dalgalarının Derinliğe Göre Sınıflandırılması.....	11
2.5 Dalga Boyu, Hız, Periyod ve Dairesel Frekans Arasındaki Bağlılıklar	12
2.5.1 Sığ su hali.....	12
2.5.2 Derin su hali	13
2.5.3 Çok sığ su hali.....	14
2.6 Su Zerrelerinin İlerleyen Dalga Hareketindeki Yörüngeleri.....	15
2.7 Dalgaların Geliş Açısı ve Karşılaşma Frekansı.....	17
2.7.1 Karşılaşma frekansının bulunması	19
3. KARIŞIK DALGALAR.....	21
3.1 Giriş.....	21
3.2 Dalgaların Oluşumu	21
3.3 Karışık Dalgalara Ait Kayıtların İstatistiksel Analizi	23

3.4 Fourier Analizi.....	24
3.5 Dalga Enerji Spektrumu	25
3.6 Spektral Momentler	27
3.7 Matematiksel Spektrum Modelleri	33
3.7.1 İkinci dereceden regresyon spektrumu.....	34
3.7.2 Bretschneider Spektrumu	35
3.7.3 Üç parametrelili JONSWAP Spektrumu	35
3.7.4 Ochi ve Hubble altı parametrelili spektrumu	36
3.8 Dalgaların Yayılması.....	36
4. GEMİ HAREKETLERİ VE DİLİM TEORİSİ	43
4.1 Giriş	43
4.2 Gemi Hareketlerinin Tanımı.....	44
4.3 Düzenli Dalgalarda Gemi Hareketleri	45
4.3.1 Hareket denklemlerindeki katsayılar.....	45
4.3.2 Genlik karşılık fonksiyonları.....	48
4.4 Dilim Teorisi	48
4.5 İki Boyutlu Hidrodinamik Katsayıları Veren Yöntemlerin Karşılaştırılması ..	49
4.6 Dilim Teorisinin ShipmoPC Programında Uygulanması	53
4.6.1 Düzenli dalgalardaki uygulama.....	54
4.6.2 Karışık dalgalardaki uygulama.....	56
4.6.3 Düşey ivme hesaplarının yapılması.....	61
4.7 Sonuçlar	66
5. GEMİLERDE SEYİR HALİNDEKİ HIZ KAYBI VE EK DİRENÇ.....	69
5.1 Giriş	69
5.2 Gemilerde Hız Kaybı.....	70
5.3 Düzgün Dalgalarda Ek Direnç.....	71
5.4 Karışık Denizlerde Ek Direnç	77
5.5 ShipmoPC Bilgisayar Programında Ek Direnç Hesabı	78
5.6 Seri 60 Tekne Formları İçin Baştan Gelen Dalgalarda Ek Direnç	81
5.7 Baştan ve Belirli Bir Açıdan Gelen Dalgalarda FFG 7 Firkateyni İçin Ek Direnç	83
5.8 İleri Hızlarda Dalga Kabarma Düzeltmesinin Ek Direnç Üzerine Etkisi.....	83
5.9 Sonuçlar	84
6. HAREKET KAYNAKLI DENGE KAYBI OLAYI	87
6.1 Giriş	87
6.2 MII Teorisi.....	88
6.3 Bir Firkateyn İçin MII Hesabı	91
6.4 Güverte Operasyonları İçin Kriter Belirlenmesi	95
6.5 Sonuçlar	96
7. DÖVÜNME.....	97
7.1 Giriş	97
7.2 Maksimum Dövünme Basıncı ve Dövünme Kuvvetinin Hesabı	97
7.3 Regresyon Denkleminin Elde Edilmesi.....	98
7.4 Bilgisayar Programı Yardımıyla Dövünme Form Katsayısının Bulunması ...	103
7.5 Kama (Wedge) Tipi Kesitlerde Dövünme Form Katsayısının (k-değeri) Hesaplanması.....	104
7.6 Dövünme Olasılığı.....	106
7.7 Dövünme Sayılarına İlişkin Kriterler	108
8. SAVAŞ GEMİLERİ İÇİN ÖRNEK BİR DENİZCİLİK ANALİZİ.....	111
8.1 Giriş	111

8.2 Örnek Gemi Analiz Verileri	112
8.3 Düzenli Dalgalardaki Hareketler	113
8.3.1 Baştan gelen dalgalarda ek direnç hesabı	114
8.4 Geminin Görev Yapacağı Deniz Sahalarının Temsili	114
8.5 Karışık Denizlerdeki Hareketlerin İncelenmesi	116
8.5.1 Baş-kıç vurma analizleri	116
8.5.2 Dalıp-çıkma analizleri	118
8.5.3 Yalpa analizleri	119
8.5.3.1 Yalpa fininin performansının değerlendirilmesi	119
8.5.4 Düşey ivme analizleri	121
8.5.5 Dövmeme analizleri	125
8.5.6 Karışık denizlerde ortalama ek direnç tahmini	129
8.6 Savaş Gemileri İçin Örnek Denizcilik Kriterleri	129
8.7 Sonuçlar	131
9. ÇIKTILARIN DENEY SONUÇLARIYLA KARŞILAŞTIRILMASI	133
9.1 Giriş	133
9.2 Seri 60 Formuna Sahip Gemiyle Yapılan Analizler	133
9.2.1 Dalıp-çıkma ve baş-kıç vurma genliklerinin karşılaştırılması	134
9.2.2 Hareket denklemlerindeki katsayıların karşılaştırılması	135
9.3 Bir Yük Gemisiyle Yapılan Analizler	137
9.4 Sonuçlar	141
10. SONUÇ VE ÖNERİLER	143
KAYNAKLAR	147
EKLER	153
ÖZGEÇMİŞ	191

KISALTMALAR

BMT	: British Maritime Technology
CFD	: Computational Fluid Dynamics (Hesaplamaalı Akışkanlar Dinamiğı)
Diğ	: Diğerleri
DWT	: Deadweight tonnage
Fr	: Froude Sayısı
ITTC	: International Towing Tank Conference
JONSWAP	: Joint North Sea Wave Project
LFE	: Lateral Force Estimator (Yatay Kuvvet Değerlendirici)
MII	: Motion Induced Interruption (Hareket Kaynaklı Denge Kaybı Olayı)
NATO	: North Atlantic Treaty Organization (Kuzey Atlantik Antlaşma Örgütü)
RAO	: Response Amplitude Operator (Genlik Karşılık Fonksiyonu)
RINA	: The Royal Institution of Naval Architects
RMS	: Root Mean Square (Kareli Ortalamanın Karekökü)
SNAME	: Society of Naval Architects and Marine Engineers
STANAG	: Standardization Agreement
St	: Station (Posta)

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Su dalgalarının d/λ oranına göre sınıflandırılması.....	12
Çizelge 2.2 : Hiperbolik fonksiyonların çok sığ su ve derin su halinde aldıkları limit değerler.....	12
Çizelge 2.3 : A ve B katsayılarının derinliğe bağlı olarak değişimleri.....	16
Çizelge 3.1 : ε değerlerine göre dalga yüksekliklerine ait katsayıların değişimi....	33
Çizelge 3.2 : Kuzey Atlantik için deniz durumu parametreleri.....	34
Çizelge 4.1 : Hareket denklemlerinde değeri sıfır olan katsayılar.....	47
Çizelge 4.2 : Hesaplarda kullanılan Seri 60 formu geminin temel özellikleri.....	54
Çizelge 4.3 : Blok katsayısı=0.70, L/B=7.0, B/T=3.0 olan Seri 60 formundaki geminin 18. postasına ait düşey ivme değerleri.....	64
Çizelge 4.4 : ShipmoPC programı kullanılarak elde edilmiş blok katsayısı=0.70, L/B=7.0, B/T=3.0 olan Seri 60 formundaki geminin 18. postasına ait düşey ivme değerleri.....	65
Çizelge 5.1 : Seri 60 modellerinin ana boyutları.....	81
Çizelge 5.2 : FFG 7 fırkateyninin boyutları.....	83
Çizelge 6.1 : Kayma ve devrilme olayları için devrilme ve sürtünme katsayıları..	91
Çizelge 6.2 : Fırkateynin temel özellikleri.....	92
Çizelge 6.3 : MII risk seviyeleri.....	96
Çizelge 6.4 : Değişik gemi tipleri için önerilen MII kriterleri.....	96
Çizelge 7.1 : k-değeri ve eşleştirme katsayıları.....	101
Çizelge 7.2 : Deney sonucu ve regresyon denklemiyle elde edilen k-değerlerinin karşılaştırılması.....	102
Çizelge 7.3 : Tipik dövünme sayısı kriterleri.....	108
Çizelge 8.1 : Savaş gemisinin temel özellikleri.....	113
Çizelge 8.2 : Dalga istatistikleri.....	115
Çizelge 8.3 : Çeşitli deniz sahalarına ve deniz şiddetlerine ait değerler.....	116
Çizelge 8.4 : Gemide bulunan aktif yalpa fininin özellikleri.....	119
Çizelge 8.5 : Düşey ivme analizi yapılan noktaların gemi üzerindeki konumları	121
Çizelge 8.6 : Transit geçiş ve karakol görevi olan bir savaş gemisi için örnek sınır değerleri.....	130
Çizelge 9.1 : Seri 60 formu geminin temel özellikleri.....	134
Çizelge 9.2 : Kullanılan yük gemisinin temel özellikleri.....	137
Çizelge A.1 : Blok katsayısı=0.70, L/B=7.0, B/T=3.0 olan Seri 60 formu gemiye ait her 1 m. karak. dalga yüksekliği için oluşturulmuş denizcilik tablosu.....	154
Çizelge A.2 : Seri 60 formu gemiye ait her 1 m. karakteristik dalga yüksekliği için ShipmoPC programının verdiği sonuçlarla oluşturulmuş denizcilik tablosu.....	156

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Kütle dağılımının şekilsel gösterimi.....	5
Şekil 2.1 : Düzgün dalgaların tanımı.....	10
Şekil 2.2 : Çeşitli d derinliklerine göre λ dalga boyunun bağılı olarak c hızının değişimi.....	14
Şekil 2.3 : Su zerrelerinin yörüngeleri üzerindeki derinlik etkisi.....	17
Şekil 2.4 : Dalgalarla karşılaşma açısının tanımı.....	18
Şekil 2.5 : Dalgaların gemiye geliş yönlerine göre sınıflandırılması.....	18
Şekil 2.6 : Karşılaşma frekansı.....	19
Şekil 3.1 : Dalgaların oluşumu.....	22
Şekil 3.2 : Tipik bir dalga kaydı: dalga tepe ve çukurlarının analizi.....	24
Şekil 3.3 : Dalga enerji spektrumunun tanımı.....	26
Şekil 3.4 : Karışık dalgalara ait bir kaydın Fourier analizinden elde edilmiş örnek bir spektrum.....	27
Şekil 3.5 : (a) Dar ve (b) geniş bantlı zaman kayıtları.....	31
Şekil 3.6 : (a) Dar ve (b) geniş bantlı spektrum.....	32
Şekil 3.7 : Dalga yayılmasının gemi hareketleri üzerine etkisi.....	37
Şekil 3.8 : Birincil ve ikincil dalga yönleri.....	38
Şekil 3.9 : Tipik bir yönsel dalga spektrumu.....	39
Şekil 3.10 : Dalga enerji spektrumu yayılma fonksiyonu.....	41
Şekil 4.1 : Altı serbestlik dereceli gemi hareketlerinin gösterimi.....	44
Şekil 4.2 : Gemi su altı formunun sonsuz uzunluktaki bir silindire temsili.....	49
Şekil 4.3 : Lewis formunun geçerli olduğu bölgenin gösterimi.....	51
Şekil 4.4 : Güverte çizgisi yerleştirilen ayrıklaştırılmış gemi kesiti.....	52
Şekil 4.5 : Çeşitli dalga yönlerinde 120 m. boyundaki Seri 60 tipi gemi için baş-kıç vurma hareketine ait analitik olarak elde edilen transfer fonksiyonunun deney sonuçlarıyla karşılaştırılması.....	55
Şekil 4.6 : ShipmoPC programının verdiği sonuçlarla oluşturulmuş Seri 60 forumundaki gemiye ait dalıp-çıkma transfer fonksiyonu.....	56
Şekil 4.7 : ShipmoPC programının verdiği sonuçlara göre oluşturulmuş çeşitli modal dalga periyotlarındaki boyutsuzlaştırılmış RMS dalıp-çıkma hareketi (her 1 m. karakteristik dalga yüksekliği için).....	58
Şekil 4.8 : ShipmoPC programının verdiği sonuçlara göre oluşturulmuş çeşitli modal dalga periyotlarındaki boyutsuzlaştırılmış RMS baş-kıç vurma hareketi (her 1 m. karakteristik dalga yüksekliği için).....	58
Şekil 4.9 : 4 deniz şiddetinde karışık dalgalarda RMS dalıp-çıkma genliğinin karşılaştırılması ($F_n=0.10$).....	59
Şekil 4.10 : 4 deniz şiddetinde karışık dalgalarda RMS baş-kıç vurma genliğinin karşılaştırılması ($F_n=0.10$).....	59
Şekil 4.11 : Birim karakteristik dalga yüksekliği değerinde çeşitli modal dalga periyotlarında RMS dalıp-çıkma genlik değerinin karşılaştırılması ($F_n=0.10$).....	60

Şekil 4.12 : Birim karakteristik dalga yüksekliği değerinde çeşitli modal dalga periyotlarında RMS baş-kıç vurma genlik değerinin karşılaştırılması ($F_n=0.10$).....	61
Şekil 4.13 : Analitik olarak hesaplanan Seri 60 formundaki gemiye ait 18. postadaki RMS düşey ivme değerleri ($F_n=0.20$).....	62
Şekil 4.14 : Çeşitli boyutsuz modal dalga periyotlarında ShipmoPC'nin verdiği sonuçlarla oluşturulan Seri 60 formundaki gemiye ait 18. postadaki düşey ivme grafiği ($F_n=0.20$).....	63
Şekil 4.15 : 4 deniz şiddetinde karışık dalgalarda 18. postaya ait RMS düşey ivme değerlerinin karşılaştırılması ($F_n=0.10$).....	66
Şekil 5.1 : Gemilerde seyir halindeki hız kaybı ya da ek güç.....	69
Şekil 5.2 : Gerritsma ve Beukelman'ın teorisi ile deney sonuçlarının karşılaştırılması.....	75
Şekil 5.3 : Froude sayısına bağlı olarak ek direncin değişimi.....	77
Şekil 5.4 : Seri 60 gemilerinin FFG 7 fırkateyninin su hattı alanları.....	82
Şekil 6.1 : Eksen takımı.....	89
Şekil 6.2 : Güverte üzerinde duran bir kişinin modeli.....	89
Şekil 6.3 : Boyuna konumun LFE değerlerine olan etkisi.....	92
Şekil 6.4 : Boyuna konumun MII's üzerine etkisi.....	93
Şekil 6.5 : Geminin mastorisinde düşey konumun MII's üzerine etkisi.....	94
Şekil 6.6 : Geminin mastorisinde enine konumun MII's üzerindeki etkisi.....	94
Şekil 6.7 : Geminin köprü üstü güvertesinde dalgaların geliş açısının RMS yalpa ve MII's üzerine olan etkisi.....	95
Şekil 7.1 : Dövmeme basınç dağılımı.....	100
Şekil 7.2 : Dövmeme hesabında kesitte bilinmesi gereken büyüklüklerin ifadesi.....	104
Şekil 7.3 : Dövmeme form katsayısını hesaplamak için kama (wedge) geometrisinin verileri.....	104
Şekil 7.4 : Kama şeklindeki kesitler için dövmeme katsayısı.....	106
Şekil 8.1 : Geminin baştan gelen düzenli dalgalarındaki ek direnç grafiği.....	114
Şekil 8.2 : Geminin 6 deniz şiddetinde çeşitli deniz sahalarındaki baş-kıç vurma hareketlerinin karşılaştırılması ($V: 22$ knot).....	117
Şekil 8.3 : Geminin Akdeniz'de çeşitli deniz durumlarına ait baş-kıç vurma hareketleri ($V: 22$ knot).....	117
Şekil 8.4 : Geminin 6 deniz şiddetinde çeşitli deniz sahalarındaki dalıp-çıkma hareketlerinin karşılaştırılması.....	118
Şekil 8.5 : 18 knot gemi hızında geminin yalpa fininin performansı.....	120
Şekil 8.6 : 20 knot gemi hızında geminin yalpa fininin performansı.....	120
Şekil 8.7 : 22 knot gemi hızında geminin yalpa fininin performansı.....	120
Şekil 8.8 : Gemi üzerinde alınan 1. noktaya (helikopter platformu) ait RMS düşey ivme grafiği ($V: 22$ kn).....	122
Şekil 8.9 : Gemi üzerinde alınan 2. noktaya (helikopter platformu) ait RMS düşey ivme grafiği ($V: 22$ kn).....	122
Şekil 8.10 : Gemi üzerinde alınan 3. noktaya (köprü üstü güvertesi) ait RMS düşey ivme grafiği ($V: 22$ kn).....	123
Şekil 8.11 : Gemi üzerinde alınan 4.noktaya (savaş hareket merkezi) ait RMS düşey ivme grafiği ($V: 22$ kn).....	123
Şekil 8.12 : Çeşitli hızlarda deniz şiddetinin düşey ivme üzerindeki etkisi.....	124
Şekil 8.13 : 22 knot gemi hızında çeşitli deniz sahalarında düşey ivme eğrileri.....	125
Şekil 8.14 : Baştan gelen dalgalarda boyuna konumdaki değişimin düşey ivme üzerindeki etkisi (Akdeniz, 6 deniz şiddeti).....	125

Şekil 8.15 : Çeşitli hızlarda, geminin 18.94. postasına ait dövünme eğrileri.....	126
Şekil 8.16 : Çeşitli hızlarda, geminin 19.99. postasına ait dövünme eğrileri.....	126
Şekil 8.17 : Çeşitli hızlarda, geminin 20.52. postasına ait dövünme eğrileri.....	127
Şekil 8.18 : Çeşitli hızlarda, geminin yumrubaşında meydana gelen dövünme ..	127
Şekil 8.19 : Karadeniz’de 6 deniz şiddetinde ve 22 knot servis hızında baş taraf ait çeşitli kesitlerde meydana gelen dövünme sayıları.....	128
Şekil 8.20 : 6 deniz şiddetinde ve 22 knot gemi hızında çeşitli deniz sahalarındaki dövünme sayılarının karşılaştırılması.....	128
Şekil 8.21 : Çeşitli denizlerdeki ortalama ek direnç eğrileri (V: 22 knot).....	129
Şekil 9.1 : Seri 60 formuna sahip geminin posta kesitleri.....	134
Şekil 9.2 : Sıfır hızda Seri 60 $C_B = 0.70$ formuna baştan gelen dalga kuvvetleri	136
Şekil 9.3 : Baştan gelen düzenli dalgalaradaki dalıp-çıkma ve baş-kıç vurma hareketlerine ait genlik karşılık fonksiyonları ($F_n=0.00$).....	138
Şekil 9.4 : Baştan gelen düzenli dalgalaradaki dalıp-çıkma ve baş-kıç vurma hareketlerine ait genlik karşılık fonksiyonları ($F_n=0.089$).....	139
Şekil 9.5 : Baştan gelen düzenli dalgalaradaki dalıp-çıkma ve baş-kıç vurma hareketlerine ait genlik karşılık fonksiyonları ($F_n=0.1425$).....	139
Şekil 9.6 : Baştan gelen düzenli dalgalaradaki dalıp-çıkma ve baş-kıç vurma hareketlerine ait genlik karşılık fonksiyonları ($F_n=0.2138$).....	140
Şekil 9.7 : İleri hız durumlarında dalgalardan gelen ek direnç hesapları.....	141
Şekil B.1 : Seri 60 için baştan gelen dalgalarda ek direnç, $C_B = 0.60, F_n = 0.266$	158
Şekil B.2 : Seri 60 için baştan gelen dalgalarda ek direnç, $C_B = 0.60, F_n = 0.283$	158
Şekil B.3 : Seri 60 için baştan gelen dalgalarda ek direnç, $C_B = 0.70, F_n = 0.207$	159
Şekil B.4 : Seri 60 için baştan gelen dalgalarda ek direnç, $C_B = 0.70, F_n = 0.222$	159
Şekil B.5 : Seri 60 için baştan gelen dalgalarda ek direnç, $C_B = 0.80, F_n = 0.147$	160
Şekil B.6 : Seri 60 için baştan gelen dalgalarda ek direnç, $C_B = 0.80, F_n = 0.165$	160
Şekil C.1 : FFG 7 için ek direnç, $F_n=0.15$, dalga yönü 180°	161
Şekil C.2 : FFG 7 için ek direnç, $F_n=0.15$, dalga yönü 150°	161
Şekil C.3 : FFG 7 için ek direnç, $F_n=0.15$, dalga yönü 120°	162
Şekil C.4 : FFG 7 için ek direnç, $F_n=0.15$, dalga yönü 90°	162
Şekil C.5 : FFG 7 için ek direnç, $F_n=0.15$, dalga yönü 45°	163
Şekil C.6 : FFG 7 için ek direnç, $F_n=0.15$, dalga yönü 0°	163
Şekil D.1 : Seri 60 için kabarma düzeltme faktörleri, $C_B = 0.60, F_n = 0.266$	164
Şekil D.2 : Seri 60 için baştan gelen dalgalarda kabarma düzeltmesinin gemi direnci üzerine olan etkisi, $C_B = 0.60, F_n = 0.266$	164
Şekil D.3 : Seri 60 için kabarma düzeltme faktörleri, $C_B = 0.70, F_n = 0.222$	165
Şekil D.4 : Seri 60 için baştan gelen dalgalarda kabarma düzeltmesinin gemi direnci üzerine olan etkisi, $C_B = 0.70, F_n = 0.222$	165
Şekil D.5 : FFG 7 için kabarma düzeltme faktörleri, $F_n=0.15$	166
Şekil D.6 : FFG 7 için baştan gelen dalgalarda kabarma düzeltmesinin gemi direnci üzerine olan etkisi, $F_n=0.15$	166
Şekil D.7 : FFG 7 için kabarma düzeltme faktörleri, $F_n=0.30$	167
Şekil D.8 : FFG 7 için baştan gelen dalgalarda kabarma düzeltmesinin gemi direnci üzerine olan etkisi, $F_n=0.30$	167
Şekil E.1 : Savaş gemisinin 22 knot hızda düzenli dalgalaradaki boy öteleme transfer fonksiyonu (RAO).....	168

Şekil E.2 : Savaş gemisinin 22 knot hızda düzenli dalgalarındaki yan öteleme transfer fonksiyonu (RAO).....	168
Şekil E.3 : Savaş gemisinin 22 knot hızda düzenli dalgalarındaki dalıp-çıkma transfer fonksiyonu (RAO).....	169
Şekil E.4 : Savaş gemisinin 22 knot hızda düzenli dalgalarındaki yalpa transfer fonksiyonu (RAO).....	169
Şekil E.5 : Savaş gemisinin 22 knot hızda düzenli dalgalarındaki baş-kıç vurma transfer fonksiyonu (RAO).....	170
Şekil E.6 : Savaş gemisinin 22 knot hızda düzenli dalgalarındaki savrulma transfer fonksiyonu (RAO).....	170
Şekil F.1 : Geminin 6 deniz şiddetinde Akdeniz'deki baş-kıç vurma hareketi...	171
Şekil F.2 : Geminin 6 deniz şiddetinde Akdeniz'deki baş-kıç vurma hareketine ait polar diyagram.....	171
Şekil F.3 : Geminin 6 deniz şiddetinde Karadeniz'deki baş-kıç vurma hareketi.	172
Şekil F.4 : Geminin 6 deniz şiddetinde Karadeniz'deki baş-kıç vurma hareketine ait polar diyagram.....	172
Şekil F.5 : Geminin 6 deniz şiddetinde Ege Denizindeki baş-kıç vurma hareketi	173
Şekil F.6 : Geminin 6 deniz şiddetinde Ege Denizi'ndeki baş-kıç vurma hareketine ait polar diyagram.....	173
Şekil G.1 : Geminin 6 deniz şiddetinde Akdeniz'deki dalıp-çıkma miktarı.....	174
Şekil G.2 : Geminin 6 deniz şiddetinde Akdeniz'deki dalıp-çıkma miktarını gösteren polar diyagram.....	174
Şekil G.3 : Geminin 6 deniz şiddetinde Karadeniz'deki dalıp-çıkma miktarı.....	175
Şekil G.4 : Geminin 6 deniz şiddetinde Karadeniz'deki dalıp-çıkma miktarını gösteren polar diyagram.....	175
Şekil G.5 : Geminin 6 deniz şiddetinde Ege Denizi'ndeki dalıp-çıkma miktarı.	176
Şekil G.6 : Geminin 6 deniz şiddetinde Ege Denizi'ndeki dalıp-çıkma miktarını gösteren polar diyagram.....	176
Şekil H.1 : Geminin 6 deniz şiddetinde Akdeniz'deki yalpa hareketi.....	177
Şekil H.2 : Geminin 6 deniz şiddetinde Akdeniz'deki yalpa hareketine ait polar diyagram.....	177
Şekil H.3 : Geminin 6 deniz şiddetinde Karadeniz'deki yalpa hareketi.....	178
Şekil H.4 : Geminin 6 deniz şiddetinde Karadeniz'deki yalpa hareketine ait polar diyagram.....	178
Şekil H.5 : Geminin 6 deniz şiddetinde Ege Denizi'ndeki yalpa hareketi.....	179
Şekil H.6 : Geminin 6 deniz şiddetinde Ege Denizi'ndeki yalpa hareketine ait polar diyagram.....	179
Şekil I.1 : Seri 60 gemisi için elde edilen dalıp-çıkma transfer fonksiyonlarının karşılaştırılması ($F_n=0.15$, baştan gelen dalgalar).....	180
Şekil I.2 : Seri 60 gemisi için elde edilen baş-kıç vurma transfer fonksiyonlarının karşılaştırılması ($F_n=0.15$, baştan gelen dalgalar).....	180
Şekil I.3 : Seri 60 gemisi için elde edilen dalıp-çıkma transfer fonksiyonlarının karşılaştırılması ($F_n=0.20$, baştan gelen dalgalar).....	181
Şekil I.4 : Seri 60 gemisi için elde edilen baş-kıç vurma transfer fonksiyonlarının karşılaştırılması ($F_n=0.20$, baştan gelen dalgalar).....	181
Şekil I.5 : Seri 60 gemisi için elde edilen dalıp-çıkma transfer fonksiyonlarının karşılaştırılması ($F_n=0.25$, baştan gelen dalgalar).....	182
Şekil I.6 : Seri 60 gemisi için elde edilen baş-kıç vurma transfer fonksiyonlarının karşılaştırılması ($F_n=0.25$, baştan gelen dalgalar).....	182

Şekil I.7 :	Seri 60 gemisi için elde edilen dalıp-çıkma transfer fonksiyonlarının karşılaştırılması ($F_n=0.30$, baştan gelen dalgalar).....	183
Şekil I.8 :	Seri 60 gemisi için elde edilen baş-kıç vurma transfer fonksiyonlarının karşılaştırılması ($F_n=0.30$, baştan gelen dalgalar).....	183
Şekil İ.1 :	Seri 60 gemisine ait sıfır hız için a_{33} boyutsuz ekkütle katsayısı.....	184
Şekil İ.2 :	Seri 60 gemisine ait sıfır hız için a_{55} boyutsuz ekkütle katsayısı.....	184
Şekil İ.3 :	Seri 60 gemisine ait sıfır hız için a_{66} boyutsuz ekkütle katsayısı.....	185
Şekil İ.4 :	Seri 60 gemisine ait sıfır hız için a_{22} boyutsuz ekkütle katsayısı.....	185
Şekil İ.5 :	Seri 60 gemisine ait sıfır hız için a_{53} boyutsuz ekkütle katsayısı.....	186
Şekil İ.6 :	Seri 60 gemisine ait sıfır hız için a_{26} boyutsuz ekkütle katsayısı.....	186
Şekil J.1 :	Seri 60 gemisine ait sıfır hız için b_{33} boyutsuz sönüm katsayısı	187
Şekil J.2 :	Seri 60 gemisine ait sıfır hız için b_{55} boyutsuz sönüm katsayısı	187
Şekil J.3 :	Seri 60 gemisine ait sıfır hız için b_{66} boyutsuz sönüm katsayısı	188
Şekil J.4 :	Seri 60 gemisine ait sıfır hız için b_{22} boyutsuz sönüm katsayısı	188
Şekil J.5 :	Seri 60 gemisine ait sıfır hız için b_{53} boyutsuz sönüm katsayısı.....	189
Şekil J.6 :	Seri 60 gemisine ait sıfır hız için b_{26} boyutsuz sönüm katsayısı	189

SEMBOL LİSTESİ

a	: ek su kütlesi katsayısı
A_x	: kesit alanı
a₁, a₃, a₅	: eşleştirme katsayıları
B	: geminin kalıp genişliği
b	: hidrodinamik sönüm katsayısı
C_b	: gemi blok katsayısı
c	: dalga hızı, hidrostatik kaldırma kuvveti katsayısı
d	: suyun derinliği
$\bar{E}$	: birim alan başına dalga enerjisi
F	: kuvvet
F_a	: uyarıcı kuvvet genliği
g	: yer çekimi ivmesi
GM	: enine metasantr yüksekliği
H	: dalga yüksekliği
H_{1/3}	: 1/3 yüksek dalgaların ortalama yüksekliği (karakteristik dalga yüksekliği)
H_{1/10}	: 1/10 yüksek dalgaların ortalama yüksekliği
i	: sanal sayı birimi
k	: dalga sayısı, dövmüne katsayısı
KG	: gemi ağırlık merkezinin temel hattan itibaren düşey mesafesi
k_{yy}	: y ekseninde etrafında kütle atalet momenti jirasyon yarıçapı
L	: gemi boyu
L_{BP}	: dikmeler arası gemi boyu
L_{WL}	: geminin su hattı boyu
LCG	: ağırlık merkezinin boyuna yeri
LCB	: sephiye merkezinin boyuna yeri
M	: moment
M_a	: uyarıcı moment genliği
m	: kütle
m₀	: dalga yüzeyinin ortalama şekil değiştirmesinin varyansı
m₂, m₄, m_n	: spektral momentler
m_{0s}	: gemi başının bağıl hareketine ait kareler ortalaması
m_{2s}	: gemi başının bağıl hızına ait 2. momentinin varyansı
N	: karışık dalgalarda dalga bileşen sayısı
N_s	: dövmüne sayısı
n_x	: gemiye gelen normal kuvvetin x bileşeni
p	: basınç
$\vec{r}$	: yer değiştirme vektörü
R_{AW}	: ek direnç
S	: geminin ıslak yüzey alanı
S_{ζζ}(ω)	: dalga enerji spektrumu
S_{zz}(ω)	: dalıp-çıkma hareketine ait spektrum
S_{ss}(ω)	: başın bağıl hareketine ait spektrum

s	: başın bağıl hareketi
s_{ad}	: başın bağıl hareketindeki dinamik genlik
s_c	: kritik hız
T	: geminin su çekimi, dalga periyodu
T_x	: lokal su çekimi
t	: zaman
T_e	: karşılaşma periyodu
T_c	: dalga tepeleri arasındaki periyot
T_0	: eksen kesen sıfır noktalarının periyodu
T_p	: modal dalga periyodu
T_P	: boyutsuz modal dalga periyodu
T_1	: karakteristik dalga periyodu
u, v, w	: sıvı hareketine ait hız bileşenleri
V	: gemi ilerleme hızı
V_s	: gemi servis hızı
V_z	: dalgalı su yüzeyine nazaran gemi kesitinin düşey hareketi
X	: posta numarası
x	: boy öteleme miktarı
x_b	: boyutsuz boyuna koordinat
x, y, z	: kartezyen koordinatlar
Y	: geminin merkez hattından itibaren yatay mesafesi
y	: yan öteleme miktarı
Z	: geminin temel hattından itibaren düşey mesafesi
z	: dalıp-çıkma miktarı
z_a	: dalıp-çıkma hareketinin genliği
$\ddot{z}$	: düşey ivme
α	: dalga meyli
α_m	: maksimum dalga meyli
Γ	: Gama Fonksiyonu
Δ	: deplasman kütlesi
δx_b	: gemiyi oluşturan her bir dilimin uzunluğu
ε	: spektrum bant genişliği
ζ	: sakin su yüzeyinin yer değiştirmesi
ζ_a	: dalga genliği
ζ_I	: gelen dalgaların şekil değiştirmesi
ζ_D	: saçınım etkisiyle dalganın şekil değiştirmesi
η_i	: altı çeşit gemi hareketini gösteren indis
θ	: baş-kıç vurma açısı
θ_a	: baş-kıç vurma hareketinin genliği
λ	: dalga boyu
μ	: ikincil dalga yönü, geminin sürtünme katsayısı
ρ	: akışkan yoğunluğu
σ_{AW}	: boyutsuz ek direnç katsayısı
σ_0	: dalga yüzeyinin ortalama şekil değiştirmesinin varyansı
Φ	: hız potansiyeli
χ	: gemi ile dalga ilerleme yönleri arasındaki açı
ψ	: savrulma açısı
ω	: dairesel dalga frekansı
$\omega_0^{(3)}$	: dalıp-çıkma katsayıları için geçerli düşük frekans limiti
ω_e	: karşılaşma frekansı

ω_n	: kesitin doğal frekansı
γ	: tepe parametresi
$\gamma, \varepsilon, \delta$	: faz açıları
τ	: spektral biçim parametresi
ϕ	: yalpa açısı
ϕ_a	: yalpa hareketinin genliği
$\phi^{(3)}$	: dalıp-çıkmadaki kompleks hız potansiyeli
∇	: deplasman hacmi

GEMİ HAREKETLERİNİN İNCELENMESİ VE GEMİLERE UYGULANMASI

ÖZET

Geminin genel performansı, görev yapacağı denizlerdeki denizcilik özelliklerine bağlıdır. Bu anlamda gemi, her türlü çevre koşullarında kendisinden beklenen görevleri hız ve rotasını koruyarak eksiksiz olarak yerine getirmek mecburiyetindedir. Bu sebeplerden dolayı gemi hareketlerinin tahmini ve geminin denizcilik özelliklerinin öngörülmesi dizayn aşmasındaki bir gemi için büyük önem taşımaktadır.

Hazırlanan bu tezin amacı, gemi hareketleri ve gemilerin çeşitli denizcilik özelliklerini tahmin etmek için geliştirilmiş bir bilgisayar yazılımı yardımıyla gemilerin denizciliği üzerine bir araştırma yapmaktır. Bu amaçla ShipmoPC isimli bir yazılım satın alınmıştır (BMT, 2001). Bu yazılımın, gemi hareketleri ile gemilerin denizciliğini tahmin etmede yararlandığı yöntemler, dayandığı teoriler ve kullanmış olduğu hidrodinamik modellemelerin bazıları üzerinde araştırmalar yapılmıştır.

Sunulan bu çalışmada, Salvesen ve diğerlerinin (1970) iki boyutlu dilim teorisi mantığına dayalı olarak çalışan ShipmoPC yazılımı kullanılarak birçok gemi türünde analizler yapılmıştır. Seri 60 formuna sahip bir gemi, firkateyn, çıkarma gemisi ve bir yük gemisi olmak üzere toplam dört adet geminin verileri programa girilerek bu gemilerin denizcilik özelliklerini ortaya çıkaran ve hareketlerini tahmin eden değişik çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın giriş bölümünde gemiye ilişkin verilerin ShipmoPC programına girilmesine yönelik bilgiler verilmiştir. Geminin hidrodinamik olarak modellenmesi ve hesaplarda kullanılacak yöntemlerin seçimine ait değerlendirmeler yapılmıştır.

Daha sonraki bölümlerde ise, düzgün ve karışık dalgalara ait teorik bilgilere yer verilmiştir. Burada, gemi hareketleri ve su dalgalarına ilişkin terimlerin tanımları yapılmıştır. Ayrıca, ShipmoPC yazılımında var olan karışık denizlere ait spektrumların formülleri açıklanmış, spektrumların tanımlanması için gerekli verilerinden bahsedilmiştir.

Dilim teorisinin ShipmoPC yazılımındaki uygulamasını görmek amacıyla blok katsayısı 0.70 olan Seri 60 formundaki bir gemiden yararlanılarak çeşitli analizler yapılmıştır. Bu analizlerin sonucunda, karışık denizlerde geminin baş-kıç vurma ve dalıp-çıkma hareketleri ile düşey ivme değerlerine ilişkin denizcilik tabloları oluşturulmuş ve ayrıca elde edilen sonuçlar grafikler halinde verilmiştir. ShipmoPC programı yardımıyla ortaya konulan bu tablolar ise Grigoropoulos ve diğerlerinin (1994) oluşturdukları belirli bir açıdan gelen dalgalarda Seri 60 standart serisine ait tablolarla karşılaştırılmıştır. Ayrıca, düzenli dalgalardaki gemi hareketlerinin, Vossers ve diğerlerinin (1960) vermiş oldukları deney sonuçlarıyla da karşılaştırılma imkânı bulunmuştur.

Gemilerin denizlerde seyir halindeki direnci, sakin sudaki direncinden fazla olmaktadır. Bu ikisinin arasındaki fark ek direnç olarak anılmaktadır. Dalgalardan gelen ek direnç, deneysel olarak elde edilebileceği gibi dilim teorisi kullanılarak gemi hareketlerinden de tahmin edilebilmektedir. ShipmoPC programında ek direnç tahmini, Faltinsen ve diğerlerinin (1980) yakın alan yöntemi kullanılarak yapılmaktadır. McTaggart'ın (1997a) ShipmoPC programını kullanarak yapmış olduğu ek direnç tahminine ilişkin çalışmasına yer verilerek Seri 60 formundaki gemilerde baştan gelen dalgalarda ve FFG 7 firkateyninde ise baştan ve belirli bir açıdan gelen dalgalarındaki ek direnç değerleri deney sonuçlarıyla ve çeşitli diğer yöntemlerle karşılaştırılmıştır. Böylece ShipmoPC'nin ek direnç tahminindeki başarısı araştırılmıştır. Bunlara ek olarak, kabarma düzeltmesinin bu iki gemi tipi üzerindeki etkisi incelenmiş ve hangi durumlarda bu düzeltmenin ek direnç sonuçlarına olumlu katkı yaptığı ortaya çıkarılmıştır.

Diğer bir bölümde ise özellikle savaş gemileri için önemli bir denizcilik kriteri olan hareket kaynaklı denge kaybı olaylarının (MII) teorisi üzerinde durulmuştur. Bu amaçla bir firkateynin verileri ShipmoPC programına girilerek geminin çeşitli bölgelerindeki MII sayıları elde edilmiş ve bu değerler konumlara bağlı olarak grafikler halinde sunulmuştur. Böylece yatay, düşey ve boyuna konumun hareket kaynaklı denge kaybı olayları üzerindeki etkisi gösterilmiştir. Ayrıca, gemilerdeki güverte operasyonları için kriterler geliştirilmesine yönelik bilgiler verilmiştir.

Başın dövünmesi olayı gemilerin denizciliği için önemli bir kriterdir. Dövünme esnasında, baş taraftaki ivmeler büyük değerlere ulaşır ve gemi dibi lokal su kuvvetlerinin etkisi altında zorlanarak zarar görür. Dövünme, tamamen gemi kesitinin şekline bağlı bir olgudur. Bu olguya dayanan dövünme form katsayısı elde edilerek maksimum dövünme basıncı ve dövünme kuvveti hesabı yapmak mümkündür. Çalışmanın bir diğer bölümünde, ShipmoPC'nin dövünme basıncı hesabını dayandığı çeşitli yöntemler açıklanmış ve kesitlerin şekline göre seçilmesi gereken bu yöntemler hakkında detaylı bilgiler verilmiştir. Ayrıca, dövünme sayısı ve dövünme olasılığının hesabına ilişkin verilen formüller gösterilmiş ve son olarak da çeşitli kaynaklardan elde edilen dövünme kriterlerinden söz edilmiştir.

Çalışmanın bir sonraki bölümünde savaş gemileri için örnek bir denizcilik performans analizi yapılmıştır. Bunun için dizayn aşamasında olan bir çıkarma gemisi örnek olarak incelenmiştir. Bu amaçla öncelikle geminin ShipmoPC programına tanıtılması için hangi verilerin gerektiği açıklanmıştır. Daha sonra ise geminin çalışacağı deniz sahalarının temsiline ilişkin bilgiler verilmiştir. Gemiye ait tüm çalışma koşullarının belirlenmesinin ardından, geminin çeşitli deniz sahalarında ve deniz şiddetlerindeki dalıp-çıkma, baş-kıç vurma ve yalpa hareketleri ile bu hareketlere bağlı olarak oluşan düşey ivme ve dövünme analizleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar grafikler ve polar diyagramlar yardımıyla sunulmuştur. Son olarak geminin türüne, görevlerine ve kullanacağı silah-teçhizata uygun olarak belirlenmiş olan denizcilik kriterlerine uygunluk kontrolü yapılmıştır. Böylece dizayn aşamasındaki bir gemi için yapılması gerekli olan denizcilik analizleri gerçekleştirilmiştir.

Sunulan çalışmanın son bölümünde ise, kullanılan yazılımın doğrulamasına yönelik gerçekleştirilen çalışmalardan bahsedilmiştir. Bu amaçla ShipmoPC kullanılarak blok katsayısı 0.70 olan Seri 60 formuna sahip bir gemi ile ayna kışkı bir yük gemisi üzerinde baştan gelen düzgün dalgalarda yapılan analizlerin deney sonuçlarıyla

karşılaştırılması yapılmıştır. Seri 60 gemisi için literatürde bulunan deney sonuçları kullanılırken, yük gemisi için İTÜ Ata Nutku Deney Laboratuvarında, geminin modeliyle yapılarak elde edilen sonuçlardan yararlanılmıştır. Her iki gemi tipiyle yapılan çalışmalardan alınan çıktılarına göre, programın verdiği sonuçlar deney sonuçlarıyla büyük bir uyum göstermektedir.

INVESTIGATION OF SHIP MOTIONS AND APPLICATION TO SHIPS

SUMMARY

The overall performance of a ship depends on the seakeeping performance in specified sea areas where the vessel operates. She is expected to fulfil her mission in almost all weather and sea states without compromising her safety. Therefore, prediction of ship motions and seakeeping performance are very important for a ship in the preliminary design stage.

The purpose of this thesis is to investigate seakeeping of ships by the aid of a commercial seakeeping package, which is developed to predict ship motions. A strip theory based software (ShipmoPC) was purchased for this purpose (BMT, 2001). Some of the theories and methods used in the software as well as hydrodynamic modeling of the vessel have been studied in this thesis.

In this present thesis, various analyses are conducted for different types of ship by using ShipmoPC, which is based on the strip theory of Salvesen et al. (1970). Four different type of ships, including a Series 60 ship, frigate, landing ship, and a cargo ship are modelled in the software in order to search seakeeping properties and ship responses in seas. Some information about defining both geometry and environment is given in the introduction part. Hydrodynamic modelling and choosing relevant corrections are discussed, as well.

In following sections, theory of regular and irregular waves is explained. Some terms related to ship motions and water waves are introduced. Besides, all the mathematical sea spectrums which are provided in ShipmoPC are formulated and explained, as well.

Some analyses are performed by using a block coefficient 0.70 Series 60 ship to discuss the implementation of strip theory for calculating ship motions in ShipmoPC. In consequence of these analyses, pitch and heave responses as well as vertical acceleration of the vessel in irregular seaway are obtained and presented in both tabular and graphical form. These seakeeping tables have been analytically evaluated by using ShipmoPC, and compared with those created by Grigoropoulos et al. (1994). Seakeeping performance results of Series 60 have been created for both head and oblique seas. Besides, ship responses in regular seas are compared with the experimental results of Vossers et al. (1960).

The resistance of a ship in a seaway is known to be greater than the ship resistance in calm water. The difference between these two values is called the added resistance. Added resistance due to the waves is predicted not only experimentally but also analytically from the ship motions using the strip theory. The added resistance prediction in ShipmoPC is executed using the near-field method given by Faltinsen et al. (1980). Added resistance prediction of Series 60 hull forms in head seas, and also FFG 7 frigate in head and oblique seas are compared with the experimental results and other theoretical methods as well. All these data are taken from the study by McTaggart (1997a). Thus, the validity of ShipmoPC in predicting added wave

resistance is assessed. Further comparisons illustrate the influence of swell-up corrections due to ship forward speed on added resistance predictions.

In the other part of the thesis, the theory of motion induced interruption (MII) which is particularly very important for war ships is investigated. A frigate is used and modelled in the software in order to reveal the effect of MII. For this purpose, MII number is calculated at several points on the ship and the results are presented in graphical form based on the relative position. By this way, the effect of horizontal, vertical, and longitudinal position on MII is shown. Furthermore, some valuable information about developing criteria for deck operations on ships is given.

Slamming is a very significant criterion for seakeeping of ships. Vertical acceleration at bow of the ship increases considerably due to the slamming and consequently the bottom of the vessel may be damaged because of local water forces. Slamming completely depends on the shape of the section. It is possible to calculate maximum slamming pressure and slamming force by obtaining the slamming form coefficient. In that section of the study, various methods used in slamming calculation of ShipmoPC is explored and detailed in the thesis. Besides, formulas to calculate number of slamming and the probability of slamming occurrence are shown. Finally, some slamming criteria acquired from different sources are given.

In the next section of the thesis, a sample seakeeping performance analysis is conducted for war ships. A landing war ship is used as a sample for this reason. First of all, the input needed to model the ship in the software is explained. Then, modelling of the sea areas where the vessel is designed to operate is introduced. After the determination of environmental and operational conditions of the vessel, analysis of heave, pitch, and roll responses as well as the vertical accelerations, slamming and added wave resistance for varying sea states and sea areas is carried out. The results are presented in both standard graphical form and polar diagrams. Lastly, it is checked if the vessel has provided the seakeeping criteria which is chosen in accordance with her type, her mission, and her armament. Thereby, procedure of a seakeeping performance analysis is assessed during the preliminary design.

In the final section of the thesis, the validation study of the software with experiments is expressed. Some analyses are performed using a block coefficient 0.70 Series 60 ship and a cargo ship with transom stern in regular head waves, and the results are compared with the experimental data. For Series 60 ship, experimental results are found in literature, whereas for the cargo ship, the model experiments have been conducted in ITU Ata Nutku Ship Model Testing Laboratory. Comparing the output of ShipmoPC with the experimental results for both vessels, it may be said that there is a reasonable correlation between them.

1. GİRİŞ

Gemi hareketleri ve deniz yüklerinin tahmini, gemi dizaynı açısından hayati öneme sahiptir. Üç boyutlu panel kodları ile zaman ya da frekans uzayında çalışan yazılımlar, yıllardır gelişmekte olmasına karşın iki boyutlu dilim teorisi, gemi hareketlerini ve deniz yüklerini tahmin etmede hala popüler bir yöntemdir. Dilim teorisi, verimliliği ve sağlamlığı ile özellikle savaş gemileri gibi narin gemilerde kullanılmaya çok elverişlidir.

1.1 Tezin Amacı

Bu çalışmada, gemilerin hareketleri ve denizciliği konularında genel bilgiler verilerek bir bilgisayar yazılımı yardımıyla (ShipmoPC) çeşitli denizcilik analizleri yapılması amaçlanmıştır. Bu analizlerin vermiş olduğu sonuçlar, deney sonuçları ve çeşitli diğer yöntemlerle karşılaştırılarak bu programların güvenilirliği yönünden bir fikir sahibi olunması istenmiştir.

Ayrıca, bu tip bir bilgisayar yazılımının kullandığı yöntem ve teoriler, uygulamadaki kısıtlamalar ve yaptığı kabuller hakkında detaylı bilgiler verilmesi, amaçlanan konulardan birisidir. Böylece, programın çalışma yöntemi ile güçlü ve zayıf yönleri ortaya çıkarılacak, programın vermiş olduğu sonuçların hangi güven aralığı içerisinde olduğu bilinecek ve elde edilen veriler buna göre değerlendirilebilecektir.

Çalışmanın bir bölümünde, ShipmoPC programı kullanılarak (BMT, 2001) örnek bir savaş gemisinin denizcilik performans analizleri yapılmıştır. Böylece, bu gemi üzerinden programın uygulaması gösterilmiş ve savaş gemilerinin denizciliği üzerine çeşitli bilgiler verilmesi amaçlanmıştır. Son olarak, örnek gemi için değişik denizcilik kriterleri geliştirilerek, program yardımıyla geminin bu kriterlere uyup uymadığı belirlenmiştir.

Çalışmanın son bölümünde, programın doğrulamasına yönelik olarak deney sonuçlarıyla programın verdiği sonuçların karşılaştırılması yapılmıştır. Böylece, her iki yöntemle elde edilen sonuçlar arasında önemli bir uyum olduğu ortaya çıkmıştır.

1.2 ShipmoPC Hakkında Genel Bilgiler

ShipmoPC, BMT Fleet Technology tarafından geliştirilmiş bir yazılımdır. ShipmoPC, SHIPMO serisi programların en son versiyonu olup, alt versiyonlarından önemli farklılıklara sahiptir (BMT, 2001). Örneğin, kesitlerin hidrodinamik özelliklerini hesaplamada Frank Close-Fit yöntemi (Frank ve Salvesen, 1970) yerine iki boyutlu sınır eleman yöntemi (Sclavounos ve Lee, 1985) kullanılmaktadır. Bunun yanında geminin kütle dağılımı programa girilerek eğilme momenti ve kesme kuvvetine ilişkin değerleri almak da mümkündür. Ayrıca program, geliştirilen yeni ara yüzüyle daha kullanıcı dostu olarak çalışmakta ve sonuçları grafik ve polar diyagramlar olarak vermektedir. Üstelik bu grafiklerin ordinat ve apsisi istenildiği şekilde ayarlanabilmektedir (BMT, 2001).

ShipmoPC, Salvesen ve diğerlerinin (1970) frekansa bağlı dilim teorisi metoduna dayanarak tek gövdeli gemilerin hareketlerini ve deniz yüklerini tahmin eden bir bilgisayar yazılımıdır. Yanal düzlemdeki hareket ve yükler için, geminin takıntıları ve viskoz kuvvetler çok önem taşır. Bu etkiler, Schmitke (1978)'in yöntemi kullanılarak hesaplanır. ShipmoPC, hareket ve yüklere ilişkin tahminlerini düzenli dalgalarda genlik transfer fonksiyonu (RAO) ve fazlar halinde; karışık dalgalarda ise çeşitli deniz spektrumlarında RMS ve sıfır noktalarını kesen periyotlar şeklinde verir. Ayrıca hareket kaynaklı denge kaybı olaylarına (MII) ilişkin hesaplar da karışık dalgalarda yapılmaktadır.

ShipmoPC gibi dilim teorisi temelli bir program kullanırken, bu programların uygulama sınırlarına dikkat edilmelidir. Bu sınırlar; dilim teorisine ait narinlik, gemi hızı ve deniz şiddetidir. Lineerlik kabulünün yapılabilmesi için $L/B > 4$, $F_n < 0.4$ ve deniz durumu en fazla 7 şiddetinde olmalıdır.

ShipmoPC aynı zamanda dalgalardan gelen kuvvet ve momentlere ilişkin tahminler de vermektedir. Bu tahminler geminin yapısal dizaynı ve tamiri için kullanılabilecektir. Ancak, geminin ağırlık dağılımı programa girildiği takdirde bu konuda bir sonuç almak mümkündür. Chow ve McTaggart'a göre (1996) ShipmoPC hem yatay hem de düşey yönlerde deniz yükleri açısından iyi sonuçlar vermektedir.

ShipmoPC programı ayrıca dalgalardan gelen ek direnci de hesaplayabilmektedir. Bunun için Faltinsen ve diğerlerinin (1980) yakın alan yöntemini kullanmaktadır.

Bağıl hareketteki kabarma etkisini ise (swell-up), Block ve Huisman'ın teorisini kullanarak değerlendirmektedir (1984).

ShipmoPC, kesitlerin hidrodinamik özelliklerini sınır eleman yöntemi (Sclavounos ve Lee, 1985) ya da Lewis form (Lewis, 1929) kullanarak hesaplamaktadır. Bu konudaki seçim ise kullanıcılara bırakılmıştır. Sınır eleman yöntemi, ShipmoPC'nin önceki versiyonlarında olmayan yeni bir yöntemdir.

1.3 Verilerin Programa Girilmesi

Programın hesap yapabilmesi için gemiye ait çeşitli bilgilerin programa tanıtılması gereklidir. Bunun için gerekli veriler aşağıdaki başlıklarda sıralanmıştır.

1.3.1 Geminin temel özellikleri

Öncelikle geminin temel özelliklerinin programa tanıtılması gereklidir. Bunun için ilk olarak metrik ya da İngiliz birim sistemi seçilir ve daha sonra ilgili birim sisteminde gemiye ait istenilen veriler girilir:

1. Geminin dikmeler arası boyu, L_{BP}
2. Ağırlık merkezinin temel hattın itibaren düşey mesafesi, KG
3. Baş-kıç vurma jirasyon yarıçapı
4. Metasantr yüksekliği, GM (dışarıdan kullanıcı tarafından girilebileceği gibi program kendi de hesaplayabilmektedir)
5. a. Sudaki doğal yalpa frekansı
b. Havadaki yalpa jirasyon yarıçapı
c. Sudaki yalpa jirasyon yarıçapı

Geminin temel özelliklerini belirleyen veriler yukarıda verilmiştir. 5. maddede sıralanan bilgilerden sadece bir tanesinin programa girilmesi yeterli olacaktır.

1.3.2 Gemi geometrisinin tanıtılması

Gemi geometrisinin tanıtılması için öncelikle kaç postayla hesap yapılacağı ve 0. postanın baş dikme mi yoksa kıç dikme mi olacağına karar verilmesi gereklidir. ShipmoPC, en az 2 en fazla 21 posta ile hesap yapabilmektedir. Gemi geometrisi iki şekilde programa girilebilir:

1. Kesitlerin ofset değerleri

2. Kesitlere ait alanlar

Ancak, daha hassas sonuçlar istenildiği takdirde kesitlerin ofset değerleri kullanılarak gemi geometrisi oluşturulmasında yarar vardır. Ancak kesitlerin alanları girilerek gemi geometrisinin tarif edildiği takdirde, yalpa hareketine ilişkin verilerin hesaplanması mümkün olamamaktadır. Eğer gemi alışıl gelmiş bir geometriden farklı forma sahipse, o zaman mutlaka yukarıda belirtilen 1. yöntem seçilmelidir. (BMT, 2001).

Gemi geometrisi programa tanıtıldıktan sonra, gemiye ait yükleme durumu istenmektedir. Bu amaçla, aşağıda verilen iki seçenekten biri kullanılarak verilerin programa girilmesi gereklidir:

1. Mastorideki su çekimi ve kıtaki trim miktarı

2. Geminin deplasman tonu ve baş dikmeden itibaren ağırlık merkezinin boyuna konumu (LCG)

Bu bilgiler de girildikten sonra gemi geometrisine ilişkin olarak gerekli tüm veriler sağlanmış olur.

1.3.3 Takıntılara ait bilgilerin girilmesi

Yukarıda belirtildiği üzere ShipmoPC takıntılarının hidrodinamik etkilerini hesaplayabilmektedir. Özellikle, yatay düzlem hareketleri için bunların önemi büyüktür. Aşağıda, programın veri olarak istemiş olduğu takıntılar sıralanmıştır:

1. Yalpa omurgası (en fazla 5 çift yalpa omurgasının tanımı yapılabilir)

2. Skeg

3. Dmen

4. Pervana şaft braketleri

5. Yalpa sönümleyici sistemleri (stabilizörler)

- a. Yalpa finleri

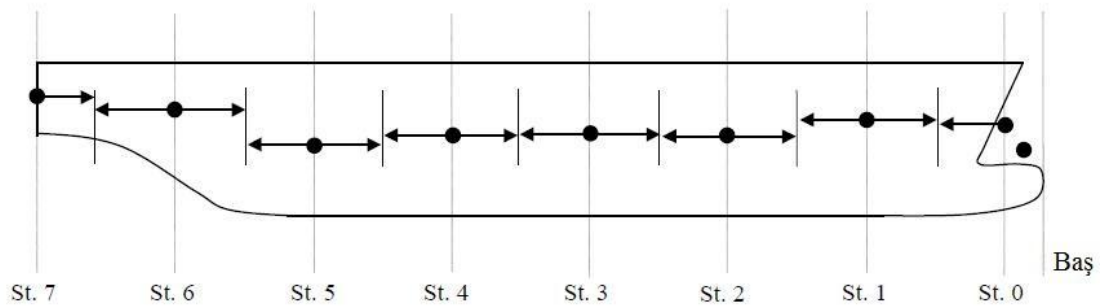
- b. Yalpa tankları

Yukarıda sayılan takıntıların geometrilerine ve gemiye olan mesafelerine ilişkin bilgiler istenmektedir. Ayrıca, yalpa sönümleyici sistemlerinde (stabilizörler) detaylı teknik bilgilere de ihtiyaç duyulmaktadır.

1.3.4 Gemiye ait kütle dağılımı

Önceden belirtildiği gibi, ShipmoPC'nin deniz yüklerini hesaplayabilmesi için kütle dağılımının belirtilmesi gereklidir. Daha önceden karar verilen posta sayısına göre, her postaya karşılık gelen kütle değerleri ve o postadaki KG_i ile k_{xxi} değerlerinin girilmesi istenmektedir. Ancak KG_i ile k_{xxi} bilinmediği takdirde program, geminin genel KG ve k_{xx} değerlerini tüm postalarda aynı kabul etmektedir.

Postalara denk gelen kütleler girilirken ilgili postadan önceki yarım postadan, sonraki yarım posta aralığına gelen kütle değerleri yazılmalıdır. Örneğin 4.5. postadan 5.5. postaya kadar olan kütleler 5. postanın karşılığı olarak yazılmalıdır. 0. postada ise 0. posta ile 0.5. posta arasındaki değerler belirtilmelidir. Aynı durum son posta için de geçerlidir. Şekil 1.1'de 7 postaya bölünmüş olan bir gemi için bu durum gösterilmiştir (BMT, 2001).



Şekil 1.1 : Kütle dağılımının şekilsel gösterimi (BMT, 2001).

1.3.5 Geminin çalışacağı koşulların belirlenmesi

Geminin çalışacağı deniz koşullarının belirlenmesi üç temel bilgiyle sağlanabilir:

1. Düzenli ya da karışık dalga seçimi ve buna bağlı olarak deniz spektrumlarının belirlenmesi,
2. Karışık dalgalar seçilmişse, kısa ya da uzun dalga tepeli deniz durumlarının ve yayılma açısının belirlenmesi,
3. Dalga yönlerine karar verilmesi.

Dalga yönlerinde 0° kıçtan gelen dalgaları ve 180° baştan gelen dalgaları göstermektedir. Programa en fazla 36 adet dalga yönü girilebilmektedir.

Bunların yanında geminin çalışacağı hızların belirtilmesi gereklidir, bu amaçla en fazla 10 farklı hız durumuyla hesap yapılabilmektedir.

1.3.6 Geminin hidrodinamik olarak modellenmesi

Geminin hidrodinamik modellemesinin yapılabilmesi için aşağıda verilmiş olan 5 maddede seçimler yapmak gerekir:

- i. Hesaplama yöntemi
- ii. Hız düzeltmesi
- iii. Kabarma düzeltmesi (swell-up correction)
- iv. Uç etkisi
- v. Düşük karşılaşma frekansı

1.3.6.1 Hesaplama yöntemi

Bu seçenekte kesitlere ait hidrodinamik özelliklerin hesaplanacağı yöntemin belirlenmesi istenmektedir. Bu amaçla iki boyutlu sınır elemanları (Sclavounos ve Lee, 1985) ya da Lewis form (Lewis, 1929) yöntemlerinden biri seçilebilir. İleride anlatılacağı gibi, programda uygulanan sınır elemanları yöntemi, düzensiz frekansları bertaraf ederek hidrodinamik katsayıları hesaplamada daha güvenilir bir yöntemdir. Bu yüzden program tarafından bu yöntemin kullanılması tavsiye edilmektedir (McTaggart, 1997b).

1.3.6.2 Hız düzeltmesi

Hız düzeltmesi seçeneğiyle ilgili olarak üç seçim mevcuttur:

- a. Düzeltme yok
- b. Baş hız düzeltmesi
- c. Tüm gemi düzeltmesi

ShipmoPC, ileri hızlarda dinamik su hattı düzeltmesi geliştirmiştir. Bu düzeltme, güverte ıslanması, dövünme ve omurganın sudan çıkması hesaplarında kullanılır. Hidrodinamik katsayıların hesabına herhangi bir etkisi yoktur. Hız düzeltmesi, kesit

alanlarının aşamalı olarak değiştiğini farz eden bir yöntemle dayanmaktadır. Ayna kışlı gemilerde ya bu düzeltme uygulanmamalı ya da sadece baş hız düzeltmesi seçilmelidir (McTaggart, 1997b).

1.3.6.3 Kabarma düzeltmesi

Kabarma düzeltmesine ilişkin üç seçenek mevcuttur:

- a. Düzeltme yok
- b. Baş kabarma düzeltmesi
- c. Tüm gemiye ait kabarma düzeltmesi

Geminin dalgalara göre bağıl düşey ve rotasyonel hareketleri, özellikle baş tarafta olmak üzere geminin lokal su çekimini ve sonuç olarak baş dalgaların şeklini etkileyecektir. Kabarma düzeltmesi (swell-up correction) bu etkiyi modellemektedir. Bu düzeltme güverte ıslanması, dövünme, omurganın sudan çıkma olayı ve ek direnç hesaplarını iyileştirecektir. Kabarma düzeltmesinin hidrodinamik katsayıların hesabına ilişkin olarak herhangi bir etkisi yoktur. Ayna kışlı gemilerde *düzeltilme yok* ya da *baş kabarma düzeltmesi* seçeneklerinin işaretlenmesi tavsiye edilmektedir (McTaggart, 1997b).

1.3.6.4 Uç etkisi

Uç etkisiyle ilgili olarak 5 seçenek mevcuttur:

- a. Dahil edilmesin
- b. Yan öteleme ve savrulma için
- c. Yan öteleme, yalpa ve savrulma için
- d. Dalıp-çıkma ve baş-kıç vurma için
- e. Hepsi için

Uç etkisine ilişkin yapılan düzeltme, en sondaki postanın hidrodinamik katsayılarla olan etkisiyle ilgilidir. Klasik dilim teorisi, baş ve son postaların çok küçük kesit alanına sahip olduğunu kabul ettiği için bu düzeltmeleri içermez. Ancak bu kabul ayna kışlı gemiler için geçerli değildir. Bu durumlarda uç etkisi düzeltmesi gemi hareketlerinin tahmininin etkileyecektir. Hangi hareketlerin bu düzeltmeden etkileneceği ise kullanıcının seçimine bırakılmıştır (BMT, 2001).

1.3.6.5 Düşük karşılaşma frekansı düzeltmesi

Burada da kullanıcıların seçimine sunulmuş iki durum söz konusudur:

a. Düzeltme yok

b. Dalıp-çıkma düzeltmesi

Düşük karşılaşma frekanslarında dalıp-çıkma ait hidrodinamik katsayıların hesabı güvenilir olmamaktadır. Bu düzeltmenin uygulanmasıyla hidrodinamik katsayılar, düşük karşılaşma frekanslarına geldiğinde bir yaklaşımla hesaplanmaktadır (BMT, 2001).

Dalıp-çıkma katsayılarının, aşağıda belirtilen sınır frekans değerinin altında güvenilir sonuçlar vermediği belirtilmektedir (McTaggart, 1996).

$$\omega_o^{(3)} = 0.2\sqrt{g / y_{\max}} \quad (1.1)$$

Denklem (1.1)'de verilen g , yerçekimi ivmesidir $y_{\max}$ ise verilen kesitin maksimum yarı genişliğidir.

Verilen bu sınır frekansının $(\omega_o^{(3)})$ altındaki frekans değerlerinde, dalıp-çıkma katsayılarının hesabı şu yaklaşımla elde edilmektedir (McTaggart, 1996).

$$\phi^{(3)}(\omega) = \frac{\omega}{\omega_o^{(3)}} i \operatorname{Im} ag \{ \phi^{(3)}(\omega_o^{(3)}) \} \quad (1.2)$$

$$a_{33} = a_{33}(\omega_o^{(3)}) \quad (1.3)$$

$$b_{33} = 0 \quad (1.4)$$

Denklemlerde verilen a_{33} ve b_{33} sırasıyla dalıp-çıkmadaki ek su kütle ve sönüm katsayılarıdır. $\phi^{(3)}$ ise dalıp-çıkmadaki kompleks hız potansiyelidir.

Programda 0.1 rad/sn – 20 rad/sn aralığında olmak üzere en fazla 60 adet dalga frekansı seçilebilmektedir. Herhangi bir seçim yapılmadığında ise program, 0.2-2.0 rad/sn aralığında ve 0.1 rad/sn artışla çeşitli dalga frekanslarında hesap yapmaktadır (BMT, 2001).

2. DÜZGÜN DALGALAR

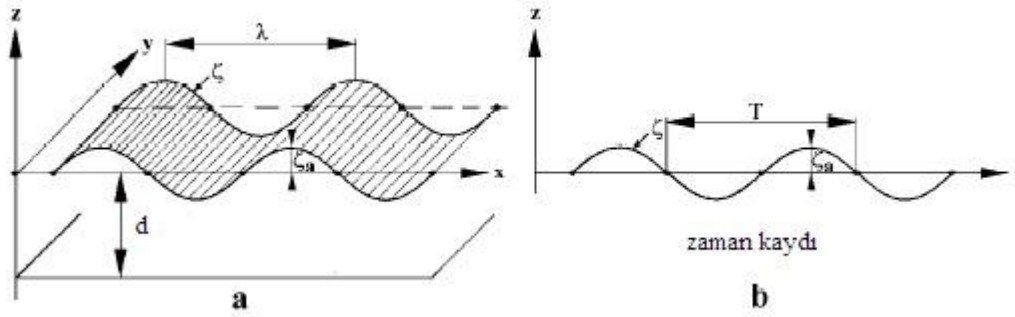
Gemilerin hareketlerini etkileyen dalgalar genellikle karışık dalgalardır. Deniz ya da okyanus koşullarında iki dalga tam olarak aynı yüksekliğe sahip olmaz ve genellikle bu dalgalar farklı hızlarda ve farklı yönlerde hareket ederler. Ancak karışık dalgaların yapısını anlayabilmek için önce ideal düzgün dalgaların yapısını anlamak gerekir.

2.1 Giriş

Düzgün dalgalar yalnızca laboratuvar ortamlarında yapay olarak elde edilebilir ve birçok denizcilik model deneylerinin temelini oluşturur. Düzenli dalgalar, denizde var olmasalar da dalgalı denizlerde gemi hareketlerinin analizinde büyük önem taşırlar; çünkü karışık dalgalar birçok farklı düzenli dalganın girişimi ile elde edilir. Bu yüzden düzenli dalgaların karakteristiğinin anlaşılması denizcilik çalışmalarında hayati öneme sahiptir.

Bu bölümde, düzgün dalgalarla ilgili temel bilgi ve teorilere yer verilmiş ve deniz derinliğine bağlı olarak dalgaların sınıflandırılması yapılmıştır. Ayrıca dalga periyodu, frekansı ile dalga boyu arasındaki denklemler gösterilmiştir. Daha sonra dalgaların geliş açısından bahsedilerek, dalga yönlerine göre gemiye gelen dalgalar isimlendirilmiştir. Son olarak da karşılaşma frekansının tanımı yapılmıştır.

En basit yerçekimi dalga teorisi ilk kez 1845 yılında Airy tarafından ortaya atılmıştır. *Lineer dalga teorisi* olarak adlandırılan bu teorinin uygulaması kolaydır. Bu teori, dalga profilini bir sinüs veya kosinüs eğrisiyle temsil ettiğinden dolayı bu tip dalgalar *sinüzoidal dalgalar* olarak da adlandırılmaktadır. Şekil 2.1’de x –ekseni yönünde c hızıyla ilerleyen sinüzoidal bir dalgaya ait profil resmi verilmiştir (Journee ve Pinkster, 2002).



Şekil 2.1 : Düzgün dalganın tanımı (Journée ve Pinkster, 2002).

2.2 Düzgün Dalgayı Tanımlayan Parametreler

İki boyutlu düzgün bir dalgayı tanımlayan parametreler aşağıda verilmiştir:

ζ : herhangi bir anda ve konumda sakin su yüzeyinin dalga hareketleriyle birlikte yer değiştirmesi

ζ_a : dalga genliği, sakin su yüzeyinden dalga tepesine veya çukuruna ölçülen düşey uzaklık

H : dalga yüksekliği, dalga tepesiyle dalga çukuru arasındaki düşey uzaklık

λ : dalga boyu, ardışık dalga tepeleri veya çukurları arasındaki yatay uzaklık

k : dalga sayısı, $k = 2\pi / \lambda$

T : dalga periyodu, ardışık iki dalga tepesinin ard arda aynı bir noktadan geçme zamanı

ω : dairesel dalga frekansı, $\omega = 2\pi / T$

c : dalga hızı, dalga profilinin ilerleme hızı

α_M : maksimum dalga meyli, $\alpha_M = 2\pi\zeta_a / \lambda = \pi H / \lambda$

Ayrıca, dalga yüksekliğinin dalga boyuna oranı *dalga dikliği* olarak tanımlanmaktadır (H / λ). Eğer dalga pozitif x-ekseni doğrultusunda ilerliyorsa, sakin su yüzeyinin dalga hareketiyle birlikte yer değiştirmesi x ve t 'nin (konum ve zamanın) bir fonksiyonu olarak şu şekilde ifade edilir:

$$\zeta = \zeta_a \cos(kx - \omega t) \quad (2.1)$$

2.3 Potansiyel Teori

Derinliği d olan bir denizde sakin su yüzeyi dalgalarla deforme edilmiş olsun. Seçilmiş olan kartezyen koordinat sisteminde (o,x,y) düzlemi durgun su yüzeyini temsil etsin. Su yüzeyindeki dalga hareketinin konumu $z = \zeta(x,y,t)$ olarak verilsin. Burada, sıvının ideal bir akışkan yani viskozitesiz ve sıkıştırılamaz olduğu kabul edilecektir.

Lineer dalga teorisi, potansiyel teoriye ait bir sınır değer problemi olup aşağıda belirtilen sınır koşullarını sağlaması gerekir (Lewis, E. V., 1989):

1. Dinamik su yüzeyi sınır koşulu
2. Kinematik su yüzeyi sınır koşulu
3. Yatay taban sınır koşulu
4. Radyasyon şartı

Dalgalara ait lineer potansiyel teoremin kullanılması için dalga dikliğinin çok küçük olması gereklidir ($H / \lambda \ll 1$). Böylece denklemlerdeki dalga dikliğinin karesine ilişkin terimler ihmal edilebilir.

Yukarıda belirtilen sınır koşulları sağlandığında aşağıda denklem (2.2)'de verilen dalgalara ait hız potansiyeli ifadesi elde edilmiş olur:

$$\Phi = -\frac{g\zeta_a}{\omega} \frac{\cosh[k(d+z)]}{\cosh(kd)} \cdot \sin(kx - \omega t) \quad (2.2)$$

Dalgalar, kendi dalga boylarına ve suyun derinliğine (d) bağlı olarak belirli bir hızda yayılırlar. Herhangi bir derinlikte ω ile k arasındaki bağıntı şu şekilde verilebilir:

$$\omega^2 = k \cdot g \cdot \tanh kd \quad (2.3)$$

Derin sularda, $d \rightarrow \infty$, bu ifade şu hali alır:

$$\Phi = -\frac{g\zeta_a}{\omega} e^{kz} \sin(kx - \omega t) \text{ ve } \omega^2 = k \cdot g \quad (2.4)$$

2.4 Su Dalgalarının Derinliğe Göre Sınıflandırılması

Deniz derinliğinin azalmasına bağlı olarak dalganın yapısı ve su zerreciklerinin yörüngelerinin denklemi değişir. Dolayısıyla d / λ oranına göre dalgaların

sınıflandırılması ve buna göre ifade edilmesi gereklidir. Çizelge 2.1’de d / λ oranına göre dalgaların sınıflandırılması yapılmıştır.

Çizelge 2.1 : Su dalgalarının d / λ oranına göre sınıflandırılması.

Hal	d / λ	Dalga cinsi
1	$0 < d / \lambda < 1/20$	Çok sığ su dalgası
2	$1/20 < d / \lambda < 1/2$	Sığ su dalgası
3	$1/2 < d / \lambda < \infty$	Derin su dalgası

2.5 Dalga Boyu, Hız, Periyod ve Dairesel Frekans Arasındaki Bağlılıklar

Dalga boyu, hız, periyod ve frekans bağıntıları d / λ oranına göre belirlenen dalga cinslerine bağlı olarak değişim göstermektedir. Bu değişikliklerin temel sebebi sonlu derinlikteki sulara uygulanma amacıyla türetilmiş dalga karakteristiklerine ait denklemlerde, sığlaşma ya da derinleşmeye bağlı olarak, hiperbolik fonksiyonların almış olduğu limit değerlerin farklılaşmasıdır. Çizelge 2.2’de çok sığ su ve derin su hali için hiperbolik fonksiyonların almış olduğu limit değerler gösterilmiştir.

Çizelge 2.2 : Hiperbolik fonksiyonların çok sığ su ve derin su halinde aldıkları limit değerler (Sabuncu, 1983).

Fonksiyon	Çok sığ su için limit değerler	Derin su için limit değerler
$\sinh(kd)$	kd	$\frac{e^{kd}}{2}$
$\cosh(kd)$	1	$\frac{e^{kd}}{2}$
$\tanh(kd)$	kd	1

2.5.1 Sığ su hali

Çizelge 2.1’de verildiği gibi $1/20 < d / \lambda < 1/2$ aralığındaki dalgalar sığ su dalgaları olarak adlandırılır. Sığ su dalgalarında hiperbolik fonksiyonlar, herhangi bir limit değeri söz konusu olmadığından, denklemlerde aynen kullanılır.

Dalga ilerleme hızı:

$$c = \sqrt{\frac{g\lambda}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi d}{\lambda}\right)} \quad (2.5)$$

ve dalga boyu:

$$\lambda = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi d}{\lambda}\right) \quad (2.6)$$

denklemleri ile ifade edilir. $T = 2\pi / \omega$ bağlantısından yararlanarak denklem (2.6)'dan:

$$\frac{\omega^2}{g} = \frac{2\pi}{\lambda} \tanh\left(\frac{2\pi d}{\lambda}\right) \quad (2.7)$$

frekans, dalga boyu ve derinlik arasındaki bağıntı elde edilmiş olur.

2.5.2 Derin su hali

Çizelge 2.1'de verildiği gibi $1/2 < d / \lambda$ olan dalgalar derin su dalgaları olarak ifade edilir. Çizelge 2.2'de verilen derin su dalgaları için hiperbolik fonksiyonların limit değerleri kullanılarak dalga hızı, dalga boyu ve dalga periyoduna ait denklemler elde edilebilir. Denklemlerde görülen 0 alt indisi derin su dalgasını temsil etmektedir.

Dalga profil hızı:

$$c_0 = \sqrt{\frac{g\lambda_0}{2\pi}} \quad (2.8)$$

Dalga boyu:

$$\lambda_0 = \frac{2\pi c_0^2}{g} \quad (2.9)$$

ve denklem (2.6)'dan

$$\lambda_0 = \frac{gT^2}{2\pi} \quad (2.10)$$

olarak elde edilir veya:

$$T = \sqrt{\frac{2\pi\lambda_0}{g}} \quad (2.11)$$

eşitliğinden dalga periyodu bulunur.

2.5.3 Çok sığ su hali

Çizelge 2.1’de gösterildiği gibi $0 < d / \lambda < 1/20$ aralığında kalan dalgalar çok sığ su dalgaları olarak adlandırılır. Çizelge 2.2’de verilmiş olan çok sığ su dalgaları için hiperbolik fonksiyonların limit değerleri kullanılarak bu tip dalgalara ait karakteristikler elde edilebilir.

