

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**GEMİ EĞİLME MOMENTİ VE KESME KUVVETİ KESİT ZORLARININ
BUREAU VERITAS KURALLARI VE NÜMERİK YÖNTEM İLE ANALİZİ**

ERHAN ASLANTAŞ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
GEMİ İNŞAATI VE GEMİ MAKİNELERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN
PROF. DR. AYDOĞAN ÖZDAMAR**

İSTANBUL, 2013

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**GEMİ EĞİLME MOMENTİ VE KESME KUVVETİ KESİT ZORLARININ BUREAU
VERITAS KURALLARI VE NÜMERİK YÖNTEM İLE ANALİZİ**

Erhan ASLANTAŞ tarafından hazırlanan tez çalışması, 21.06.2013 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Prof. Dr. Aydoğan ÖZDAMAR
Ege Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Aydoğan ÖZDAMAR
Ege Üniversitesi

Yard.Doç.Dr.İsmail BAYER
Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Halil ÖZER
Yıldız Teknik Üniversitesi

ÖNSÖZ

Konusu “Gemi Eğilme Momenti ve Kesme Kuvveti Kesit Zorlarının Bureau Veritas Kuralları ve Nümerik Yöntem ile Analizi” olan bu yüksek lisans tezinde, gemilerin ön dizayn aşamasında, genel olarak, deneyimlerden toplanan ve çok sayıda klas kuruluşu tarafından da kural olarak yayınlanmış olan ampirik formüllere dayalı dalga kaynaklı eğilme momenti ve kesme kuvveti değerleri, blok katsayıları aynı olmak üzere, beş farklı L/B oranına sahip gemi yüzeyi kullanılarak, Bureauveritas klas kuruluşunun önerdiği kurallara göre hesaplanmıştır. Daha sonra aynı yüzeyler kullanılarak, ANSYS AQWA programı ile nümerik olarak hesaplamalar yapılmıştır. ANSYS AQWA, üç boyutlu panel metodunu kullanarak hesaplamaları gerçekleştirmektedir. Sonuçlar karşılaştırılarak, güvenlik payının büyüklüğü irdelenmiştir.

Bu yüksek lisans tezinin, öğrenciler ve bu alanda çalışanlar için yararlı olmasını diler, bu tez çalışmasında benden hiçbir şekilde yardımlarını esirgemeyen Hocam Prof. Dr. Aydoğan ÖZDAMAR’a, tez jürimde yer alarak katkıda bulunan değerli Hocalarım Yard. Doç. Dr. İsmail BAYER ve Doç. Dr. Halil ÖZER’e, daima yanımda olan aileme ve emeği geçen herkese teşekkürü bir borç bilirim.

Haziran, 2013

Erhan ASLANTAŞ

İÇİNDEKİLER

Sayfa

SİMGE LİSTESİ.....	vii
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ	xii
ÖZET	xiv
ABSTRACT.....	xvi
BÖLÜM1	
GİRİŞ	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	2
1.3 Hipotez	3
BÖLÜM2	
TEMEL BİLGİLER	4
2.1 Kesme Kuvveti ve Eğilme Momenti	4
2.1.1 Sakin Su Sephiye Eğrisi.....	5
2.1.2 Dalgalı Durumda Sephiye Eğrisi	5
2.1.3 Çelik Tekne Ağırlık Dağılımı.....	6
2.2 Düzenli Dalgalar	8
2.2.1 Gemi Hareket Denklemleri	13
2.2.2 Deniz Yükleri	19
2.3 Karışık Dalgalar.....	22
2.3.1 Pierson-Moskowitz spektrumu.....	23
2.3.2 Bretschneider Spektrumu.....	23
2.3.3 JonSwap Spektrumu	24

BÖLÜM3

İNCELENEN GEMİ ÖZELLİKLERİ.....	26
3.1. L/B Oranı 5.25 Olan Gemiye ait Özellikler	26
3.2 L/B Oranı 5.40 Olan Gemiye ait Özellikler	29
3.3 L/B Oranı 5.56 Olan Gemiye ait Özellikler	31
3.4 L/B Oranı 6.10 Olan Gemiye ait Özellikler	34
3.5 L/B Oranı 6.12 Olan Gemiye ait Özellikler	36

BÖLÜM4

BV KURALLARINA GÖRE KESME KUVVETİ VE EĞİLME MOMENTİ HESABI.....	38
4.1 Bureau Veritas Klas Kurallarının Uygulanabileceği Ana Boyutlar	38
4.2.Bureau Veritas Kuralları İle Dalga Kaynaklı Düşey Eğilme Momenti.....	38
4.2.1 Sarkma Durumu.....	38
4.2.2 Çökme Durumu.....	40
4.2.3 Sarkma ve Çökme Durumu için Grafik Gösterim.....	41
4.3 Bureau Veritas Kuralları Dalga Kaynaklı Düşey Kesme Kuvveti.....	43
4.3.1 Gemi Boyunca Hesaplanan Kesme Kuvveti Değerleri	45

BÖLÜM5

NÜMERİK YÖNTEME GÖRE DÜŞEY EĞİLME MOMENTİ VE KESME KUVVETİ HESABI	47
5.1 ANSYS AQWA	47
5.1.1 ANSYS AQWA Hydrodynamic Diffraction Modülü	47
5.1.2 ANSYS AQWA Hydrodynamic Time Response Modülü	54
5.1.3 ANSYS AQWA 3D Panel Metodu.....	56
5.2 Dalga Kaynaklı Düşey Eğilme Momenti Hesap Sonuçları.....	60
5.2.1 Düzenli Dalgalarda Hesap Sonuçları	60
5.2.1.1 L/B oranı 5.25 olan Gemi için Hesap Sonuçları.....	60
5.2.1.2 L/B oranı 5.40 olan Gemi için Hesap Sonuçları	62
5.2.1.3 L/B oranı 5.56 olan Gemi için Hesap Sonuçları	64
5.2.1.4 L/B oranı 6.10 olan Gemi için Hesap Sonuçları	66
5.2.1.5 L/B oranı 6.12 olan Gemi için Hesap Sonuçları	68
5.2.1.6 Tüm Yüzeyler için Hesap Sonuçları	70
5.2.2 Karışık Dalgalarda Hesap Sonuçları.....	70
5.2.2.1 L/B oranı 5.25 için Düşey Dalga Eğilme Momenti.....	74
5.2.2.2 L/B oranı 6.1 için Düşey Dalga Eğilme Momenti.....	75
5.3 Dalga Kaynaklı Düşey Kesme Kuvveti Hesap Sonuçları.....	77
5.3.1 Düzenli Dalgalarda Düşey Kesme Kuvveti Hesap Sonuçları.....	77
5.3.1.1 L/B Oranı 5.25 olan Gemi için Hesap Sonuçları.....	77
5.3.1.2 L/B Oranı 5.40 olan Gemi için Hesap Sonuçları.....	77
5.3.1.3 L/B Oranı 5.56 olan Gemi için Hesap Sonuçları.....	78
5.3.1.4 L/B Oranı 6.10 olan Gemi için Hesap Sonuçları	79
5.3.1.5 L/B Oranı 6.12 olan Gemi için Hesap Sonuçları	80
5.3.2 Karışık Dalgalarda Düşey Kesme Kuvveti Hesap Sonuçları	81
5.3.2.1 L/B oranı 5.25 için Düşey Kesme Kuvveti	83

5.3.2.2	L/B oranı 6.1 için Düşey Kesme Kuvveti	84
BÖLÜM6		
KLAS VE NÜMERİK YÖNTEME GÖRE HESAPLANAN DÜŞEY EĞİLME MOMENTİ VE KESME KUVVETİ DEĞERLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI		85
6.1	Düşey Eğilme Momenti Hesap Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	85
6.1.1	L/B oranı 5.25	85
6.1.2	L/B oranı 5.40	86
6.1.3	L/B oranı 5.56	86
6.1.4	L/B oranı 6.10	87
6.1.5	L/B oranı 6.12	88
6.2	Düşey Kesme Kuvveti Hesap Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	88
6.2.1	L/B oranı 5.25	88
6.2.2	L/B oranı 5.40	89
6.2.3	L/B oranı 5.56	90
6.2.4	L/B oranı 6.10	90
6.2.5	L/B oranı 6.12	91
BÖLÜM7		
SONUÇ VE ÖNERİLER		92
KAYNAKLAR		94
ÖZGEÇMİŞ		96

SİMGE LİSTESİ

A_{kj}	Ek kütle katsayısı
B_{kj}	Sönümlleme katsayısı
C_{kj}	Hirostatik katsayılar
F_n	Froude sayısı
F_j	J inci doğrultudaki kuvvet
g	Yerçekimi ivmesi
G	Green Fonksiyonu
d	Su derinliği
k	Dalga sayısı
L	Gemi boyu
n	Akışkanın birim normal vektörü
t	Zaman
x	Kartezyen koordinat sisteminde x eksen
y	Kartezyen koordinat sisteminde y eksen
z	Kartezyen koordinat sisteminde z eksen
λ	Dalga boyu
X_j	j modu için hareketin genliği
ζ_a	Dalga genliği
ρ	Su yoğunluğu
Φ	Potansiyel hız
ω	Dalga frekansı
ω_e	Karşılaşma frekansı
V	Gemi hızı
$q(x)$	Gemi boyunca ağırlık dağılımı
$a(x)$	Gemi boyunca sephiye dağılımı
$P(x)$	Gemi boyunca net yük dağılımı
$Q(x)$	Gemi boyunca kesme kuvveti dağılımı
∇	Deplasman hacmi
GM	Metesantır yüksekliği
S_ξ	Spektral ordinat
V_w	Deniz yüzeyinden 19.5 m. De ölçülen rüzgar hızı
M	Gemi kütlesi
A_{33}	Dalıp çıkmadan dolayı ek su kütlesi

B_{33}	Dalıp çıkmadan dolayı sönüm kuvveti
A_{55}	Baş kış vurmada dolay ek su kütlesi
B_{55}	Baş kış vurmada dolay sönüm kuvveti
A_{35}	Baş kış vurmanın dalıp çıkma üzerindeki etkisinden dolay ek su kütlesi
B_{35}	Baş kış vurmanın dalıp çıkma üzerindeki etkisinden dolay sönüm kuvveti
I_5	Baş kış vurma kütle atalet momenti
C_B	Blok Katsayısı

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Sakin Su Kaldırma Kuvveti Dağılımı.....	5
Şekil 2.2 Çelik Tekne Ağırlık Dağılımı	6
Şekil 2.3 Yük Eğrisi , Kesme Kuvveti ve Eğilme Momenti	7
Şekil 2.4 Eğilme Momenti ve Kesme Kuvveti Eğrileri	8
Şekil 2.5 Düzenli dalgaya ait tanımlar	11
Şekil 2.6 Düzenli dalgalardaki dalga hızı(Bowden 1983)	11
Şekil 2.7 Karşılaşılan dalgaların yöne bağlı tanımı.....	12
Şekil 2.8 Gemi Hareketleri.....	13
Şekil 2.9 Dinamik dalga yük bileşenleri için işaret düzeni	20
Şekil 3.1 L/B oranı 5.25 olan gemiye ait yüzey.....	26
Şekil 3.2 L/B oranı 5.40 olan gemiye ait yüzey.....	29
Şekil 3.3 L/B oranı 5.56 olan gemiye ait yüzey.....	31
Şekil 3.4 L/B oranı 6.10 olan gemiye ait yüzey	34
Şekil 3.5 L/B oranı 6.12 olan gemiye ait yüzey	36
Şekil 4.1 L/B 5.25 için Dalga kaynaklı düşey eğilme momenti	41
Şekil 4.2 L/B 5.40 için Dalga kaynaklı düşey eğilme momenti	41
Şekil 4.3 L/B 5.56 için Dalga kaynaklı düşey eğilme momenti	42
Şekil 4.4 L/B 6.1 için Dalga kaynaklı düşey eğilme momenti	42
Şekil 4.5 L/B 6.12 için Dalga kaynaklı düşey eğilme momenti	42
Şekil 4.6 L/B 5.25 için Klasa göre hesaplanan kesme kuvveti	45
Şekil 4.7 L/B 5.40 için Klasa göre hesaplanan kesme kuvveti	46
Şekil 4.8 L/B 5.56 için Klasa göre hesaplanan kesme kuvveti	46
Şekil 4.9 L/B 6.10 için Klasa göre hesaplanan kesme kuvveti	46
Şekil 4.10 L/B 6.12 için Klasa göre hesaplanan kesme kuvveti	46
Şekil 5.1 ANSYS AQWA Hydrodynamic Diffraction Modülü.....	47
Şekil 5.2 ANSYS AQWA Geometri.....	48
Şekil 5.3 ANSYS AQWA Geometri ara yüzünde yapılan işlemler.....	49
Şekil 5.4 ANSYS AQWA Geometri kartezyen koordinat sistemi	49
Şekil 5.5 ANSYS AQWA su hattı	49
Şekil 5.6 Geminin tek bir başlık altında toplanması	50
Şekil 5.7 İki farklı Duba geometrisi için gerçekleştirilen işlemler	50
Şekil 5.8 Model bölümünde yüzeyin ağ yapısının oluşturulması	51
Şekil 5.9 Deniz Geometrisi ile ilgili özellikler	51
Şekil 5.10 Geminin ağırlık ve ağırlık merkezi ile jirasyon yarıçaplarının tanımlanması	52
Şekil 5.11 Oluşturulan Ağ yapısı	53

Şekil 5.12	Hydrodynamic Diffraction ile çözümlerin bazıları	54
Şekil 5.13	Ansyst AQWA Basınç dağılımı	54
Şekil 5.14	Diffraction ile Time response modülleri arasındaki data alışverişi.....	55
Şekil 5.15	Tanımlanabilecek dalga spektrumları.....	55
Şekil 5.16	Hydrodynamic Time ile analizler.....	56
Şekil 5.17	Koordinat sistemi ve Sınır koşulları[26]	56
Şekil 5.18	L/B oranı 5.25 olan gemi için dalga kaynaklı düşey eğilme momenti.....	61
Şekil 5.19	L/B oranı 5.25 için 0.127 Hz' de elde edilen dalga profili	61
Şekil 5.20	L/B oranı 5.25 için gemi boyunca hesaplanan düşey eğilme momenti	62
Şekil 5.21	L/B oranı 5.40 için frekansa karşılık hesaplanan düşey eğilme momenti....	62
Şekil 5.22	L/B oranı 5.40 için 0.118 Hz' de elde edilen dalga profili	63
Şekil 5.23	L/B oranı 5.40 için gemi boyunca hesaplanan düşey eğilme momenti.....	64
Şekil 5.24	L/B oranı 5.56 için frekansa karşılık hesaplanan düşey eğilme momenti....	64
Şekil 5.25	L/B oranı 5.56 için 0.121 hz' de elde edilen dalga profili.....	65
Şekil 5.26	L/B oranı 5.56 için gemi boyunca hesaplanan düşey eğilme momenti	66
Şekil 5.27	L/B oranı 6.10 için frekansa karşılık hesaplanan düşey eğilme momenti....	66
Şekil 5.28	L/B oranı 6.10 için 0.111 hz' de elde edilen dalga profili.....	67
Şekil 5.29	L/B oranı 6.12 için gemi boyunca hesaplanan düşey eğilme momenti	68
Şekil 5.30	L/B oranı 6.12 için frekansa karşılık hesaplanan düşey eğilme momenti....	68
Şekil 5.31	L/B oranı 6.12 için 0.111 hz' de elde edilen dalga profili.....	69
Şekil 5.32	L/B oranı 6.12 için gemi boyunca hesaplanan düşey eğilme momenti	70
Şekil 5.33	Tüm yüzeyler için Dalga kaynaklı düşey Eğilme Momenti kNm	70
Şekil 5.34	L/B 5.25 Karadeniz için Düşey Eğilme Momenti	74
Şekil 5.35	L/B 5.25 Ege için Düşey Eğilme Momenti	74
Şekil 5.36	L/B 5.25 Doğu Akdeniz için Düşey Eğilme Momenti.....	74
Şekil 5.37	L/B 5.25 dalga yüksekliği 8m, $T_z=6.719$ sn için Düşey Eğilme Momenti	75
Şekil 5.38	L/B 6.1 Ege Denizi için Düşey Eğilme Momenti.....	75
Şekil 5.39	L/B 6.1 Karadeniz için Düşey Eğilme Momenti	76
Şekil 5.40	L/B 6.1 Doğu Akdeniz için Düşey Eğilme Momenti	76
Şekil 5.41	L/B 6.1 dalga yüksekliği 8m, $T_z=6.719$ sn için Düşey Eğilme Momenti	76
Şekil 5.42	L/B 5.25 için gemi boyunca hesaplanan düşey kesme kuvveti kN	77
Şekil 5.43	L/B 5.40 için gemi boyunca hesaplanan düşey kesme kuvveti kN	78
Şekil 5.44	L/B 5.56 için gemi boyunca hesaplanan düşey kesme kuvveti kN	78
Şekil 5.45	L/B 6.10 için gemi boyunca hesaplanan düşey kesme kuvveti kN	79
Şekil 5.46	L/B 6.12 için gemi boyunca hesaplanan düşey kesme kuvveti kN	80
Şekil 5.47	L/B 5.25 Ege Denizi için Düşey Kesme Kuvveti.....	83
Şekil 5.48	L/B 5.25 Karadeniz için Düşey Kesme Kuvveti	83
Şekil 5.49	L/B 5.25 Doğu Akdeniz için Düşey Kesme Kuvveti	83
Şekil 5.50	L/B 6.1 Ege Denizi için Düşey Kesme Kuvveti.....	84
Şekil 5.51	L/B 6.1 Karadeniz için Düşey Kesme Kuvveti.....	84
Şekil 5.52	L/B 6.1 Doğu Akdeniz için Düşey Kesme Kuvveti	84
Şekil 6.1	L/B 5.25 nümerik ve ve klas kuralına göre düşey eğilme momenti	86
Şekil 6.2	L/B 5.40 nümerik ve ve Klas kuralına göre düşey eğilme momenti.....	86
Şekil 6.3	L/B 5.56 nümerik ve ve Klas kuralına göre düşey eğilme momenti	87
Şekil 6.4	L/B 6.10 nümerik ve ve Klas kuralına göre düşey eğilme momenti.....	88
Şekil 6.5	L/B 6.12 nümerik ve ve Klas kuralına göre düşey eğilme momenti	88
Şekil 6.6	L/B 5.25 nümerik ve ve Klas kuralına göre düşey kesme kuvveti	89

Şekil 6.7	L/B 5.40	nümerik ve ve Klas kuralına göre düşey kesme kuvveti	89
Şekil 6.8	L/B 5.56	nümerik ve ve Klas kuralına göre düşey kesme kuvveti	90
Şekil 6.9	L/B 6.1	nümerik ve ve Klas kuralına göre düşey kesme kuvveti	91
Şekil 6.10	L/B 6.12	nümerik ve ve Klas kuralına göre düşey kesme kuvveti	91

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2.1	Her bir k modu için, gemi hareketinin tanımı 13
Çizelge 2.2	Transfer Fonksiyonarı ile karışık dalgaların ifadesi 24
Çizelge 3.1	L/B Oranı 5.25 olan gemiye ait ana boyutlar 27
Çizelge 3.2	L/B oranı 5.25 olan geminin jirasyon yarıçap değerleri 27
Çizelge 3.3	L/B oranı 5.25, AQWA ile hesaplanan hidrostatik özellikler 27
Çizelge 3.4	L/B oranı 5.25, AQWA ile hesaplanan hidrostatik özellikler (devamı).... 28
Çizelge 3.5	L/B Oranı 5.40 olan gemiye ait ana boyutlar 29
Çizelge 3.6	L/B oranı 5.40 olan geminin jirasyon yarıçap değerleri 29
Çizelge 3.7	L/B oranı 5.40, AQWA ile hesaplanan hidrostatik özellikler 29
Çizelge 3.8	L/B oranı 5.40, AQWA ile hesaplanan hidrostatik özellikler (devamı) .. 30
Çizelge 3.9	L/B Oranı 5.56 olan gemiye ait ana boyutlar 31
Çizelge 3.10	L/B oranı 5.56 olan geminin jirasyon yarıçap değerleri 31
Çizelge 3.11	Kabul edilebilecek atalet yarıçapları 32
Çizelge 3.12	L/B oranı 5.56, AQWA ile hesaplanan hidrostatik özellikler 32
Çizelge 3.13	L/B oranı 5.56, AQWA ile hesaplanan hidrostatik özellikler (devamı)... 33
Çizelge 3.14	L/B Oranı 6.10 olan gemiye ait ana boyutlar 34
Çizelge 3.15	L/B oranı 6.10 olan geminin jirasyon yarıçap değerleri 34
Çizelge 3.16	L/B oranı 6.10, AQWA ile hesaplanan hidrostatik özellikler 34
Çizelge 3.17	L/B oranı 6.10, AQWA ile hesaplanan hidrostatik özellikler (devamı).... 35
Çizelge 3.18	L/B Oranı 6.12 olan gemiye ait ana boyutlar 36
Çizelge 3.19	L/B oranı 6.12 olan geminin jirasyon yarıçap değerleri 36
Çizelge 3.20	L/B oranı 6.12, AQWA ile hesaplanan hidrostatik özellikler 37
Çizelge 4.1	Bureau Veritas Klas kuralları için uyulması gereken ana boyutlar..... 38
Çizelge 4.2	Bureau Veritas düşey eğilme momenti için kullanılan değişkenler 39
Çizelge 4.3	Dağılım Faktörü 39
Çizelge 4.4	Seyir Notasyonu 39
Çizelge 4.5	Dalga Parametresi 39
Çizelge 4.6	Sarkma ve Çökme durumları için düşey eğilme momenti 40
Çizelge 4.7	Dağılım Faktörü 43
Çizelge 4.8	L/B 5.25 için dalga kaynaklı düşey kesme kuvveti 43
Çizelge 4.9	L/B 5.40 için dalga kaynaklı düşey kesme kuvveti 44
Çizelge 4.10	L/B 5.56 için dalga kaynaklı düşey kesme kuvveti 44
Çizelge 4.11	L/B 6.1 için dalga kaynaklı düşey kesme kuvveti 44
Çizelge 4.12	L/B 6.12 için dalga kaynaklı düşey kesme kuvveti 45
Çizelge 5.1	Kabul edilebilecek jirasyon yarıçapları 52