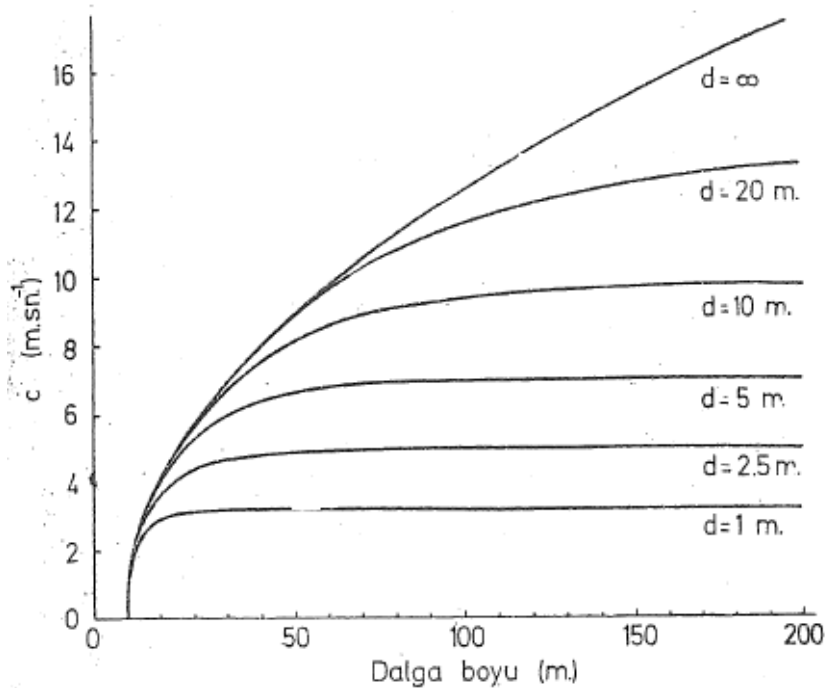
Çok sığ su dalgalarında dalga ilerleme hızı:

$$c = \sqrt{gd} \quad (2.12)$$

eşitliği ile verilir. Denklem (2.12)’de görüldüğü gibi çok sığ suda dalga profil hızı dalga boyuna bağlı değildir. Bu tür dalgalarda dalga boyu ise

$$\lambda = \sqrt{gT^2 \cdot d} \quad (2.13)$$

denklemiyle elde edilir. Su sığlaştıkça c dalga hızı ve λ dalga boyu küçülür. Buna karşılık, T dalga periyodu sığlaşmadan etkilenmez. Şekil 2.2’de çeşitli derinliklere bağlı olarak dalga boyunun ve dalga ilerleme hızının değişimini gösteren grafikler verilmiştir. Buna göre sabit bir dalga boyunda, derinlik arttıkça dalga hızı artmaktadır (Sabuncu, 1983).



Şekil 2.2 : Çeşitli d derinliklerine göre λ dalga boyunun bağılı olarak c hızının değişimi (Sabuncu, 1983).

2.6 Su Zerrelerinin İlerleyen Dalga Hareketindeki Yörüngeleri

Pozitif x-ekseni yönünde ilerleyen bir dalganın hız potansiyeli denklem (2.2)'de verilmişti. Hız potansiyelinden herhangi bir (x, z) noktasında bulunan su zerrelerine ait hızlar türetilir. Bu hızlar:

$$u = -\frac{\partial \Phi}{\partial x} = \frac{g\zeta_a k}{\omega} \cdot \frac{\cosh[k(z+d)]}{\cosh(kd)} \cdot \cos(kx - \omega t) \quad (2.14)$$

$$w = -\frac{\partial \Phi}{\partial z} = \frac{g\zeta_a k}{\omega} \cdot \frac{\sinh[k(z+d)]}{\cosh(kd)} \cdot \sin(kx - \omega t) \quad (2.15)$$

olarak elde edilir. Su zerrelerine ait yörünge denklemleri $\frac{dx}{dt} = u$ ve

$\frac{dz}{dt} = w$ diferansiyel denklemleriyle bulunur. Lineer dalga teorisi şartlarında herhangi

bir (x_0, z_0) noktasında yörüngeyi belirleyen diferansiyel denklemlerinden:

$$x = \int_0^t u(x_0, z_0, t) dt \quad \text{ve} \quad z = \int_0^t w(x_0, z_0, t) dt \quad \text{yazılabilir. Denklemlerde verilen } u \text{ ve } w$$

değerleri yerine konulur ve zamana göre integre edilirse:

$$\begin{aligned} x &= x_0 - \frac{g\zeta_a k}{\omega^2} \cdot \frac{\cosh[k(z_0 + d)]}{\cosh(kd)} \cdot \sin(kx_0 - \omega t) \\ z &= z_0 + \frac{g\zeta_a k}{\omega^2} \cdot \frac{\sinh[k(z_0 + d)]}{\cosh(kd)} \cdot \cos(kx_0 - \omega t) \end{aligned} \quad (2.16)$$

eşitlikleri yazılabilir. $\omega^2 = gk \tanh(kd)$ bağıntısı yukarıdaki denklemlerde kullanılırsa:

$$\begin{aligned} x - x_0 &= \zeta_a \cdot \frac{\cosh[k(z_0 + d)]}{\sinh(kd)} \cdot \sin(kx_0 - \omega t) \\ z - z_0 &= \zeta_a \cdot \frac{\sinh[k(z_0 + d)]}{\sinh(kd)} \cdot \cos(kx_0 - \omega t) \end{aligned} \quad (2.17)$$

elde edilir. Yukarıdaki denklemlerin kareleri alınıp taraf tarafa toplanırsa:

$$\frac{(x - x_0)^2}{A^2} + \frac{(z - z_0)^2}{B^2} = 1 \quad (2.18)$$

bağıntısı oluşturulur. Denklem (2.18)'de verilen eşitlikle (x_0, z_0) noktasında durgun haldeki su zerrelere dalga hareketiyle birlikte elips şeklinde bir yörünge üzerinde dönmekte olduğu anlaşılr (Sabuncu, 1983).

Burada A elipsin yarı büyük eksenini olup:

$$A = \zeta_a \frac{\cosh[k(z+d)]}{\sinh(kd)} \quad (2.19)$$

ve B de elipsin yarı küçük eksenini olup:

$$B = \zeta_a \frac{\sinh[k(z+d)]}{\sinh(kd)} \quad (2.20)$$

dir. Bu eksenlerin kesim noktası (x_0, z_0) , durgun haldeki zerrenin konumunu gösterir. Elips için

$$A^2 - B^2 = C^2 = \frac{\zeta_a^2}{\sinh^2(kd)} \quad (2.21)$$

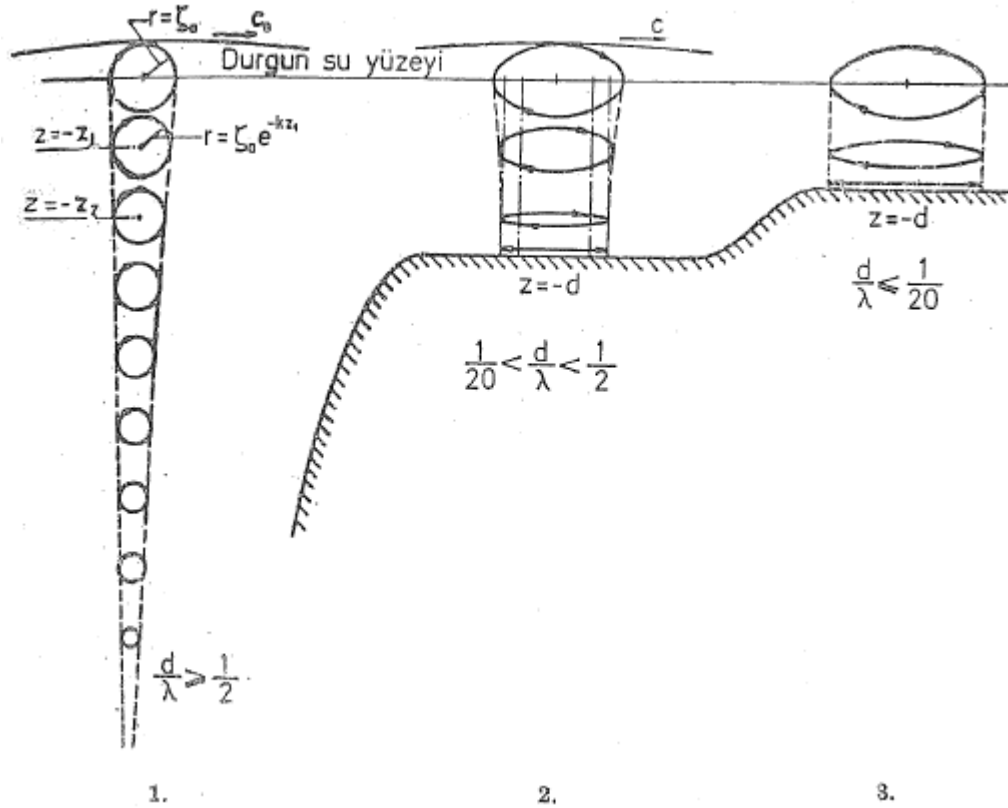
dir. Bu denklem, durgun halde aynı düşey doğrultu altında bulunan bütün zerrelere dalga hareketiyle birlikte çizdikleri elipslerde odak noktaları arasındaki uzaklığın sabit olduğunu gösterir.

Su zerrelere yörünge denklemlerinde verilen A ve B katsayılarının derinliğin bağılları olarak değışimleri Çizelge 2.3'de verilmiştir.

Çizelge 2.3 : A ve B katsayılarının derinliğe bağılı olarak değışimleri.

Derinlik sınıflandırılması	A katsayısı	B katsayısı
Derin su hali	$e^{kz} \cdot \zeta_a$	$e^{kz} \cdot \zeta_a$
Sığ su hali	$\zeta_a \frac{\cosh[k(z+d)]}{\sinh(kd)}$	$\zeta_a \frac{\sinh[k(z+d)]}{\sinh(kd)}$
Çok sığ su hali	$\frac{\zeta_a}{kd}$	$\zeta_a \left(\frac{z}{d} + 1 \right)$

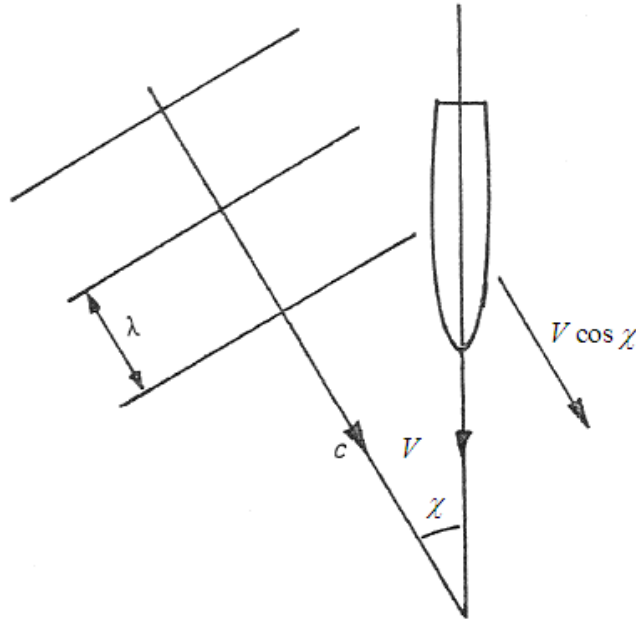
Şekil 2.3'te su zerrelerinin yörüngeleri üzerindeki derinlik etkisi gösterilmiştir.



Şekil 2.3 : Su zerrelerinin yörüngeleri üzerindeki derinlik etkisi.
1. Derin su, 2. Sığ su, 3. Çok sığ su (Sabuncu, 1983).

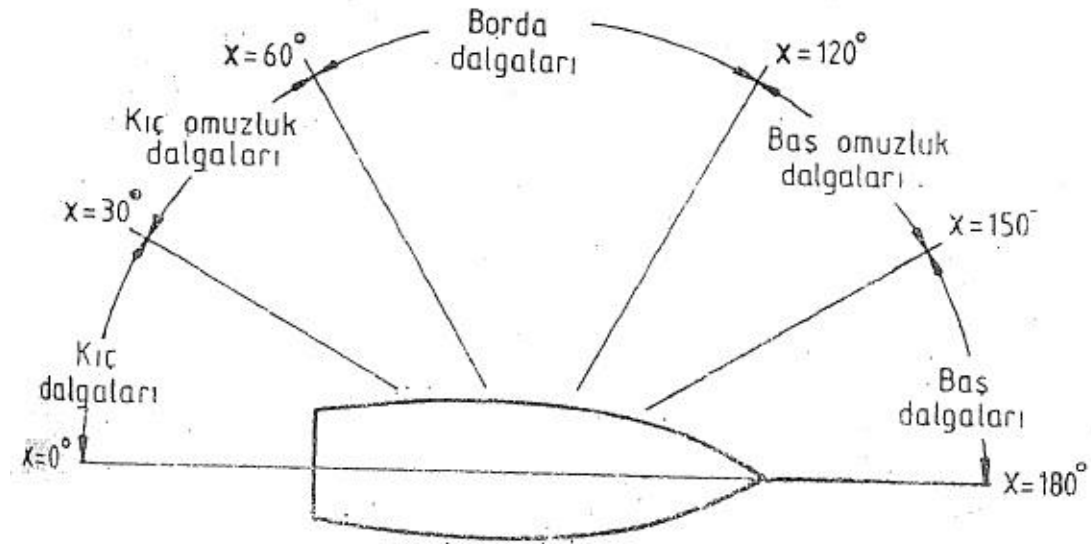
2.7 Dalgaların Geliş Açısı ve Karşılaşma Frekansı

Gemi, deniz yüzeyinde sabit bir V hızında doğrusal bir rotada seyrini sürdürmek ister. Ancak dalgalar geminin bu istenilen rotasından sapmasına neden olur; bu yüzden yönsel olarak stabil bir gemi genellikle ortalama bir doğrusal rota izleyecektir. Buradan yola çıkarak, dalgaların geliş açısı χ geminin istenilen rotası ile dalgaların genel ilerleme yönü arasında kalan açı olarak tanımlanır. Şekil 2.4'de dalgalarla karşılaşma açısı gösterilmiştir.



Şekil 2.4 : Dalgalarla karşılaşma açısının tanımı (Lloyd, 1989).

Gemi, izlediği rotaya ve dalgaların genel ilerleme yönlerine göre dalgaları çeşitli yerlerden alır. Dalgalar gemiye geliş yönlerine göre adlandırılır. Bunlar Şekil 2.5’de gösterilmiştir.

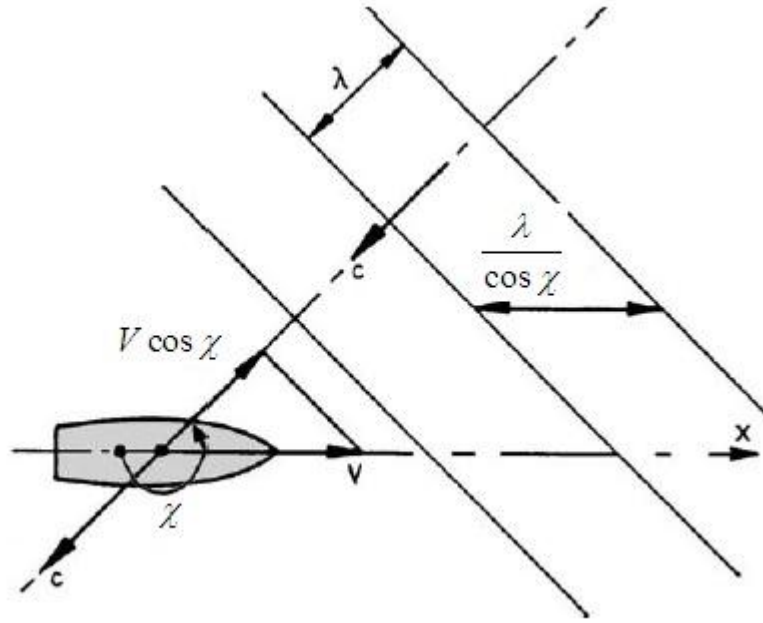


Şekil 2.5 : Dalgaların gemiye geliş yönlerine göre sınıflandırılması (Sabuncu, 1983).

2.7.1 Karşılaşma frekansının bulunması

Dalganın dairesel frekansı ω , en önemli düzgün dalga parametrelerinden birisidir. Bu dalga frekansının gemi hareketleri üzerine etkisi olmasına karşın, gemi hareketleri asıl önemli bir şekilde düzenli dalgalarla karşılaşma frekansına bağlıdır.

Düzgün dalgalara karşı V hızıyla ilerlemekte olan bir geminin dalgalarla T_e karşılaşma periyodu ile zorlandığını düşünelim. Bu periyod, geminin ileri hareketi nedeniyle, T dalga periyoduyla aynı değildir.



Şekil 2.6 : Karşılaşma frekansı (Journée ve Pinkster, 2002).

Şekil 2.6'dan görüldüğü gibi, gemi dalga ilerleme yönü ile χ açısı yapacak şekilde V hızıyla doğrusal rotası üzerinde ilerlemektedir. Ardışık dalga tepelerinin gemiye yetişmesi için gereken zaman T_e olduğuna göre, bu süre içinde dalganın kendi ilerleme doğrultusunda $T_e \cdot c$ yolu alacaktır. Buna karşılık olarak gemi, dalga ilerleme doğrultusu üzerinde λ dalga boyu kadar daha ileride olarak $V \cdot \cos \chi \cdot T_e$ uzaklığında olacaktır. Bu ikisini birbirine eşitlersek;

$T_e \cdot c = \lambda + V \cdot \cos \chi \cdot T_e$ veya $T_e = \lambda / (c - V \cdot \cos \chi)$ olarak karşılaşma periyodu elde edilir. $\lambda = T \cdot c$ olduğundan buradan

$$T_e = \frac{T.c}{c - V \cdot \cos \chi} = \frac{T}{1 - \frac{V}{c} \cdot \cos \chi} \quad (2.22)$$

yazılabilir.

Karşılaşma frekansı $\omega_e = \frac{2\pi}{T_e}$ olarak tanımlanırsa;

$\omega_e = \omega(1 - \frac{V}{c} \cos \chi)$ bulunur. Ayrıca, $c = \frac{g}{\omega}$ olduğundan bu yerine konulduğunda;

$$\omega_e = \omega - \frac{\omega^2}{g} V \cos \chi \quad (2.23)$$

denklemini ile gemi hızı, dalganın dairesel frekansı ve karşılaşma frekansı arasındaki bağıntı ortaya çıkmış olur. Eğer $\chi = 0^\circ$ ise, gemi dalgaları kıçtan alır ve bu halde

karşılaşma frekansı $\omega_e = \omega - \frac{\omega^2}{g} V$ 'dir. Eğer $\chi = 180^\circ$ ise, gemi dalgaları baştan alır

ve bu durumda $\omega_e = \omega + \frac{\omega^2}{g} V$ olur.

3. KARIŞIK DALGALAR

Düzenli dalgaların özelliklerini bilmek gemi hareketlerinin anlaşılması için çok önemli bir olgudur. Dalgaların matematiksel olarak modellenmesi dalgalar arasındaki gemi hareketlerinin analizi konusunda önemli katkılar sağlamıştır. Ancak ne var ki, deniz ve okyanuslarda düzenli dalgalar yoktur. Karışık dalgalı denizler, belirli birer kanunları bulunmamasına karşılık istatistik olarak bir düzen içerisindedirler. Karışık dalgalı denizler, çeşitli dalga boyları ve periyotlarına sahip birçok düzgün dalgadan oluşmuşlardır.

3.1 Giriş

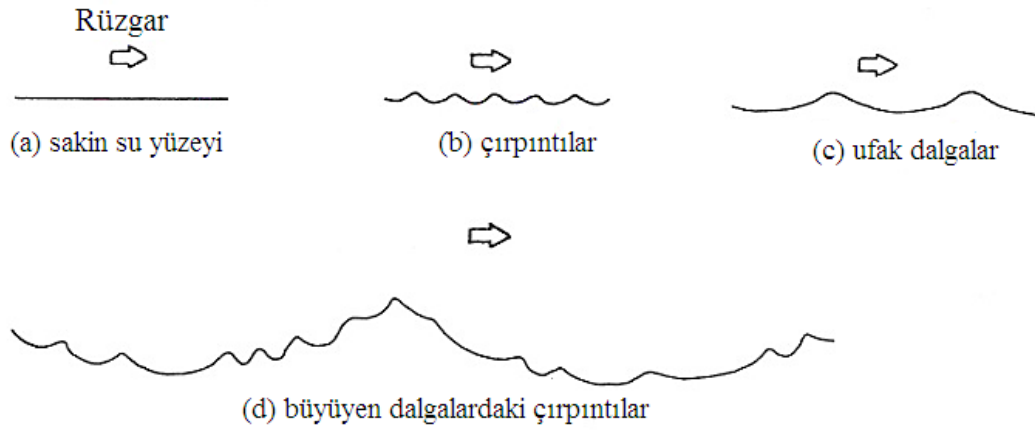
Bu bölümde, karışık dalgaların oluşumu hakkında bilgi verilmiş ve bu dalgalar görünümlerine göre isimlendirilmiştir. Karışık dalgalara ait istatistiki bilgilere yer verilmiş ve çeşitli tanımlar yapılmıştır. Öncelikle, spektral moment kavramları detaylı olarak açıklanmıştır. Daha sonra, dalga enerji spektrumunun tanımı yapılmış ve ShipmoPC’de kullanılan matematiksel spektrum modelleri hakkında ayrıntılı bilgiler verilmiştir (BMT, 2001). Son olarak, dalgaların yayılması konusu açıklanmış ve “uzun dalga tepeli deniz” ile “kısa dalga tepeli deniz” koşulları tarif edilmiştir. Ardından, bunlar arasındaki farklar belirtilmiştir.

3.2 Dalgaların Oluşumu

Deniz dalgaları genel olarak iki kategoriye ayrılabilir: kapillar ve yer çekimi dalgaları. Kapillar dalgaları, rüzgârın esmesiyle ilk anda oluşan ve rüzgârla aynı yönde giden ufak dalga boy ve yüksekliklerine sahip çırpıntılardır. Yerçekimi dalgaları ise, su yüzeyinin herhangi bir dış etkiyle bozulmasından oluşur; örneğin rüzgâr, su yüzeyinde ilerleyen cisimler, denizin altında meydana gelen depremler ve ay ve güneşin çekim kuvvetleri bu tür dalgaların oluşmasına neden olan etkenlerdir. Yerçekimi dalgaları görünüş olarak üç farklı kategoriye ayrılabilirler (Sabuncu, 1983):

1. Rüzgâr dalgaları
2. Kabarık veya ölü deniz dalgaları
3. Çatlak sığ su dalgaları

Rüzgârın esmesiyle ilk anda oluştuğu belirtilen çarpıntılar, rüzgâr yeterince esmeye devam ederse boy ve yükseklik olarak gelişir ve tam anlamıyla bir dalga haline gelirler. Aynı zamanda rüzgâr, gelişen bu dalgaların yüzeyinde yeni çarpıntılar oluşturmaya devam eder ve sonuçta bu çarpıntılar dalgaların bir parçası haline gelir. Bu süreç herhangi yer ve zamanda devamlı olarak meydana gelir ve çeşitli dalga boy ve yüksekliklerinin superpozisyonu ile karışık dalgalar oluşur. Şekil 3.1’de çarpıntılar ve oluşturdukları dalgalar gösterilmiştir (Lloyd, 1989).



Şekil 3.1 : Dalgaların oluşumu (Lloyd, 1989).

Her bir dalga bileşeninin ideal koşullar altında aynı şekilde davranış gösterdiği ve diğer uzunluktaki dalgalardan etkilenmediği farz edilir. Hızlı ilerleyen uzun dalgalar, yavaş ilerleyen kısa dalgaları yetişip geçerler ve deniz yüzeyinin şekli sürekli olarak dalga hareketlerinden dolayı değişir.

Şüphesiz ki dalgalar enerjilerini rüzgârdan alırlar. Bu enerji, iki temel mekanizma tarafından harcanır: dalga kırılması ve viskozite. Rüzgâr sabit bir hızda yeterli zaman ve rüzgâr etki alanı uzunluğunda (*fetch*) esmeyi sürdürürse, dalgaların kazandığı enerji oranı sonuçta harcanan enerji oranına eşitlenecektir. Böylece *tam oluşmuş deniz* meydana gelecektir. Tam oluşmuş deniz, dalga tepelerinin sivrileşerek çatlamasından meydana gelen köpük ve uçuşan su zerreciklerinden oluşmuş bir görünüme sahip bir deniz durumunu anlatır. Tam oluşmuş denizler için rüzgârın belirli bir hızda, belirli bir sürede ve rüzgâr etki alanı uzunluğunda esmesi gerekir.

Bu tip dalga sistemleri seyrek olarak meydana gelir; çünkü belirtilen sabit koşullar yeterince uzun sağlanamayabilir ya da rüzgâr etki alanı uzunluğu yerel coğrafyalarda sınırlı olarak oluşabilir.

Rüzgârın kesilmesiyle birlikte oluşan dalga sistemi yavaş yavaş yok olacaktır. Dalga kırılması, dalga sisteminin yok olmasını sağlayan kuvvetli bir mekanizmadır. Rüzgârın sona ermesiyle önce boyları, yükseklikleri ve hızları küçük olan dalgalar yok olur. Geriye boyları ve yükseklikleri büyük, hızlı ve enerjisi fazla olan dalgalar kalır. Bu uzun dalgalar *ölü dalgalar* olarak adlandırılır. Ölü dalgalar, kilometrelerce yol aldıktan sonra enerjilerini yitirerek kaybolabilir, böylece bir dalga sisteminin yok olması günler sürebilir.

3.3 Karışık Dalgalara Ait Kayıtların İstatistiksel Analizi

Denizlerdeki dalgaların karmaşık yapıları, farklı yönlere giden dalga birleşenleri vb. etkenler bu konu üzerinde durulmasını zorlaştırmıştır. Yıllarca bu görünür kaos, denizcilik alanında başa çıkılmaz engeller yaratmıştır. Bu engeller gemi hareketlerinin tahmin edilemez bir yapıda olmasına neden olmuştur. Ancak, 1960lı yıllardan sonra deniz yüzeyindeki dalga karakteristiklerini sayısal olarak değerlendirebilen istatistiksel yöntemlerin geliştirilmesi, modern denizcilik metotlarının oluşmasını sağlamıştır.

Deniz yüzeyinde sabit bir noktada alınmış bir kayıt Şekil 3.2’de gösterilmiştir. Kayıtlar karışık dalgalara aittir ve bu dalgalar dört temel ölçüyle temsil edilebilir:

ζ_a : Sakin su yüzeyinden dalga tepesine veya çukuruna kadar ölçülen düşey uzaklık (su yüzeyinin üzerinde ölçülen genlikler negatif, diğerleri pozitifdir) [metre],

H_a : Birbirini izleyen dalga tepesiyle çukuru arasındaki düşey uzaklık (her zaman pozitifdir) [metre],

T_c : Birbirini izleyen iki dalga tepesi arasında geçen zaman, dalga tepeleri arasındaki periyot [saniye],

T_0 : Dalganın sakin su yüzeyini kestiği ve dalga tepeleri yönünde alınmış herhangi birbirini izleyen iki nokta arasındaki ölçülen zaman olup dalga periyodu olarak adlandırılır [saniye].

Dalga bileşenlerine ait yukarıda bahsedilen ölçümler karışık dalgaların tamamını temsil etmezler. Bu zaman kaydının tamamına ait olan ölçümlerin görünen değerlerinin belirlenmesi gerekir (Bhattacharyya, 1978):

$\tilde{\zeta}_a$: Birçok dalga genliği ölçümüne ait görünen dalga genliği,

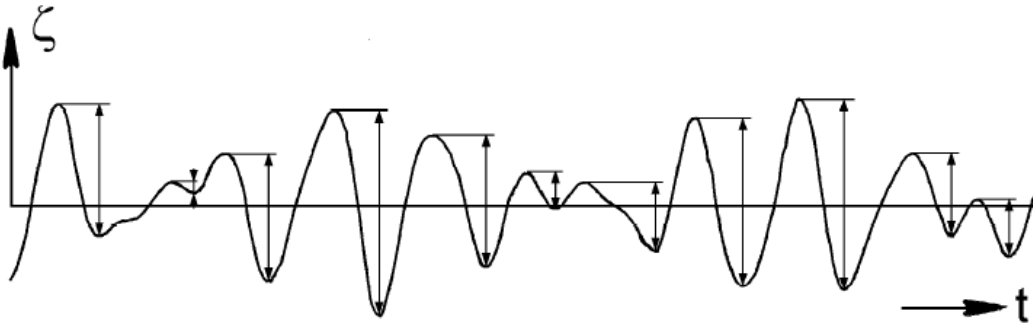
$\tilde{H}$: Görünen dalga yüksekliği,

$\tilde{T}_c$: Görünen dalga tepeleri arasındaki periyot,

$\tilde{T}_0$: Görünen dalga periyodu.

Bunlara ek olarak karakteristik dalga yüksekliği kavramı da karışık dalgaları temsil eden önemli bir niceliktir:

$\bar{H}_{1/3}$: 1/3 yüksek dalgaların ortalama yüksekliği [metre].



Şekil 3.2 : Tipik bir dalga kaydı: dalga tepe ve çukurlarının analizi (Journée ve Pinkster, 2002).

3.4 Fourier Analizi

Toplam T_H saniye alınan karışık dalgalara ait bir kayıt, Fourier serileriyle şu şekilde temsil edilebilir (Lloyd, 1989):

$$\zeta(t) : \bar{\zeta} + \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cos(\omega_n t) + B_n \sin(\omega_n t) \quad (3.1)$$

Burada;

$$\omega_n = \frac{2\pi n}{T_H} [\text{rad} / \text{sn}] \quad (3.2)$$

$\zeta(t)$: Ölçme anındaki ve yerdeki sakin su yüzeyinden olan düşey yer değiştirme [m.]

$\bar{\zeta}$: Ortalama yüzey şekil değıştirmesi [m.]

Katsayılar şu şekilde verilmektedir:

$$A_n = \frac{2}{T_H} \int_0^{T_H} \zeta(t) \cos(\omega_n t) dt \quad (3.3)$$

$$B_n = \frac{2}{T_H} \int_0^{T_H} \zeta(t) \sin(\omega_n t) dt \quad (3.4)$$

Denklem (3.1) şu şekilde tekrar yazılabilir:

$$\zeta(t) = \bar{\zeta} + \sum_{n=1}^{\infty} \zeta_{na} \cos(\omega_n t + \varepsilon_n) \quad (3.5)$$

ve

$$\zeta_{na} = \sqrt{(A_n^2 + B_n^2)} \quad (3.6)$$

Faz açısı:

$$\tan \varepsilon_n = -\frac{B_n}{A_n} \quad (3.7)$$

Denklem (3.5), sonsuz sayıdaki sinüzoidal dalgaların genlik ve frekanslarının toplamından oluşmuş karışık dalgaları temsil eden bir eşitlik olarak değeriendirilebilir.

Sinüzoidal dalgalara ait frekanslar, dalga genlikleri ve faz açıları sırasıyla denklem (3.2), (3.6) ve (3.7)'den elde edilebilirse verilen bir zaman aralığına ait karışık dalgalar denklem (3.5) ile temsil edilebilir; ancak denklemin, bu aralığın dışındaki karışık dalgaları temsil edebileceğı konusunda herhangi bir garanti söz konusu değildir.

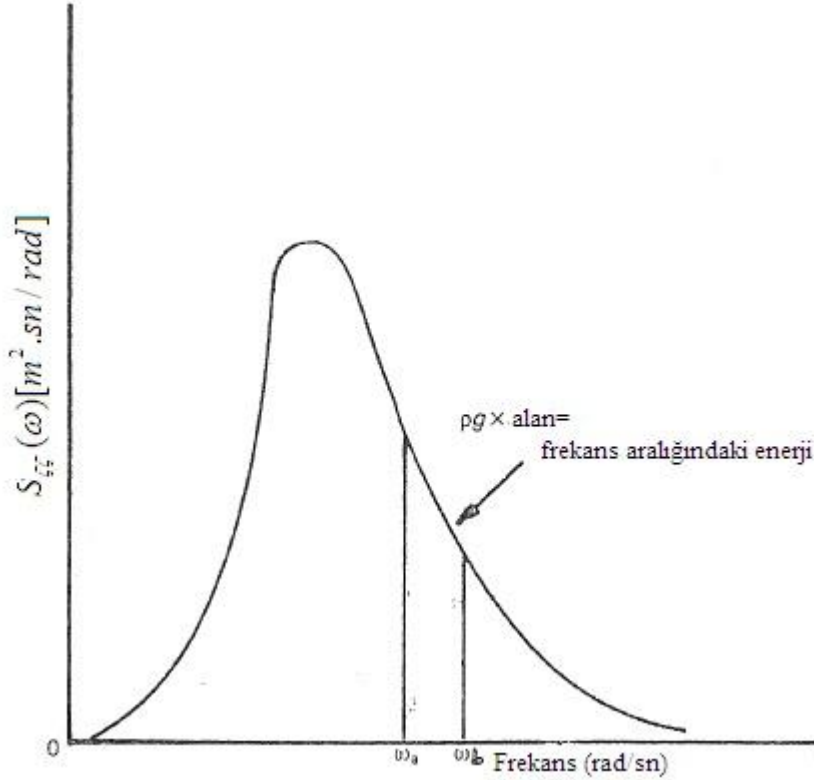
3.5 Dalga Enerji Spektrumu

Karışık dalgaları oluşturan sinüzoidal dalga bileşenlerini *dalga genliğı enerji spektrumu* cinsinden ifade etmek büyük önem taşır. n. dalga bileşenine ait deniz yüzeyinin birim metre karesi başına düşen enerji:

$$\bar{E} = \frac{\rho g \zeta_{an}^2}{2} [joule / m^2] \quad (3.8)$$

olarak verilmektedir. Denklem (3.8)'de gösterilmekte olan eşitlikte ρ : akışkanın yoğunluğunu $[kg / m^3]$ ve g : yer çekimi ivmesini $[m / sn^2]$ ifade etmektedir.

Dalga genliği enerji yoğunluk spektrumu, Şekil 3.3'te örnek olarak gösterildiği gibi ω_a ve ω_b frekans aralığı ile sınırlandırılmış bölgeyi tanımlar ve deniz yüzeyinin bu aralıktaki tüm dalga bileşenlerinin birim metre karesine düşen toplam enerjiyle orantılıdır.



Şekil 3.3 : Dalga enerji spektrumunun tanımı (Lloyd, 1989)

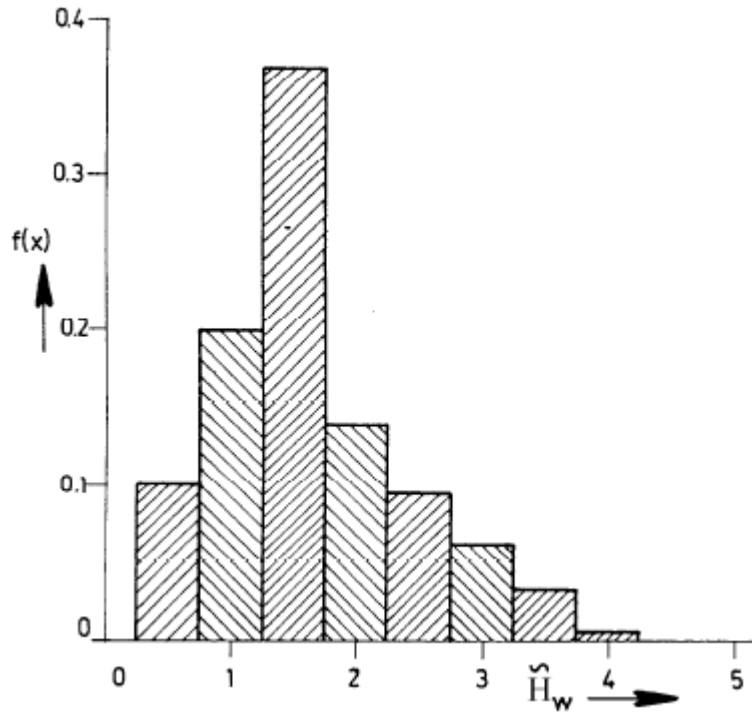
$\omega_a = \omega_n - \frac{\delta\omega}{2} [rad / sn]$ ve $\omega_b = \omega_n + \frac{\delta\omega}{2} [rad / sn]$ olsun. Bu durumda ω_a ile ω_b aralığında sadece bir frekans birleşeni ω_n olacaktır. Aslında gerçek bir karışık dalga bu aralık içerisinde diğer frekansların birleşenlerini de kapsar. Fourier analizinde diğer frekansların etkileri tek bir frekansın içerisinde birleştirilmiştir. Bu ω_n frekansına karşılık gelen dalga genliği spektral yoğunluğu şu şekilde elde edilir:

$$\rho g S_{\zeta\zeta}(\omega) \delta\omega = \frac{1}{2} \rho g \zeta_{na}^2 \quad (3.9)$$

Böylece spektral ordinat, denklem (3.10)'da verildiği gibi hesaplanır:

$$S_{\zeta\zeta}(\omega) = \frac{\zeta_{na}^2}{2\delta\omega} [m^2.sn / rad] \quad (3.10)$$

Herhangi bir karışık dalga zaman kaydına ait bir dalga enerji spektrumu yukarıda gösterildiği gibi elde edilebilir. Şekil 3.4'de böyle bir spektruma ait örnek gösterilmiştir. Spektrum, süreksizdir ve $\delta\omega$ genişliğinde bir seri dikdörtgenden oluşmuştur. Her bir dikdörtgenin alanı, o frekans genişliğine ait enerjiyle orantılıdır.



Şekil 3.4 : Karışık dalgalara ait bir kaydın Fourier analizinden elde edilmiş örnek bir spektrum (Journée ve Pinkster, 2002).

Dalga enerji spektrumunun bilinmesi durumunda bu işlem tersine çevrilir ve aşağıda verilmiş olan denklem (3.11)'deki eşitlik kullanılarak dalga bileşenlerine ait genlik değerleri elde edilebilir (Lloyd, 1989):

$$\zeta_{na} = \sqrt{2S_{\zeta\zeta}(\omega_n)\delta\omega} \text{ [metre]} \quad (3.11)$$

3.6 Spektral Momentler

Ortalama yüzey şekil değiştirmesi $\bar{\zeta}$, kaydı alınan karışık dalgalara ait dalga birleşenlerinin şekil değiştirmelerinin ortalamasıdır. Yani;

$$\bar{\zeta} = \sum_{n=1}^N \frac{\zeta_n}{N} \text{ [metre]} \quad (3.12)$$

(N: karışık dalgaları oluşturan gözlemlenen dalga bileşenlerinin sayısı)

m_0 :dalga yüzeyinin ortalama şekil değiştirmesinin varyansı olmak üzere şu şekilde bulunur:

$$m_0 = \frac{\sum_{n=1}^N (\zeta_n - \bar{\zeta})^2}{N} [\text{metre}^2] \quad (3.13)$$

σ_0 :dalga yüzeyinin ortalama şekil değiştirmesinin standart sapması veya kareli ortalamasının karekökü olarak tanımlanır.

$$\sigma_0 = \sqrt{m_0} \text{ [metre]} \quad (3.14)$$

Denklem (3.13)'te verilen varyans tanımı şu şekilde tekrar yazılabilir:

$$m_0 = \frac{1}{T_H} \int_0^{T_H} \zeta(t)^2 dt [\text{metre}^2] \quad (3.15)$$

Eğer zaman kaydı sıfır dalga şekil değiştirmesi ortalamasına sahipse ve N gözlem sayısı yeterince fazlaysa, denklem (3.5) ile temsil edilen zaman kaydına ait sakin su yüzeyinden olan yer değiştirmenin varyansı:

$$m_0 = \frac{1}{T_H} \int_0^{T_H} \left(\sum_{n=1}^N \zeta_{na} \cos(\omega_n t + \varepsilon_n) \right)^2 dt [\text{metre}^2] \quad (3.16)$$

olarak elde edilebilir. Denklem (3.16) eşitliğinde verilen frekanslar (3.2) denkleminde belirtilen formülle hesaplanacağından dolayı:

$$m_0 = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \zeta_{na}^2 [\text{metre}^2] \quad (3.17)$$

olarak yazılabilir ve denklem (3.11)'den,

$$m_0 = \sum_{n=1}^N S_{\zeta\zeta}(\omega) \delta\omega \quad (3.18)$$

$$m_0 = \int_0^{\infty} S_{\zeta\zeta}(\omega) d\omega$$

elde edilir. Denklem (3.18)'den görüldüğü gibi varyans değeri, su yüzeyi deformasyonları kareli ortalamasına ve spektral yoğunluk fonksiyonunun altında kalan alana eşittir.

Denklem (3.5)'in zamana göre türevinin alınmasıyla su yüzeyi şekil değiştirmesinin hızı ve ivmesi elde edilebilir.

$$\dot{\zeta}(t) = \sum_{n=1}^{\infty} -\zeta_{na} \omega_n \sin(\omega_n t + \varepsilon_n) \left[\text{metre} / \text{sn} \right] \quad (3.19)$$

$$\ddot{\zeta}(t) = \sum_{n=1}^{\infty} -\zeta_{na} \omega_n^2 \cos(\omega_n t + \varepsilon_n) \left[\text{metre} / \text{sn}^2 \right] \quad (3.20)$$

Benzer yolla su yüzeyi şekil değiştirmelerine ait hız ve ivme değerlerinin istatistiği oluşturulabilir. Sinüzoidal dalga bileşenlerinin genlikleri hız ve ivme değerleri için sırasıyla $\zeta_{na} \omega_n \left[\text{metre} / \text{sn} \right]$ ve $\zeta_{na} \omega_n^2 \left[\text{metre} / \text{sn}^2 \right]$ 'dir.

Hız ve ivmelere ait bu zaman kayıtları hız ve ivme enerji spektrumlarının elde edilmesinde kullanılır. Denklem (3.10) ile benzeşim kurularak, spektral yoğunluk fonksiyonunun ordinatları şu şekilde hesaplanır:

$$S_{\dot{\zeta}\dot{\zeta}}(\omega) = \frac{\omega_n^2 \zeta_{na}^2}{2\delta\omega} = \omega_n^2 S_{\zeta\zeta}(\omega) \left[\text{m}^2 / \text{rad.sn} \right] \quad (3.21)$$

$$S_{\ddot{\zeta}\ddot{\zeta}}(\omega) = \frac{\omega_n^4 \zeta_{na}^2}{2\delta\omega} = \omega_n^4 S_{\zeta\zeta}(\omega) \left[\text{m}^2 / \text{rad.sn}^3 \right] \quad (3.22)$$

Denklem (3.18) ile benzeşim kurularak, hız ve ivme spektrum değerlerinin altında kalan alanın bu değerlerin varyansını verdiği söylenebilir (Lloyd, 1989). Hızın varyansı:

$$m_2 = \int_0^{\infty} S_{\dot{\zeta}\dot{\zeta}}(\omega) d\omega \quad (3.23)$$

$$m_2 = \int_0^{\infty} \omega^2 S_{\zeta\zeta}(\omega) d\omega \left[\text{m}^2 / \text{sn}^2 \right]$$

İvmenin varyansı:

$$m_4 = \int_0^{\infty} S_{\zeta\zeta}(\omega) d\omega \quad (3.24)$$

$$m_4 = \int_0^{\infty} \omega^4 S_{\zeta\zeta}(\omega) d\omega [m^2 / sn^4]$$

Denklem (3.23) ve (3.24)'de verilen m_2 ve m_4 momentleri *spektral momentler* olarak adlandırılır. Genel olarak verilen bir dalga spektrumunun n. momenti aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$m_n = \int_0^{\infty} \omega^n S_{\zeta\zeta}(\omega) d\omega [m^2 / sn^n] \quad (3.25)$$

Burada n herhangi bir pozitif tam sayı olarak alınabilir.

Ortalama frekans değeri, spektrumun alan merkezinin bulunmasından elde edilir:

$$\bar{\omega} = \frac{m_1}{m_0} [rad / sn] \quad (3.26)$$

ve buna karşılık gelen ortalama periyot:

$$\bar{T} = \frac{2\pi m_0}{m_1} [saniye] \quad (3.27)$$

Ochi ve Bolton (1973)'a göre dalga tepeleri arasındaki ortalama periyot:

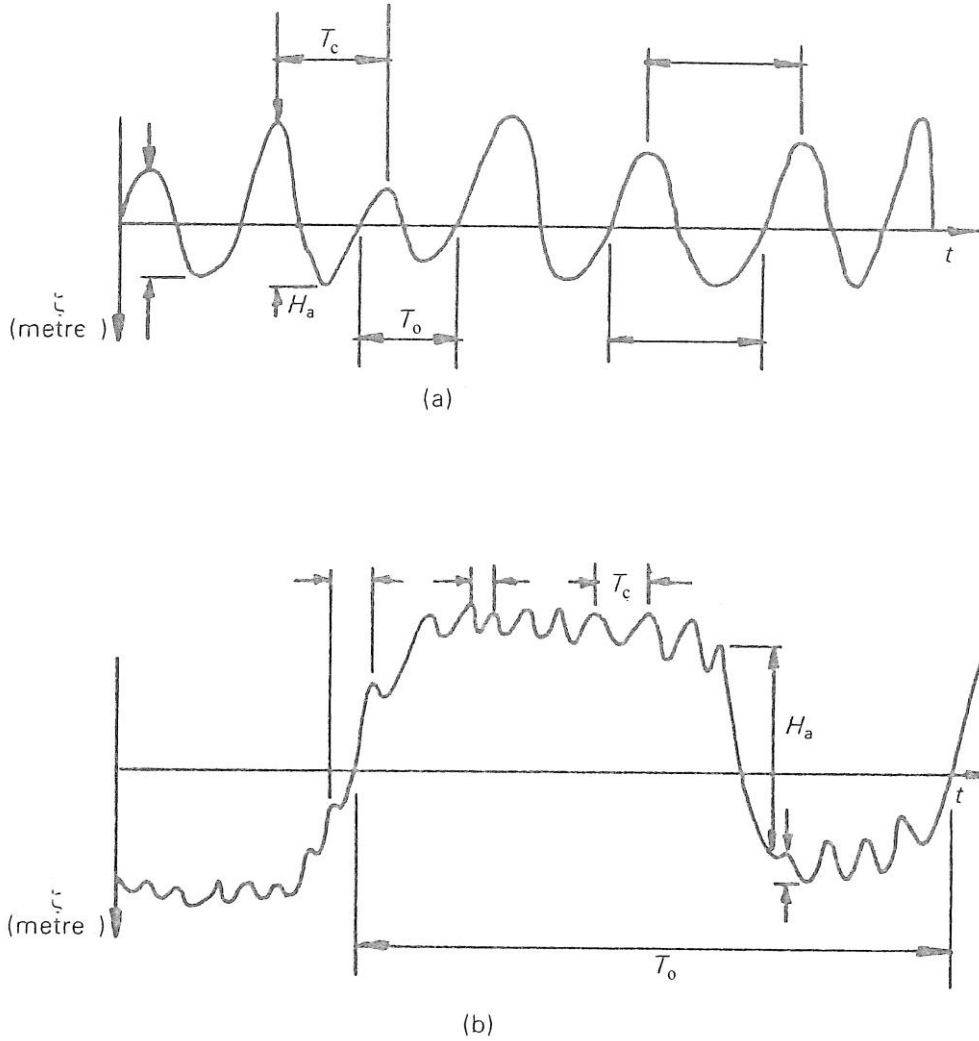
$$\bar{T}_c = 2\pi \sqrt{\left(\frac{m_2}{m_4} \right)} \quad (3.28)$$

Eksenini kesen sıfır noktalarının periyodu ise:

$$\bar{T}_0 = 2\pi \sqrt{\left(\frac{m_0}{m_2} \right)} \quad (3.29)$$

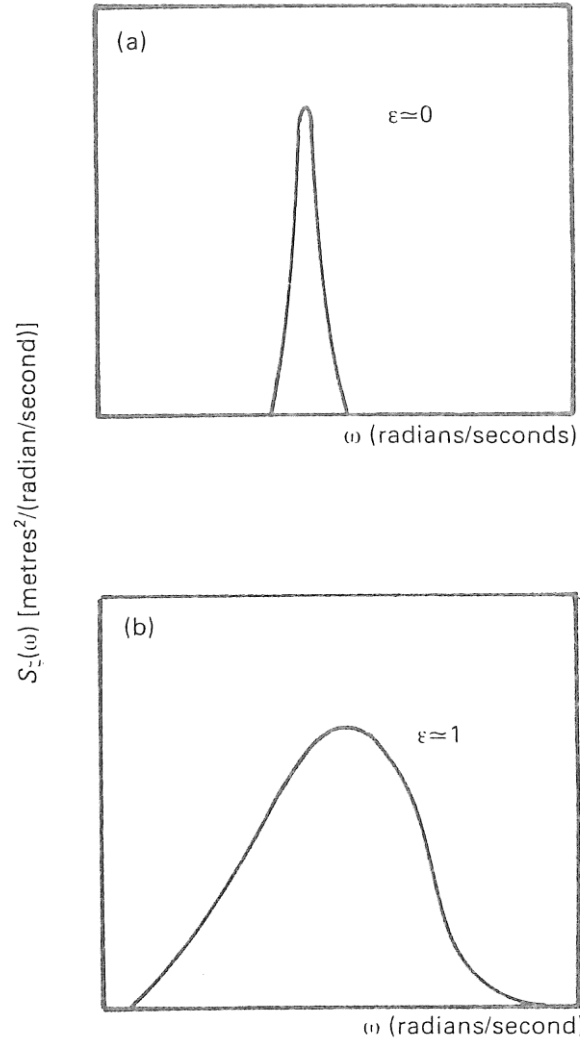
Şekil 3.5'de iki karışık dalgaya ait zaman kayıtları çizilmiş ve Şekil 3.6'da bu dalgalara ait spektrumlar gösterilmiştir. Şekil 3.5(a)'da dar bantlı zaman kaydı, (b)'de ise geniş bantlı zaman kaydına ilişkin örnek verilmiştir. Dar banda sahip karışık dalgalarda, dalga enerjisi dar bir frekans aralığında yoğunlaşmıştır. Bu forma sahip dalgalarda bir dalga tepesi düzenli bir şekilde deniz yüzeyini keserek dalga çukuru oluşturur, daha sonra yine deniz yüzeyini keserek başka bir dalga tepesi

meydana getirir. Bu durumda ortalama dalga tepeleri arasındaki periyot ile ortalama dalga periyodu eşit olarak alınabilir ($\bar{T}_c \approx \bar{T}_0$).



Şekil 3.5 : (a) Dar ve (b) geniş bantlı zaman kayıtları (Lloyd, 1989).

Geniş banda sahip karışık dalgalarda ise dalga enerjisi geniş bir frekans aralığına yayılmıştır. Bu dalga formunda birçok dalga tepesi ve dalga çukuru görülür; ancak bunlar hemen dalga yüzeyini (sıfır noktasını) kesmezler. Bu yüzden ortalama dalga tepeleri arasındaki periyot ortalama dalga periyodundan çok küçüktür ($\bar{T}_c \ll \bar{T}_0$).



Şekil 3.6 : (a) Dar ve (b) geniş bantlı spektrum (Lloyd, 1989).

Dalga tepelerinin ortalama periyodu ile ortalama dalga periyodu arasındaki oran frekans bandının darlığının bir ölçüsünü verir. Denklem (3.30)'da verilen ε , bant genişliği olarak tanımlanır.

$$\varepsilon = \sqrt{1 - \frac{\bar{T}_c^2}{\bar{T}_0^2}} = \sqrt{1 - \frac{m_2^2}{m_0 m_4}} \quad (3.30)$$

ε değeri 0 ile 1 arasında değişir: $\varepsilon = 0$ çok dar bant, $\varepsilon = 1$ çok geniş bant spektrumunu belirtir.

Aşağıdaki denklemlerde karışık dalgalara ait alınan kayıtlardan çeşitli dalga yüksekliklerinin, dalga genliklerine ait varyans değerinin karekökü $\sqrt{m_0}$ cinsinden ifadeleri verilmektedir.

$$\text{En fazla rastlanan dalga yüksekliği: } \bar{H} = 2.0\sqrt{m_o} \quad (3.31)$$

$$\text{Ortalama dalga yüksekliği: } \bar{H} = 2.51\sqrt{m_o} \quad (3.32)$$

$$\text{Karakteristik dalga yüksekliği: } \bar{H}_{1/3} = 4.0\sqrt{m_o} \quad (3.33)$$

$$\text{1/10 yüksek dalgaların ortalaması: } \bar{H}_{1/10} = 5.1\sqrt{m_o} \quad (3.34)$$

Yukarıdaki denklemlerde verilmiş olan $\bar{H}, \bar{H}_{1/3}, \bar{H}_{1/10}$ değerleri $\varepsilon = 0$ durumu için geçerlidir. Diğer ε değerleri için bu katsayılar hesaplanarak Çizelge 3.1’de gösterilmiştir (Sabuncu, 1983).

Çizelge 3.1 : ε değerlerine göre dalga yüksekliklerine ait katsayıların değişimi.

ε	0	0.2	0.4	0.6	0.8
$\bar{H} / \sqrt{m_o}$	2.51	2.51	2.45	2.26	1.63
$\bar{H}_{1/3} / \sqrt{m_o}$	4.00	4.03	4.10	4.17	4.17
$\bar{H}_{1/10} / \sqrt{m_o}$	5.10	5.10	5.24	5.45	5.73

Çizelge 3.1’de görüldüğü gibi, $0 < \varepsilon < 0.4$ arasındaki değerlerde $\bar{H}, \bar{H}_{1/3}, \bar{H}_{1/10}$ dalga yükseklikleri çok az değişirken, $\varepsilon > 0.4$ için farklar çok artmaktadır.

3.7 Matematiksel Spektrum Modelleri

Matematiksel spektrum modelleri genellikle bir ya da daha fazla parametreye bağlıdır: karakteristik dalga yüksekliği, dalga periyodu, dalga tepelerinin periyodu, biçim faktörü vs. En bilinen tek parametrelili spektrum olan Pierson-Moskowitz (1964), karakteristik dalga yüksekliğine ya da rüzgâr hızına bağlıdır. Birçok iki parametrelili spektrum da mevcuttur. Bunların arasında en çok kullanılanları Bretschneider (1969), Scott (1965) ve ITTC (1966)’dir. JONSWAP spektrumu (Hasselmann, 1973, 1976) beş parametrelili olup genellikle üç parametresi sabit tutulur. Daha karmaşık spektrum modelleri Ochi ve Hubble (1976) tarafından sunulmuş olup altı parametreye sahip bir modeldir.

Enerji spektrum modelleri dalga frekansına (ω) bağılı olarak değişmektedir. Aşağıda ShipmoPC programında kullanılmakta olan spektrum modelleri verilmiştir (BMT, 2001).

3.7.1 İkinci dereceden regresyon spektrumu

İkinci dereceden regresyon spektrumu Kuzey Atlantik'te bulunan Hindistan bölgesinde alınan dalga kayıtlarına bağılı olarak türetilmiştir. Spektrumun girdi parametreleri karakteristik dalga yüksekliği $\bar{H}_{1/3}$ ve enerji ortalamalı dalga periyodu T_{-1} 'dir. T_{-1} periyodu şu şekilde tanımlanmıştır (Gospodnetic ve Miles, 1974):

$$T_{-1} = \frac{\int_0^{\infty} TS_{\zeta\zeta}(T)dT}{\int_0^{\infty} S_{\zeta\zeta}(T)dT} \quad (3.35)$$

Denklem (3.35)'de verilen T dalga periyodu ve $S_{\zeta\zeta}(T)$ periyoda bağılı spektral enerji yoğunluğu fonksiyonudur. Toplam enerji spektrumu, boyutsuz veri tabanlarından aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$S(\omega) = 0, \quad \omega < 0.05\omega_{-1} \text{ için}, \quad (3.36a)$$

$$S(\omega) = f(H_{1/3}, T_{-1}), \quad 0.05\omega_{-1} \leq \omega \leq 4\omega_{-1} \text{ için ve} \quad (3.36b)$$

$$S(\omega) = 0, \quad \omega > 4\omega_{-1} \text{ için verilmiştir.} \quad (3.36c)$$

Burada verilen $\omega_{-1} = 2\pi / T_{-1}$ olarak belirtilmiştir.

Çizelge 3.2 : Kuzey Atlantik için deniz durumu parametreleri (Lee ve Bales, 1984).

Deniz Şiddeti	Karakteristik Dalga Yüksekliği		Sürekli Rüzgâr Hızı		Deniz Şiddetinin Yüzde Olasılığı	Dalga Tepeleri Periyodu	
	Aralık	Ortalama	Aralık	Ortalama		Aralık	En muhtemel
0-1	0-0.1	0.05	0-6	3	0.7	-	-
2	0.1-0.5	0.3	7-10	8.5	6.8	3.3-12.8	7.5
3	0.5-1.25	0.88	11-16	13.5	23.7	5.0-14.8	7.5
4	1.25-2.5	1.88	17-21	19	27.8	6.1-15.2	8.8
5	2.5-4.0	3.25	22-27	24.5	20.6	8.3-15.5	9.7
6	4.0-6.0	5.0	28-47	37.5	13.1	9.8-16.2	12.4
7	6.0-9.0	7.5	48-55	51.5	6.1	11.8-18.5	15.0
8	9.0-14.0	11.5	56-63	59.5	1.1	14.2-18.6	16.4
>8	>14	>14	>63	>63	0.05	18.0-23.7	20.0

Çizelge 3.2’de Kuzey Atlantik için deniz durumlarına bağlı olarak verilen karakteristik dalga yüksekliği aralığı ve ortalamaları ile sürekli rüzgâr hızı aralığı ve ortalamaları verilmiştir. Çizelgede ayrıca, deniz durumlarına göre bu denizlere ait dalga tepeleri periyot aralığı ve en muhtemel periyotları verilmiştir.

3.7.2 Bretschneider Spektrumu

ShipmoPC, Bretschneider Spektrumunu 15. International Towing Tank Conference (ITTC, 1978)’de kabul edildiği şeklini kullanmaktadır:

$$S_{\zeta\zeta}(\omega) = \frac{487H_{1/3}^2}{T_p^4\omega^5} \exp\left[\frac{-1948}{T_p^4\omega^4}\right] \quad (3.37)$$

Bretschneider Spektrumu tam oluşmuş denizler için T_1 karakteristik dalga periyodu cinsinden de ifade edilebilir. T_1 karakteristik dalga periyodunun modal dalga periyodu cinsinden değeri denklem (3.38)’de verilmiştir:

$$T_1 = 0.773T_p \quad (3.38)$$

T_1 karakteristik dalga periyodu şu şekilde ifade edilmektedir (Bhattacharyya, 1978):

$$T_1 = 2\pi \sqrt{\frac{m_0}{m_1}} \quad (3.39)$$

3.7.3 Üç parametrelili JONSWAP Spektrumu

JONSWAP Spektrumu, Hasselman ve diğerleri tarafından 1973 yılında geliştirilmiş olup Kuzey Denizlerine ait bir spektrumdur.

JONSWAP Spektrumu, aşağıdaki denklemler ile ifade edilir (Chakrabarti, 1987). Denklem (3.40)’da belirtilen γ , *tepe parametresi* olarak isimlendirilmiş olup 1 ile 7 değeri arasında değişmektedir. ShipmoPC’de tepe parametresinin kullanıcılar tarafından girilmesi istenmektedir. Ancak önceden tanımlanmış olan değer olarak $\gamma = 3.30$ alınmaktadır. Tepe parametresinin $\gamma = 1$ alınması durumunda ise Pierson Moskowitz Spektrumunda çalışmak mümkündür.

$$S_{\zeta\zeta}(\omega) = \alpha^* H_{1/3}^2 \frac{\omega_c^4}{\omega^5} \exp\left[-1.25 \frac{\omega_c^4}{\omega^4}\right] \gamma^\kappa \quad (3.40)$$

$$\kappa = \exp \left[\frac{-(\omega - \omega_c)^2}{2\sigma^2 \omega_c^2} \right] \quad (3.41)$$

$$\sigma = 0.07, \omega \leq \omega_p \text{ için ve} \quad (3.42a)$$

$$\sigma = 0.09, \omega > \omega_p \text{ için} \quad (3.42b)$$

Denklemlerde geçen ω_c dalga tepelerine ait frekanstır. Goda (1979), boyutsuzlaştırılmış α^* ifadesi için aşağıdaki yaklaşık ifadeyi vermektedir:

$$\alpha^* = \frac{0.0624}{0.230 + 0.0336\gamma - 0.185 / (1.9 + \gamma)} \quad (3.43)$$

3.7.4 Ochi ve Hubble altı parametrelili spektrumu

Ochi ve Hubble 6 parametrelili spektrumu aynı doğrultuda olan ölüdeniz ve deniz ögelerini modellemektedir (Ochi ve Hubble, 1976):

$$S_{\zeta\zeta}(\omega) = \frac{1}{4} \sum_{i=1}^2 \frac{\left[\left(\frac{4\tau_i + 1}{4} \right) \omega_{ci}^4 \right]^{\lambda_i} \bar{H}_{(1/3)}^2 \exp \left[- \left(\frac{4\tau_i + 1}{4} \right) \left(\frac{\omega_{ci}}{\omega} \right)^4 \right]}{\Gamma(\tau_i) \omega^{(4\lambda_i + 1)}} \quad (3.44)$$

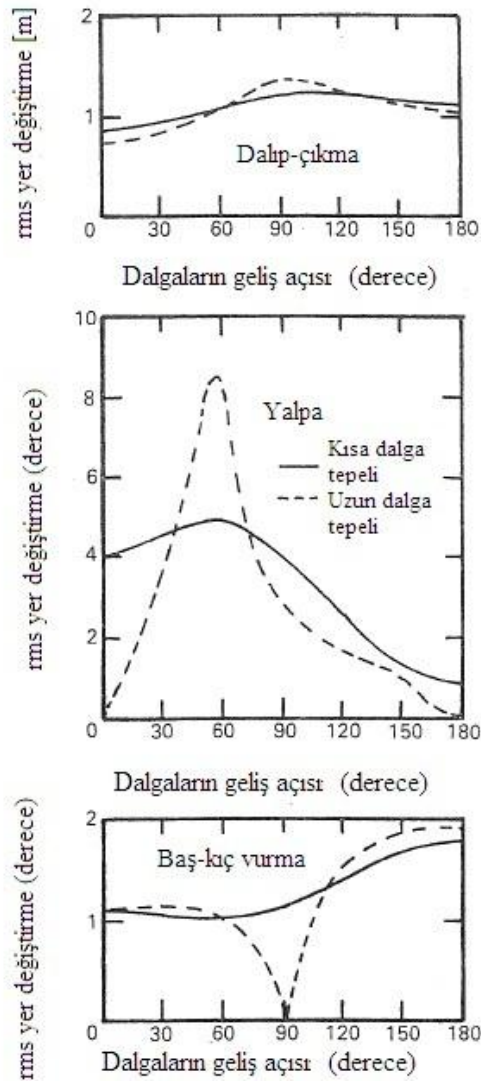
Burada verilen $\tau_i, \bar{H}_{(1/3)}$ ve ω_{ci} terimleri i bileşenine ait sırasıyla; spektral biçim parametresi, karakteristik dalga yüksekliği ve dalga tepeleri frekansıdır. Γ ise Gama Fonksiyonudur.

Eğer $\tau_1 = 1$ ve $\tau_2 = 0$ olarak alınırsa bu durumda düzeltilmiş Pierson-Moskowitz Spektrumu elde edilmiş olur.

3.8 Dalgaların Yayılması

İdeal koşullarda açık okyanus dalgalarının bir yönde hareket etmeleri beklenir. Bununla birlikte, bu “uzun dalga tepeli” dalgalar dümdüz ve paralel kalırlar. Ancak bu tip dalgalar deney havuzları gibi yapay ortamlar dışında nadiren görülürler. Bu yüzden, okyanustaki dalgaların birçok farklı yönlerde seyahat etmeleri daha muhtemeldir. Bu tip dalgalarda rüzgârla aynı yöne sahip ve kolaylıkla fark edilebilen bir *birincil yön* kavramından bahsetmek mümkündür.

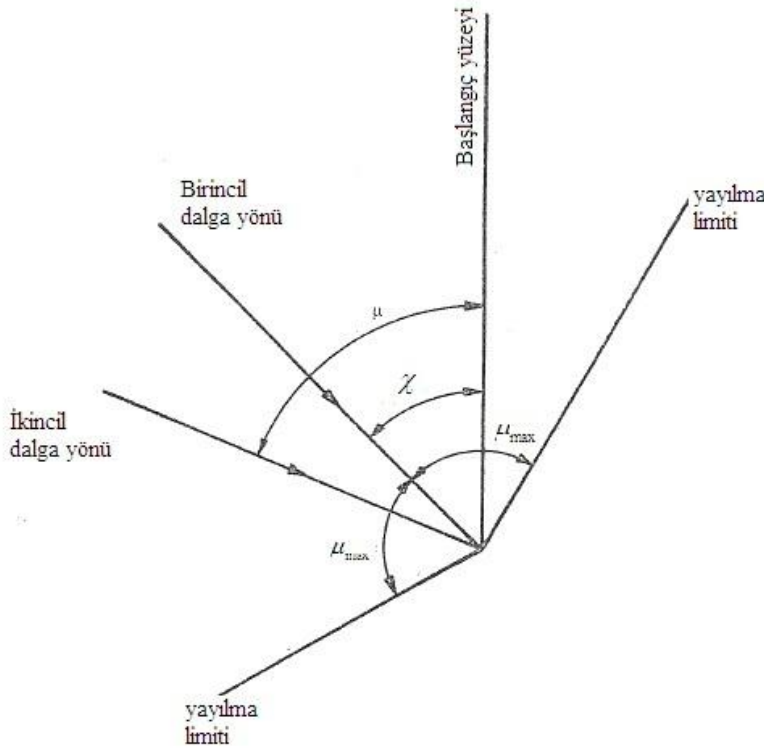
Birden fazla uzun dalga tepeli dalga sisteminin varlığı dalga tepe ve çukurlarının birbirini geçersiz kılmasına neden olur ve böylece ortaya “*kısa dalga tepeli*” dalga sistemi ortaya çıkar. Bu sistem, dalga yönlerinde bir yayılmayı gerektirir. Bundan dolayı, okyanusta belirli bir noktada deniz yüzeyi deformasyonlarına ait kayıtlardan elde edilen dalga enerji spektrumu, içerisinde birçok farklı dalga yönünün katkısını barındırır. Bu gerçeği göz ardı etmek ve dalga sisteminin uzun dalga tepeli olduğunu farz etmek bazen uygun bir yöntemdir ve bazı durumlarda kabul edilebilir sonuçlar vermektedir. Ancak, dikkate alınmalıdır ki, dalga yayılma derecesi bazı gemi hareketlerinde (özellikle yalpada) derin etkilere sahiptir ve bu etkiler her zaman ihmal edilmez.



Şekil 3.7 : Dalga yayılmasının gemi hareketleri üzerine etkisi (Gemi hızı: 20 knot, $\bar{H}_{1/3} = 5.5m$, $T_0 = 12.4sn$) (Lloyd, 1989).

Şekil 3.7’de dalga yayılmasının dalıp-çıkma, baş-kıç vurma ve yalpa hareketleri üzerine etkisi gösterilmiştir. Şekildeki kesikli çizgiler uzun dalga tepeli durumu, sürekli çizgiler ise kısa dalga tepeli sistemi göstermektedir. Görüldüğü gibi özellikle RMS yalpa değerlerinde farklılık çok belirgin olmaktadır (Lloyd, 1989).

Sabit bir başlangıç yüzeyine göre alınan birincil dalga yönü χ ise ikincil dalga yönü, $-\mu_{\max} < \mu - \chi < \mu_{\max}$ aralığında dağılır. Yönsel dalga spektrumu $\rho g S_{\zeta\zeta}(\omega, \mu) \delta\omega \delta\mu$ ise dalga enerji spektruma eşittir. Şekil 3.8’de birincil ve ikincil dalga yönlerinin tanımı yapılmıştır ve Şekil 3.9’da tipik bir yönsel dalga spektrumu gösterilmiştir.



Şekil 3.8 : Birincil ve ikincil dalga yönleri (Lloyd, 1989).

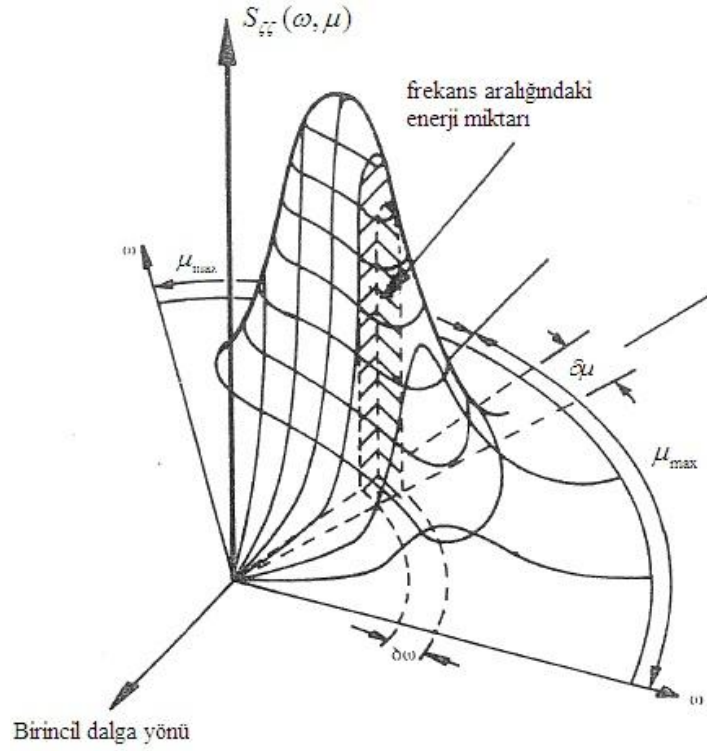
Yönsel spektral yoğunluğunun ordinatı (3.10) denklemiyle benzeşim kurularak şu şekilde verilir:

$$S_{\zeta\zeta}(\omega, \mu) = \frac{\zeta_{nja}^2}{2\delta\omega\delta\mu} [m^2 \cdot sn / rad^2] \quad (3.45)$$

Burada ζ_{nja} sinüzoidal dalga bileşeninin j-inci yönüne ait n-inci frekansının genliğidir.

Yönsel dalga spektrumunun ordinatının eşdeğer toplam dalga enerji spektrumunun $S_{\zeta\zeta}(\omega)$ ordinatı şeklinden ifadesi denklem (3.46)'da verilmiştir:

$$S_{\zeta\zeta}(\omega, \mu) = D \cos^m \left(\frac{\pi}{2\mu_{\max}} (\mu - \chi) \right) S_{\zeta\zeta}(\omega) [m^2 \cdot sn / rad^2] \quad (3.46)$$



Şekil 3.9 : Tipik bir yönsel dalga spektrumu (Lloyd, 1989).

Denklem (3.46) verilen D bir sabit ve m pozitif bir tam sayıdır. Toplam dalga enerjisinin $-\mu_{\max}$ ile $\mu_{\max}$ aralığında dağıldığı kabul edildiğinden dolayı şu denklemi yazmak mümkündür:

$$S_{\zeta\zeta}(\omega) = \int_{-\mu_{\max}}^{\mu_{\max}} S_{\zeta\zeta}(\omega, \mu) d(\mu - \chi) [m^2 \cdot sn / rad] \quad (3.47)$$

$$\mu' = \frac{\pi}{2\mu_{\max}} (\mu - \chi) \text{ denilirse;}$$

Denklem (3.48) elde edilir:

$$S_{\zeta\zeta}(\omega) = \frac{2\mu_{\max}}{\pi} \int_{-\pi/2}^{\pi/2} D \cos^m(\mu') S_{\zeta\zeta}(\omega) d\mu' [m^2 \cdot sn / rad] \quad (3.48)$$

$$D = \frac{\pi}{4\mu_{\max}} \frac{1}{\int_0^{\pi/2} \cos^m(\mu') d\mu'} \quad (3.49)$$

$$D = \frac{1}{2\mu_{\max}} \quad m = 0 \text{ için} \quad (3.50a)$$

$$D = \frac{\pi}{4\mu_{\max}} \quad m = 1 \text{ için} \quad (3.50b)$$

$$D = \frac{\pi}{\mu_{\max}} \quad m = 2 \text{ için} \quad (3.50c)$$

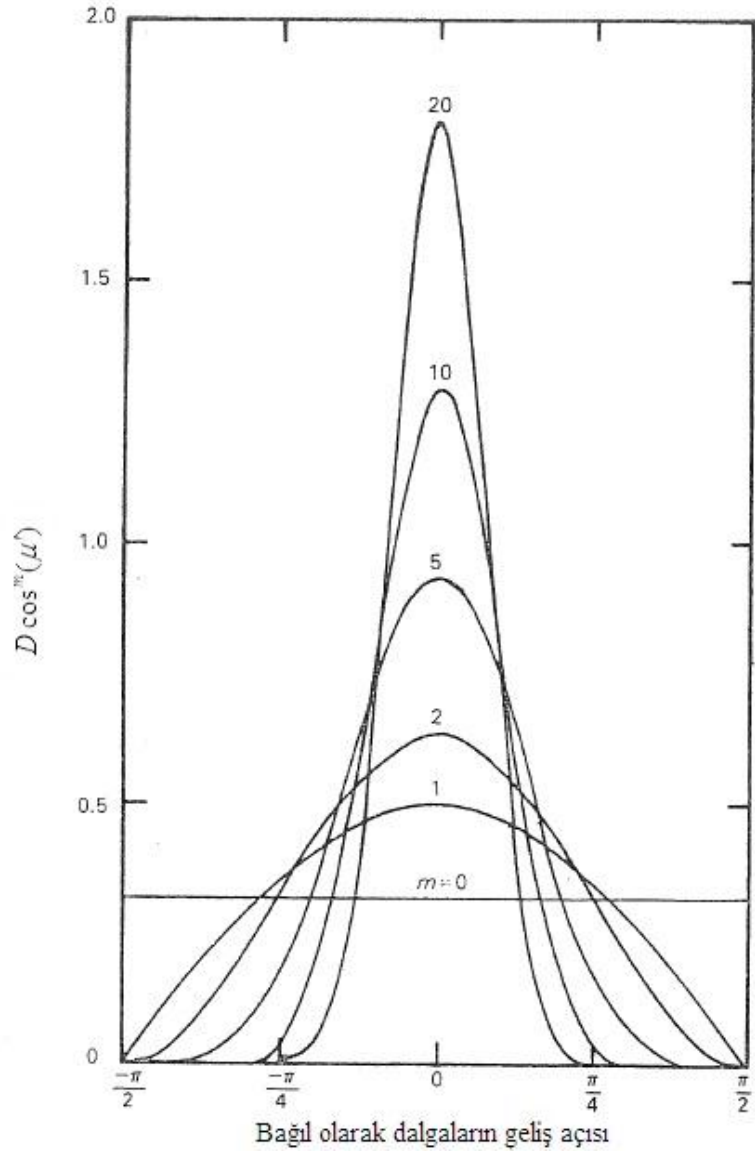
D sabitinin bulunması için genel bir formül türetilebilir (Lloyd, 1989):

$$D = \frac{1.3.5.7.....m}{2.4.6.8.....(m-1)} \frac{\pi}{4\mu_{\max}} \quad \text{tek } m \text{ sayıları için} \quad (3.51a)$$

$$D = \frac{2.4.6.8.....m}{1.3.5.7.....(m-1)} \frac{\pi}{2\mu_{\max}} \quad \text{çift } m \text{ sayıları için (sıfır hariç)} \quad (3.51b)$$

Şekil 3.10'da yayılma fonksiyonu $D \cos^m(\mu')$ 'nin çeşitli m değerleri için grafik olarak gösterilmiştir. $m=0$ dalga enerjisine tüm geliş yönlerinden eşit katkının yapıldığı düzgün bir yayılmayı temsil etmektedir. m değeri arttıkça enerji, birincil dalga yönünün çevresine yoğunlaşmaktadır. Yaklaşık *uzun dalga tepeli* bir deniz, yüksek m değeri seçilerek ya da düşük $\mu_{\max}$ değeri düşünülerek modellenebilir. Gemi dizaynında en çok kullanılan değerler $m = 2$ ve $\mu = 90^\circ$ nin seçildiği *kısa dalga tepeli* deniz yapısıdır. Yayılma açısı genelde 60° ile 120° arasında değişmektedir. $\mu_{\max} = 90^\circ$ olarak alınırsa, denklem (3.46) şu hali alır:

$$S_{\zeta\zeta}(\omega, \mu) = \frac{2}{\pi} \cos^2(\mu - \chi) S_{\zeta\zeta}(\omega) \quad (3.52)$$



Şekil 3.10 : Dalga enerji spektrumu yayılma fonksiyonu (Lloyd, 1989).

Denklem (3.46) ve (3.50) kısa dalga tepeli denizde gemi hareketlerinin pratik olarak hesaplanmasına yönelik verilen eşitliklerdir. Bu hesaplamalar, yayılma aralığı içerisinde her bir sonlu sayıda ikincil dalga yönünden gelen katkının ayrıklaştırıldığı dalga yayılma spektrumunun varlığını gerektirir. Ayrıklaştırılmış ikincil dalga yönlerinden gelen her bir katkı, toplam dalga enerji spektrumunun küçültülmüş versiyonu gibidir.

4. GEMİ HAREKETLERİ VE DİLİM TEORİSİ

Dalgalar arasında ilerleyen bir geminin hareketleri, geminin dinamiği ile birçok hidrodinamik kuvvet arasındaki etkileşimden dolayı karmaşık bir olgudur. Gemi hareketlerini kapsamlı bir şekilde ele almak çok uzun ve zor bir konudur. Bu yüzden bu bölümde, yalnızca gemi hareket teorisi üzerinde durulacak ve özellikle gemi hareketlerine ait iki boyutlu lineer teoriden bahsedilecektir.

Tüm gemi hareketleri aslında kadar lineer değildir; fakat birçok durumda bu lineer olmayan terimler ihmal edilebilir olduğundan, lineer teori iyi sonuçlar vermektedir. Gemi hareketlerindeki bu lineerlik kabulü birçok güçlü analiz tekniklerinin gelişmesine neden olmuştur (Lewis, 1989).