Çizelge 5.2	L/B oranı 5.25 için frekansa bağlı dalga boyu ve eğilme momenti	61
Çizelge 5.3	L/B oranı 5.25 için gemi boyunca hesaplanan eğilme momenti.....	62
Çizelge 5.4	L/B oranı 5.40 için frekansa bağlı dalga boyu ve eğilme momenti	63
Çizelge 5.5	L/B oranı 5.40 için gemi boyunca hesaplanan eğilme momenti.....	64
Çizelge 5.6	L/B oranı 5.56 için frekansa bağlı dalga boyu ve eğilme momenti	65
Çizelge 5.7	L/B oranı 5.56 için gemi boyunca hesaplanan eğilme momenti.....	66
Çizelge 5.8	L/B oranı 6.10 için frekansa bağlı dalga boyu ve eğilme momenti	67
Çizelge 5.9	L/B oranı 6.10 için gemi boyunca hesaplanan eğilme momenti.....	68
Çizelge 5.10	L/B oranı 6.12 için frekansa bağlı dalga boyu ve eğilme momenti	69
Çizelge 5.11	L/B oranı 6.12 için gemi boyunca hesaplanan eğilme momenti	69
Çizelge 5.12	Deniz sahalarına ilişkin dalga yükseklikleri ve dalga periyodları	71
Çizelge 5.13	Deniz sahalarına ilişkin dalga yükseklikleri ve dalga periyodları(Tz)	71
Çizelge 5.14	Karışık denizlerde düşey eğilme momenti	72
Çizelge 5.15	Karışık denizlerde düşey eğilme momenti (devamı).....	73
Çizelge 5.16	L/B 5.25 için gemi boyunca hesaplanan düşey kesme kuvveti kN.....	77
Çizelge 5.17	L/B 5.40 için gemi boyunca hesaplanan düşey kesme kuvveti kN	78
Çizelge 5.18	L/B 5.56 için gemi boyunca hesaplanan düşey kesme kuvveti kN.....	79
Çizelge 5.19	L/B 6.10 için gemi boyunca hesaplanan düşey kesme kuvveti kN.....	79
Çizelge 5.20	L/B 6.12 için gemi boyunca hesaplanan düşey kesme kuvveti kN	80
Çizelge 5.21	Karışık denizlerde düşey kesme kuvvetleri	81
Çizelge 5.22	Karışık denizlerde düşey kesme kuvvetleri (devamı).....	82

**GEMİ EĞİLME MOMENTİ VE KESME KUVVETİ KESİT ZORLARININ
BUREAU VERITAS VE NÜMERİK YÖNTEM İLE ANALİZİ**

Erhan ASLANTAŞ

Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Aydoğan ÖZDAMAR

Gemilerin ön dizayn aşaması genel olarak, deneyimlerden toplanan ve çok sayıda klas kuruluşu tarafından da kural olarak yayınlanmış olan ampirik formüllere dayanmaktadır. Bu formüller, dizayn ofisleri için zaman kaybını engellemekte ve aynı zamanda klas onayını temin etmede de yararlı olmaktadır. Bu formüllerin, basitleştirilmiş çok sayıda kabülü içermesi nedeniyle, klas kuruluşları, kendilerini güvence altına almak için, güvenlik payı bırakmaktadırlar. Bu güvenlik payı, geminin gereğinden daha ağır olmasına ve bu nedenle de, olabileceğinden daha az yük taşıyabilmesine yol açmaktadır. Güvenlik payının büyüklüğünün irdelenmesi, bu çalışmanın amacını oluşturmaktadır. Bu irdilemede, dalga kaynaklı eğilme momenti ve kesme kuvvetleri, örnek olarak seçilmiştir. Bilindiği gibi, bir doğa olayı, üç ana yöntem ile incelenebilmektedir: 1. Deney Yöntemi, 2. Analitik Yöntem, 3. Nümerik Yöntem. Bu çalışmada, klas kuruluşlarından olan Bureau Veritas tarafından ampirik formüllerle verilen dalga kaynaklı eğilme momenti ve kesme kuvvetleri, nümerik yöntem kullanılarak bulunan değerler ile karşılaştırılmıştır. Nümerik yöntem, doğa olayının matematiksel ifadesi olan diferansiyel denklemin yaklaşık yöntemle çözülmesinden oluşmaktadır. Bu çalışmada ise, güvenlik payının büyüklüğü, problemin nümerik olarak çözüldüğü üç boyutlu panel yöntemini kullanan bir ticari paket program yardımıyla, beş farklı $L/B = 5.56, 5.40, 6.10, 6.12, 5.25$ oranında olan ve aynı $C_B = 0,66$ katsayısına sahip gemi yüzeyleri kullanılarak irdelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Gemi mukavemeti, gemi elemanları, dalga yükleri, dalga kaynaklı eğilme momenti ve kesme kuvvetleri

ABSTRACT

ANALYSES OF SHIP BENDING MOMENT AND SHEAR FORCE INTERNAL FORCES WITH BUREAU VERITAS AND NUMERIC METHOD

Erhan ASLANTAŞ

Department of Naval Architecture and Marine Engineering

MSc. Thesis

Adviser: Prof. Dr. Aydoğan ÖZDAMAR

In generally, initial design process of ships is on the basis of empirical formulations which are obtained from previous experience and are released as rules by class society. These formulations are utility for design departments to reduce necessary time for approval. Since these formulations have some assumptions, class societies apply margin of safety in order to ensure themselves. Ships may have more weights than expected because of these margins and may have low payload. In order to reach optimal structural designs or develop new vessel concepts in the ever-competing ship market, low weight and low cost with adequate safety margin are of vital importance. Investigation of these margins is aim of this thesis. For investigation in this thesis, wave induced vertical bending moment and shear forces are selected as an example. As known, a natural event is examined by three different methods: 1.Experiments, 2.Analitical Methods, 3.Numerical Methods. In this study, results of empirical formulations are given by Bureau Veritas, which is a classification society, for wave induced vertical bending moment and shear forces are compared with those obtained by numerical methods. Value of margins that is applied by class society are explored by using Ansys Aqwa commercial software that uses 3d panel method for numerical method and ship surfaces for a constant block coefficient $C_B=0.66$ and five different length beam ratio ($L/B=5.56, 5.40, 6.10, 6.12, 5.25$) are used for this study.

Keywords: Ship Strength, Ship structural elements, wave induced bending moment and shear forces

1.1 Literatür Özeti

Gemi dizaynındaki genel uygulama, dalga yüklerini klas kuruluşları tarafından verilen kural ve standartlara göre belirlemektir. Bu, uluslararası kalite ve standartı elde etmek için faydalıdır, ancak bununla birlikte, genel standartlar ve kurallar bazen alışılmadık gemi yapıları için zorluklar oluşturmakta, ya da bu tip gemileri kapsamamaktadır. Bu nedenle, kompleks yapılar ve dizaynlar için doğrudan hesaplama prosedürleri gerekli olmaktadır. Bu durumlarda, gemi boyutları artmakta ve yeni yapısal dizaynlar ortaya çıkmaktadır. Dalga yüklerinin yapısal analizler için doğrudan hesaplanması, günümüzde açık deniz endüstrisi için genel bir uygulamadır. Fakat, özellikle dalga yüklerinin hesaplanmasına yönelik doğrudan hesaplama prosedürleri, gemi inşaat sektöründe nadiren uygulanmaktadır. Yeterli tecrübeye sahip olunmamasına ek olarak gemiler için dalga yüklerinin tahmin edilmesindeki büyük belirsizlikler, bir neden olarak ön plana çıkmaktadır. Güvenilir bir tahmin yapmak için hesaplama yöntemlerinin teorik alt yapısına sahip olmak da, yeterli olamayabilmektedir, örneğin, tam yol hızdaki bir gemi için lineer teoriyi temel alan metodlar ile lineer olmayan tepkileri hesaba dahil etmek mümkün olmamaktadır. Bununla birlikte, bazen çevresel ve operasyona yönelik koşulları da göz önüne alan daha karmaşık metod ve tahmin prosedürlerine ihtiyaç duyulmaktadır. 1950'li yıllarda Korvin-Kroukovsky[1], Korvin-Kroukovsky ve Jacobs[2], Jacobs[3] orta ve düşük hızlı gemiler için düşey hareketler ile dalga kaynaklı yükleri kapsayan lineer dilim teorisini geliştirdiler. Bu teori, hem rijit gemi hareketlerini hem de dalganın dinamik etkilerini dikkate almakta idi. Salvesen [4], Tasai ve Takagi [5],

Soding [6] , Borodai ve Netsvetayev [7] benzer formülasyonları elde ettiler. Bishop [8,9], Gerritsma and Beukelman [10] ve Wahab and Vink [11] geminin esnekliğini de dikkate alacak şekilde dilim teorisini genişlettiler. Son zamanlarda, Faltinsen and Zhao [12] strip teorisini yüksek hızlı tekneler için tekrar düzenlediler. Çeşitli karşılaştırmalı çalışmalar, orta ve düşük hızlı gemiler için geminin düşey hareketleri ile dalga kaynaklı yüklerin tahmininde dilim teorisinin iyi sonuçlar verdiğini ortaya koymaktadır, bununla birlikte doğrusal olmayan etkiler özellikle düşey eğilme momentinde etkili olabilmektedir, bu nedenle, “Gemilerde Lineer Olmayan Dalga Yüklerinin Nümerik ve Deneysel Araştırması” isimli VTT Merike Technology çalışması, 2006 sonbaharında başlatılmıştır. Projenin katılımcıları arasında Finlandiya Teknoloji ve İcat (TEKES) Geliştirme Devlet Dairesi, Aker Tersanesi, Finlandiya Deniz Kuvvetleri ve SWCO Marine yer almıştır. Projenin amacı, askeri gemi yapıları için dalga yüklerini anlama ve tahmin etmeye yönelik hesaplama prosedür ve metodlarını ortaya çıkartmaya yöneliktir. Bu çalışmada, lineer olmayan etkilerin teorik altyapısı ile ilgili çalışmalar yapılarak, nümerik yöntemler, bu proje süresince geliştirilerek uygulanmıştır[13].

Dalgalar arasında geminin maruz kaldığı eğilme momenti konusu, analitik olarak en erken 1895 ve 1898 yıllarında A. Kriloff tarafından yapılmış olup; nümerik yöntem ile eğilme momenti hesabı, Jensen ve Pedersen[14], Alexander[15][16], Robb[17] ve J.L. Taylor[18] tarafından yapılmıştır.

1.2 Tezin Amacı

Klas kuruluşları tarafından ön dizayn aşamasında kullanılmak üzere verilen dalga kaynaklı eğilme momenti ve kesme kuvveti formülleri, bir takım güvenlik marjinlerini içermektedir. Bu çalışmada, bu güvenlik payının büyüklüğünün irdelenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, ikinci bölümde temel bilgiler üzerinde durulmuş, üçüncü bölümde ise, incelenen gemilere ait özellikler verilmiştir. Dördüncü bölümde, dalga kaynaklı eğilme ve kesme kuvvetinin Bureau Veritas klas kurallarına göre hesaplanması gerçekleştirilmiştir. Daha sonra beşinci bölümde, ANSYS AQWA programı tanıtıldıktan sonra programın hesaplamalarda kullandığı üç boyutlu panel metodu üzerinde durulmuştur. Aynı bölümde, bu metoda göre nümerik olarak düşey eğilme momenti ve kesme kuvveti, hem düzenli dalgalarda hem de Pierson-Moskowitz dalga

spektrumu kullanılarak karışık dalgalar için hesaplanmıştır. Altıncı bölümde ise, klasa ve nümerik yöntemle göre hesaplanarak elde edilen sonuçlar birbiri ile karşılaştırılmıştır. Son bölümde, yapılan çalışmalar ve elde edilen sonuçlar ile ilgili değerlendirmeler yapılmıştır.

1.3 Hipotez

Bu çalışma, klas kuruluşları tarafından daha önceki deneyimlere göre ampirik formüller ile ifade edilen ve ön dizayn aşamasında konstrüksiyon elmanlarının boyutlandırılmasında kullanılan dalga kaynaklı eğilme ve kesme kuvveti değerlerinin bir güvenlik payı içerdiği öngörüsü ile hazırlanmıştır. Bu öngörü için, inceleme hem klas kuruluşlarının vermiş olduğu formüllere göre hem de nümerik olarak 3 boyutlu panel metodunu kullanan ANSYS AQWA programında yapılmıştır. Yapılan beş farklı yüzeye ait inceleme durumu için, klas kuruluşlarının vermiş oldukları formüllerde güvenlik payının bulunduğu sonucuna ulaşılmıştır.

TEMEL BİLGİLER

2.1 Kesme Kuvveti ve Eğilme Momenti

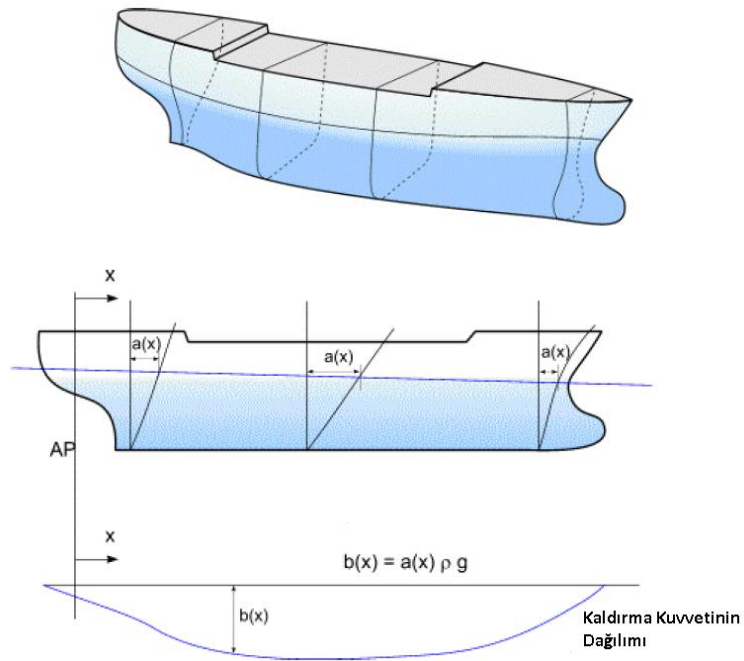
Gemiler, denizde dinamik ve statik yüklerin etkisi altındadır. Dinamik etkiler geminin hareketi esnasında karşılaştığı dalga yükleri, dövünme vs örnek olarak söylenebilir. Statik yükler için ise, sakin suda yük etkisi ve havuzlama durumu örnek olarak verilebilir. Dış etkiler altında geminin boyuna mukavemeti incelenirken, gemi, bir kiriş olarak modellenmektedir. Gemiler, yüzme durumunda, suyun kaldırma kuvveti etkisi ile dengededir. Boyuna mukavemet hesabında amaç, gemi kirişindeki zorlanmaları hesaplamak ve kesitin yeterli olup olmadığını analiz etmektir. Bu analize göre, yapısal boyutlandırma yapılmaktadır. Bu amaçla geminin, dalga tepesi veya dalga çukurunda bir anlık dengedeymiş gibi statik analizi yapılmaktadır. Boyuna mukavemet hesabı ile gemi yapısındaki zorlanmalar hesap edilirken, en önemli etkinin, düşey eğilme momentinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Gemi kirişine etki eden yükler genel olarak aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir:

- I. Sephiye
- II. Çelik Tekne Ağırlığı
- III. Makine ve yardımcı makineler
- IV. Donanım
- V. Yükler (Kargo, Yakıt, Tatlı su, Personel vs.)
- VI. Balast

2.1.1 Sakin Su Sephiye Eğrisi

Suyun gemiye uyguladığı kaldırma kuvveti (sephiye), geminin su altında kalan hacmi ile suyun yoğunluğunun çarpımına eşittir. Bu toplam kuvvet, gemi kirişine yayılı yük olarak etki etmektedir. Su altındaki hacmin hesaplanması için, kesit alanlarının integrasyonu yapılmaktadır. Şekil 2.1’de $a(x)$ ile yüklü su hattı altında kalan kesit alanları ve $b(x)$ ile de kesit alanlarının deniz suyu yoğunluğu ile çarpılması süreti ile elde edilen kaldırma kuvveti gösterilmiştir.



Şekil 2.1 Sakin Su Kaldırma Kuvveti Dağılımı

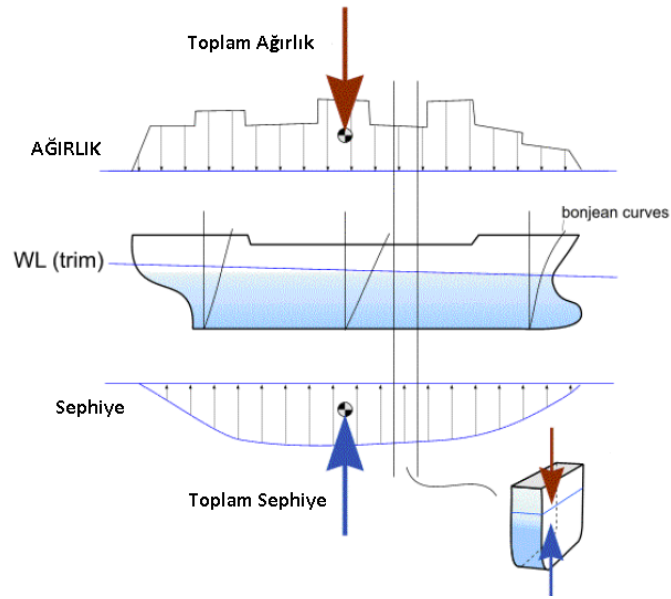
2.1.2 Dalgalı Durumda Sephiye Eğrisi

Dalgalı durumda sephiye eğrisinin hesabında, ilk olarak, dalga formunun belirlenmesi gerekmektedir. Dalga formu olarak, sinusoidal veya trokoidal fonksiyonlar kullanılmaktadır. Günümüzde, daha çok, sinusoidal dalga formu kullanılmaktadır. Dalga boyu gemi boyuna eşit alınarak, en kiritik durum için, dalgalı durumda boyuna mukavemet hesabı yapılmaktadır. Geminin ortakesitinin dalga tepesinde olduğu durum sarkma durumu, geminin orta kesitinin dalga çukurunda olduğu durum ise çökme durumu olarak isimlendirilmektedir. Dalgalı durumdaki boyuna mukavemet hesaplarında sarkma ve çökme durumu için dalga yüksekliği sırası ile $L/25$ ve $L/20$

olarak seçilmektedir. Küçük genlikli dalga teorisinde, dalga yüksekliği $H < \frac{\lambda}{20}$ olduğu durumlar için doğru sonuçlar vermektedir. $\frac{H}{\lambda}$ oranı büyük olduğu durumlarda gerçeğe daha yakın sonuçlar elde etmek amacı ile nonlinear dalga teorileri geliştirilmiştir[23].

2.1.3 Çelik Tekne Ağırlık Dağılımı

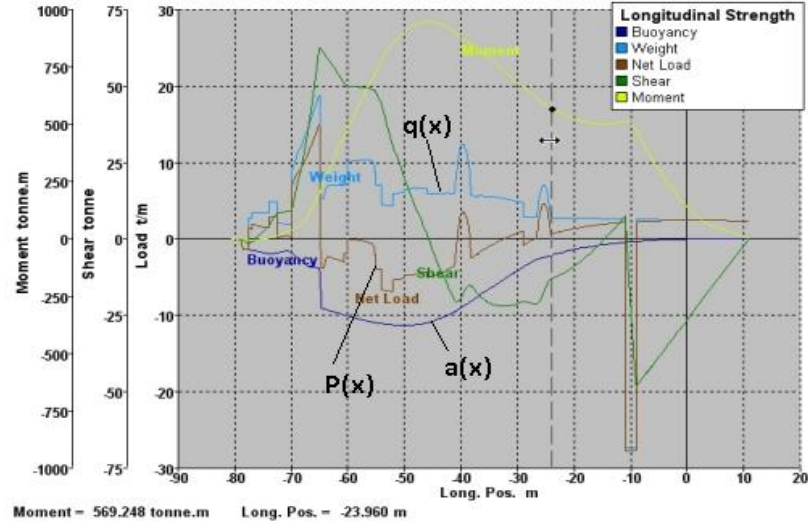
Çelik tekne ağırlığı, kuru gemi ağırlığının en büyük kısmını oluşturmaktadır. Ön dizayn aşamasında çelik tekne ağırlığı, gemi tipine göre yaklaşık olarak bazı bağıntılar ile hesaplanabilmektedir. Bu değerlerin gemi kirişi üzerine dağılımı, çeşitli yaklaşımlara göre yapılmaktadır. Şekil 2.2’de gemi boyunca çelik tekne ağırlık dağılımı gösterilmiştir.



Şekil 2.2 Çelik Tekne Ağırlık Dağılımı

2.1.4 Yük Eğrisi , Kesme Kuvveti ve Eğilme Momenti Hesabı

Ağırlık “q(x)” ve sephiye dağılımları “a(x)” arasındaki fark, yük eğrisi olarak adlandırılmaktadır. Yük eğrisi, gemi kirişine etki eden net yüküdür. Şekil 2.3’de ağırlık ve sephiyenin gemi boyunca örnek bir dağılımı gösterilmiştir.