4.1 Giriş

Bu bölümde, öncelikle kısaca gemi hareketleri tanıtılmış ve bu hareketler, geminin ağırlık merkezi üzerinde alınan eksen takımında şekilsel olarak gösterilmiştir. Daha sonra, düzenli dalgalarda gemi hareketlerinin hesabına ilişkin bilgiler verilmiştir. Altı çeşit gemi hareketinin denklemleri yazılmış ve bu denklemlerdeki katsayılar matrisi üzerinde hangi katsayıların sıfır alınabileceği gösterilmiştir. Ardından, dilim teorisi hakkında genel bilgiler verilmiş ve teoriye katkıda bulunan bilim adamlarından kronolojik olarak bahsedilmiştir. Bununla birlikte, tüm bu bilim adamlarının teorilerinin ortak yönleri sıralanmıştır. Daha sonra, gemi kesitlerine ait iki boyutlu hidrodinamik katsayıların hesaplanmasına ilişkin geliştirilen yöntemlerden bahsedilmiş, bu yöntemlerin ortak yönleri ve farklılıkları sıralanmıştır. Ayrıca, bu tezde kesitsel katsayıların hesaplanmasında seçilen sınır eleman yöntemi hakkında özet bilgilere yer verilmiş ve bu yöntemin önceki diğer yöntemlerle karşılaştırılması yapılmıştır.

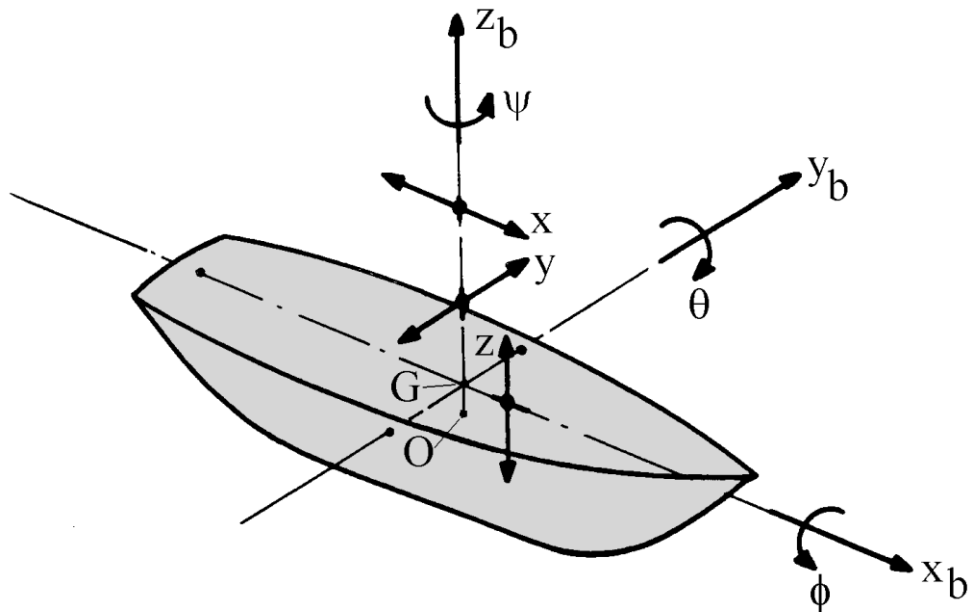
Dilim teorisinin ShipmoPC programındaki uygulamasını görmek amacıyla Grigoropoulos ve diğerlerinin (1994, 2000) çeşitli Seri 60 tipi gemilerle yapmış oldukları denizcilik hesaplarının bir kısmı ShipmoPC yazılımı kullanılarak tekrar yapılmış ve alınan sonuçlar karşılaştırılmıştır. Bazı sonuçlar tablolar halinde, bazıları

ise makalede olduğu gibi grafikler halinde sunulmuştur. Tam bir kıyas yapılabilmesi için aynı koşullar oluşturulmuş ve sonuçlar aynı formatta verilmiştir. Ayrıca tablolar halinde verilen sonuçlar ile ShipmoPC'den elde edilen sonuçlar arasındaki fark yüzde olarak hesaplanmıştır.

4.2 Gemi Hareketlerinin Tanımı

Sabit bir hızda, dalgaları rastgele seçilmiş bir açıdan alarak ilerlemekte olan bir gemi, altı serbestlik derecesine sahip dinamik bir sistem oluşturur. Böylece üçü öteleme, üçü dönme olmak üzere altı çeşit hareket ortaya çıkar. Geminin ağırlık merkezinden alınan eksen takımına göre Şekil 4.1'de gösterilen bu hareketler şu şekilde özetlenebilir (Journé ve Pinkster, 2002):

- Geminin ağırlık merkezinde x , y ve z eksenlerine olan öteleme hareketleri:
 - Boy öteleme, x eksen boyunca (geminin baş tarafı pozitif)
 - Yan öteleme, y eksen boyunca (geminin iskele tarafı pozitif)
 - Dalıp-çıkma, z eksen boyunca (yukarı taraf pozitif)
- Bu eksenlerde oluşan dönme hareketleri:
 - x ekseninde oluşan yalpa hareketi (sağa dönüş pozitif)
 - y ekseninde baş-kıç vurma hareketi (sağa dönüş pozitif)
 - z ekseninde savrulma hareketi (sağa dönüş pozitif)



Şekil 4.1 : Altı serbestlik dereceli gemi hareketlerinin gösterimi.

4.3 Düzenli Dalgalarda Gemi Hareketleri

Altı serbestlik dereceli gemi hareketlerinin incelenmesinde öncelikle altı bilinmeyen lineer olmayan hareket denklemleri kurulmalı ve eş zamanlı olarak çözülmelidir. İnce-uzun gemilerde ve 6 deniz şiddetine kadar olan denizlerde gemi hareketleri küçük olacağından lineer teori kullanılabilir.

Birçok durumda olduğu gibi iskele/sancak simetrisin bulunduğu gemilerde, altı lineer olmayan denklem iki set halinde üç lineer denklem sistemine dönüşür. Simetri düzleminde yer alan hareketler düşey düzlem hareketleri ya da simetrik hareketler olarak adlandırılır: boy öteleme, dalıp-çıkma ve baş-kıç vurma. Diğerleri ise yatay düzlem hareketleri ya da geminin anti-simetrik hareketleri olarak tanımlanır: yan öteleme, yalpa ve savrulma. Bu iki hareket grubu kendi içlerinde bileşik hareketler oluşturur ve birbirlerine olan etkisi hesaplarda dikkate alınır. Ancak iki grubun birbirlerine karşı etkileri zayıf olduğundan ihmal edilebilir (Lewis, E. V., 1989).

Geminin düzenli dalgalar arasındaki hareketlerini incelemeye en sık kullanılan yöntem dilim teorisidir. Hareket denklemlerindeki katsayılar ve uyarıcı kuvvetler deneylerle bulunabileceği gibi dilim teorisi yöntemiyle de elde edilebilir. Dilim teorisi, deney sonuçlarıyla uyumlu makul değerler vermektedir (Lloyd, 1989).

4.3.1 Hareket denklemlerindeki katsayılar

Altı serbestlik dereceli gemi hareketleri aslında bir titreşim problemidir. Bu problemi çözerken matris aritmetiğinden yararlanılır. Hareket denklemlerinin türetilmesine ilişkin detaylı bilgiler, Salvesen ve diğerleri (1970), Newman (1977), Ogilvie (1964) ve Wehausen (1971)'nin çalışmalarında mevcuttur.

Geminin düzenli dalgalar arasındaki küçük genlikli lineerleştirilmiş hareket denklemleri genel bir formda şu şekilde yazılabilir:

$$\sum_{j=1}^6 (A_{ij}\ddot{\eta}_j + b_{ij}\dot{\eta}_j + c_{ij}\eta_j) = F_{ai} \sin(\omega_e t + \gamma_i) \quad (4.1)$$

Bu denklemlerin genel çözümü işe şu şekilde verilebilir:

$$\eta_i = \eta_{ia} \cos(\omega_e t + \varepsilon_{i\zeta}) \quad (4.2)$$

Denklem (4.1) ve (4.2)'de verilen terimler:

$$A_{ij} = a_{ij} \quad (j = 1, 6; i = 1, 6; j \neq i)$$

$$A_{ij} = m + a_{ij} \quad (j = 1, 3; i = 1, 3; j = i)$$

$$A_{ij} = I_{ij} + a_{ij} \quad (j = 4, 6; i = 4, 6; j = i)$$

Burada;

m : gemi kütlesidir ve a_{ij} terimi ek su kütlesine ilişkin katsayı , b_{ij} terimi hidrodinamik sönüm katsayısı ve c_{ij} ise geminin hidrostatik kaldırma kuvveti katsayısıdır.

F_{ai} ile gösterilen terim dalgalardan dolayı oluşan uyarıcı kuvvetin genliğini belirtir.

Denklemlerde görülen η_i terimi ise altı çeşit gemi hareketini sembolize etmektedir ve i alt indisi 1 ile 6 arasında değişmektedir. Bu konudaki uluslararası uyuşma göre i altı indisi şu hareketleri belirtmektedir:

$\eta_1 : x$: boy öteleme

$\eta_2 : y$: yan öteleme

$\eta_3 : z$: dalıp-çıkma

$\eta_4 : \phi$: yalpa

$\eta_5 : \theta$: baş-kıç vurma

$\eta_6 : \psi$: savrulma

Denklemlerde verilen γ_i ve ε_i faz açılarını göstermektedir ve ω_e ise geminin dalgalarla karşılaşma frekansıdır. ij alt indisleri de birleşik hareketlerin bir ifadesidir. j -inci hareketten dolayı i -inci hareket yönünde oluşacak katsayıları göstermektedir. Örneğin; $a_{35}\ddot{\theta}$ baş-kıç vurma ivmesinden dolayı dalıp-çıkma hareketinde oluşacak kuvveti temsil etmektedir. b_{44} ise yalpadan dolayı yalpa hareketinde oluşacak sönümü, a_{12} ise yan öteleme hareketinden dolayı boy öteleme hareketinde oluşacak ek su kütlesi katsayısını ifade etmektedir.

Çizelge 4.1'de toplam 108 katsayıdan 60 tanesinin iskele/sancak simetrisinden dolayı sıfır olduğu gösterilmektedir. Bunların haricinde 12 katsayının bir kısmı genellikle,

bir kısmı da daima ihmal edilebilen katsayılar arasındadır. Çizelgede gösterilen k harfi o katsayıların küçük olduğunu ve bu yüzden ihmal edilebileceğini göstermektedir. Sıfır (0) ise gerek simetri gerekse de konumdan dolayı belirtilen katsayıların sıfır olarak alınabileceğine işaret etmektedir (Lloyd, 1989).

Çizelge 4.1 : Hareket denklemlerinde değeri sıfır olan katsayılar.

		i						
		1	2	3	4	5	6	
Hareketler j	1		0	k	0	k	0	Boy öteleme
	2	0		0		0		Yan öteleme
	3	k	0		0		0	Dalıp-çıkma
	4	0		0		0		Yalpa a_{ij} ve b_{ij}
	5	k	0		0		0	Baş-kıç vurma
	6	0		0		0		Savrulma
		1	2	3	4	5	6	
Hareketler j	1	0	0	0	0	0	0	Boy öteleme
	2	0	0	0	0	0	0	Yan öteleme
	3	k	0		0		0	Dalıp-çıkma
	4	0	k	0		0	k	Yalpa c_{ij}
	5	k	0		0		0	Baş-kıç vurma
	6	0		0		0		Savrulma
Kuvvet ve momentler, i								

Çizelge 4.1’de gösterilen sonuçlara göre enine simetriye sahip ince-uzun yapıdaki gemilerin düzenli dalgalarındaki küçük genlikli hareketlerine ilişkin denklemler şu şekilde yazılabilmektedir:

$$\text{Boy öteleme: } (m + a_{11})\ddot{x} + b_{11}\dot{x} = F_a \sin(\omega_e t + \gamma_1) \quad (4.3)$$

$$\text{Yan öteleme: } (m + a_{22})\ddot{y} + b_{22}\dot{y} + a_{24}\ddot{\phi} + b_{24}\dot{\phi} + a_{26}\ddot{\psi} + b_{26}\dot{\psi} + c_{26}\psi = F_a \sin(\omega_e t + \gamma_2) \quad (4.4)$$

$$\text{Dalıp-çıkma: } (m + a_{33})\ddot{z} + b_{33}\dot{z} + c_{33}z + a_{35}\ddot{\theta} + b_{35}\dot{\theta} + c_{35}\theta = F_a \sin(\omega_e t + \gamma_3) \quad (4.5)$$

$$\text{Yalpa: } a_{42}\ddot{y} + b_{42}\dot{y} + (I_{44} + a_{44})\ddot{\phi} + b_{44}\dot{\phi} + c_{44}\phi + a_{46}\ddot{\psi} + b_{46}\dot{\psi} + c_{46}\psi = F_a \sin(\omega_e t + \gamma_4) \quad (4.6)$$

$$\text{Baş-kıç vurma: } a_{53}\ddot{z} + b_{53}\dot{z} + c_{53}z + (I_{55} + a_{55})\ddot{\theta} + b_{55}\dot{\theta} + c_{55}\theta = F_a \sin(\omega_e t + \gamma_5) \quad (4.7)$$

$$\text{Savrulma: } a_{62}\ddot{y} + b_{62}\dot{y} + a_{64}\ddot{\phi} + b_{64}\dot{\phi} + (I_{66} + a_{66})\ddot{\psi} + b_{66}\dot{\psi} + c_{66}\psi = F_a \sin(\omega_e t + \gamma_6) \quad (4.8)$$

Görüldüğü gibi düşey düzlem hareketlerinden olan dalıp-çıkma ve baş-kıç vurma, birleşik hareketlerdir. Diğer bir deyişle, dalıp-çıkma hareketi baş-kıç vurma hareketine bağlıdır ve ona ait terimler içerir. Bunun tersini söylemek de mümkündür.

Ancak boy öteleme hareketi basit harekettir ve diğer hareketlerden bağımsızdır. Yatay düzlem hareketleri de aynı şekilde birleşik hareketlerdir ve birbirlerinden etkilenirler. Ancak yatay ve düşey düzlem hareketleri arasında herhangi bir etkileşim yoktur. Bu yüzden hesaplarda yatay ve düşey düzlem hareketleri birbirlerinden ayrı olarak incelenebilirler (Lloyd, 1989).

4.3.2 Genlik karşılık fonksiyonları

Çeşitli yöntemlerle elde edilen gemi hareketleri, genlik karşılık fonksiyonları (transfer fonksiyonları) yardımıyla boyutsuz hale getirilebilir. Genlik karşılık fonksiyonları uluslararası literatürde *Response Amplitude Operator* (RAO) olarak tanımlanır. Düzenli dalgalarda gemi hareketlerine ait birçok grafik genlik karşılık fonksiyonları cinsinden verilmektedir. Böylece hareketlerin analizleri ve diğer gemilerin hareketleriyle karşılaştırılmasını daha kolay yapmak mümkün olmaktadır. Genlik karşılık fonksiyonları kullanılarak gemi hareketleri aşağıdaki şekillerde boyutsuzlaştırılmaktadır.

- Öteleme hareketleri dalga genliğine (ζ_a) ve
- Dönme hareketleri ise dalga eğimine ($2\pi\zeta_a / \lambda$) bölünerek boyutsuz hale getirilir.

4.4 Dilim Teorisi

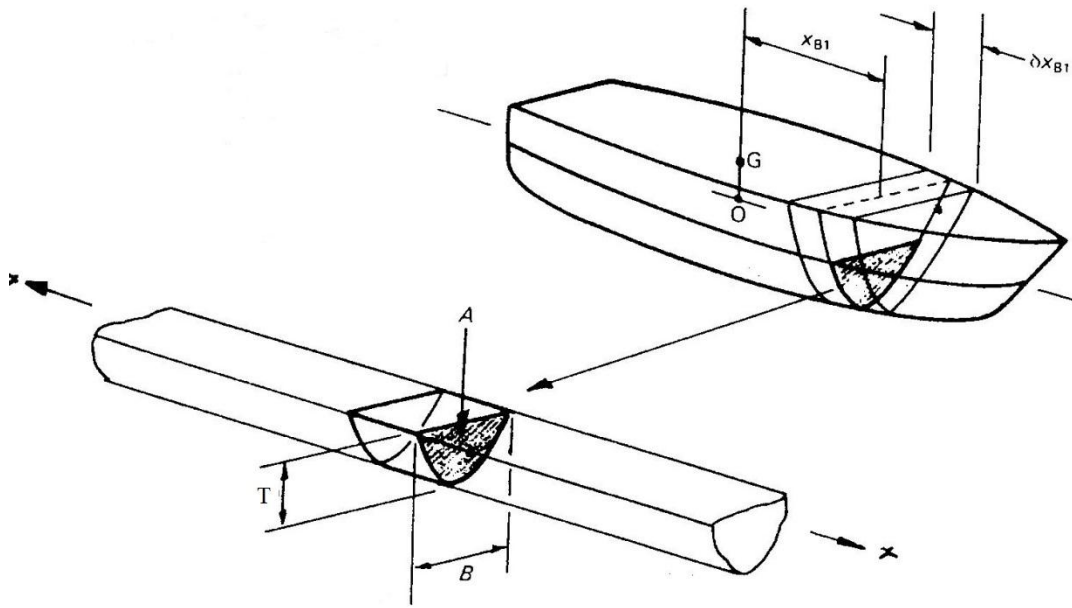
Gemiye ait hareket denklemlerini çözmek için denklemlerdeki katsayıların, uyarıcı kuvvet genliklerinin ve faz açılarının bulunması gereklidir. Bunlar deneysel yöntemlerle elde edilebilseler de bu yöntem rutin hesaplamalar için oldukça zahmetli ve pahalıdır. Bundan dolayı deneye müracaat etmeden gemi hareketlerini çözebilmek için teorik yöntemlerin geliştirilmesine oldukça çaba harcanmıştır. Birçok yazar, örneğin Tasai (1959), Gerritsma ve Beukelman (1967), Salvesen, Tuck ve Faltinsen (1970) ve Schmitke (1978) bu konuya önemli katkılarda bulunmuştur. Onların teorisi genel olarak birbirine benzer, yalnızca detaylarda ve matematiksel işlemlerde farklılaşır. Tüm bu teorilerin ortak yanları aşağıdaki gibi sıralanabilir (Lloyd, 1989):

- a) Gemi ince-uzun bir geometriye sahip olmalıdır.
- b) Tekne rijit olmalıdır, böylece yapıda herhangi bir eğilme olmamalıdır.
- c) Suda kayma olayı olmaması için geminin hızı orta şiddette olmalıdır.

d) Hareketler ufak genlikli olmalıdır.

e) Suyun derinliği dalga boyundan çok büyük olmalıdır, böylece derin su yaklaşımı uygulanabilir olsun ($d / \lambda > 1/2$).

Dilim teorisinde geminin üç boyutlu su altı formunun Şekil 4.2’de gösterildiği gibi, iki boyutlu dilimlerden oluştđu öngörölür. Her bir dilimin δx_b uzunluğunda olduğu ve bu uzunluğun çok küçük olduğu kabul edilir.



Şekil 4.2 : Gemi su altı formunun sonsuz uzunluktaki bir silindirle temsili (Lloyd, 1989).

Her bir dilim, ek su kütlesi, sönüm ve hidrostatik kaldırma kuvveti gibi lokal hidrodinamik özelliklere sahiptir ve bunlar hareket denklemlerindeki bütün gemiye ait katsayılara katkıda bulunur. Benzer şekilde gemiye ait dalga etkileri de tüm dilimlerden gelen katkıyla hesaplanır.

Dilim teorisine göre, bu dilimlere ait lokal hidrodinamik özellikler, Şekil 4.2’de gösterildiği gibi sanki sonsuz uzunluktaki bir silindirin gemidekiyle aynı kesite sahip parçalarıymış gibi düşünülerek hesaplanır. Böylece üç boyutlu etkiler ihmal edilmiş olur.

4.5 İki Boyutlu Hidrodinamik Katsayıları Veren Yöntemlerin Karşılaştırılması

(4.3) ve (4.8) arasında verilen hareket denklemlerindeki katsayıların hesabı, gemi hareketlerinin elde edilmesinin en zor ve zaman alıcı kısmıdır. Gemiye oluşturan

kesitlere ait iki boyutlu ek su kütlesi, sönüm ve uyarıcı kuvvet/momentlerin hesabına yönelik olarak geliştirilen çeşitli yöntemler mevcuttur. Gemi hareketlerinin hesaplanmasında, bu büyüklüklerin hassas ve güvenilir bir şekilde belirlenmesi büyük önem taşımaktadır.

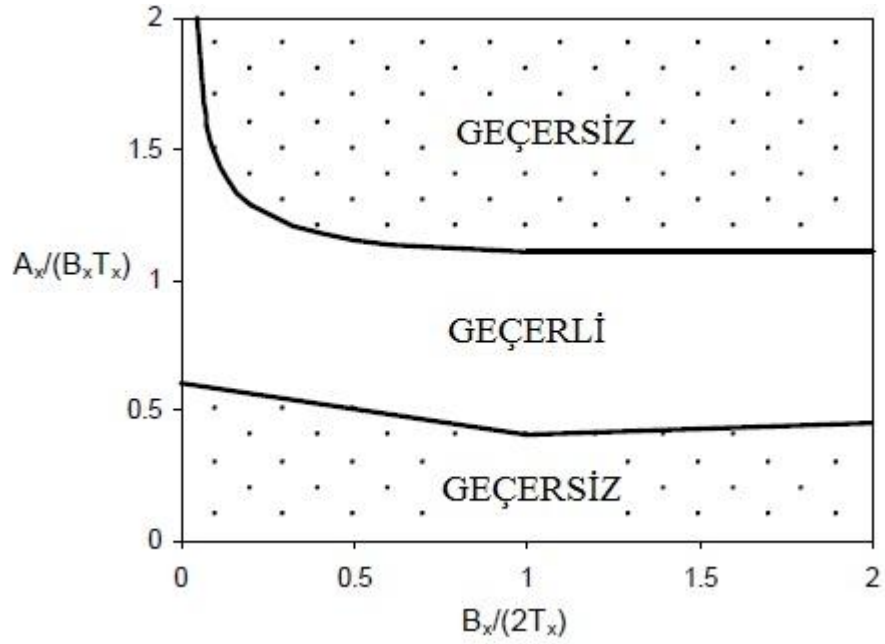
Kesitlere ait iki boyutlu hidrodinamik katsayıların hesaplanmasında yaygın olarak kullanılan dört yöntemden bahsetmek mümkündür:

- i) Lewis-form yöntemi (konformal eşleme)
- ii) Tasai-Porter Close-Fit eşleme yöntemi
- iii) Frank-Close Fit kaynak dağıtım yöntemi
- iv) Hız potansiyelini elde etmede geliştirilmiş direkt yöntem

Yukarıda anılan tüm bu yöntemlerde viskoz etkiler ihmal edilmiş ve lineer dalga teorisi uygulanmıştır. Böylece problem, derin bir suyun serbest yüzeyinde salınım yapan bir silindirin hız potansiyelini elde etmekten ibaret olmaktadır. Hız potansiyelinin bulunmasının ardından ek su kütlesi, sönüm ve uyarıcı kuvvetler (ve momentler) Bernoulli denklemiyle verilen basınçların integrasyonu ile hesaplanır. Bu dört yöntem arasındaki temel fark, silindir-duvar şartının sağlanmasında kullanılan değişik yollardır (Salvesen ve diğ., 1970).

İlk yöntemde, kesitlerin geometrik şekli, verilen kesitle aynı genişliğe, su çekimine ve alana sahip bir Lewis formuyla matematiksel olarak temsil edilir. Fakat burada, temsil edilen formun, verilen kesitin gerçek şekliyle aynı olması gerekli değildir. Bu yöntem hızlı ve birçok geleneksel (klasik) gemi kesiti için yeterince hassastır. Ancak, bu yöntemi her kesit şekli için uygulamak mümkün değildir. Örneğin, geniş yumrubaşlı kesitlerde uygulanamayacağı gibi çok küçük alana sahip kesitlerde de sonuç vermez. Katsayıları hesaplanacak kesitin Şekil 4.3'te belirtilen geçerli bölgede olması gereklidir (Lewis, 1929).

Şekil 4.3'te Lewis Form yönteminin geçerli olduğu alan katsayısı aralığını gösteren grafik verilmiştir. Şekilde verilen grafiğin x eksenini yarı genişlik/su çekimi oranını gösterirken, y ekseninde kesitin alanı/(genişlik.su çekimi) oranı verilmiştir. Yöntemin geçersiz olduğu bölgeler, şekil üzerinde noktalarla taranarak belirtilmiştir.



Şekil 4.3 : Lewis formunun geçerli olduğu bölgenin gösterimi (Lewis, 1929).

Lewis form yönteminin en büyük avantajı, sınır eleman yöntemlerinde ortaya çıkan düzensiz frekansların olmayışdır. Buna karşın, yalpaya ait hidrodinamik katsayılar, kesitlerin yeterince modellenememesinden dolayı doğru olarak elde edilememektedir (McTaggart, 1997).

Tasai-Porter Close-Fit eşleme yönteminde, bir eşleştirme fonksiyonu uygulanarak gemi kesitleri konformal olarak bir çembere eşleştirilmiştir. Burada, istenilen hassasiyeti yakalamak için gerekli miktarda eşleştirme katsayısından yararlanılmıştır (Tasai, 1959 ve Porter, 1960). Eşleştirme katsayılarını belirlemede çeşitli güçlüklerle karşılaşmış; bu yüzden bu yöntemin keyfi seçilen bir gemi formuna ilk olarak başarıyla uygulanması 1967 yılında olmuştur (Smith, 1967).

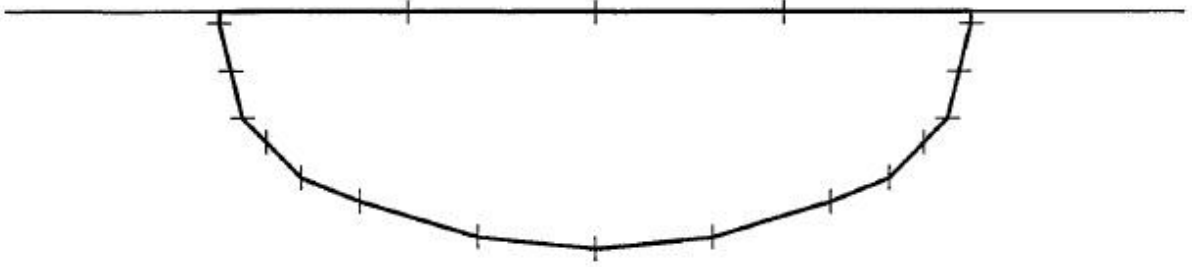
Frank-Close Fit kaynak dağıtım yönteminde, kesitin şekli, verilen bir dizi ofset noktası ve (yaklaşık 8 ile 12 arasında) bu noktalar arasında çizilen doğru parçalarıyla temsil edilmektedir. Silindirin suyun altındaki kısmında çizilen her bir doğru parçası üzerine yerleştirilen sabit şiddetteki kaynak tekilliklerinin dağıtılmasıyla hız potansiyeli elde edilir. Bu kaynak tekillikleri öyle bir şekilde kurulmalıdır ki her biri Laplace denklemini, serbest yüzey şartını ve radyasyon şartını sağlamalıdır. Ardından, lineerleştirilmiş Bernoulli denklemi aracılığıyla hız potansiyelinden hidrodinamik basınçlar elde edilir. Silindirin su altında kalan kısmı üzerinde bu basınçların integrasyonu, hidrodinamik kuvvet bulunur (Frank, 1967).

Frank-Close Fit yöntemi herhangi bir gemi kesiti için pratik ve hassas bir yöntemdir. Ancak, bu yöntem, “düzensiz frekanslar” olarak adlandırılan belirli frekans değerlerinde bozulmaktadır. Frank, genişliği B, su çekimi T olan dalıp-çıkma hareketi yapmakta olan dikdörtgensel bir silindirdeki düzensiz frekansları şu şekilde vermektedir (1967):

$$\omega_j = \sqrt{\frac{j\pi g}{B} \coth\left(\frac{j\pi T}{B}\right)}; j=1,2,3,\dots \quad (4.9)$$

Gemiler için ilk düzensiz frekans ($j=1$), yukarıdaki denklemde verilen değerin daha altında meydana gelmektedir.

Düzensiz frekansları bertaraf etmede kullanılan en popüler yöntem, Bedel (1971), Ohmatsu (1975) ve Ando (1995) tarafından tarif edilmiş olan, gemi kesitinin su hattına bir güverte çizgisi (deck lid) yerleştirme yöntemidir. Şekil 4.4’te kesite yerleştirilen güverte çizgisi gösterilmektedir. Geminin su hattına eklenen bu doğru parçası yeni ilave çizgi kaynaklarını gerektirmektedir. Bu güverte çizgisi üzerinde, keyfi olarak seçilmiş herhangi bir sınır şartı uygulanabilir. Pratikte, normal hızın sıfır olması sınır şartı uygulanmaktadır. Kesite güverte çizgisinin eklenmesi bazı düzensiz frekansları yok etmekle birlikte yeni düzensiz frekanslar yaratmaktadır.



Şekil 4.4 : Güverte çizgisi yerleştirilen ayrıklaştırılmış gemi kesiti.

Hidrodinamik katsayıları bulmaya yönelik karşılaşılan son yöntem ise hız potansiyelini elde etmede geliştirilmiş direkt yöntemdir. Bu yöntem, Slavounos ve Lee (1985) tarafından geliştirilmiş olup kaynak dağıtım yöntemine alternatif olarak gösterilmektedir. Kaynak dağıtım yönteminde olduğu gibi, düzeltilmiş direkt yöntemde düzensiz frekans sorunu yaşanmamaktadır. McTaggart’ın belirttiğine göre, düzeltilmiş direkt yöntem ile tüm düzensiz frekansları yok etmek mümkün olmuştur (1996).

Direkt yöntem, hız potansiyelinin direkt çözümüne izin vermektedir. Bunun için gemi kesiti, birçok ayırık doğru parçasına bölünür. Her bir parçadaki hız potansiyeli ϕ 'nin sabit olduğu kabul edilir.

Daha önce belirtildiği gibi ShipmoPC programında katsayıların hesabı 2 farklı yöntemde yapılabilmektedir. Lewis form ya da sınır eleman yönteminin kullanılmasına ilişkin seçim kullanıcıya bırakılmıştır. Burada sözü edilen sınır eleman yöntemi, Slavounos ve Lee (1985) tarafından geliştirilmiş olan direkt yöntemdir. ShipmoPC'nin alt versiyonlarında kullanılan Frank-Close Fit yöntemi, yerini Slavounos ve Lee'nin direkt yöntemine bırakmıştır (BMT, 2001). Bu tez kapsamında yapılan tüm analizlerde bu yöntemin kullanılması tercih edilmiştir.

4.6 Dilim Teorisinin ShipmoPC Programında Uygulanması

Bir geminin denizcilik performansı ve hareketlerinin tahminini ön dizayn aşamasında, henüz geminin endazesi bile tam oluşmamışken yapmak çok zordur. Böyle bir durumda deney ya da analitik hesaplar kullanılamaz. Bu durumda gemi mühendislerine yardımcı olmak amacıyla Loukakis ve Chrysostomidis (1975) karpuz kıçlı gemiler için Standart Denizcilik Tabloları geliştirmiştir. O çalışmada Seri 60 tipi gemilerin denizcilik performansları analitik olarak hesaplanmış ve temel gemi geometrisi parametrelerinin (blok katsayısı, L/B oranı ve B/T oranı) sistematik değişimleri incelenmiştir. Sonuçlar tam oluşmuş denizler için çeşitli $\bar{H}_{1/3} / L_{BP}$ oranlarında ve $Fn = V / \sqrt{gL_{WL}}$ olarak tanımlanan Froude sayılarında tablolar halinde boyutsuz olarak sunulmuştur.

Loukakis ve Chrysostomidis, yayınlamış oldukları bu çalışmada sadece baştan gelen dalgalarda hesaplar yapmışlar ve $\bar{H}_{1/3} / L_{BP}$ oranını 0.015'den başlatmışlardır (1975). Hâlbuki bu oran uzun gemiler için yüksek deniz durumlarına karşılık gelmektedir. Ayrıca o çalışmada tek parametrelili spektrumu olan Pierson-Moskowitz (1964) deniz spektrumu kullanılarak analitik hesaplar yapılmıştır. Oysaki iki parametrelili spektrumlarda gerçek deniz koşulları daha iyi modellenmektedir (Grigoropoulos ve diğ., 2000).

Bunun üzerine Grigoropoulos ve diğ. Seri 60 formuna sahip gemi tipleriyle aynı çalışmayı bu sefer sadece baştan gelen dalgalarda değil belirli bir açıdan gelen dalgalarda da tekrarlamışlardır (1994). Hesaplarda yine Salvesen ve diğerlerinin

(1970) dilim teorisi kullanılmıştır. Ancak bu yeni yapılan çalışmada tam oluşmuş deniz durumu iki parametrelili spektrum ile (ITTC, 1978) ve metre olarak birim karakteristik dalga yüksekliğinde ($\bar{H}_{1/3}$) modellenmiştir. Ayrıca yapılan tüm hesaplamalarda, 1.5’den 5.0’a kadar 0.5 aralıklarla giden toplam sekiz adet boyutsuz modal dalga periyodu kullanılmıştır. Boyutsuz modal dalga periyodu, denklem (4.10)’da gösterilmiştir.

$$T_p' = \frac{T_p}{\sqrt{L_{BP} / g}} \quad (4.10)$$

Burada;

T_p : Modal dalga periyodu (saniye),

L_{BP} : Kaidemeler arası gemi boyu (metre),

g: Yerçekimi ivmesi (m / sn^2) olarak tanımlanmıştır.

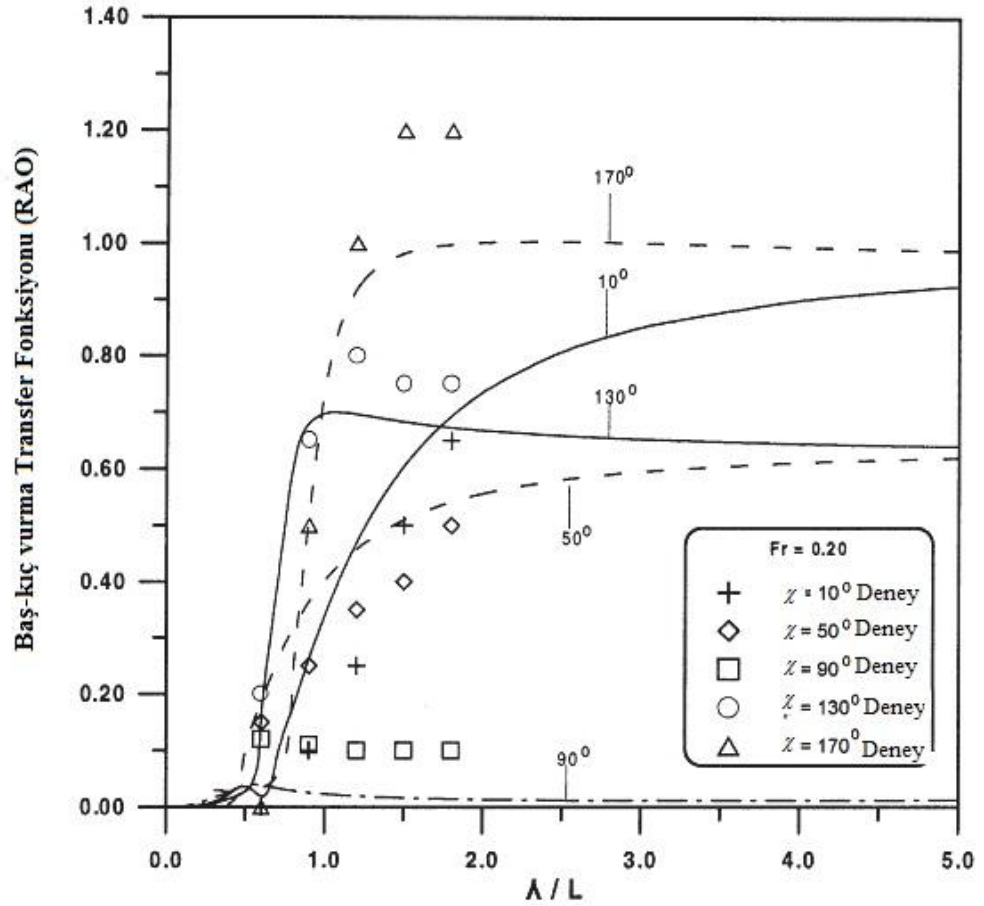
4.6.1 Düzenli dalgalarındaki uygulama

Grigoropoulos ve diğerlerinin (1994, 2000) yapmış oldukları çalışmada belirli bir açıdan gelen düzenli dalgalarda gemi hareketlerini tahmin etmede dilim teorisinin geçerliliğini araştırmak için elde edilen sonuçlar, Wageningen’de yapılan deney sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır (Vossers ve diğ., 1960). Bu amaçla yapılan hesaplarda, Çizelge 4.2’de özellikleri verilen Seri 60 formu gemi tipi kullanılmıştır. Bu bölüm altında aynı geminin verileri (ofset tablosu, temel özellikleri) ShipmoPC programına girilerek analizler yapılmıştır. Böylece programın verdiği sonuçları hem Vossers ve diğerlerinin (1960) elde ettiği deney sonuçlarıyla hem de Grigoropoulos ve diğerlerinin (1994) yayınladığı analitik sonuçlarla karşılaştırma imkânı elde edilmiştir.

Çizelge 4.2 : Hesaplarda kullanılan Seri 60 formu geminin temel özellikleri.

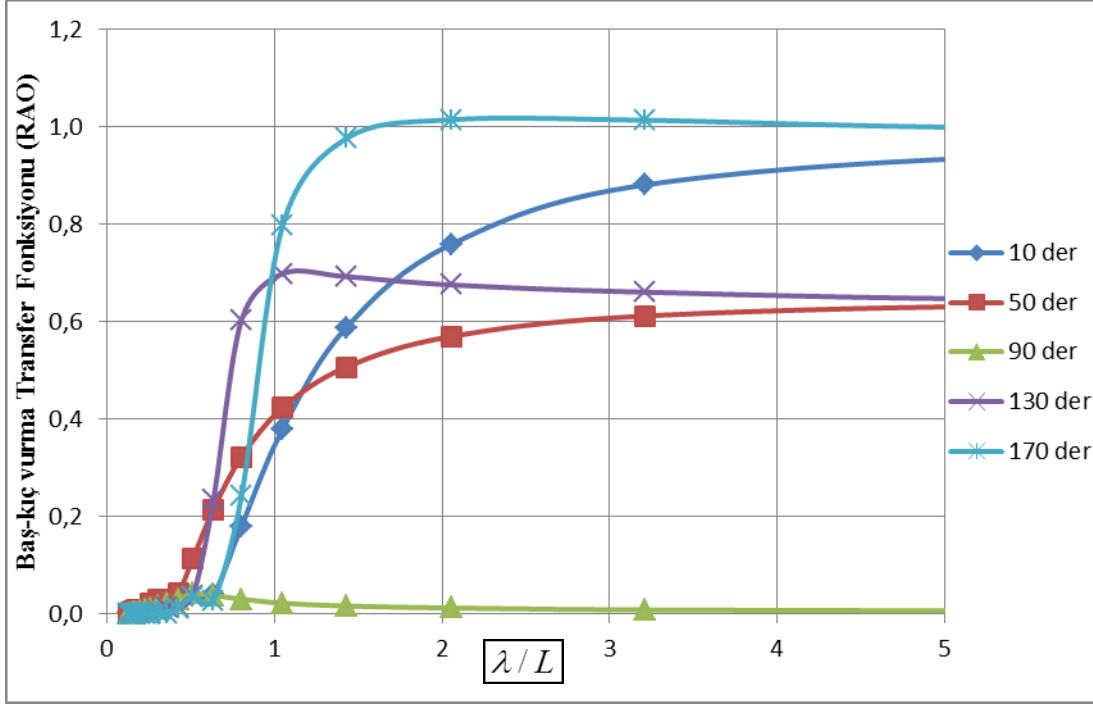
L_{BP}	120.00 metre
B	17.143 metre
T	5.714 metre
C_B	0.70
LCB	+%1 (baş tarafa)

Şekil 4.5’de Grigoropoulos ve diğerlerinin (2000) makalesinde yayınlamış oldukları ve Çizelge 4.2’de özellikleri belirtilen gemiye ait düzenli dalgalarda geminin baş-kıç vurma transfer fonksiyonunun grafiği çeşitli λ/L değerleri için oluşturulmuştur. Ayrıca hesaplanan bu değerlerin deney sonuçlarıyla da karşılaştırılması yapılmıştır (Vossers ve diğ, 1960). Tüm bu hesaplar $Fn=0.20$ durumunda ve çeşitli dalga yönlerinde yapılmıştır.



Şekil 4.5 : Çeşitli dalga yönlerinde 120 m. boyundaki Seri 60 tipi gemi için baş-kıç vurma hareketine ait analitik olarak elde edilen transfer fonksiyonun deney sonuçlarıyla karşılaştırılması (Grigoropoulos ve diğ., 2000).

Çizelge 4.2’de özellikleri verilmiş olan Seri 60 formundaki geminin verileri ShipmoPC programına girilmiş ve programın verdiği sonuçlar Şekil 4.6’da gösterilmiştir.



Şekil 4.6 : ShipmoPC programının verdiği sonuçlarla oluşturulmuş Seri 60 formundaki gemiye ait dalıp-çıkma transfer fonksiyonu ($Fr=0.20$).

Şekil 4.5 ve 4.6'da verilen grafikler birlikte değerlendirildiğinde görülmektedir ki, ShipmoPC programının verdiği sonuçlar ile Grigoropoulos ve diğerlerinin (2000) elde ettikleri sonuçlar büyük bir uyum göstermektedir. Böylece programın, teoriyi doğru olarak uyguladığı yönünde bir fikir oluşmuştur.

4.6.2 Karışık dalgalarındaki uygulama

Geminin düzenli dalgalarındaki transfer fonksiyonlarının belirlenmesi ve görev yapacağı deniz sahalarına ait dalga spektrumlarının elde edilmesiyle karışık denizlerdeki hareketlerini belirlemek mümkündür. Bunun için lineer süperpozisyon ilkesinden yararlanılmaktadır. Yani

$$S_{zz} = S_{\zeta\zeta} |RAO|^2 \quad (4.11)$$

Denklem (4.11)'de verilen $S_{\zeta\zeta}$ dalga spektral fonksiyonu, S_{zz} hareket spektrumu ve RAO ise hesap yapılan harekete ait genlik karşılık fonksiyonudur (transfer fonksiyonu). Bu yolla oluşturulan hareket spektrumu ile geminin karışık denizlerdeki hareketlerine ilişkin bütün istatistiki veriler oluşturulabilir.

Grigoropoulos ve diğerlerinin (1994, 2000) yayınlamış oldukları makalede, Bretschneider Spektrumunu (ITTC, 1978) kullanılarak denklem (4.10)'da verilmiş

olan çeşitli boyutsuz modal dalga periyotlarında tam oluşmuş deniz durumunda analitik hesaplar yapılmış ve sonuçları grafik ve tablolar halinde sunulmuştur. Hesaplarda karakteristik dalga yüksekliğinin 1 metre olarak alındığı ifade edilmiştir.

Çizelge A.1’de Grigoropoulos ve diğerlerinin (2000) makalesinde yayınlamış oldukları çeşitli dalga yönlerinde gemiye ait boyutsuzlaştırılmış dalıp-çıkma ve baş-kıç vurma değerleri verilmiştir.

Çizelge A.1’de gösterilen boyutsuz değerler aşağıda verilen şekilde oluşturulmuştur:

Dalıp-çıkma hareketi = (metre cinsinden RMS dalıp-çıkma miktarı) $\times 10^6 / (L_{BP} \bar{H}_{1/3})$

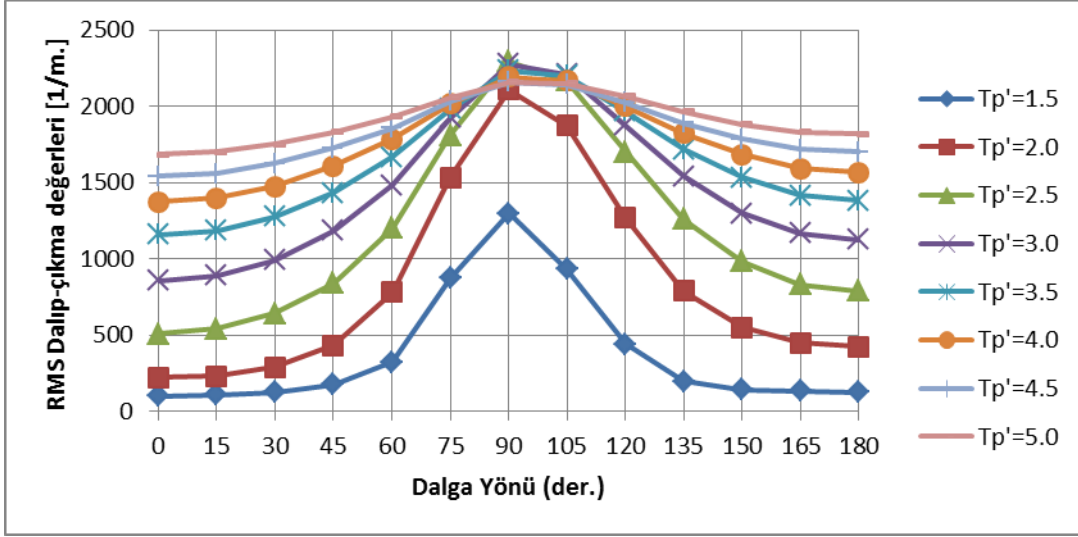
Baş-kıç vurma hareketi = (derece cinsinden RMS baş-kıç vurma miktarı) $\times 10^4 / \bar{H}_{1/3}$

Çizelge A.1’de verilen değerler, bu kez ShipmoPC programının verdiği sonuçlar ile aynı şekilde boyutsuz hale getirerek tekrar oluşturulmuş ve Çizelge A.2’de sunulmuştur.

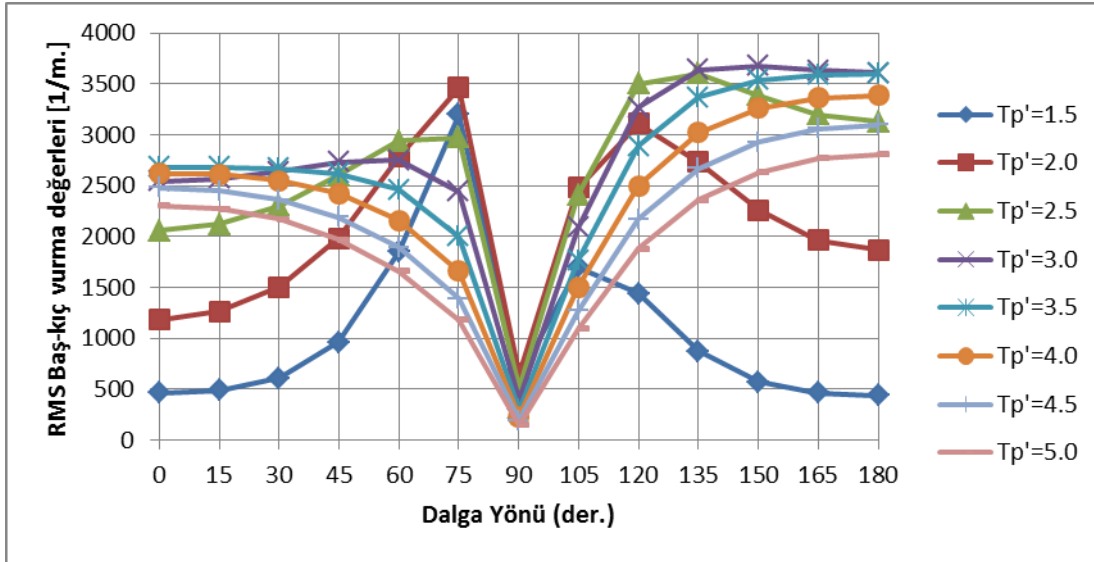
Ek A’da verilen çizelgelerin birbirlerinden farkına bakıldığında, ortalama olarak hesaplanan fark, dalıp-çıkma hareketi için %8.89 ve baş-kıç vurma hareketi için %10.92 olmaktadır. Bu farkın, hidrodinamik modellemede yapılan kabullerden ve kütle ağırlık dağılımındaki farklılıktan ileri geldiği düşünülmektedir. Yine de ShipmoPC programının vermiş olduğu sonuçların makaledeki sonuçlara (Grigoropoulos ve diğ., 2000) çok yakın olduğu söylenebilir.

Çizelge A.2’de verilen sonuçlar, Şekil 4.7 ve Şekil 4.8’de $F_n=0.20$ için çeşitli boyutsuz modal dalga periyotlarında grafik olarak verilmiştir. Böylece dalıp-çıkma ve baş-kıç vurma hareketlerinin yapısı bu grafiklerden daha rahat anlaşılacaktır.

Sonuçlara göre, dalıp-çıkma hareketinde rezonans değerleri 90° dalga geliş açısı civarında meydana gelmektedir (Şekil 4.7) ve baş-kıç vurma rezonans durumu ise düşük deniz durumlarında (düşük T_p' değerlerinde) baştan gelen dalgalarda değil, bordadan gelen dalgalarda (75° ’ye yakın) oluşmaktadır (Şekil 4.8).



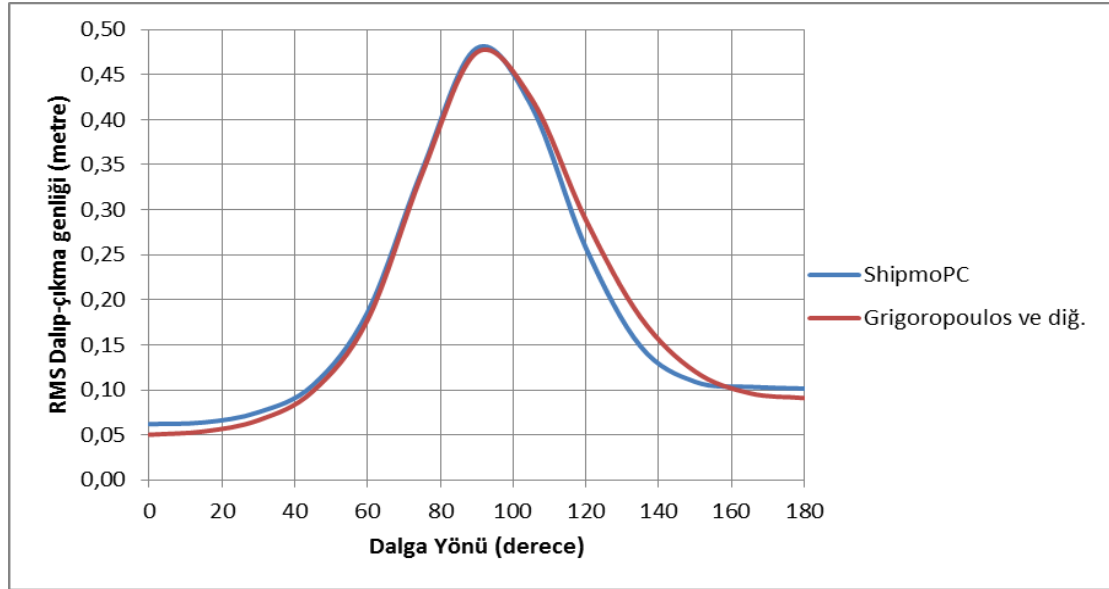
Şekil 4.7 : ShipmoPC'nin verdiği sonuçlara göre oluşturulmuş çeşitli modal dalga periyotlarındaki boyutsuzlaştırılmış RMS dalıp-çıkma hareketi (her 1 m. $\bar{H}_{1/3}$ değeri için).



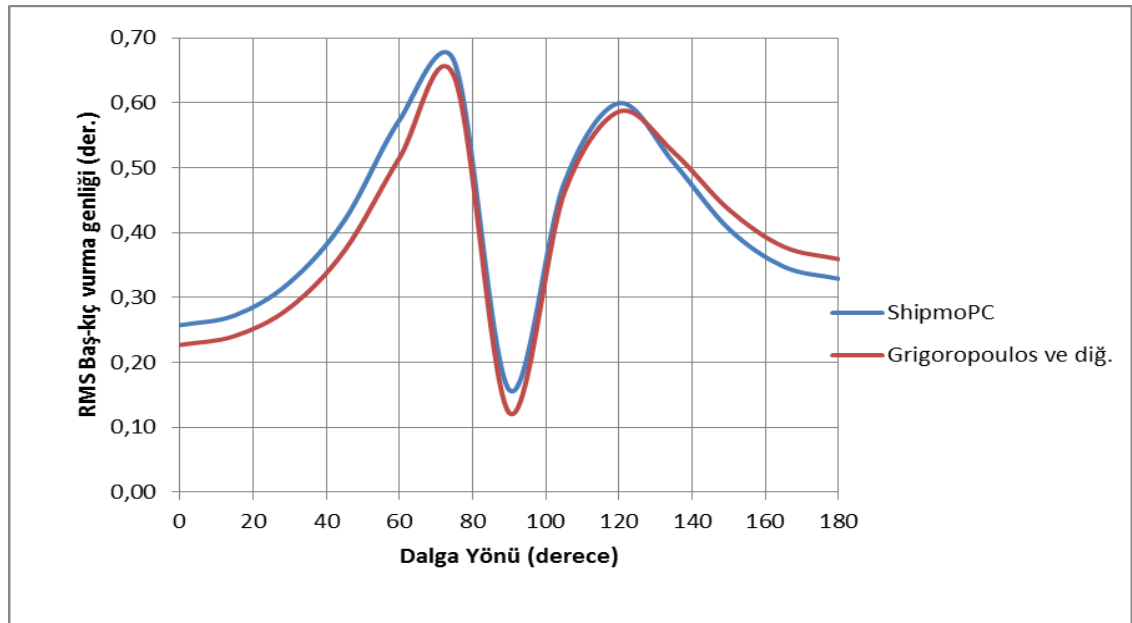
Şekil 4.8 : ShipmoPC'nin verdiği sonuçlara göre oluşturulmuş çeşitli modal dalga periyotlarındaki boyutsuzlaştırılmış RMS baş-kıç vurma hareketi (her 1 m. $\bar{H}_{1/3}$ değeri için).

Özellikleri Çizelge 4.2'de verilmiş olan Seri 60 gemisinin 4 deniz şiddetinde karışık dalgalarındaki dalıp-çıkma ve baş-kıç vurma hareketlerine ait ShipmoPC programının verdiği sonuçlar Grigoropoulos ve diğerlerinin (1994) denizcilik tablolarında verdiği sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Bu mukayese sonucunda elde edilen grafikler Şekil 4.9 ve Şekil 4.10'da verilmiştir.

Burada yapılan hesaplar, 1.88 metre karakteristik dalga yüksekliği ve 7 sn. modal dalga periyodu için oluşturulmuş Bretschneider Spektrumu kullanılarak yapılmıştır. Gemi hızı 6.67 knot olarak alınmış, böylece Froude sayısı 0.1’de analizler gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.9 : 4 deniz şiddetinde karışık dalgalarda RMS dalıp-çıkma genliğinin karşılaştırılması ($F_n=0.10$).

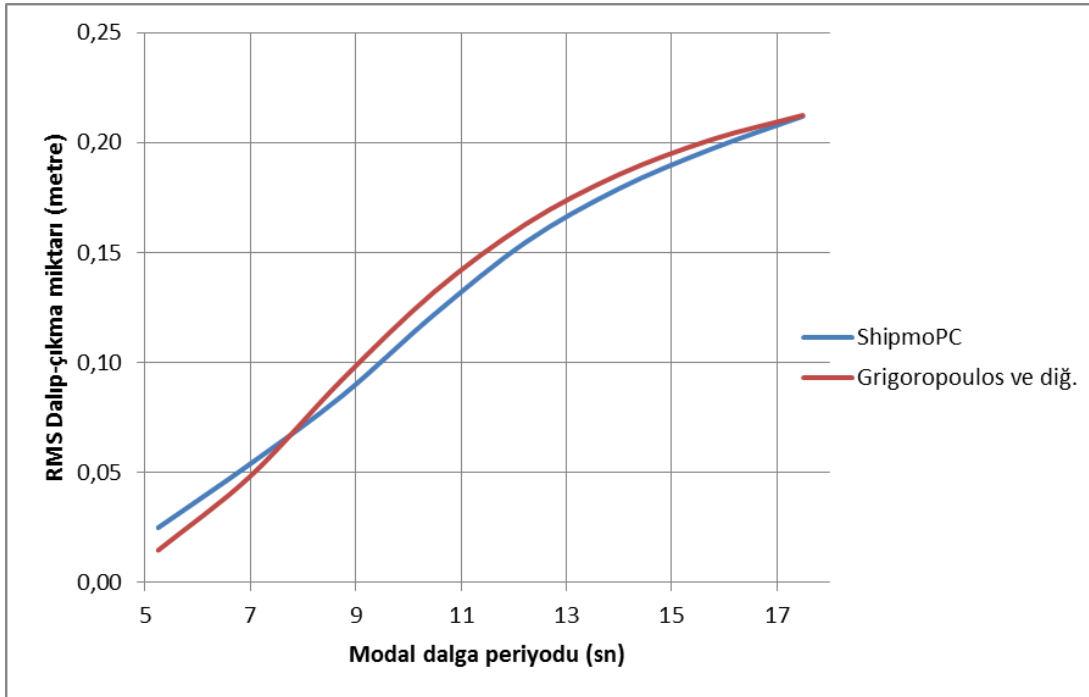


Şekil 4.10 : 4 deniz şiddetinde karışık dalgalarda RMS baş-kıç vurma genliğinin karşılaştırılması ($F_n=0.10$).

Şekil 4.9 ve 4.10’da açıkça görüldüğü gibi karışık dalgalarda geminin baş-kıç vurma ve dalıp-çıkma hareketlerinin tahmininde ShipmoPC programı ile Grigoropoulos ve

diğerlerinin (1994) oluşturdıkları denizcilik tabloları gayet uyumlu sonuçlar vermektedir.

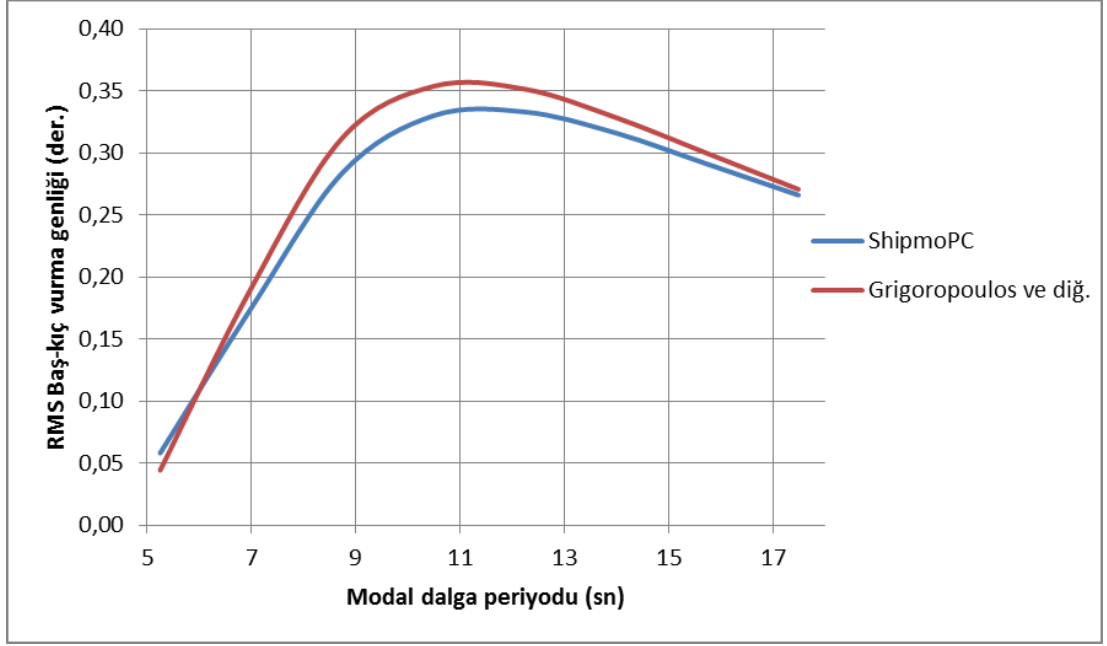
Geminin baştan gelen dalgalarda 1 metre karakteristik dalga yüksekliği için çeşitli modal dalga periyotlarındaki baş-kıç vurma ve dalıp-çıkma tepkileri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar Grigoropoulos ve diğerlerinin (1994) vermiş oldukları denizcilik tablolarındaki değerlerle de karşılaştırılmış ve Şekil 4.11-4.12’de sunulmuştur. Hesaplarda gemi hızı sabit tutulmuş ve 0.1 Froude sayısında analizler gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.11 : Birim karakteristik dalga yüksekliği değerinde çeşitli modal dalga periyotlarında geminin RMS dalıp-çıkma genlik değerlerinin karşılaştırılması ($F_n=0.10$).

Şekil 4.11’de verilen grafikten görüldüğü gibi modal dalga periyodu arttıkça geminin dalıp-çıkma genlik değerinde de bir artış görülmektedir.

Şekli 4.12’den anlaşılacağı gibi yaklaşık 11 sn. modal dalga periyodu değerine kadar, artan dalga periyodu değerine karşılık geminin baş-kıç vurma genliği artarken, bu değerden sonra genliklerde azalma görülmektedir. Bununla birlikte, verilen grafikte ShipmoPC ile elde edilen değerler ile Grigoropoulos ve diğerlerinin vermiş olduğu sonuçların birbirine çok yakın olduğu açıkça görülmektedir.



Şekil 4.12 : Birim karakteristik dalga yüksekliği değerinde çeşitli modal dalga periyotlarında geminin RMS baş-kıç vurma genlik değerlerinin karşılaştırılması (Fn=0.10).

4.6.3 Düşey ivme hesaplarının yapılması

Gemi üzerinde alınan herhangi bir noktadaki düşey ivme genliği $(\ddot{z})_a$ denklem (4.12)'de verildiği gibi hesaplanır:

$$(\ddot{z})_a^2 = (\ddot{z})_a^2 + x_b^2 (\ddot{\theta})_a^2 + 2(\ddot{z})_a (\ddot{\theta})_a x_b \cos \varepsilon \quad (4.12)$$

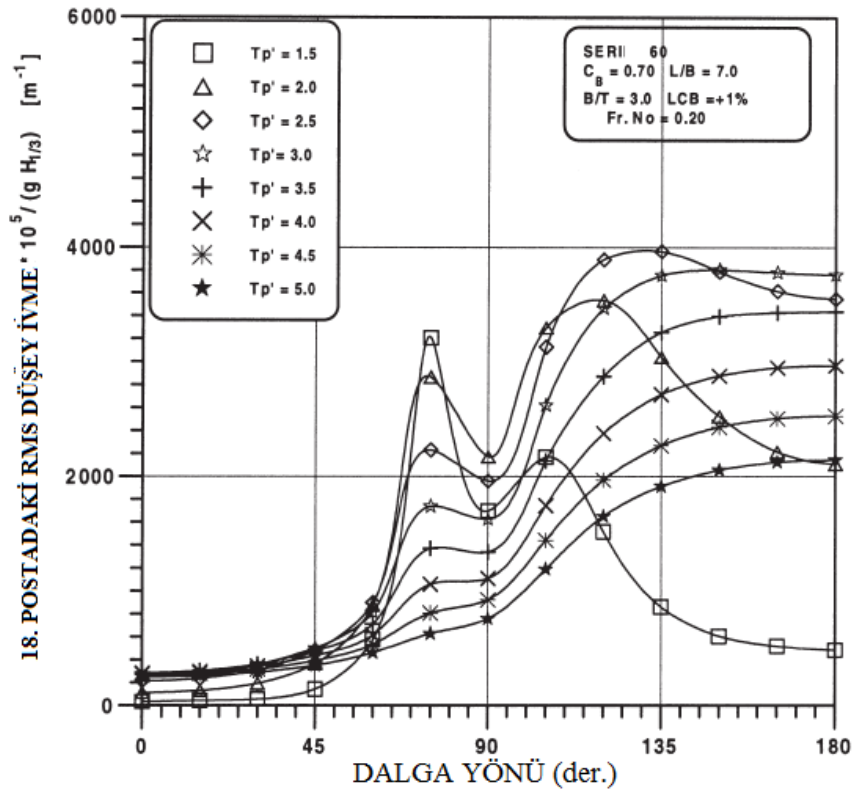
Burada $(\ddot{z})_a$ geminin ağırlık merkezindeki dalıp-çıkma ivmesinin genliği $[m / sn^2]$ ve $(\ddot{\theta})_a$ ağırlık merkezindeki baş-kıç vurma ivmesinin genliği $[rad / sn^2]$ olarak tanımlanmıştır. x_b ise düşey ivme hesabı yapılacak noktanın geminin ağırlık merkezinden olan boyuna uzaklığıdır [metre] (Bhattacharyya, 1978).

Özellikleri Çizelge 4.2'de verilmiş olan Seri 60 formuna sahip geminin ofseti 20 postada oluşturulmuştur. 0. posta kıç dikme ve 20. posta baş dikme olarak alınmıştır. Düşey ivme hesabı ise 18. postada yapılmıştır.

Grigoropoulos ve diğerlerinin (2000) makalelerinde belirtmiş oldukları geminin 18. postasına ait düşey ivme grafikleri, ShipmoPC programının verdiği sonuçlarla tekrar oluşturulmuş ve böylece iki grafiğin karşılaştırılmasına gidilmiştir.

Şekil 4.13'de Grigoropoulos ve diğerlerinin (2000) makalesinde yer alan Fn=0.20 değerinde geminin 18. postasına ait düşey ivme grafiği verilmiştir. Grafik, çeşitli

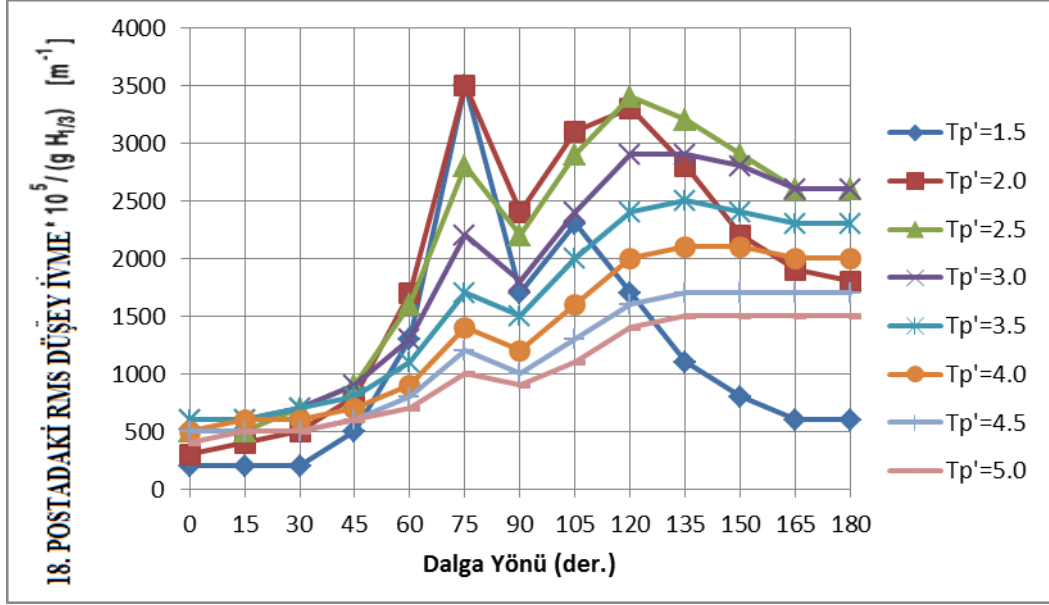
boyutsuz modal dalga periyotları için oluşturulmuş ve 1 metre karakteristik dalga yüksekliği için verilmiştir.



Şekil 4.13: Analitik olarak hesaplanan Seri 60 formundaki gemiye ait 18. postadaki RMS düşey ivme değerleri, $Fn=0.20$ (Grigoropoulos ve diğ., 2000).

Aynı gemiye ait 18. postadaki düşey ivme grafiği bu kez ShipmoPC programının verdiği sonuçlarla tekrar oluşturulmuş ve Şekil 4.14’de gösterilmiştir.

Şekil 4.13 ve Şekil 4.14’ten görüldüğü gibi, düşey ivme değerleri düşük deniz durumlarında 75° civarı dalga geliş açısında en büyük değerlerine ulaşmaktadır. Yüksek deniz durumlarında ise bu açının 135° olduğu görülmektedir. Düşey ivme eğrilerinin formunun deniz şiddetlerine göre farklılık gösterdiği belirtilmelidir.



Şekil 4.14 : Çeşitli boyutsuz modal dalga periyotlarında ShipmoPC'nin verdiği sonuçlarla oluşturulan Seri 60 formundaki gemiye ait 18. postadaki RMS düşey ivme grafiği ($F_n=0.20$).

ShipmoPC programının verdiği sonuçlarla çeşitli Froude sayılarında ve boyutsuz modal dalga periyotlarında oluşturulan 18. postadaki RMS düşey ivme değerlerine ilişkin tablo Çizelge 4.3'de verilmiştir. Grigoropoulos ve diğerlerinin (1994) makalesinde yer alan değerler ise Çizelge 4.4'de sunulmuştur. Çizelgelerde gösterilen değerler şu şekilde hazırlanmış olup hesaplar birim karakteristik dalga yüksekliğinde yapıldığı için m^{-1} boyutundadır:

$$\text{İvme} = (\text{RMS İvme değeri}) \times 10^5 / (g \bar{H}_{1/3})$$

Çizelge 4.3'de verilen değerler, Çizelge 4.4 ile karşılaştırıldığında oluşturulan her iki tablo arasında yaklaşık %20'lik bir fark olduğu ve birçok değerde ShipmoPC'nin daha yüksek ivme değerleri verdiği anlaşılmaktadır.

Çizelge 4.3 : Blok katsayısı= 0.70, L/B=7.0, B/T=3.0 olan Seri 60 formundaki geminin 18. postasına ait düşey ivme değerleri (Grigoropoulos ve diğ., 2000).

DALGA YÖNÜ														
Fn	Tp'	0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180
0.0	1.5	800	800	900	1000	1700	3200	2000	2400	1900	1100	900	800	800
	2.0	1100	1100	1300	1600	2600	3800	2700	3000	2800	1900	1400	1200	1200
	2.5	1200	1300	1400	1700	2500	3300	2400	2600	2600	2000	1600	1400	1300
	3.0	1200	1300	1400	1600	2100	2600	2000	2100	2200	1800	1500	1300	1300
	3.5	1100	1200	1200	1400	1700	2100	1600	1700	1800	1500	1300	1200	1200
	4.0	1000	1000	1100	1200	1400	1700	1300	1400	1500	1300	1100	1100	1100
	4.5	900	900	900	1000	1200	1400	1100	1200	1200	1100	1000	900	900
	5.0	800	800	800	900	1000	1100	900	1000	1000	900	800	800	800
0.1	1.5	400	500	600	900	1600	3400	1900	2300	1900	1200	800	700	700
	2.0	600	700	800	1200	2100	3700	2600	3000	3100	2400	1800	1600	1500
	2.5	800	800	1000	1300	2000	3100	2300	2800	3000	2600	2200	2000	1900
	3.0	800	900	1000	1200	1700	2400	1900	2300	2600	2400	2100	1900	1900
	3.5	800	800	900	1100	1400	1900	1600	1800	2100	2000	1800	1700	1700
	4.0	700	800	800	900	1200	1500	1300	1500	1700	1700	1600	1500	1500
	4.5	700	700	700	800	1000	1300	1110	1300	1400	1400	1300	1300	1300
	5.0	600	600	600	700	800	1000	900	1100	1200	1200	1100	1100	1100
0.2	1.5	200	200	200	500	1300	3500	1700	2300	1700	1100	800	600	600
	2.0	300	400	500	800	1700	3500	2400	3100	3300	2800	2200	1900	1800
	2.5	500	500	700	900	1600	2800	2200	2900	3400	3200	2900	2600	2600
	3.0	600	600	700	900	1300	2200	1800	2400	2900	2900	2800	2600	2600
	3.5	600	600	700	800	1100	1700	1500	2000	2400	2500	2400	2300	2300
	4.0	500	600	600	700	900	1400	1200	1600	2000	2100	2100	2000	2000
	4.5	500	500	500	600	800	1200	1000	1300	1600	1700	1700	1700	1700
	5.0	400	500	500	600	700	1000	900	1100	1400	1500	1500	1500	1500
0.3	1.5	100	100	100	200	900	3400	1600	2200	1600	1000	700	600	500
	2.0	200	200	300	500	1200	3200	2200	3200	3400	2900	2400	2100	2000
	2.5	300	400	400	700	1200	2600	2100	3000	3700	3600	3400	3200	3100
	3.0	400	400	500	700	1000	2000	1700	2500	3200	3400	3400	3300	3300
	3.5	400	400	500	600	900	1600	1400	2100	2700	2900	3000	3000	3000
	4.0	400	400	500	600	800	1300	1200	1700	2200	2500	2500	2600	2600
	4.5	400	400	400	500	700	1100	1000	1400	1800	2100	2100	2200	2200
	5.0	300	300	400	400	600	900	800	1200	1500	1700	1800	1800	1900

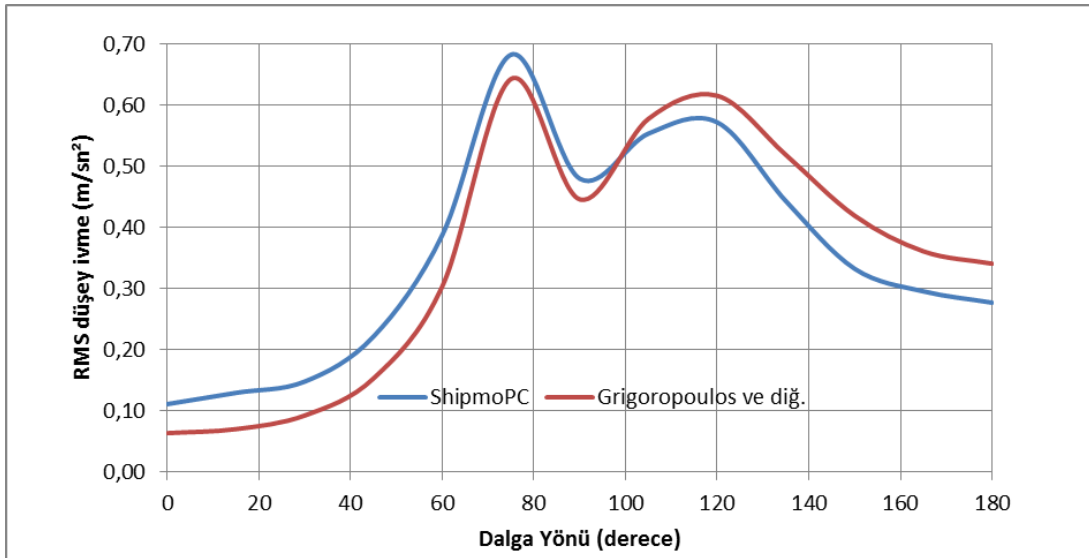
Çizelge 4.4 : ShipmoPC programı kullanılarak elde edilmiş blok katsayısı= 0.70, L/B=7.0, B/T=3.0 olan Seri 60 formundaki geminin 18. postasına ait düşey ivme değerleri.

DALGA YÖNÜ														
Fn	Tp'	0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180
0.0	1.5	725	746	877	936	1729	3263	2070	2509	1973	1121	901	841	799
	2.0	1068	1106	1252	1561	2604	3799	2730	2986	2778	1882	1387	1213	1158
	2.5	1226	1266	1415	1712	2448	3198	2412	2608	2562	1949	1548	1371	1316
	3.0	1212	1246	1360	1574	2051	2516	1951	2110	2126	1731	1459	1327	1285
	3.5	1113	1136	1211	1360	1686	1992	1578	1704	1738	1472	1284	1194	1165
	4.0	986	1003	1057	1155	1385	1607	1291	1378	1426	1237	1108	1045	1025
	4.5	859	870	907	980	1151	1285	1061	1120	1179	1043	948	901	887
	5.0	745	753	777	834	953	998	860	904	965	884	809	774	765
0.1	1.5	167	192	261	558	1303	3556	1819	2323	1825	1144	818	651	602
	2.0	342	378	499	828	1645	3485	2416	3131	3336	2810	2271	1955	1846
	2.5	520	555	674	944	1547	2788	2162	2864	3347	3172	2854	2619	2532
	3.0	584	614	708	907	1320	2164	1774	2362	2870	2870	2704	2557	2500
	3.5	576	598	669	813	1103	1702	1449	1919	2349	2406	2342	2272	2241
	4.0	535	552	605	710	926	1349	1192	1561	1926	2009	1976	1935	1917
	4.5	484	497	538	617	779	1044	987	1282	1595	1676	1666	1642	1630
	5.0	434	444	476	539	651	782	808	1046	1328	1412	1413	1399	1391
0.2	1.5	40	55	86	143	581	3250	1679	2208	1523	855	600	510	474
	2.0	115	132	194	366	877	2878	2152	3336	3566	3059	2535	2223	2113
	2.5	216	237	311	484	899	2238	1943	3156	3921	3990	3808	3636	3566
	3.0	271	291	358	503	815	1742	1614	2639	3489	3776	3825	3799	3779
	3.5	288	305	361	477	712	1373	1330	2150	2890	3276	3414	3447	3454
	4.0	283	297	343	436	616	1060	1103	1753	2390	2728	2891	2962	2980
	4.5	268	280	318	392	534	807	916	1448	1978	2281	2444	2519	2539
	5.0	249	259	291	352	461	628	755	1193	1659	1922	2064	2135	2156
0.3	1.5	166	132	60	59	259	2035	1657	2128	1249	686	514	425	384
	2.0	102	85	70	151	470	1896	1986	3604	3662	2975	2388	2045	1933
	2.5	96	96	125	233	533	1546	1789	3522	4435	4512	4314	4102	4016
	3.0	113	123	164	269	517	1239	1497	2982	4058	4528	4674	4703	4699
	3.5	129	140	181	274	473	1003	1241	2430	3448	4021	4289	4414	4448
	4.0	137	148	185	264	424	805	1035	1979	2849	3395	3711	3894	3949
	4.5	139	149	181	247	378	645	860	1638	2365	2862	3154	3305	3354
	5.0	137	146	173	229	336	524	709	1358	1990	2408	2677	2821	2867

Özellikleri Çizelge 4.2’de verilmiş olan geminin 4 deniz şiddetinde karışık dalgalarındaki 18. postasında oluşan düşey ivme değerlerine ilişkin ShipmoPC programının verdiği sonuçlar, Grigoropoulos ve diğerlerinin (1994) denizcilik tablolarında verdiği sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

Burada yapılan hesaplarda, 1.88 metre karakteristik dalga yüksekliği ve 7 sn modal dalga periyodu için oluşturulmuş Bretschneider Spektrumu kullanılmıştır. Geminin boyutsuz Froude sayısı 0.1 alınarak analizler gerçekleştirilmiştir.

Şekil 4.15’de bu analizlerin sonucu karşılaştırılmalı olarak gösterilmiştir. Şekilde verilen grafiğin yatay eksenini dalga yönünü göstermekte, düşey eksen ise m/sn^2 cinsinden RMS düşey ivme değerlerini vermektedir.



Şekil 4.15 : 4 deniz şiddetinde karışık dalgalarda 18. postaya ait RMS düşey ivme değerlerinin karşılaştırılması ($F_n= 0.10$).

4.7 Sonuçlar

Özellikleri verilmiş olan Seri 60 formundaki gemiyle yapılan analiz sonuçları, Grigoropoulos ve diğerlerinin (1994, 2000) verdiği sonuçlarla karşılaştırıldığında, programın dilim teorisini uygulamada başarılı olduğu konusunda bir görüş sahibi olunmuştur. Buna göre elde edilen sonuçlar arasında, karışık dalgalarındaki baş-kıç vurma değerleri için %10.92’lik, dalıp-çıkma değerleri içinse %8.9’luk bir fark söz konusudur. Bu farkın gemi kesitlerinin hidrodinamik özelliklerini elde etmede kullanılan yöntemlerin farklılığından ve gemiye ilişkin olarak yapılan çeşitli kabullerden ileri geldiği düşünülmektedir. ShipmoPC ile yapılan hesaplarda

kesitlerin hidrodinamik özelliklerini bulmada iki boyutlu sınır eleman yöntemi kullanılmıştır.

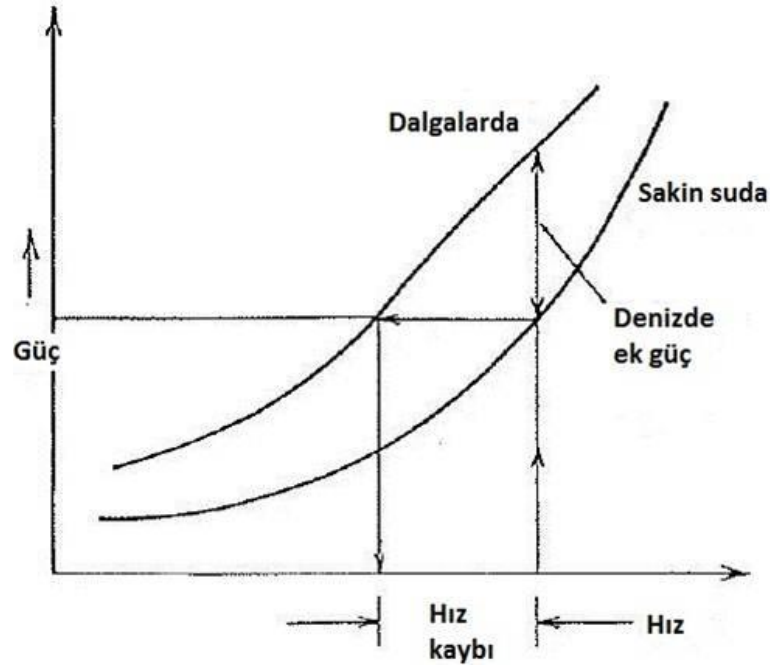
Geminin çeşitli modal dalga periyotlarında karışık denizlerdeki baş-kıç vurma hareketine bakıldığında, düşük deniz durumlarında rezonans değerinin baştan gelen değil, bordadan gelen dalgalarda ortaya çıktığı görülmektedir. Dalıp-çıkma hareketinde ise bu değer 90° dalga yönü civarında meydana gelmektedir.

Yapılan düşey ivme analizlerinde ise düşük deniz durumlarında 18. postadaki en fazla ivme değerleri 75° dalga yönünde görülürken, yüksek deniz durumlarında bu açı 135° olmaktadır. Ayrıca, Grigoropoulos ve diğerlerinin (1994) yayınladıkları sonuçlarla karşılaştırıldığında arada %20'lik bir fark olduğu ve birçok değerde ShipmoPC'nin daha fazla tahmin ettiği anlaşılmaktadır.

Geminin düzenli dalgalarındaki baş-kıç vurma genlik karşılık fonksiyonları elde edilmiş ve sonuçlar Vossers ve diğerlerinin vermiş oldukları (1960) deney sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Buna göre ShipmoPC programı yardımıyla elde edilen değerlerin deney sonuçlarıyla uyumlu olduğu görülmektedir.

5. GEMİLERDE SEYİR HALİNDEKİ HIZ KAYBI VE EK DİRENÇ

Gemilerin denizdeki seyirlerinde hızlarını koruma yetenekleri en önemli dizayn amaçlarından biridir. Genellikle denizde belli bir hız değerine erişmek için gerekli güç hesabı, geminin sakin sudaki performansını dalga ve rüzgârlardan gelen etkiyi hesaba katarak %15 ila %30 oranında artırmak suretiyle yapılır. Ancak denizcilik hesaplarında ek direnç, ya analitik yöntemlerle ya da deneysel tekniklerle yapılır. Seyir halinde ortaya çıkan ek direnç, gemi hızının sağlanması için güç artışıyla ortaya çıkar veya geminin aynı güçte seyre devam edebilmesi için hız düşüşüyle kendisini gösterir. Bu durum, Şekil 5.1’de gösterilmiştir (Bhattacharyya, 1978).



Şekil 5.1 : Gemilerde seyir halindeki hız kaybı ya da ek güç (Bhattacharyya, 1978).

5.1 Giriş

Bu bölümde, öncelikle gemilerde hız kaybının sebepleri sıralanmıştır. Düzgün dalgalarda ek direnci analitik olarak ortaya koyan çeşitli araştırmacılara ait denklemlere yer verilmiş ve bu denklemlerin özelliklerinden söz edilmiştir. Daha sonra, ek direnç konusundaki analitik araştırmalara dayanan genel sonuçlar

belirtilmiştir. Ardından, karışık dalgalarda ek direncin analitik olarak nasıl hesaplanacağı konusunda bilgiler verilmiştir.

ShipmoPC programında ek direnç, yakın alan yöntemi kullanılarak tahmin edilmektedir. Bu yöntemin uzak alan yönteminden farkı ve bu iki yöntemin karşılaştırılması bu bölümde yapılmıştır. Bu amaçla, McTaggart'ın ShipmoPC programını kullanarak Seri 60 formuna sahip çeşitli gemiler için baştan gelen dalgalarda, FFG 7 fırkateyni içinse baştan ve belirli bir açıdan gelen dalgalarda yapmış olduğu ek direnç tahminlerine yer verilmiştir. O çalışmada elde edilen sonuçlar ekte grafikler halinde sunulmuştur. Ayrıca deney sonuçları ve çeşitli diğer yöntemlerle karşılaştırılmıştır. Son olarak da kabarma düzeltmesinin ek direnç üzerine etkisi araştırılmıştır ve hangi gemi tiplerinde bu düzeltmenin kullanılması gerektiği belirtilmiştir.

5.2 Gemilerde Hız Kaybı

Seyir halindeki gemide ortaya çıkan hız kaybı, yalnız dalgalardan dolayı oluşan ek dirençten meydana gelmez. Bazen hız, geminin sert baş-kıç vurma ve dalıp-çıkma hareketlerinden kaçınmak için isteyerek azaltılabilir. Hız kaybındaki çeşitli sebepler şöyle sıralanabilir (Bhattacharyya, 1978):

1. Gemi tekne ve üst yapısına gelen rüzgârdan dolayı oluşan ek direnç.
2. Hareketlerden dolayı dirençteki artış – baş-kıç vurma ve dalıp-çıkma hareketleri, yalpadan daha büyük etkiye sahiptir.
3. Teknedeki dalga yansımalarından dolayı oluşan ek direnç.
4. Sürüklenme açısına bağlı olarak dirençteki artış ya da rüzgâr, dalgalar ve de dümen hareketlerinden oluşan yan öteleme ve savrulma hareketleri.
5. Seyir halindeki pervanenin çalışma şartlarının sakın sudakinden farklı olmasından ileri gelen pervane sevk verimindeki azalma. Bu çalışma şartları şöyle sıralanabilir:
 - a. Dirençteki artış pervanenin aşırı yüklenmesine sebep olur.
 - b. Hızdaki azalma pervaneye farklı hızlarda akımın gelmesine neden olur.
 - c. Hareketler, pervaneye farklı hızlarda ve yönlerde akım gelmesine neden olur.
 - d. Pervanenin suyun içine batıp çıkması hava emilimine neden olur.
 - e. Değişen şartlar sevk makinesinin karakteristiğini etkiler.
6. Makine gücünün isteyerek azaltılması şu sebeplere bağlıdır:

- a. Aşırı miktarda yeşil suyun taşınması
- b. Dövünme
- c. Aşırı miktarda ivmelenmeler
- d. Pervane hızının ani yükselmesi (pervanenin su yüzeyine girip çıkmasına bağlı olarak)
- e. Gemiye rotada tutmaktaki zorluklar

Seyir halinde meydana gelen ek direnç, ya model deneylerinden ya da analitik yollardan tahmin edilir. Model deneyleri yapılması durumunda, model düzgün ya da karışık dalgalarda çekilir ve dalgalı durumdaki dirençten sakin sudaki direnç çıkarılarak bulunur. Birçok örnekte model deneyleri baştan gelen dalgalarda yapılır; çünkü maksimum ek direnç baştan gelen dalgalarda meydana gelir.

Düzenli dalgalarda ortalama ek direnci tahmin etmek için birçok analitik yöntem geliştirilmiştir. Analitik yöntemlerin sonucu deneysel verilerle tam olarak uyuşmayabilir. Yine de bu yöntemler, geminin seyir halinde gerekli gücünün tahmininde dizaynıra önemli miktarda rehberlik edecektir.

5.3 Düzgün Dalgalarda Ek Direnç

Düzgün dalgalarda ek direncin dalıp-çıkma ve baş-kıç vurma hareketlerinin fonksiyonu olarak ilk teorik ifadesi Havelock (1958) tarafından ortaya konulmuştur:

$$R_{AW} = -\frac{k}{2} (F_a z_a \sin \varepsilon_{zF} + M_a \theta_a \sin \varepsilon_{\theta M}) \quad [N] \quad (5.1)$$

k: dalga sayısı

F_a : dalıp-çıkma da oluşan uyarıcı kuvvetin genliği [N]

M_a : baş-kıç vurmada oluşan uyarıcı momentin genliği [N.m]

z_a : dalıp-çıkma hareketinin genliği [m]

θ_a : baş-kıç vurma hareketinin genliği [rad]

ε_{zF} : kuvvet ile dalıp-çıkma hareketleri arasındaki faz açısı [der]

$\varepsilon_{\theta M}$: moment ile baş-kıç vurma hareketleri arasındaki faz açısı [der]

Bu denklem, ek direnci bulmaya yönelik ilk yaklaşım olarak kabul edilebilir; çünkü denklemde, dalıp-çıkma ve baş-kıç vurma birleşik hareketleri ihmal edilmiştir. Bununla birlikte denklem (5.1) göstermektedir ki hareketler ve zorlayıcı fonksiyonlar arasındaki faz ilişkisi, ek direncin birincil sebeplerinden birisidir. Hareket denklemlerinde sönüm ile ilgili terimlerin olması durumunda faz gecikmesi mümkün olur. Ek direnç aslında bir enerji kaybıdır. Bu enerji kaybı sönümden dolayı olabileceği gibi gemi hareketlerinin zorlayıcı fonksiyonlarla sabit bir faz ilişkisi içerisinde kalması için yapılan işten dolayı da olabilmektedir. Bu enerji gemiden temin edilir ve akışkan sürtünmesi ile geminin hareketlerinden dolayı oluşan dalga formlarının radyasyonu ile dağıtılır. Böylece ek direnç, bu yayılan dalgaların enerjilerine ilişkin bilgiyle de saptanabilir.

Denklem (5.1)'de verilen ifadeye alternatif bir yöntem de hareket sırasında oluşan kuvvet (ve moment) tarafından yapılan işi, verilen bir dalga alanında gemiyi çekmek için gerekli kuvvet tarafından yapılan işe eşitlemektir. Joosen (1966), dalgalardan gelen ek direnç için B/L narinlik parametresine dayanan bir ifade türetmiştir. Sadece birinci dereceden terimleri göz önüne alarak deney sonuçlarıyla uyumlu bir ifade bulmuştur:

$$R_{AW} = \frac{\omega_e^3}{2g} (b_z z_a^2 + b_\theta \theta_a^2) \quad (5.2)$$

Burada;

ω_e :karşılaşma frekansı [rad/sn]

R_{AW} : ek direnç [kN]

b_z : dalıp-çıkma sönüm katsayısı $\left[\frac{kN.sn}{m} \right]$

b_θ : baş-kıç vurma sönüm katsayısı $[m.kN.sn]$

z_a : dalıp-çıkma hareketinin genliği [m]

θ_a : baş-kıç vurma hareketinin genliği [rad]

Joosen (1966) tarafından verilen ek direnç formülü denklem (5.3)'de verilmiştir:

$$\frac{R_{AW}}{\rho g \zeta_a^2 (B^2 / L)} = \frac{L^2}{32 B^2} \left[\left(\frac{z_a}{\zeta_a} \right)^2 P_1 + \frac{\pi^2 L^2}{\lambda^2} \left(\frac{\theta_a \lambda}{2 \pi \zeta_a} \right)^2 P_3 - \frac{2 \pi L}{\lambda} \left(\frac{\lambda \theta_a}{2 \pi \zeta_a} \right) \left(\frac{z_a}{\zeta_a} \right) P_2 \cos \varepsilon \right] \quad (5.3)$$

Burada;

$$P_1 = \frac{\omega_e^3}{\rho g^2} \frac{2}{L} \rho \nabla \sqrt{\frac{g}{L}} b_{33} \quad (5.4a)$$

$$P_2 = \frac{\omega_e^3}{\rho g^2} \frac{2}{L} \rho \nabla \sqrt{\frac{g}{L}} (b_{33} + b_{53}) \quad (5.4b)$$

$$P_3 = \frac{\omega_e^3}{\rho g^2} \frac{2}{L} \rho \nabla \sqrt{\frac{g}{L}} 4 b_{55} \quad (5.4c)$$

ve $\varepsilon = |\varepsilon_z - \varepsilon_\theta|$

Dalıp-çıkma hareketi: $z = z_a \cos \omega_e t$

Baş-kıç vurma hareketi: $\theta = \theta_a \cos(\omega_e t + \varepsilon)$

(5.4) denklemlerinde kullanılan sönüm katsayıları:

$$b_{33} = \frac{1}{\omega_e \nabla} \sqrt{\frac{g}{L}} \int b_n dx_b \quad (5.5a)$$

$$b_{35} + b_{53} = \frac{2}{\omega_e \nabla} \sqrt{\frac{g}{L}} \int x_b b_n dx_b \quad (5.5b)$$

$$b_{55} = \frac{1}{\omega_e \nabla} \sqrt{\frac{g}{L}} \int x_b^2 b_n dx_b \quad (5.5c)$$

ω_e :karşılaşma frekansı [rad/sn]

∇ :deplasman hacmi $[m^3]$

b_n :kesite ait sönüm katsayısı

$x_b (= 2x / L)$:boyutsuz boyuna koordinat

Denklem (5.3)'den görülmektedir ki ek direnç, sönüm katsayılarından (frekansa bağlı olarak) ve dalıp-çıkma ile baş-kıç vurma hareketlerinin ve bunların faz açıları bilgilerinden yola çıkarak hesaplanabilmektedir. Ek direnç hesaplama adına

bilinmesi gereken tüm bu nicelikler dilim teorisi kullanılarak gemi hareketlerinden elde edilebileceği gibi deneysel olarak da elde edilebilir. Diğer bir deyişle, ek direnç aşağıda belirtilen 3 farklı yolla hesaplanabilmektedir (Bhattacharyya, 1978):

1. Hem hareket genlikleri hem de sönüm katsayıları dilim teorisiyle elde edilir.
2. Hareketler deney sonucu elde edilir; fakat sönüm katsayıları dilim teorisi yardımıyla elde edilir.
3. Hem hareketler hem de sönüm katsayıları deneysel olarak elde edilir.

Denklem (5.3)'den hesap edilen ek direnç, özellikle yüksek hızlarda, tatmin edici bir şekilde deney sonuçlarıyla uyumludur. Belirtilmelidir ki denklem (5.3) boyutsuz frekans parametresi $\omega_e^2 B / 2g \approx 1.0$ durumunda geçerlidir. Birim frekans parametresinden olan herhangi bir sapma hesaplanan ek direnç ile ölçülen ek direnç arasında farklılık yaratabilir. Bu yüzden düşük hız ve uzun dalgalarda ortaya çıkan bu farklılık teorideki bu kısıtlama ile açıklanabilir. Düşük hızlarda ortaya çıkan deneysel hatalar da önemli orandadır. Akılda tutulması gereken diğer bir gerçek ise, yüksek dalgalarda hareketler lineer değildir ve böyle bir durumda düşük bir boyutsuz ek direnç değeri beklenebilir.

Gerritsma ve Beukelman'nın (1972) baştan gelen dalgalarda ek direnç için geliştirdiği yöntem çok popüler olmuştur; çünkü dilim teorisi kodlarına uygulaması daha kolaydır.

Gerritsma ve Beukelman'ın vermiş oldukları ek direnç formülü şu şekildedir (1972):

$$R_{AW} = \frac{\pi}{\lambda \omega_e} \int_0^L \left(b_n(x_b) - V \frac{da_n}{dx_b} \right) V_z^2 dx_b \quad (5.6)$$

ω_e : karşılaşma frekansı [rad/sn]

λ : dalga boyu [$metre$]

L: gemi boyu [$metre$]

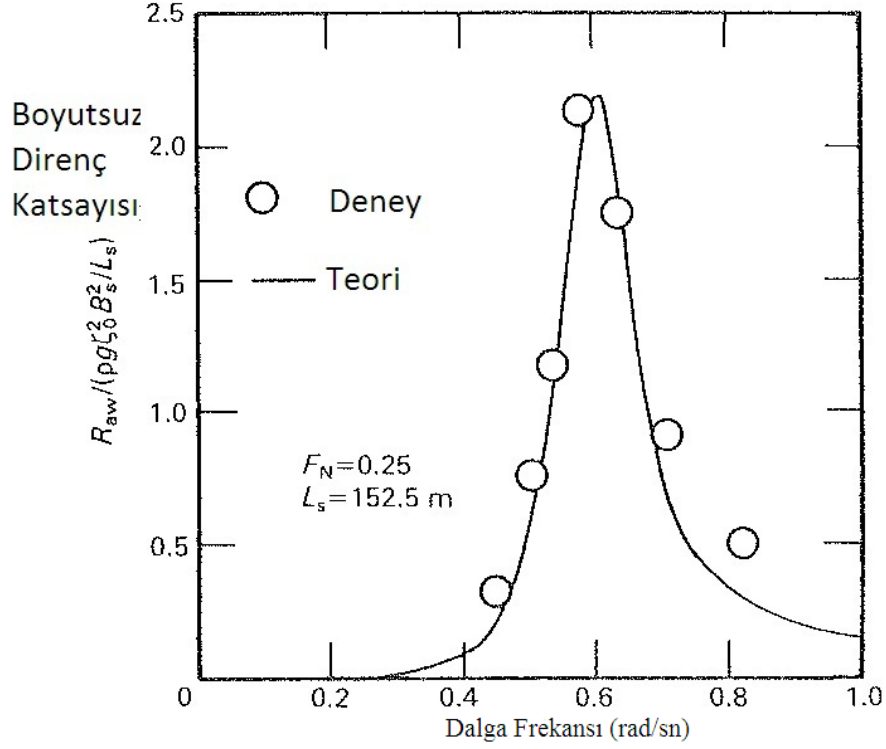
$b_n(x_b)$: dalıp-çıkma hareketinde kesitlere ait sönüm katsayısı $\left[\frac{kN.sn}{m^2} \right]$

V: gemi hızı [m/sn]

a_n : dalıp-çıkma hareketine bağlı olarak dalıp-çıkma lokal ek su kütlesi katsayısı
[ton/m]

V_z : dalgalı su yüzeyine nazaran gemi kesitinin düşey hareketi [m/sn]

R_{AW} : Ek direnç [kN]



Şekil 5.2 : Gerritsma ve Beukelman'ın teorisi ile deney sonuçlarının karşılaştırılması (Lloyd, 1989).

Şekil 5.2'de 152.50 metre uzunluğundaki (0.25 Froude sayısında) bir geminin ek direnç tahminine ilişkin Gerritsma ve Beukelman'ın teorisi ile deney sonuçlarının karşılaştırılması yapılmıştır. Görüldüğü gibi deney sonuçları ile teori birbirine yeterince uyumludur.

Analitik araştırmalara dayanarak ek direnç konusunda aşağıda sıralanan sonuçlar elde edilebilir:

- Geminin seyir halindeki ek direnci, dalga yüksekliğinin karesiyle orantılıdır.
- Ek direnç, geminin sakin sudaki direncinden bağımsızdır.
- Ek direnç gemi hareketlerinin (dalıp-çıkma ve baş-kıç vurma) ve bunların dalgalarla faz ilişkisinin bir fonksiyonudur. Maksimum ek direnç dalıp-çıkma ve baş-

kıç vurma hareketlerinde bir rezonans olması durumunda ortaya çıkar. Diğer bir deyişle, geminin zayıf hareketlerinde bile büyük ek dirençler oluşabilir.

d. Ek direnç, yayılan dalgaların bir sonucu olarak değerlendirildiğinden viskoz sönüm etkisiyle oluşan enerji kaybının bir önemi yoktur. Ek direnç viskoz olmayan bir kavramdır ve büyük oranla atalet ve dalga etkilerine bağlıdır. Ek direnç Froude Yasalarına uyduğundan dolayı tam ölçekli bir geminin ek direnci modelinin ek direnci ile ölçeğin küpü çarpılarak elde edilebilir (Bhattacharyya, 1978).

Ek direnç ile ilgili olarak gerek analitik yöntemlerde bulunan sonuçlar gerekse de deneyler sonucu elde edilen değerler çoğunlukla boyutsuz sayılar cinsinden verilir. Boyutsuz ek direnç katsayısı denklem (5.7)'de verilmiştir.

$$\sigma_{AW} = \frac{R_{AW}}{\rho g \zeta_a^2 (B^2 / L)} \quad (5.7)$$

R_{AW} :dalgalardaki ek direnç [N]

ρ :suyun yoğunluğu $[kg / m^3]$

g: yer çekimi ivmesi $[m / sn^2]$

B: gemi genişliği [m]

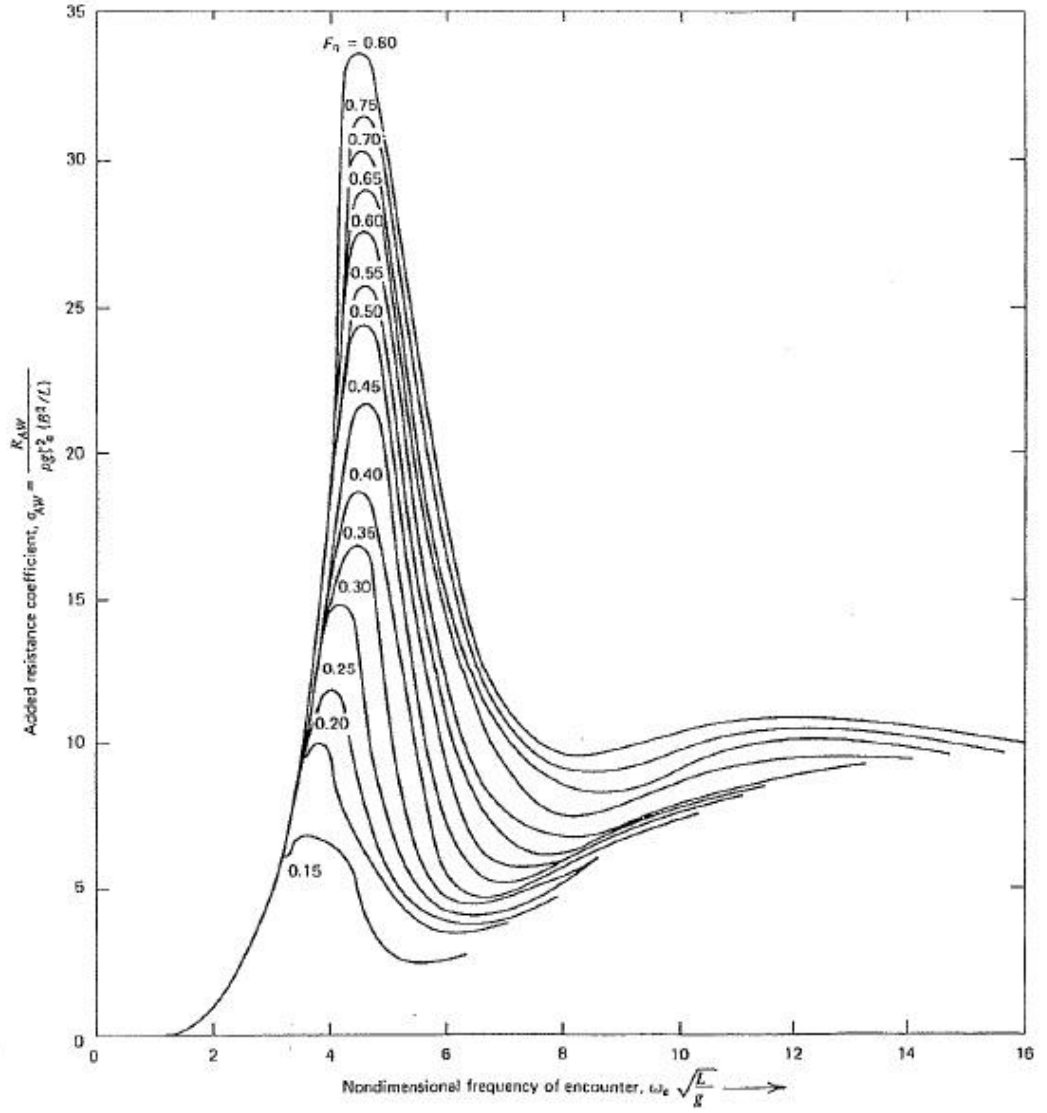
L: gemi boyu [m]

ζ_a : dalga genliği [m]

Ek direncin boyutsuz değerlerle gösterimi Şekil 5.3'de verilmiştir. Şekilden görülmektedir ki, hız artışıyla beraber ek direnç de düzgün bir şekilde artmaktadır.

Bu şeklin apsisinde boyutsuz karşılaşma frekansı katsayısı $\omega_e \sqrt{\frac{L}{g}}$ verilmiştir.

Ordinattaki ek direnç katsayısı ise (5.7) eşitliğinde gösterilmiştir.



Şekil 5.3 : Froude sayısına bağlı olarak ek direncin değişimi (Tejsen ve diğ., 1973).

5.4 Karışık Denizlerde Ek Direnç

Bir geminin karışık denizlerdeki ek direnci düzenli dalgalardekiyle aynı tarzda yani lineer superpozisyon tekniği kullanılarak şu şekilde elde edilebilir:

1. Belirli bir deniz durumu için dalga spektrumu oluşturulur ya da verilen bir rüzgâr durumu için ITTC standart formülasyonu kullanılır.
2. Düzenli dalgalarda RAO (Genlik Karşılık Fonksiyonu) değerleri analitik olarak ya da model testleri sonucu elde edilir. Göz önüne alınmalıdır ki lineer superpozisyon ilkesi, dalgalardeki ek direncin dalga genliğinin karesi ile orantılı olmasını gerektirir.

$$R_{AW} \propto \zeta_a^2$$

3. Diğer bir deyişle, sabit bir dalga boyunda fakat farklı dalga genliklerinde test edilen bir modelin tüm karekök ek direnç eğrileri dalga genliğine bölündüğü takdirde tek bir değere düşer.

4. Ortalama ek direnç:

$$R_{AW} = 2 \int_0^{\infty} S_{\zeta\zeta}(\omega_e) \frac{R_{AW}}{\zeta_a^2}(\omega_e) d\omega_e \quad (5.8)$$

Ek direncin istatistiksel ortalaması, spektrumun altında kalan alanın 2 katıdır.

$$OrtR_{AW} = 2m_0 \quad (5.9)$$

m_0 :Spektrum eğrisinin altında kalan alan

5.5 ShipmoPC Bilgisayar Programında Ek Direnç Hesabı

ShipmoPC’de uygulanan ek direnç teorisi Faltinsen ve diğerlerinin çalışmasında (1980) detaylı olarak açıklanmıştır. ShipmoPC’de ek direnç hesabı için yakın alan yöntemi uygulanmaktadır.

Uzak alan yöntemi denizde seyir halindeki bir gemiden yayılan dalga enerjisinin zamana göre ortalamasını dikkate alır. Uzak alan terimi, momentum akısının geminin çevresinde sonsuz yarıçaplı düşey kontrol yüzeyi boyunca değerlendirilmesinden kaynaklanmıştır. Ek direnç tahmininde kullanılan uzak alan denklemleri gemi hidrodinamiğinin sönüm terimlerini içerir. Tersine olarak, yakın alan yöntemi dalga sürüklenme kuvvetini, gemi yüzeyi üzerindeki basınç dağılımının direkt integrasyonu ile elde eder. İleride gösterileceği gibi yakın alan yönteminde dalga sürüklenme kuvveti çoğunlukla geminin bağlı hareketinden elde edilir.

Yakın Alan Yöntemi dalgalardan gelen ek direnci aşağıdaki formülü kullanarak tahmin etmektedir (McTaggart, 1997a):

$$R_{AW} = - \int_S \overline{pn_x} dS \quad (5.10)$$

S: geminin ıslak yüzeyi, p: hidrodinamik basınç ve n_x : gemiye gelen normal vektörün x-bileşeni ve $\overline{pn_x}$: zaman ortalaması anlamına gelmektedir.

Pratikte, denklem (5.10)’da verilen eşitlik çok dikkatli değerlendirilmeli; çünkü integralin içindeki terimler birbirini geçersiz kılma eğilimindedir.

Yakın Alan Yönteminin baskın terimi gemi su hattı boyunca alınan aşağıdaki integraldir (McTaggart, 1997a):

$$R_{AW} = -\frac{\rho g}{2} \int_{wl} \overline{\zeta_r^2(x, y, t) n_x} dl \quad (5.11)$$

wl: gemi su hattı ve $\zeta_r(x, y, t)$:bağlı harekettir. Geminin ileri hareketinden gelen dalgaların dinamik kabarma etkisi ihmal edilerek, bağlı hareket şu şekilde verilebilir:

$$\zeta_r = \zeta_I + \zeta_D - z - y\phi + x\theta \quad (5.12)$$

Burada;

ζ_I : gelen dalganın şekil değiştirmesi

ζ_D : saçınım (diffraction) etkisiyle dalganın şekil değiştirmesi

z : geminin dalıp-çıkma miktarı

ϕ : geminin yalpa açısı

θ : geminin baş-kıç vurma açısı

Bağlı hareket, geminin ileri hızına bağlı olarak dalgaların kabarma etkisi göz önüne alınarak tekrar şu şekilde yazılabilir (McTaggart, 1997a):

$$\zeta_r = \left(1 + \frac{\partial h(x, V)}{\partial T}\right) (\zeta_I + \zeta_D - z - y\phi + x\theta) \quad (5.13)$$

Burada;

$h(x, V)$: geminin ileri hızına bağlı olarak gemi boyunca daimi dalga şekil değiştirmesi ve

T : geminin su çekimidir.

Denklem (5.11)'in uygulanmasındaki en büyük problem, dilim teorisinin dalganın saçınım etkisini değerlendiremiyor olmasıdır. Faltinsen ve diğerlerinin (1980) makalesinde dilim teorisinin limitleri içerisinde ek direnci tahmin etmede iki farklı yakın alan denklemi verilmektedir. Dalga boyunun, gemi boyu mertebesinde ya da gemi boyundan daha büyük olduğu zaman, gemi hareketleri çok büyük olacaktır; fakat dalganın saçınım etkisi ihmal edilecektir (yani $\zeta_D \approx 0$). Uzun dalga boylarında ek direnç denklem (5.12)'ye göre bulunacaktır (McTaggart, 1997a):

$$R_{AW}^{lw} = -\frac{\rho g}{2} \int_{wl} \zeta_r^2(x, y, t) n_x dl - \omega_e^2 \Delta \overline{z\theta} + \omega_e^2 \Delta \overline{y\psi} \quad (5.14)$$

ω_e : karşılaşma frekansı

Δ : gemi kütlesi

z: dalıp-çıkma miktarı

θ : baş-kıç vurma açısı

y: yan öteleme miktarı

ψ : savrulma açısı

ShipmoPC’de zaman ortalaması ve kompleks RAO’lar arasındaki ilişki şöyledir (McTaggart, 1997a):

$$\overline{\zeta_r^2} = \frac{1}{2} |\zeta_r|^2 \quad (5.15)$$

$$\overline{z\theta} = \frac{1}{2} (\text{Re } el \{z\} \text{Re } el \{\theta\} + \text{Im } ag \{z\} \text{Im } ag \{\theta\}) \quad (5.16)$$

$$\overline{y\psi} = \frac{1}{2} (\text{Re } el \{y\} \text{Re } el \{\psi\} + \text{Im } ag \{y\} \text{Im } ag \{\psi\}) \quad (5.17)$$

Dalga boyu sıfıra yaklaşırken, gemi hareketleri sıfıra yaklaşır; fakat dağılma etkileri (dalga yansımaları da dâhil) önemli hale gelir. ShipmoPC, Faltinsen ve diğerlerinin (1980) makalesinden alınan denklem (5.18)’i kısa dalgalarda ek direnç tahmininde kullanmaktadır:

$$R_{AW}^{sw} = -\frac{\rho g}{2} \int_{wl^*} \overline{\zeta_I^2(x, y, t) n_x X} \left\{ \sin^2(\theta + \pi - \chi) + \frac{2\omega V}{g} [1 - \cos \theta \cos(\theta + \pi - \chi)] \right\} dl \quad (5.18)$$

Burada, ωl^* :gelen dalgalara maruz kalan gemi su hattı kısmıdır ve $\theta = \tan^{-1} \frac{n_x}{n_y}$

olarak tanımlanır.

ShipmoPC gibi dilim teorisi temeline dayanan bir bilgisayar programıyla, kısa ve uzun dalga rejimleri arasındaki geçiş bölgesinde ek direnci hesaplayacak herhangi bir rasyonel yöntem bulunmamaktadır.

Yine de, denklem (5.19) kısa ve uzun dalga denklemlerini kullanarak ek direnç için makul sonuçlar vermektedir (McTaggart, 1997a):

$$R_{AW} = R_{AW}^{lw}, \quad \lambda / L \geq 1 \text{ için} \quad (5.19a)$$

$$R_{AW} = \max(R_{AW}^{lw}, R_{AW}^{sw}), \quad \lambda / L < 1 \text{ için} \quad (5.19b)$$

5.6 Seri 60 Tekne Formları İçin Baştan Gelen Dalgalarda Ek Direnç

Seri 60 formları birçok ek direnç çalışmasına konu olmuştur. Çizelge 5.1’de Seri 60 formu gemilerin boyutlarına yer verilmiştir. Şekil 5.4’te ise bu gemilerin narinliğini ortaya koymak için su hatları gösterilmiştir. Strom-Tejsen ve diğ. (1973) düzenli baştan gelen dalgalarda Seri 60 modelleri için ek direnci ölçmüşlerdir. Salvesen (1978) ise bu deneysel sonuçları kullanarak teorisini gerçekleştirmiş ve Shipmo5 ile test etmiştir. Shipmo5’de Salvesen’in teorisinin uygulaması deney sonuçlarıyla uyumlu sonuçlar vermiştir. Hearn ve diğ. (1987) üç boyutlu yakın alan ve uzak alan yöntemlerini Seri 60 deney sonuçlarıyla karşılaştırmışlardır. Bunun sonucunda yakın alan yönteminin uzak alan yönteminden daha üstün olduğu ortaya çıkmıştır (McTaggart, 1997a).

Çizelge 5.1 : Seri 60 modellerinin ana boyutları (McTaggart, 1997a).

	$C_B = 0.60$	$C_B = 0.70$	$C_B = 0.80$
Uzunluk, L (m)	121.9	121.9	121.9
Genişlik, B (m)	16.25	17.42	18.76
Su çekimi, T (m)	6.50	6.97	7.50
Boy/Genişlik, L/B	7.50	7.00	6.60
Genişlik/Su çekimi, B/T	2.50	2.50	2.50

Series 60, $C_B = 0.60$



Series 60, $C_B = 0.70$



Series 60, $C_B = 0.80$



FFG 7



Şekil 5.4 : Seri 60 gemilerinin ve FFG 7 firkateyninin su hattı alanları (McTaggart, 1997a).

Ek B’de nümerik tahminlerle Seri 60 modelleriyle yapılan deney sonuçlarının karşılaştırılması yapılmıştır. ShipmoPC tüm durumlarda ek direnci fazla tahmin etmiştir. Şekiller, Hearn ve diğerlerinin (1987) yakın alan yöntemi ve tüm m-terimlerini kullanan SMCA4 adlı bilgisayar programından gelen üç boyutlu sonuçları da içermektedir. Üç boyutlu kodlar ShipmoPC’den kayda değer daha iyi sonuçlar vermemektedir. Seri 60 standart gemileriyle yapılan sonuçlar göstermektedir ki denklem (5.19), ek direncin tahmininde uzun ve kısa dalga boylarını birleştirerek iyi bir yaklaşım sağlamaktadır (McTaggart, 1997a).

5.7 Baştan ve Belirli Bir Açıdan Gelen Dalgalarda FFG 7 Firkateyni İçin Ek Direnç

ShipmoPC'nin narin gemi formlarında ek direnç uygulamasını değerlendirmek için McTaggart'ın (1997a) makalesinde verilen Amerikan FFG 7 firkateyni ile yapılan deneysel sonuçlar karşılaştırılmıştır. Şekil 5.4'de FFG 7'nin su hattı alanı gösterilmektedir. Çizelge 5.2'de de firkateynin boyutları verilmiştir.

O'Dea ve Kim (1981), FFG 7'nin ek direnç sonuçlarını deneysel olarak elde etmiş ve ayrıca, Lin ve Reed'in (1976) uzak alan dilim teorisi tahminine bağlı olarak nümerik verilerle deney sonuçlarını mukayese etmiştir. Tüm bu sonuçlar Ek C'de grafikler halinde verilmiştir.

Çizelge 5.2 : FFG 7 firkateyninin boyutları (McTaggart, 1997a).

Boy, L (m)	124.4
Genişlik, B (m)	13.55
Su çekimi, T (m)	4.37
Boy/Genişlik, L/B	9.18
Genişlik/Su çekimi, B/T	3.10
Blok katsayısı, C_B	0.45

Karşılaşma frekansı geminin doğal yalpa frekansına yakın olduğu zaman, belirli bir açıdan gelen dalgalarda ShipmoPC'nin ilk ek direnç tahmini gerçekçi olmayan yüksek tepe noktaları vermiştir. Bu yüksek ek direnç değerinin nedeni çok geniş yalpa hareketidir, çünkü ShipmoPC programına girilen FFG 7 firkateynine ait verilerde herhangi bir eklenti yoktur. Bu problem FFG 7'ye yalpa omurgası eklemekle hafifletilmiştir (McTaggart, 1997a).

ShipmoPC ek direnç tahminleri genel olarak deney değerlerinden daha düşüktür. ShipmoPC'nin, Shipmo5 ile O'Dea ve Kim'in (1981) tahminlerinden avantajlı yanı kıçtan gelen dalgalarda (0 ve 45 derece) makul değerler vermesidir.

5.8 İleri Hızlarda Dalga Kabarma Düzeltmesinin Ek Direnç Üzerine Etkisi

ShipmoPC, denklem (5.13)'ü kullanarak geminin ileri hızına bağlı olarak dalgaların kabarma etkisini göz önüne alır. $(1 + \partial h / \partial T)$ olarak tanımlanan bu kabarma katsayısının hesabı gemi en kesit alanı A_x 'in gemi uzunluğu boyunca aşamalı olarak

değiştirdiği kabulüne dayanır. Ayna kıçlı gemilerde, kıç civarında bu kabul geçersizdir ve kabarma tahmini yöntemi kötü sonuçlar verir. Bu durumda ShipmoPC, geminin ilk baş yarısı boyunca tam kabarma düzeltmesi uygularken, diğer kalan kıç yarısında ise kısmi kabarma düzeltme faktörü $(1 + \alpha \partial h / \partial T)$ uygular. Buradaki α ağırlık faktörü, mastoride 1 ve kıçta 0 olmak üzere bu bölge arasında lineer olarak değişir. ShipmoPC’de kabarma düzeltme faktörü 0.5 ile 2.0 aralığında değişmektedir (McTaggart, 1997a).

Ek D’de, Seri 60 ve FFG 7 gemileri için baştan gelen dalgalarda kabarma düzeltmesinin etkileri görülmektedir. Tüm gemiler için 0. posta baş dikme ve 20. posta kıç dikmedir. Her bir gemi ayna kıça sahiptir; bu yüzden ShipmoPC tam kabarma düzeltmesi gemilerin hiçbirine uygulanmamalıdır. Tam kabarma düzeltmesinin sonuçları tam anlamıyla bir kıyas için verilmiştir.

Hesaplanan kabarma katsayıları doğrulamaktadır ki, tam kabarma düzeltmesi ayna kıçlı gemilerin kıç tarafında değişen sonuçlar vermektedir. Baş kabarma düzeltmesi yöntemi ise geminin toplam uzunluğu boyunca makul değerler vermektedir. Tüm durumlarda kabarma düzeltmesi ek direnci artırır. Seri 60 gemilerinde, artan ek direnç, deney sonuçlarıyla daha kötü uyum gösterirken, FFG 7 fırkateyninde daha iyi bir uyum söz konusudur. İnce-uzun bir gemi olan FFG 7, Seri 60 standart serisi gemilerle karşılaştırıldığında, dilim teorisine daha uygundur.

5.9 Sonuçlar

Yapılan deneylerden anlaşılmaktadır ki, ek direnç hesabına ilişkin yakın alan yöntemi, uzak alan yöntemine göre daha başarılı sonuçlar vermektedir. Seri 60 standart serisine ait modellerle yapılan ek direnç deneylerinin sonuçlarına göre, ShipmoPC, tüm durumlarda ek direnci fazla tahmin etmiştir.

ShipmoPC, FFG 7 fırkateyninde baştan ve belirli bir açıdan gelen dalgalarda, ek direnci deney sonuçlarından daha düşük tahmin etmiştir. Ayrıca, özellikle kıçtan gelen dalgalarda diğer yöntemlere nazaran daha makul değerler bulmuştur.

EK D’de verilen grafiklerden anlaşıldığı gibi geminin ileri hız durumunda ortaya çıkan dalgalardan gelen kabarma düzeltmesinin dâhil edilmesi FFG 7 için (narin bir gemi) baştan gelen dalgalarda ek direnç tahminini iyileştirirken; daha dolgun bir gemi olan Seri 60 formu gemilerde, kabarma düzeltmesinin dâhil edilmesi ek direnç

tahmininin deney sonuçlarıyla kötü bir uyum içerisinde girmesine neden olur. Ayna kılıklı bir gemi için ShipmoPC’de baş kabarma düzeltmesinin yapılması, tam kabarma düzeltmesine göre daha uygun olacaktır (McTaggart, 1997a).

6. HAREKET KAYNAKLI DENGİ KAYBI OLAYI

Denizcilik kriterinin gelişmesinde önemli bir adım Baitis ve diğerleri tarafından atılmıştır (1984). Baitis ve diğerlerinin çalışmasında herhangi bir güverte operasyonu sırasında meydana gelen denge kaybı olaylarının zamana bağlı hesap yöntemi tanıtılmıştır. Bu denge kaybı olayları, *hareket kaynaklı denge kaybı* olarak isimlendirilir. Literatürde “*Motion Induced Interruptions*” olarak belirtilen bu terim, kısaca MIIs olarak gösterilir. Yatay kuvvet değerlendirici kavramı da yukarıda belirtilen referansta (Baitis ve diğ., 1984) açıklanmıştır. Literatürde “*Lateral Force Estimator*” olarak geçen kavram, LFE kısaltmasıyla gösterilmektedir. LFE, yerçekimi ivmesi ile yalpa hareketine bağlı olarak meydana gelen yatay ivmenin birleşimidir. Yatay kuvvet değerlendirici (LFE), hareket kaynaklı denge kaybı olaylarının (MIIs) görülme sıklığıyla yakından ilişkilidir. (Baitis ve diğ., 1984).

6.1 Giriş

Firkateyn ve destroyerler üzerine yapılan birçok denizcilik kriteri, operasyonlara ait tecrübeleri içerir. Gemideki personelin güverte üzerindeki çalışmasına dair tipik bir kriter RMS yalpa değerinin dört dereceyi aşmamasıdır. Dört derece yalpa açısı, firkateyn ve destroyerlerin güverte operasyonlarında zorluklar yaratan sınıra yakın olmasına rağmen; bu kriter, ağırlaşan deniz durumlarında operasyonel performansın aşamalı bir şekilde düşüşünü öngöremez. Ayrıca çok açıktır ki, bu operasyonlar sadece dört derece güverte eğimi ile de sınırlandırılmaz, tercihen personelin güvertedeki dengesini kaybetmesiyle sonuçlanacak yatay ve düşey ivmelerle beraber güverte eğiminin değerlendirilmesiyle sınırlandırılabilir. Bu bağlamda, yalpa açısı bu tip bir kriteri ifade etmede eksik bir fiziksel parametredir ve bundan dolayı sadece yalpa açısı kriterinin kullanımı güverte operasyonlarıyla ilgili olarak yanlış sonuçlar doğurabilir (Graham, 1980). Bundan dolayı yalpa kriterinin yanında, hareket kaynaklı denge kaybı olaylarının sayısını veren başka bir sınırlayıcı değer kullanmakta fayda vardır.

Bu çalışmada, MII teorisi hakkında genel bilgiler verilmiş, hareket kaynaklı denge kaybı olaylarının sayısını veren formüller üzerinde durulmuştur. Daha sonra, ShipmoPC programı kullanılarak bir fırkateynin çeşitli bölgelerinde MII hesapları yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar grafikler halinde verilmiştir. Böylece gemi üzerindeki yatay, düşey ve boyuna konumların MII sayılarına olan etkisi ortaya konulmuştur.

6.2 MII Teorisi

Hareket kaynaklı denge kaybı olayları (MIIs) boyuna ivmelerin küçük ve rüzgâr etkisinin ihmal edildiği durum altında elde edilmiştir.

Hesaplamalarda kullanılan koordinat sistemi Şekil 6.1’de gösterilmiştir. Bu koordinat sisteminin orijini geminin ağırlık merkezidir ve serbest yüzeye göre sabit bir yönde ortalama hızda gitmektedir. Boy öteleme, yan öteleme, dalıp-çıkma, yalpa, baş-kıç vurma ve savrulma hareketleri, $i=1, \dots, 6$ olmak üzere η_i indisi ile belirtilmiştir.

Gemi üzerinde bir $\vec{P} = P(X, Y, Z)$ noktasındaki yer değiştirme vektörü $\vec{r} = (r_x, r_y, r_z)$ aşağıdaki gibi verilir (Graham, 1990):

$$\vec{r} = \vec{\eta} + \vec{\xi} \times \vec{P} \quad (6.1)$$

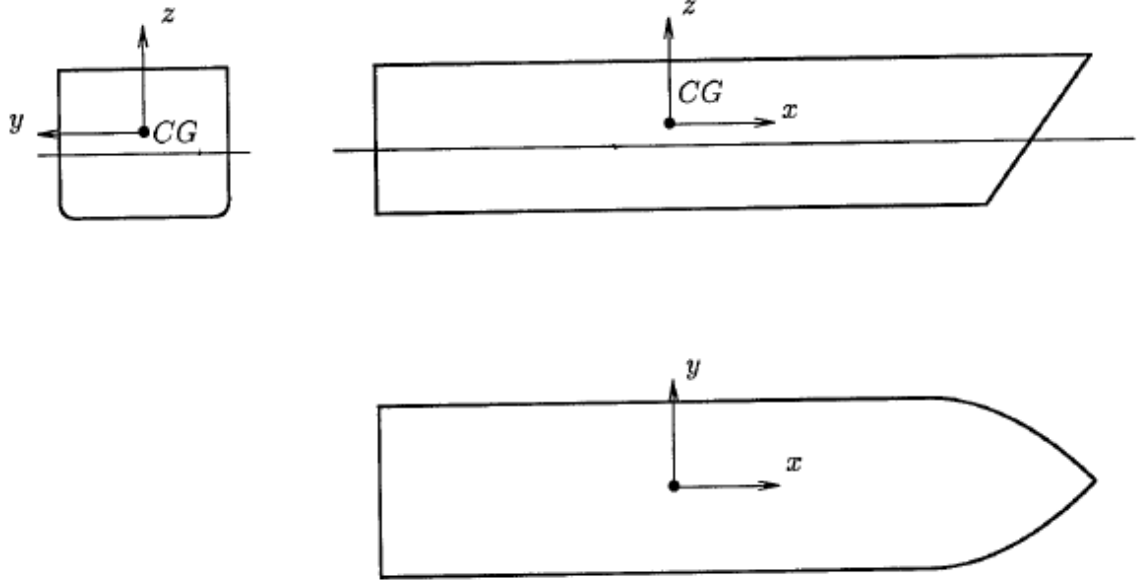
Burada; $\vec{\eta} = (x, y, z)$ ve $\vec{\xi} = (\phi, \theta, \psi)$ olarak belirtilmiştir. $\vec{\eta}$: öteleme hareketlerinden kaynaklanan geminin yer değiştirme vektörü ve $\vec{\xi}$: geminin açısal yer değiştirme vektörüdür. $\vec{r} = (r_x, r_y, r_z)$ yer değiştirme vektörü koordinat sisteminde sırasıyla x,y ve z doğrultularındaki yer değiştirmeyi ifade eder. Örneğin, düşey doğrultudaki yer değiştirme denklem (6.2)’de gösterildiği gibi verilebilir:

$$r_z = z + \phi Y - \theta X \quad (6.2)$$

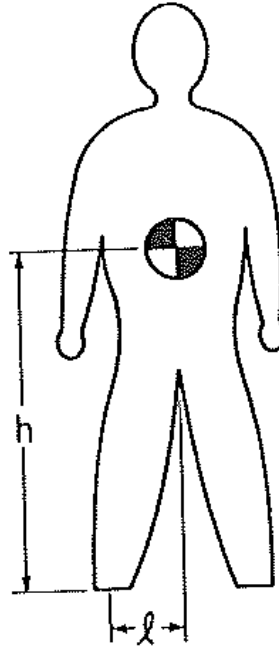
$\vec{P}$ noktasındaki hız ve ivmeler denklem (6.1)’in zamana göre türetilmesiyle bulunmuştur:

$$\dot{\vec{r}} = \dot{\vec{\eta}} + \dot{\vec{\xi}} \times \vec{P} \quad (6.3)$$

$$\ddot{\vec{r}} = \ddot{\vec{\eta}} + \ddot{\vec{\xi}} \times \vec{P} \quad (6.4)$$



Şekil 6.1 : Eksen takımı.



Şekil 6.2 : Güverte üzerinde duran bir kişinin modeli (Graham, 1990).

Gemiye bağlı bir referans sisteminde bir insan ya da nesne üzerine etkiyen kuvvetlerin bilinmesi ve burada orijin ve eksenlerin gemiye sabitlendiği şartından bahsedilmesi gereklidir. Koordinat dönüşümünü ataletten gemi koordinat sistemine gerçekleştirirken, sadece lineer terimleri koruyarak, birim kütle başına boyuna kuvvet F_{boyuna} , gemi üzerinde bir $\vec{P}$ konumunda aşağıdaki gibi verilmektedir:

$$F_{boyuna} = -\ddot{r}_x + g\theta \quad (6.5)$$

Birim kütle başına düşen yatay kuvvet, F_{yatay} :

$$F_{yatay} = -\ddot{r}_y - g\phi \quad (6.6)$$

ve birim kütle başına düşen düşey kuvvet, $F_{düşey}$:

$$F_{düşey} = -g - \ddot{r}_z \quad (6.7)$$

(g: yer çekimi ivmesi)

Baitis ve diğerlerinin (1976) çalışmasında belirtildiği gibi boyuna doğrultudaki kuvvetlerin küçük olduğu kabulü yapılmıştır. Bu, tek gövdeli gemiler için makul bir kabuldür; çünkü tecrübelerden bilinmektedir ki hareket kaynaklı denge kaybı olaylarının (MIIs) birincil nedeni yatay hareketlerdir. Diğer gemiler için de boyuna hareketlerin önemli miktarda MII oluşturacağı düşünülmaz. Aşağıda belirtilen yöntem rahatlıkla, boyuna hareketlerin neden olduğu MII olaylarını hesaplamak için de uygulanabilir (Graham, 1990).

Şekil 6.2’de güverte üzerinde ayakta duran ya da yürüyen bir kişi gösterilmiştir. Şekilde belirtildiği gibi o kişinin ağırlık merkezinin güverteden h yüksekliğinde olduğu ve duruş genişliğinin $2l$ olduğu kabul edilmiştir. Güvertenin sürtünme katsayısı μ ile ifade edilirse, $\vec{P}$ noktasındaki kayma şartı:

$$|F_{yatay}| > -\mu F_{düşey} \quad (6.8)$$

Burada düşey kuvvetlerin her zaman negatif olduğu yani geminin düşey ivmesinin her zaman g yerçekimi ivmesinden küçük olduğu kabulü yapılmıştır. Bu durum, düşey ivmenin g yerçekimi ivmesini aştığı durumlarda MIIs olayının tahmininde sınırlayıcı bir kabul değildir.

Ayak civarında moment alındığında, bir kişinin $\vec{P}$ noktasında devrilmesinin şartı:

$$h|F_{yatay}| > -lF_{düşey} \quad (6.9)$$

ya da

$$|F_{yatay}| > -\frac{l}{h} F_{düşey} \quad (6.10)$$

h ve l için temsili değerler sırasıyla 0.91 m. ve 0.23 m. olarak alınabilir. O halde, $l/h = 0.25$ olur. l/h parametresi “*devrilme katsayısı*” olarak adlandırılır. μ sürtünme katsayısı ise güverte durumuna göre değişmektedir. Baitis ve diğ. (1984) tarafından kuru güverte durumunda μ katsayısı 0.7 olarak verilmiştir. Bu durumda güverte kuru olduğu zaman kaymadan önce devrilme bir problem haline gelmektedir. Islak güverte durumunda ise, hem kayma hem de devrilme önem teşkil etmektedir. Graham ve diğ. (1992) tarafından devrilme ve sürtünme katsayıları Çizelge 6.1’de gösterildiği gibi verilmiştir.

Çizelge 6.1 : Kayma ve devrilme olayları için devrilme ve sürtünme katsayıları (Graham ve diğ., 1992).

Durum	Katsayı
İleri yönde devrilme	$l/h=0.17$
Yana doğru devrilme	$l/h=0.25$
Kuru güvertede duran bir kişinin kayması	$\mu= 0.7$
Sandalyenin kayması	$\mu= 0.19$
Çeşitli güverte durumlarında güvertede kayma	$\mu= 0.2-0.8$

Eşitsizlik (6.10)’dan yola çıkarak şu sonuca varılabilir: Devrilme ya

$$-g\phi - \ddot{r}_y - \frac{l}{h} \ddot{r}_z > \frac{l}{h} g \quad (6.11)$$

ya da

$$g\phi + \ddot{r}_y - \frac{l}{h} \ddot{r}_z > \frac{l}{h} g \quad (6.12)$$

olması durumunda meydana gelir.

Sıfır düşey ivme durumunda, bu eşitsizlik şu hale gelir:

$$|g\phi + \ddot{r}_y| > \frac{l}{h} g \quad (6.13)$$

Eşitsizlik (6.13)’de mutlak değerın içerisinde belirtilen terim, Baitis ve diğ. tarafından yatay kuvvet değerlendirici olarak adlandırılmıştır ve LFE kısaltması ile gösterilir (1984).

6.3 Bir Firkateyn İçin MII Hesabı

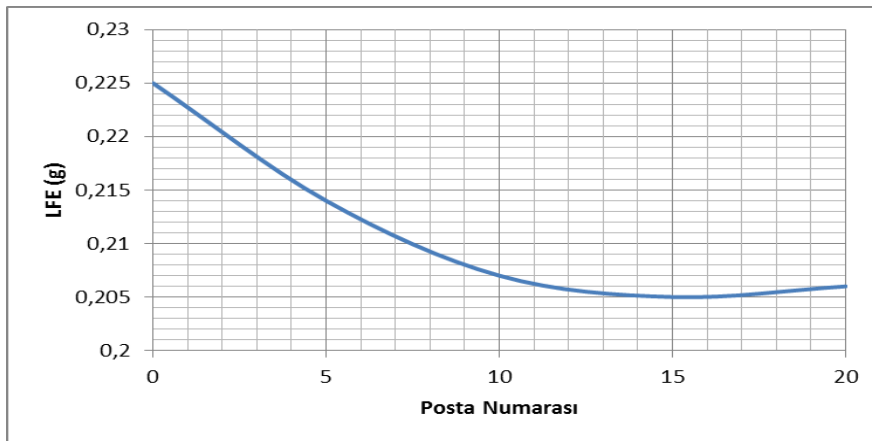
Hareket kaynaklı denge kaybı olayları (MII) McTaggart’ın teknik bildirisinde tüm özellikleri verilen örnek bir firkateyne uygulanmıştır (1997b). Bu firkateynin temel

özellikleri Çizelge 6.2’de verilmiştir. Firkateyn 20 postaya bölünmüş ve 0. posta baş dikme, 20. posta ise kıç dikme olarak alınmıştır. MII olaylarının hesabı için ShipmoPC programı (BMT, 2001) kullanılmış ve 50 saniyelik bir güverte operasyonu temel alınarak hesap yapılmıştır. Bunun için 6 deniz şiddetinde Bretschneider Spektrumu (ITTC, 1978) kullanılmış ve karakteristik dalga yüksekliği 6.0 metre ve modal dalga periyodu 12.4 saniye olarak seçilmiştir. Ayrıca devrilme katsayısı l/h , 0.25 olarak belirlenmiş ve kişinin kuru güverte üzerinde dik olarak ayakta durduğu düşünülmüştür.

Çizelge 6.2 : Firkateynin temel özellikleri (McTaggart, 1997b).

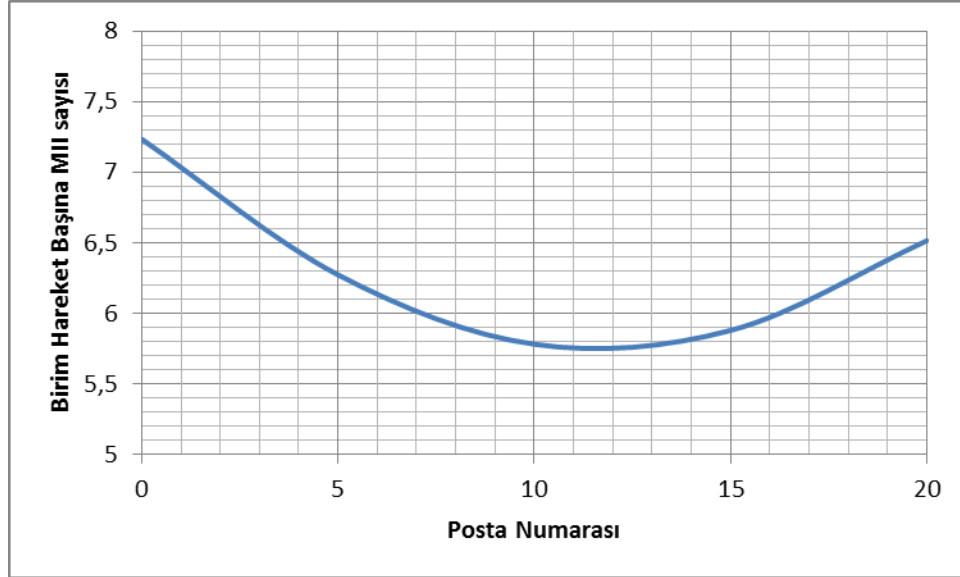
Deplasman kütlesi	4731.78 ton
Boy	124.59 metre
Genişlik	14.80 metre
Su çekimi	5.03 metre
Yalpa jirasyon y.çapı	5.20 metre

Şekil 6.3’de yatay kuvvet değerlendiricisi (LFE) değerlerinin geminin çeşitli boyuna konumlarında karşılaştırılması yapılmıştır. Hesaplar, geminin merkez hattında ve aynı düşey yükseklikte yapılmıştır. Tüm hesaplarda dalgaların geliş açısı 105 derece olarak alınmıştır. Şekilden görüldüğü gibi boyuna konumun ivmeler üzerindeki etkisi çok büyüktür.



Şekil 6.3 : Boyuna konumun LFE değerlerine olan etkisi (6 Deniz şiddetinde uzun dalga-tepeli denizde 105 derece dalga geliş açısı ve 20 knot gemi seyir hızında).

Şekil 6.4'te boyuna konumun MII's sayısı üzerine etkisi gösterilmiştir. Burada Şekil 6.3'de verilen aynı şartlar kullanılmıştır. Şekilden görüldüğü gibi boyuna konumla MII olayının meydana gelmesi arasında kuvvetli bir ilişki vardır. Baş dikmedeki (0. posta) MII's sayısı, 12. postadakinden 1.25 katıdır.



Şekil 6.4 : Boyuna konumun MII's üzerine etkisi (6 Deniz şiddetinde uzun dalga-tepeli denizde 105 derece dalga geliş açısı ve 20 knot gemi hızında).

Düşey konumdaki değişikliğin MII olayların üzerine etkisi Şekil 6.5'de verilmiştir. Burada bordadan gelen dalgalar göz önüne alınmıştır. Şekilde belirtilen Z, kaide hattından düşey mesafeyi belirtmektedir ve Z=0 kaide hattını göstermektedir. Şekil 6.5'de görüldüğü gibi MII olaylarının sayısı kaide hattına doğru düşüş eğilimindedir.

$$\phi = \phi_a \cos \omega_e t \quad (6.14)$$

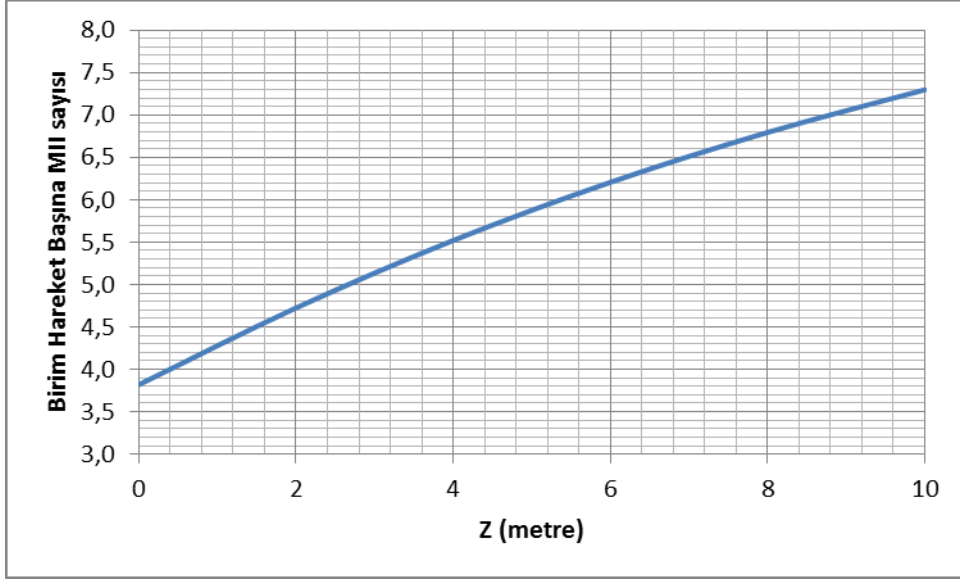
$$\vec{P} = (0, 0, Z) \text{ noktasında}$$

$$\ddot{r}_y = -\ddot{\phi}Z = \omega_e^2 Z \phi \quad (6.15)$$

ve

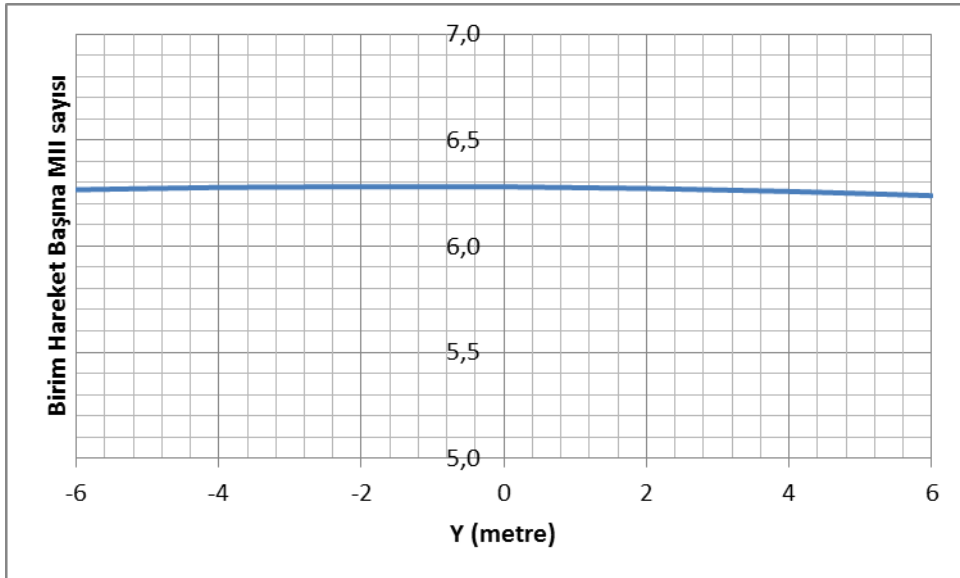
$$LFE = g\phi + \ddot{r}_y = (g + \omega_e^2 Z)\phi \quad (6.16)$$

Yani, $Z = -g / \omega_e^2$ noktasında LFE değeri minimuma erişir. Bu da gerçekçi bir ω_e değeri için LFE'nin en küçük değeri kaide hattının altında bir noktaya karşılık gelmektedir (Graham, 1990).



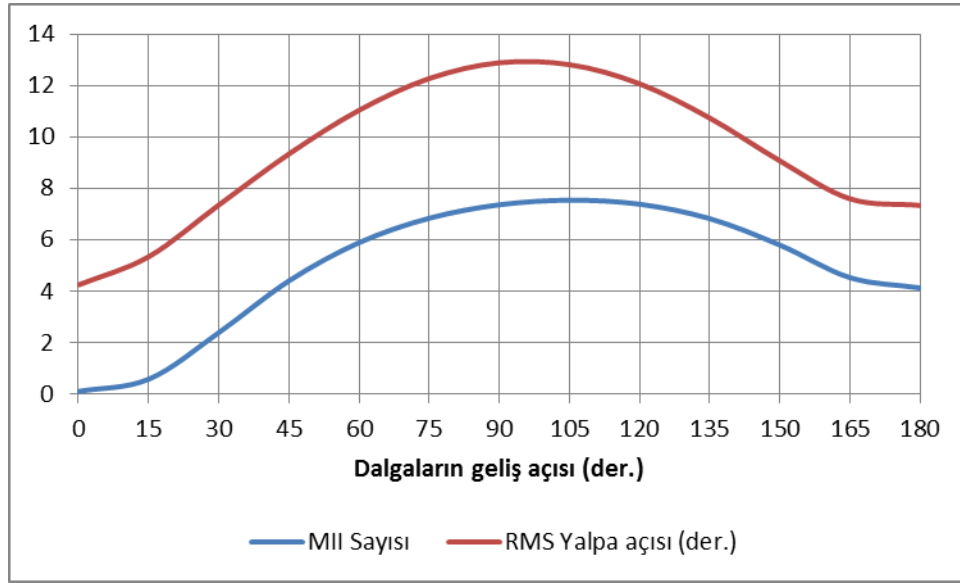
Şekil 6.5 : Geminin mastorisinde düşey konumun MII's üzerine etkisi (6 Deniz şiddetinde uzun dalga-tepeli denizde bordadan gelen dalgalarda ve 20 knot gemi hızında).

Enine konumdaki değişimin MII olayları üzerine etkisi Şekil 6.6'da gösterilmiştir. Bu amaçla şekilde gösterilen tüm noktalar mastoride ve aynı düşey ağırlık merkezi konumunda alınmıştır. Analizler, bordadan gelen dalgalarda ve uzun dalga-tepeli denizlerde yapılmıştır. $Y=0$ merkez hattını ifade etmektedir, pozitif yön ise iskele tarafına alınmıştır. Şekle göre, enine konumun MII üzerine etkisi çok azdır.



Şekil 6.6 : Geminin mastorisinde enine konumun MII's üzerindeki etkisi (6 Deniz şiddetinde uzun dalga-tepeli denizde bordadan gelen dalgalarda ve 20 knot gemi hızında).

Şekil 6.7’de 90 derece yayılma açısına sahip kısa dalga-tepeli denizlerde dalgaların geliş açısının geminin köprü üzerindeki RMS yalpa ve MIIs sayıları üzerine olan etkisi gösterilmiştir. Şekilden görülmektedir ki yalpa için en kötü durum ile MIIs sayıları için en kötü durum arasında dalga geliş yönleri açısından yaklaşık 15 derecelik bir fark vardır. Yapılan benzer çalışmalar göstermektedir ki, yalpa açısı kriteri özellikle fırkateyn ve destroyerlerde güverte operasyonları için yeterli bir kriter değildir. En ağır yalpa durumu kıç omuzluktan gelen dalgalarda yaşanırken, en fazla MII olayları bordadan gelen dalgalarda meydana gelir (Graham, 1990).



Şekil 6.7 : Geminin köprü üstü güvertesinde dalgaların geliş açısının RMS yalpa ve MIIs üzerine olan etkisi (6 Deniz şiddetinde kısa dalga-tepeli denizde 20 knot gemi hızında).

6.4 Güverte Operasyonları İçin Kriter Belirlenmesi

Güverte operasyonları için en iyi kriter, MII olaylarının meydana geliş sayılarıdır. Farklı gemi tipleri için ve farklı güverte operasyonlarında bu kriter kullanılabilmektedir. Devrilme katsayısının 0.25 alınacağı bir dakikalık bir vazife standart olarak alınmış ve sonuç olarak “*dakikadaki MIIs sayısı*” uygun bir birim olarak kabul edilmiştir. Çizelge 6.3’de risk seviyelerine bağlı olarak birim dakikadaki MIIs sayıları verilmiştir (Graham, 1990).

MII’yi temel alan bu kriteri uygulayarak çeşitli gemilerin işlerliğini karşılaştırabilmek için gemilerde aynı bölgeler arasında karşılaştırma yapılması

gereklidir. Örneğin, tüm gemilerin uçuş güvertesi üzerinde MII sayıları karşılaştırılabilir; çünkü MII sayıları, hesabın yapılacağı bölgeye çok bağlıdır.

Çizelge 6.3 : MII risk seviyeleri (Graham, 1990).

Risk Seviyesi	Dakikadaki MII Sayısı
1. Olası	0.1
2. Mümkün	0.5
3. Ciddi	1.5
4. Şiddetli	3.0
5. Aşırı	5.0

Çizelge 6.4'te Gemi Mühendisliği El Kitabı'ndan alınan (2008) değişik gemi tipleri için önerilen MII kriterleri verilmiştir.

Çizelge 6.4 : Değişik gemi tipleri için önerilen MII kriterleri.

Gemi Tipi	Kaynak	MIİ sayısı
Su üstü savaş gemisi	STANAG 4154	1 adet/dak
Su üstü savaş gemisi	STANAG 4154 (Denizde İkmal)	0.5 adet/dak
Sahil güvenlik botu	Baitis	2.1 adet/dak

6.5 Sonuçlar

ShipmoPC programı yardımıyla bir fırkateyn üzerinde yapılan MII çalışmalarıyla çeşitli sonuçlar elde edilmiştir. Buna göre, boyuna konumun LFE ve MII sayıları üzerinde büyük etkisi vardır. Sonuçlara göre en fazla MII sayısı baş dikmede meydana gelmektedir. Düşey konumun gemi üzerindeki MII sayılarına etkisini araştırmak için yapılan analizler göstermiştir ki, MII sayısı güverteden kaide hattına doğru inildikçe düşüş eğilimi göstermektedir. Buna göre en fazla MII olayları, geminin atmosfere açık güvertesinde ve köprü üstünde görülmektedir. Ayrıca yapılan hesaplar sonucunda, enine konumun MII üzerindeki etkisinin çok az olduğu anlaşılmaktadır.

Önceki bölümlerde grafiklerin verdiği sonuçlar, güverte operasyonları için yalpa açısının tek başına iyi bir kriter olmadığını göstermektedir. RMS yalpa değerleri gemi üzerinde her yerde aynıdır; fakat MIIs sayısı bahsedildiği gibi konuma çok bağlıdır. Ayrıca, MIIs sayıları için en kötü durum ile yalpa için en kötü durum aynı değildir. Bu yüzden, sadece yalpa açısı kriterinin güverte operasyonları için kullanılması, yanlış sonuçların doğmasına neden olabilmektedir.

7. DÖVÜNME

Dövünme, şiddetli denizlerde, geminin bazı belirli hızlarda aşırı dalıp-çıkma ve başkık vurma hareketlerini yapmasıyla baş tarafta gemi omurgasının sudan dışarı çıkarak tekrar şiddetle su yüzeyine çarpması sonucu oluşur. Çarpma anında düşey hız azalarak gemide ani düşey ivme değişimleri meydana gelir. Bu arada ivmeler en büyük değerine ulaşırlar. Gemi dibi, baş tarafta çok büyük lokal su kuvvetlerinin darbesi altında zorlanarak çoğu kez hasar görür. Gemi kendi natürel frekansında bir süre için titreşir. Genellikle dövünme sahası gemi başı ile gemi başından itibaren $L/4$ uzaklık içinde kalan aralıkta meydana gelir, Sabuncu (1983).

7.1 Giriş

Bu bölümde, maksimum dövünme basıncı ve dövünme kuvvetinin hesabına yönelik formüllere yer verilmiştir. Daha sonra, dövünmenin belli başlı özellikleri sıralanarak bu konuda genel bilgiler verilmiştir. Ardından deney sonuçlarından yola çıkarak dövünme katsayısını (k) veren regresyon denklemlerinin elde edilmesine yönelik yapılan çalışmalar detaylı bir şekilde açıklanmıştır (Ochi ve Motter, 1971). Daha sonra, ShipmoPC programı yardımıyla gemi baş kesitlerine gelen maksimum dövünme basıncı ve dövünme kuvvetinin tahmini için programa girilmesi gereken değerler şekiller yardımıyla gösterilmiştir. ShipmoPC'nin dövünme tahminlerinde kullanmış olduğu 2 yöntemden bahsedilmiş ve kama tipi kesitlerde bu 2 yöntem kullanılarak elde edilen dövünme form katsayısı değerlerinin karşılaştırılması yapılmıştır. Son olarak, dövünme sayısını veren formül gösterilmiş ve bu konuda yayınlanan çeşitli kriterlere yer verilmiştir.