Şekil 2.3 Yük Eğrisi , Kesme Kuvveti ve Eğilme Momenti

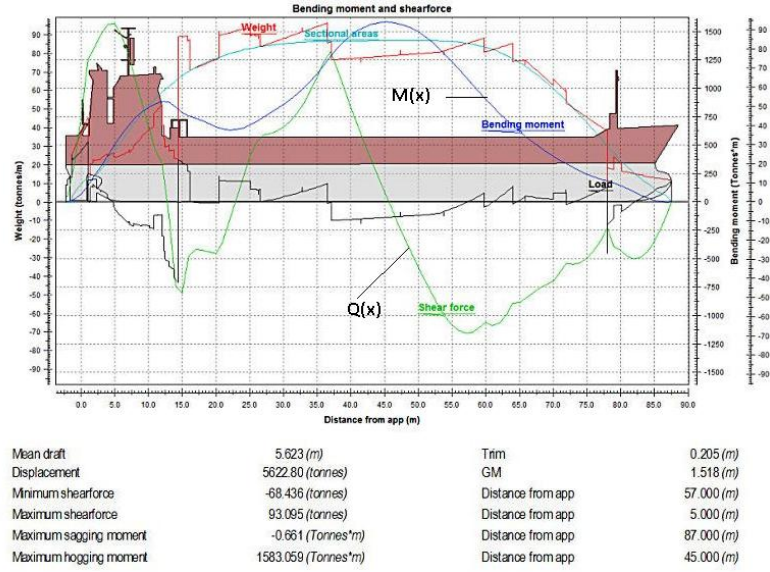
Yük eğrisi fonksiyonu; $p(x) = q(x) - a(x)$ olarak elde edilir. Kesme Kuvveti dağılımı “ $Q(x)$ ” ise yük eğrisinin integrasyonu ile elde edilir:

$$Q(x) = \int_0^x p(x) dx \quad (2.1)$$

2.1 denkleminde, $x=0$ daki kesme kuvveti sınır koşulu kullanılarak integrasyon sabiti elde edilmektedir. $Q(0)=0$ ise $C=0$ dır. Kesme kuvveti integre edilerek, eğilme momenti “ $M(x)$ ” dağılımı elde edilmektedir:

$$M(x) = \int_0^x Q(x) dx + C_1 = \int_0^x p(x) dx + C_1 \quad (2.2)$$

2.2 denkleminde yer alan C_1 integrasyon sabiti $x=0$ daki sınır koşulu kullanılarak elde edilir. $M(0)=0$ ise $C_1 = 0$ dır. Yük, kesme kuvveti ve eğilme momenti dağılımları genel olarak Şekil 2.4’de gösterilmiştir.



Şekil 2.4 Eğilme Momenti ve Kesme Kuvveti Eğrileri

2.2 Düzenli Dalgalar

Yüzey dalgalarının hidrodinamik teorisinde dalga tepelerinin düz, sonsuz uzunlukta, eşit mesafeli, birbirine paralel ve yüksekliğinin sabit olduğu kabul edilmektedir. Dalga formu dalga tepesinin hattına dik yönde aynı hızda ilerlemektedir ve bu basit dalgalar, iki boyutlu dalga olarak ifade edilmektedirler. Aynı zamanda, dalga teorisinde su sıfır vizkoziteye sahiptir ve sıkıştırılmaz olarak kabul edilmektedir. İdeal koşullar altındaki su paçacıklarının hareketi, hız potansiyeli ϕ ile karakterize edilebilir. Bu fonsiyondan istenilen dalga karakteristiklerini türetmek mümkündür. Çok küçük genlikli dalgalar olacağı kabülü ile hız potansiyeli en basit biçimde 2.3'te görüldüğü gibi yazılabilir [19]:

$$\Phi = -\zeta \cdot c \cdot \frac{\cosh(k \cdot (z+d))}{\sinh(k \cdot d)} \cdot \sin(k \cdot (x - c \cdot t)) \quad (2.3)$$

Orijin su seviyesinde alınır, x koordinat sisteminde dalganın yayılma yönünde ve pozitif olarak kabul edilir, z ise koordianat sisteminde düşey ve yukarı doğru pozitiftir. X ve Z Şekil 2.5'de gösterilmiştir.

2.3 denkleminde yer alan simgeler, aşağıdaki şekilde ifade edilirler:

ζ : Yüzey dalga genliği(Dalga tepesi ile çukuru arasındaki yarım yükseklik)

d: Su derinliği

c: Dalga hızı

t: Zaman

cosh: hiperbolik kosinüs

sinh: hiperbolik sinüs

Derin su durumu için (kabaca $d > \lambda/2$) $\frac{\cosh*k*(z+d)}{\sinh*k*d}$ oranı e^{kz} 'e yaklaşmaktadır [19]. Bu durumda 2.3 denklemi 2.4'e dönüşmektedir:

$$\Phi = -\zeta * c * e^{kz} * \sin(k * (x - c * t)) \quad (2.4)$$

Bundan dolayı derin suda herhangi bir noktada su hızının düşey ve yatay bileşenleri 2.5 ve 2.6'da görüldüğü gibi verilir [19].

$$U = (-\partial \Phi / \partial x) = k * \zeta * e^{kz} * c * \cos(k * (x - c * t)) \quad (2.5)$$

$$W = (-\partial \Phi / \partial z) = k * \zeta * e^{kz} * c * \sin(k * (x - c * t)) \quad (2.6)$$

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial t^2} + g * \frac{\partial \phi}{\partial z} = 0 \quad (2.7)$$

2.3 denkleminin 2.7'de yazılması ile suyun herhangi bir derinliğinde, dalganın hızını tanımlayan 2.8 denklemi elde edilir:

$$C^2 = \frac{g}{k} \tanh * k * d \quad (2.8)$$

Çok sığ sular için (kabaca $d < \lambda/25$) dalga hızı

$$C^2 = g * d \quad (2.9)$$

İken, derin sularda (kabaca $d > \lambda/2$) dalga hızı

$$C^2 = \frac{g}{k} = \frac{g \cdot \lambda}{2 \cdot \pi} \quad (2.10)$$

Olmaktadır. İki boyutlu harmonik dalgaların özellikleri aşağıda kısaca verilmiştir:

Dalga Uzunluğu: İki dalga tepesi yada çukuru arasındaki mesafedir ve genellikle λ ile gösterilmektedir.

Dalga Periyodu: Birbirini izleyen iki dalga tepesi arasındaki zaman olup genellikle T ile gösterilmektedir.

Dalga hızı: Dalga formunun yayılma hızı faz hızı, dalga hızı veya dalganın sürati olarak adlandırılır ve genellikle c ile ifade edilmektedir ve aşağıdaki gibi verilmektedir:

$$C = \left(\frac{g \cdot \lambda}{2 \cdot \pi} \right)^{0.5} = \frac{g \cdot T}{2 \cdot \pi} = \frac{g}{w} = \frac{w}{k} \quad (2.11)$$

Dalga frekansı: Dalga Periyodunun tersidir.

$$f = 1/T \quad (2.12)$$

Dalga Açılar frekansı:

$$W = 2 \cdot \pi / T \quad \text{veya} \quad 2 \cdot \pi \cdot f \quad (2.13)$$

Dalga sayısı:

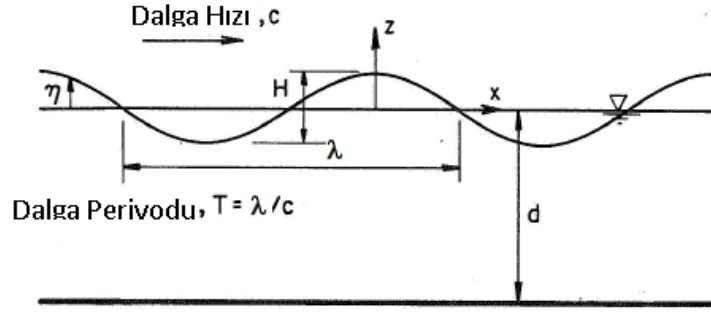
$$k = 2 \cdot \pi / \lambda \quad (2.14)$$

Dalga yüksekliği: Dalga tepesi ve çukuru arasındaki düşey mesafedir ve genellikle H ile gösterilmektedir.

Su derinliği: Genellikle “d” ile gösterilmektedir.

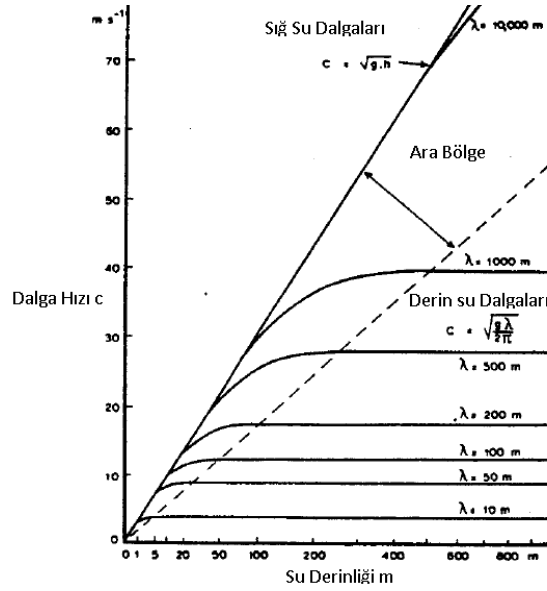
Su yüzeyinin kalkımı: Sakin su seviyesi ile dalga yüzeyi arasındaki düşey mesafedir.

$$z = \eta(x, y, t) \quad (2.15)$$



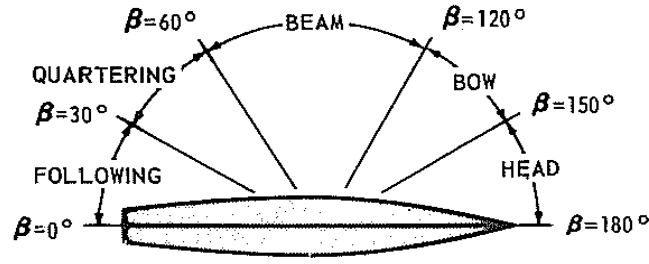
Şekil 2.5 Düzenli dalgaya ait tanımlar

Derin suda, dalga boyunun artması ile birlikte dalga hızı artmaktadır. Şekil 2.6'da su derinliğine bağlı olarak dalga boyu ve faz hızı arasındaki ilişki gösterilmiştir [20].



Şekil 2.6 Düzenli dalgalardaki dalga hızı(Bowden 1983)

Düzenli dalgalar, ilerleme yönüne dik bir engel-örneğin geminin yan duvarı- ile karşılaştıklarında belirli bir genlik ve hız ile geri dönerler. Buna yansıma adı verilmektedir [9]. Bu tez içerisinde yansıma ile ilgili hesaplar gemi hareketleri ile bağlantılı olarak “Ansys Aqwa Diffraction” içerisinde yapılmıştır. Gemi belirli bir hız ile dalga içerisinde ilerlerken dalga ile olan karşılaşma frekansı önem kazanmaktadır [20]. Karşılaşma periyodu T_e olmak üzere;



Şekil 2.7 Karşılaşılan dalgaların yöne bağlı tanımı

$$T_e = \frac{\lambda}{c + V \cos(\beta - \pi)} = \frac{\lambda}{c - V \cos \beta} \quad (2.16)$$

Karşılaşma frekansı, gemi sabit iken dalga frekansına eşittir. Ancak, geminin bir ileri hızı varsa veya dalga yönü geminin ilerleme yönü ile Şekil 2.7’de görüldüğü gibi belirli bir açı yapıyor ise, W_e 2.17’de görüldüğü gibi hesaplanabilir [21]:

$$W_e = \frac{2 \cdot \pi}{T_e} = \frac{2 \cdot \pi \cdot (c - v \cos \beta)}{\lambda} = k \cdot (c - v \cos \beta) \quad (2.17)$$

Burada T_e karşılaşma periyodu,

C: dalga hızı (m/s)

β =dalga yönü; Şekil 2.7’de görüldüğü gibi takip eden dalgalar için $\beta=0$ dir. Bordadan gelen dalgalar için 90 derecedir. 2.11 denkleminde yer alan $k \cdot c = w$, 2.17 denkleminde yerine yazıldığında ;

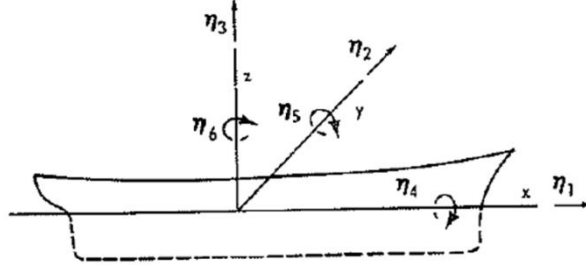
$$W_e = w - k \cdot V \cos \beta \quad (2.18)$$

elde edilir. Derin su için $k = \frac{w^2}{g}$ olmak üzere;

$$W_e = w - \frac{w^2}{g} \cdot V \cos \beta \quad (2.19)$$

2.2.1 Gemi Hareket Denklemleri

Bir geminin düşey düzlemdeki hareketleri; boyuna öteleme, dalıp çıkma ve baş kıç vurma, yatay düzlemdeki hareketleri ise yanal öteleme, yalpa ve savrulma olacaktır. Şekil 2.8’de, gemi hareketleri, üç eksenle gösterilmiştir.



Şekil 2.8 Gemi Hareketleri

η_k ifadesinde k , k modundaki hareketi temsil etmekte olup Çizelge 2.1’ de her bir k modu için gemi hareketinin açıklaması gösterilmiştir.

Çizelge 2.1 Her bir k modu için, gemi hareketinin tanımı

k	Hareket
1	Boyuna Öteleme
2	Yanal Öteleme
3	Dalıp Çıkma
4	Yalpa
5	Baş kıç Vurma
6	Savrulma

Geminin harmonik bir düzenli dalga etkisi altında altı serbestlik dereceli hareket denklemleri 2.20’de görülmektedir [21]:

$$\sum_{k=1}^n [(M_{jk} + A_{jk}) * \ddot{\eta}_k + B_{jk} * \dot{\eta}_k + c_{jk} * \eta_k] = F_j * e^{i * \omega_e * t} \quad (2.20)$$

2.20 denkleminde M :Kütle, A :ek su kütlesi, B sönüm kuvveti matrislerini göstermektedir. $\ddot{\eta}_k$ hareketin zamana göre ikinci türevini yani ivmeyi, $\dot{\eta}_k$ hareketin zamana göre birinci türevini, hızı göstermektedir. c_{jk} ise hidrostatik katsayıları göstermektedir. F_j ise dışarıdan etki eden kuvvet ve momentleri ifade etmektedir [21]. Eğer geminin xz düzlemine göre simetrik olduğu düşünülürse, ağırlık merkezinin $(0,0,Z_c)$ de olduğu kabulü ile kütle matrisi 2.21’de görüldüğü gibi yazılabilir [21]:

$$M_{jk} = \begin{bmatrix} M & 0 & 0 & 0 & M_{Z_c} & 0 \\ 0 & M & 0 & -M_{Z_c} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & M & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -M_{Z_c} & 0 & I_4 & 0 & -I_{46} \\ M_{Z_c} & 0 & 0 & 0 & I_5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -I_{46} & 0 & I_6 \end{bmatrix} \quad (2.21)$$

2.21 içerisindeki M :geminin kütlesini, I_j :atalet momentini, I_{jk} :çarpım atalet momentini ifade etmektedir. Aynı şekilde ilave kütle veya sönümleme matrisini 2.22 ile ifade etmek mümkündür [21].

$$A_{jk}(B_{jk}) = \begin{bmatrix} A_{11} & 0 & A_{13} & 0 & A_{15} & 0 \\ 0 & A_{22} & 0 & A_{24} & 0 & A_{26} \\ A_{31} & 0 & A_{33} & 0 & A_{35} & 0 \\ 0 & A_{42} & 0 & A_{44} & 0 & A_{46} \\ A_{51} & 0 & A_{53} & 0 & A_{55} & 0 \\ 0 & A_{62} & 0 & A_{64} & 0 & A_{66} \end{bmatrix} \quad (2.22)$$

Sıfır olmayan hidrostatik katsayılar C_{33}, C_{44}, C_{55} ve $C_{35}=C_{53}$ dir.

Geminin sabit hızda sakin suda ilerlerken oluşturmuş olduğu dalgaların, harekete herhangi bir etkisi olmadığı kabul edilmektedir. Bu kabul, yeterince uzun tekne formları için oldukça iyi bir kabüldür. Ayrıca, üç boyutlu problemi iki boyuta indirgeyebilmek için fekansın göreceli olarak yüksek olduğunu kabul etmek gerekmektedir. Bunun anlamı, geminin kendi hareketi nedeni ile oluşan dalgaların dalga boyu, gemin boyundan daha çok geminin genişliği ile orantılı olmasıdır [21].

Eğer boyuna öteleme hareketi ihmal edilecek olursa, düşey düzlemdeki dalıp çıkma ve baş kık vurma transfer fonksiyonlarını hesaplamak için, 2.23 denklemlerini çözmek yeterli olacaktır [21]:

$$(M + A_{33}) * \ddot{\eta}_3 + B_{33} * \dot{\eta}_3 + C_{33} * \eta_3 + A_{35} * \ddot{\eta}_5 + B_{35} * \dot{\eta}_5 + \quad (2.23)$$

$$C_{35} * \eta_5 = F_3 * e^{i * w_e * t}$$

$$A_{53} * \ddot{\eta}_3 + B_{53} * \dot{\eta}_3 + C_{53} * \eta_3 + (A_{55} + I_5) * \ddot{\eta}_5 + B_{55} * \dot{\eta}_5 + \quad (2.24)$$

$$C_{55} * \eta_5 = F_5 * e^{i * w_e * t}$$

Burada;

M:Geminin kütlesi

A₃₃:Dalıp çıkmadan dolayı ek su kütlesi

B₃₃:Dalıp çıkmadan dolayı sönüm kuvveti

A₅₅:Baş kış vurmada dolayı ek su kütlesi

B₅₅:Baş kış vurmada dolayı sönüm kuvveti

A₃₅:Baş kış vurmanın dalıp çıkma üzerindeki etkisinden dolayı ek su kütlesi

B₃₅:Baş kış vurmanın dalıp çıkma üzerindeki etkisinden dolayı sönüm kuvveti

I₅:Baş kış vurma kütle atalet momenti

$$I_5 = \Delta * K_{yy}^2 \quad (2.25)$$

K_{yy}: Baş kış vurma jirasyon yarıçapı

Geminin hareketleri harmonik olduğundan $\eta_k = \eta_{kR} + i * \eta_{kI}$

Hız ve ivmeyi elde etmek üzere zamana göre birinci türevler alınır;

$$\dot{\eta}_k = i * w_e * \eta_k * e^{i * w_e * t} \text{ ve } \ddot{\eta}_k = -1 * w_e^2 * \eta_k * e^{i * w_e * t} \quad (2.26)$$

olacaktır. 2.26 denkleminde elde edilenler 2.23 ve 2.24 denklemlerinde yerlerine yazıldığında;

$$-w_e^2 * (M + A_{33}) * \eta_3 + i * w_e * B_{33} + C_{33} * \eta_3 - w_e^2 * A_{35} * \eta_5 + i * \quad (2.27)$$

$$w_e * B_{35} * \eta_5 + C_{35} * \eta_5 = F_3$$

$$-w_e^2 * A_{53} * \eta_3 + i * w_e * B_{53} * \eta_3 + C_{53} * \eta_3 - w_e^2 * (A_{55} + I_5) * \quad (2.28)$$

$$\eta_5 + i * w_e * B_{55} * \eta_5 + C_{55} * \eta_5 = F_5$$

elde edilir. Ek kütle ve sönümleme katsayıları 2.29-2.36' da görüldüğü gibi yazılabilir [21]:

$$A_{33} = \int a_{33} * dx - \frac{V}{w^2} * b_{33}^A \quad (2.29)$$

$$B_{33} = \int b_{33} * dx + V * a_{33}^A \quad (2.30)$$

$$A_{35} = - \int x * a_{33} * dx - \frac{V}{w^2} B_{33}^0 + \frac{V}{w^2} * X_A * b_{33}^A - \frac{V^2}{w^2} * a_{33}^A \quad (2.31)$$

$$B_{35} = - \int x * b_{33} * dx + V * A_{53}^0 - V * X_A * a_{33}^A \quad (2.32)$$

$$A_{53} = - \int x * a_{33} * dx + \frac{V}{w^2} B_{33}^0 + \frac{V}{w^2} * X_A * b_{33}^A \quad (2.33)$$

$$B_{53} = - \int x * b_{33} * dx - V * A_{33}^0 - V * X_A * a_{33}^A \quad (2.34)$$

$$A_{55} = \int x^2 * a_{33} * dx + \frac{V^2}{w^2} * A_{33}^0 - \frac{V}{w^2} * X_A^2 * b_{33}^A \quad (2.35)$$

$$B_{55} = \int x^2 * b_{33} * dx + \frac{V^2}{w^2} * B_{33}^0 + V * X_A^2 * a_{33}^A + \frac{V^2}{w^2} * X_A * B_{33}^A \quad (2.36)$$

2.29 'dan 2.36' ya kadarki denklemlerde görülen a_{33} ile b_{33} sırası ile dalıp çıkma hareketi için iki boyutlu kesit ilave kütlesi ve iki boyutlu sönümlleme katsayısıdır. Tüm integral gemi boyunca olup, V geminin hızını ifade etmektedir. A_{33}^0 ve B_{33}^0 dalıp çıkma hareketinde A_{33} ve B_{33} 'ün hızdan bağımsız kısımlarını göstermektedir. X_A geminin en uç noktasındaki kesidin x koordinatını göstermekte olup, a_{33}^A ve b_{33}^A ise en uç kesite ait ek kütle ve sönümlleme katsatılarını ifade etmektedir. Frekans ve ilerleme hızından bağımsız hidrostaik katsayılar 2.37-2.40' ta görüldüğü gibi yazılabilir [21]:

$$C_{33} = r * g * \int b * dx = r * g * A_{WP} \quad (2.37)$$

$$C_{35} = C_{53} = - r * g * \int b * x * dx = - r * g * M_{WP} \quad (2.38)$$

$$C_{55} = r * g * \int b * x^2 * dx = r * g * I_{WP} \quad (2.40)$$

2.37-2.40 denklemlerinde görülen b gemi kesidinin genişliğini, r ise deniz suyunun yoğunluğunu göstermektedir. Denklemlerde yer çekimi ivmesi g , alan A_{WP} , moment M_{WP} ve atalet momenti I_{WP} ile gösterilmiş olup integral gemi boyunca yapılmaktadır [21].

Tetikleyici kuvvet ve moment ise 2.41-2.42' de görüldüğü gibi yazılabilir [21]:

$$F_3 = r * \alpha * \int (f_3 + h_3) * dx + r * \alpha * \int \frac{V}{i * w} * h_3^A \quad (2.41)$$

$$F_5 = - r * \alpha * \int [(f_3 + h_3) * x + \frac{V}{i * w} * h_3] * dx - r * \alpha * \int \frac{V}{i * w} * X_A * h_3^A \quad (2.42)$$

Keside ait Froude-Kriloff kuvveti 2.43' te görüldüğü gibi yazılabilir:

$$f_3(x) = g e^{-ikx \cos \beta} \int_{C_x} N_3 e^{iky \sin \beta} e^{kz} dl \quad (2.43)$$

Keside ait yansıma kuvveti ise 2.44' te görüldüğü gibi yazılabilir:

$$h_3(x) = \omega_0 e^{-ikx \cos \beta} \int_{C_x} (iN_3 - N_2 \times \sin \beta) e^{iky \sin \beta} e^{kz} \psi_3 dl \quad (2.44)$$

2.43 - 2.44 denklemlerinde yer alan α dalga genliği, k dalga sayısı, β rota açısı, N_2 ve N_3 yz düzleminde y ve z doğrultusundaki iki boyutlu dışa dönük birim vektörün bileşenlerini göstermektedir. Verilen kesit ile aynı şekle sahip bir silindir için iki boyutlu probleme ait hız potansiyeli ψ_3 ile verilmiştir. C_x serbest yüzeydeki salınımı göstermektedir. İki boyutlu kesite ait a_{33} , b_{33} ve hız potansiyeli ψ_3 biliniyor ise gemi boyunca integral alınarak katsayılar ve tetikleyici kuvvetler elde edilebilir ancak iki boyutlu hidrodinamik katsayıların elde edilmesi gemi hareketleini hesaplama konusunda en güç olandır. Gemi boyunca yaklaşık 20 kesit için, bu katsayılar frekansa bağlı olduklarından dolayı, 20 ila 30 frekans arasında hesaplanmak zorundadırlar. Korvin-Kroukovsky ve jacobs tarafından 1957 yılında yapılan çalışmada 2.23 ve 2.24 denklemleri aynı olup, hız ve tetikleyici kuvvetler ile ilgili ifadeler farklıdır [21].

$$A_{33} = \int a_{33} * dx \quad (2.45)$$

$$B_{33} = \int b_{33} * dx + V * a_{33}^A \quad (2.46)$$

$$A_{35} = - \int x * a_{33} * dx - \frac{V}{w^2} B_{33}^0 - \frac{V^2}{w^2} * a_{33}^A \quad (2.47)$$

$$B_{35} = - \int x * b_{33} * dx + V * A_{33}^0 - V * X_A * a_{33}^A \quad (2.48)$$

$$A_{53} = - \int x * a_{33} * dx \quad (2.49)$$

Korvin-Kroukovsky ve jacobs en uç kesitteki ilave kütleyi sıfır kabul ederek a_{33}^A katsayısını sıfır almışlardır.

Yukarıdaki denklemler dalıp çıkma ve baş kıç vurma için yazılmıştır. Yanal öteleme, yalpa ve savrulma ile ilgili denklemler 2.50-2.69'da verilmiştir.

$$(M + A_{22}) * \ddot{\eta}_2 + B_{22} * \dot{\eta}_2 + (A_{24} - M_{Z_c}) * \ddot{\eta}_4 + B_{24} * \dot{\eta}_4 + A_{26} * \ddot{\eta}_6 + B_{26} * \dot{\eta}_6 = F_2 * e^{i * w * t} \quad (2.50)$$

$$(A_{42} - M_{Z_c}) * \ddot{\eta}_2 + B_{42} * \dot{\eta}_2 + (A_{44} + I_4) * \ddot{\eta}_4 + B_{44} * \dot{\eta}_4 + C_{44} * \eta_4 + (A_{46} - I_{40}) * \ddot{\eta}_6 + B_{46} * \dot{\eta}_6 = F_4 * e^{i * w * t} \quad (2.51)$$

$$(A_{62}) * \ddot{\eta}_2 + B_{62} * \dot{\eta}_2 + (A_{64} - I_{46}) * \ddot{\eta}_4 + B_{64} * \dot{\eta}_4 + (A_{66} + I_6) * \ddot{\eta}_6 + B_{66} * \dot{\eta}_6 = F_6 * e^{i * w * t} \quad (2.52)$$

Lineer potansiyel teori kullanılarak türetilmiş olan A_{jk} ilave kütle katsayısı ile B_{jk} sönümleme katsayısı viskoz sönümleme için bir düzeltme yapılmaksızın kullanılamaz.

Teori ve deneylerin birbiri ile karşılaştırmaları göstermektedir ki , yalpa sönümleme katsayısı B_{44} , yalpalık bulunsa dahi viskoziteden oldukça etkilenmektedir. Bu nedenle yarı lineer viskoz sönümlmelerini içeren B_{44}^* ifadesi denklemlerde kullanılmaktadır [21].

Viskoz etkiler göz ardı edildiği için yalnızca serbest yüzey dalgalarının oluşturmuş olduğu enerji kayıplarından dolayı sönümleme dikkate alınmıştır. Geminin düşey hareketi için viskoz sönümleme çok düşük olduğu için bu kabul yeterlidir.

$$A_{22} = \int a_{22} * dx - \frac{V}{w^2} * b_{22}^A \quad (2.53)$$

$$B_{22} = \int b_{22} * dx + V * a_{22}^A \quad (2.54)$$

$$A_{24} = A_{42} = \int a_{24} * dx - \frac{V}{w^2} b_{24}^A \quad (2.55)$$

$$B_{24} = B_{42} = \int b_{24} * dx + V * A_{24}^A \quad (2.56)$$

$$A_{26} = \int x * a_{22} * dx - \frac{V}{w^2} B_{22}^0 + \frac{V}{w^2} * X_A * \quad (2.57)$$

$$b_{22}^A - \frac{V^2}{w^2} * a_{22}^A$$

$$B_{26} = \int x * b_{22} * dx - V * A_{22}^0 + V * X_A * \quad (2.58)$$

$$a_{22}^A + V^2 w^2 * b_{22}^A$$

$$A_{44} = \int a_{44} * dx + \frac{V}{w^2} * b_{44}^A \quad (2.59)$$

$$B_{44} = \int b_{44} * dx + V * a_{44}^A + B_{44}^* \quad (2.60)$$

$$A_{46} = \int x * a_{24} * dx + \frac{V}{w^2} B_{24}^0 - \frac{V}{w^2} * \quad (2.61)$$

$$a_{24}^A + \frac{V^2}{w^2} * a_{24}^A$$

$$B_{46} = \int x * b_{24} * dx - V * A_{24}^0 + V * \quad (2.62)$$

$$X_A * A_{24}^A + \frac{V^2}{w^2} b_{24}^A$$

$$A_{62} = \int x * a_{22} * dx - \frac{V}{w^2} * B_{22}^0 - \frac{V}{w^2} * X_A * b_{22}^A \quad (2.63)$$

$$B_{62} = \int x * b_{22} * dx + V * A_{22}^0 + V * X_A * a_{22}^A \quad (2.64)$$

$$A_{64} = \int x * a_{24} * dx - \frac{V}{w^2} * B_{24}^0 - \frac{V}{w^2} * X_A * b_{24}^A \quad (2.65)$$

$$B_{64} = \int x * b_{24} * dx + V * A_{24}^0 + V * X_A * a_{24}^A \quad (2.66)$$

$$A_{66} = \int x^2 * a_{22} * dx + \frac{V^2}{w^2} * A_{22}^0 - \frac{V}{w^2} * \quad (2.67)$$

$$X_A^2 * b_{22}^A + \frac{V^2}{w^2} * X_A * a_{22}^A$$

$$B_{66} = \int x^2 * b_{22} * dx + \frac{V^2}{w^2} * B_{22}^0 + V * \quad (2.68)$$

$$X_A^2 * a_{22}^A + \frac{V^2}{w^2} * X_A * b_{22}^A$$

2.53 ile 2.68 arasındaki tüm integral gemi boyunca yapılmakta olup, a_{22} ve b_{22} iki boyutlu kesit ilave kütleleri ile yanal öteleme sönümlenme katsayılarıdır. Dalıp çıkma ve baş kış vurma hareketi dört adet hidrostatik katsayıya sahip iken yanal öteleme ve yalpa hareketi yalnızca bir adet katsayıya sahiptir [21].

$$C_{44} = \rho * g * V * GM \quad (2.69)$$

2.69 denkleminde yer alan V deplasman hacmi, GM ise metesantır yüksekliğidir.

2.2.2 Deniz Yükleri

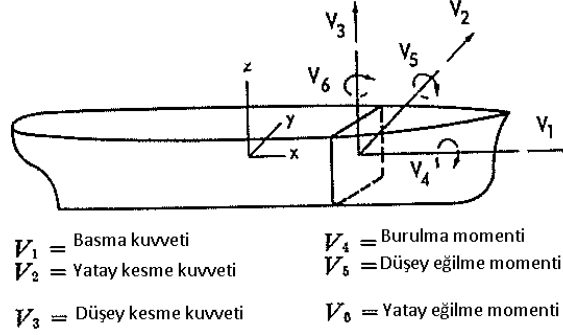
Gemi kesidindeki basma ve kesme kuvvetlerini 2.70'te görüldüğü gibi yazabiliriz [21]:

$$V = V_{1i} + V_{2j} + V_{3k} \quad (2.70)$$

2.70 denkleminde V_1 basma kuvveti, V_2 yatay kesme kuvveti, V_3 düşey kesme kuvvetidir. Aynı şekilde eğilme ve burulma momenti 2.71 de görüldüğü gibi yazılabilir [21]:

$$M = V_{4i} + V_{5j} + V_{6k} \quad (2.71)$$

2.71 denkleminde yer alan V_4 burulma momenti, V_5 düşey eğilme momenti, V_6 yatay eğilme momentidir. Şekil 2.9’da dinamik dalga yük bileşenleri gösterilmiştir.



Şekil 2.9 Dinamik dalga yük bileşenleri için işaret düzeni

Eğer tekne dışından gelecek olan kuvvetleri ikiye ayıracak olursak statik kuvvetleri R_j , tetikleyici kuvvetleri E_j , gemi hareketinden dolayı oluşan hidrodinamik kuvvetleri D_j olarak ifade edilebilir [21].

$$V_j = I_j - R_j - E_j - D_j \quad (2.72)$$

2.72 denkleminde yer alan I_j atalet kuvvetlerini ifade etmektedir. Benzer şekilde burulma ve eğilme momentleri atalet kuvvetlerinin meydana getirdiği momentler ile dışarıdan tekneye etki eden kuvvetlerin oluşturmuş olduğu momentler arasındaki fark olarak yazmamız mümkündür [21]. Atalet kuvvetleri 2.73’te görüldüğü gibi yazılabilir:

$$I_2 = \int m * (\eta'' + x * \eta_6'' - z * \eta_4'') dx \quad (2.73)$$

$$I_3 = \int m * (\eta_3'' - x * \eta_5'') * dx \quad (2.74)$$

$$I_4 = \int (i_x * \eta_4'' - m * z * (\eta_2'' + x * \eta_6'')) dx \quad (2.75)$$

$$I_5 = - \int m * (\xi - x) * (\eta_3'' - \xi * \eta_5'') d\xi \quad (2.76)$$

$$I_6 = \int m * (\xi - x) * (\eta_2'' + \xi * \eta_6'' - z * \eta_4'') d\xi \quad (2.77)$$

2.73-2.77 denklemlerinde bulunan m gemi boyunca her bir kesit için birim kütle, z bu kütleye ait düşey ağırlık merkezinin konumunu, i_x her bir kesitsel kütle için x eksenine

göre kütle atalet momentini ifade etmektedir [21]. Hidrostatik kuvvetler ve momentler 2.78-2.80 denklemlerinde verilmiştir.

$$R_3 = -r g \int b * (\eta_3 - x * \eta_5) dx \quad (2.78)$$

$$R_4 = g \eta_4 * \int (r * a * om - m * z) dx \quad (2.79)$$

$$R_5 = r g \int b * (\xi - x) * (\eta_3 - \xi * \eta_5) d\xi \quad (2.80)$$

R_2 ve $R_6=0$ dır. 2.78 ve 2.80 de yer alan b kesite ait genişlik, “ a ” su altında kalan kesit alanı, om su hattı alanı ile kesit metasantırı arasındaki mesafedir.

Dışarıdan etki eden tetikleyici kuvvet ve momentler 2.81’de görüldüğü gibi yazılabilir [21]:

$$E_j = r * a * \left[\int (f_j + h_j) dx + \left(\frac{V}{i * w} * h_j \right)_{\xi=x} \right] * \quad (2.81)$$

$e^{i\omega t} \quad j: 2, 3, 4$

$$E_5 = -r * a * \int \left[(\xi - x) * (f_3 + h_3) + \left(\frac{V}{i * w} * h_3 \right) \right] d\xi * e^{i\omega t} \quad (2.82)$$

$$E_6 = r * a * \int \left[(\xi - x) * (f_2 + h_2) + \left(\frac{V}{i * w} * h_2 \right) \right] d\xi * e^{i\omega t} \quad (2.83)$$

2.82 ve 2.83’te yer alan “ f ” keside ait Froude-Kriloff kuvvetleri ve “ h ” ise keside ait diffraction kuvvetleridir. “ f ” ve “ h ” 2.84 ile 2.85 denklemlerinde gösterilmiştir.

$$f_j = g * e^{-ikxcos\beta} \int_{Cx} N_j * e^{ikysin\beta} * e^{kz} dl; j: 2, 3, 4 \quad (2.84)$$

$$h_j = w_0 * e^{-ikxcos\beta} \int_{Cx} (iN_3 - N_2 * sin\beta) * e^{ikysin\beta} * e^{kz} \psi_j dl; j: 2, 3, 4 \quad (2.85)$$

Hidrodinamik kuvvet ve momentler ise 2.86 ve 2.87 denklemlerinde gösterilmiştir.

$$D_2 = - \int [a_{22} * (\eta_2'' + x * \eta_6'') + b_{22}(\eta_2' + x * \eta_6') + a_{24} * \eta_4' + \frac{V}{w^2} b_{22} \eta_6'' - V * a_{22} * \eta_6'] dx \quad (2.86)$$

$$- [V * a_{22} * (\eta_2' + x * \eta_6') - \frac{V}{w^2} b_{22} * (\eta_2'' + x * \eta_6'') + \frac{V^2}{w^2} * (a_{22} * \eta_6'' + b_{22} * \eta_6' + V * a_{24} * \eta_4' - 1w^2 * b_{24} \eta_4'..)]$$

$$D_3 = - \int [a_{33} * (\eta_3'' + x * \eta_5'') + b_{33}(\eta_3' - x * \eta_5') + \frac{V}{w^2} b_{33} \eta_5'' + V * a_{33} * \quad (2.87)$$

$$\eta_5']dx-[V * a_{33} * (\eta_3' + x * \eta_5') - \frac{V}{w^2} b_{33} * (\eta_3'' - x * \eta_5'') + \frac{V^2}{w^2} * (a_{33} * \eta_5'' + b_{33} * \eta_5')] \quad (2.88)$$

$$D_4 = - \int [a_{44} * (\eta_4'') + (b_{44} + b_{44}^*) * \eta_4' + a_{24} * (\eta_2'' + x * \eta_6'') + b_{24} * (\eta_2' + x * \eta_6') + \frac{V}{w^2} b_{24} \eta_6'' - V * a_{24} * \eta_6'] dx \\ - [V * a_{24} * (\eta_2' + x * \eta_6') - \frac{V}{w^2} b_{24} * (\eta_2'' + x * \eta_6'') + \frac{V^2}{w^2} * (a_{24} * \eta_6'' + b_{24} * \eta_6' + V * (a_{44} * \eta_4 - 1w^2 * b_{44} \eta_4..))] \quad (2.89)$$

$$D_5 = \int (\xi - x) * [a_{33} * (\eta_3'' - \xi * \eta_5'') + b_{33} * (\eta_3' - \xi * \eta_5')] d\xi + V * a_{33} * \eta_3 - x * \eta_5 - Vw^2 * b_{33} \eta_3.. - x * \eta_5.. - V2W^2 * a_{33} * \eta_5.. + b_{33} * \eta_5. d\xi$$

$$D_6 = \int (\xi - x) * [a_{22} * (\eta_2'' + \xi * \eta_6'') + b_{22} * (\eta_2' + \xi * \eta_6') + a_{24} * \eta_4'' + b_{24} * \eta_4. d\xi - V * a_{22} * \eta_2 - x * \eta_6 - Vw^2 * b_{22} \eta_2.. + x * \eta_6.. + V2W^2 * a_{22} * \eta_6.. + b_{22} * \eta_6. + V * a_{24} * \eta_4 - Vw^2 * b_{24} * \eta_4.. d\xi \quad (2.90)$$

2.3 Karışık Dalgalar

Karışık dalgalar rastgele bir davranış sergilediklerinden dolayı matematiksel olarak temsil edilebilmeleri için istatiki yöntemlerin kullanılması gerekmektedir. Karışık denizlerin sonsuz sayıda düzenli dalga bileşeninden oluştuğu kabul edilerek bu bileşenlerin dalga varyansının yoğunluğu ile o denizin enerjisini temsil eden bir dalga spektrumu elde etmek mümkündür. Karışık denizlerin sonsuz sayıda değişik dalga boyu ve dalga frekansına sahip sinüzoidal bileşenin toplamından oluştuğu kabul edilerek lineer süperpozisyon ilkesi kullanılmaktadır [22].

Karışık denizleri tanımlamak için, enerji spektrumları kullanılmaktadır. Karışık denizi temsil eden dalga enerjisini maksimum yapan frekanstaki dalgalar, spektruma en büyük katkıyı yapar. Bu spektrum deniz yüzeyinin birim alanı başına düşen enerjinin dalga bileşenlerinin frekanslarına göre dağılım şeklini gösterir [22].

Karışık denizlere ait gerçek datanın mevcut olmadığı durumlarda denizcilik hesaplarında genellikle idealleştirilmiş dalga spektrumları kullanılmaktadır [22].

Bu tezde, karışık dalgalarda hesap yapmak için L/B oranı 6.1 ve 5.25 olan iki yüzey seçilmiştir. Karışık dalgaları temsil etmek üzere ANSYS AQWA içerisinde Pierson-Moskowitz dalga spektrumu kullanılmıştır. Deniz sahalarına ilişkin dalga yükseklikleri ve dalga periyodları beşinci bölümde Çizelge 5.12’de gösterilmiştir.