7.2 Maksimum Dövünme Basıncı ve Dövünme Kuvvetinin Hesabı

Dövünme konusunda gemi dizaynının ilk aşamasında gerekli olan bilgi, geminin baş dip tarafına gelmesi beklenen en büyük darbe basıncının büyüklüğüdür. Maksimum dövünme basıncı baş tarafta gemi omurgasında meydana gelir. (Ochi ve Motter,

1971). Omurgadaki maksimum dövünme basıncı, dövünme form katsayısına bağlı olarak aşağıdaki denklemden hesaplanır:

$$p_{\max} = \frac{1}{2} \rho \dot{s}_r^2 k \quad (7.1)$$

Burada;

$\dot{s}_r$:Darbeye bağlı olarak başın düşey hızı (m/sn), ρ :Suyun yoğunluğu (ton / m³)

k : dövünme form katsayısı ve $p_{\max}$:maksimum dövünme basıncı (kPa)

Birim uzunluktaki dövünme kuvveti Şekil 7.1’de gösterilmiş olan etkin dövünme genişliği kullanılarak denklem (7.2)’de verilen formülle hesaplanır.

$$F_{\max} = p_{\max} \times \text{Etkin dövünme genişliği} \quad (7.2)$$

Burada;

$p_{\max}$:Denklem (7.1)’de verilen maksimum dövünme basıncı (kPa) ve

$F_{\max}$:Birim uzunlukta maksimum dövünme kuvveti (N/m).

Tekne formunun değiştirilmesinin dövünme karakteristiklerine ne kadar yarar sağlayacağı konusunda sayısal bilgilere ihtiyaç vardır. Bu amaca yönelik geliştirilen bir yöntem ise mevcut deneysel verileri istatistiksel olarak inceleyerek tekne formları ile darbe basıncının büyüklüğü arasında belli bir ilişkinin olup olmadığını incelemektir. Bunun için, dövünme olayında kritik olan gemi dip kısmı belirli değişkenler cinsinden ifade edilir ve kesit şeklinin darbe basıncı üzerine etkisini temsil edecek bir parametreyi veren regresyon denklemi belirlenir. Dövünme form katsayısı olarak adlandırılan bu katsayı (k), basınç ve darbe hızı arasındaki ilişkiyi verir ve ShipmoPC gibi bir denizcilik programına uygulanarak ekstrem dövünme değerleri rahatlıkla hesaplanır.

7.3 Regresyon Denkleminin Elde Edilmesi

Regresyon denkleminin elde edilmesinde gemi dövünmesine bağlı olarak darbe basıncının özelliklerinden söz edilmesinde yarar vardır. Belli başlı özellikler şöyle sıralanabilir (Ochi ve Motter, 1971):

1. Dövmüne basıncı, yaklaşık olarak, dövmüne anındaki gemi başının dalgalara göre bağıl hızının karesiyle doğru orantılıdır. Diğer bir deyişle, darbe basıncı aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$p = k\dot{s}_r^2 \quad (7.3)$$

Burada;

k: kesit şeklinde bağı olarak verilen sabit

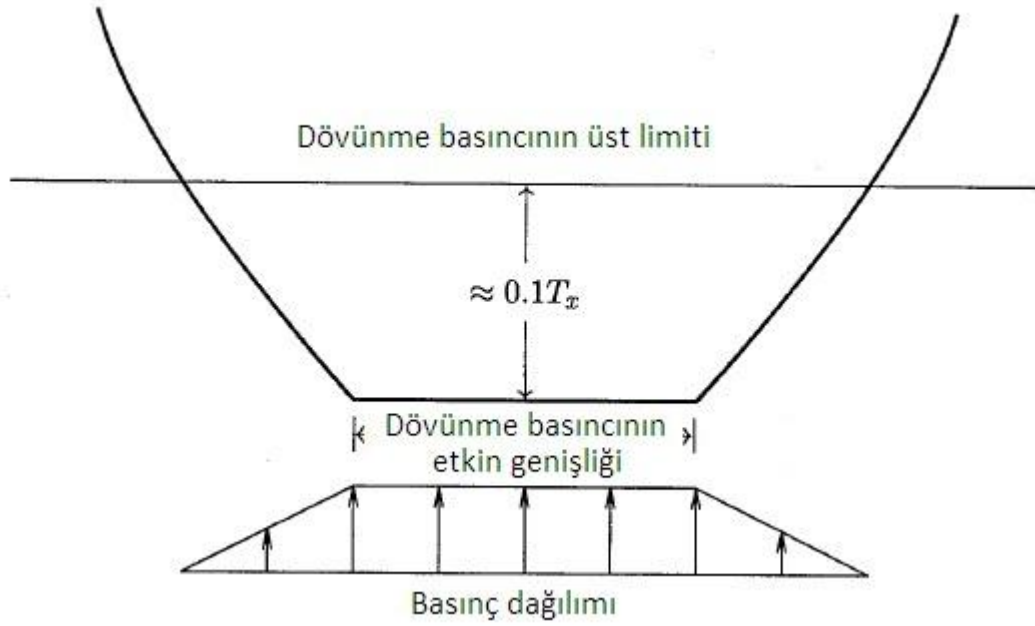
$\dot{s}_r$:dövmüne anında gemi başının dalgalara göre bağıl düşey hızı

Deneysel olarak elde edilen basınç, tam olarak bağıl hızın karesiyle orantılı olmayıp, daha düşük bir üstel değer ile orantılıdır (1.7-1.8. üssü). Yine de, denklem (7.3)'de verilen ifade yeterli derecede yakın sayılabilir ve istatistiklere uygulandığında makul sonuçlar vermektedir.

2. Dalgalarındaki model deneyleri sonucu elde edilen basınç büyüklükleri ve buradan elde edilen k-değerleri aynı darbe hızında yapılan 2 boyutlu düşürme testlerinden elde edilen sonuçlardan daha küçüktür (Ochi ve Bonilla-Norat, 1970).

3. k-değeri, gemi hızının bir fonksiyonu değildir ve deniz şiddeti ile dalga karakteristiklerinden bağımsızdır. Bu yüzden k-değerini elde etmek için yapılan model testleri, düzenli ya da karışık dalgalarda yapılabilir (Ochi, 1967).

4. k-değeri yalnızca tekne kesit formuna, özellikle dip kısmının şekline bağıdır. Deneysel çalışmalar göstermektedir ki, kesitin dövmüne basıncı omurgadaki maksimum değerinden, omurganın üzerindeki belirli bir bölgede sıfıra doğru gitmektedir. Şekil 7.1'de gösterildiği gibi sıfır basınca sahip bu yükseklik, kesitin omurgadan itibaren olan su çekiminin (lokal draftının) 1/10'u kadardır.



Şekil 7.1 : Dövünme basınç dağılımı (McTaggart, 1997b).

Denklem (7.3)'de verilen k-değeri “dövünme basıncı için form katsayısı” olarak da adlandırılabilir.

k-değeri ile kesit şekli arasında fonksiyonel bir bağıntı elde etmek için, $T_x / 10$ değerinin altındaki kesit şekli, aşağıdaki dönüşümde belirtilen üç parametre ile eşleştirilebilir:

$$z = U \left(\zeta + \frac{a_1}{\zeta} + \frac{a_3}{\zeta^3} + \frac{a_5}{\zeta^5} \right) \quad (7.4)$$

Burada;

$$z = x + iy$$

$$\zeta = \xi + i\eta$$

U: ölçek faktörü

Denklem (7.4)'de verilen a_1, a_3 ve a_5 değerleri reel değerler olup verilen bir kesite ait genişlik, derinlik, alan ve atalet momenti değerlerine göre hesaplanır (Landweber ve Macagno, 1959).

a_1, a_3 ve a_5 değişkenlerine bağlı olan k-değeri için en iyi regresyon denklemini elde etme amacıyla bir çok regresyon analizi yapılmıştır. Analizlere sadece lineer regresyon modelleri değil aslına uygun olarak lineer olmayan regresyon modelleri de

dâhil edilmiştir. k-değerlerini hesaplamak için elde bulunan örnek sayıları sınırlı olduğundan dolayı aşağıda sıralanan önlemler alınmıştır. Bunlar:

1. Korelasyon matrisi a_1, a_3 ve a_5 değerlerinin lineer olarak bağlantılı olmadığını göstermek için sunulmuştur.
2. Birçok korelasyon katsayısı ve tahminin standart hatası her bir model (denklem) için karşılaştırılmıştır.
3. Kısmi korelasyon katsayısı, tüm bağımsız değerler için her bir bağımsız değer için katkısını inceleme amacıyla hesaplanmıştır.

15 deneysel k-değeriyle yapılan regresyon analizi, eşleştirme katsayılarıyla birlikte (a_1, a_3 ve a_5 değerleri), Çizelge 7.1’de verilmiştir.

Çizelge 7.1 : k-değeri ve eşleştirme katsayıları (Ochi ve Motter, 1971).

Örnek No	k-değeri	α_1	α_3	α_5
1	0.021	-0.0690	0.0899	0.0117
2	0.035	-0.0482	0.0940	0.0462
3	0.038	-0.0482	0.0940	0.0462
4	0.053	0.02740	0.1029	-0.0050
5	0.070	0.4840	0.0382	0.0092
6	0.077	0.4693	0.0644	0.0022
7	0.077	0.4507	0.0660	0.0166
8	0.077	0.4507	0.0660	0.0166
9	0.086	0.3369	0.0573	0.0300
10	0.100	0.5656	0.0308	0.0146
11	0.125	0.5223	0.0471	0.0304
12	0.137	0.5326	0.0438	0.0066
13	0.145	0.5373	0.0321	0.0361
14	0.155	0.6843	0.0118	0.0276
15	0.196	0.5563	0.0275	0.0146

k-değerini elde etmede 20 aday regresyon modelinden kapsamlı çalışmalardan sonra aşağıda verilen modelin belirlenmesine karar verilmiştir (Ochi ve Motter, 1971):

$$\ln k = \beta_0 + \beta_1 a_1 + \beta_2 a_3 + \beta_3 a_5 \quad (7.5)$$

Korelasyon matrisi ve ters matrisi kullanılarak denklem (7.5)'de verilen β katsayıları şu şekilde elde edilmiştir: $\beta_1=-3.599$, $\beta_2=2.419$, $\beta_3=-0.873$ ve $\beta_4=9.624$.

O halde k-değeri aşağıda verilen denklemden bulunabilir:

$$k = \exp \{-3.599 + 2.419 a_1 - 0.873 a_3 + 9.624 a_5\} \quad (7.6)$$

Çizelge 7.1'de verilen örneklere ait k-değerleri ile denklem (7.6)'da hesaplanan k-değerlerinin karşılaştırılması Çizelge 7.2'de yapılmıştır.

Çizelge 7.2 : Deney sonucu ve regresyon denklemiyle elde edilen k-değerlerinin karşılaştırılması (Ochi ve Motter, 1971).

Örnek No	Deney sonucu k_a	Regresyon Sonucu k_r	$\left \frac{k_a - k_r}{k_r} \right (\%)$
1	0.021	0.024	12.5
2	0.035	0.035	0
3	0.038	0.035	8.6
4	0.053	0.046	15.2
5	0.070	0.093	24.7
6	0.077	0.082	6.1
7	0.077	0.090	14.4
8	0.077	0.090	14.4
9	0.086	0.079	8.9
10	0.100	0.120	18.0
11	0.125	0.125	0
12	0.137	0.102	34.3
13	0.145	0.138	5.1
14	0.155	0.185	16.2
15	0.196	0.118	66.1

Çizelge 7.2'de gösterildiği gibi gerçek değerle tahmin edilen değer arasındaki farkın %50'den fazla olduğu sadece bir örnek vardır (Örnek 15). Önerilen regresyon denklemini ile deneysel k-değerleri arasında ortalama %16.2'lik bir fark vardır.

Bu fark büyük gözükse de k-değerlerinin deneysel olarak elde edilmesinde de bazı hataların olması kaçınılmazdır.

Örnek 15’de deney sonucu ile tahmin edilen sonuç arasında önemli bir fark vardır. Ancak bilinmelidir ki sadece denklem (7.6)’da verilen regresyon modelinde değil; diğer aday modellerle yapılan hesaplamalarda da aynı hata görülmüştür. Bu durum, Örnek 15’in deneyi sırasındaki hatanın diğer deneylerinkinden daha fazla olduğu anlamına gelmektedir. Yine de, denklem (7.6)’nın elde edilmesinde tüm deneysel veriler eşit şekilde dağıtılmıştır (Ochi ve Motter, 1971).

7.4 Bilgisayar Programı Yardımıyla Dövünme Form Katsayısının Bulunması

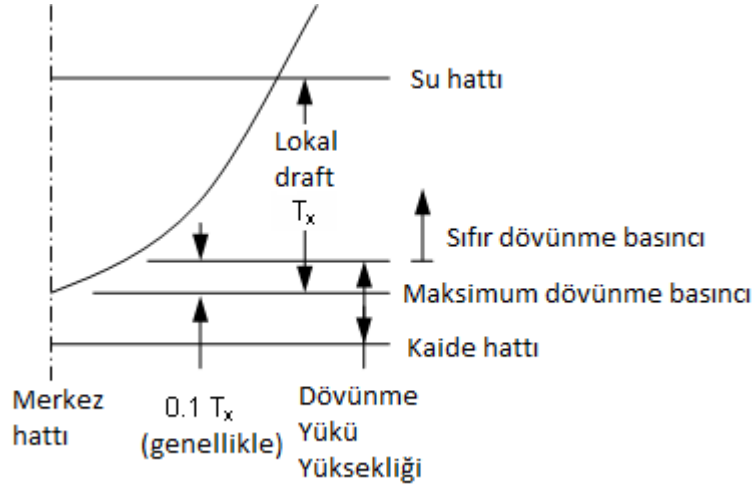
Verilen bir gemi kesitine ait k-değerinin hesabı herhangi bir bilgisayar yazılımıyla yapılabilir. Böyle bir hesabın ShipmoPC programında yapılması için programa girilmesi gereken veriler şöyle sıralanabilir:

- a) Geminin mastorisindeki su çekimi değeri,
- b) Kesitin lokal draftının 1/10 katı ($T_x / 10$),
- c) Kesitin dip noktasından lokal draftın 1/10 katına kadar ($T_x / 10$) kesit üzerinde alınacak en fazla 11 noktanın ofset değerleri (yarı genişlik ve yükseklik),
- d) Dövünme yükü yüksekliği
- e) Kesitin omurga mesafesinden itibaren $T_x / 10$ yüksekliğindeki yarı genişliği

Lokal draft ile dövünme yükü yüksekliği kavramlarının gösterimi Şekil 7.2’de verilmiştir.

Şekil 7.2’de gösterildiği gibi lokal draft, kesitin omurga hattından su hattına kadar ölçülen derinliktir, dövünme yükü yüksekliği ise geminin kaide hattından $0.1T_x$ yüksekliğine kadar ölçülen düşey mesafedir. Burada, maksimum dövünme basıncının omurgada bulanacağı ve sıfır dövünme basıncının da $0.1T_x$ bölgesinde olduğu kabulü yapılmıştır (Ochi ve Motter, 1971).

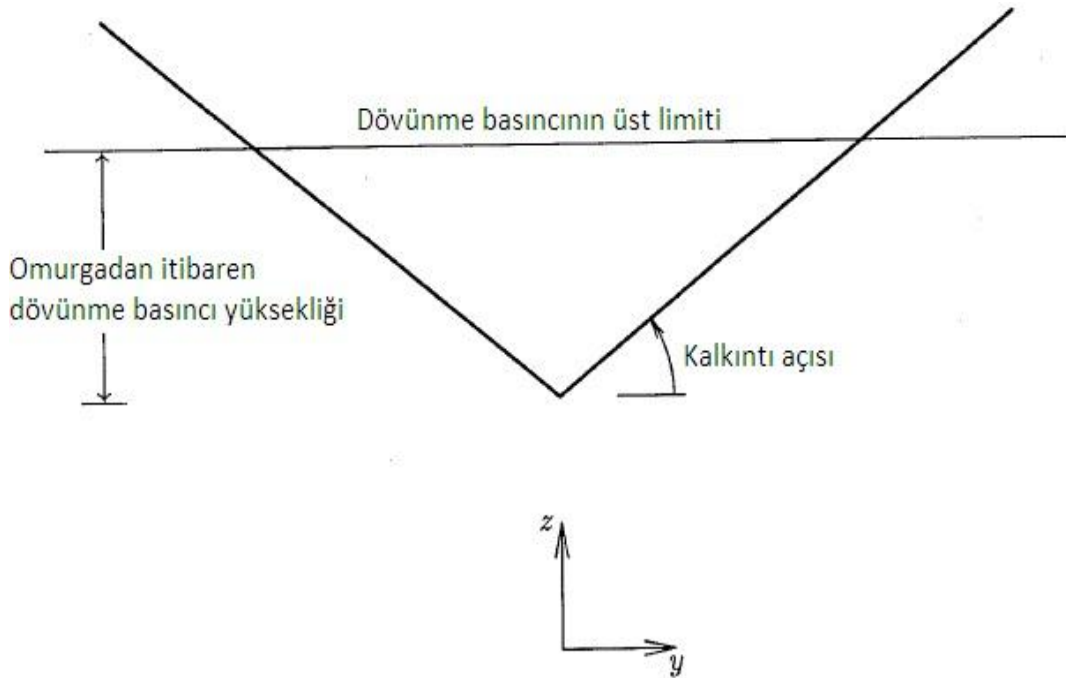
Eşleşme katsayılarının ve k-değerinin bulunmasına ilişkin denklemlerin çözümü için Ochi ve Motter’in (1971) makalesine bakılabilir.



Şekil 7.2 : Dövünme hesabında kesitte bilinmesi gereken büyüklüklerin ifadesi.

7.5 Kama (Wedge) Tipi Kesitlerde Dövünme Form Katsayısının (k-değeri) Hesaplanması

Şekil 7.3’de gösterildiği gibi dövünme hesabı yapılacak kesitin kama şeklinde olması halinde Stavovy ve Chuang (1976) tarafından verilen deneysel çalışmalardan yararlanılarak bir form katsayısı hesaplanabilmektedir. Bunun için kesitin kalkıntı açısının ve lokal draftının bilinmesi gereklidir.



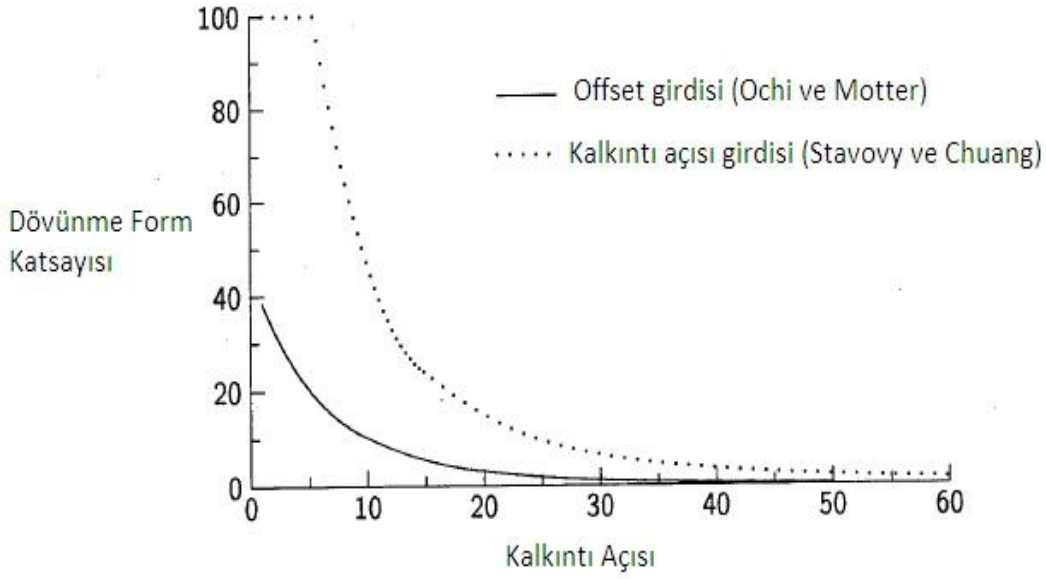
Şekil 7.3 : Dövünme form katsayısını hesaplamak için kama (wedge) geometrisinin verileri (McTaggart, 1997b).

$$\text{Dövmme Basıncının Etkin Genişliği} = \frac{0.1T_x}{\tan(\text{kalkıntı açısı})} \quad (7.7)$$

Dövmme basıncının etkin genişliği denklem (7.7)'de verildiği gibi dövmme basıncının üst limiti olan $0.1T_x$ değerinin kalkıntı açısının tanjantına bölünmesiyle bulunur.

ShipmoPC'de dövmme hesabı yapılacak olan kesitin geometrisi “offset” seçeneği kullanarak girildiğinde program, dövmme form katsayısını hesaplamada Ochi ve Motter'in yöntemini kullanır (1971). Kesit geometrisi “Wedge” (kama) seçeneği kullanılarak giriliyorsa, bu durumda form katsayısı Stavovy ve Chuang'ın (1976) deneysel verilerle elde etmiş oldukları yöntemle hesaplanır.

Deneysel sonuçlar göstermektedir ki; dövmme basıncı, gemi posta kesitinde basıncın ölçüleceği alanın büyüklüğüne ve darbe alanının yapısal özelliklerine oldukça bağlıdır. Bu yüzden tahmin edilen dövmme basıncı ve kuvvetler yalnızca yaklaşık değer olarak nitelendirilmelidir. Yayınlanmış değerler göstermektedir ki dövmme form katsayıları 1'in altından, 300'ün üzerine kadar son derece geniş bir aralıkta değişmektedir. Yine de denizde seyir halinde bir geminin kesitine ait gerçek form katsayısı değeri nadiren 30'u aşmaktadır. Omurganın yakınında offset değerleri girilerek Ochi ve Motter'in (1971) yöntemine göre hesaplanan form katsayısı değeri büyüklük olarak muhtemelen daha küçük ve bir kama kesiti için Stavovy ve Chuang'ın (1976) yöntemine dayalı olarak yapılan hesaptan daha gerçekçidir. Şekil 7.4'de ShipmoPC programında kama şeklindeki bir kesitin offset değerleri girilerek ve “wedge” seçeneği kullanılarak hesaplanan form katsayılarının karşılaştırılması verilmiştir. Geniş kalkıntı açısında (50 dereceden daha büyük) kama şeklindeki kesitler için Ochi'nin yöntemi nümerik problemlerden dolayı başarısızdır (McTaggart, 1997b).



Şekil 7.4 : Kama şeklindeki kesitler için dövünme katsayısı (McTaggart, 1997b).

7.6 Dövünme Olasılığı

Gemide dövünmenin meydana gelebilme olasılığını, başta su çekimini T ile göstermek suretiyle, başın sudan çıkma olasılığı olarak tanımlarsak, Rayleigh dağılım fonksiyonundan yararlanmak suretiyle,

$$\text{Dövünme olasılığı} = P = [T < s_{ad} < \infty]$$

$$\begin{aligned} &= \frac{1}{m_{0s}} \int_T^{\infty} x \cdot e^{-\frac{x^2}{2m_{0s}}} dx \\ &= e^{-\frac{T^2}{2m_{0s}}} \end{aligned} \quad (7.8)$$

ile verilir. Burada m_{0s} dinamik etkilere göre düzeltilmiş baştaki dalıp-çıkma hareketine ait varyans değeridir [m^2]. s_{ad} ise başın bağlı hareketindeki dinamik genliktir [m]. Diğer taraftan Ochi'ye göre dövünmenin oluşabilmesi için, ayrıca başın belirli ve kritik bir hızın üzerinde kalarak suya girmesi gerekmektedir. Ochi'ye göre, kritik hız (1967):

$$\dot{s}_c = 0.093\sqrt{gL} \quad (7.9)$$

ile verilmektedir. Gemi başında dalıp-çıkma hareketine ait $S_{ss}(\omega_e)$ spektrumunu ω_e^2 ile çarpmak suretiyle $S_{\dot{s}s}(\omega_e) = S_{ss}(\omega_e)\omega_e^2$ şeklinde bağıl hareketin hız spektrumu elde edilir. O halde $m_{0\dot{s}}$ varyans değeri:

$$\begin{aligned} m_{0\dot{s}} &= \int_0^{\infty} S_{\dot{s}s}(\omega_e) d\omega_e \\ m_{0\dot{s}} &= \int_0^{\infty} \omega_e^2 S_{ss}(\omega_e) d\omega_e \\ m_{0\dot{s}} &= m_{2s} \end{aligned} \quad (7.10)$$

olarak verilir. Yani, aynı zamanda bu değer, gemi başındaki dalıp-çıkma spektrumunun altındaki alanın ikinci momentine eşit olmaktadır. Bunun yardımıyla hızların gemi başında $\dot{s}_c$ hızından büyük olabilme olasılığı:

$$\begin{aligned} P[\dot{s}_c < \dot{s}_a < \infty] &= \frac{1}{m_{0\dot{s}}} \int_{\dot{s}_c}^{\infty} x \cdot e^{-\frac{x^2}{2m_{0\dot{s}}}} dx \\ P[\dot{s}_c < \dot{s}_a < \infty] &= e^{-\frac{\dot{s}_c^2}{2m_{0\dot{s}}}} \\ P[\dot{s}_c < \dot{s}_a < \infty] &= e^{-\frac{\dot{s}_c^2}{2m_{2s}}} \end{aligned} \quad (7.11)$$

olarak bulunur. O halde dövünme için her iki şartın birlikte oluşabilme olasılıkları bu olasılıkların çarpımına eşit olacağından:

$$P[\text{dövünme}] = e^{-\left(\frac{T^2}{2m_{0s}} + \frac{\dot{s}_c^2}{2m_{0\dot{s}}}\right)} \quad (7.12a)$$

veya

$$P[\text{dövünme}] = e^{-\left(\frac{T^2}{2m_{0s}} + \frac{\dot{s}_c^2}{2m_{2s}}\right)} \quad (7.12b)$$

yazılabilir. Burada yine m_{0s} ve $m_{0\dot{s}}$ dinamik etkilere göre düzeltilmiş bağıl hareket ve hıza ait varyans değerleridir (Loukakis ve Chryssostomidis, 1975).

Birim zamanda dövünmenin gerçekleşme sayısı, N_s denklem (7.14)'de verilen formülle tahmin edilebilir:

$$N_s = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{m_{2s}}{m_{0s}}} x P[\text{dövünme}] \quad (7.13)$$

Burada;

N_s : Saniyede gerçekleşen dövünme sayısı

m_{0s} : Gemi başının bağıl hareketine ait kareler ortalaması [m^2]

m_{2s} : Gemi başının bağıl hızına ait 2. momentinin varyans değeri [$m^2.sn^{-2}$]

7.7 Dövünme Sayılarına İlişkin Kriterler

Başın dövünmesi olayı dalgalar arasında bulunan gemiye bölgesel zararlar verebileceği gibi gemide yapısal hasarlara da yol açabilmektedir. Bu sebepten dolayı denizcilik kriterlerinin belirlenmesinde dövünme ile ilgili olarak da sınırlar belirlenmiştir.

Baş dövünmesi ile ilgili sınırlar bir saat içinde gerçekleşmesi beklenen dövünme sayısı veya 100 baş-kıç vurma salınımı içerisinde oluşması beklenen dövünme sayısı ile ifade edilir. Dövünme olayına ilişkin tipik kriterler Çizelge 7.3’de verilmiştir:

Çizelge 7.3 : Tipik dövünme sayısı kriterleri (Gemi Müh. El Kitabı, 2008).

Gemi Tipi	Kaynak	Dövünme Sayısı
Suüstü savaş gemisi	STANAG 4154	20 adet/saat
SWATH	STANAG 4154	20 adet/saat
Yük gemisi	Aertssen	%6
Yolcu gemisi	Aertssen	%5
Büyük tanker	Aertssen	%3
Dökme yük	Aertssen	%3
Balıkçı	Aertssen	%6
Yük gemisi	Ochi	%3
Yük gemisi	Hoffman	%8 veya 4 adet/saat
Destroyer	Olson	3 adet/saat
Destroyer	Kehoe	60 adet/saat
Destroyer	Bales	20 adet/saat

Çizelge 7.3 : Tipik dövünme sayısı kriterleri (devam).

Gemi Tipi	Kaynak	Dövünme Sayısı
Suüstü savaş gemisi	Brown	20-90 adet/saat
Sahil güvenlik botu	Baitis	30 adet/saat
Balıkçı	Spouge	20 adet/saat

8. SAVAŞ GEMİLERİ İÇİN ÖRNEK BİR DENİZCİLİK ANALİZİ

Başarılı bir gemi dizaynından söz edebilmek için, öncelikle o geminin her türlü ağır hava ve deniz koşullarında yolcu ve mürettebatın can ve mal güvenliğini sağlayacak özelliklere sahip olması gerekir. Ayrıca, geminin kendisinden beklenen görevleri hız ve rotasını koruyarak eksiksiz olarak yerine getirmesi istenir. Bu durum özellikle çok zor ve karmaşık görevlere sahip savaş gemileri açısından önem teşkil eder. Savaş gemileri, tüm bu görevleri ancak fiziksel ve psikolojik olarak sağlıklı personel sayesinde tam olarak yerine getirebilir (Sabuncu, 1983). Bu durumda savaş gemileri için denizcilik analizleri, geminin dizayn aşamasında hayati önem taşımaktadır.

8.1 Giriş

Bu bölümde, dizayn aşamasında olan bir savaş gemisi için denizcilik analizleri yapılmıştır. Bu analizler sayesinde geminin çeşitli deniz şiddeti, hız ve dalga yönlerindeki performansı hesaplanmış ve ayrıca elde edilen sonuçlar çeşitli kriterlerle kontrol edilmiştir. Yapılan analizlerin sonuçları ise karşılaştırmalı olarak grafikler şeklinde sunulmuştur. Böylece, bir savaş gemisinin denizcilik performansını ölçecek örnek bir analiz yöntemi gösterilmiştir.

Savaş gemilerinin dalgalı denizlerdeki hareketlerini kısıtlayan etmenler aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Dalgalı denizlerde meydana gelen aşırı gemi hareketleri
- Hareket kaynaklı denge kaybı
- Yüksek ivmeler
- Başın dövmesi
- Güverte ıslanması
- Pervanenin sudan çıkması

Bir savaş gemisinin denizcilik hesaplarının yapılabilmesi için aşağıda verilen bilgilerin eksiksiz olarak tanımlanması gerekir:

- Geminin tipi ve görev tanımı
- Geminin temel özellikleri ve geometrisi
- Gemiye ait ağırlık dağılımı
- Helikopter platformu, köprü üstü güvertesi, savaş harekât merkezi gibi gemi için kritik yerlerin konumları
- Geminin görev yapacağı deniz sahası ve deniz şiddetleri
- Geminin türü ve üstlendiği vazifeler göz önüne alınarak belirlenecek denizcilik kriterleri

Yukarıda belirtilmiş olan veriler elde edildikten sonra geminin denizcilik hesapları ShipmoPC programından (BMT, 2001) yararlanılarak yapılmıştır. Yapılan bu hesaplar, düzenli dalgalardaki gemi hareketlerinin tahminini, karışık denizlerde başkık vurma, dalıp-çıkma ve yalpa hareketleri ile hareketlerden meydana gelen düşey ivme ve dövünme analizlerini içermektedir. Ayrıca, geminin sahip olduğu aktif yalpa fininin de yalpa genliklerini azaltmadaki etkisi gösterilmiştir. Bunlarla birlikte geminin düzenli dalgalarda ve karışık denizlerdeki ortalama ek direnç tahmini yapılmış ve elde edilen sonuçlar grafikler halinde verilmiştir.

8.2 Örnek Gemi Analiz Verileri

Örnek olarak incelenen gemi, bir çıkarma gemisi olup amfibik askeri gemi sınıfına girmektedir. Bu tip gemiler görev ve/veya harp durumlarında malzeme yükleme/boşaltma, taşıma sağladıkları gibi helikopterlerin konma ve konaklaması için tasarlanmışlardır. Yüksek savaş yetenekleri ile donatılmış bu gemiler ülke donanması için hizmet vermektedir.

Gemiye ait temel bilgiler Çizelge 8.1’de verilmiştir. Ele alınan bu savaş gemisinin geometrisi 20 postaya bölünerek programa tanıtılmıştır. Ayrıca, belirtilen postalara karşılık gelen ağırlık dağılımları da ton cinsinden girilmiştir. 0. posta kık dikme ve 20. posta da baş dikme olarak alınmıştır. Bununla birlikte gemiye ait yalpa omurgası, skeg, şaft braketleri ve aktif yalpa finlerinin bilgileri de programa tam olarak girilmiştir.

Çizelge 8.1 : Savaş gemisinin temel özellikleri.

L_{BP}	208 metre
k_{yy}	52 metre
T	7 metre
Δ	25430 ton
C_B	0.54

8.3 Düzenli Dalgalardaki Hareketler

Geminin düzenli dalgalardaki hareketleri lineer süperpozisyon ilkesinden yararlanarak karışık dalgalarda verdiği tepkileri elde edebilmek amacıyla hesaplanmaktadır.

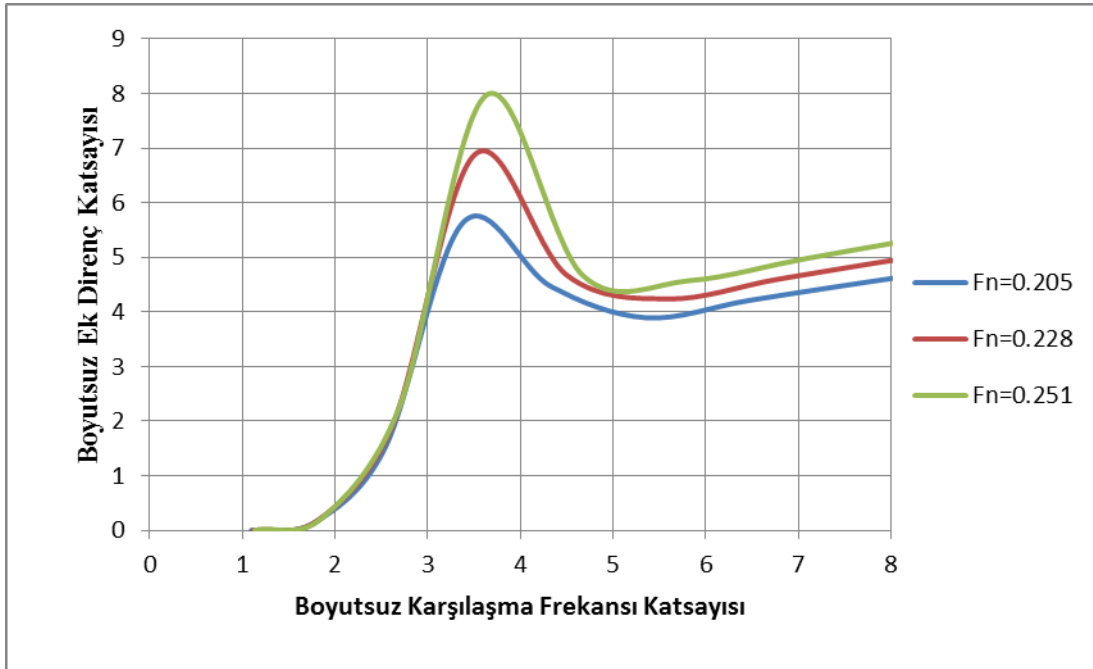
Düzenli dalgalardaki hareketler deneysel olarak elde edilebilir, ancak geminin dizayn aşamasında özellikleri sürekli değişim gösterebilmektedir. Özellikle kütle ağırlık dağılımlarını son aşamaya kadar netleştirmek zordur. Ayrıca, dizayn spirali göz önüne alınarak bir önceki aşamaya dönmek her zaman mümkündür. Bu durumda, denizcilik deneylerini sürekli tekrarlamak hem zahmetli hem de masraflı olacaktır. Bunun yanında belirtilmelidir ki, ince-uzun formlarıyla savaş gemileri dilim teorisine ve bu teoriyi kullanarak çalışan bilgisayar yazılımlarına çok uygundur.

ShipmoPC programında, gemiyi oluşturan iki boyutlu dilimlere etkileyen hidrodinamik kuvvetler 2 boyutlu sınır eleman yöntemiyle ya da Lewis form (Lewis, 1929) kullanılarak elde edilir. Burada yapılan tüm hesaplarda sınır eleman yöntemi seçilmiştir.

Çizelge 8.1’de özellikleri belirtilmiş olan çıkarma gemisinin 22 knot servis hızında kış omuzluk, borda ve baştan gelen düzenli dalgalardaki hareketlerine ait transfer fonksiyonları Ek E’de grafik olarak verilmiştir. Geminin tüm takıntıları ve aktif yalpa fini dikkate alınarak bu analizler yapılmıştır.

8.3.1 Baştan gelen dalgalarda ek direnç hesabı

Gemilerin dalgalı denizlerde seyir halindeki direnci, sakin sudaki direncinden fazla olup bu fark, hızın azalması ya da makine gücünün artırılmasına yol açmaktadır. Bu direnç farkının, denizlerde görevini gerçekleştirmekte olan bir savaş gemisi için mümkün olduğunca az olması istenmektedir. Dalgalardan gelen ek direnç tahmini de bu açıdan önem taşımaktadır. Örnek olarak alınan geminin baştan gelen düzenli dalgalardaki ek direnç değerleri, çeşitli gemi hızlarında boyutsuz olarak Şekil 8.1’de sunulmuştur. Grafikteki yatay eksen karşılaşma frekans katsayısını gösterirken, dikey eksen ise ek direnç katsayısını vermektedir. Boyutsuz ek direnç katsayısı denklem (5.5)’te gösterilmiştir.



Şekil 8.1 : Geminin baştan gelen düzenli dalgalardaki ek direnç grafiği.

8.4 Geminin Görev Yapacağı Deniz Sahalarının Temsili

Bir su üstü savaş gemisinin harekât sahalarındaki denizcilik özelliklerinin belirlenebilmesi için öncelikle bu sahaları oluşturan denizlere ait dalga özelliklerinin mevsim ve konuma göre değişimlerinin bilinmesi gereklidir. Dalgalı bir deniz rastgele bir davranış sergileyecektir ve böyle bir denizi matematik olarak temsil edebilmek için istatistiki yöntemler kullanmak gerekecektir. Lineer süperpozisyon prensibine göre karışık denizlerin sonsuz sayıda düzenli dalga bileşeninden oluştuğu varsayılabilir ve bu bileşenlerin frekansa göre varyansının yoğunluğu ile o denizin

enerjisini temsil eden bir dalga spektrumu elde edilebilir. Bu spektrum eğrisi altında kalan alan dalga yüksekliğinin varyansını verecektir. Dalga spektrumunu kullanarak bir denize ait pek çok istatistiki bilgi elde edilebilir, Sarıöz (1999).

Bunlardan en çok kullanılanlar Çizelge 8.2’de verilmektedir. Burada m_0 dalga spektrumu eğrisi altında kalan alanı göstermektedir.

Çizelge 8.2 : Dalga istatistikleri.

Dalga yükseklikleri		
En fazla rastlanan	RMS	$2\sqrt{m_0}$
Ortalama	$\bar{H}$	$2.50\sqrt{m_0}$
Karakteristik	$\bar{H}_{1/3}$	$4.00\sqrt{m_0}$
1/10 en yüksek ortalaması	$\bar{H}_{1/10}$	$5.10\sqrt{m_0}$

Geminin görev yapacağı karışık denizlere ait verilerin mevcut olmadığı durumlarda matematik spektrum fonksiyonlarından yararlanılabilir. Bu spektrumların en çok kullanılanı, 2 parametrelili dalga spektrumu olan ITTC spektrumudur (ITTC, 1978).

$$S_{\zeta\zeta}(\omega) = \frac{A}{\omega^5} \exp\left[-\frac{B}{\omega^4}\right] \quad (8.1)$$

Burada A ve B sabitleri şu şekilde tanımlanmıştır:

$$A = 173 \frac{H_{1/3}^2}{T_1^4} \text{ ve } B = \frac{691}{T_1^4} \quad (8.2)$$

Katsayılar da belirtilen T_1 : karakteristik dalga periyodudur ve modal dalga periyodu: $T_p = 1.2958 T_1$ olarak belirtilmiştir.

İki parametrelili ITTC Spektrumunda belirtilen $H_{1/3}$ ve T_p değerleri için çeşitli deniz sahalarına ve deniz şiddetlerine ait Çizelge 8.3’de belirtilmiş olan veriler alınabilir:

Bu bölümde örnek olarak incelenen savaş gemisinin denizcilik hesaplarında Türk Denizlerine ait oluşturulmuş spektrumlardan yararlanılmıştır. Karadeniz ve Ege Denizi için bu spektrumlar kullanılırken, Akdeniz için 2 parametrelili ITTC spektrumu (ITTC, 1978) kullanılmıştır.

Tüm denizcilik analizlerinde, gerçek denizleri daha iyi temsil ettiği için 90° yayılma açısına sahip kısa dalga tepeli deniz durumu modellenmiştir (Lloyd, 1989).

Çizelge 8.3 : Çeşitli deniz sahalarına ve deniz şiddetlerine ait değerler.

DENİZ ŞİDDETİ	KARAKTERİSTİK DALGA YÜKSEKLİĞİ (m)	MODAL DALGA PERİYODU (sn)		
		KARADENİZ	AKDENİZ	EGE
1	0.05	3.53	4.42	3.63
2	0.30	4.14	5.00	4.01
3	0.88	5.41	6.25	4.86
4	1.88	7.28	8.15	6.25
5	3.25	9.10	10.16	7.96
6	5.00	10.19	11.74	9.81

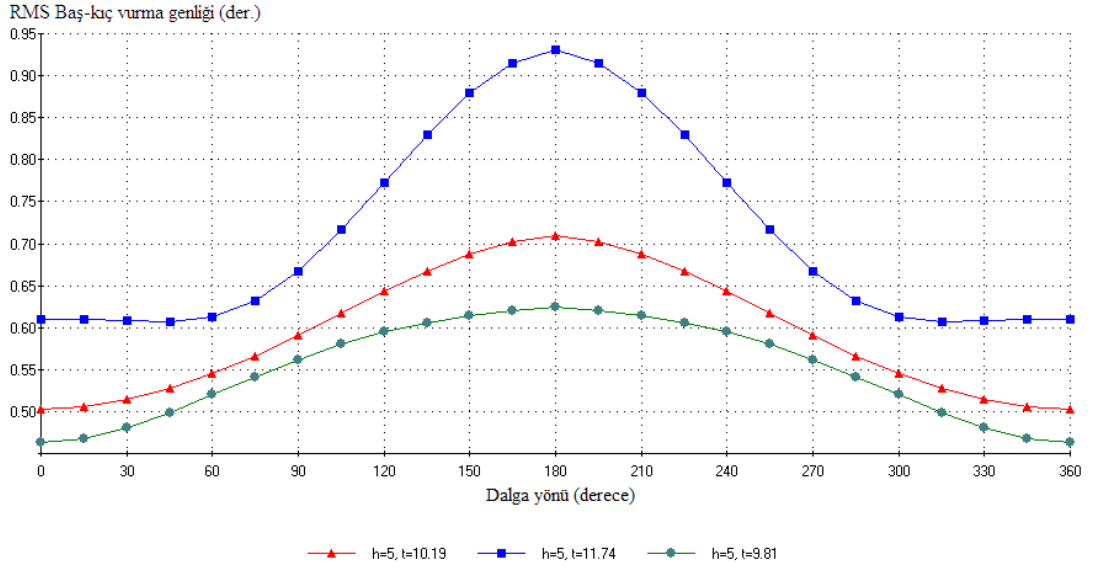
8.5 Karışık Denizlerdeki Hareketlerin İncelenmesi

Geminin düzenli dalgadaki transfer fonksiyonlarının belirlenmesi ve görev yapacağı deniz sahalarına ait dalga spektrumlarının elde edilmesiyle karışık denizlerde ve çeşitli deniz şiddetlerindeki hareketlerin belirlenmesinin mümkün olduğu ve bunun için lineer süperpozisyon ilkesinden yararlanıldığı önceki bölümlerde anlatılmıştır.

8.5.1 Baş-kıç vurma analizleri

Bu bölümde, örnek geminin değişik hızlarda ve deniz sahalarında baş-kıç vurma hareketleri analiz edilmiştir. Ek F’de geminin 6 deniz şiddetinde karışık denizlerde gösterdiği baş-kıç vurma tepkisi, grafik ve polar diyagramlar şeklinde sunulmuştur. Hesaplar 18, 20 ve 22 knot gemi hızlarında yapılmıştır. Grafiklerin ordinatlarındaki değerler RMS genlik değerleridir.

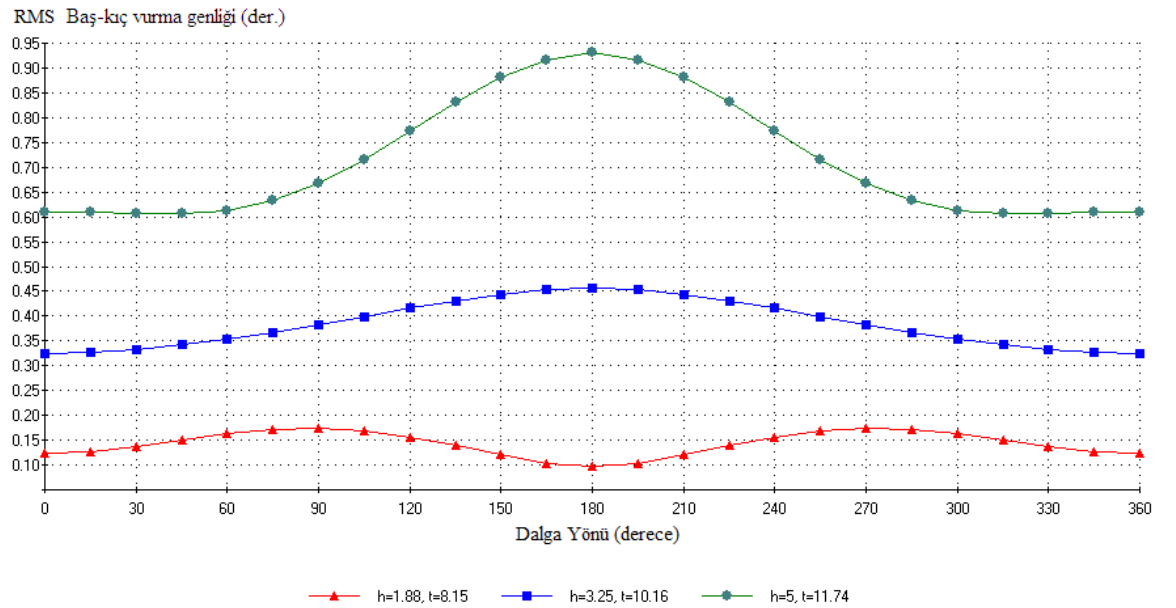
Geminin 22 knot servis hızında ve 6 deniz şiddetinde çeşitli deniz sahalarında gösterdiği baş-kıç vurma tepkilerini karşılaştırmak amacıyla 2 parametrelili ITTC Spektrumu (ITTC, 1978) ve Çizelge 8.3’de verilen değerler kullanılarak analizler yapılmış ve Şekil 8.2’de gösterilmiştir. Grafiğin ordinatındaki değerler derece olarak RMS baş-kıç vurma açısını gösterirken yatay ekseninde dalga yönü derece olarak verilmiştir.



Şekil 8.2 : Geminin 6 deniz şiddetinde çeşitli deniz sahalarındaki baş-kıç vurma hareketlerinin karşılaştırılması (V: 22 knot).

Grafikte kırmızı renk ile gösterilen eğri Karadeniz'i, mavi renkli eğri Akdeniz'i ve yeşil renge sahip eğri ise Ege Denizi'ni temsil etmektedir. Şekil 8.2'den görüldüğü gibi en fazla baş-kıç vurma hareketi Akdeniz'de meydana gelmektedir. Ayrıca beklendiği üzere baştan gelen dalgalarda geminin baş-kıç vurma hareketleri en fazla olmaktadır.

Geminin Akdeniz'deki çeşitli deniz durumlarında baş-kıç vurma hareketinin 22 knot servis hızında analiz sonuçları Şekil 8.3'de gösterilmiştir.



Şekil 8.3 : Geminin Akdeniz'de çeşitli deniz durumlarına ait baş-kıç vurma hareketleri (V: 22 knot).

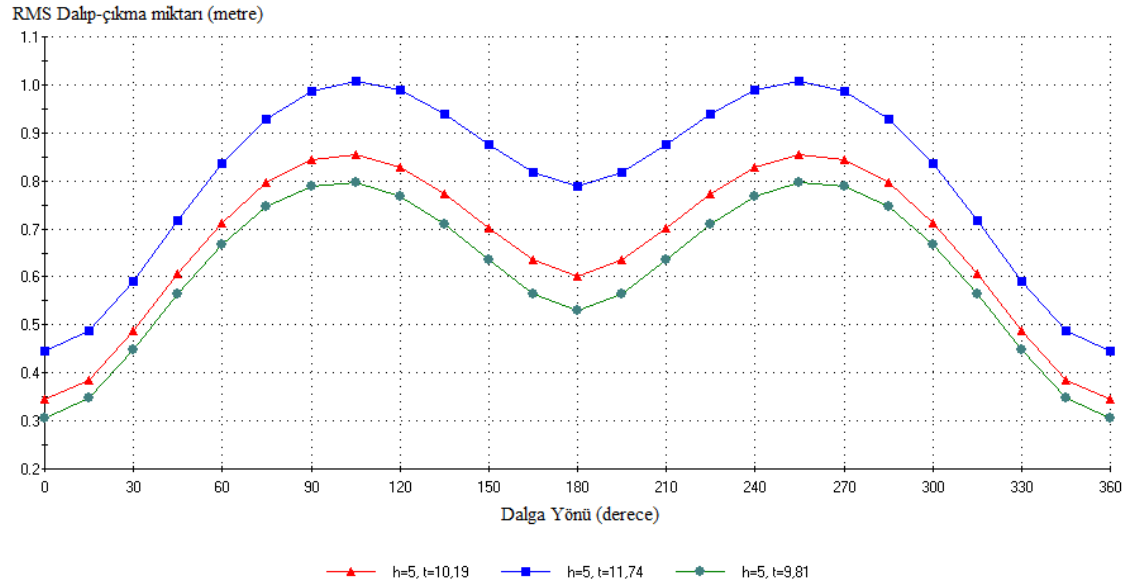
Şekil 8.3'deki grafikte verilen kırmızı renk 4 deniz şiddeti, mavi renk 5 deniz şiddeti ve yeşil renk de 6 deniz şiddeti için yapılan baş-kıç vurma analizlerinin sonuçlarını ifade etmektedir. Beklendiği üzere, deniz şiddeti arttıkça geminin baş-kıç vurma hareketleri de artmaktadır. Şekilden görüldüğü gibi, 4 deniz şiddetinde en fazla baş-kıç vurma hareketi baştan gelen dalgalarda değil, bordadan gelen dalgalarda meydana gelmektedir.

8.5.2 Dalıp-çıkma analizleri

Örnek geminin çeşitli hızlarında ve değişik deniz sahalarındaki baş-kıç vurma hareketleri bu başlık altında analiz edilmiştir. Ek G'de geminin 6 deniz şiddetinde karışık denizlerde gösterdiği dalıp-çıkma tepkisi, grafik ve polar diyagramlar şeklinde sunulmuştur. Hesaplar 18, 20 ve 22 knot gemi hızlarında yapılmıştır. Grafiklerin ordinatlarındaki değerler metre cinsinden RMS dalıp-çıkma genliğini göstermektedir.

Ek G'de verilen grafiklerden anlaşılabacağı gibi geminin hızı arttıkça hareketlerde azalma görülmektedir. Ayrıca, en yüksek genlikli dalıp-çıkma hareketi 105° dalga geliş açısında meydana gelmektedir.

Geminin 22 knot servis hızı ve 6 deniz şiddetinde çeşitli deniz sahalarındaki dalıp-çıkma hareketleri Şekil 8.4'de gösterilmiştir.



Şekil 8.4 : Geminin 6 deniz şiddetinde çeşitli deniz sahalarındaki dalıp-çıkma hareketlerinin karşılaştırılması (V: 22 knot).

Grafikte kırmızı renk ile gösterilen eğri Karadeniz'i, mavi renkli eğri Akdeniz'i ve yeşil renge sahip eğri ise Ege Denizi'ni temsil etmektedir. Baş-kıç vurma hareketinde olduğu gibi geminin en fazla dalıp-çıkma miktarı Akdeniz'de meydana gelmektedir.

8.5.3 Yalpa analizleri

Bu bölümde, geminin çeşitli hızlarda ve değişik deniz sahalarındaki yalpa hareketleri analiz edilmiş ve Ek H'de geminin 6 deniz şiddetindeki hareketleri, grafik ve polar diyagramlar şeklinde sunulmuştur. Hesaplar 18, 20 ve 22 knot gemi hızlarında yapılmıştır. Grafiklerin ordinatlarındaki değerleri derece olarak en sık rastlanan yalpa genliklerini göstermektedir (RMS).

Ek H'de verilen grafik ve diyagramlardan anlaşılabacağı üzere geminin hızı arttıkça yalpa açılarında azalma görülmektedir. Ayrıca, yalpa genliği en fazla 75° dalga geliş açısında meydana gelirken, baştan gelen dalgalarda yalpa genliğinin en az olduğu anlaşılmaktadır.

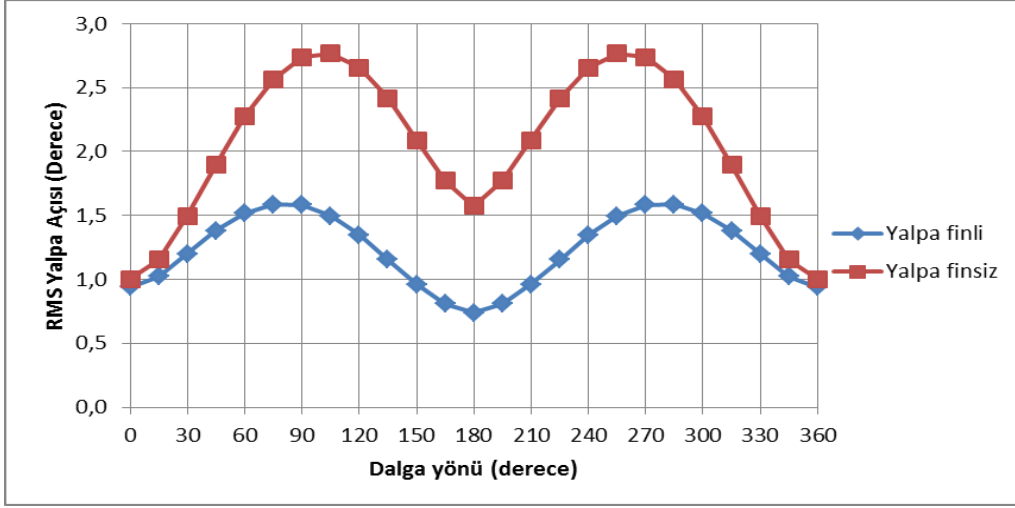
8.5.3.1 Yalpa fininin performansının değerlendirilmesi

Su üstü görev yapan savaş gemisi, yalpa hareketlerini sönümlendirmesi amacıyla yalpa omurgası yanında özellikleri Çizelge 8.4'de verilen aktif yalpa fini kullanmaktadır.

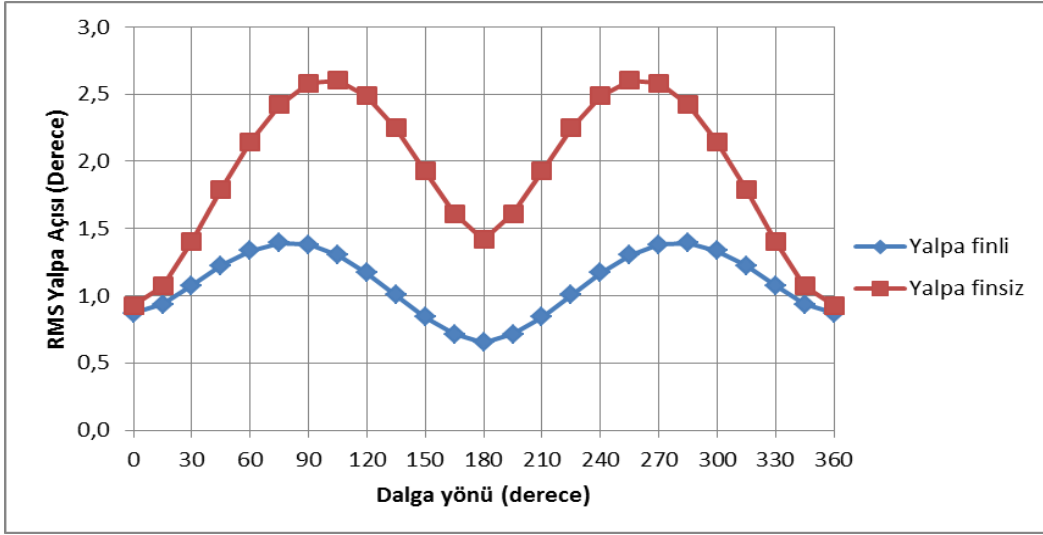
Çizelge 8.4 : Gemide bulunan aktif yalpa fininin özellikleri.

Özellikler	Değeri
Kazanılan yalpa ivme değeri	4.13 sn ²
Kazanılan yalpa hız değeri	4.07 sn
Sistem doğal frekansı	0.492 rad/sn
Kontrol sistemi sönüm oranı	0.076

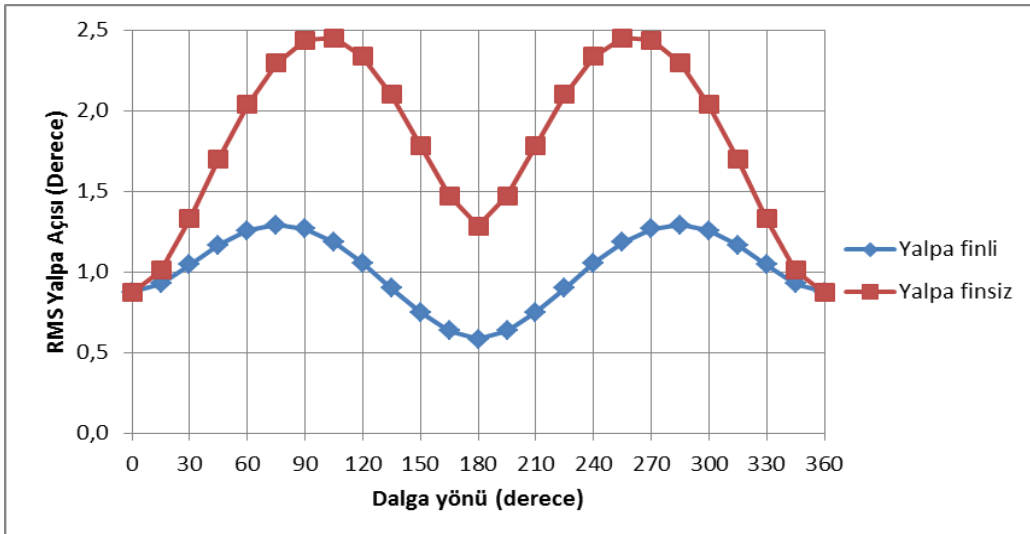
Bu bölümde, örnek geminin yalpa fininin performansı incelenmiştir. Bu amaçla Akdeniz'de ve 6 deniz şiddetinde çeşitli gemi hızlarında geminin yalpa fini dikkate alınarak yalpa hareketi incelenmiş, sonra aynı şartlar altında bu kez yalpa fini çıkarılarak yalpa hareketi incelenmiş ve sonuçlar mukayese amacıyla aynı grafikte gösterilmiştir. Hesaplar 18, 20, 22 knot gemi hızlarında ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir. Tüm hesaplarda yalpa omurgasının varlığı dikkate alınmıştır.



Şekil 8.5 : 18 knot gemi hızında geminin yalpa fininin performansı.



Şekil 8.6 : 20 knot gemi hızında geminin yalpa fininin performansı.



Şekil 8.7 : 22 knot gemi hızında geminin yalpa fininin performansı.

Şekil 8.5-8.7’den açıkça görüldüğü üzere, 6 deniz şiddetinde analizleri yapılan tüm hızlarda yalpa fininin yalpa genliğini azaltmada büyük etkisi vardır. Yalpa fini sayesinde maksimum yalpa açıları yaklaşık olarak %45 oranında azalmıştır. Bu durumda gemi için yalpa fininin kullanılmasında yarar olduğu söylenebilir. Yalpa hareketi, gemide yolcu ve mürettebatın konforunu etkileyen en önemli hareket olduğundan dolayı her zaman için yalpa miktarının olabildiğince azaltılması amaçlanmalıdır.

8.5.4 Düşey ivme analizleri

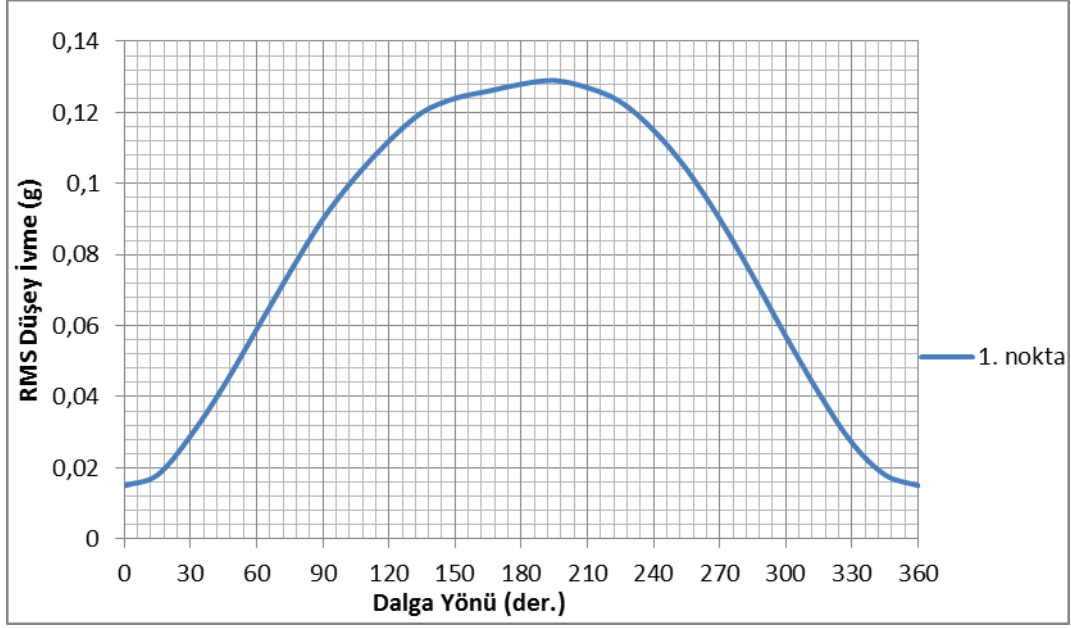
Düşey ivme analizlerinde 6 deniz şiddetinde Karadeniz’e ait spektrum kullanılmıştır. Yapılan tüm hesaplar, 22 knot gemi hızı için gerçekleştirilmiştir.

Düşey ivme hesapları, gemi için kritik bölgeler olan savaş harekât merkezi, köprü üstü güvertesi ve helikopter platformu üzerindeki birçok noktada yapılmıştır. Ancak burada örnek olarak sadece dört nokta alınmıştır. Düşey ivme analizlerinin yapıldığı noktalar ve bunların gemideki yerleri Çizelge 8.5’de verilmiştir. Çizelgede belirtilen X: posta numarasını (0. posta baş dikmek olmak üzere), Y: merkez hattından olan uzaklığı (+ yön iskele tarafını gösterir) ve Z: kaide hattından olan düşey mesafeyi göstermektedir.

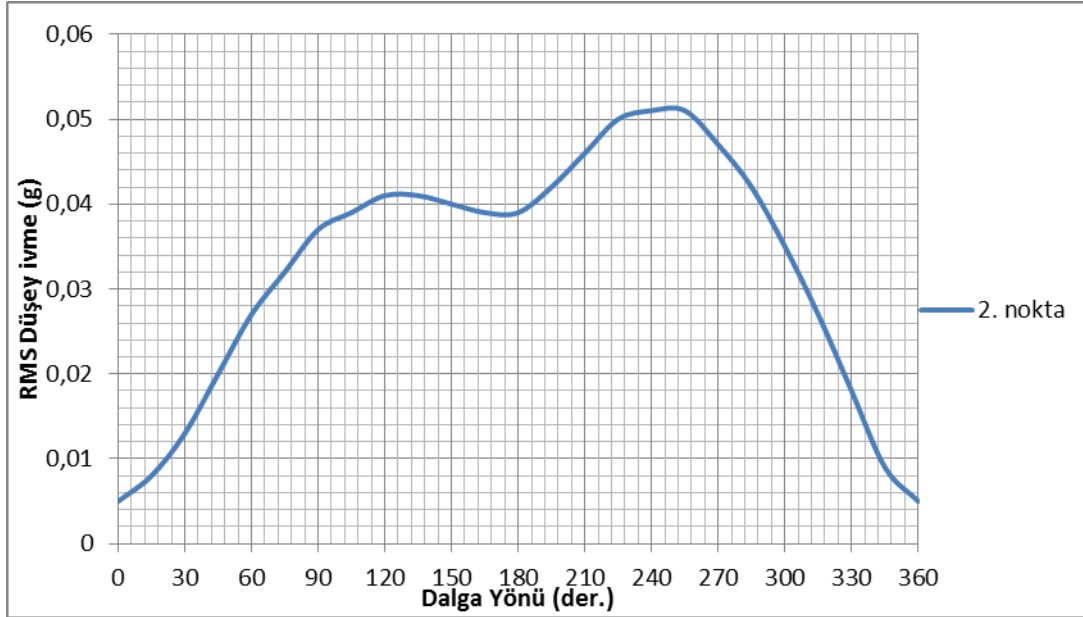
Çizelge 8.5 : Düşey ivme analizi yapılan noktaların gemi üzerindeki konumları.

Nokta	Gemideki Yeri	X	Y (m.)	Z (m.)
1. nokta	Helikopter platformu	20.08	-16	26.50
2. nokta	Helikopter platformu	9.13	10	26.50
3. nokta	Köprü üstü güvertesi	11.43	-5	35.50
4. nokta	Savaş harekât merkezi	9.32	11	23.50

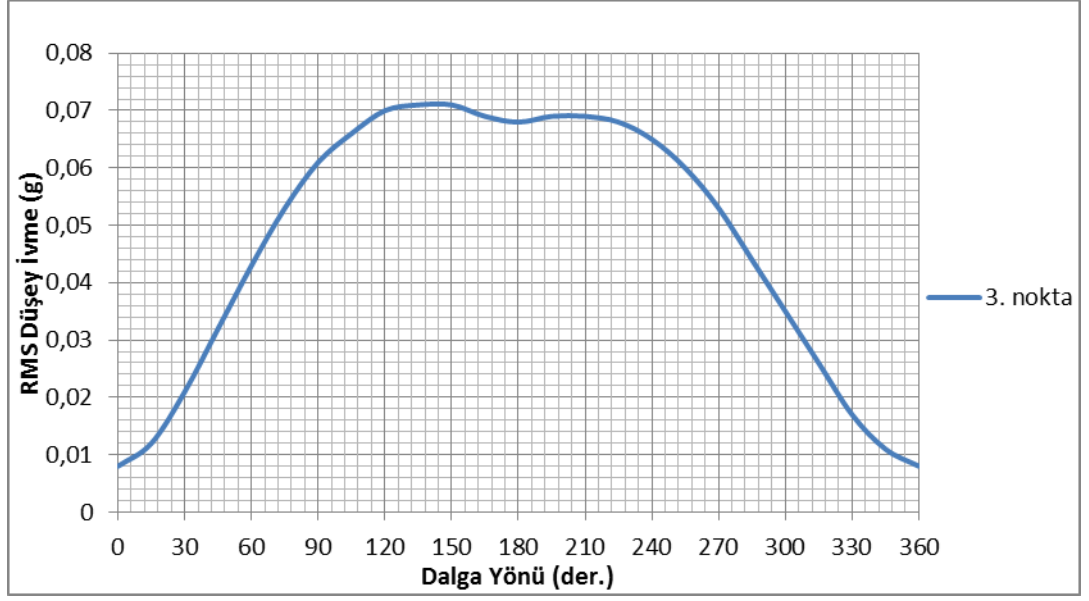
Çizelge 8.5’de verilen noktalardaki düşey ivmeler Şekil 8.8-8.11 arasında gösterilmiştir. Grafiklerin ordinatları, g yer çekimi ivmesinin oranı olarak noktaların RMS düşey ivme değerlerini göstermektedir.



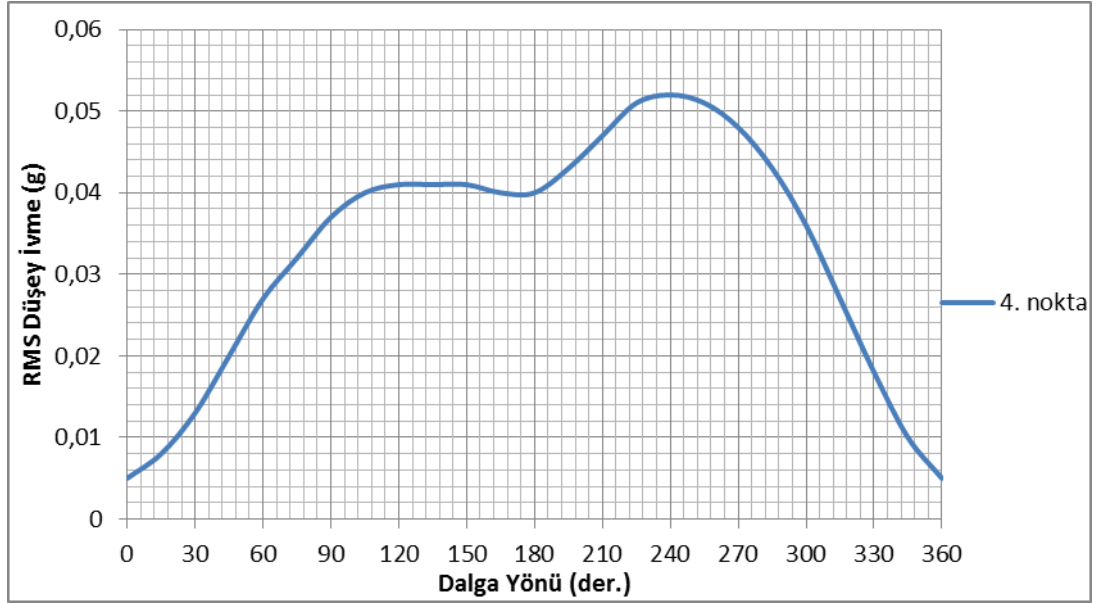
Şekil 8.8 : Gemi üzerinde alınan 1. noktaya (helikopter platformu) ait RMS düşey ivme grafiği (V: 22 kn).



Şekil 8.9 : Gemi üzerinde alınan 2. noktaya (helikopter platformu) ait RMS düşey ivme grafiği (V: 22 kn).



Şekil 8.10 : Gemi üzerinde alınan 3. noktaya (köprü üstü güvertesi) ait RMS düşey ivme grafiği (V: 22 kn).

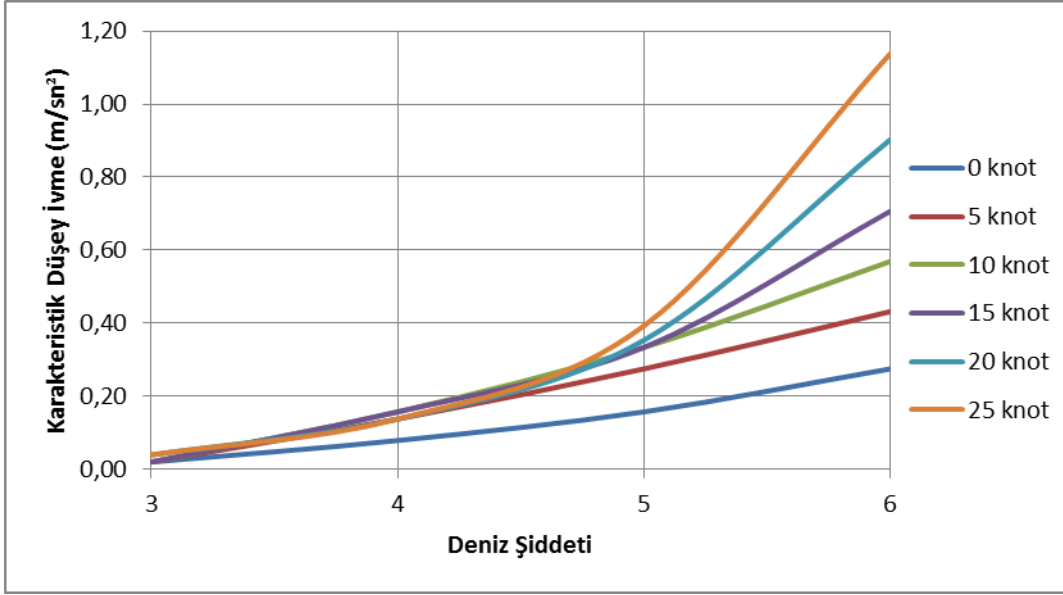


Şekil 8.11 : Gemi üzerinde alınan 4. noktaya (savaş harekât merkezi) ait RMS düşey ivme grafiği (V: 22 kn).

Şekillerden görüldüğü gibi düşey ivme grafiklerinin şekli, hesap yapılan noktaların konumlarına göre farklılık göstermektedir.

Düşey ivmenin deniz durumlarına göre değişimlerini incelemek amacıyla Karadeniz sahası kullanılarak baştan gelen dalgalarda, çeşitli gemi hızı ve deniz şiddetlerinde analizler yapılmıştır. Kısa dalga tepeli deniz durumu düşünülerek yapılan bu

analizlerin sonuçları Şekil 8.12’de gösterilmiştir. Hesaplar, koordinatı Çizelge 8.5’de verilmiş olan 3. noktaya (köprü üstü güvertesi) aittir.



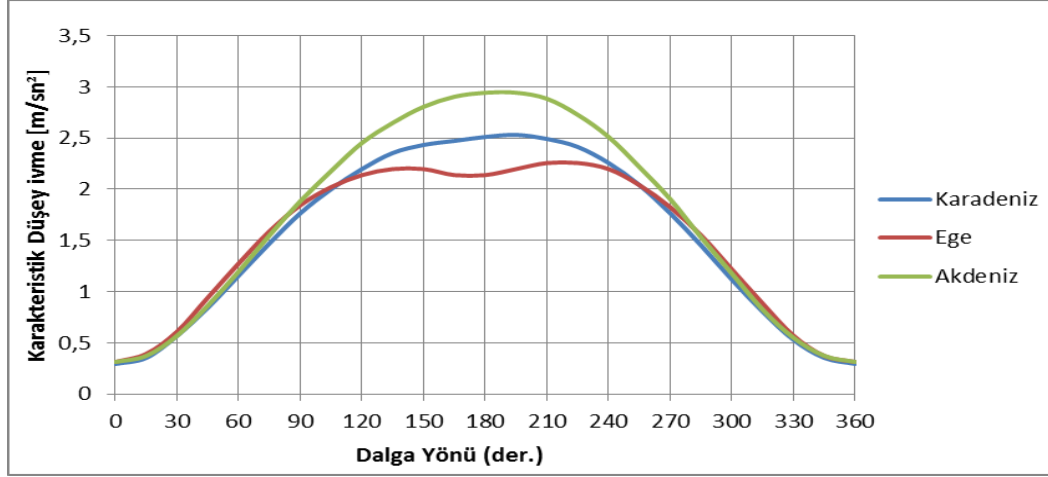
Şekil 8.12 : Çeşitli hızlarda deniz şiddetinin düşey ivme üzerindeki etkisi.

Şekil 8.12’de verilen grafiğin ordinatı karakteristik düşey ivme olarak verilmiş olup m / sn^2 boyutundadır. Eğrilerden görüldüğü ve beklendiği gibi deniz şiddeti arttıkça düşey ivme değerlerinde artış görülmektedir. Ayrıca, geminin hızı arttıkça düşey ivmenin de arttığı rahatlıkla söylenebilir.

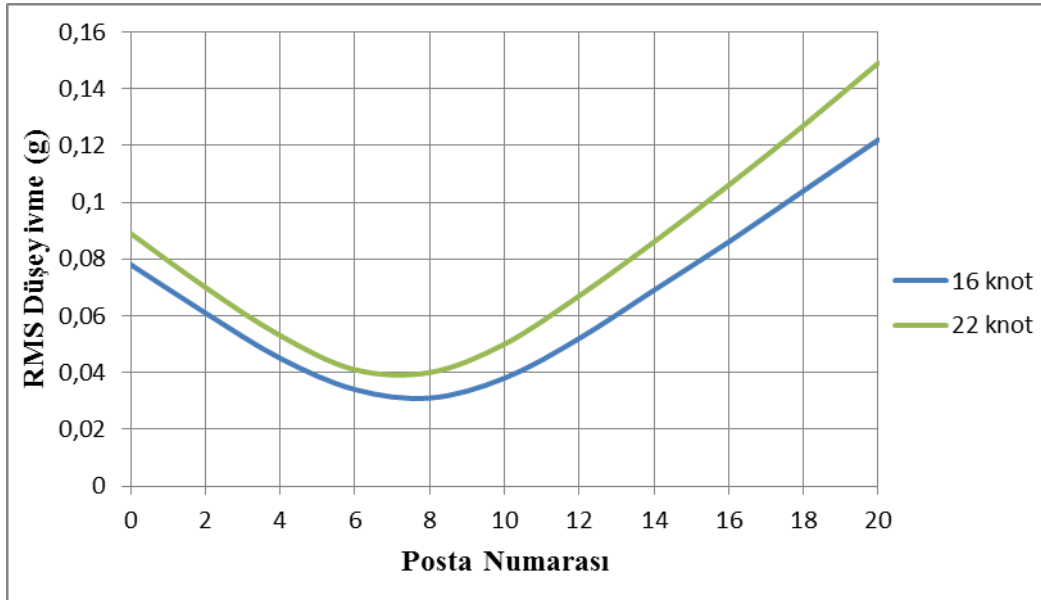
Farklı deniz sahalarındaki düşey ivme değişimlerini görmek amacıyla 6 deniz şiddetinde Çizelge 8.4’de koordinatı belirtilmiş olan 1. noktada (helikopter platformu) hesaplar yapılmıştır. Hesaplar, geminin servis hızı olan 22 knotta gerçekleştirilmiş olup ortaya çıkan sonuçlar Şekil 8.13’de gösterilmiştir.