2.3.1 Pierson-Moskowitz spektrumu

Bu spektrum dalga frekansı ve rüzgar hızına bağlı olarak 2.91’de görüldüğü gibi ifade edilmektedir.

$$S_{\xi} = \frac{A * g^2}{w^5} \exp \left[-B * \left(\frac{g}{V_w} \right)^4 \right] \quad (2.91)$$

2.91 denkleminde yer alan :

S_{ξ} :Spektral ordinat cm^2 .saniye

W:Dalga frekansı rad/saniye

A:0.0081

B:0.74

V_w : Deniz yüzeyinden 19.5 m yukarıda ölçülen rüzgar hızı cm/saniye

Bu spektrumda tahmini ortalama dalga periyodu 2.92’ de verilmektedir [22].

$$T = 0.81 * \frac{2 * \pi * V_w}{g} \quad (2.92)$$

Belirgin dalga yüksekliği 2.93’ te verilmiştir [22].

$$H_{1/3} = 2.12 * 10^{-2} * V_w^2 \quad (2.93)$$

2.3.2 Bretschneider Spektrumu

$$S_{\xi} = \frac{A}{w^5} \exp \left[-\frac{B}{w^4} \right] \quad (2.94)$$

$$B = 1.25 * w_m^4 \quad (2.95)$$

$$(2.96)$$

$$A=4*m_0*B$$

2.3.3 JonSwap Spektrumu

$$S_{\xi} = \frac{H_{1/3}^2}{8 * \pi^2} * \left(\frac{w * T_z}{2 * \pi} \right)^{-5} * \exp \left[-\frac{1}{\pi} * \left(\frac{w * T_z}{2\pi} \right)^{-4} \right] \quad (2.97)$$

Sonsuz sayıda değişik frekanslı dalga için boyutsuzlaştırılmış (birim dalga genliği için) hareket miktarları (transfer fonksiyonları veya RAO (response amplitude operator) hesaplanarak 2.98 denklemine göre karışık dalgalarındaki hareketler hesaplanabilir. Çizelge 2.2’de transfer fonksiyonlarının karışık dalgaların ifadesinde kullanılması gösterilmiştir.

$$S_z(w)=S_{\xi}(w)*|RAO_z|^2 \quad (2.98)$$

Karşılaşma Spektrumu denklem 2.99 da gösterilmiştir.

$$S_{\xi}(w_e)=\frac{S_{\xi}(w)}{1-\frac{2wV}{g}*cos\beta} \quad (2.99)$$

$$S_z(w_e)=|\eta_j(w_e)|^2* S_{\xi}(w_e) \quad (2.100)$$

Çizelge 2.2 Transfer Fonksiyonarı ile karışık dalgaların ifadesi

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
W	w _e	RAO	S _ξ (w)	S _ξ (w _e)	S _z (w _e)	SM	(6)*(7)	(8)*(2) ²	(9)*(2) ²
rad/s	rad/s	m/m	m ² s	m ² s	(3) ² *(5) m ² s		m ²	m ² /s ²	m ² /s ⁴

Sütun1

Dalga Frekansı (w)

Sütun2

Karşılaşma Frekansı (w_e)

(bakınız denklem 2.19)

Sütun3

Dalıp Çıkma Transfer Fonksiyonu RAO

Sütun4

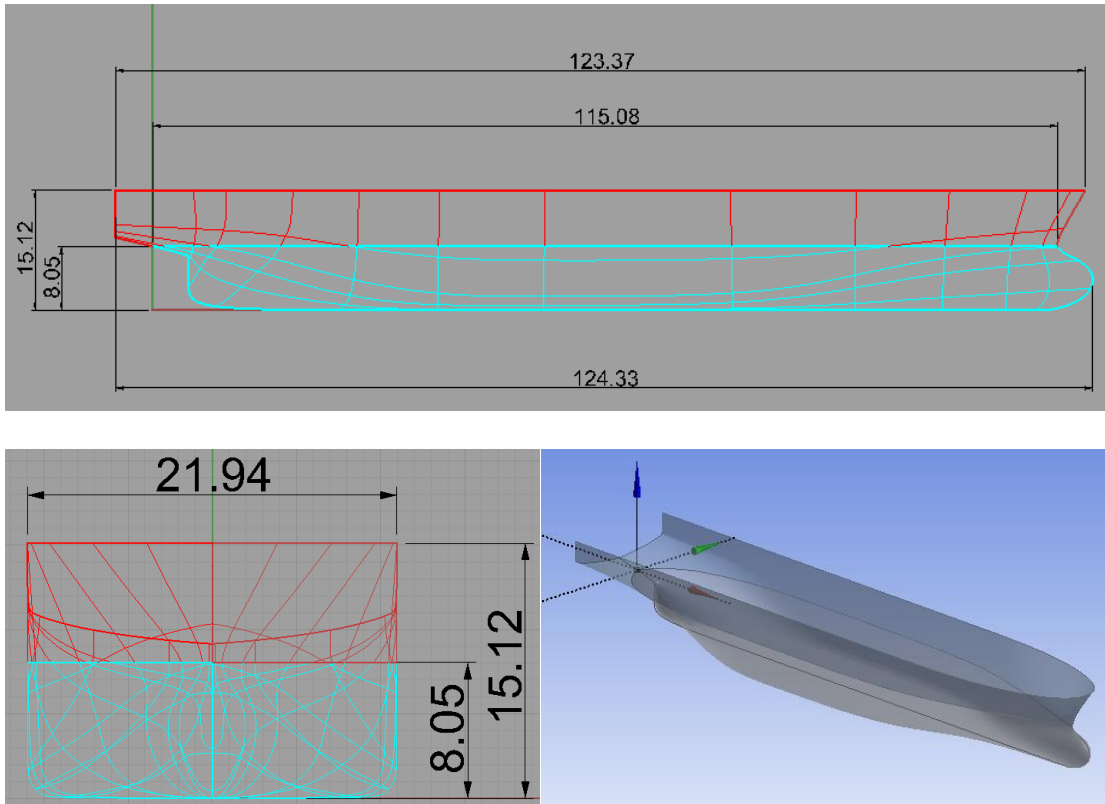
Dalga Spektrumu

	(Bakınız denklemler 2.91-2.97)	
Sütun5	Karşılaşma Spektrumu	
Sütun6	Hareket Spektrumu	
	(Bakınız denklem 2.98)	
Sütun7	Simpson Katsayıları	
Sütun8	m_0	
Sütun9	m_2	
Sütun10	m_4	
Hareket Sprektrumu istatistikleri 2.101-2.104 denklemlerinde verilmiştir.		
Rms Dalıp çıkma genliği:	$\sqrt{m_0}$	(2.101)
Karakteristik Dalıp çıkma Genliği:	$2 * \sqrt{m_0}$	(2.102)
Karakteristik Düşey hız:	$2 * \sqrt{m_2}$	(2.103)
Karakteristik Düşey ivme:	$2 * \sqrt{m_4}$	(2.104)

İNCELENEN GEMİ ÖZELLİKLERİ

3.1. L/B Oranı 5.25 Olan Gemiye ait Özellikler

Lwl/Bwl oranı 5.25 olan gemiye ait yüzey Şekil 3.1’de gösterilmiştir. Yüzeye ait ana boyutlar Çizelge 3.1’de , ağırlık merkezi ve jirasyon yarıçap değerleri Çizelge 3.2’de, hidrostatik bilgiler ise Çizelge 3.3 ve 3.4 ’te verilmiştir.



Şekil 3.1 L/B oranı 5.25 olan gemiye ait yüzey

Çizelge 3.1 L/B Oranı 5.25 olan gemiye ait ana boyutlar

LOA m	B m	T m	D m	Deplasman ton	C_B	Lwl m	Bwl m	Lwl/Bwl
124.33	21.94	8.05	15.12	13728.843	0.66	115.08	21.94	5.25

Çizelge 3.2 L/B oranı 5.25 olan geminin ağırlık merkezi ve jirasyon yarıçap değerleri

Deplasman ton	X m	Y m	Z m	K_{xx} m	K_{yy} m	K_{zz} m
13728.843	56.33	0.00	6.05	7.68	28.79	26.49

Çizelge 3.3 L/B oranı 5.25 olan gemi için AQWA programında hesaplanan hidrostatik özellikler

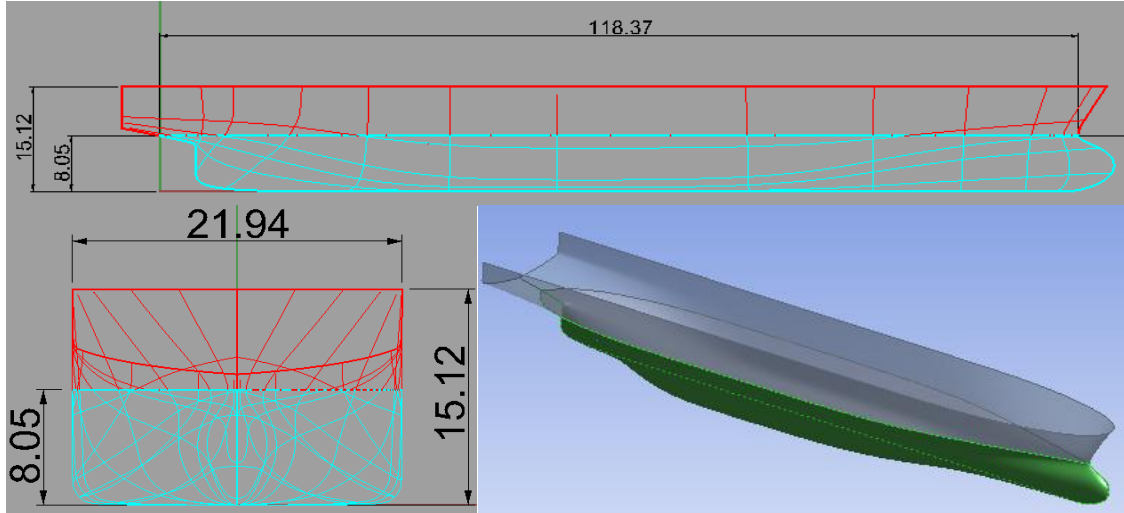
Structure/Yapı	HULL/Tekne		
Hydrostatic Stiffness/Hidrostatik Rijitlik	X	Y	Z
Centre of Gravity Position: Ağırlık Merkezinin Konumu:	56.336876 m	-3.1499e-4 m	-2 m
	Z	RX	RY
Heave(Z): Dalıp-Çıkma:	19703.789 kN/m	0.108074 kN/°	1385.6448 kN/°
Roll(RX): Yalpa:	6.192183 kN.m/m	7019.3462 kN.m/°	0.4281879 kN.m/°
Pitch(RZ): Baş-Kıç Vurma:	79391.602 kN.m/m	0.4281879 kN.m/°	262502.13 kN.m/°
Hydrostatic Displacement Properties/ Hidrostatik Deplasman Özellikleri			
Actual Volumetric Displacement: Gerçek Hacimsel Deplasman:	13393.994 m ³		
Equivalent Volumetric Displacement: Eşdeğer Hacimsel Deplasman:	13393.994 m ³		
	X	Y	Z
Centre of Buoyancy Position: Sephaye Merkezinin Boyuna Konumu:	56.336876 m	-3.1504e-4 m	-3.7712085 m
Out of Balance Forces/Weight: Denge Dışı Kuvvetler/Ağırlık:	-8.95E-09	5.14E-08	-4.75E-07
Out of Balance Moments/Weight: Denge Dışı Momentler/Ağırlık:	1.0592e-6 m	7.026e-6 m	-1.3624e-6 m

Çizelge 3.4 L/B oranı 5.25 olan gemi için AQWA programında hesaplanan hidrostatik özellikler (devamı)

Cut Water Plane Properties/Su Hattı Özellikleri			
Cut Water Plane Area: Su Hattı Alanı:	1960.2217 m ²		
	X	Y	
Centre of Floatation: Yüzme Merkezi:	52.307621 m	-7.2646e-7 m	
Principal 2nd Moment of Area: Alanın Temel İkinci Momenti	63734.129 m ⁴	1488172.6 m ⁴	
Angle Principal Axis makes with X(FRA): Temel Eksen Açısı:	-9.5499e-5 °		
Small Angle Stability Parameters/Küçük Açı Stabilite Parametreleri			
C.O.G. to C.O.B.(BG): Ağırlık Merkeziden Sephiye Merkezine:	1.7712085 m		
Metacentric Heights (GMX/GMY): Metasantrik Yükseklik:	2.9872024 m	109.33625 m	
COB to Metacentre (BMX/BMY): Sephiye merkezinden Metasantrik:	4.7584109 m	111.10746 m	
Restoring Moments/Degree Rotations (MX/MY): Geri Döndürücü Momentler	122.5107 kN.m/°	4484.082 kN.m/°	

3.2 L/B Oranı 5.40 Olan Gemiye ait Özellikler

Lwl/Bwl oranı 5.40 olan gemiye ait yüzey Şekil 3.2’de gösterilmiştir. Yüzeye ait ana boyutlar Çizelge 3.5’de, ağırlık merkezi ve jirasyon yarıçap değerleri Çizelge 3.6’da, hidrostatik bilgiler ise Çizelge 3.7 ve 3.8’de verilmiştir.



Şekil 3.2 L/B oranı 5.40 olan gemiye ait yüzey

Çizelge 3.5 L/B Oranı 5.40 olan gemiye ait ana boyutlar

LOA m	B m	T m	D m	Deplasman Ton	C_B	Lwl m	Bwl m	Lwl/Bwl
127.78	21.94	8.05	15.12	14118.93	0.66	118.46	21.94	5.40

Çizelge 3.6 L/B oranı 5.40 olan geminin ağırlık merkezi ve jirasyon yarıçap değerleri

Deplasman Ton	X m	Y m	Z m	K_{xx} m	K_{yy} m	K_{zz} m
14118.93	58.02	0.00	6.08	7.68	29.62	27.25

Çizelge 3.7 L/B oranı 5.40 olan gemi için AQWA programında hesaplanan hidrostatik özellikler

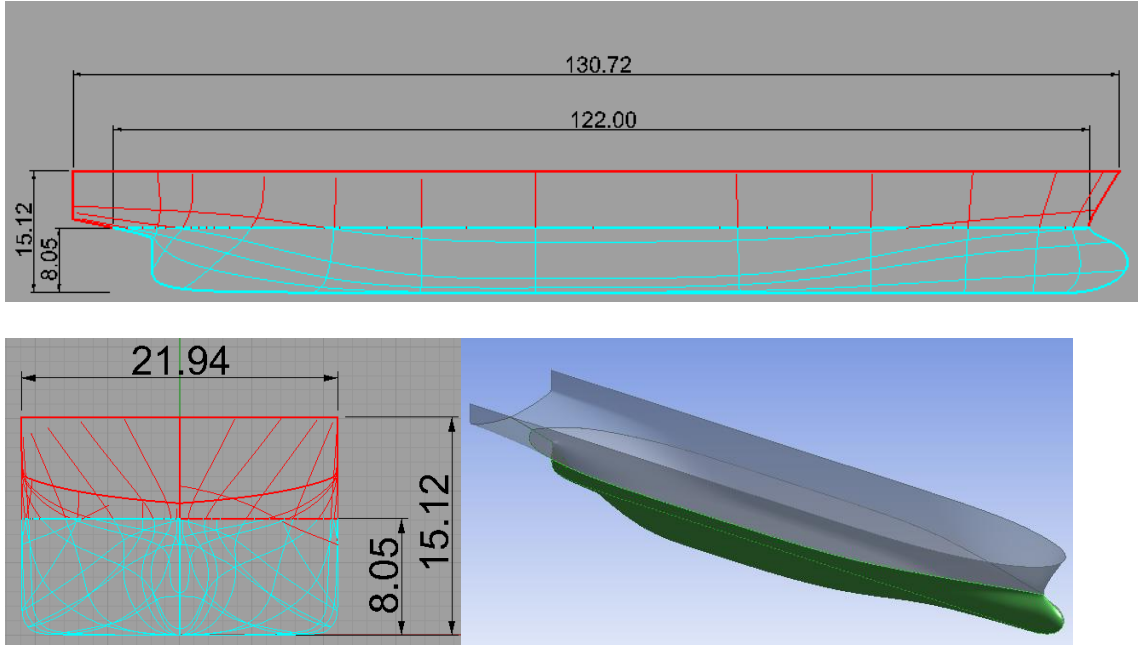
Structure/Yapı	HULL/Tekne		
Hydrostatic Stiffness/Hidrostatik Rijitlik	X	Y	Z
Centre of Gravity Position: Ağırlık Merkezinin Konumu:	58.018002 m	0 m	-1.966 m
	Z	RX	RY
Heave(Z): Dalıp-Çıkma:	20269.238 kN/m	5.3432e-4 kN/°	1491.23 kN/°
Roll(RX): Yalpa:	3.0615e-2 kN.m/m	7120.4507 kN.m/°	-2.0179e-2 kN.m/°
Pitch(RZ): Baş-Kıç Vurma:	85441.188 kN.m/m	-2.0179e-2 kN.m/°	286106.16 kN.m/°

Çizelge 3.8 L/B oranı 5.40 olan gemi için AQWA programında hesaplanan hidrostatik özellikler (devamı)

Hydrostatic Displacement Properties Hidrostatik Deplasman Özellikleri			
Actual Volumetric Displacement: Gerçek Hacimsel Deplasman:	13798.104 m ³		
Equivalent Volumetric Displacement: Eşdeğer Hacimsel Deplasman	13774.561 m ³		
	X	Y	Z
Centre of Buoyancy Position: Sephiye Merkezinin Boyuna Konumu:	57.960152 m	-9.6538e-5 m	-3.7763112 m
Out of Balance Forces/Weight: Denge Dışı Kuvvetler/Ağırlık:	-9.21E-09	5.04E-07	1.71E-03
Out of Balance Moments/Weight: Denge Dışı Kuvvetler/Ağırlık:	-9.5898e-5 m	5.795e-2 m	2.0417e-6 m
Cut Water Plane Properties /Su Hattı Özellikleri			
Cut Water Plane Area: Su Hattı Alanı:	2016.4752 m ²		
	X	Y	
Centre of Floatation: Yüzme Merkezi:	53.802689 m	1.5104e-6 m	
Principal 2nd Moment of Area: Alanın Temel İkinci Momenti	65565.734 m ⁴	1619965.6 m ⁴	
Angle Principal Axis makes with X(FRA): Temel Eksen Açısı:	-2.7003e-4 °		
Small Angle Stability Parameters/ Küçük Açı Stabilite Parametreleri			
C.O.G. to C.O.B.(BG): Ağırlık Merkeziden Sephiye Merkezine:	1.8103112 m		
Metacentric Heights (GMX/GMY): Metasantrik Yükseklik:	2.9414816 m	115.59463 m	
COB to Metacentre (BMX/BMY): Sephiye merkezinden Metasantrira:	4.7517929 m	117.40494 m	
Restoring Moments/Degree Rotations (MX/MY): Geri Döndürücü Momentler:	124.27531 kN.m/°	4883.7832 kN.m/°	

3.3 L/B Oranı 5.56 Olan Gemiye ait Özellikler

Lwl/Bwl oranı 5.56 olan gemiye ait yüzey Şekil 3.3’de gösterilmiştir. Yüzeye ait ana boyutlar Çizelge 3.9’da , ağırlık merkezi ve jirasyon yarıçapı değerleri Çizelge 3.10 ‘da , hidrostatik bilgiler ise Çizelge 3.12 ve 3.13’te verilmiştir.



Şekil 3.3 L/B oranı 5.56 olan gemiye ait yüzey

Çizelge 3.9 L/B Oranı 5.56 olan gemiye ait ana boyutlar

LOA m	B m	T m	D m	Deplasman Ton	C_B	Lwl m	Bwl m	Lwl/Bwl
131.81	21.94	8.05	15.12	14540.60	0.66	122.00	21.94	5.56

Çizelge 3.10 L/B oranı 5.56 olan geminin ağırlık merkezi ve jirasyon yarıçap değerleri

Deplasman Ton	X m	Y m	Z m	K_{xx} m	K_{yy} m	K_{zz} m
14540.60	59.67	0.00	6.08	7.68	30.50	28.06

(3.1)

$$I_{xx} = k_{xx}^2 \cdot \rho \cdot V$$

(3.2)

$$I_{yy} = k_{yy}^2 \cdot \rho \cdot V$$

(3.3)

$$I_{zz} = k_{zz}^2 \cdot \rho \cdot V$$

Geminin gerçek ağırlık dağılımı bilinmediği takdirde jirasyon yarıçapları Çizelge 3.11’de görüldüğü gibi alınabilir[24].

Çizelge 3.11 Gemi Ağırlık dağılımı bilinmediği durumlarda kabul edilebilecek jirasyon yarıçapları

k_{xx}	$0.3*B-0.4*B$
k_{yy}	$0.22*L-0.28*L$
k_{zz}	$0.22*L-0.28*L$

Çizelge 3.12 L/B oranı 5.56 olan gemi için AQWA programında hesaplanan hidrostatik özellikler

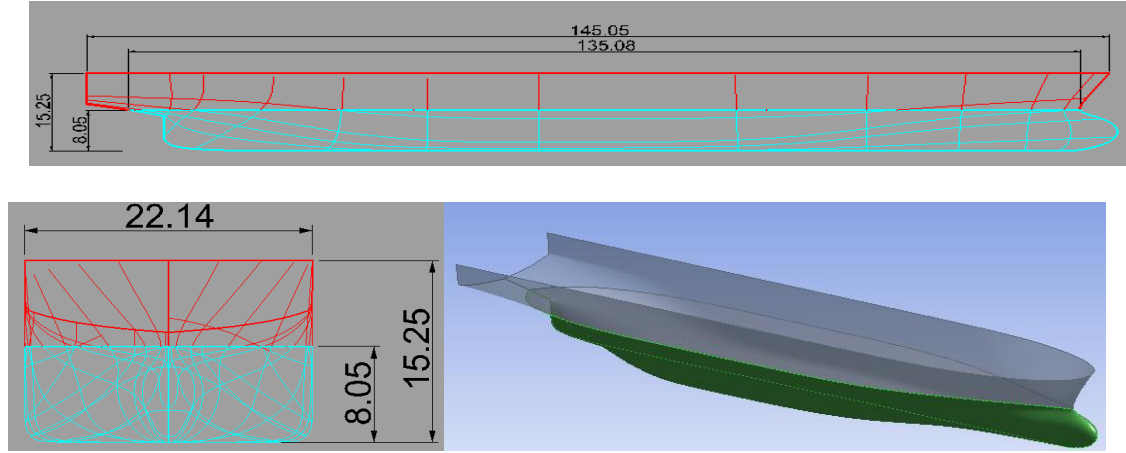
Structure/Yapı	HULL/Tekne		
Hydrostatic Stiffness Hidrostatik Rijitlik	X	Y	Z
Centre of Gravity Position: Ağırlık Merkezinin Konumu:	59.677315 m	1.8288e-4 m	-1.97 m
	Z	RX	RY
Heave(Z): Dalıp-Çıkma:	20872.889 kN/m	-7.1837e-2 kN/°	1554.402 kN/°
Roll(RX): Yalpa:	-4.1159296 kN.m/m	7360.9717 kN.m/°	-0.2043488 kN.m/°
Pitch(RZ): Baş-Kıç Vurma:	89060.68 kN.m/m	-0.2043488 kN.m/°	312513.28 kN.m/°
Hydrostatic Displacement Properties Hidrostatik Deplasman Özellikleri			
Actual Volumetric Displacement: Gerçek Hacimsel Deplasman:	14188.896 m ³		
Equivalent Volumetric Displacement: Eşdeğer Hacimsel Deplasman:	14188.898 m ³		
	X	Y	Z
Centre of Buoyancy Position: Sepiye Merkezinin Boyuna Konumu:	59.677315 m	1.832e-4 m	-3.7712798 m
Out of Balance Forces/Weight: Denge Dışı Kuvvetler/Ağırlık:	5.67E-09	-1.58E-08	1.12E-07
Out of Balance Moments/Weight: Denge Dışı Momentler/Ağırlık:	-1.8461e-6 m	-3.5303e-6 m	5.1315e-7 m

Çizelge 3.13 L/B oranı 5.56 olan gemi için AQWA programında hesaplanan hidrostatik özellikler (devamı)

Cut Water Plane Properties Su Hattı Özellikleri			
Cut Water Plane Area: Su Hattı Alanı:	2076.5291 m ²		
	X	Y	
Centre of Floatation: Yüzme Merkezi:	55.410503 m	-1.431e-5 m	
Principal 2nd Moment of Area: Alanın Temel İkinci Momenti	67516.023 m ⁴	1769092.5 m ⁴	
Angle Principal Axis makes with X(FRA): Temel Eksen Açısı:	1.1235e-3 °		
Small Angle Stability Parameters Küçük Açı Stabilité Parametreleri			
C.O.G. to C.O.B.(BG): Ağırlık Merkeziden Sephiye Merkezine:	1.8012799 m		
Metacentric Heights (GMX/GMY): Metasantrik Yükseklik:	2.9570904 m	122.8802 m	
COB to Metacentre (BMX/BMY): Sephiye merkezinden Metasantıra:	4.7583704 m	124.68147 m	
Restoring Moments/Degree Rotations (MX/MY): Geri Döndürücü Momentler	128.47318 kN.m/°	5338.6294 kN.m/°	

3.4 L/B Oranı 6.10 Olan Gemiye ait Özellikler

Lwl/Bwl oranı 6.10 olan gemiye ait yüzey Şekil 3.4’de gösterilmiştir. Yüzeye ait ana boyutlar Çizelge 3.14’de , ağırlık merkezi ve jirasyon yarıçapı değerleri Çizelge 3.15’te , hidrostatik bilgiler ise Çizelge 3.16 ve 3.17’de verilmiştir.



Şekil 3.4 L/B oranı 6.10 olan gemiye ait yüzey

Çizelge 3.14 L/B Oranı 6.10 olan gemiye ait ana boyutlar

LOA m	B m	T m	D m	Deplasman Ton	C_B	Lwl m	Bwl m	Lwl/Bwl
146.30	22.14	8.05	15.25	16260.18	0.66	135.08	22.14	6.10

Çizelge 3.15 L/B oranı 6.10 olan geminin ağırlık merkezi ve jirasyon yarıçap değerleri

Deplasman Ton	X m	Y m	Z m	K_{xx} m	K_{yy} m	K_{zz} m
16260.18	66.00	0.00	6.08	7.75	33.77	31.07

Çizelge 3.16 L/B oranı 6.10 olan gemi için AQWA programında hesaplanan hidrostatik özellikler

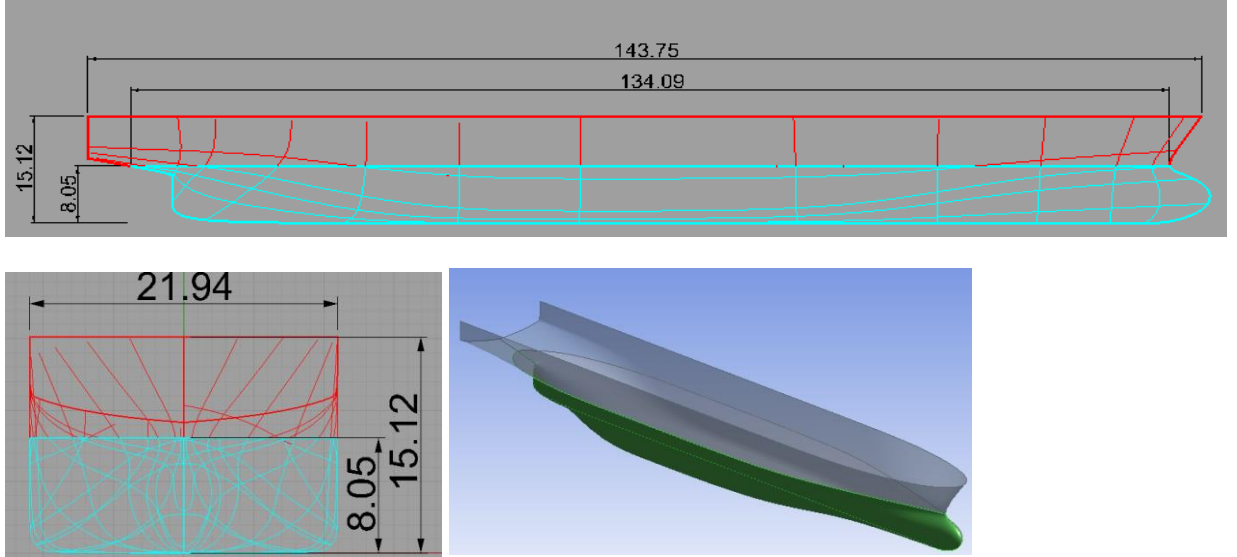
Structure/Yapı	HULL/Tekne		
Hydrostatic Stiffness Hidrostatik Rijitlik	X	Y	Z
Centre of Gravity Position: Ağırlık Merkezinin Konumu:	66. m	0. m	-1.966 m
	Z	RX	RY
Heave(Z): Dalıp-Çıkma:	23263.869 kN/m	-4.9189e-3 kN/°	1765.5392 kN/°
Roll(RX): Yalpa:	-0.2818297 kN.m/m	8381.2725 kN.m/°	0.1337914 kN.m/°
Pitch(RZ): Baş-Kiç Vurma:	101157.95 kN.m/m	0.1337914 kN.m/°	425059.84 kN.m/°

Çizelge 3.17 L/B oranı 6.10 olan gemi için AQWA programında hesaplanan hidrostatik özellikler (devamı)

Hydrostatic Displacement Properties/Hidrostatik Deplasman Özellikleri			
Actual Volumetric Displacement: Gerçek Hacimsel Deplasman:	15890.666 m ³		
Equivalent Volumetric Displacement: Eşdeğer Hacimsel Deplasman:	15863.588 m ³		
	X	Y	Z
Centre of Buoyancy Position: Sephiye Merkezinin Boyuna Konumu:	66.301834 m	9.2686e-5 m	-3.7779148 m
Out of Balance Forces/Weight: Denge Dışı Kuvvetler/Ağırlık:	6.53E-09	2.39E-10	1.71E-03
Out of Balance Moments/Weight: Denge Dışı Momentler/Ağırlık:	8.7237e-5 m	-0.3023499 m	3.5258e-6 m
Cut Water Plane Properties Su Hattı Özellikleri			
Cut Water Plane Area: Su Hattı Alanı:	2314.3945 m ²		
	X	Y	
Centre of Floatation: Yüzme Merkezi:	61.651714 m	-1.2114e-5 m	
Principal 2nd Moment of Area: Alanın Temel İkinci Momenti	76566.141 m ⁴	2407892.3 m ⁴	
Angle Principal Axis makes with X(FRA): Temel Eksen Açısı:	1.2455e-3 °		
Small Angle Stability Parameters Küçük Açı Stabilitate Parametreleri			
C.O.G. to C.O.B.(BG): Ağırlık Merkeziden Sephiye Merkezine:	1.8119148 m		
Metacentric Heights (GMX/GMY): Metasantrik Yükseklik:	3.0063944 m	149.7168 m	
COB to Metacentre (BMX/BMY): Sephiye merkezinden Metasantrıra:	4.8183093 m	151.52872 m	
Restoring Moments/Degree Rotations (MX/MY): Geri Döndürücü Momentler	146.28081 kN.m/°	7284.7036 kN.m/°	

3.5 L/B Oranı 6.12 Olan Gemiye ait Özellikler

Lwl/Bwl oranı 6.12 olan gemiye ait yüzey Şekil 3.5’de gösterilmiştir. Yüzeye ait ana boyutlar Çizelge 3.18’de , ağırlık merkezi ve jirasyon yarıçapı değerleri Çizelge 3.19’da, hidrostatik bilgiler ise Çizelge 3.20’de verilmiştir.



Şekil 3.5 L/B oranı 6.12 olan gemiye ait yüzey

Çizelge 3.18 L/B Oranı 6.12 olan gemiye ait ana boyutlar

LOA m	B m	T m	D m	Deplasman Ton	C_B	Lwl m	Bwl m	Lwl/Bwl
144.85	21.94	8.05	15.12	15994.66	0.66	134.20	21.94	6.12

Çizelge 3.19 L/B oranı 6.12 olan geminin ağırlık merkezi ve jirasyon yarıçapı değerleri

Deplasman Ton	X m	Y m	Z m	k_{xx} m	k_{yy} m	k_{zz} m
15994.66	65.646	0.00	6.08	7.68	33.55	30.87

Çizelge 3.20 L/B oranı 6.12 olan gemi için AQWA programında hesaplanan hidrostatik özellikler

Structure/Yapı	HULL/Tekne		
Hydrostatic Stiffness /Hidrostatik Rijitlik	X	Y	Z
Centre of Gravity Position: Ağırlık Merkezinin Konumu:	65.646179 m	-5.2887e-5 m	-1.966 m
	Z	RX	RY
Heave(Z): Dalıp-Çıkma:	22960.672 kN/m	2.066e-2 kN/°	1881.3961 kN/°
Roll(RX): Yalpa:	1.1837336 kN.m/m	8087.0605 kN.m/°	0.1172877 kN.m/°
Pitch(RZ): Baş-Kıç Vurma:	107796.06 kN.m/m	0.1172877 kN.m/°	417009.44 kN.m/°
Actual Volumetric Displacement: Gerçek Hacimsel Deplasman:	15608.2 m ³		
Equivalent Volumetric Displacement: Eşdeğer Hacimsel Deplasman:	15608.2 m ³		
	X	Y	Z
Centre of Buoyancy Position: Sepiye Merkezinin Boyuna Konumu:	22960.672 kN/m	2.066e-2 kN/°	1881.3961 kN/°
Out of Balance Forces/Weight: Denge Dışı Kuvvetler/Ağırlık:	1.1837336 kN.m/m	8087.0605 kN.m/°	0.1172877 kN.m/°
Out of Balance Moments/Weight: Denge Dışı Momentler/Ağırlık:	107796.06 kN.m/m	0.1172877 kN.m/°	417009.44 kN.m/°
Cut Water Plane Properties Su Hattı Özellikleri			
Cut Water Plane Area: Su Hattı Alanı:	2284.231 m ²		
	X	Y	
Centre of Floatation: Yüzme Merkezi:	60.951366 m	-1.3322e-6 m	
Principal 2nd Moment of Area: Alanın Temel İkinci Momenti	74269.875 m ⁴	2354797.5 m ⁴	
Angle Principal Axis makes with X(FRA): Temel Eksen Açısı:	1.665e-4 °		
Small Angle Stability Parameters/ Küçük Açı Stabilite Parametreleri			
C.O.G. to C.O.B.(BG): Ağırlık Merkeziden Sepiye Merkezine:	1.8050314 m		
Metacentric Heights (GMX/GMY): Metasantrik Yükseklik:	2.9533567 m	149.06421 m	
COB to Metacentre (BMX/BMY): Sepiye merkezinden Metasantrıra:	4.758388 m	150.86925 m	
Restoring Moments/Degree Rotations (MX/MY): Geri Döndürücü Momentler	141.14583 kN.m/°	7124.0259 kN.m/°	

BÖLÜM 4

BV KURALLARINA GÖRE KESME KUVVETİ VE EĞİLME MOMENTİ HESABI

4.1 BureauVeritas Klas Kurallarının Uygulanabileceği Ana Boyutlar

Klas kurallarının uygulanabilmesi için Çizelge 4.1’de görülen ana boyutların sağlanması gerekmektedir.

Çizelge 4.1 BureauVeritas Klas kuralları için uyulması gereken ana boyutlar

$L < 500 \text{ m}$
$L/B > 5$
$B/D < 2.5$
$C_B > 0.6$

4.2. Bureau Veritas Kurallarına göre Dalga Kaynaklı Düşey Eğilme Momenti

4.2.1 Sarkma Durumu

Dalga Kaynaklı düşey eğilme momenti ampirik olarak 4.1’de verilmiştir.

$$M_{wH} = 190 * F_M * n * C * L^2 * B * C_B * 10^{-3} \quad (4.1)$$

4.1 denkleminde yer alan değişkenler Çizelge 4.2’de verilmiştir:

Çizelge 4.2 Bureau Veritas Klas Kurallarına göre düşey eğilme momentinin hesabı için sarkma durumunda kullanılan değişkenler

F_M :	Dağılım faktörü
n :	Seyir Katsayısı
C :	Dalga Parametresi
L :	Gemi Boyu
B :	Gemi Genişliği
C_B :	Blok Katsayısı

Dağılım faktörü Çizelge 4.3’de verilmiştir.

Çizelge 4.3 Dağılım Faktörü

Tekne Kesitinin Boyuna Konumu	Dağılım Faktörü F_M
$0 \leq x < 0.4L$	$2.5X/L$
$0.4L \leq x \leq 0.6L$	1
$0.65L < x \leq L$	$2.86(1-(X/L))$

Seyir katasyısı “n” Çizelge 4.4’de verilmiştir.

Çizelge 4.4 Seyir Notasyonu

Seyir Notasyonu	Seyir Katsayısı n
Sınırsız Seyir	1
Yaz Bölgesi	0.9
Tropical Bölge	0.8
Kıyı Alanı	0.8
Korunaklı Bölge	0.65

Dalga parametresi C, klas kurallarına göre Çizelge 4.5’de görüldüğü gibi hesaplanmaktadır:

Çizelge 4. 5 Dalga Parametresi

$65 \leq L < 90$ m ise	$C = (118 - 0.36 * L) * (\frac{L}{1000})$	(4.2)
$90 \leq L < 300$ m ise	$C = 10.75 - (\frac{300-L}{100})^{1.5}$	(4.3)
$300 \leq L \leq 350$ m ise	$C = (10.75)$	(4.4)
$L > 350$ m ise	$C = (10.75 - (\frac{L - 350}{150})^{1.5})$	(4.5)

4.2.2 Çökme Durumu

Dalga kaynaklı düşey eğilme momenti BureauVeritas kurallarına göre ampirik olarak 4.6'da görüldüğü gibi hesaplanmaktadır.

$$M_{W,S} = -110 * F_M * n * C * L^2 * B * (CB + 0.7) * 10^{-3} \quad (4.6)$$

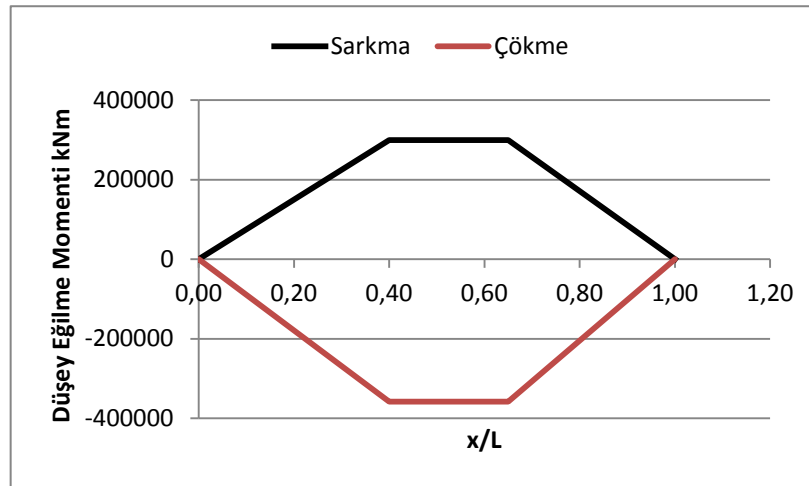
Klas kuralına göre hesaplanan düşey dalga kaynaklı eğilme momenti sarkma ve çökme durumları için hesaplanan değerler Çizelge 4.6'da verilmiştir.

Çizelge 4.6 Sarkma ve Çökme durumları için dalga kaynaklı düşey eğilme momenti

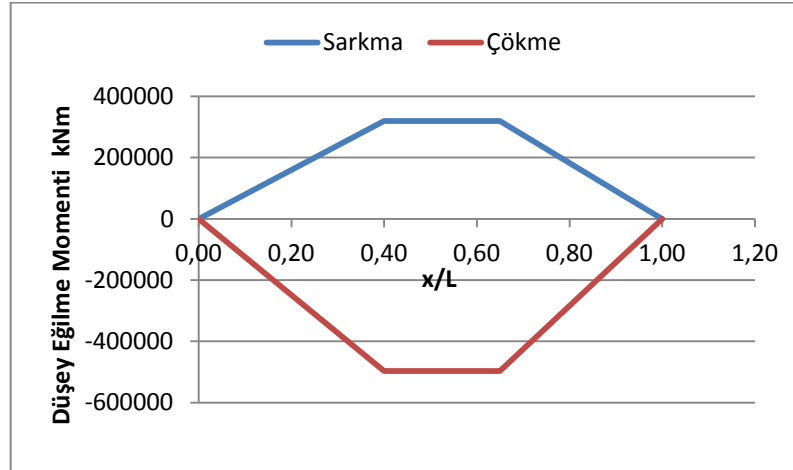
					Düşey Dalga Eğilme Momenti (kNm)	
Model	Lwl	L/B	Bwl	x/L	Sarkma	Çökme
1	115.08	5.25	21.94	0	0	0
				0.4	299691	358086
				0.5	299691	358086
				0.65	299691	358086
				1	0	0
2	118.46	5.40	21.94	0	0	0
				0.4	319648	496557
				0.5	319648	496557
				0.65	319648	496557
				1	0	0
3	122	5.56	21.94	0	0	0
				0.4	341931	408556
				0.5	341931	408556
				0.65	341931	408556
				1	0	0
4	135.08	6.10	22.14	0	0	0
				0.4	435931	520871
				0.5	435931	520871
				0.65	435931	520871
				1	0	0
5	134.2	6.12	21.94	0	0	0
				0.4	425627	508559
				0.5	425627	508559
				0.65	425627	508559
				1	0	0

4.2.3 Sarkma ve Çökme Durumu için Hesaplanan Değerlerin Grafik Gösterimi

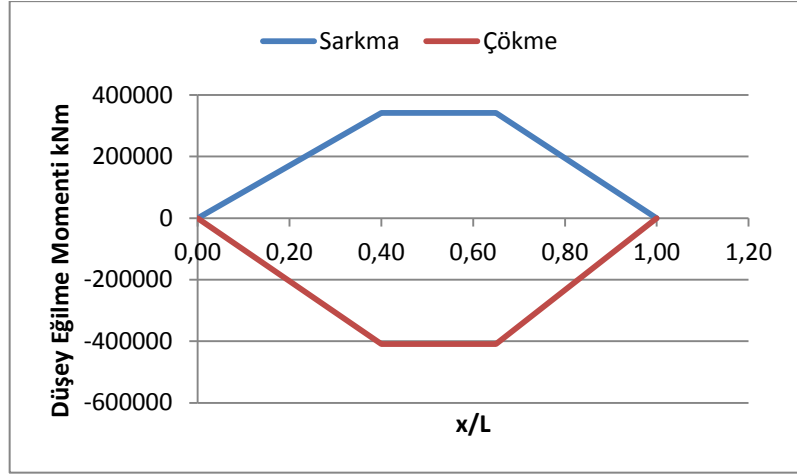
Bureau Veritas tarafından verilen dalga kaynaklı düşey eğilme momentinin hesaplanmasına yönelik ampirik formüller kullanılarak elde edilen değerler, Çizelge 4.6'da görülürken bu değerlerin grafik olarak gösterimleri Şekil 4.1 ile Şekil 4.5 arasında gösterilmiştir.



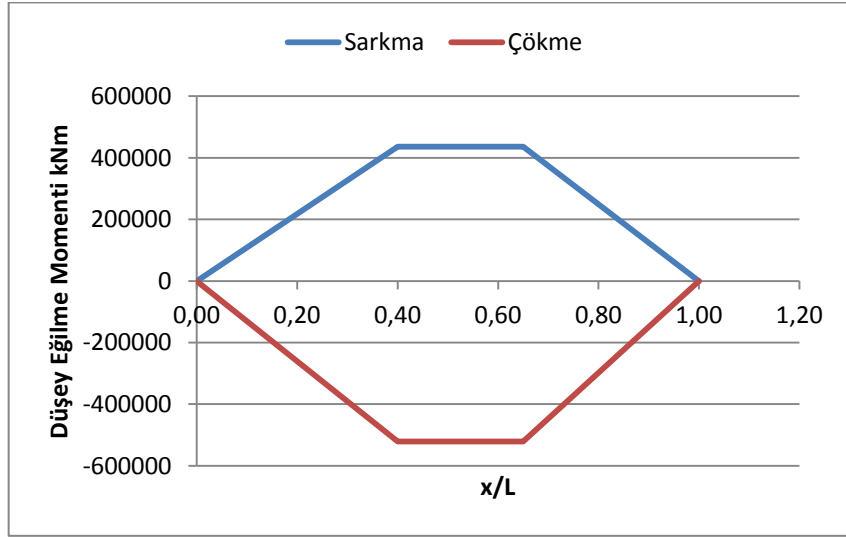
Şekil 4.1 L/B 5.25 için Dalga kaynaklı düşey eğilme momenti



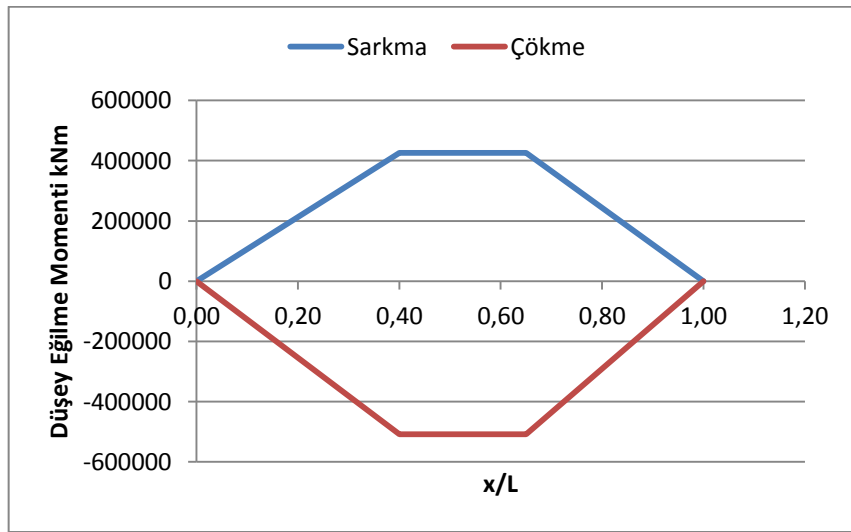
Şekil 4.2 L/B 5.40 için Dalga kaynaklı düşey eğilme momenti



Şekil 4.3 L/B 5.56 için Dalga kaynaklı düşey eğilme momenti



Şekil 4.4 L/B 6.1 için Dalga kaynaklı düşey eğilme momenti



Şekil 4.5 L/B 6.12 için Dalga kaynaklı düşey eğilme momenti

4.3 Bureau Veritas Kurallarına göre Dalga Kaynaklı Düşey Kesme Kuvveti

Bureau Veritas, dalga kaynaklı düşey kesme kuvvetlerini, pozitif ve negatif olarak 4.7'deki ampirik formülle vermektedir.

$$Q_{WV}=30 \cdot F_Q \cdot n \cdot C \cdot L \cdot B \cdot (C_B+0.7) \cdot 10^{-2} \quad (4.7)$$

4.7'de yer alan F_Q , dağılım faktörü olup Çizelge 4.7'de verilmiştir.