Şekil 13’te verilen grafiğe göre, karakteristik düşey ivme değerlerinin en fazla olduğu deniz sahası Akdeniz’dir. Ege Denizi’nde ise bu değerler en az olmaktadır.

Baştan gelen dalgalarda düşey ivmenin geminin boyuna konumuna göre değişimini gösteren grafik Şekil 8.14’de verilmiştir. Burada 6 deniz şiddetinde Akdeniz sahasında 16 ve 22 knot gemi hızlarında hesaplar yapılmıştır. Analizlerin hepsi merkez hattında ve aynı düşey mesafede gerçekleştirilmiştir.



Şekil 8.13 : 22 knot gemi hızında çeşitli deniz sahalarında düşey ivme eğrileri.



Şekil 8.14 : Baştan gelen dalgalarda boyuna konumdaki değişimin düşey ivme üzerindeki etkisi (Akdeniz, 6 deniz şiddeti).

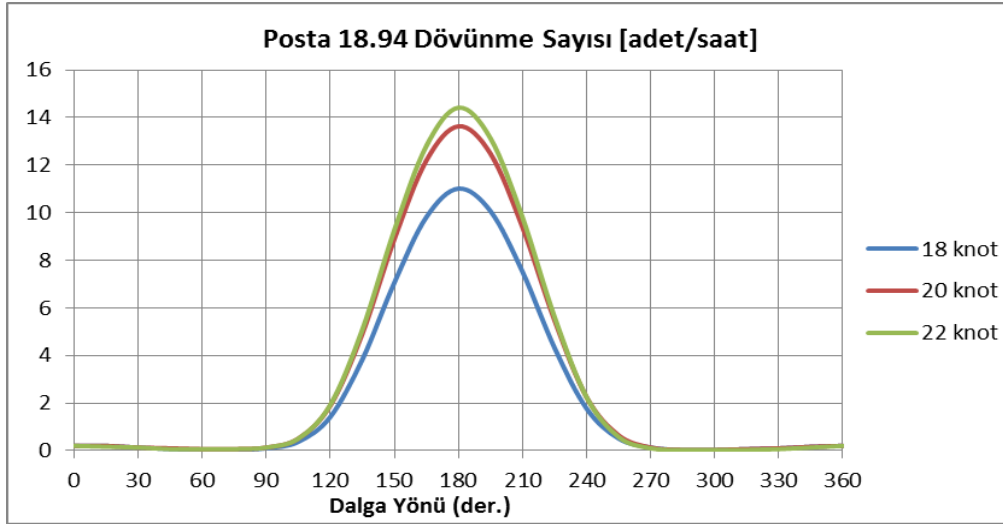
Şekil 8.14'de görüldüğü ve beklendiği gibi en fazla düşey ivme değerleri baş dikmede (20. posta) ortaya çıkmaktadır. En düşük değerlerin ise 8. postada olduğu anlaşılmaktadır.

8.5.5 Dövünme analizleri

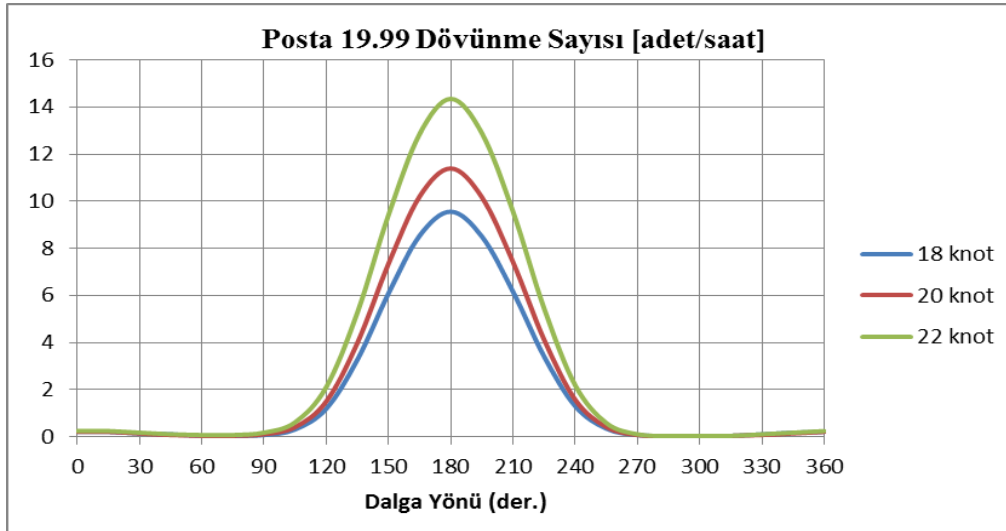
Dövünme olayı geminin belirli hızlarda aşırı dalıp-çıkma ve baş-kıç vurma hareketleri yapması neticesinde oluşur. Genellikle dövünme sahası gemi başı ile gemi başından itibaren $L/4$ uzaklık içinde kalan aralıkta meydana gelir. Bu yüzden dövünme olayı baş taraftaki kesitlerde incelenir. Dövünme ile ilgili olarak 7. bölümde detaylı bilgiler verilmiştir.

Bu başlıkta, örnek olarak ele alınan savaş gemisinin baş tarafa ait çeşitli kesitlerinde, değişik hız ve deniz sahalarında dövünme analizleri yapılmıştır.

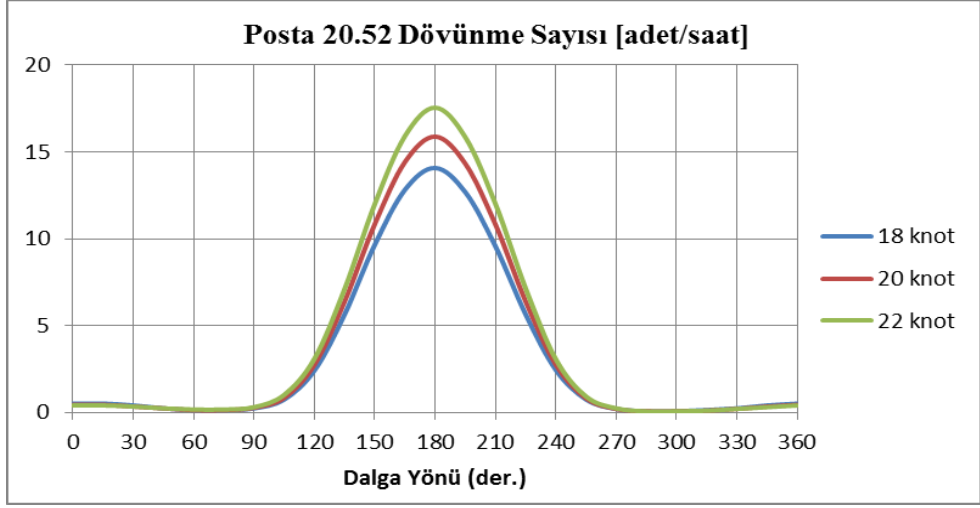
Aşağıdaki şekillerde geminin çeşitli baş kesitlerine ait 6 deniz şiddetinde değişik hızlarda Akdeniz’de meydana gelen saatteki dövünme sayıları gösterilmiştir (Şekil 8.15- 8.18).



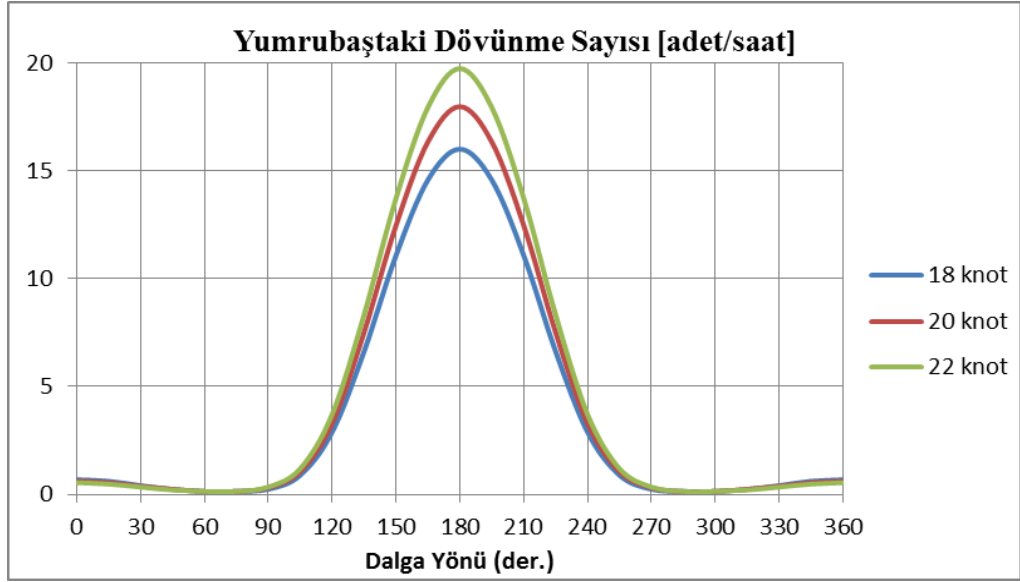
Şekil 8.15 : Çeşitli hızlarda, geminin 18.94. postasına ait dövünme eğrileri.



Şekil 8.16 : Çeşitli hızlarda, geminin 19.99. postasına ait dövünme eğrileri.



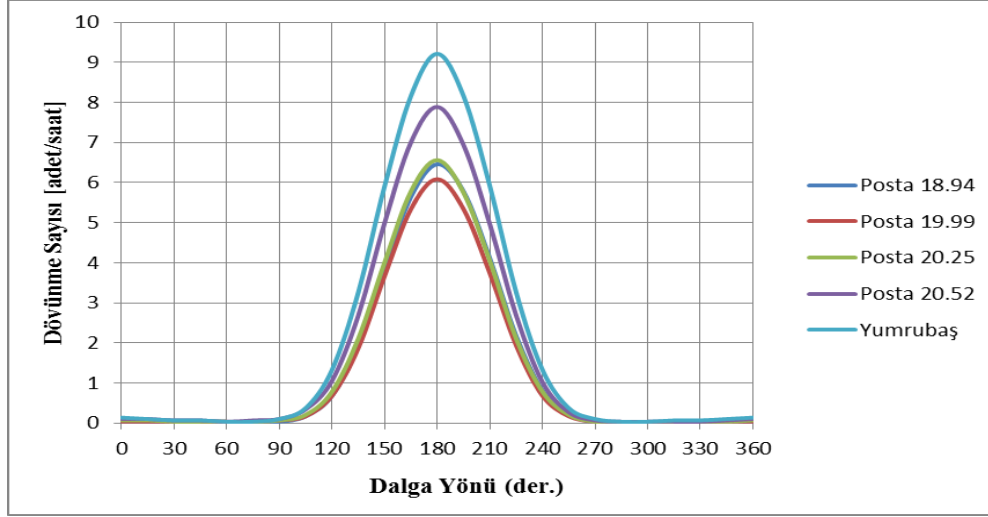
Şekil 8.17 : Çeşitli hızlarda, geminin 20.52. postasına ait dövünme eğrileri.



Şekil 8.18 : Çeşitli hızlarda, geminin yumrubaşında meydana gelen dövünme.

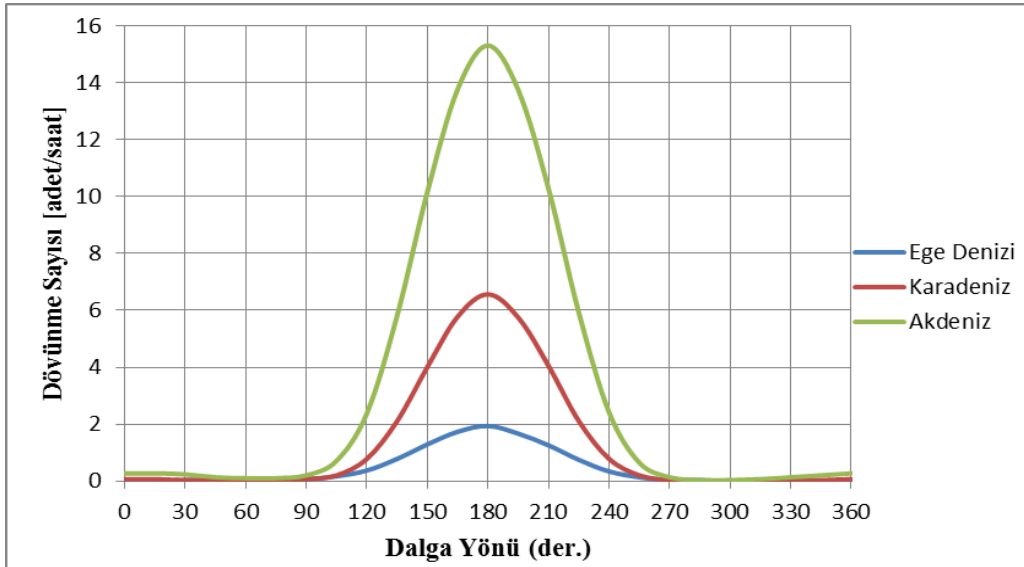
Yukarıda verilen şekillerden (Şekil 8.15-8.18) görüldüğü gibi geminin hızı arttıkça dövünme sayısı artmaktadır. Ayrıca, dövünme olayı en çok baştan gelen dalgalarda meydana gelmektedir.

Saatteki dövünme sayısının posta kesitlerine göre değişimlerini görmek amacıyla, 22 knot servis hızında 6 deniz şiddetinde ve Karadeniz sahasına ait dövünme analizleri yapılmıştır. Yapılan analizlerin sonucunda Şekil 8.19’de verilen eğriler oluşturulmuştur. Buna göre, beklendiği gibi, baş tarafa yaklaştıkça dövünme sayısında artış olduğu görülmektedir. Yumrubaşıta oluşan maksimum dövünme sayısı, 18.94. postadakinden yaklaşık olarak 1.5 kat daha fazladır.



Şekil 8.19 : Karadeniz’de 6 deniz şiddetinde ve 22 knot servis hızında baş tarafa ait çeşitli kesitlerde meydana gelen dövünme sayıları.

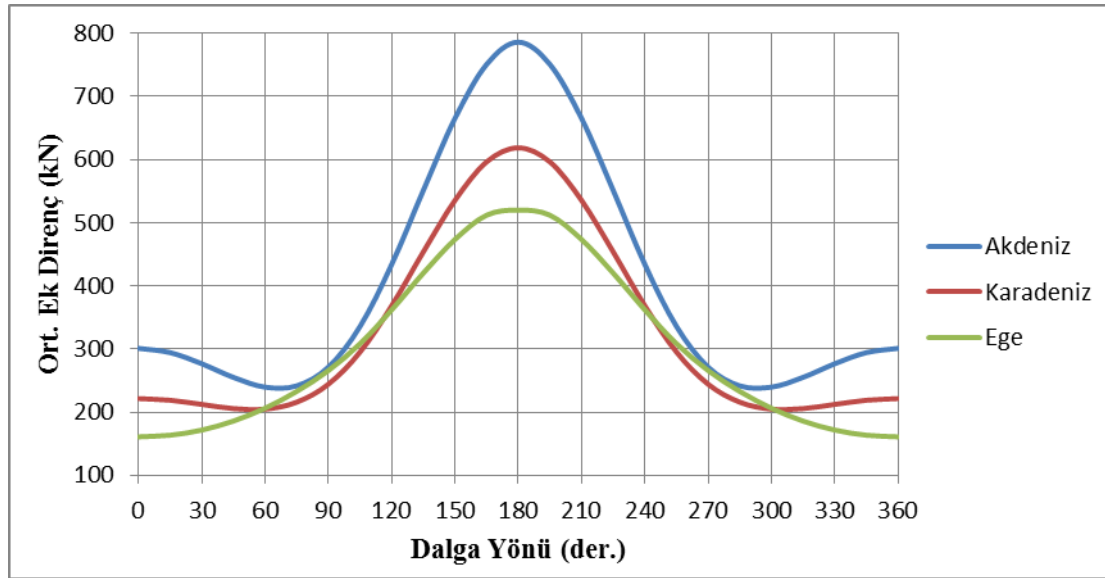
Çeşitli deniz sahalarında meydana gelen dövünme sayılarını karşılaştırmak amacıyla 6 deniz şiddetinde ve 22 knot gemi hızında analizler yapılmıştır. 20.25. postada yapılan bu analizlerin sonucu Şekil 8.20’de grafik olarak gösterilmiştir. Buna göre, gemi hareketlerinde olduğu gibi dövünme olayında da en fazla dövünme sayısı Akdeniz sahasında görülmektedir, en az ise Ege Denizi’nde meydana gelmektedir. Baştan gelen dalgalarda Akdeniz’deki dövünme sayı Ege’dekinden 7.8 kat daha fazladır.



Şekil 8.20 : 6 deniz şiddetinde ve 22 knot gemi hızında çeşitli deniz sahalarındaki dövünme sayılarının karşılaştırılması (Posta no: 20.25).

8.5.6 Karışık denizlerde ortalama ek direnç tahmini

Bu bölümde, geminin karışık denizlerdeki çeşitli dalga yönlerinde meydana gelen ortalama ek direnç tahminleri yapılmıştır. Hesaplarda 6 deniz şiddetindeki Akdeniz, Karadeniz ve Ege Deniz'ine ait spektrumlar kullanılmıştır. Ek direnç tahmini, 22 knot gemi servis hızında gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlara ilişkin grafikler Şekil 8.21'de sunulmuştur. Grafiğin yatay eksen dalga yönünü verirken, dikey eksen kN cinsinden ortalama ek direnci göstermektedir.



Şekil 8.21 : Çeşitli denizlerdeki ortalama ek direnç eğrileri (V: 22 knot).

8.6 Savaş Gemileri İçin Örnek Denizcilik Kriterleri

Bir geminin denizcilik performansı, onun genel işlevsel verimliliğinin temel belirleyicisidir. Denizcilik, genel olarak geminin sert hava ve deniz koşullarındaki davranışını belirleyen bir özelliktir. İyi bir denizciliğe sahip gemiler kötü deniz şartlarına rağmen denize açılabilir ve görevlerini yerine getirebilirler (Sarıöz ve Narlı, 2005).

Gemilerin denizciliğini belirlemede çeşitli kriterler konulmuştur. Bu kriterlerin başlıcası, yalpa ve baş-kıç vurma hareketleri ile gemi hareketlerine bağlı olarak meydana gelen dövünme, dikey ivme, güverte ıslanması ve MII olaylarıdır. Ancak, birçok denizcilik kriteri gemi üzerindeki konumlarına bağlı olarak değişmektedir. Bununla birlikte gemiyi oluşturan alt sistemler (makine, komuta-kontrol, savaş sistemleri gibi) farklı sınır değerlerine sahiptirler. Ayrıca, birçok durumda savaş

gemileri çeşitli görev ve savunma faaliyetlerini aynı anda gerçekleştirmek durumunda kalırlar. Her bir görevin kendine özgü sınır değerleri vardır. Bu yüzden savaş gemileri ile ilgili olarak çeşitli kriterler yani sınır değerleri belirlenirken birçok etmen aynı anda değerlendirilmelidir.

STANAG 4154, NATO'nun savaş gemileriyle ilgili koymuş olduğu çeşitli denizcilik kriterlerini içeren bir belgedir (NATO, 2000). Burada gemi türlerine, savaş gemilerinin üstlendikleri çeşitli görevlere ve gemi üzerindeki bölgelere göre değişen birçok kriter tablolar halinde sunulmuştur. NATO, bu kriterleri belirlerken ShipmoPC programının o zamanlar kullanımda olan alt versiyonlarını kullanmıştır.

Aşağıda Çizelge 8.6'da STANAG 4154 anlaşmasından alınan bazı kriterler sunulmuştur. Çizelgede verilen bu sınır değerleri, transit geçiş ve karakol görevi olan ayrıca helikopter çıkarması yapması gereken bir savaş gemisine aittir (NATO, 2000).

Çizelge 8.6 : Transit geçiş ve karakol görevi olan bir savaş gemisi için örnek sınır değerleri.

Değişken	Sınır Değer
Yalpa açısı	4.0 derece (RMS)
Baş-kıç vurma açısı	1.5 derece (RMS)
Düşey ivme	0.2g (RMS)
Yatay ivme	0.1g (RMS)
MIIs	1.0 /dak.
Güverte ıslanması	30 adet/saat
Başın dövünmesi	20 adet/saat
Pervanenin suya girip/sudan çıkması	90 adet/saat
Helikopter çıkarması (yalpa)	3.0 derece (RMS)
Helikopter çıkarması (baş-kıç vurma)	1.0 derece (RMS)

Çizelge 8.6'da belirtildiği gibi savaş gemisinin türüne ve üstlenmiş olduğu görevlere bağlı olarak denizciliğe ait uygun sınır değerlerin belirlenmesi gereklidir. Görüldüğü gibi, savaş gemisinin normal karakol görevini üstlenirken RMS yalpa açısı sınır değeri 4 derece iken, helikopterin güverteye iniş yapabilmesi için bu değer 3.0 derece olmaktadır. Benzer durum baş-kıç vurma kriteri için de geçerlidir. Ayrıca, çeşitli silah ve savunma sistemlerinin çalışabilmesinde de ayrı ayrı kriterler belirlenmiştir.

Örnek olarak incelenmekte olan çıkarma gemisinde, geminin türü ve üstlenmiş olduğu vazifeleri göz önüne olarak, Çizelge 8.6'da verilen sınır değerlerini kullanmanın mümkün olduğu söylenebilir.

8.7 Sonuçlar

Örnek olarak ele alınan savaş gemisinin analiz sonuçları incelendiğinde, gemi hareketleri ve denizcilik olaylarına (ivme, dövünme, ek direnç) ilişkin değerlerin en fazla olarak, sırasıyla, Akdeniz, Karadeniz ve Ege Denizi'nde meydana geldiği anlaşılmaktadır. Bununla beraber, karışık denizlerde geminin en fazla yalpa genliği 75° dalga geliş açısında meydana gelmektedir. Ayrıca, gemide var olan aktif yalpa finlerinin çeşitli gemi hızlarındaki performansı incelendiğinde, bu finlerin maksimum yalpa genliklerini yaklaşık olarak %45 azalttığı görülmüştür.

Gemi üzerinde çeşitli noktalarda yapılan düşey ivme analizleri sayesinde, bu değerlere ilişkin oluşturulan eğri formlarının hesap yapıldığı noktalara çok bağlı olduğu anlaşılmıştır. Ayrıca, beklenildiği gibi en fazla düşey ivme değerlerinin baş postada olduğu ortaya konulmuştur. Öyle ki, baştan gelen dalgalarda gemi seyir hızında, baş dikmedeki düşey ivme değerleri, 8. postadakinin 3.73 katıdır (Akdeniz, 6 deniz şiddeti).

Son olarak, karışık denizlerde dalgalardan dolayı oluşan ek direnç üzerine yapılan analizlerde, baştan gelen dalgalarda geminin Akdeniz'deki ortalama ek direnci 786 kN, Karadeniz'deki 618 kN ve Ege Denizi'ndeki 520 kN olarak tahmin edilmektedir.

Savaş gemisinin denizciliği üzerine yapılan analizler, alınan sonuçların istenilen sınır değerlerin altında kaldığını göstermektedir. Ancak unutulmamalıdır ki yapılan analizler, elde edilen verilerin güvenilirliğiyle sınırlıdır. Örneğin karışık denizlere ait elde edilen spektrumlar yeterli hassasiyette değildir ve tam olarak gerçek deniz koşullarını sağlamamaktadır. Bunun yanında gemiye ait elde edilen değerler (form, ağırlık dağılımı, takıntılara ilişkin bilgiler) dizaynın diğer aşamalarında değişebilmektedir. Bu yüzden dizayn aşamasında çeşitli kabul ve belirsizlikler altında yapılan denizcilik kriterleri belirli hassasiyetlere sahiptir (Sarıöz, 1999). Bu analizler ancak gemi inşaatı mühendislerine geminin denizciliğiyle ilgili ön fikir vermesi açısından önem taşımaktadır.

9. ÇIKTILARIN DENEY SONUÇLARIYLA KARŞILAŞTIRILMASI

Gemi hareketlerinin analizi ve denizcilik özelliklerinin tahmini üzerine yazılan bir bilgisayar programının makul sonuçlar verip vermediğinin en iyi kontrolü, programın verdiği sonuçları, geminin modeliyle yapılan denizcilik deneylerinin sonuçlarıyla karşılaştırmaktır.

9.1 Giriş

Bu bölümde, ShipmoPC programının doğrulamasına yönelik yapılan çalışmalar yer almaktadır. Bu amaçla, iki adet gemi örneği ele alınarak değişik hız, dalga yönü ve dalga frekansı için düzenli dalgalardaki hareket karakteristiklerini belirleyen transfer fonksiyonları, ShipmoPC programı yardımıyla hesaplanmış ve model deney sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır.

Önce seri 60 formuna sahip bir gemi örneğinin sıfır hızdaki transfer fonksiyonları ve iki boyutlu sınır elemanları yöntemi kullanılarak elde edilen katsayıları literatürde mevcut deney sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Daha sonra ayna kılıklı bir yük gemisi örnek olarak incelenmiş ve program yardımıyla çeşitli hızlarda elde edilen baş-kıç vurma ve dalıp-çıkma hareket genlikleri ile ek direnç hesapları, İTÜ Ata Nutku Deney Laboratuvarında geminin modeliyle yapılan denizcilik deney sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Böylece programın verdiği değerler ile deney sonuçlarının uyumlu olduğu görülmüştür.

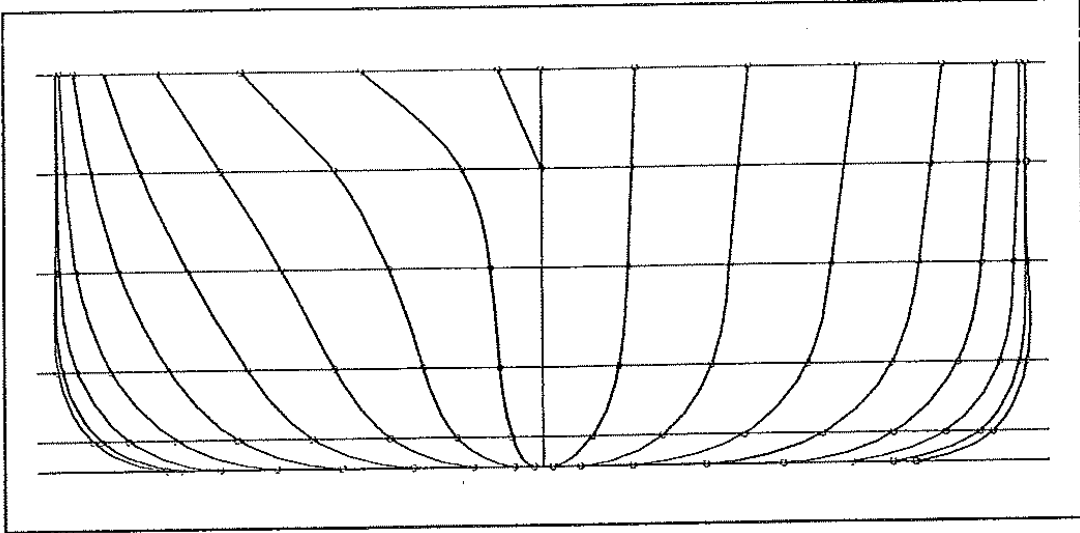
Sonuç olarak bakıldığında, iki boyutlu dilim teorisine dayanmakta olan bilgisayar programının verdiği sonuçlar, programın dizayn amacına yönelik uygulamalarda güvenilir bir şekilde kullanılabileceğini ortaya koymuştur.

9.2 Seri 60 Formuna Sahip Gemiyle Yapılan Analizler

Bu bölümde kullanılan Seri 60 formu geminin genel karakteristikleri Çizelge 9.1’de verilmiştir. Şekil 9.1’de ise bu geminin en kesit resmi gösterilmiştir.

Çizelge 9.1 : Seri 60 formlu geminin temel özellikleri.

Özellikler	Değerler
L_{BP}	121.920 m.
B	17.417 m.
T	6.857 m.
C_B	0.70
LCB	%0.5 başa
k_{yy}	%25 L



Şekil 9.1 : Seri 60 formuna sahip geminin posta kesitleri.

9.2.1 Dalıp-çıkma ve baş-kıç vurma genliklerinin karşılaştırılması

Geminin dalıp-çıkma ve baş-kıç vurma hareketlerine ait deney sonuçları Gerritsma ve Beukelman'nın raporlarından alınmıştır (1966).

ShipmoPC programı kullanılarak analitik olarak elde edilen dalıp-çıkma ve baş-kıç vurma genlikleri, $F_n=0.15, 0.20, 0.25$ ve 0.30 değerlerine karşılık gelen hızlarda baştan gelen düzgün dalgalarla yapılan model deney sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır (Gerritsma ve Beukelman, 1966). Yapılan bu karşılaştırmaların sonuçları EK I'da grafikler halinde verilmiştir.

EK I'da sunulan grafiklerde görüldüğü gibi, ShipmoPC programı yardımıyla hesaplanan sonuçlarla deneysel olarak elde edilen değerler arasında, yüksek Froude sayılarında bile tatmin edici bir korelasyon söz konusudur.

9.2.2 Hareket denklemlerindeki katsayıların karşılaştırılması

Bu bölümde, hareket denklemlerindeki katsayıların karşılaştırılmasına yönelik olarak programdan ve yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar sunulmaktadır. Seri 60 formlarından $C_B = 0.70$ için (Çizelge 9.1) elde edilen dalga kuvvetleri, ek kütle ve hidrodinamik sönüm katsayıları ele alınmıştır. Bu büyüklükleri deneysel olarak elde etme olanağı bulunmadığından dolayı literatürde bulunan deney sonuçlarından (Chan, 1990) yararlanılmıştır.

Dalga kuvvetleri ve katsayılar, aşağıda belirtildiği gibi boyutsuzlaştırılarak (Okan, 2010) grafikler halinde karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

Frekans $\omega\sqrt{L/g}$

Kuvvet $\frac{F_j}{\rho g \nabla / L}$, j=1,2,3

$\frac{F_j}{\rho g \nabla}$, j=4,5,6

Ek kütle $\frac{a_{jk}}{\rho \nabla}$, j,k= 1,2,3

$\frac{a_{jk}}{\rho \nabla L}$, j=1,2,3 ve k=4,5,6 ile k=1,2,3 ve j=4,5,6

$\frac{a_{jk}}{\rho \nabla L^2}$, j,k=4,5,6

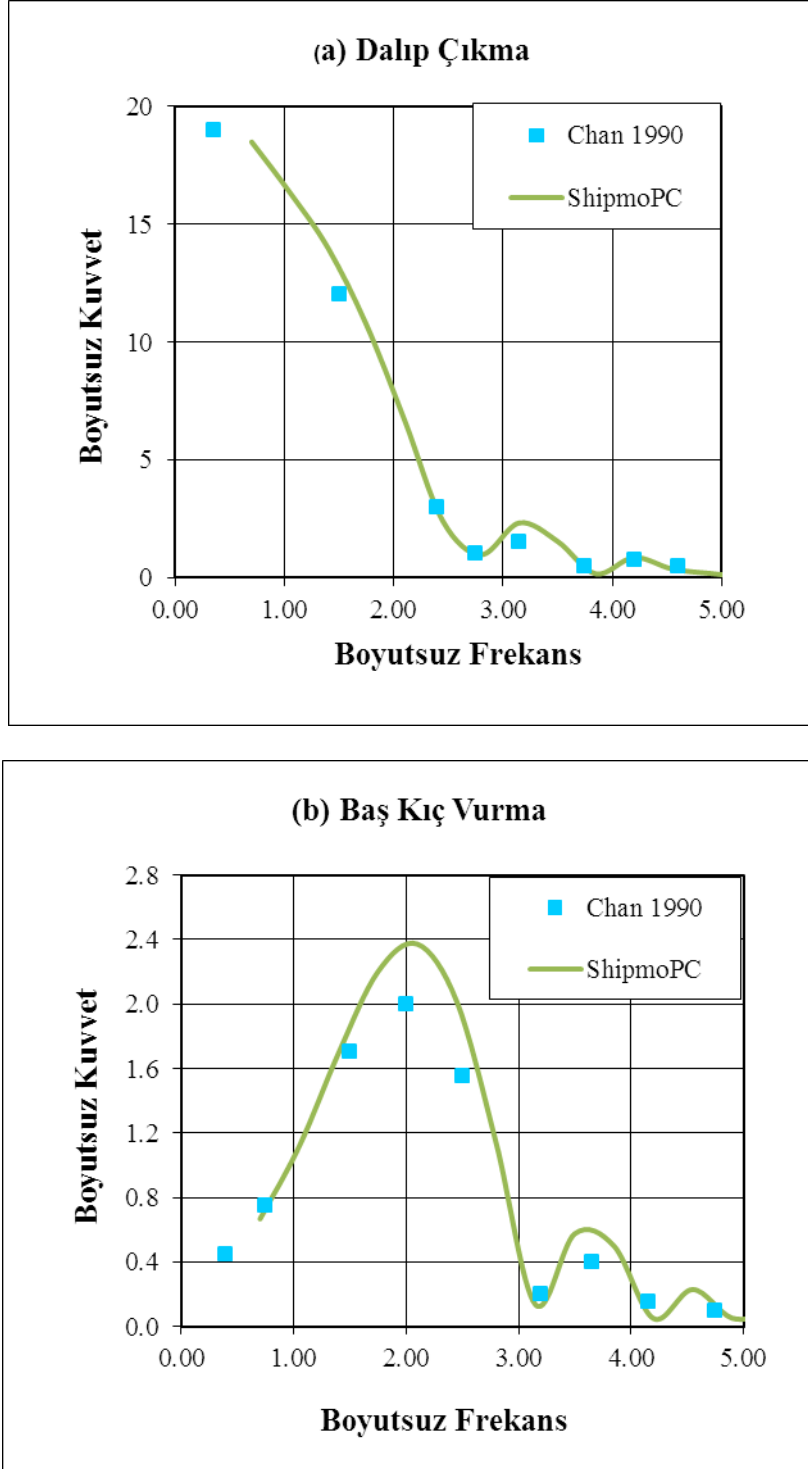
Sönüm $\frac{b_{jk}}{\rho \nabla \sqrt{g/L}}$, j,k=1,2,3

$\frac{b_{jk}}{\rho \nabla L \sqrt{g/L}}$, j=1,2,3 ve k=4,5,6 ile k=1,2,3 ve j=4,5,6

$\frac{b_{jk}}{\rho \nabla L^2 \sqrt{g/L}}$, j,k=4,5,6

Şekil 9.2'de sıfır gemi hızında baştan gelen dalgaların oluşturduğu dalga kuvvetleri verilmiştir. Şekil 9.2a dalıp-çıkma kuvvetini, Şekil 9.2b ise baş-kıç vurma kuvvetini temsil etmektedir. Grafiklerin yatay eksenini boyutsuz dalga frekansını verirken, dikey eksen ise birim dalga yüksekliği için boyutsuz kuvvet değerini göstermektedir.

Burada ShipmoPC'nin yardımıyla oluşturulan boyutsuz değerler, literatürde verilen sonuçlarla (Chan, 1990) karşılaştırılmıştır. Her iki yöntem ile elde edilen sonuçlar birbirleriyle uyum içersindedir.



Şekil 9.2 : Sıfır hızda Seri 60 $C_B = 0.70$ formuna baştan gelen dalga kuvvetleri:
(a) Dalıp-çıkma, (b) baş-kık vurma.

Aynı gemi formu için ek kütle değerleri EK İ’de ve hidrodinamik sönüm değerleri de EK J’de gösterilmiştir. Eklerde sırasıyla, dalıp-çıkma hareketinin dalıp-çıkma yönündeki, baş-kıç vurma hareketinin baş-kıç vurma yönündeki, savrulma hareketinin savrulma yönündeki, yan öteleme hareketinin yan öteleme yönündeki, baş-kıç vurma hareketinin dalıp-çıkma yönündeki ve yan öteleme hareketinin savrulma yönündeki ek kütle ve sönüm değerleri boyutsuz olarak gösterilmiştir. Ek İ ve Ek J’de verilen grafikler değerlendirildiğinde, deney sonuçlarıyla program yardımıyla elde edilen katsayı değerlerinin uyum içerisinde olduğu söylenebilir.

9.3 Bir Yük Gemisiyle Yapılan Analizler

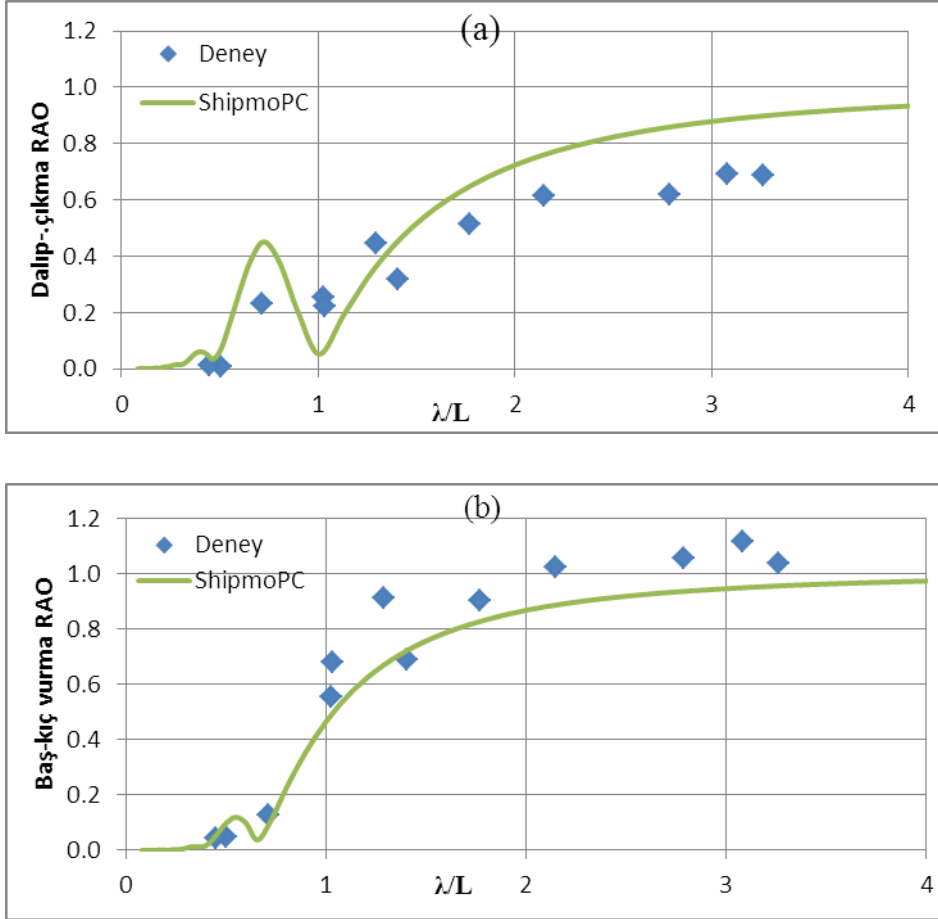
İTÜ Ata Nutku Deney Laboratuvarında, ayna kıçlı dolgun bir gemi formuna sahip ve özellikleri Çizelge 9.2’de verilen bir yük gemisinin modeli üzerinde çeşitli hızlarda baştan gelen düzgün dalgalarda deneyler gerçekleştirilmiştir. Bu deneylerin sonucunda elde edilen değerler, ShipmoPC’nin vermiş olduğu sonuçlarla karşılaştırılmış ve her iki yöntemin verdiği çıktılar aynı grafik üzerinde gösterilmiştir.

Modelle yapılan deneyler $F_n=0.00$, 0.089 , 0.1425 ve 0.2138 ’e karşılık gelen hız durumlarında gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneylerde geminin baş-kıç vurma ve dalıp-çıkma hareket karakteristiklerini belirleyen transfer fonksiyonları ile ileri hız durumlarında ek direnç değerleri elde edilmiştir.

Çizelge 9.2 : Kullanılan yük gemisinin temel özellikleri.

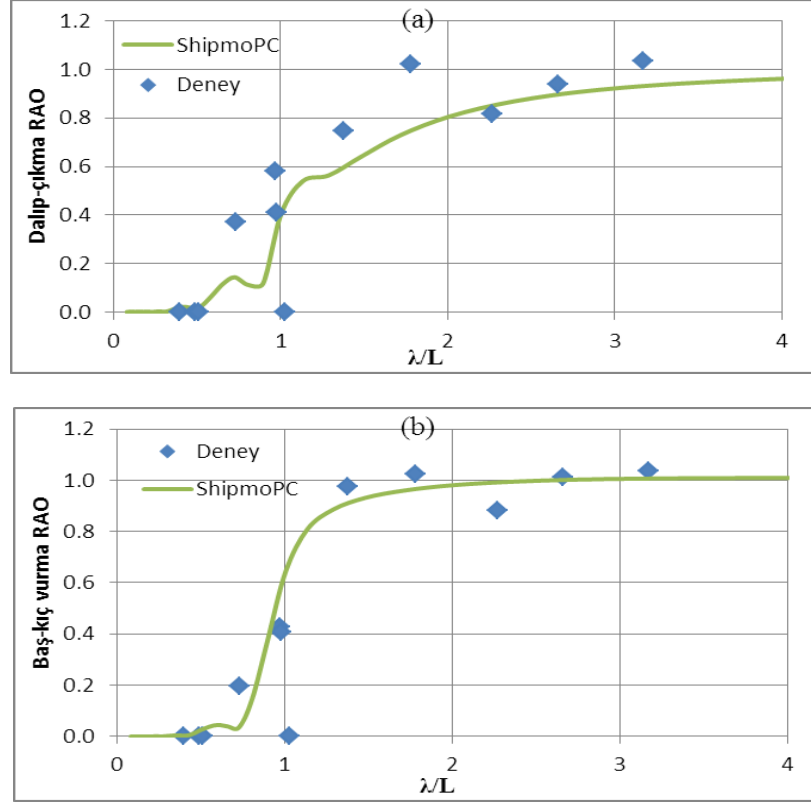
Özellikler	Değer
L_{BP}	84.94 m.
B/T	2.44
C_B	0.80
V_s	12 knot
Δ	5906 ton

Şekil 9.3'te sıfır hız durumunda geminin dalıp-çıkma ve baş-kıç vurma hareketine ait grafikler gösterilmiştir. Grafiklerin yatay eksenı dalga boyunun gemi boyuna oranı olarak verilmekte iken dişey eksen bu hareketlere ait transfer fonksiyonlarını (RAO) ifade etmektedir. Şekilde verilen grafiklerden, sıfır hız durumunda deney sonuçlarıyla, analitik sonuçların uyumlu bir korelasyon içerisinde olduğu anlaşılmaktadır.

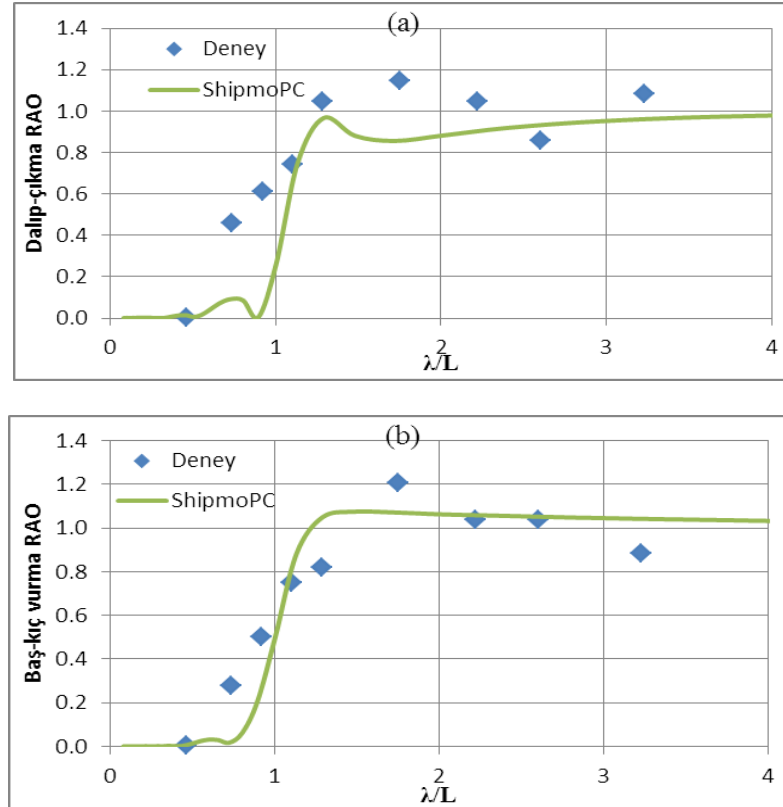


Şekil 9.3 : Baştan gelen düzenli dalgalarındaki (a) dalıp-çıkma ve (b) baş-kıç vurma hareketlerine ait genlik karşılık fonksiyonları ($F_n=0.00$).

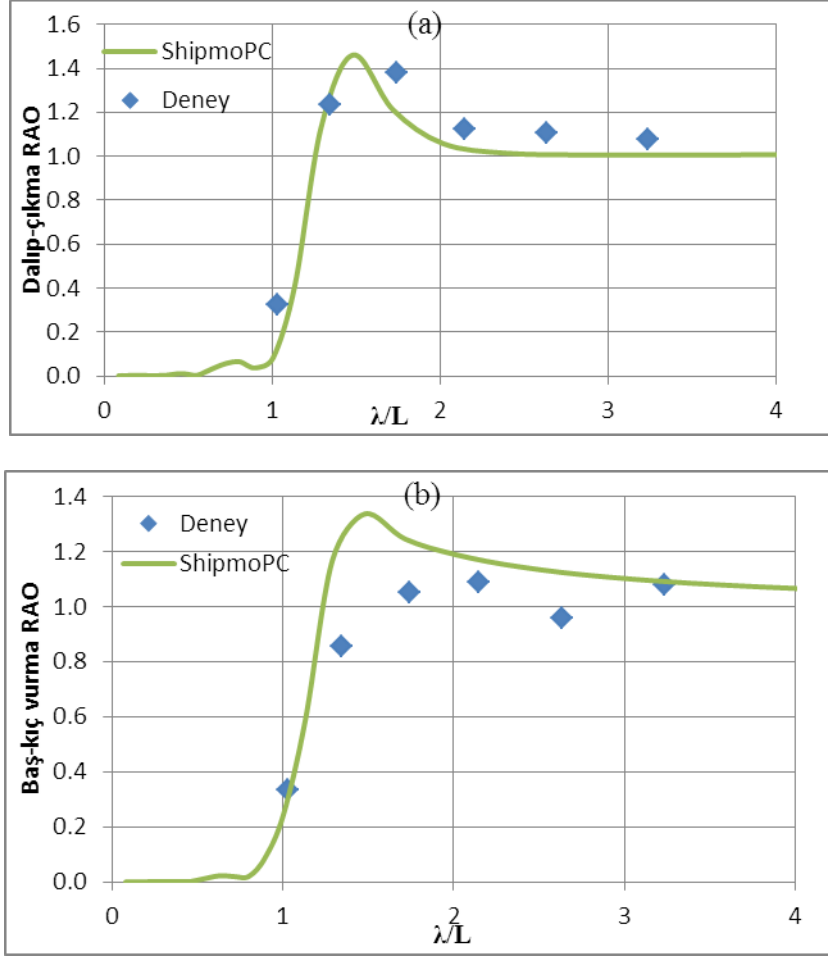
Şekil 9.4 ile Şekil 9.6 arasında, sırasıyla $F_n=0.089$, 0.1425 ve 0.2138 durumları için oluşturulan dalıp-çıkma ve baş-kıç vurma hareketlerine ait transfer fonksiyonlarının grafikleri verilmiştir. Şekillerden anlaşılaçağı üzere, model-deney sonuçlarıyla karşılaştırıldığında, programın makul sonuçlar verdiğı söylenebilir.



Şekil 9.4 : Baştan gelen düzenli dalgalarındaki (a) dalıp-çıkma ve (b) baş-kıç vurma hareketlerine ait genlik karşılık fonksiyonları ($F_n=0.089$).



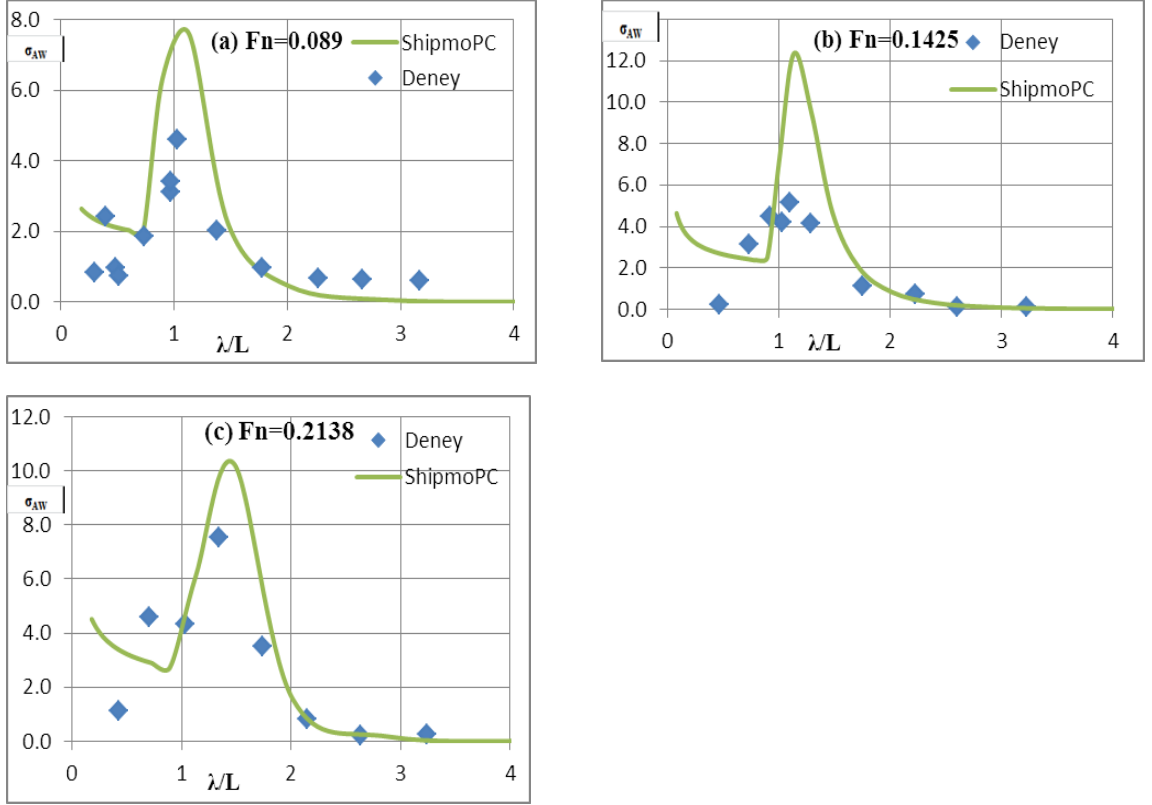
Şekil 9.5 : Baştan gelen düzenli dalgalarındaki (a) dalıp-çıkma ve (b) baş-kıç vurma hareketlerine ait genlik karşılık fonksiyonları ($F_n=0.1425$).



Şekil 9.6 : Baştan gelen düzenli dalgalarındaki (a) dalıp-çıkma ve (b) baş-kıç vurma hareketlerine ait genlik karşılık fonksiyonları ($F_n=0.2138$).

Baştan gelen düzgün dalgalarda ileri hız durumlarında yapılan üç set deneyde, geminin dalgalardan dolayı oluşan ek direnci de hesaplanmıştır. Elde edilen deney sonuçları, ShipmoPC'nin yakın alan yöntemi kullanarak yapmış olduğu analitik hesaplarla karşılaştırılmış ve oluşturulan grafikler Şekil 9.7'da gösterilmiştir. Şekilde gösterilen her üç grafikte yatay eksen dalga boyunun gemi boyuna oranı olurken, dikey eksen boyutsuz ek direnç katsayısı verilmiştir. Şekilde verilen grafikler, sırasıyla $F_n=0.089$, 0.1425 ve 0.2138 değerleri için oluşturulmuştur.

Şekil 9.7'de verildiği gibi, özellikle dizayn hızına karşılık gelmekte olan $F_n=0.2138$ durumundaki ek direnç hesabı, deney sonuçlarına büyük bir yakınlık göstermektedir. Diğer hızlarda yapılan ek direnç tahminlerinin de deney sonuçlarıyla karşılaştırıldığında makul sonuçlar verdiğini söylemek mümkündür. ShipmoPC programı, ek direnç tahmininde gayet başarılı sonuçlar vermektedir.



Şekil 9.7 : İleri hız durumlarında dalgalardan gelen ek direnç hesapları:
(a) $Fn=0.089$, (b) $Fn=0.1425$ ve (c) $Fn=0.2138$.

9.4 Sonuçlar

Bu bölümde, gemi hareketleri ve gemilerin denizcilik özelliklerini tahmin etmede yararlanılan bilgisayar programının (ShipmoPC) doğrulamasına yönelik gerçekleştirilen çalışmalara yer verilmiştir. Bu amaçla, Seri 60 serilerine ait bir gemi ve bir de yük gemisi kullanılarak baştan gelen düzgün dalgalarda çeşitli analizler yapılmış ve yapılan analizler literatürde bulunan deney sonuçlarıyla mukayese edilmiştir.

Seri 60 gemisinin baş-kıç vurma ve dalıp-çıkma transfer fonksiyonları ile hareket denklemlerinde çeşitli hidrodinamik katsayıları bilgisayar programı yardımıyla elde edilmiş ve elde edilen sonuçlar, deney sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırma sonucunda programın verdiği sonuçlarla deney sonuçlarının uyum içerisinde olduğu açıkça görülmüştür.

Daha sonra, İTÜ Ata Nutku Deney Laboratuvarında, ayna kılıklı dolgun bir gemi formuna sahip olan bir yük gemisinin modeli üzerinde çeşitli hızlarda baştan gelen düzgün dalgalarda deneyler gerçekleştirilmiştir. Bu deneylerin sonucunda

oluşturulan değerler, ShipmoPC'nin vermiş olduğu sonuçlarla karşılaştırılmış ve her iki yöntemin verdiği değerler aynı grafik üzerinde gösterilmiştir. şekillerden anlaşıldığı üzere, programın oluşturduğu sonuçlar ile deney sonuçları arasında önemli bir uyum olduğu grlmştir. Böylece, programın gemi hareketlerinin analizindeki başarısı ortaya konulmuştur.

10. SONUÇ VE ÖNERİLER

Son yıllarda geliştirilmekte olan, frekans ya da zaman uzayında çalışan üç boyutlu kodların yanında iki boyutlu lineer dilim teorisi hala geçerli bir yöntem sayılmaktadır. Gemi hareketlerinin analizindeki lineerlik kabulü 6 deniz şiddetine kadar ve orta hızla seyreden ince-uzun yapılu gemiler için geçerli olmaktadır. Özellikle narin yapıya sahip savaş gemileri için dilim teorisinin oldukça iyi sonuçlar verdiği söylenebilir.

Dilim teorisine çeşitli bilim adamlarının katkısı olmasına karşın temelde hepsinin teorisi birbirine benzer; sadece ayrıntılarda farklılık bulunur. ShipmoPC yazılımında ise Salvesen ve diğerlerinin (1970) dilim teorisi kullanılmıştır. Programın iyi sonuçlar verebilmesi için hesap yapılacak gemi özelliklerinin dilim teorisinin lineerlik sınırları içerisinde olması gerekmektedir. Ayrıca belirtilmelidir ki, ShipmoPC yalnız ileri hızlarda ve tek gövdeli gemilerde hesap yapabilmektedir.

Altı serbestlik dereceli gemi hareket denklemlerindeki hidrodinamik katsayılar bir matris halinde yazıldığında bazı terimlerin sıfır olduğu, bazılarının ise çok küçük olduğundan ihmal edilebileceği görülmüştür (Lloyd, 1989). Bunun sonucunda da yanal simetriye sahip ince-uzun gemilerde üç farklı hareket grubu ortaya çıkmıştır (Salvesen ve diğerleri, 1970):

1. Baş-kıç vurma ve dalıp-çıkma bileşik hareketleri
2. Yana öteleme, yalpa ve savrulma bileşik hareketleri
3. Boy öteleme basit hareketi

Yukarıda sayılan gruplar içerisindeki hareketler birbirini etkilemekte, ancak grupların birbirine etkisi yok sayılmaktadır. Boy öteleme hareketi ise başlı başına basit bir hareket olarak incelenmektedir.

Gemi hareketleri, düzenli ve karışık dalgalarda olmak üzere iki başlık altında incelenebilir. Düzenli dalgalardaki hareketler, gerçek deniz koşullarını temsil etmemekle birlikte, birçok düzenli dalgadan oluştuğu kabul edilen karışık denizlerdeki hareketleri anlayabilmek ve elde edebilmek amacıyla incelenir. Düzenli

dalgalardeki hareketler genellikle genlik karşılık fonksiyonları (RAO) şeklinde boyutsuz halde verilir. Karışık denizlerdeki hareketler ise çeşitli denizler için oluşturulmuş matematiksel spektrumlar yardımıyla tahmin edilir. Elde edilen istatistiki bilgiler, genellikle, en fazla rastlanan hareketler cinsinden yani hareketlerin standart sapması (RMS) olarak sunulur.

Dilim teorisinin ShipmoPC programındaki uygulamasını test etmek amacıyla Seri 60 tekne formunda, blok katsayısı 0.70 olan bir gemi örnek olarak incelenmiştir. Bu geminin düzenli dalgalarda ve 2 parametrelili ITTC Spektrumu kullanılarak karışık denizlerdeki hareketleri ve çeşitli denizcilik özellikleri hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar grafik ve tablolar halinde sunulmuştur. Tüm bu değerler, Grigoropoulos ve diğerlerinin (1994) Seri 60 formu gemilerde belirli bir açıdan gelen dalgalarda oluşturmuş oldukları denizcilik tablolarıyla karşılaştırılmıştır. Sonuçta, her iki tablo arasındaki farkın, baş-kıç vurma ve dalıp-çıkma hareketlerinde yaklaşık %10; düşey ivme değerlerinde ise yaklaşık olarak %20 olduğu görülmüştür. Oluşan bu farkın, gemiyi modellemedeki farklılıklardan ve kullanılan hidrodinamik yöntemlerdeki kabullerden (uç etkisi vb.) ötürü olduğu sanılmaktadır. Ancak yine de ShipmoPC'nin dilim teorisini uygulamada başarılı sonuçlar verdiği söylenebilir.

ShipmoPC programı, ek direnç tahmininde ise Faltinsen ve diğerlerinin (1980) yakın alan yöntemini kullanmaktadır. McTaggart'ın yapmış olduğu çalışma temel alınarak ortaya konmuştur ki, ShipmoPC yakın alan yöntemiyle ek direnç hesabında deney sonuçlarıyla uyumlu sonuçlar vermektedir (1997a). Seri 60 formuyla baştan gelen dalgalarda yapılan analitik hesaplar, yakın alan yönteminin uzak alan yöntemine göre daha başarılı olduğunu göstermektedir. FFG 7 firkateyni ile belirli bir açıdan gelen dalgalarda ek direnç hesaplarında da ShipmoPC makul sonuçlar vermektedir. Ayrıca, dalga kabarma düzeltmesinin hangi tip gemilerde nasıl sonuçlar verdiğine ilişkin McTaggart'ın makalesinde çeşitli araştırmalara yer verilmiştir (1997a). Buna göre ShipmoPC programındaki kabarma seçeneğinin kullanılması FFG 7 firkateyni gibi narin gemilerde baştan gelen dalgalarda ek direnç tahminini iyileştirirken, daha dolgun gemilerde (Seri 60 gibi) kabarma düzeltmesinin dâhil edilmesi ek direnç tahminini deney sonuçlarından uzaklaştırmaktadır. Ayrıca, ayna kıçlı gemilerde baş kabarma düzeltmesinin yapılması, tam kabarma düzeltmesine göre daha uygun olmaktadır.

Hareket kaynaklı denge kaybı olayları, özellikle savaş gemileri için önemli bir kriter haline gelmiştir. Güverte operasyonlarının gerçekleştirilmesi, personelin görevlerini aksatmadan yerine getirebilmesi için geminin yatay düzlem hareketlerinden kaynaklanmakta olan denge kaybı olaylarının (MII) incelenmesi şarttır. Dakikadaki MII sayısının 1.5 ve daha fazla olması istenmemektedir. Aksi halde yolcu ve mürettebat bu durumdan kötü etkilenip, kayma ya da devrilme yaşayacaklardır. Savaş gemileri açısından ele alınacak olursa, personel gerekli silah ve teçhizatı düzgün kullanamayıp, harekâtın seyrini olumsuz etkileyecektir. Güverte operasyonları için sadece yalpa açısına bağlı olarak geliştirilen kriterler, bu anlamda eksik kalacaktır. Mutlaka yalpa kriterinin yanında, denge kaybı olaylarının da incelenmesinde yarar vardır. Çünkü maksimum yalpa açısının ortaya çıktığı durumla, en fazla denge kaybı olaylarının yaşandığı durum aynı değildir. Hareket kaynaklı denge kaybı olayları, gemi üzerinde alındığı konumla çok ilişkili olduğundan dolayı, çeşitli gemilerin işlerliğini karşılaştırabilmek için gemilerde aynı bölgeler arasındaki MII sayıları mukayese edilmelidir.

Dövünme konusunda ise, ShipmoPC'nin maksimum dövünme basıncı ve dövünme kuvvetinin tahminine ilişkin kullandığı teoriler üzerinde durulmuştur. Dövünme form katsayısı (k) deniz şiddeti ve dalga özelliklerinden bağımsız olarak yalnızca teknenin kesit formuna bağlıdır. Bu katsayısının tahmininde geliştirilen birçok yöntem mevcuttur. ShipmoPC ise, ofset tablosu girilerek kesit şeklinin tanıtılması halinde Ochi ve Motter'in teorisini kullanmakta (1971); kama kesitli postalarda ise kalkıntı açısı ve dövünme yükü yüksekliğini kullanarak Stavovy ve Chuang'ın teorisine göre (1976) hesap yapmaktadır. Kama şekline sahip bir kesit için her iki yöntemi kullanarak elde edilen form katsayıları arasında önemli farklılıklar vardır. Bu yüzden dövünme form katsayılarını veren teorilerin, deney sonuçlarıyla uyumlu olacak şekilde geliştirilmesi gerekmektedir.

Gemi hareketleri ve denizcilik konusunda ortaya konan tüm çalışmalar dizayn safhasında olan bir çıkarma gemisi üzerinde uygulanmıştır. Böylece örnek bir denizcilik analizi sunulmuştur. Savaş gemilerinin denizcilik performansı incelenirken öncelikle sağlam denizcilik kriterleri konulmalıdır. Bunun için geminin türü, görevleri, çalışacağı denizler ve deniz şiddetleri ile kullanacağı savaş sistemleri ve teçhizatları göz önüne alınarak çeşitli kısıtlar belirlenmelidir. Ayrıca, bu kısıtların birçoğunun gemi üzerindeki konumlarına bağlı olduğu unutulmamalıdır. Yine de, ön

dizayn aşamasında ortaya konan denizcilik performanslarına çok güvenilmemelidir. Çünkü tüm bu hesaplar çeşitli kabuller altında gerçekleştirilmektedir. Örneğin, geliştirilen deniz spektrumları, gerçek deniz koşullarını tam olarak modelleyemezler. Bunun yanında dizayn aşamasındaki bir geminin özelliklerinin sürekli değişebileceği ve bu durumun da geminin denizciliğini etkileyebileceği unutulmamalıdır.

Çalışmanın son bölümünde, programın doğrulamasına yönelik yapılan çalışmalardan bahsedilmiştir. Bu amaçla kullanılan Seri 60 formuna sahip gemi ile ayna kılıklı bir ticaret gemisinin düzgün dalgalarındaki deney sonuçları ile ShipmoPC kullanılarak elde edilen sonuçlar grafikler üzerinde karşılaştırılmıştır. Nihayetinde, program yardımıyla elde edilen sonuçlar ile deney sonuçları arasında önemli bir uyum olduğu açıkça gösterilmiştir. Böylece programın, dizayn amacına yönelik uygulamalarda güvenilir bir şekilde kullanılabileceği ortaya konulmuştur.

Bu tezde yapılan çalışmalar, gemi hareketleri ve denizcilik üzerine gerçekleştirilen uygulamalı bir çalışmadır. Burada, denizcilik konusunda sıklıkla başvurulmuş hazır paket programlarından biri olan ShipmoPC'nin çalışma mantığı ve dayandığı teori ve modeller üzerinde durulmuştur. Bu programların güvenilirliği çeşitli yöntemlerle ortaya konulmaya çalışılmıştır. Ancak unutulmamalıdır ki, bu programlar her zaman için geliştirilmeye muhtaçtır. Bu amaçla, deney sonuçlarıyla ve gerçek deniz şartlarıyla daha uyumlu olacak bir denizcilik kodunun yazılması her zaman mümkündür. Özellikle son yıllarda gelişme gösteren CFD ile denizcilik analizi ve üç boyutlu kodlar üzerinde yoğun olarak çalışılmalıdır. Bu yöntemlerle elde edilecek sonuçlar, gerek gemi modelleriyle yapılan denizcilik deneyleriyle gerekse de gerçek büyüklükteki gemilerle yapılan deney sonuçlarıyla karşılaştırılmalıdır.

Gemi hareketlerinin hesaplanmasında lineer olmayan terimlerin atılması, hesapları kolaylaştırması açısından birçok durumda iyi sonuçlar vermektedir. Ancak, narin olmayan gemi formlarında ve yüksek hızlarda lineer teori tam doğru sonuçlar vermemektedir. Bu durumda, hareket denklemlerindeki lineer olmayan terimlerin hesaba katılması kaçınılmaz olmaktadır. Lineer olmayan gemi hareketlerinin incelenmesi konusu son zamanlarda gelişim gösterse de, tam olarak bu durumun modellenmesi söz konusu olamamıştır. Dolayısıyla lineer olmayan serbest yüzey sınır koşulunun etkisini de göz önüne alarak bu konu üzerinde detaylı olarak çalışılmalıdır.

KAYNAKLAR

- Ando, S.**, 1995. AMADIFF-A Fortran routine for irregular-frequency-free calculation of added mass and damping of two-dimensional floating bodies by the extended boundary element method. *DREA Technical Memorandum* 95/213.
- Baitis, A. E., Bales, S. L., McCreight, W. R. ve Meyers, W. G.**, 1976. Prediction of extreme ammunition cargo forces at sea. *DTNSRDC Report SPD-704-01*.
- Baitis, A. E., Applebee, T. R. ve McNamara, T. M.**, 1984. Human factor consideration applied to operations of the FFG-8 and LAMPS MK III. *Naval Engineers Journal* **96**(4), 191-199.
- Bedel, J. W.**, 1971. Improved method for the calculation of the added mass and damping coefficients of oscillating cylinders. *Technical Note 216*, Naval Ship Research and Development Center.
- Bhattacharyya, R.**, 1978. *Dynamics of Marine Vehicles*. McCormick, M. E. (Ed.), Wiley, New York.
- Block, J. J. ve Huisman, J.**, 1984. Relative motions and swell-up for a frigate bow. *Transactions of RINA* **126**, 227-244.
- BMT**, 2001. *ShipmoPC Version 3 User Manual*. Revision 10, BMT Fleet Technology Limited, Kanada, pp. 107.
- Bretschneider, C. L.**, 1959. Wave variability and wave spectra for wind-generated gravity waves. *Technical Memo 118*, Beach Erosion Board, U. S., Army Corps of Engineers.
- Bretschneider, C. L.**, 1969. Wave Forecasting. Bölüm 11 *Handbook of Ocean and Underwater Engineering*, J. J. Myers ve diğ., (Ed.), McGraw-Hill Book Co., New York.
- Chakrabarti, S. K.**, 1987. *Hydrodynamics of Offshore Structures*, Springer-Verlag.
- Chan, H. S.**, 1990. A three dimensional technique for predicting first and second order hydrodynamic forces on a marine vehicle advancing in waves (doktora tezi). *University of Glasgow*, Department of Naval Architecture and Ocean Engineering.
- Chow, D. L. ve McTaggart, K. A.**, 1996. Validation of Shipmo7 and PRECAL predictions with a warship model. *DREA Technical Memorandum* 97/203.
- Faltinsen, O. M., Minsaas, K. J., Liapis, N. ve Skjoldal, S. O.**, 1980. Prediction of resistance and propulsion of a ship in seaway. *13. Symposium on Naval Hydrodynamics*, Tokyo, 505-529.

- Frank, W.**, 1967. Oscillation of cylinders in or below the free surface of deep fluids. NSRDC, Washington, D. C., Report 2375.
- Frank, W. ve Salvesen, N.**, 1970. The Frank Close-Fit ship motion computer program, Report 3280, *Naval Ship Research and Development Center*.
- Gerritsma, J. ve Beukelman, W.**, 1966. Comparison of calculated and measured heaving and pitching motions of a Series 60 $C_B = 0.70$ ship model in regular longitudinal waves. Laboratorium voor Scheepsbouwkunde, *Technische Hogeschool Delft*, Report No 139.
- Gerritsma, J. ve Beukelman, W.**, 1967. Analysis of modified strip theory for the calculation of ship motion and wave bending moments. *Netherlands Ship Research Centre TNO Report 96S*.
- Gerritsma, J. ve Beukelman, W.**, 1972. Analysis of the resistance increase in waves of a fast cargo ship. *International Shipbuilding Progress* **19** (217), 285-293.
- Goda, Y.**, 1979. A review of statistical interpretation of wave data, *Report 18* (1), Port and Harbour Research Institute.
- Gospodnetic, D. ve Miles, M.**, 1974. Some aspects of the average shape of wave spektra at station 'India' (59° N, 19° W). *International Symposium on the Dynamics of Marine Vehicles and Structures in Waves*, Londra.
- Graham, R.**, 1990. Motion-induced interruptions as ship operability criteria. *Naval Engineers Journal* **102** (2), 65-71.
- Graham, R., Baitis, A. E. ve Meyers, W. G.**, 1992. On the development of seakeeping criteria. *Naval Engineers Journal* **104** (2), 259-275.
- Grigoropoulos, G. J., Loukakis, T. A., Perakis, A. N.**, 1994. Seakeeping standard series for oblique seas. *Rept. NAL 114-F-1994*, Department of Naval Arc. and Marine Eng., National Technical University of Athens.
- Grigoropoulos, G.J., Loukakis, T. A., Perakis, A. N.**, 2000. Seakeeping standard series for oblique seas (a synopsis). *Ocean Engineering* **27**, 111-126.
- Hasselman, K., Barnett, T. P., Bouws, E., Carlson, D. E. ve Hasselman, P.**, 1973. Measurement of wind-wave growth and swell decay during the Joint North Sea Wave Project (JONSWAP). *Deutschen Hydrographischen Zeitschrift, Ergänzunscheft* **13**, No. A.
- Hasselmann, K., Ross, D. B., Müller, P. ve Sell W.**, 1976. A Parametric wave prediction model. *Journal of Physical Oceanography* **6**, 200-228.
- Havelock, T. H.**, 1958. The effect of speed of advance upon damping of heave and pitch. *Transactions of RINA* **100**, 131-135.
- Hearn, G. E., Tong, T. C. ve Lau, S. M.**, 1987. Hydrdynamic models and their influence on added resistance predictions. *PRADS'87-The Third International Symposium on Practical Design of Ships and Mobile Units* **3**, Norveç, 302-316.
- ITTC**, 1966. Recommendations of the 11. International Towing Tank Conference, *Proceedings 11 ITTC*, Tokyo.

- ITTC Seakeeping Committee Report**, 1978. 15. *International Towing Tank Conference*, The Hague, **1**, 55-114.
- Joosen, W. P. A.**, 1966. Added resistance of ships in waves. *Proceedings of the 6th Symposium on Naval Hydrodynamics*, Washington, D.C.
- Journee, J. M. J. ve Pinkster, J.**, 2002. Introduction in Ship Hydromechanics Lecture Notes. Delft University of Technology.
- Landweber, L. ve Macagno, M.**, 1959. Added mass of a three parameter family of two-dimensional forces oscillating in a free surface. *Journal of Ship Research* **2** (4).
- Lee, W. T. ve Bales, S. L.**, 1984. Environmental data for design of marine vehicles. *SSC/SNAME Symposium*, Arlington, Virginia.
- Lewis, E. V. (Ed.)**, 1989. *Principles of Naval Architecture Second Revision Vol. 3*. SNAME, New Jersey.
- Lewis, F. M.**, 1929. The inertia of water surrounding a vibrating ship. *Transactions of SNAME* **37**, 1-20.
- Lin, W. C. ve Reed, A. M.**, 1976. The second order steady force and moment on a ship moving in an oblique seaway. *Tenth Symposium on Naval Hydrdynamics*, Londra, 333-351.
- Loukakis, T. A. ve Chrysostomidis, C.**, 1975. Seakeeping standard series for cruiser-stern ships. *Transactions of SNAME* **83**, 67-127.
- Lloyd, A. R. J. M.**, 1989. *Seakeeping: Ship Behavior in Rough Weather*. Ellis Horwood, Chichester, İngiltere.
- McTaggart, K. A.**, 1996. Improved boundary element methods for predicting sectional hydrodynamic coefficients for strip theory ship motion programs. *Defence Research Establishment Atlantic*, Teknik Bildiri 96/212.
- McTaggart, K. A.**, 1997a. Added Resistance Prediction in Shipmo7 Using a Near-Field Method. *Defence Research Establishment Atlantic*, Teknik Bildiri 97/207.
- McTaggart, K. A.**, 1997b. Shipmo7: An Updated Strip Theory Program for Predicting Ship Motions and Sea Loads in Waves. *Defence Research Establishment Atlantic*, Teknik Bildiri 96/243.
- NATO**, 2000. *Common Procedures for Seakeeping in the Ship Design Process*. Standardization Agreement (STANAG 4154).
- Newman, J. N.**, 1977. *Marine Hydrodynamics*. MIT Press.
- Ochi, M. D. ve Bonilla-Norat, J.**, 1970. Pressure-velocity-relationship in impact of a ship model dropped onto the water surface and in slamming in waves. *NSRDC Report No: 0170907*.
- Ochi, M. K.**, 1967. Ship slamming, hydrodynamic impact between waves and ship bottom forward. *Symposium on Fluid-Solid Interaction*, ASME.
- Ochi, M. K. ve Bolton, W. E.**, 1973. Statistics for prediction of ship performance in a seaway. *International Shipbuilding Progress*, Hollanda.

- Ochi, M. K. ve Hubble, E. N.,** 1976. Six parameter wave spectra. *Proceedings of the Fifteenth Coastal Engineering Conference*, Honolulu, Hawaii, ASCE, 301-328.
- Ochi, M. K. ve Motter, L. E.,** 1971. A method to estimate slamming characteristics for ship design. *Marine Technology* **8** (2), 219-232.
- O'Dea, J. F. ve Kim, Y. H.,** 1981. Added resistance and power of a frigate in regular waves. *Report DTNSRDC/SPD-0964-02*, DTNSRDC.
- Ogilvie, T. F.,** 1964. Recent progress toward the understanding and prediction of ship motions. *Proc. Symp. Nav. Hydrodynamics*, 5. ACR-112, 3-128. Off. Nav. Res., Washington, D. C.
- Ohmatsu, S.,** 1975. On the irregular frequencies in the theory of oscillating bodies. *Papers of Ship Research Institute* **48**.
- Okan, B.,** 2010. Gemilerin dalgalar arasındaki hareketlerinin dinamik analizi için sayısal bir yöntem geliştirilmesi: teorik ve deneysel bir çalışma. *TÜBİTAK Projesi* No: 106M481.
- Pierson, W. J. ve Moskowitz, L. A.,** 1964. A proposed spectral form for fully developed wind seas based on the similarity theory of S. A. Kitaigorodskii. *Journal of Geophysical Research* **69** (24), 5181-5203.
- Porter, W. R.,** 1960. Pressure distributions, added-mass and damping coefficients for cylinders oscillating in a free surface. *Institute of Engineering Research*, University of California Report.
- Sabuncu, T.,** 1983. *Gemi Hareketleri*. İTÜ Yayınları No: 1248, İstanbul.
- Salvesen, N.,** 1978. Added resistance of ships in waves. *Journal of Hydronautics* **12** (1), 24-34.
- Salvesen N., Tuck E. O. ve Faltinsen O.,** 1970. Ship motions and sea loads. *Transactions of SNAME* **78**, 250-287.
- Sarıöz, K.,** 1999. Su üstü savaş gemileri için denizcilik performans analizi. *Gemi İnşaatı ve Deniz Teknolojisi Teknik Kongresi '99*, İstanbul, 443-448.
- Sarıöz, K., Kükner, A., Alkan, A. D.,** 2008. Denizcilik. *Gemi Mühendisliği El Kitabı* (Ed. Yılmaz, T.), GMO Yayınları, İstanbul.
- Sarıöz, K. ve Narli, E.,** 2005. Effect of criteria on seakeeping performance assessment. *Ocean Engineering* **32**, 1161-1173.
- Schmitke, R. T.,** 1978. Ship sway, roll, and yaw motions in oblique seas. *Transactions of SNAME* **86**, 26-46.
- Sclavounos, P. D. ve Lee, C.,** 1985. Topics on boundary element solutions of wave radiation-diffraction problems. *Fourth International Conference on Numerical Ship Hydrodynamics*, Washington.
- Scott, J. R.,** 1965. A sea spectrum for model tests and long-term ship prediction. *Journal of Ship Research* **9**, 145-152.
- Baitis, A. E., Bales, S. L., McCreight, W. R. ve Meyers, W. G.,** 1976. Prediction of extreme ammunition cargo forces at sea. *DTNSRDC Report SPD-704-01*.