Çizelge 4.7 Dağılım Faktörü

Kesitin Boyuna Konumu	Pozitif Kesme Kuvveti	Negatif Kesme Kuvveti
$0 \leq x < 0.2L$	$4.6A \cdot X/L$	$-4.6 \cdot (X/L)$
$0.2L \leq x < 0.3L$	$0.92A$	-0.92
$0.3L \leq x < 0.4L$	$(9.2A-7) \cdot (0.4-(X/L))+0.7$	$-2.2(0.4-(X/L))-0.7$
$0.4L \leq x < 0.6L$	0.7	-0.7
$0.6L \leq x < 0.7L$	$3 \cdot ((X/L)-0.6)+0.7$	$-(10A-7) \cdot ((X/L)-0.6)-0.7$
$0.7L \leq x < 0.85L$	1	$-A$
$0.85L \leq x \leq L$	$6.67 \cdot (1-(X/L))$	$-6.67 \cdot A \cdot (1-(X/L))$

Çizelge 4.7'de yer alan A ifadesi 4.8'e göre hesaplanmaktadır.

$$A=(190 \cdot C_B)/(110 \cdot (C_B+0.7)) \quad (4.8)$$

Beş farklı gemi yüzeyi için, Bureau Veritas tarafından verilen ampirik formüller kullanılarak hesaplanmış olan dalga kaynaklı düşey kesme kuvveti değerleri, Çizelge 4.8 ile Çizelge 4.12 arasında gösterilmiştir.

Çizelge 4.8 L/B 5.25 için dalga kaynaklı düşey kesme kuvveti

						Pozitif	Negatif	Bureau Veritas	
								Dalga kaynaklı Kesme Kuvveti kN	
Model	x/L	n	C	C_B	A	F_Q	F_Q	+	-
1	0	1	8.24	0.66	0.84	0	0	0	0
	0.2	1	8.24	0.66	0.84	0.77	-0.92	6529.59	7801.87
	0.3	1	8.24	0.66	0.84	0.77	-0.92	6529.59	7801.87
	0.4	1	8.24	0.66	0.84	0.7	-0.7	5936.21	5936.21
	0.6	1	8.24	0.66	0.84	0.7	-0.7	5936.21	5936.21
	0.7	1	8.24	0.66	0.84	1	-0.84	8480.298	7097.38
	0.85	1	8.24	0.66	0.84	1	-0.84	8480.298	7097.38
	1	1	8.24	0.66	0.84	0	0	0	0

Çizelge 4.9 L/B 5.40 için dalga kaynaklı düşey kesme kuvveti

						Pozitif	Negatif	Bureau Veritas	
								Dalga kaynaklı Kesme Kuvveti kN	
Model	x/L	n	C	C _B	A	F _Q	F _Q	+	-
2	0	1	8.3	0.66	0.84	0	0	0	0
	0.2	1	8.3	0.66	0.84	0.77	-0.92	6770.87	8090.17
	0.3	1	8.3	0.66	0.84	0.77	-0.92	6770.87	8090.17
	0.4	1	8.3	0.66	0.84	0.7	-0.7	6155.56	6155.56
	0.6	1	8.3	0.66	0.84	0.7	-0.7	6155.56	6155.56
	0.7	1	8.3	0.66	0.84	1	-0.84	8793.66	7359.65
	0.85	1	8.3	0.66	0.84	1	-0.84	8793.66	7359.65
	1	1	8.3	0.66	0.84	0	0	0	0

Çizelge 4.10 L/B 5.56 için dalga kaynaklı düşey kesme kuvveti

						Pozitif	Negatif	Bureau Veritas	
								Dalga kaynaklı Kesme Kuvveti kN	
Model	x/L	n	C	C _B	A	F _Q	F _Q	+	-
3	0	1	8.38	0.66	0.84	0	0	0	0
	0.2	1	8.38	0.66	0.84	0.77	-0.92	7032.84	8403.18
	0.3	1	8.38	0.66	0.84	0.77	-0.92	7032.84	8403.18
	0.4	1	8.38	0.66	0.84	0.7	-0.7	6393.73	6393.73
	0.6	1	8.38	0.66	0.84	0.7	-0.7	6393.73	6393.73
	0.7	1	8.38	0.66	0.84	1	-0.84	9133.89	7644.39
	0.85	1	8.38	0.66	0.84	1	-0.84	9133.89	7644.39
	1	1	8.38	0.66	0.84	0	0	0	0

Çizelge 4.11 L/B 6.1 için dalga kaynaklı düşey kesme kuvveti

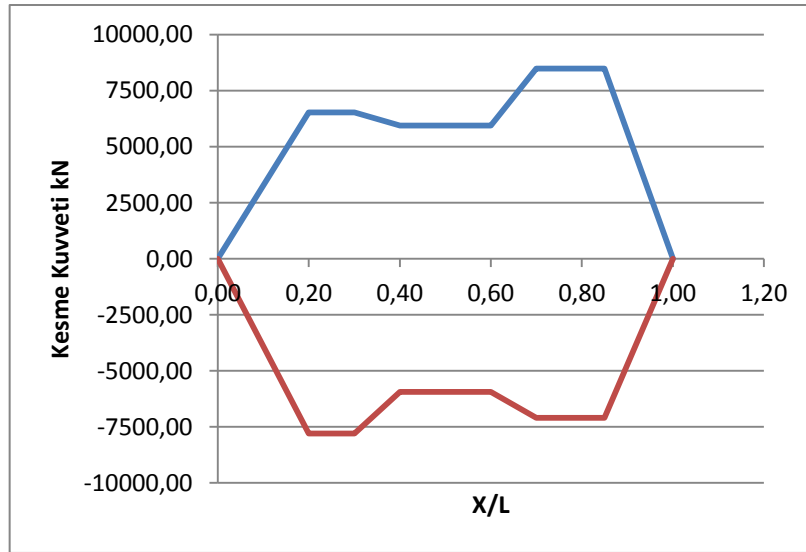
						Pozitif	Negatif	Bureau Veritas	
								Dalga kaynaklı Kesme Kuvveti kN	
Model	x/L	n	C	C _B	A	F _Q	F _Q	+	-
4	0	1	8.63	0.66	0.84	0	0	0	0
	0.2	1	8.63	0.66	0.84	0.77	-0.92	8097.65	9675.47
	0.3	1	8.63	0.66	0.84	0.77	-0.92	8097.65	9675.47
	0.4	1	8.63	0.66	0.84	0.7	-0.7	7361.77	7361.77
	0.6	1	8.63	0.66	0.84	0.7	-0.7	7361.77	7361.77
	0.7	1	8.63	0.66	0.84	1	-0.84	10516.81	8801.79
	0.85	1	8.63	0.66	0.84	1	-0.84	10516.81	8801.79
	1	1	8.63	0.66	0.84	0	0	0	0

Çizelge 4.12 L/B 6.12 için dalga kaynaklı düşey kesme kuvveti

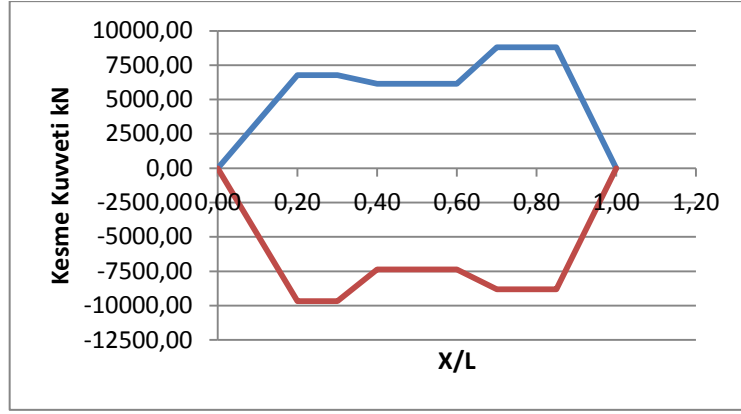
						Pozitif	Negatif	Bureau Veritas	
								Dalga kaynaklı Kesme Kuvveti kN	
Model	x/L	n	C	C _B	A	F _Q	F _Q	+	-
5	0	1	8.62	0.66	0.84	0	0	0	0
	0.2	1	8.62	0.66	0.84	0.77	-0.92	7957.73	9508.29
	0.3	1	8.62	0.66	0.84	0.77	-0.92	7957.73	9508.29
	0.4	1	8.62	0.66	0.84	0.7	-0.7	7234.57	7234.57
	0.6	1	8.62	0.66	0.84	0.7	-0.7	7234.57	7234.57
	0.7	1	8.62	0.66	0.84	1	-0.84	10335.09	8649.71
	0.85	1	8.62	0.66	0.84	1	-0.84	10335.09	8649.71
	1	1	8.62	0.66	0.84	0	0	0	0

4.3.1 Gemi Boyunca Hesaplanan Kesme Kuvveti Değerleri

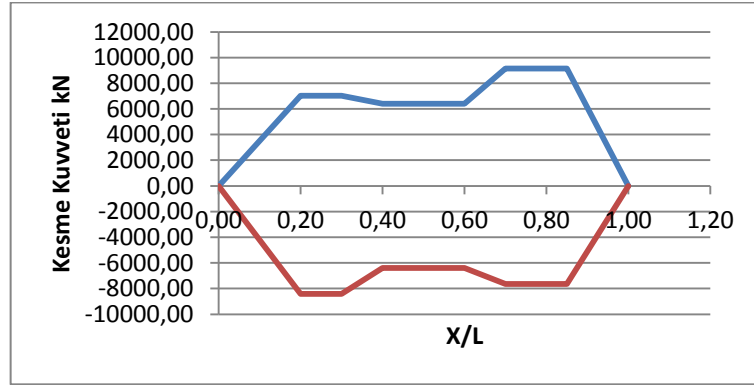
Gemi boyunca klas kurallarına göre hesaplanan kesme kuvveti değerleri Şekil 4.6-4.10 'da verilmiştir.



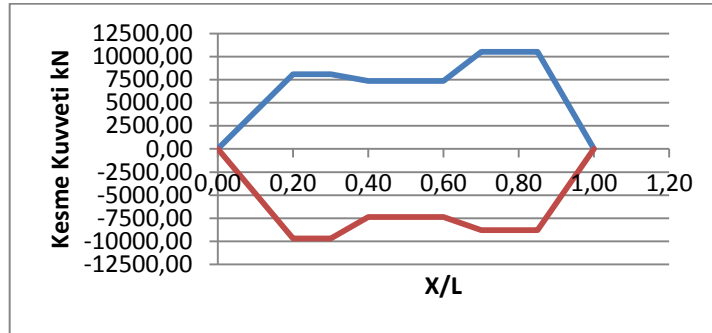
Şekil 4.6 L/B 5.25 için Klasa göre hesaplanan kesme kuvveti



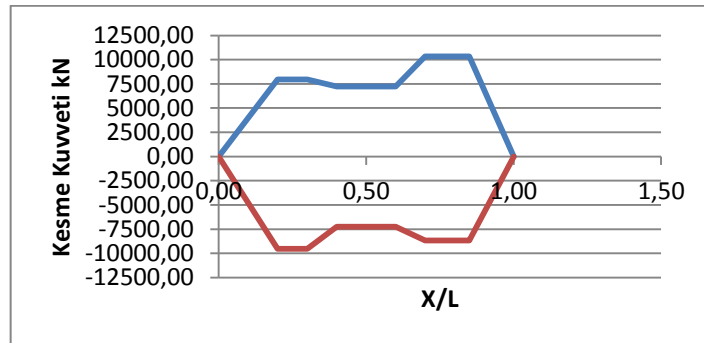
Şekil 4.7 L/B 5.40 için Klasa göre hesaplanan kesme kuvveti



Şekil 4.8 L/B 5.56 için Klasa göre hesaplanan kesme kuvveti



Şekil 4.9 L/B 6.10 için Klasa göre hesaplanan kesme kuvveti



Şekil 4.10 L/B 6.12 için Klasa göre hesaplanan kesme kuvveti

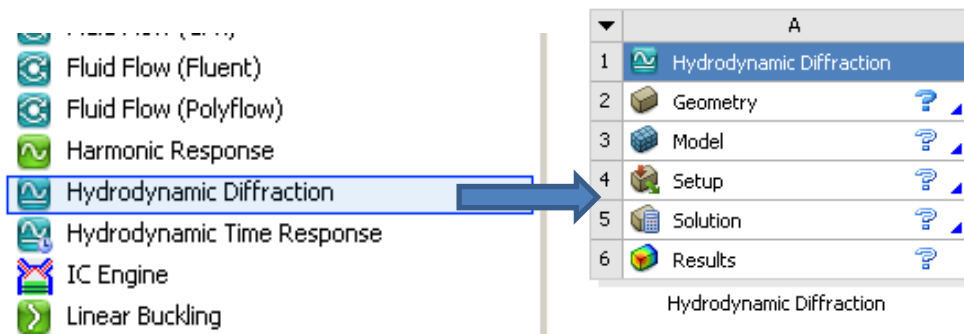
NÜMERİK YÖNTEME GÖRE DÜŞEY EĞİLME MOMENTİ VE KESME KUVVETİ HESABI

5.1 ANSYS AQWA

ANSYS AQWA, gemi gibi yüzen araçlar ile sabit okyanus yapılarına dalga, rüzgar, akıntı etkilerini hesaplamak için kullanılan ticari amaçlı paket programdır.

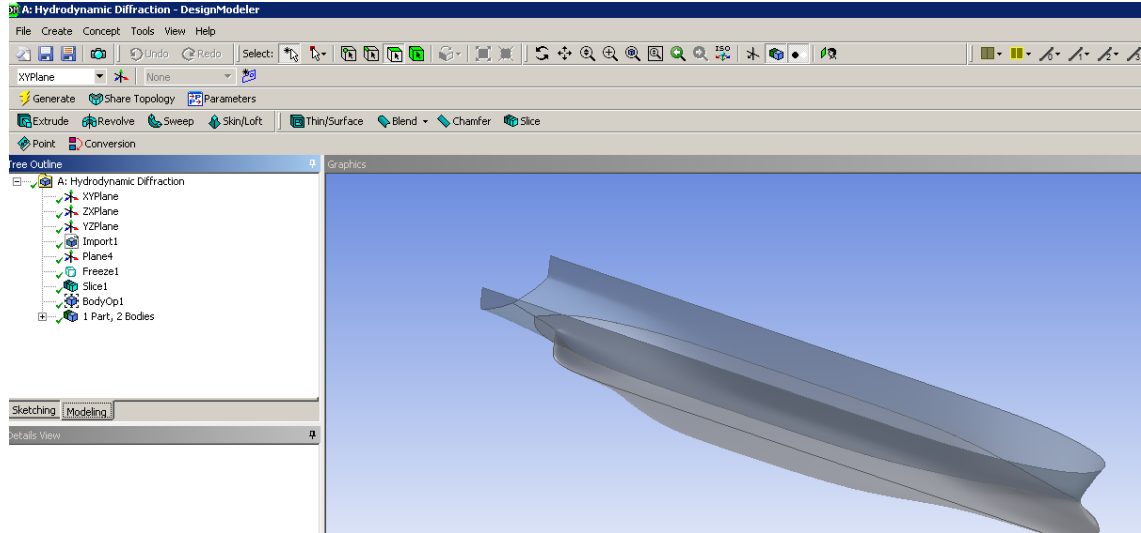
5.1.1 ANSYS AQWA Hydrodynamic Diffraction Modülü

Bu modül, ANSYS WORKBENCH üzerinde birleşik olarak çalışmaktadır. Geminin dalgalar arasındaki kompleks hareketlerini ve tepkisini hesaplamak için gerekli olan hidrodinamik parametreleri elde etmek amacı ile kullanılmaktadır. İkinci bölümde 2.98 denkleminde RAO ile ifade edilen transfer fonksiyonları bu modül içerisinde hesaplanabilmektedir. Şekil 5.1’de Workbench içerisinde hydrodynamic diffraction modülü gösterilmiştir.



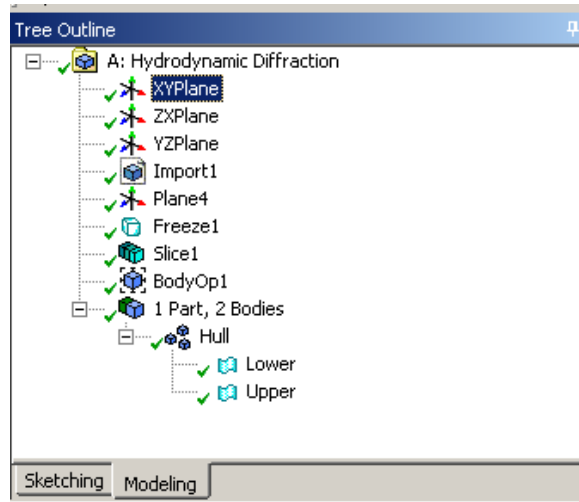
Şekil 5.1 ANSYS AQWA Hydrodynamic Diffraction Modülü

ANSYS AQWA Diffraction modülü, aynı zamanda gemi yüzeyinde oluşacak olan basınç dağılımını ve yapısal analizlerde kullanılabilecek ivme yüklerini hesaplamada da kullanılmaktadır.

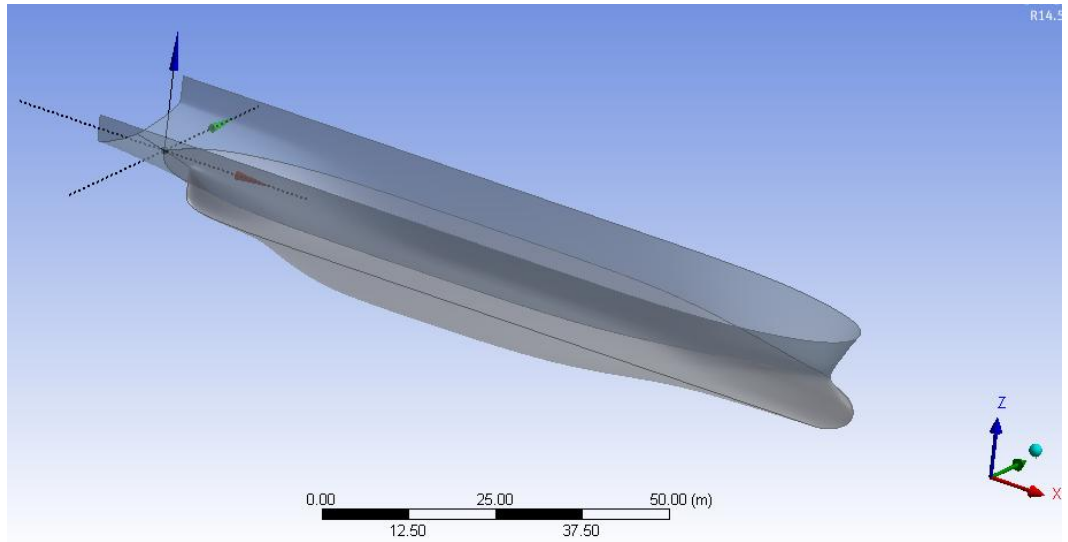


Şekil 5.2 ANSYS AQWA Geometri

Şekil 5.2’de ANSYS AQWA Hydrodynamic modülü içerisinde temel geometri oluşturulması için kullanılan ara kullanıcı yüzeyi gösterilmiştir. Geometri oluşturulması doğrudan bu ara yüz kullanılarak yapılabileceği gibi diğer cad programlarından sat, igs gibi farklı dosya biçimlerini kullanarak program içersine geometri datasını almak mümkündür. Rhino programı kullanılarak oluşturulmuş olan yüzey igs dosya biçimi kullanılarak, geometri bilgisi olarak program içine alınmıştır. ANSYS AQWA Hydrodynamic modülünde bu geometriyi kullanabilmek için Şekil 5.5’de görüldüğü gibi yüzeyin su hattından iki parçaya ayrılmış olması gerekmektedir. Bu sayede ANSYS AQWA ağ yapısı (mesh) oluştururken su hattı üzerine nodlar yerleştirmekte ve su hattını kesen bütün bir mesh oluşmamaktadır. Şekil 5.3’te yüzey üzerinde yapılan işlemler gösterilmiştir. Koordinat sistemi su hattı üzeindedir. Şekil 5.4’te koordinat sisteminin orijini gösterilmiştir.