- Smith, W. E.**, 1967. Computation of pitch and heaving motions for arbitrary ship forms. *International Shipbuilding Progress* **14**, No. 155.
- Strom-Tejsen, J., Yeh, H. Y. H. ve Moran, D.**, 1973. Added resistance in waves. *Transactions of SNAME* **81**, 109-143.
- Tasai, F.**, 1959. On the damping force and added mass of ships heaving and pitching. *Journal of the Society and Naval Architects of Japan* **105**, 47-56.
- Vossers, G., Swaan, W. A., Rijken, H.**, 1960. Experiments with Series 60 models in waves. *Transactions of SNAME* **68**, 364-450.
- Wehausen, J. V.**, 1971. The motion of floating bodies. *Annu. Rev. Fluid Mec.* **3**, 237-268.

EKLER

EK A	: Denizcilik tabloları
EK B	: Seri 60 için ek direnç grafikleri
EK C	: FFG 7 için ek direnç grafikleri
EK D	: Kabarma düzeltmesinin ek direnç üzerine etkileri
EK E	: Savaş gemisinin düzgün dalgalardaki hareketlerine ait transfer fonksiyonları
EK F	: Türk Denizlerinde geminin baş-kıç vurma hareket genlikleri
EK G	: Türk Denizlerinde geminin dalıp-çıkma hareket genlikleri
EK H	: Türk Denizlerinde geminin yalpa hareket genlikleri
EK I	: Deney sonuçlarıyla programın çıktılarının karşılaştırılması
EK İ	: Sıfır hız durumunda Seri 60 formlu geminin ek su kütlesi değerleri
EK J	: Sıfır hız durumunda Seri 60 formlu geminin sönüm katsayısı değerleri

EK A

Çizelge A.1 : Blok katsayısı= 0.70, L/B=7.0, B/T=3.0 olan Seri 60 formu gemiye ait her 1 m. karakteristik dalga yüksekliği için oluşturulmuş denizcilik tablosu (Grigoropoulos ve diğ., 1994).

		DALGA YÖNÜ													
DALIP- ÇIKMA	Fn	Tp'	0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180
0.0	1.5	187	186	201	222	320	754	1348	1085	428	286	286	253	238	
	2.0	330	335	382	506	845	1517	2118	1798	989	571	471	427	411	
	2.5	584	612	712	915	1283	1835	2263	2002	1370	958	761	662	631	
	3.0	922	954	1060	1253	1555	1954	2235	2046	1605	1279	1087	980	946	
	3.5	1207	1237	1331	1490	1720	2001	2189	2056	1749	1506	1346	1253	1222	
	4.0	1422	1447	1523	1650	1822	2021	2149	2055	1840	1660	1534	1458	1432	
	4.5	1578	1599	1660	1758	1888	2032	2119	2053	1899	1765	1667	1606	1585	
	5.0	1691	1707	1756	1832	1931	2037	2096	2049	1939	1837	1760	1712	1696	
0.1	1.5	100	107	131	172	343	877	1335	992	486	224	136	124	123	
	2.0	223	239	294	437	788	1508	2104	1877	1279	801	534	427	403	
	2.5	516	546	645	842	1194	1774	2254	2137	1673	1241	956	812	770	
	3.0	861	893	995	1179	1469	1888	2231	2168	1845	1512	1273	1142	1102	
	3.5	1149	1179	1268	1422	1647	1945	2186	2149	1922	1681	1500	1394	1360	
	4.0	1368	1393	1467	1591	1762	1978	2147	2125	1967	1792	1655	1572	1545	
	4.5	1530	1550	1610	1708	1839	1997	2119	2107	1994	1865	1762	1698	1677	
	5.0	1648	1665	1713	1791	1892	2009	2096	2091	2011	1915	1837	1787	1770	
0.2	1.5	70	74	86	121	274	1045	1332	876	389	182	99	68	64	
	2.0	191	205	261	399	722	1490	2077	1910	1429	1001	733	597	555	
	2.5	489	518	611	795	1122	1711	2230	2242	1958	1631	1373	1226	1177	
	3.0	827	857	954	1128	1403	1827	2215	2280	2103	1877	1683	1561	1521	
	3.5	1111	1139	1225	1373	1590	1896	2177	2238	2131	1974	1829	1736	1703	
	4.0	1330	1354	1426	1547	1716	1938	2142	2194	2124	2010	1904	1833	1809	
	4.5	1494	1514	1573	1670	1801	1965	2115	2160	2111	2028	1950	1896	1878	
	5.0	1616	1632	1680	1758	1861	1983	2093	2133	2101	2039	1979	1938	1924	
0.3	1.5	76	77	80	100	245	966	1353	768	275	110	47	41	38	
	2.0	187	200	249	377	683	1387	2046	1941	1434	1002	725	589	547	
	2.5	473	500	588	764	1076	1625	2199	2341	2156	1877	1647	1490	1437	
	3.0	802	832	925	1093	1359	1763	2193	2387	2336	2206	2078	1990	1957	
	3.5	1083	1111	1194	1338	1551	1847	2162	2322	2343	2275	2201	2148	2128	
	4.0	1302	1325	1396	1515	1682	1902	2132	2263	2285	2257	2219	2191	2178	
	4.5	1467	1487	1545	1641	1773	1937	2109	2212	2237	2224	2192	2169	2161	
	5.0	1591	1607	1655	1733	1837	1962	2088	2174	2197	2189	2169	2152	2146	

Çizelge A.1 : Blok katsayısı= 0.70, L/B=7.0, B/T=3.0 olan Seri 60 formu gemiye ait her 1 m. karakteristik dalga yüksekliği için oluşturulmuş denizcilik tablosu (devam).

DALGA YÖNÜ															
BAŞ-KIÇ VURMA	0.0	1.5	798	834	983	1169	1977	2929	975	2030	1901	1088	840	793	746
		2.0	1647	1719	1969	2440	3274	3542	1034	2575	3174	2495	1958	1711	1629
		2.5	2509	2571	2762	3047	3382	3091	813	2397	3304	3096	2794	2605	2540
		3.0	2917	2946	3020	3088	3068	2517	606	2046	3012	3120	3049	2984	2952
		3.5	2977	2976	2958	2882	2681	2050	459	1718	2639	2903	2979	2999	3002
		4.0	2851	2831	2761	2604	2315	1691	362	1442	2285	2617	2775	2848	2867
		4.5	2646	2616	2516	2323	2002	1390	273	1211	1980	2333	2526	2627	2657
		5.0	2422	2386	2273	2066	1731	1125	186	1013	1713	2075	2280	2393	2429
0.1		1.5	477	517	632	1000	1822	3247	636	1713	1519	948	629	490	442
		2.0	1208	1281	1513	1981	2740	3406	651	2451	3121	2786	2318	2013	1911
		2.5	2057	2115	2285	2555	2872	2893	511	2350	3441	3565	3379	3195	3122
		3.0	2503	2529	2596	2667	2664	2356	382	2027	3191	3568	3609	3563	3537
		3.5	2621	2621	2607	2545	2368	1923	290	1708	2795	3271	3452	3505	3514
		4.0	2556	2538	2476	2337	2077	1577	227	1439	2415	2917	3152	3256	3284
		4.5	2405	2378	2287	2111	1815	1283	171	1216	2087	2572	2832	2959	2996
		5.0	2225	2192	2088	1897	1583	1034	117	1024	1809	2268	2529	2665	2706
0.2		1.5	303	333	415	689	1424	3146	366	1505	1112	596	400	294	268
		2.0	1009	1071	1267	1662	2315	3151	399	2455	2953	2585	2162	1888	1796
		2.5	1816	1866	2010	2245	2524	2669	332	2415	3481	3676	3561	3407	3347
		3.0	2262	2283	2338	2400	2399	2193	260	2087	3303	3764	3915	3924	3917
		3.5	2404	2402	2386	2328	2168	1803	203	1760	2898	3498	3768	3870	3897
		4.0	2370	2352	2292	2163	1924	1475	159	1471	2513	3105	3432	3585	3630
		4.5	2250	2223	2137	1972	1697	1204	125	1247	2166	2732	3066	3238	3290
		5.0	2095	2064	1965	1785	1492	990	96	1055	1877	2403	2724	2896	2950
0.3		1.5	382	373	365	571	1220	2743	335	1382	773	371	217	155	141
		2.0	1045	1059	1173	1500	2111	2849	449	2580	2775	2279	1820	1548	1463
		2.5	1772	1790	1879	2077	2354	2473	397	2608	3561	3672	3515	3340	3271
		3.0	2179	2181	2203	2250	2267	2063	317	2268	3427	3913	4054	4079	4075
		3.5	2312	2298	2263	2202	2066	1714	251	1887	3051	3672	3957	4083	4116
		4.0	2281	2257	2185	2060	1844	1419	201	1572	2629	3268	3621	3813	3871
		4.5	2171	2139	2047	1888	1634	1173	162	1325	2262	2877	3241	3428	3487
		5.0	2026	1992	1889	1715	1444	974	130	1121	1961	2518	2873	3063	3124

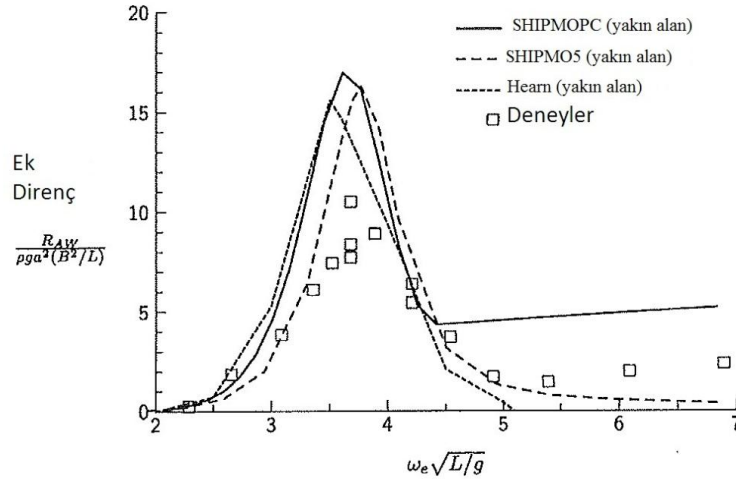
Çizelge A.2 : Seri 60 formu gemiye ait her 1 m. karakteristik dalga yüksekliği için ShipmoPC programının verdiği sonuçlarla oluşturulmuş denizcilik tablosu.

DALGA YÖNÜ															
DALIP- ÇIKMA	Fn	Tp'	0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180
0.0	1.5	175	183	200	233	308	725	1308	1042	417	300	300	267	250	
	2.0	350	358	392	500	842	1525	2133	1800	992	583	500	458	442	
	2.5	583	617	708	917	1292	1867	2308	2033	1383	967	775	675	650	
	3.0	917	950	1058	1258	1575	1992	2283	2083	1625	1292	1092	983	950	
	3.5	1217	1242	1342	1508	1742	2042	2242	2100	1775	1525	1358	1267	1233	
	4.0	1425	1458	1533	1667	1850	2058	2192	2092	1867	1675	1550	1467	1442	
	4.5	1592	1608	1675	1775	1917	2067	2158	2092	1925	1783	1683	1617	1600	
	5.0	1725	1742	1792	1875	1975	2092	2158	2108	1983	1883	1800	1750	1733	
0.1	1.5	142	150	175	217	342	783	1300	992	442	225	217	208	208	
	2.0	275	283	333	467	825	1525	2125	1842	1142	658	483	458	450	
	2.5	542	567	667	875	1250	1833	2300	2100	1533	1075	833	733	708	
	3.0	883	917	1025	1217	1525	1958	2283	2150	1742	1383	1167	1050	1017	
	3.5	1183	1208	1308	1467	1708	2017	2242	2150	1867	1600	1425	1325	1292	
	4.0	1400	1425	1500	1633	1817	2033	2192	2133	1933	1742	1600	1517	1492	
	4.5	1558	1583	1642	1750	1883	2050	2158	2117	1975	1833	1725	1658	1642	
	5.0	1700	1725	1775	1850	1958	2075	2158	2125	2025	1917	1833	1783	1767	
0.2	1.5	100	108	125	175	325	875	1300	933	442	200	142	133	125	
	2.0	225	233	292	433	783	1533	2108	1875	1267	792	550	450	425	
	2.5	508	542	642	842	1200	1808	2292	2167	1700	1258	983	833	792	
	3.0	858	892	992	1183	1483	1925	2275	2208	1875	1542	1300	1167	1125	
	3.5	1158	1183	1275	1433	1667	1983	2233	2200	1967	1717	1533	1417	1383	
	4.0	1375	1400	1475	1608	1783	2017	2192	2167	2000	1825	1683	1592	1567	
	4.5	1542	1558	1625	1725	1858	2033	2158	2142	2025	1892	1783	1717	1700	
	5.0	1683	1700	1750	1833	1933	2058	2158	2150	2067	1967	1883	1833	1817	
0.3	1.5	75	83	100	133	300	992	1292	867	400	183	117	92	83	
	2.0	200	217	267	408	750	1533	2092	1883	1350	925	633	508	475	
	2.5	492	525	617	817	1158	1775	2275	2225	1842	1467	1183	1033	992	
	3.0	842	867	975	1158	1450	1892	2267	2267	2017	1725	1500	1375	1333	
	3.5	1133	1167	1258	1408	1642	1958	2225	2242	2075	1858	1692	1583	1550	
	4.0	1350	1375	1458	1583	1758	1992	2183	2208	2083	1933	1800	1725	1692	
	4.5	1517	1542	1600	1700	1842	2017	2158	2175	2092	1975	1875	1817	1792	
	5.0	1667	1683	1733	1817	1917	2050	2150	2167	2108	2025	1950	1900	1892	

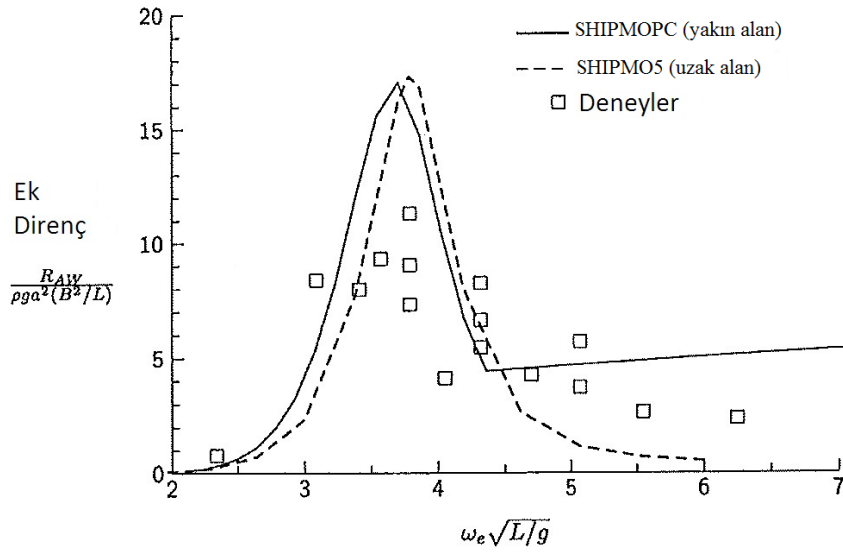
Çizelge A.2 : Seri 60 formu gemiye ait her 1 m. karakteristik dalga yüksekliği için ShipmoPC programının verdiği sonuçlarla oluşturulmuş denizcilik tablosu (devam).

DALGA YÖNÜ															
BAŞ-KIÇ	Fn	Tp'	0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180
VURMA	0.0	1.5	820	860	950	1160	1960	2890	970	2010	1840	1050	770	720	700
		2.0	1640	1710	1960	2460	3300	3590	1050	2610	3180	2490	1930	1670	1590
		2.5	2530	2600	2800	3110	3470	3170	830	2460	3370	3140	2810	2610	2510
		3.0	2980	3010	3090	3180	3170	2610	630	2110	3100	3200	3110	3030	3000
		3.5	3060	3060	3050	2980	2780	2140	480	1780	2730	2990	3060	3070	3070
		4.0	2940	2920	2850	2700	2410	1760	370	1500	2370	2710	2860	2930	2950
		4.5	2740	2710	2610	2420	2090	1470	300	1280	2060	2420	2610	2710	2740
		5.0	2510	2480	2360	2150	1820	1250	240	1090	1790	2160	2370	2480	2520
	0.1	1.5	660	700	850	1180	1960	3060	790	1840	1660	1000	680	600	580
		2.0	1370	1450	1720	2230	3050	3530	840	2530	3190	2700	2160	1850	1750
		2.5	2260	2320	2520	2840	3190	3070	660	2420	3460	3430	3140	2920	2840
		3.0	2730	2760	2840	2930	2950	2520	500	2100	3210	3450	3410	3330	3300
		3.5	2840	2850	2840	2780	2610	2060	380	1770	2820	3200	3310	3330	3330
		4.0	2760	2750	2690	2550	2280	1710	300	1490	2450	2880	3060	3140	3160
		4.5	2590	2560	2470	2290	1980	1430	240	1270	2120	2550	2770	2880	2910
		5.0	2390	2360	2250	2060	1740	1210	190	1090	1840	2260	2500	2620	2660
	0.2	1.5	460	490	610	960	1850	3200	620	1700	1440	870	570	460	440
		2.0	1180	1260	1500	1980	2780	3460	650	2480	3110	2730	2260	1960	1870
		2.5	2060	2120	2300	2600	2940	2970	510	2410	3500	3600	3390	3200	3130
		3.0	2540	2570	2640	2730	2750	2440	390	2090	3270	3640	3680	3630	3610
		3.5	2680	2680	2670	2620	2460	2000	300	1770	2890	3370	3540	3590	3600
		4.0	2620	2610	2550	2420	2160	1660	230	1500	2500	3020	3260	3360	3390
		4.5	2480	2450	2360	2190	1890	1390	190	1270	2170	2670	2930	3060	3100
		5.0	2300	2270	2170	1970	1660	1180	150	1090	1880	2360	2630	2770	2810
	0.3	1.5	360	390	490	770	1600	3240	470	1590	1240	710	450	360	340
		2.0	1060	1130	1350	1790	2520	3350	500	2480	3010	2650	2220	1920	1830
		2.5	1910	1960	2140	2410	2730	2870	400	2430	3510	3660	3510	3340	3270
		3.0	2390	2420	2490	2570	2590	2360	310	2120	3320	3760	3860	3840	3820
		3.5	2550	2550	2540	2490	2340	1940	240	1790	2940	3490	3720	3800	3820
		4.0	2520	2500	2440	2310	2070	1610	190	1510	2550	3120	3410	3540	3580
		4.5	2390	2360	2270	2110	1820	1360	150	1280	2210	2750	3060	3220	3260
		5.0	2230	2190	2090	1910	1610	1160	120	1100	1920	2430	2730	2890	2940

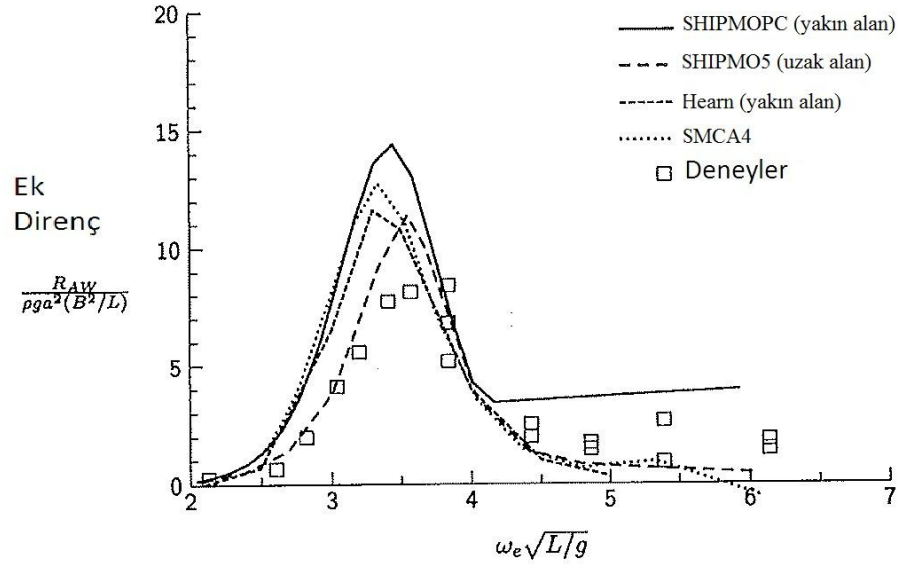
EK B



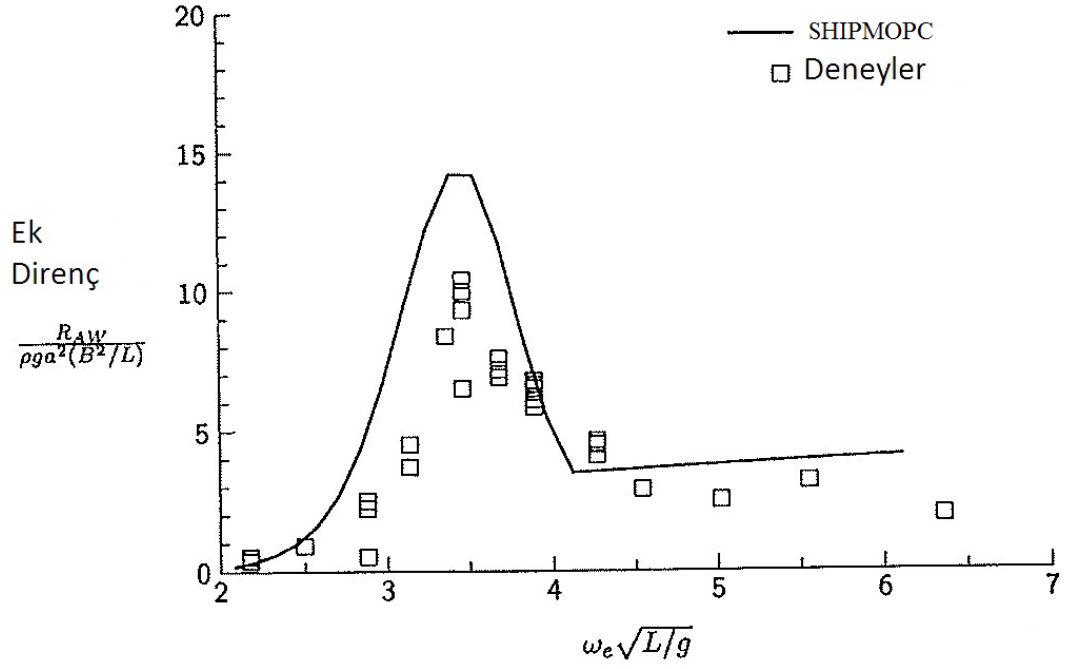
Şekil B.1 : Seri 60 için baştan gelen dalgalarda ek direnç, $C_B = 0.60, Fn = 0.266$ (McTaggart, 1997a).



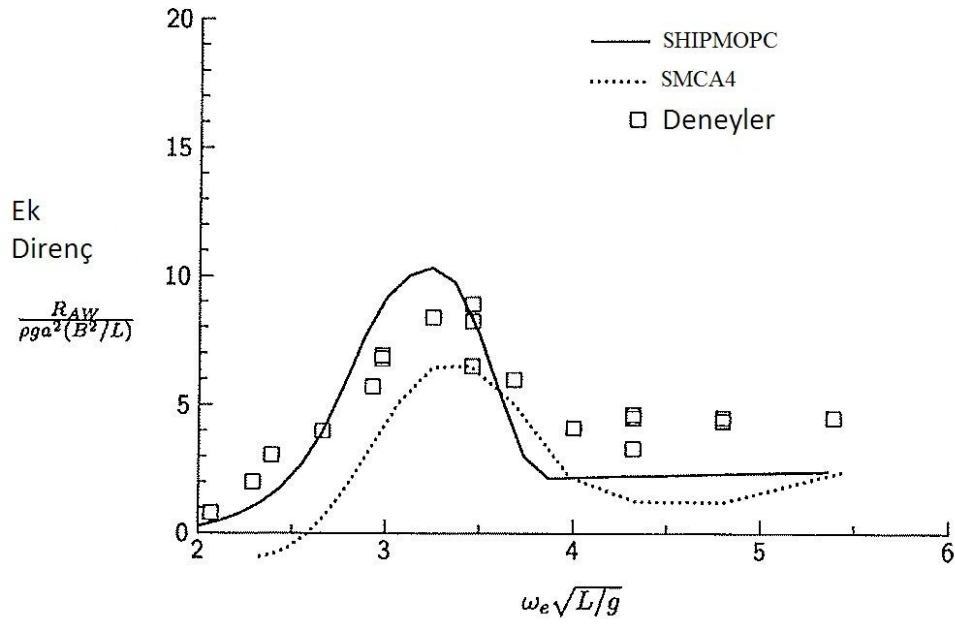
Şekil B.2 : Seri 60 için baştan gelen dalgalarda ek direnç, $C_B = 0.60, Fn = 0.283$ (McTaggart, 1997a).



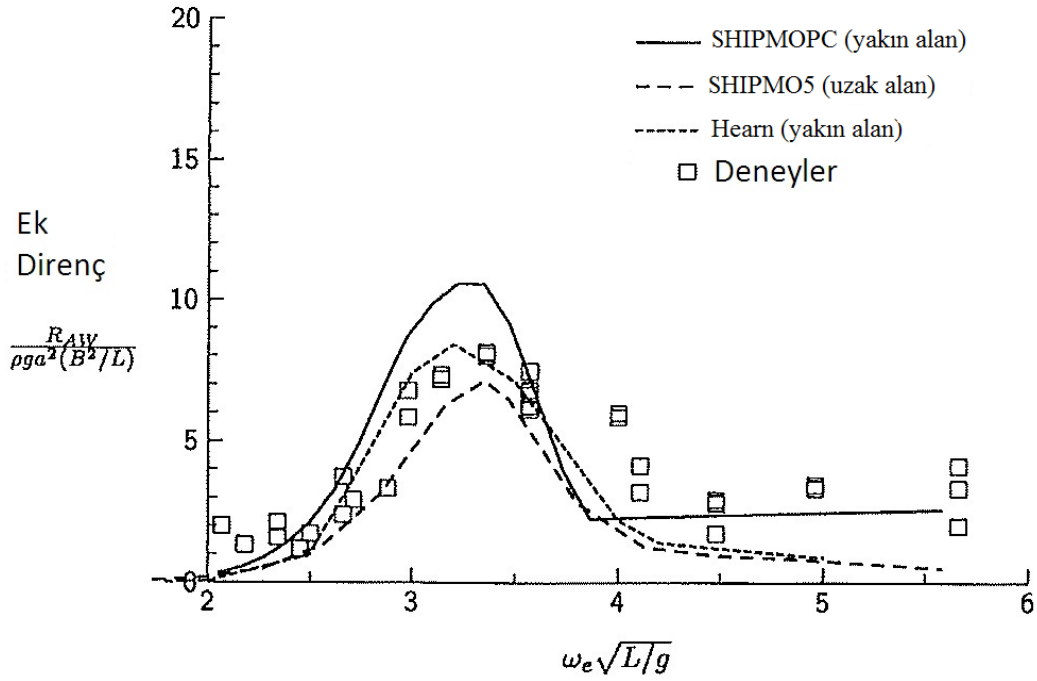
Şekil B.3 : Seri 60 için baştan gelen dalgalarda ek direnç, $C_B = 0.70, Fn = 0.207$ (McTaggart, 1997a).



Şekil B.4 : Seri 60 için baştan gelen dalgalarda ek direnç, $C_B = 0.70, Fn = 0.222$ (McTaggart, 1997a).

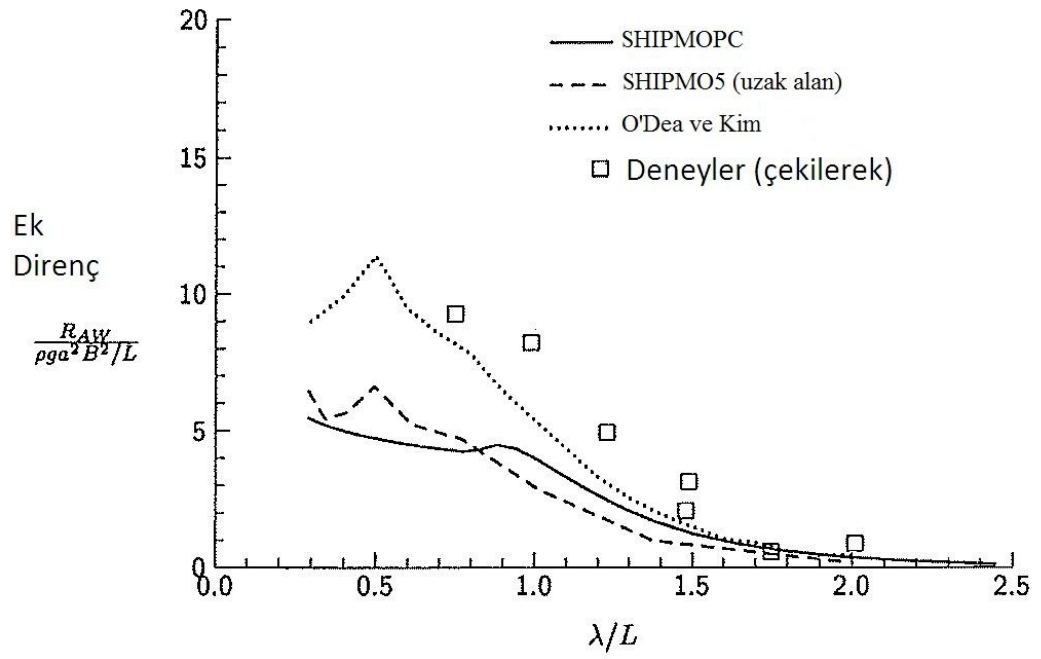


Şekil B.5 : Seri 60 için baştan gelen dalgalarda ek direnç, $C_B = 0.80, Fn = 0.147$ (McTaggart, 1997a).

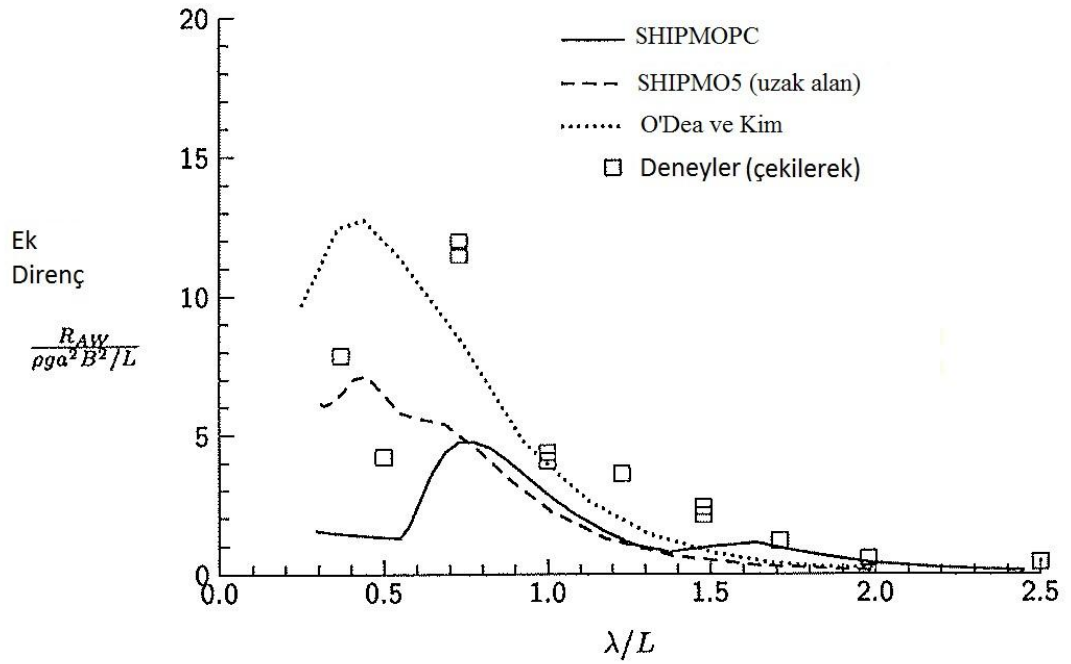


Şekil B.6 : Seri 60 için baştan gelen dalgalarda ek direnç, $C_B = 0.80, Fn = 0.165$ (McTaggart, 1997a).

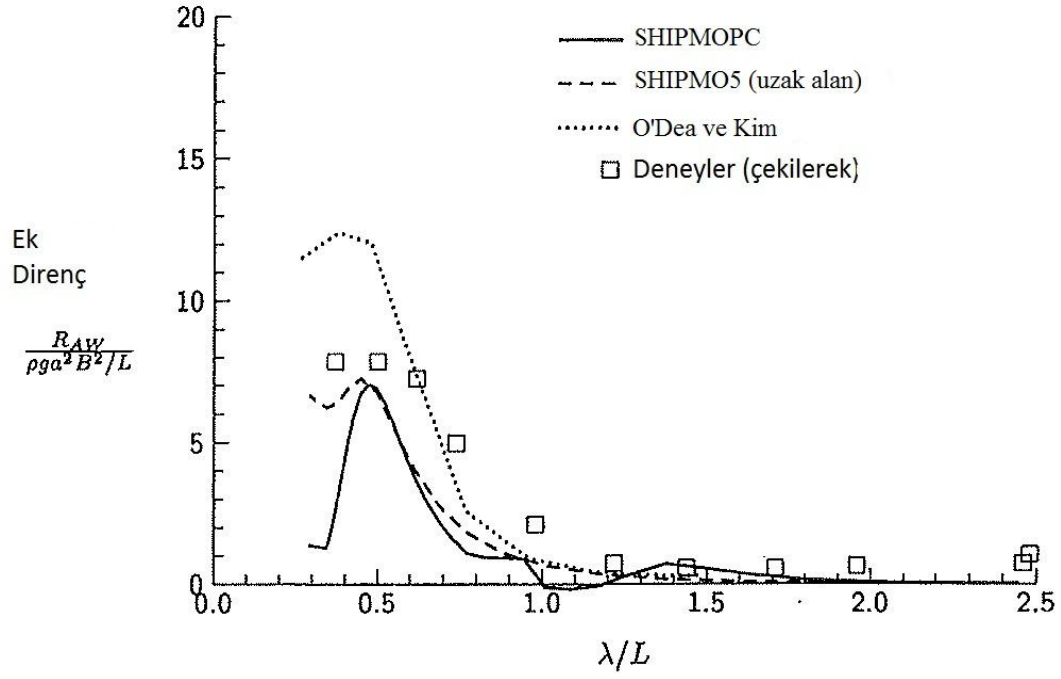
EK C



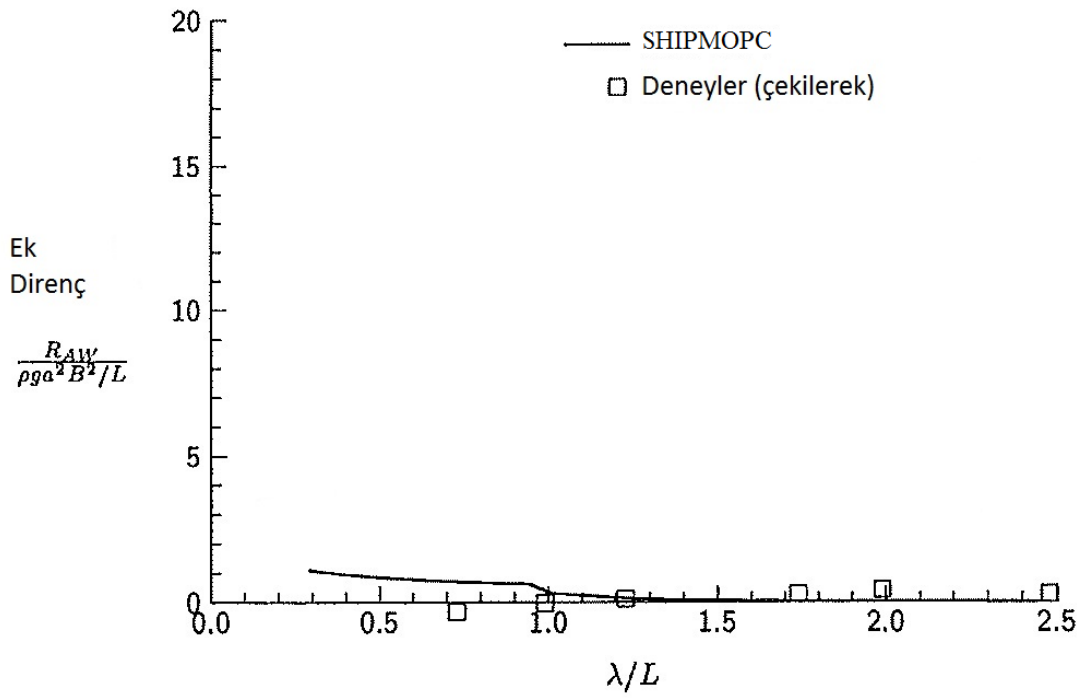
Şekil C.1 : FFG 7 için ek direnç, $Fn = 0.15$, Dalga yönü : 180° (McTaggart, 1997a).



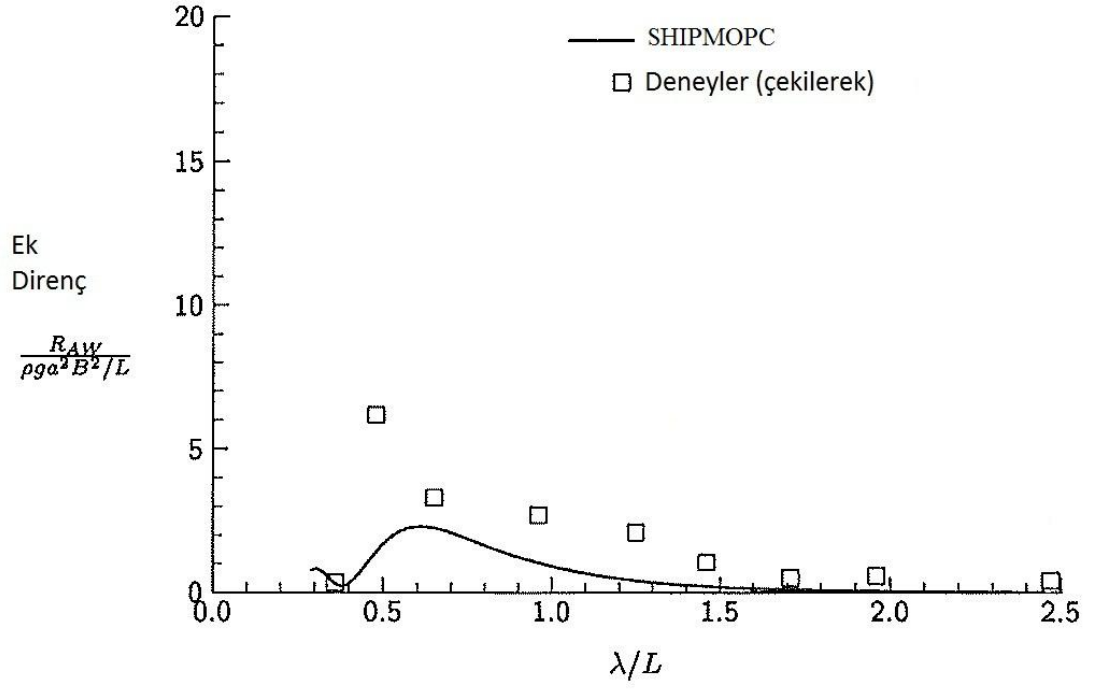
Şekil C.2 : FFG 7 için ek direnç, $Fn = 0.15$, Dalga yönü : 150° (McTaggart, 1997a).



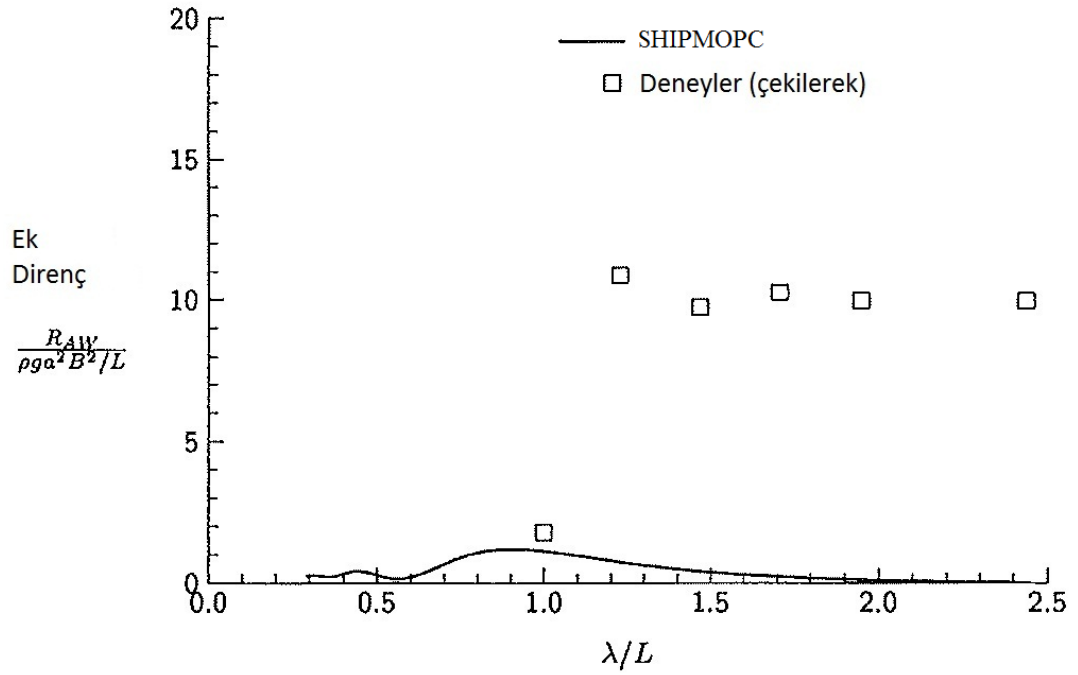
Şekil C.3 : FFG 7 için ek direnç, $Fn = 0.15$, Dalga yönü : 120° (McTaggart, 1997a).



Şekil C.4 : FFG 7 için ek direnç, $Fn = 0.15$, Dalga yönü : 90° (McTaggart, 1997a).

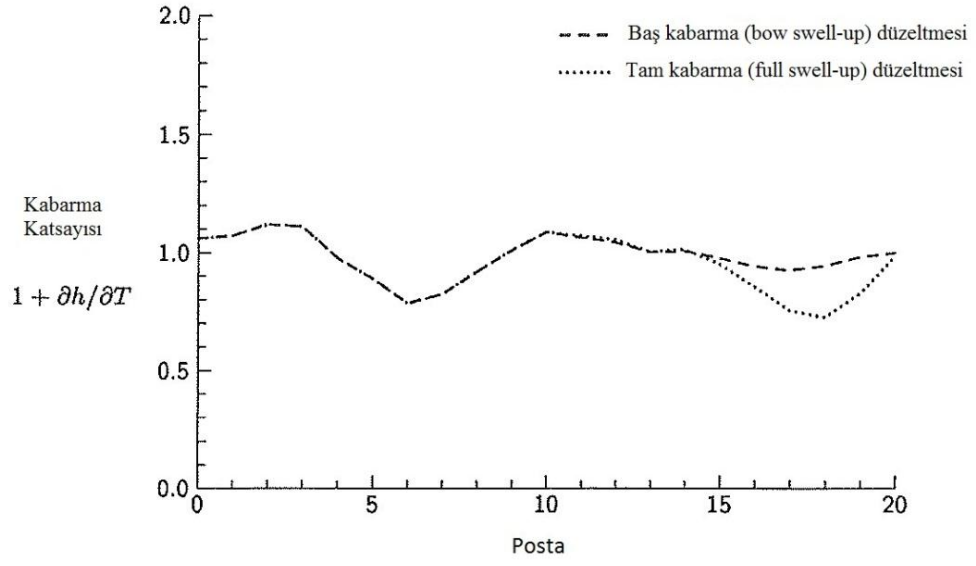


Şekil C.5 : FFG 7 için ek direnç, $Fn = 0.15$, Dalga yönü : 45° (McTaggart, 1997a).

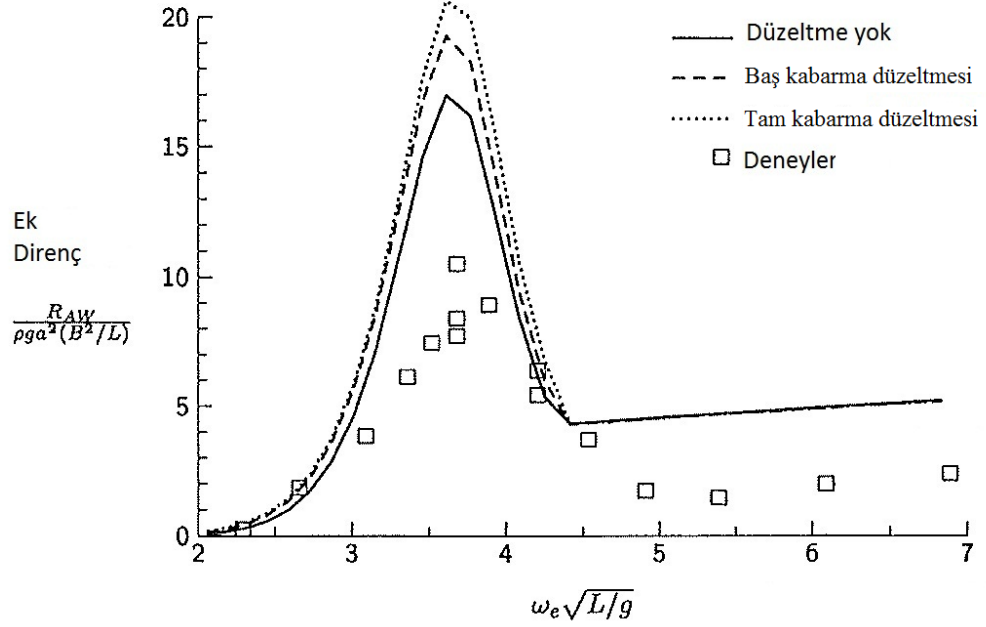


Şekil C.6 : FFG 7 için ek direnç, $Fn = 0.15$, Dalga yönü : 0° (McTaggart, 1997a).

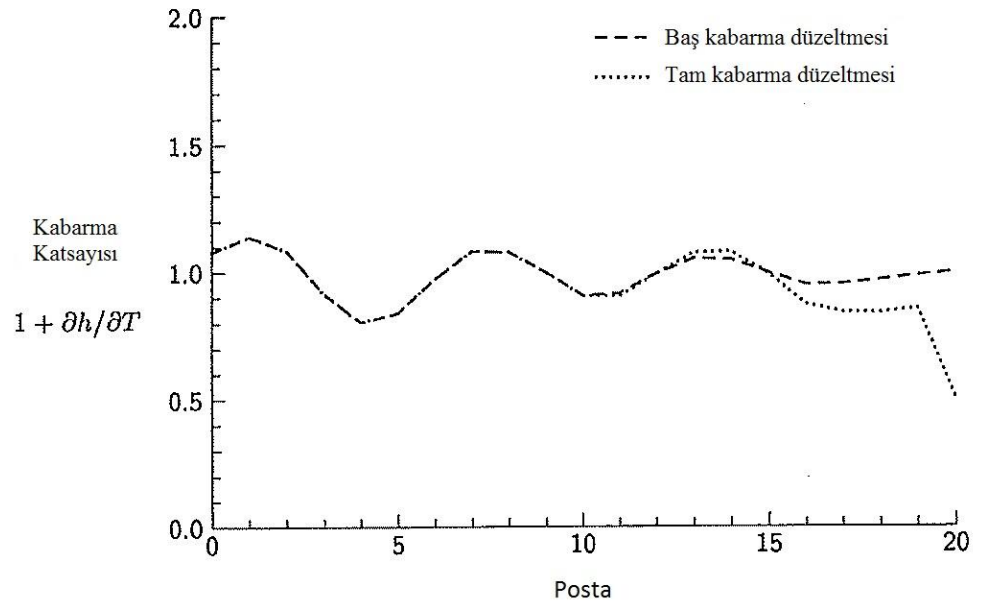
EK D



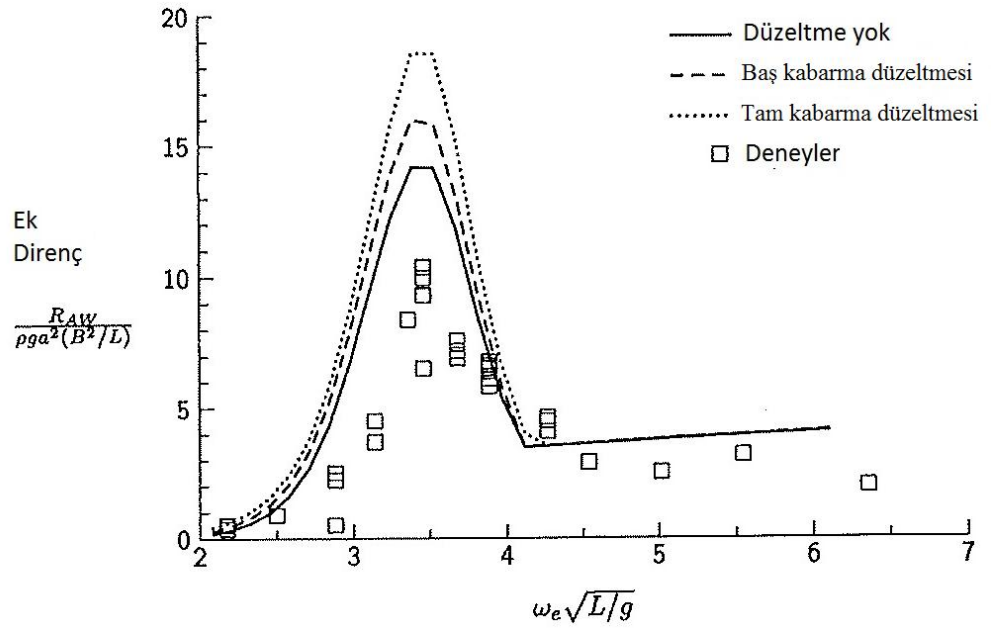
Şekil D.1 : Seri 60 için kabarma düzeltme faktörleri, $C_B = 0.60$, $Fn = 0.266$. (McTaggart, 1997a).



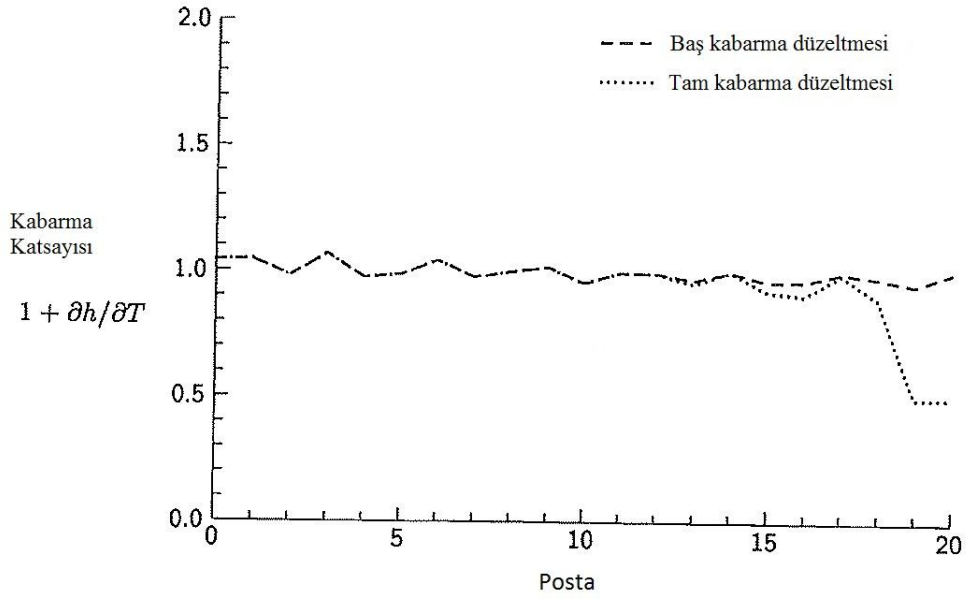
Şekil D.2 : Seri 60 için baştan gelen dalgalarda kabarma düzeltmesinin gemi direnci üzerine olan etkisi, $C_B = 0.60$, $Fn = 0.266$. (McTaggart, 1997a).



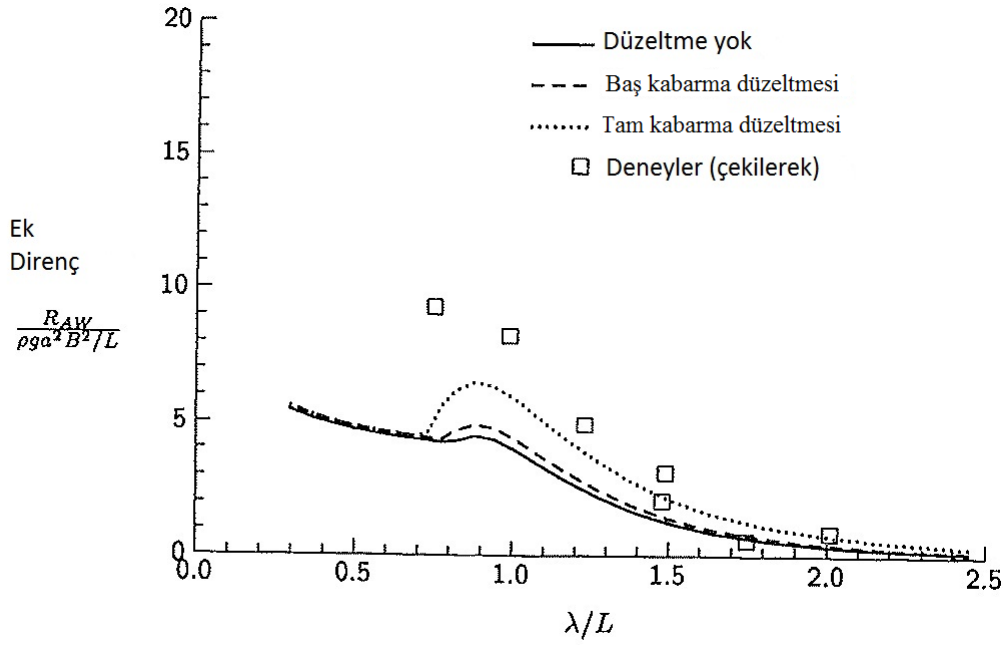
Şekil D.3 : Seri 60 için kabarma düzeltme faktörleri, $C_B = 0.70, Fn = 0.222$. (McTaggart, 1997a).



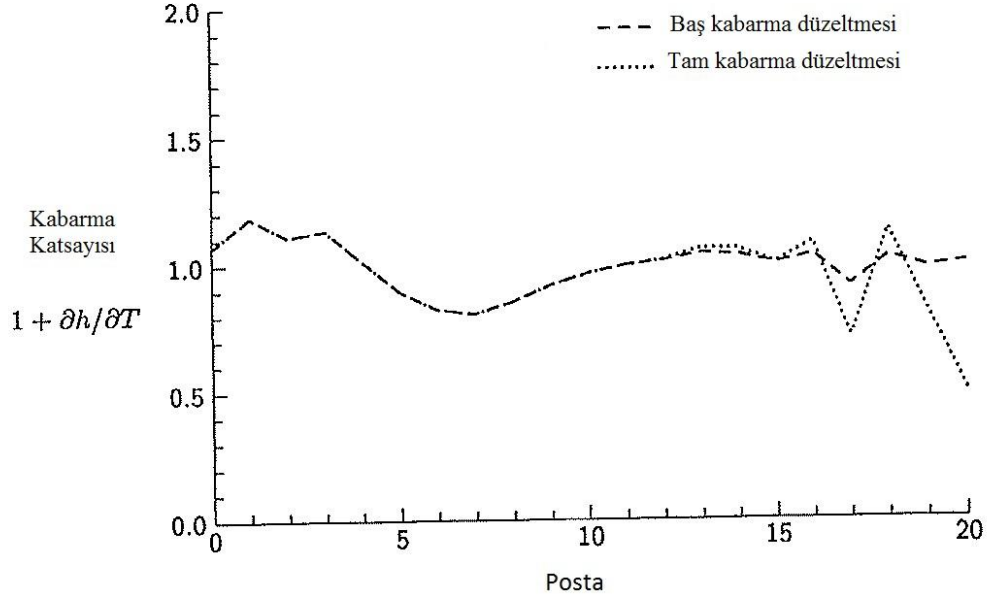
Şekil D.4 : Seri 60 için baştan gelen dalgalarda kabarma düzeltmesinin gemi direnci üzerine olan etkisi, $C_B = 0.70, Fn = 0.222$. (McTaggart, 1997a).



Şekil D.5 : FFG 7 için kabarma düzeltme faktörleri, $F_n = 0.15$. (McTaggart, 1997a).

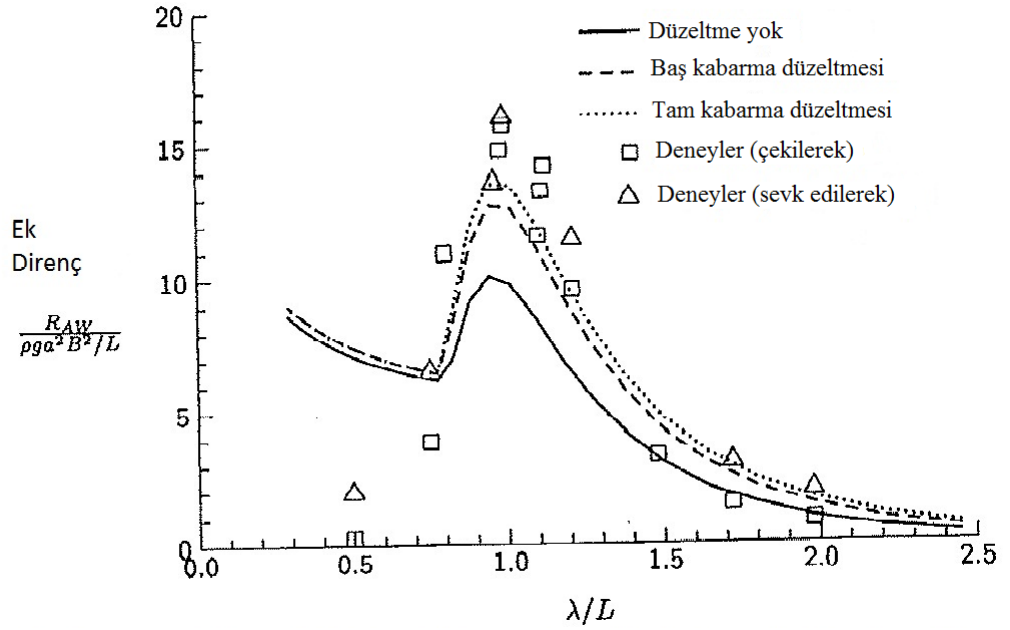


Şekil D.6 : FFG 7 için baştan gelen dalgalarda kabarma düzeltmesinin gemi direnci üzerine olan etkisi, $F_n = 0.15$ (McTaggart, 1997a).



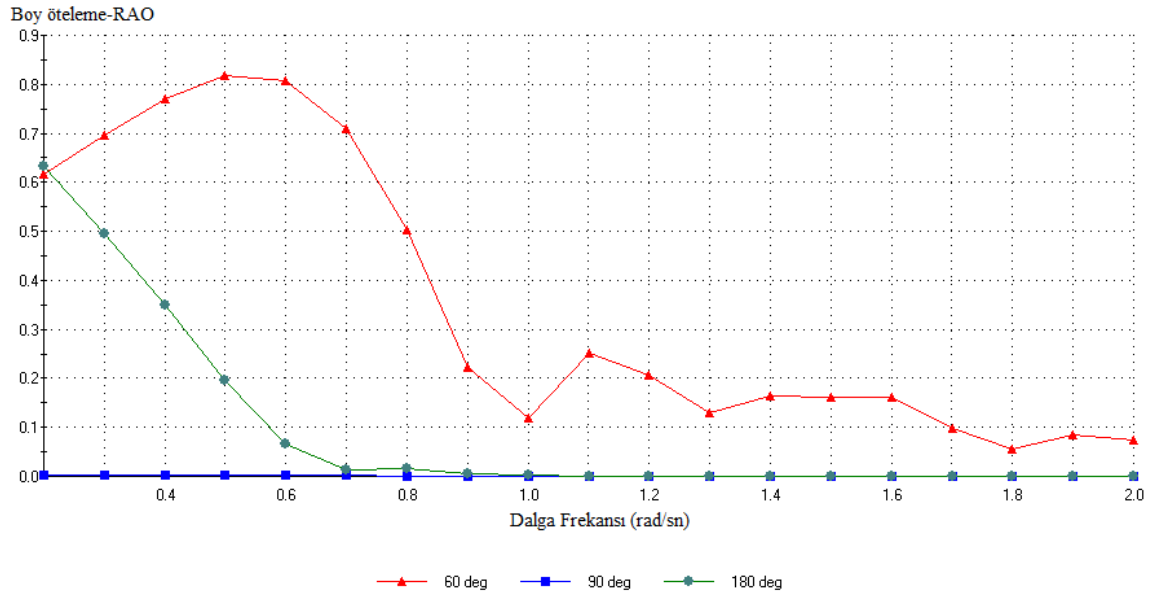
Şekil D.7 :

Şekil D.7 : FFG 7 için kabarma düzeltme faktörleri, $Fn = 0.30$ (McTaggart, 1997a).

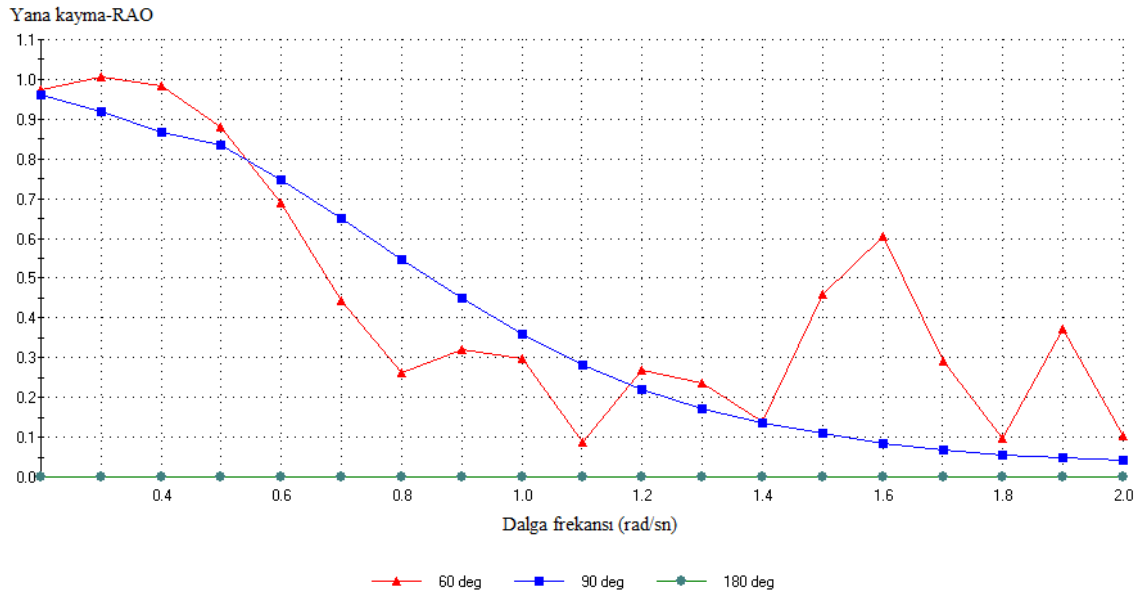


Şekil D.8 : FFG 7 için baştan gelen dalgalarda kabarma düzeltmesinin gemi direnci üzerine olan etkisi, $Fn = 0.30$ (McTaggart, 1997a).

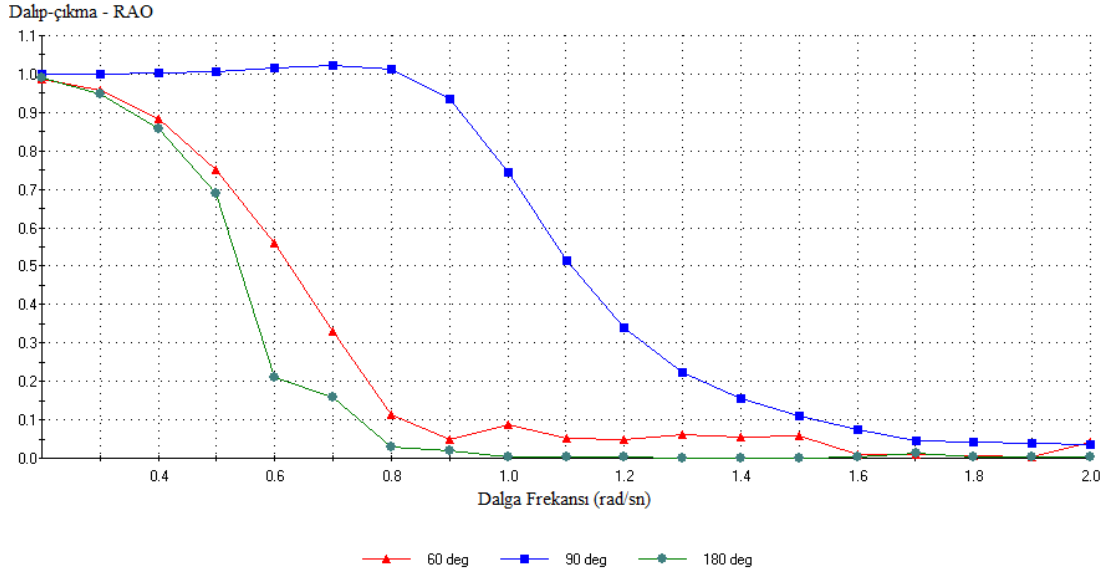
EKE



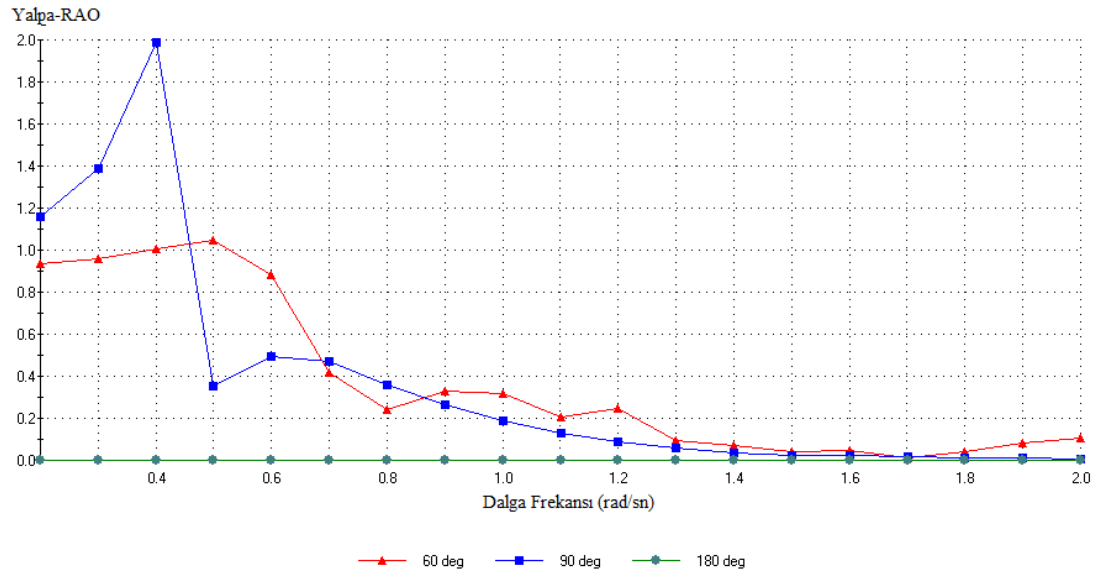
Şekil E.1 : Savaş gemisinin 22 knot hızda düzenli dalgalarındaki boy öteleme transfer fonksiyonu (RAO).



Şekil E.2 : Savaş gemisinin 22 knot hızda düzenli dalgalarındaki yan öteleme transfer fonksiyonu (RAO).

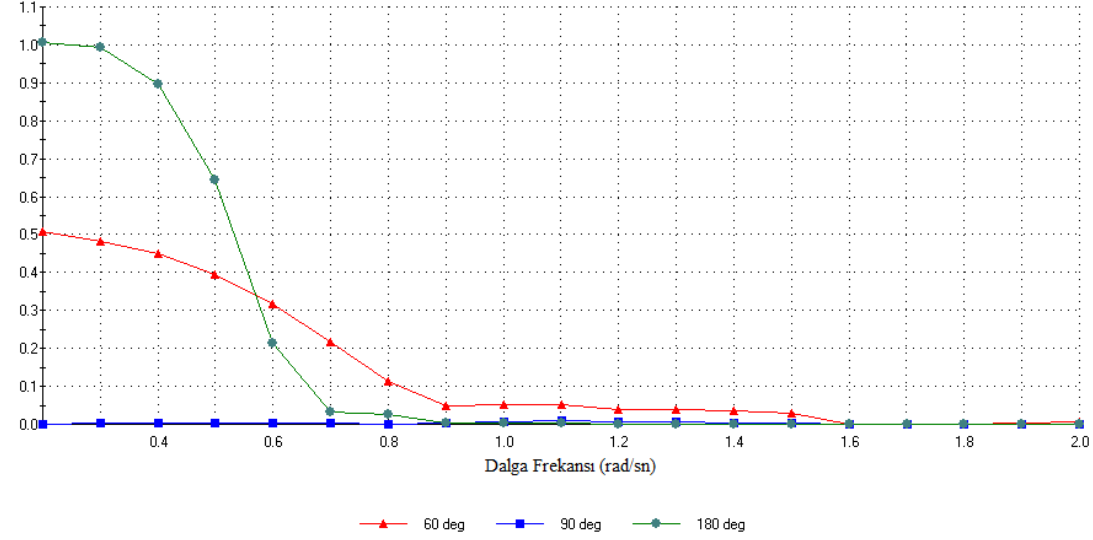


Şekil E.3 : Savaş gemisinin 22 knot hızda düzenli dalgalarındaki dalıp-çıkma transfer fonksiyonu (RAO).



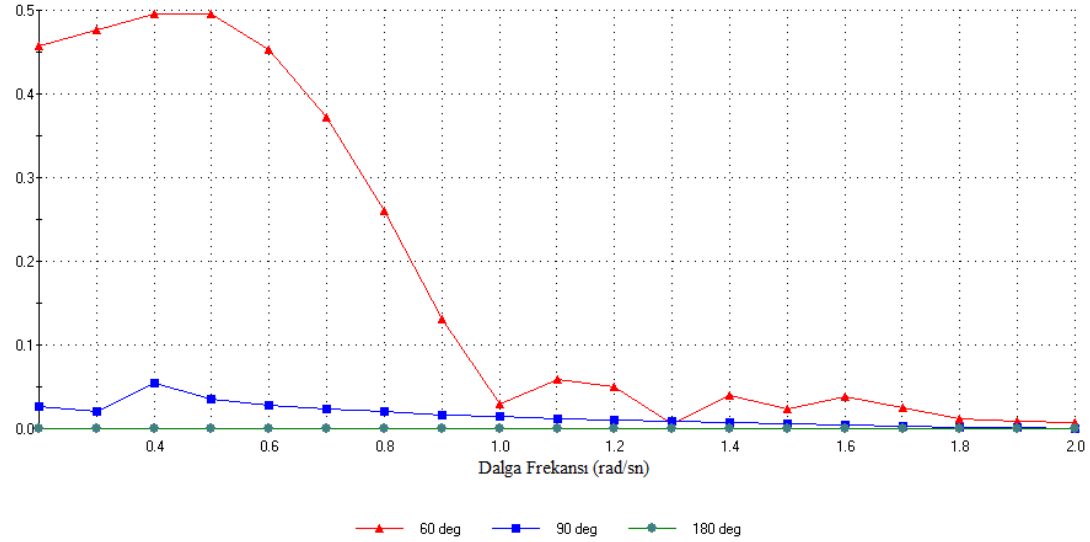
Şekil E.4 : Savaş gemisinin 22 knot hızda düzenli dalgalarındaki yalpa transfer fonksiyonu (RAO).

Baş-kıç vurma - RAO



Şekil E.5 : Savaş gemisinin 22 knot hızda düzenli dalgalardaki baş-kıç vurma transfer fonksiyonu (RAO).

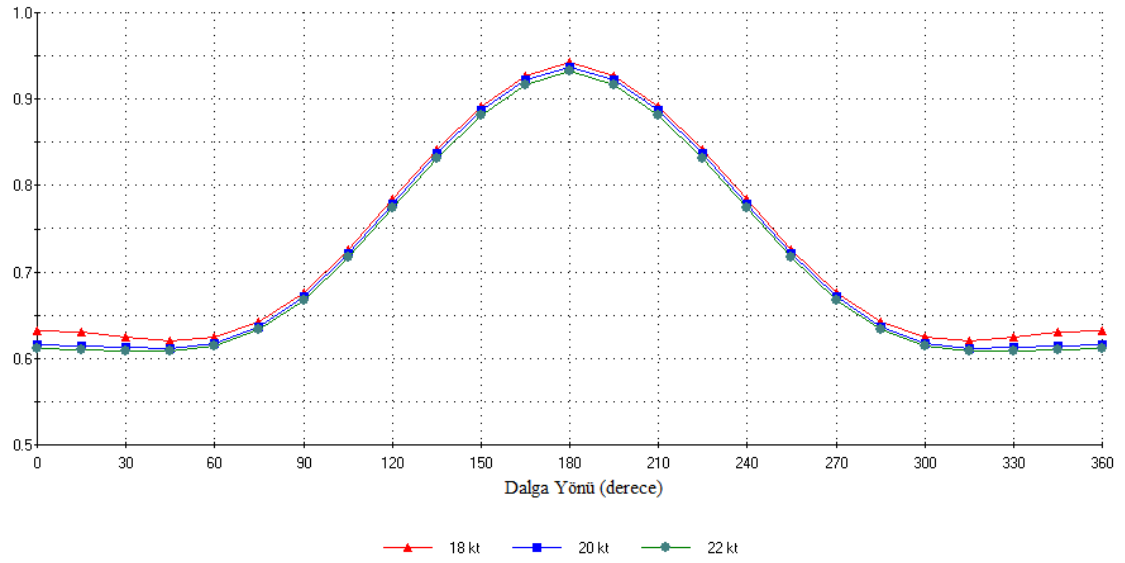
Savrulma-RAO



Şekil E.6 : Savaş gemisinin 22 knot hızda düzenli dalgalardaki savrulma transfer fonksiyonu (RAO).

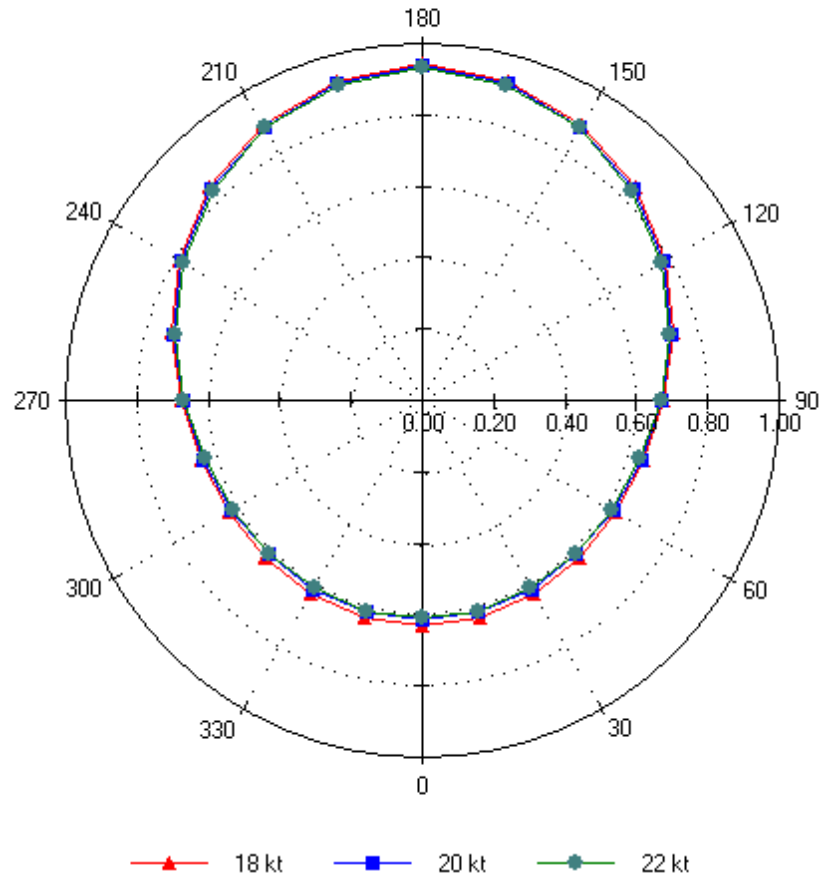
EK F

RMS Baş-kıç vurma hareketi (der.)

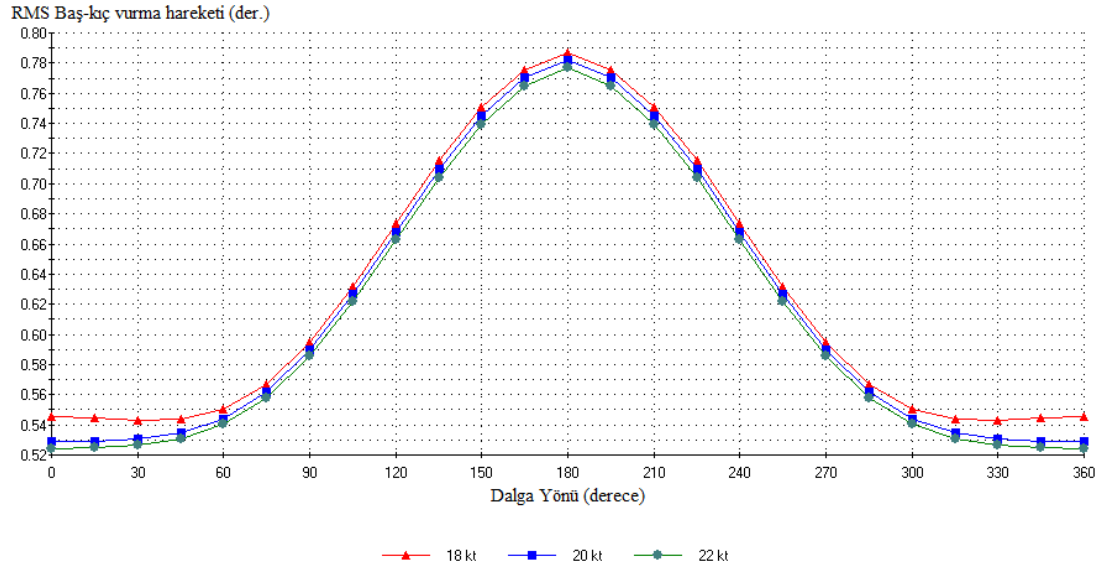


Şekil F.1 : Geminin 6 deniz şiddetinde Akdeniz'deki baş-kıç vurma hareketi.

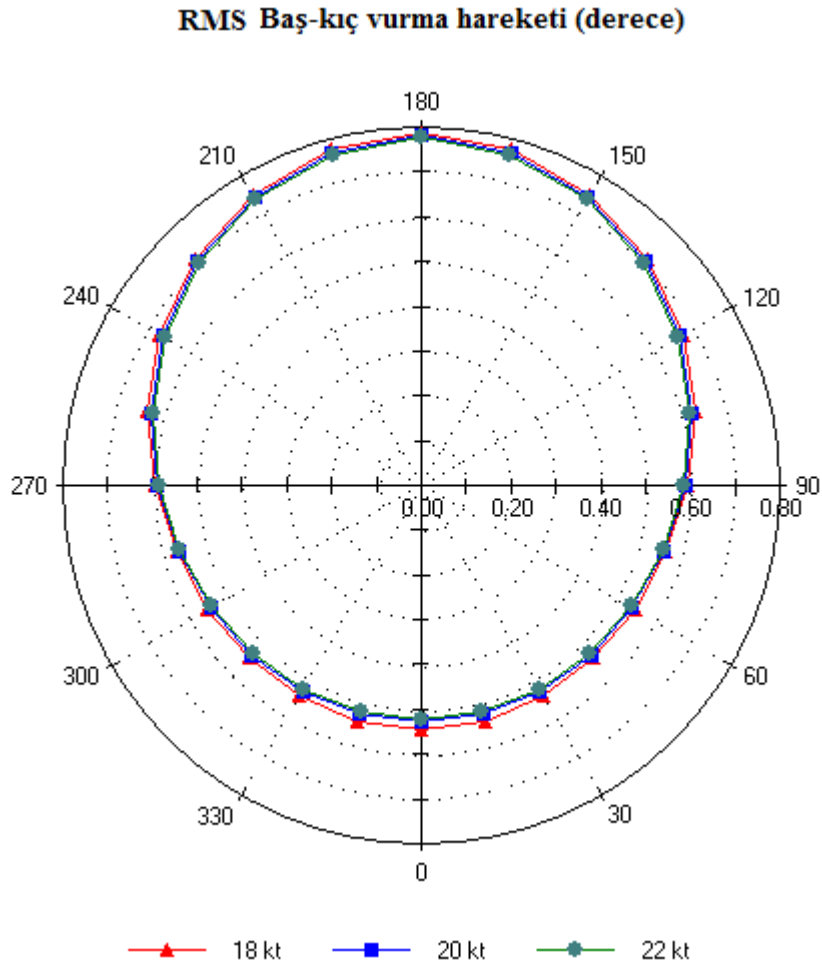
RMS Baş-kıç vurma hareketi (derece)



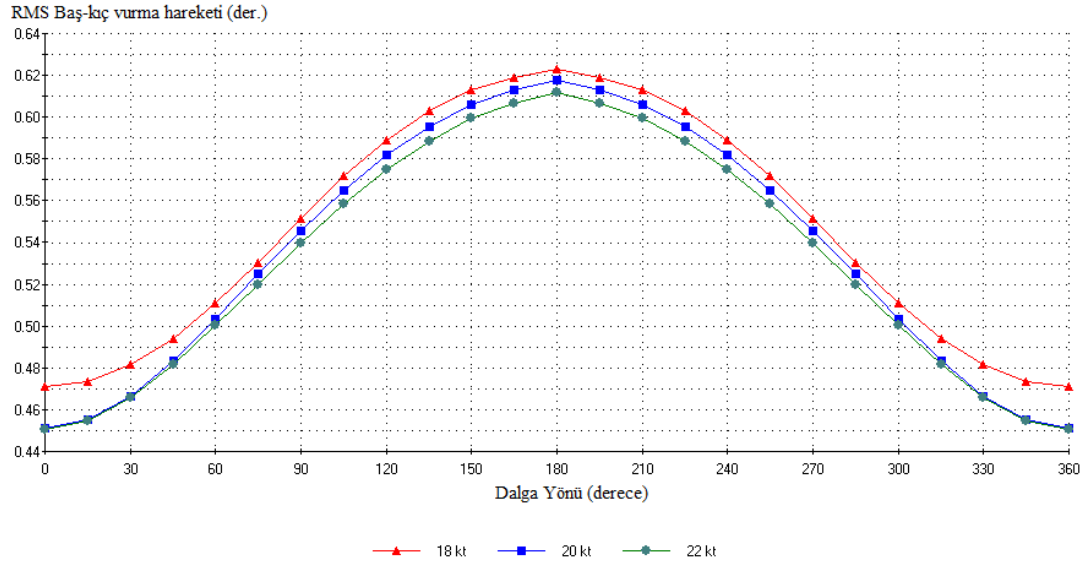
Şekil F.2 : Geminin 6 deniz şiddetinde Akdeniz'deki baş-kıç vurma hareketine ait polar diyagram.



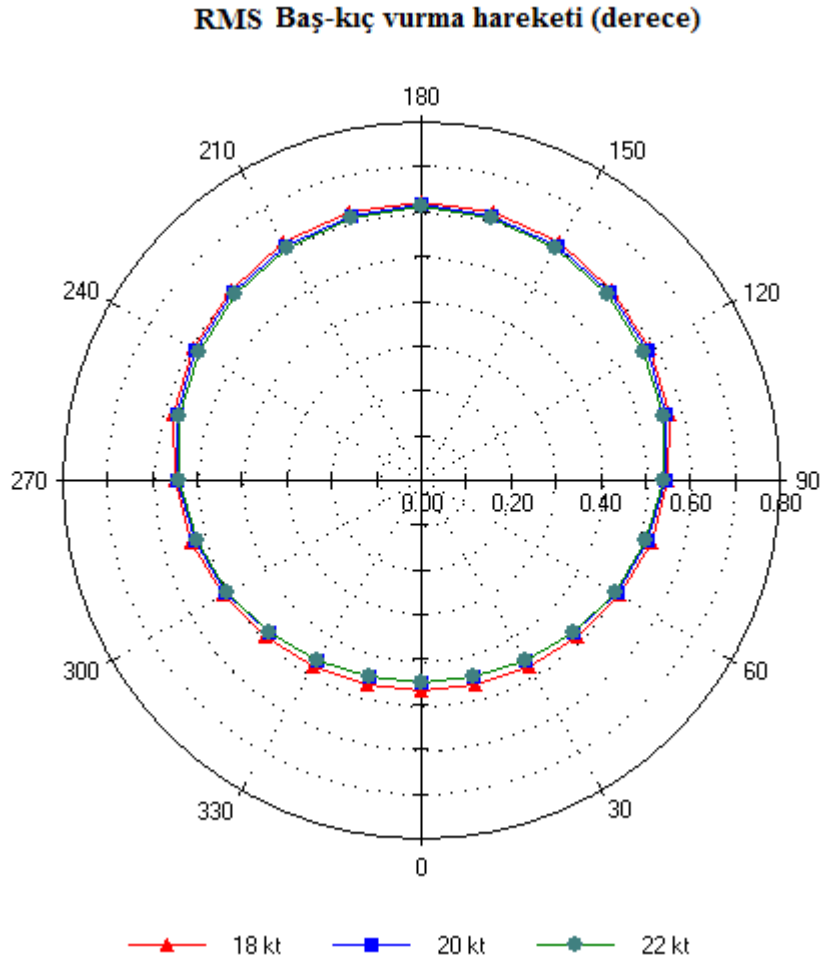
Şekil F.3 : Geminin 6 deniz şiddetinde Karadeniz'deki baş-kıç vurma hareketi.



Şekil F.4 : Geminin 6 deniz şiddetinde Karadeniz'deki baş-kıç vurma hareketine ait polar diyagram.

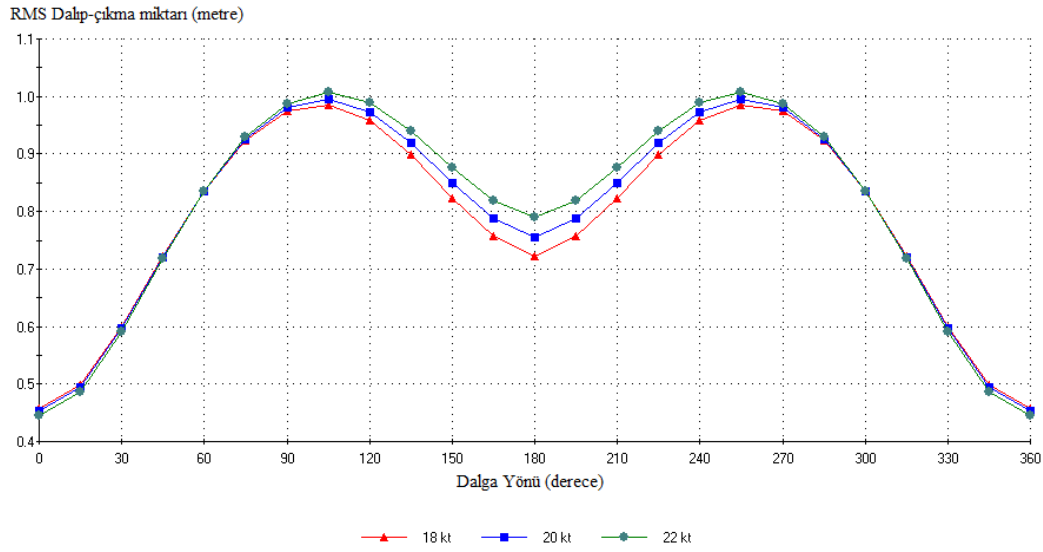


Şekil F.5 : Geminin 6 deniz şiddetinde Ege Denizi'ndeki baş-kıç vurma hareketi.

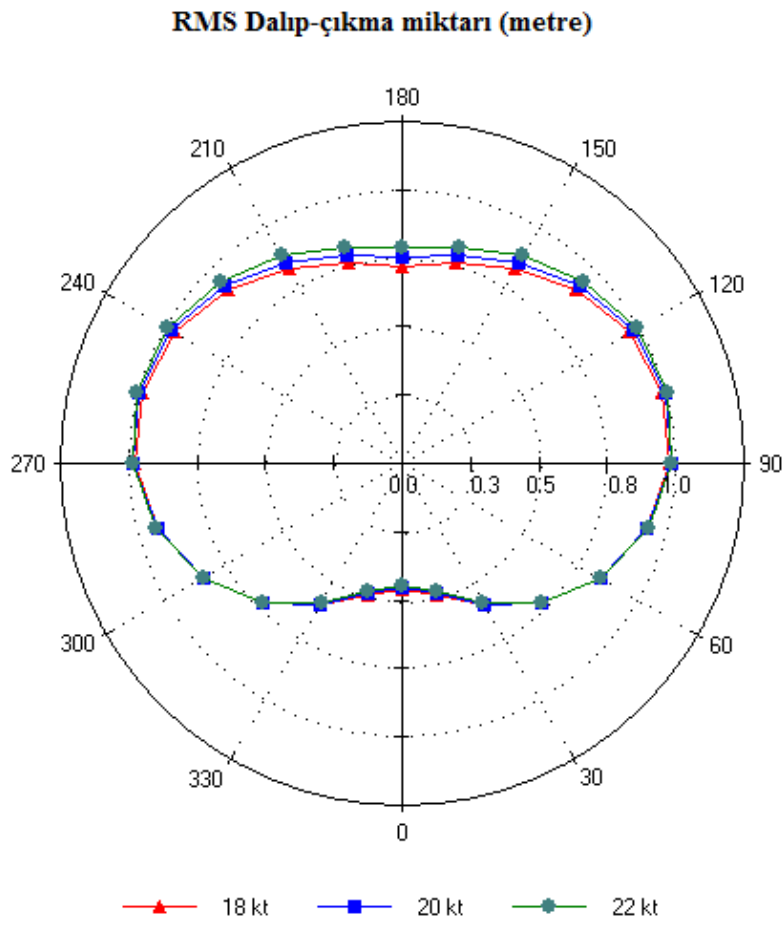


Şekil F.6 : Geminin 6 deniz şiddetinde Ege Denizi'ndeki baş-kıç vurma hareketine ait polar diyagram.

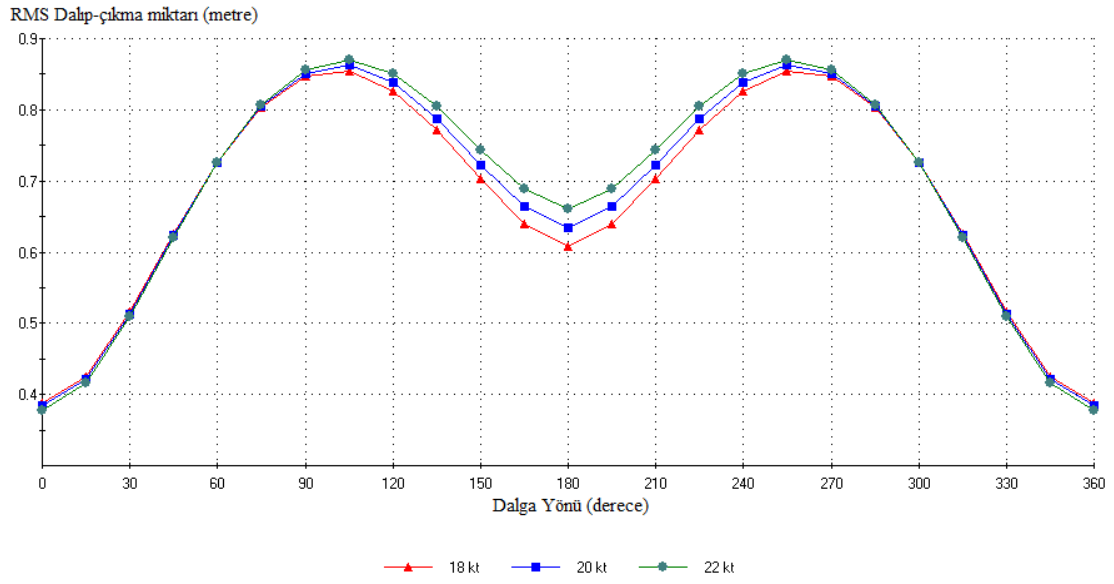
EK G



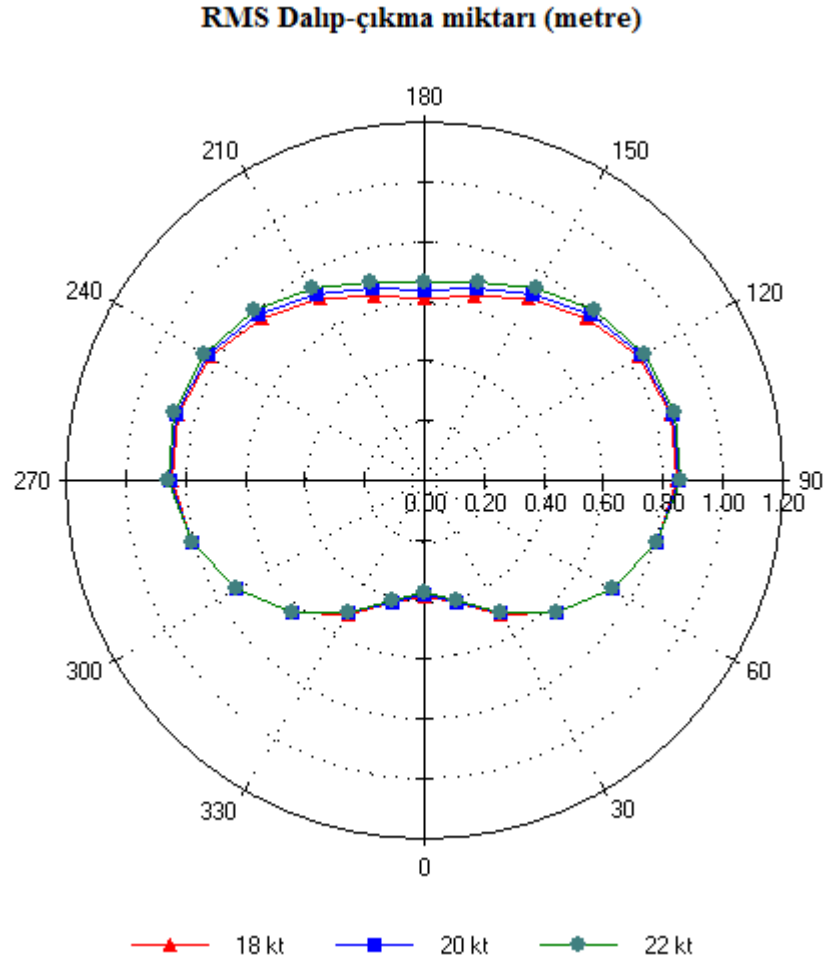
Şekil G.1 : Geminin 6 deniz şiddetinde Akdeniz'deki dalıp-çıkma miktarı.



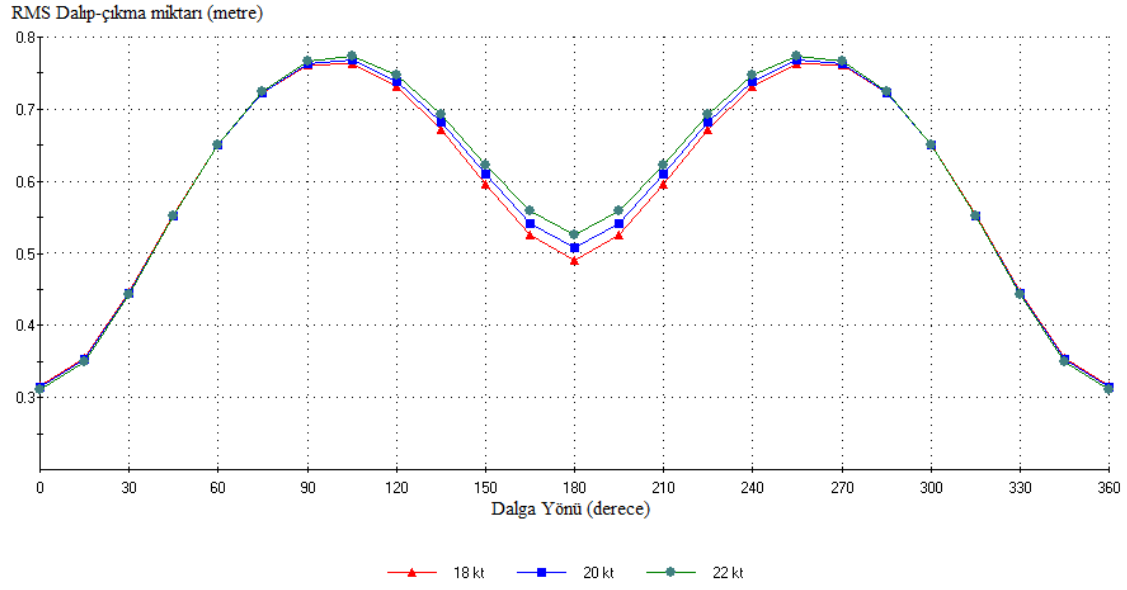
Şekil G.2 : Geminin 6 deniz şiddetinde Akdeniz'deki dalıp-çıkma miktarını gösteren polar diyagram.



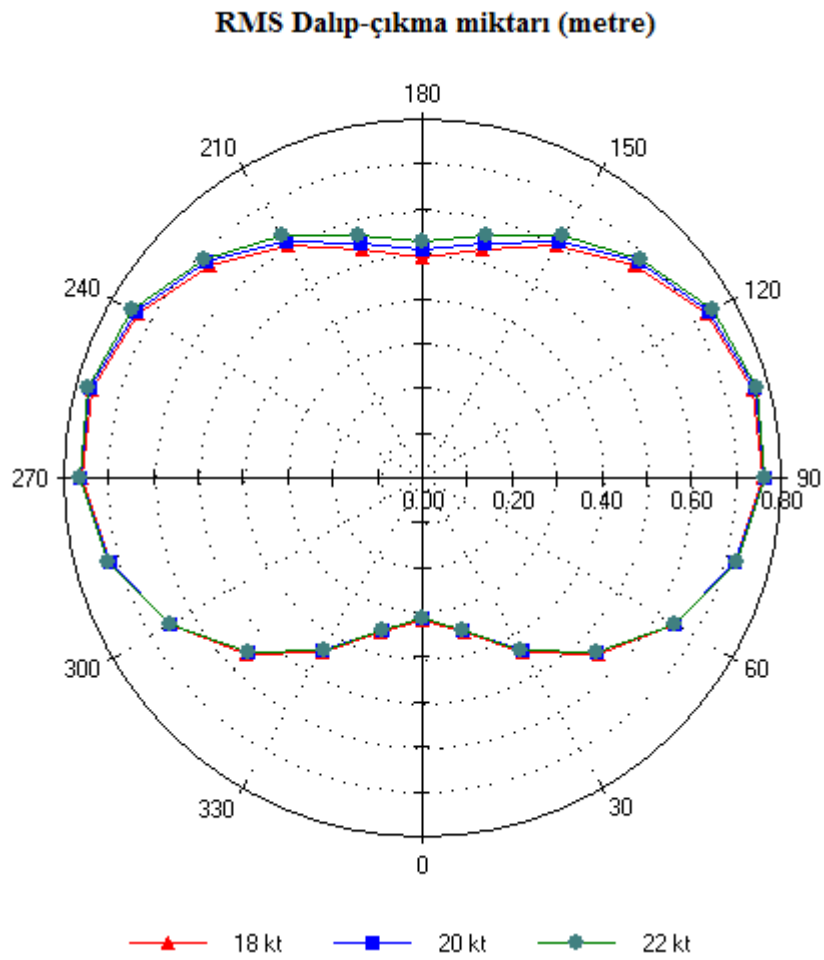
Şekil G.3 : Geminin 6 deniz şiddetinde Karadeniz'deki dalıp-çıkma miktarı.



Şekil G.4 : Geminin 6 deniz şiddetinde Karadeniz'deki dalıp-çıkma miktarını gösteren polar diyagram.

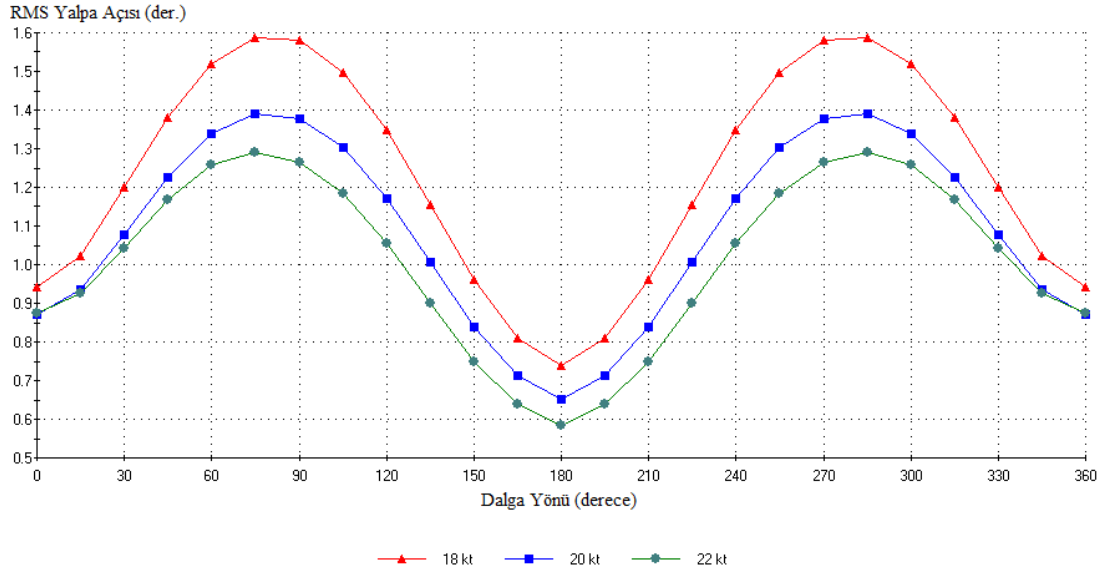


Şekil G.5 : Geminin 6 deniz şiddetinde Ege Denizi'ndeki dalıp-çıkma miktarı.

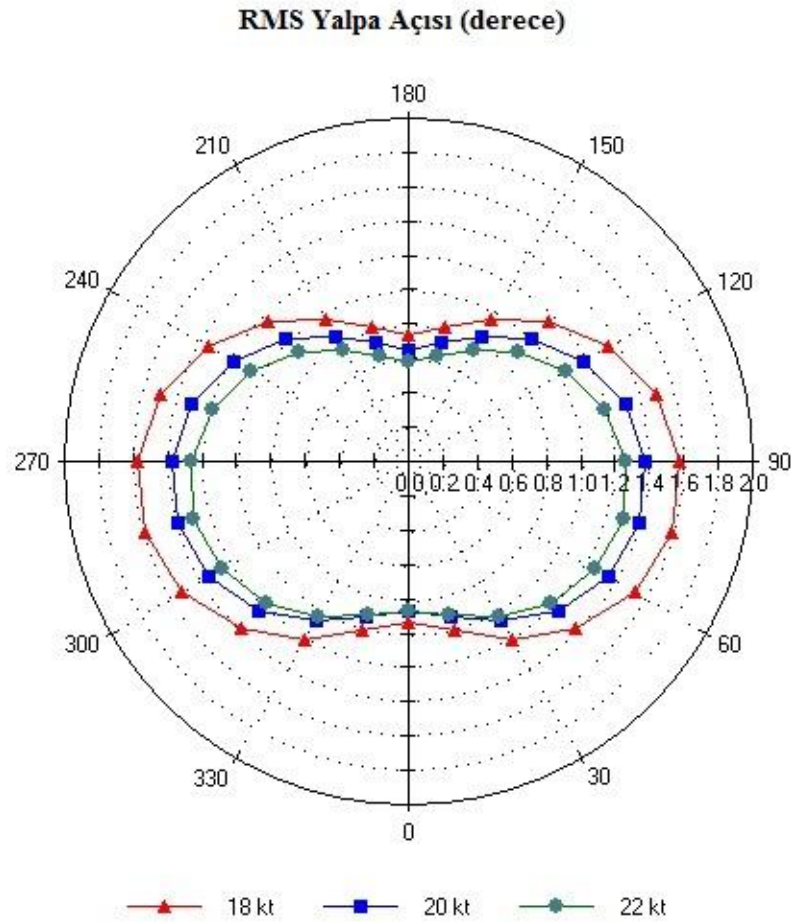


Şekil G.6 : Geminin 6 deniz şiddetinde Ege Denizi'ndeki dalıp-çıkma miktarını gösteren polar diyagram.

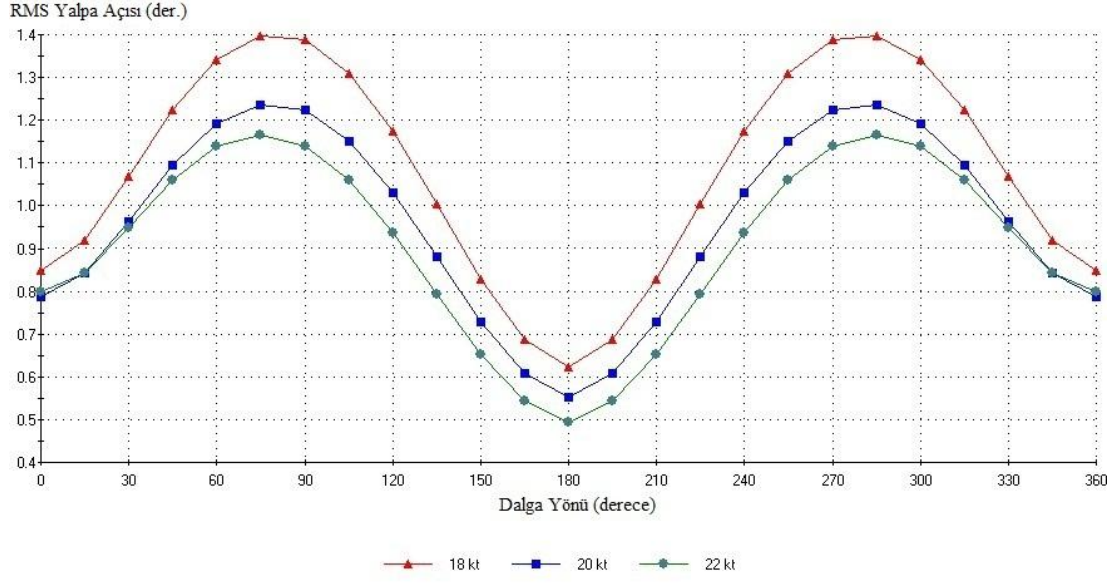
EK H



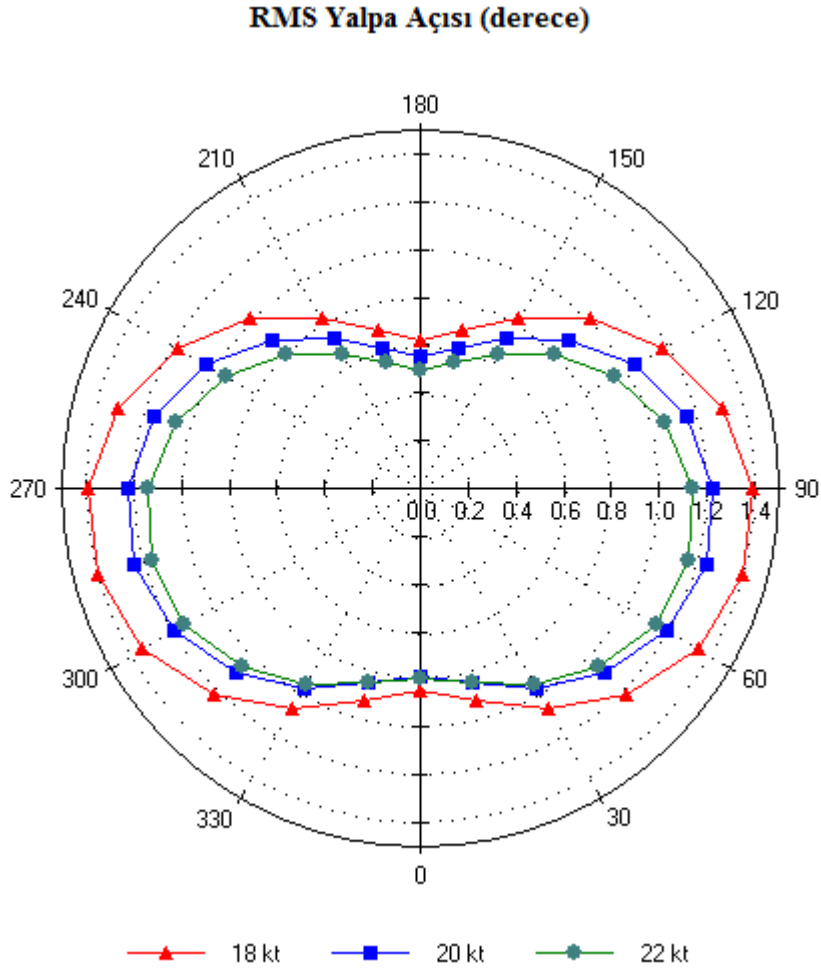
Şekil H.1 : Geminin 6 deniz şiddetinde Akdeniz'deki yalpa hareketi.



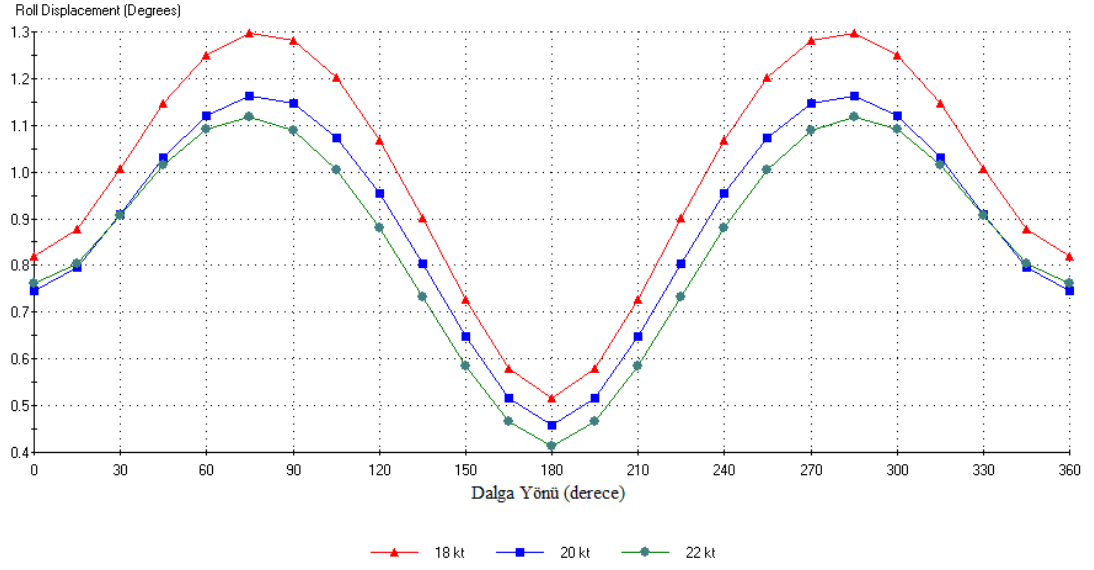
Şekil H.2 : Geminin 6 deniz şiddetinde Akdeniz'deki yalpa hareketine ait polar diyagramı.



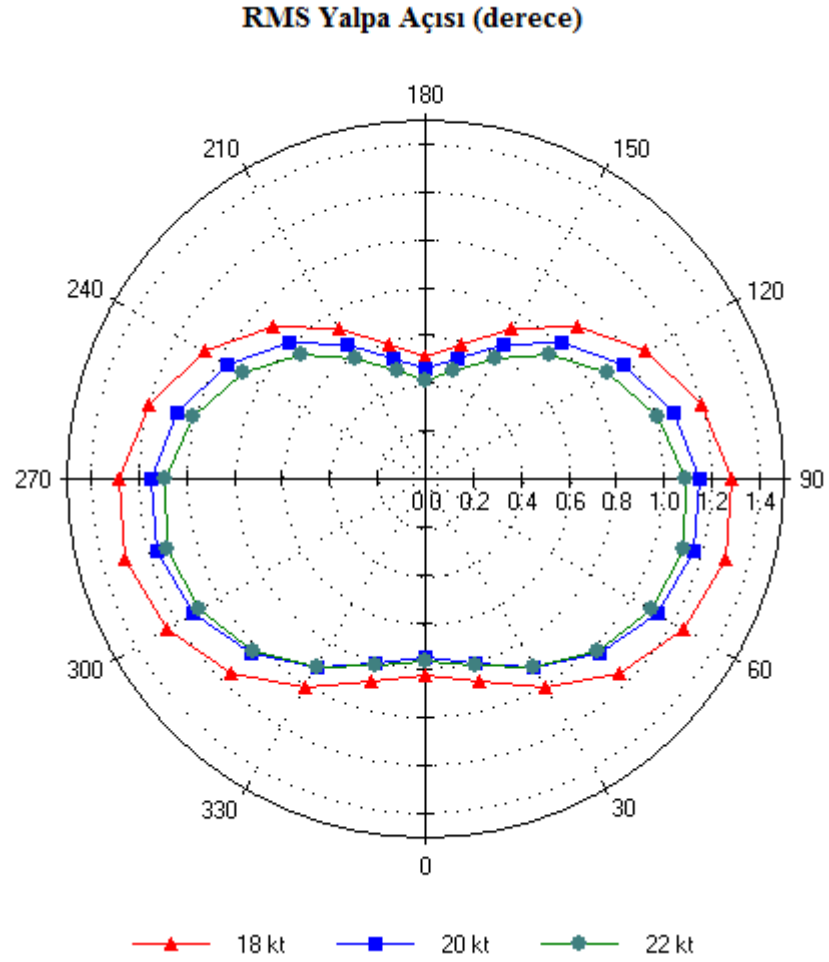
Şekil H.3 : Geminin 6 deniz şiddetinde Karadeniz’deki yalpa hareketi.



Şekil H.4 : Geminin 6 deniz şiddetinde Karadeniz’deki yalpa hareketine ait polar diyagram.

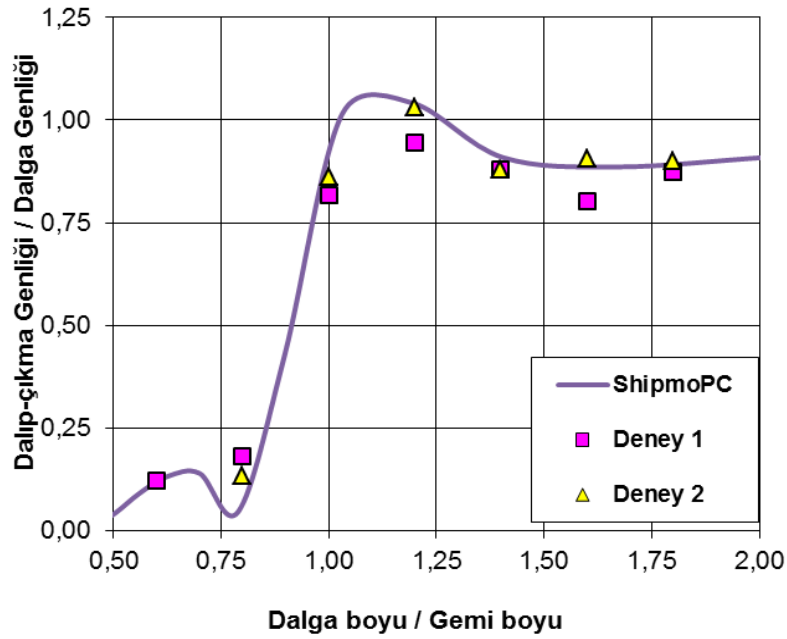


Şekil H.5 : Geminin 6 deniz şiddetinde Ege Denizi'ndeki yalpa hareketi.

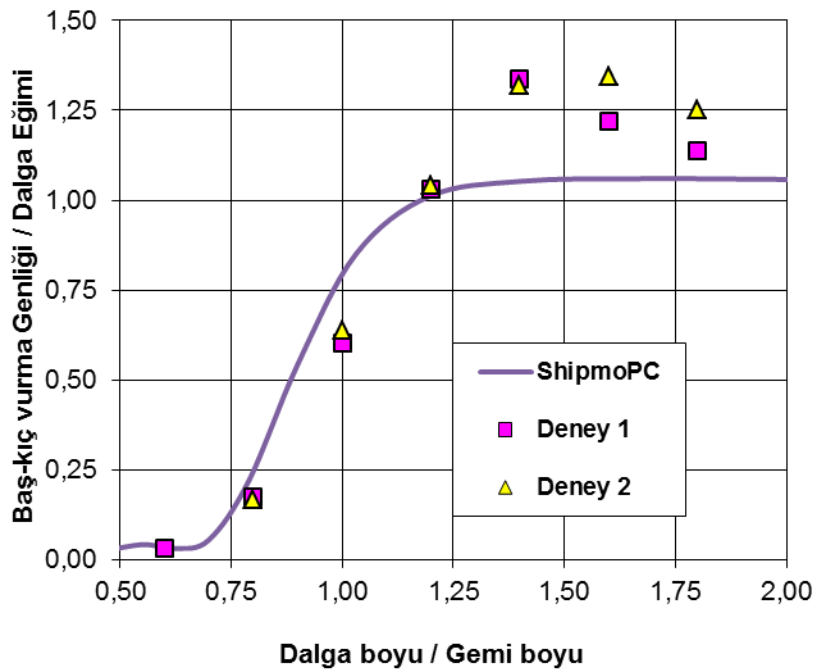


Şekil H.6 : Geminin 6 deniz şiddetinde Ege Denizi'ndeki yalpa hareketine ait polar diyagramı.

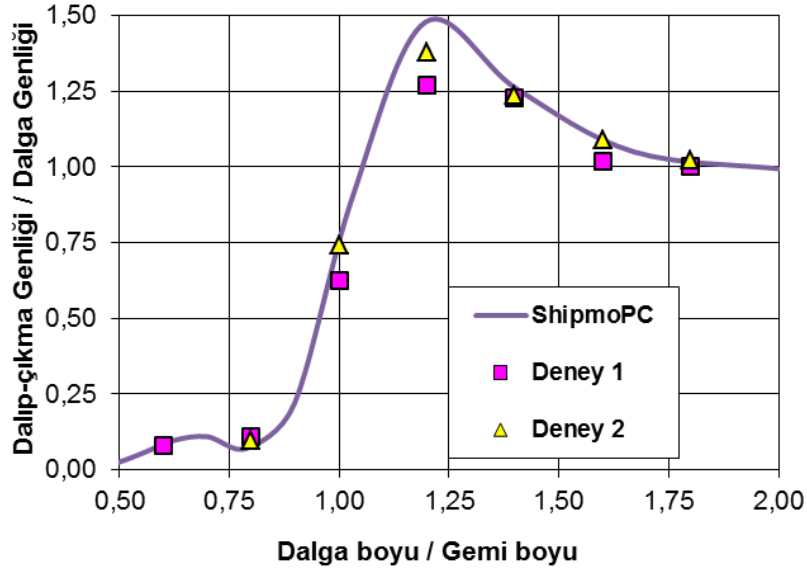
EK I



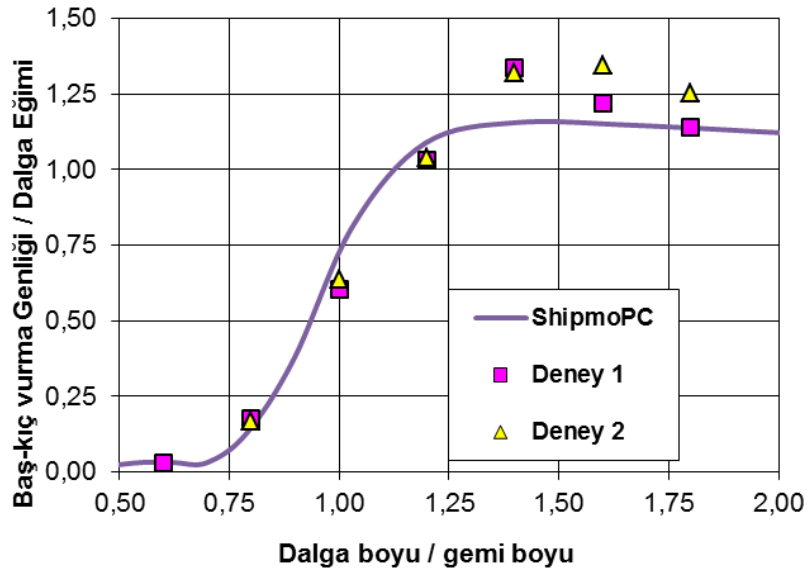
Şekil I.1 : Seri 60 gemisi için elde edilen dalıp-çıkma transfer fonksiyonlarının karşılaştırılması ($F_n=0.15$, baştan gelen dalgalar).



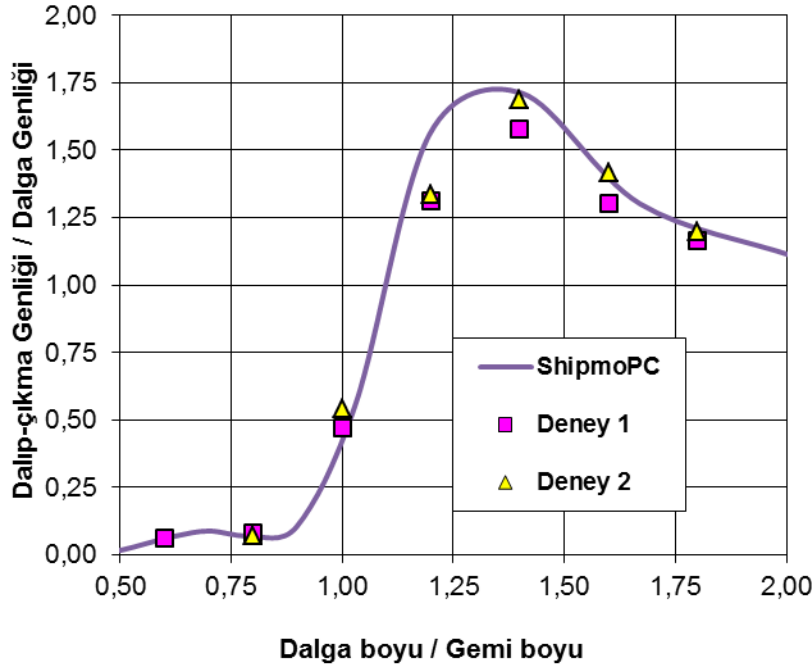
Şekil I.2 : Seri 60 gemisi için elde edilen baş-kıç vurma transfer fonksiyonlarının karşılaştırılması ($F_n=0.15$, baştan gelen dalgalar).



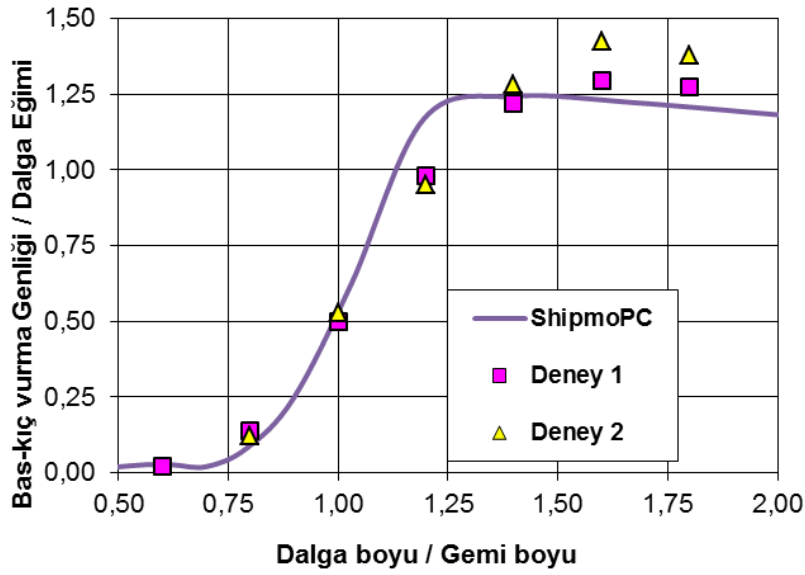
Şekil I.3 : Seri 60 gemisi için elde edilen dalıp-çıkma transfer fonksiyonlarının karşılaştırılması ($F_n=0.20$, baştan gelen dalgalar).



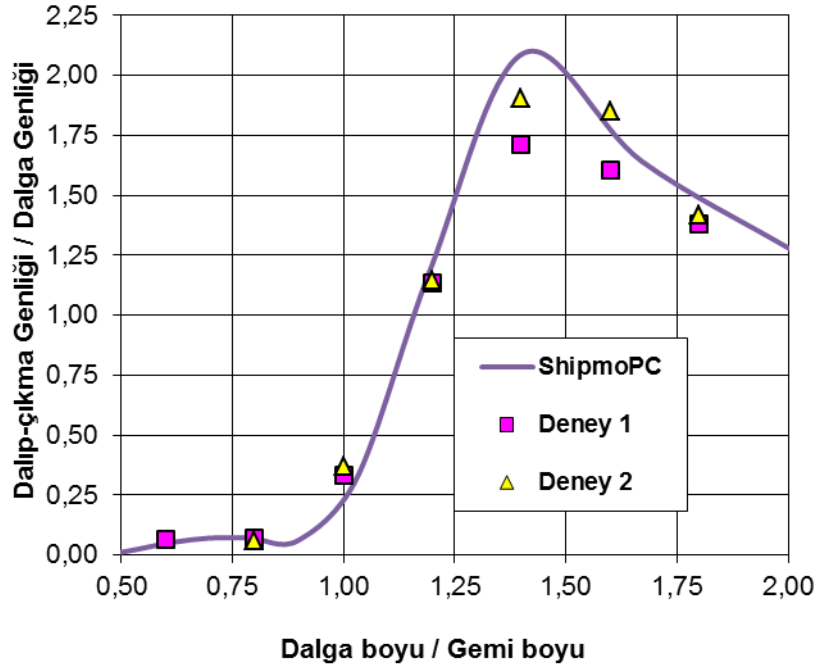
Şekil I.4 : Seri 60 gemisi için elde edilen baş-kıç vurma transfer fonksiyonlarının karşılaştırılması ($F_n=0.20$, baştan gelen dalgalar).



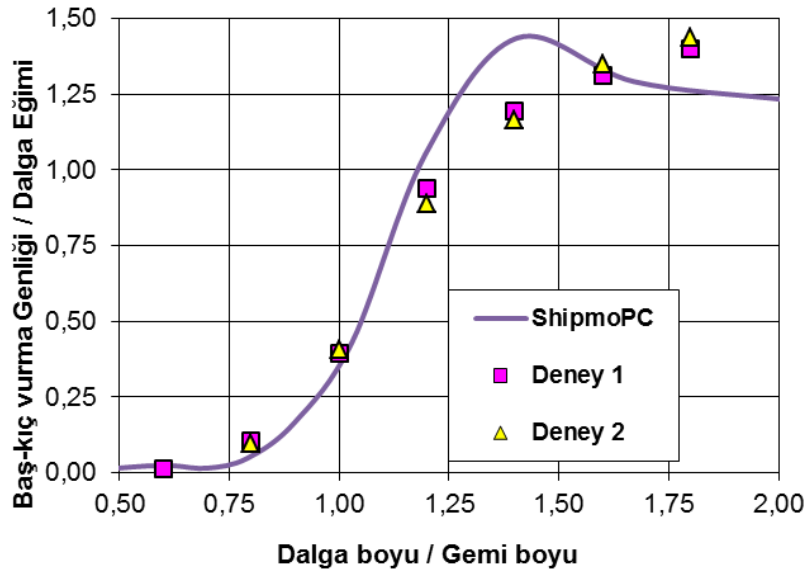
Şekil I.5 : Seri 60 gemisi için elde edilen dalgıç-çıkma transfer fonksiyonlarının karşılaştırılması ($F_n=0.25$, baştan gelen dalgalar).



Şekil I.6 : Seri 60 gemisi için elde edilen baş-kıç vurma transfer fonksiyonlarının karşılaştırılması ($F_n=0.25$, baştan gelen dalgalar).

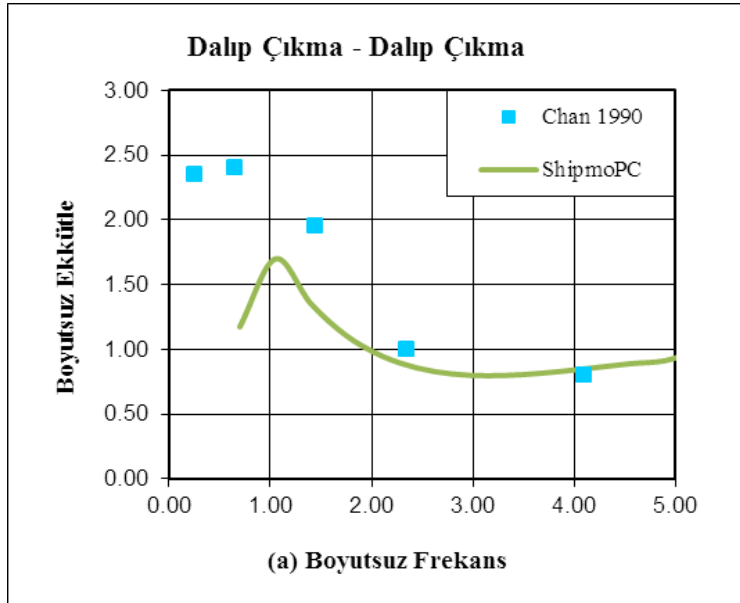


Şekil I.7 : Seri 60 gemisi için elde edilen dalgıç-çıkma transfer fonksiyonlarının karşılaştırılması ($F_n=0.30$, baştan gelen dalgalar).

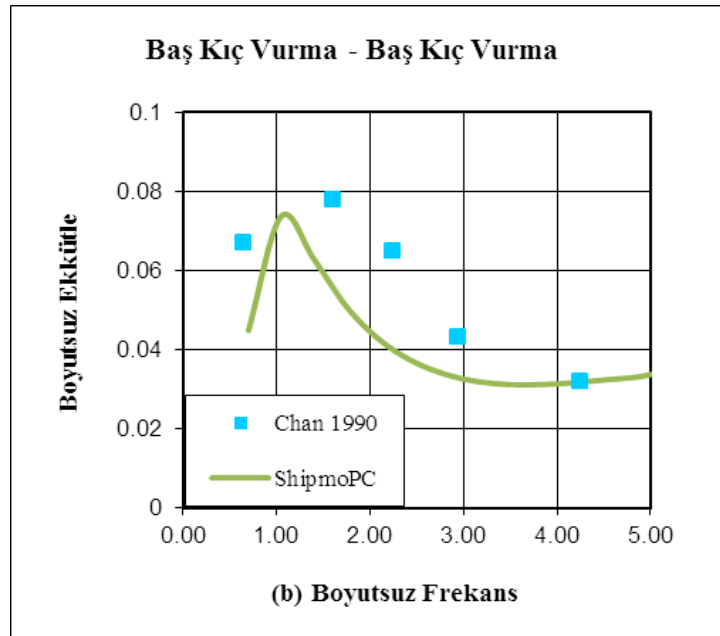


Şekil I.8 : Seri 60 gemisi için elde edilen baş-kıç vurma transfer fonksiyonlarının karşılaştırılması ($F_n=0.30$, baştan gelen dalgalar).

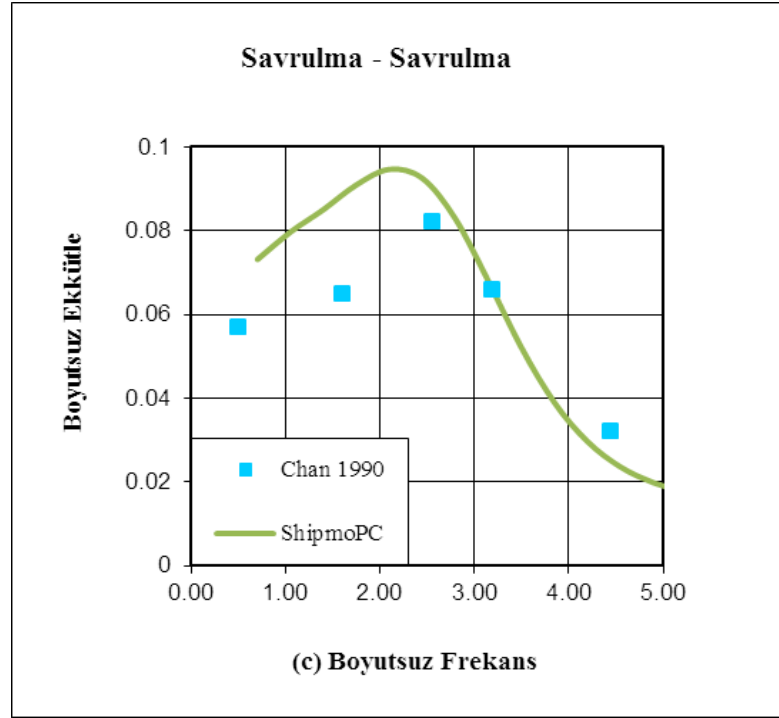
EK İ



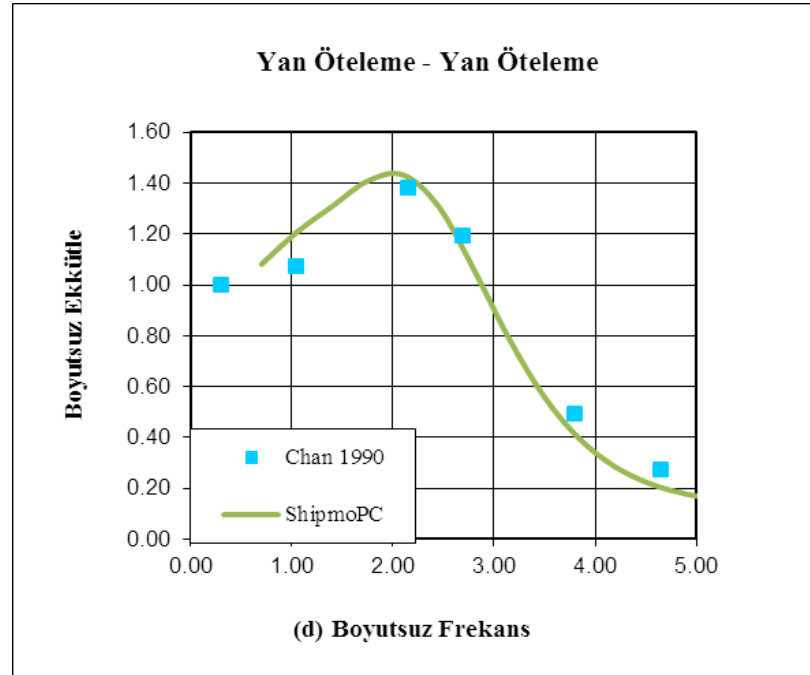
Şekil İ.1 : Seri 60 gemisine ait sıfır hız için a_{33} boyutsuz ekkütle katsayısı.



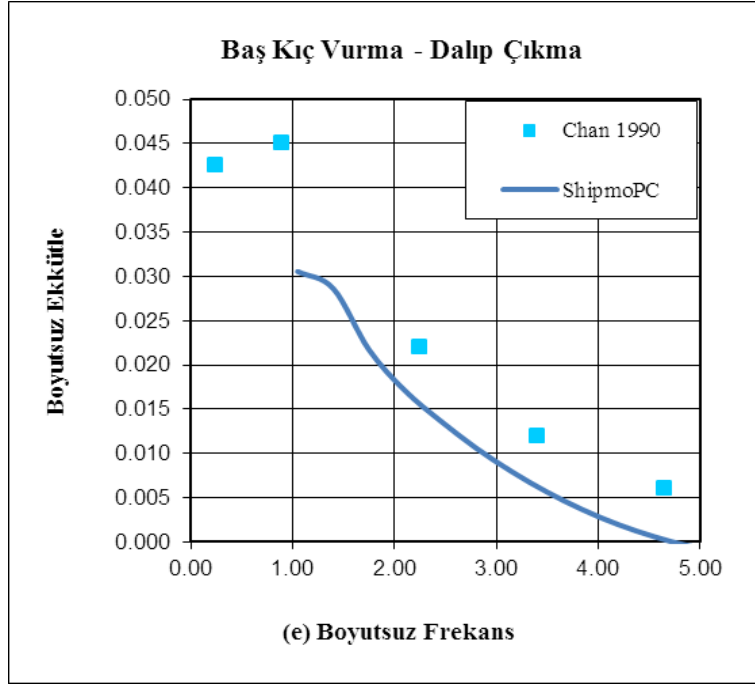
Şekil İ.2 : Seri 60 gemisine ait sıfır hız için a_{55} boyutsuz ekkütle katsayısı.



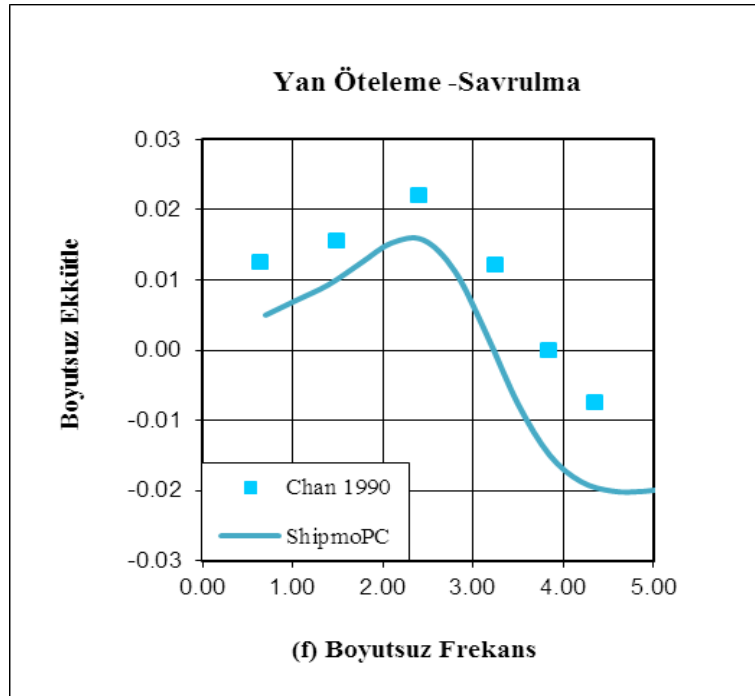
Şekil İ.3 : Seri 60 gemisine ait sıfır hız için a_{66} boyutsuz ekküt katsayısı.



Şekil İ.4 : Seri 60 gemisine ait sıfır hız için a_{22} boyutsuz ekküt katsayısı.

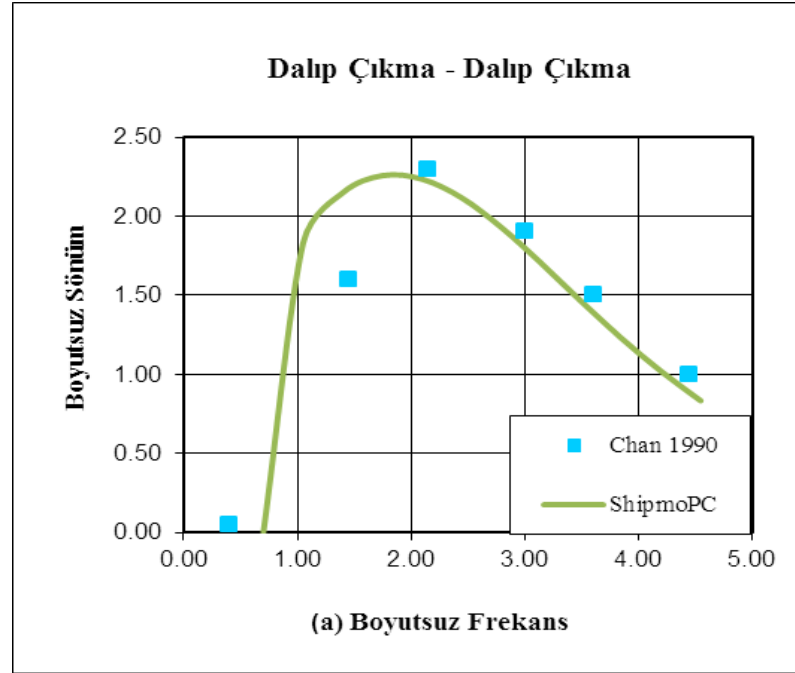


Şekil İ.5 : Seri 60 gemisine ait sıfır hız için a_{53} boyutsuz ekkütle katsayısı.

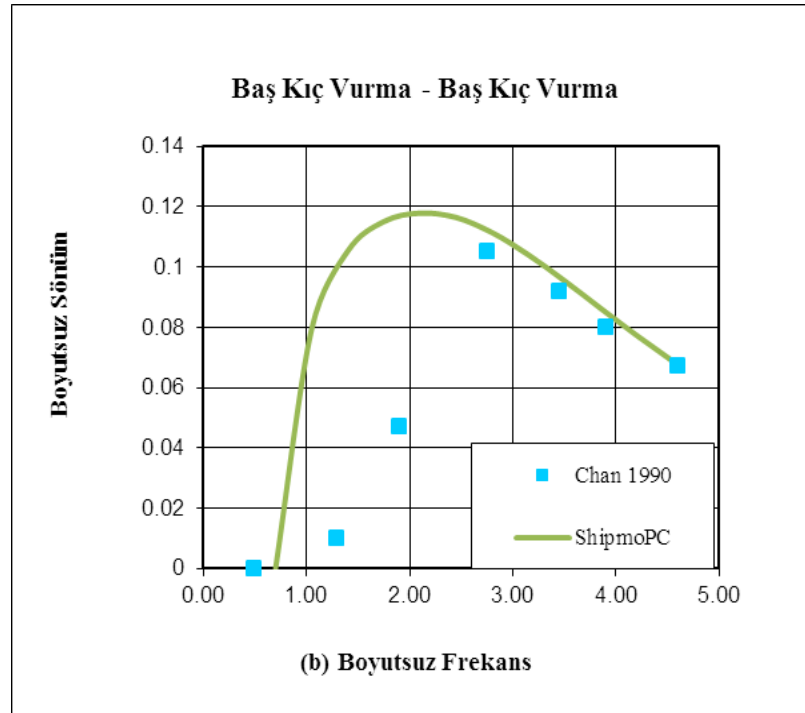


Şekil İ.6 : Seri 60 gemisine ait sıfır hız için a_{26} boyutsuz ekkütle katsayısı.

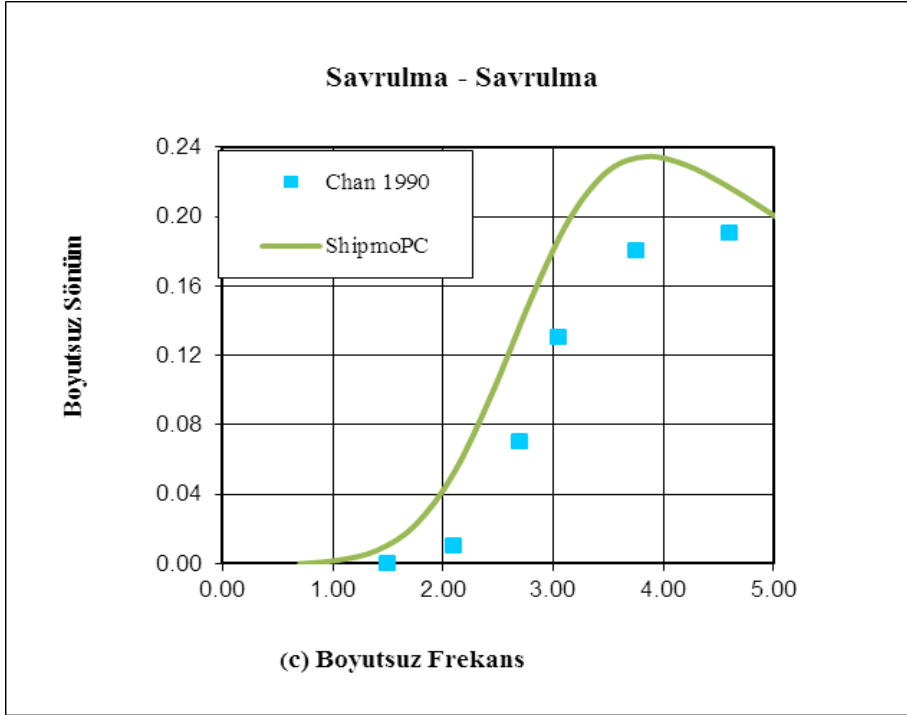
EK J



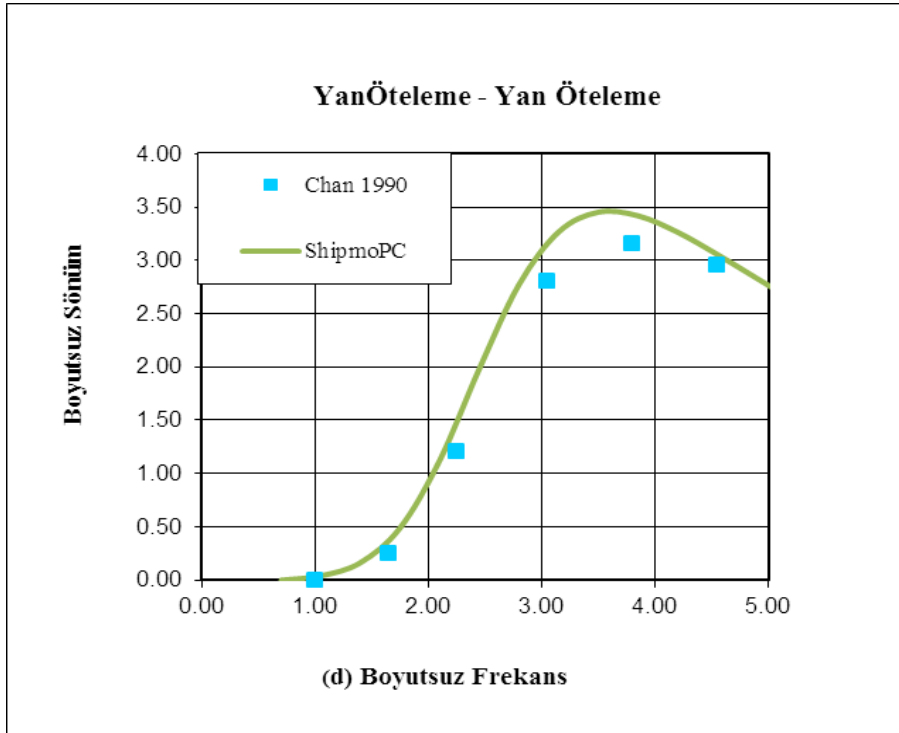
Şekil J.1 : Seri 60 gemisine ait sıfır hız için b_{33} boyutsuz sönüm katsayısı.



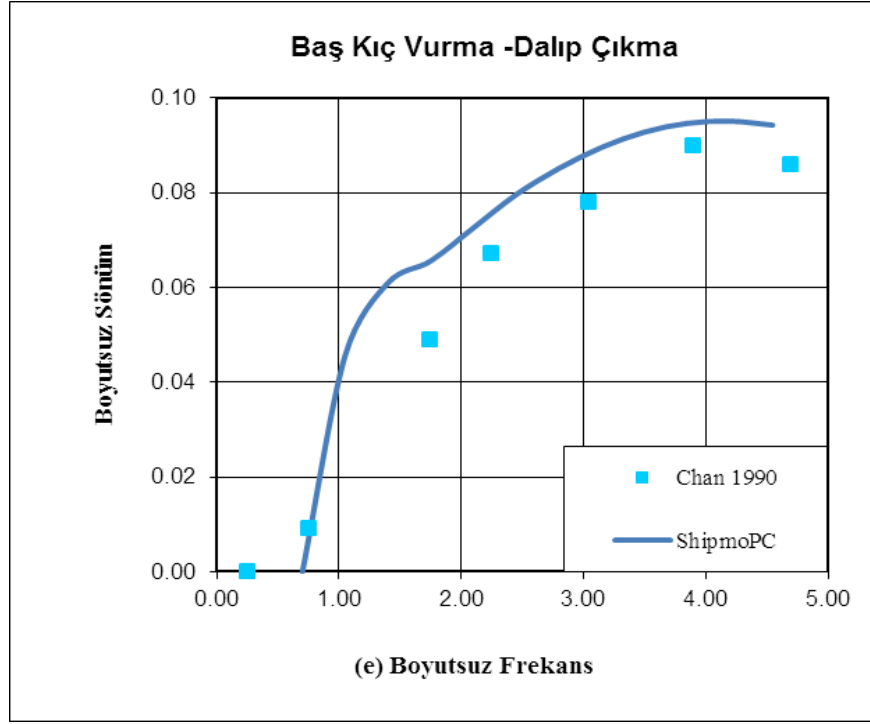
Şekil J.2 : Seri 60 gemisine ait sıfır hız için b_{55} boyutsuz sönüm katsayısı.



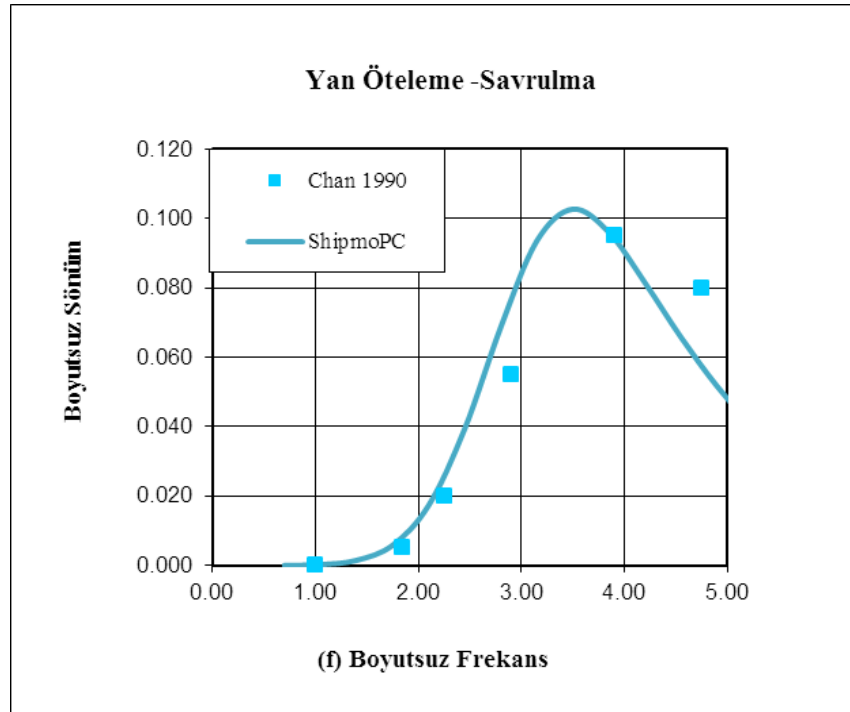
Şekil J.3 : Seri 60 gemisine ait sıfır hız için b_{66} boyutsuz sönüm katsayısı.



Şekil J.4 : Seri 60 gemisine ait sıfır hız için b_{22} boyutsuz sönüm katsayısı.



Şekil J.5 : Seri 60 gemisine ait sıfır hız için b_{53} boyutsuz sönüm katsayısı.



Şekil J.6 : Seri 60 gemisine ait sıfır hız için b_{26} boyutsuz sönüm katsayısı.

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Tahsin TEZDOĞAN
Doğum Yeri ve Tarihi: İZMİR – 31.08.1986
Adres: İstanbul Teknik Üniversitesi Gemi İnşaatı ve Deniz
Bilimleri Fakültesi, İTÜ Ayazağa Yerleşkesi, 34469
Maslak / İSTANBUL
Lisans Üniversite: İstanbul Teknik Üniversitesi

Yayın Listesi:

- Tezdoğan, T. ve Taylan, M., 2009. Tersanelerdeki iş kazalarının istatistiki olarak incelenmesi. *Gemi ve Deniz Teknolojisi Dergisi Sayı: 180*, sf. 10-16.