Şekil 5.3 ANSYS AQWA Geometri ara yüzünde yapılan işlemler



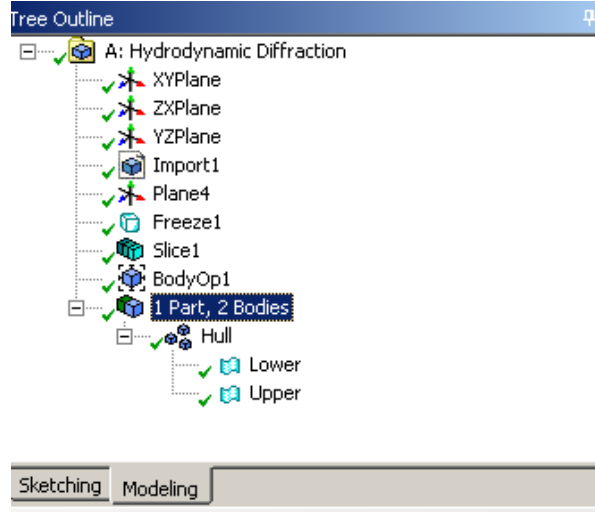
Şekil 5.4 ANSYS AQWA Geometri ara yüzünde kullanılan kartezyen koordinat sistemi



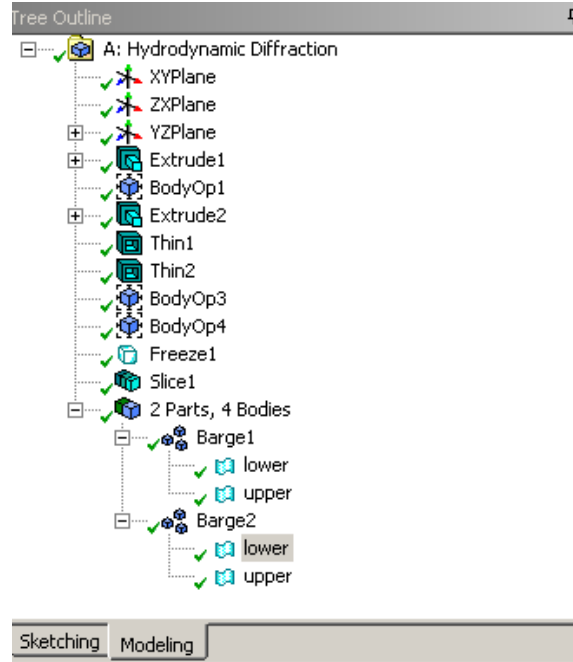
Şekil 5.5 ANSYS AQWA su hattı

Şekil 5.6'da iki parçaya ayrılmış olan yüzeyin ANSYS AQWA içerisinde kullanılabilmesi için tek parça altında toplandığı gösterilmiştir. ANSYS AQWA içerisinde aynı anda 5 farklı gemiye kadar, birbirleri arasındaki etkileşimleri de dikkate alacak şekilde hesap

yapabilmek mümkündür. Bu nedenle her bir geminin Şekil 5.7’de görüldüğü gibi ayrı başlıklar altında toplanması gerekmektedir.

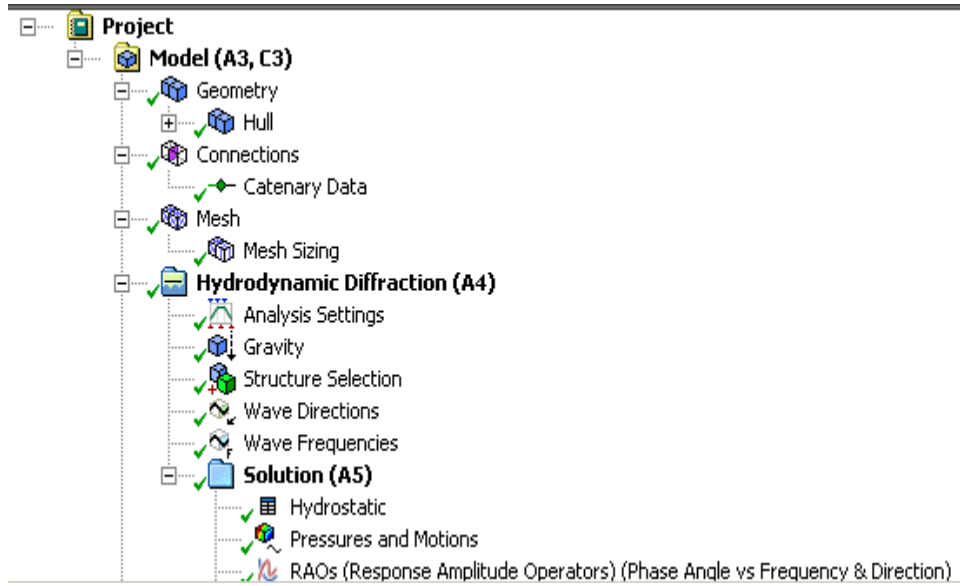


Şekil 5.6 Geminin geometri ara yüzünde tek bir başlık altında toplanması



Şekil 5.7 İki farklı Duba geometrisi için gerçekleştirilen işlemler

Şekil 5.1’de görülen model satırında yapılabilecek işlemler, Şekil 5.8’de gösterilmiştir. Geometri bölümünde hazırlanmış olan yüzeyin model bölümünde, ağ yapısı (mesh) oluşturulmaktadır.

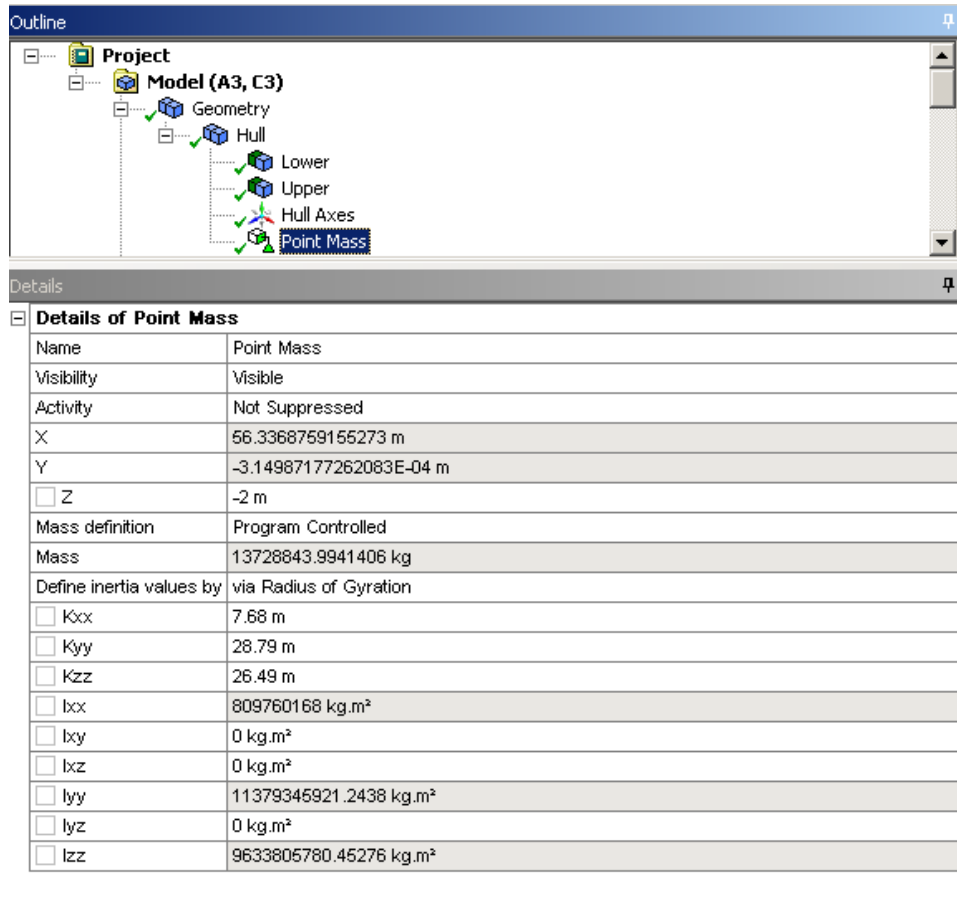


Şekil 5.8 Model bölümünde yüzeyin ağ yapısının oluşturulması

Details	
Details of Geometry	
Name	Geometry
Attached Assembly N...	
Sea Geometry	
☐ Water Level	0 m
☐ Water Depth	1000 m
Water Density	1025 kg/m ³
Water Size X	1000 m
Water Size Y	1000 m
Import Preferences	
Import Solid Bodies	No
Import Surface Bodies	Yes
Import Line Bodies	Yes

Şekil 5.9 Deniz Geometrisi ile ilgili özellikler

Şekil 5.9’da modelleme içerisinde denize ait özelliklerin girilebildiği pencereden alınmış bir resim gösterilmiştir. Buradaki özelliklerin değiştirilmesi ile sığ su yada derin su için hesapları yapmak mümkündür.



Şekil 5.10 Geminin ağırlık ve ağırlık merkezi ile jirasyon yarıçaplarının tanımlanması

$$I_{xx} = k_{xx}^2 \cdot \rho \cdot V \quad (5.1)$$

$$I_{yy} = k_{yy}^2 \cdot \rho \cdot V \quad (5.2)$$

$$I_{zz} = k_{zz}^2 \cdot \rho \cdot V \quad (5.3)$$

Geminin gerçek ağırlık dağılımı bilinmediği takdirde, jirasyon yarıçapları çizelge 5.1’de görüldüğü gibi alınabilir [24].

Çizelge 5.1 Gemi Ağırlık dağılımı bilinmediği durumlarda kabul edilebilecek jirasyon yarıçapları

k_{xx}	$0.3 \cdot B - 0.4 \cdot B$
k_{yy}	$0.22 \cdot L - 0.28 \cdot L$
k_{zz}	$0.22 \cdot L - 0.28 \cdot L$

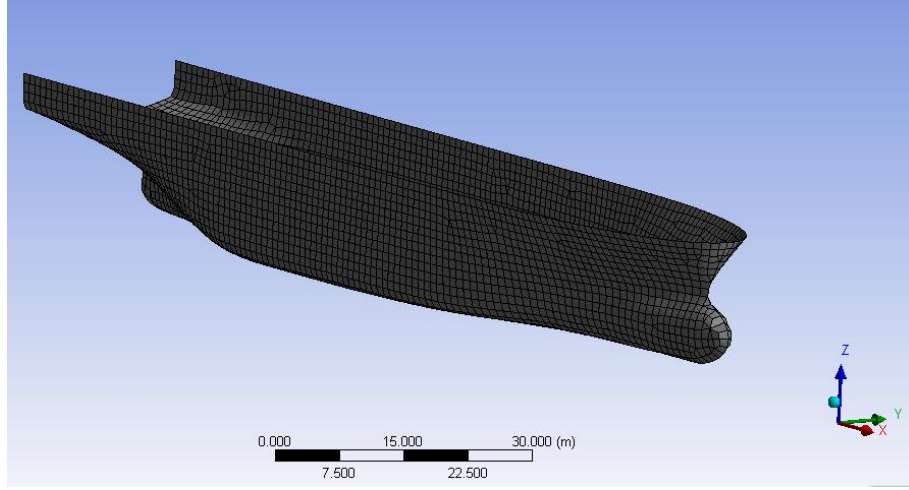
Çizelge 5.1’de görülen “B” gemi genişliğini ve “L” ise gemi boyunu ifade etmektedir.

Bureau Veritas, yalpa jirasyon yarıçapı için 5.4 denklemini önermektedir [24]:

$$K_{xx}=0.289*B*[1+[\frac{2*KG}{B}]^2] \quad (5.4)$$

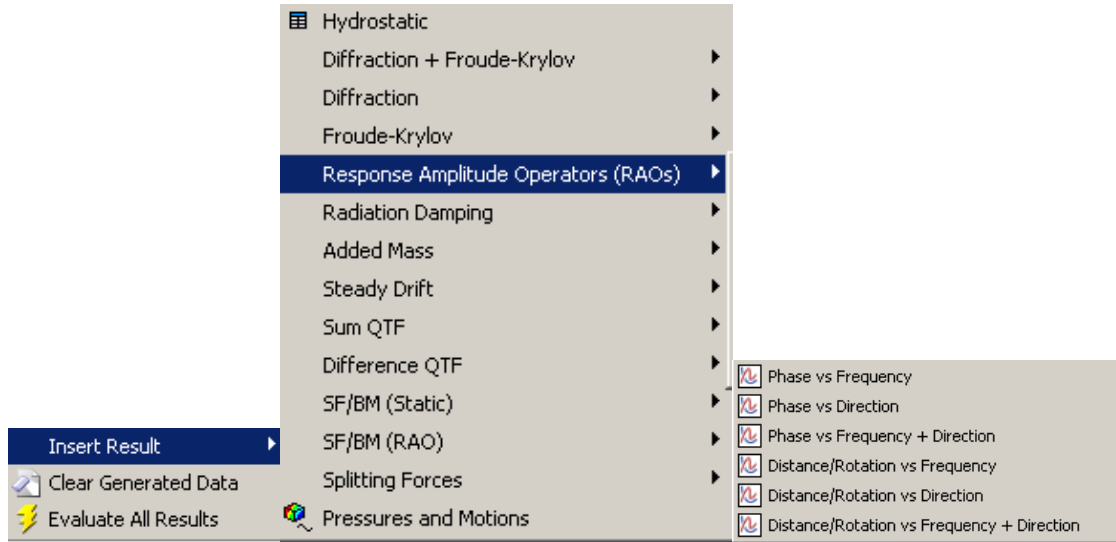
5.4 denkleminde yer alan KG, ağırlık merkezinin kaide hattından olan mesafesini göstermektedir. Ansys AQWA içerisinde jirasyon yarıçapı değerleri Şekil 5.10’da görüldüğü gibi programa veri olarak girilmektedir.

Şekil 5.11’de ANSYS AQWA model kısmında oluşturulan ağ yapısı(mesh) gösterilmiştir.



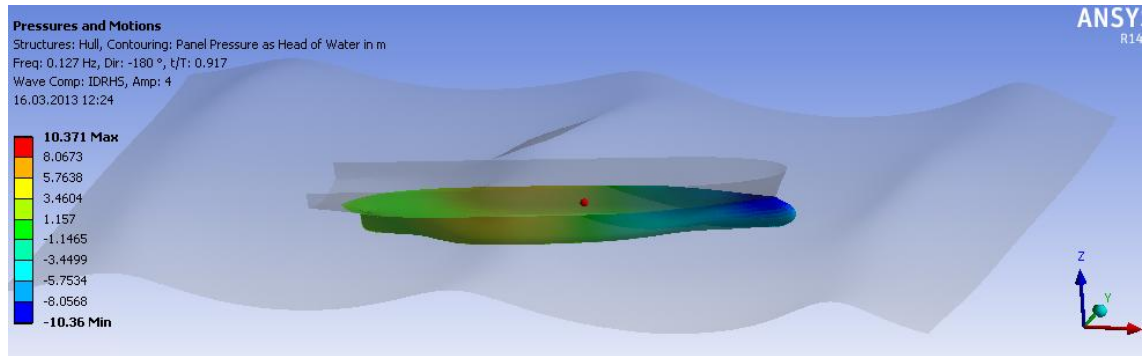
Şekil 5.11 Oluşturulan Ağ yapısı

ANSYS AQWA Hydrodynamic Diffraction modülü içerisinde elde edilebilecek çözümlerin bazıları Şekil 5.12’de gösterilmiştir.



Şekil 5.12 Hydrodynamic Diffraction modülü içerisinde elde edilebilecek çözümlerin bazıları

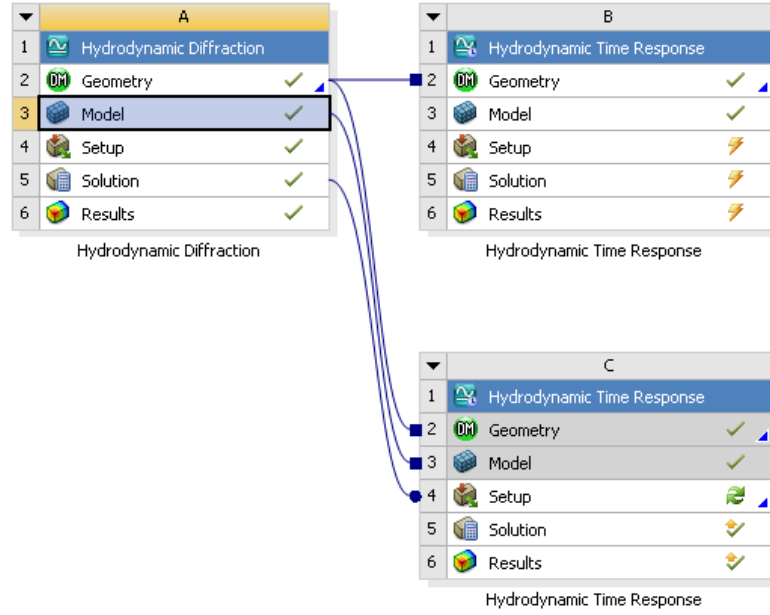
ANSYS AQWA içerisinde Şekil 5.13'te görüldüğü gibi basınç dağılımını elde etmek mümkündür. Burada hesaplanan basınç dağılımı daha sonra yapısal mukavemet elemanlarının analizleri için ANSYS WORKBENCH içerisinde kullanılabilir.



Şekil 5.13 Ansys AQWA Basınç dağılımı

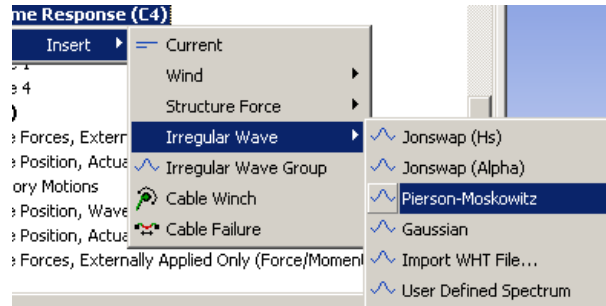
5.1.2 ANSYS AQWA Hydrodynamic Time Response Modülü

ANSYS AQWA Hydrodynamic Diffraction modülü içerisindeki hesaplar tamamlandıktan sonra bu modülde elde edilen çözümler zamana bağlı analizlerin gerçekleştirilmesinde kullanılmaktadır. Şekil 5.14'te Hydrodynamic diffraction modülü ile Hydrodynamic time response modülleri arasındaki data alışverişi gösterilmiştir.



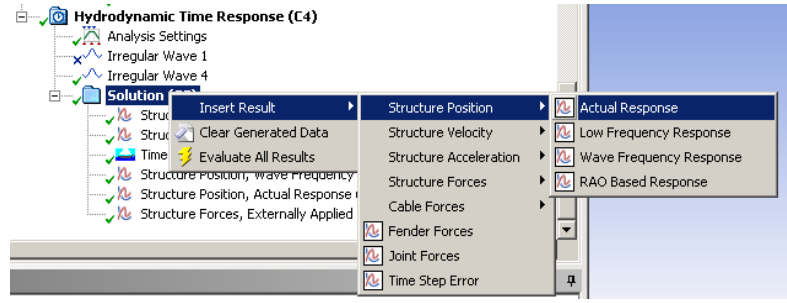
Şekil 5.14 Hydrodynamic diffraction modülü ile Hydrodynamic time response modülleri arasındaki data alışverişi

Hydrodynamic Time Response modülünde eklenebilecek çevresel faktörler için akıntı, rüzgar, dış kuvvetler ile düzensiz dalgaları temsil etmek üzere dalga spektrumları tanımlamak mümkündür. Eklenebilecek dalga spektrumları Şekil 5.15’de gösterilmiştir.



Şekil 5.15 Tanımlanabilecek dalga spektrumları

Şekil 5.16’da Hydrodynamic Time Response modülünde gerçekleştirilebilecek analizlere ait bir resim gösterilmiştir.

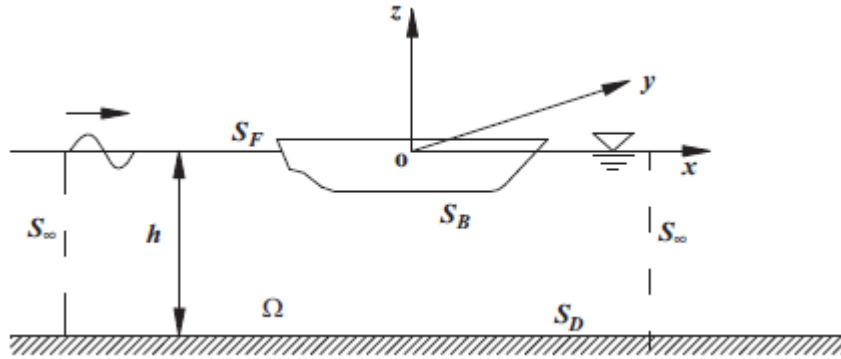


Şekil 5.16 Hydrodynamic Time Reponse modülünde gerçekleştirilebilecek analizler

5.1.3 ANSYS AQWA 3D Panel Metodu

ANSYS AQWA, gemi hareketlerini lineer potansiyel teoriyi kullanarak ve sıfır hızda Green fonksiyonları ile potansiyelleri çözerek hesaplamaktadır. AQWA ayrıca, ileri hızlar için dilim teoriye benzer bir hız düzeltmesi yapmaktadır. Karşılaşılan dalgaların genliklerinin gemi boyu ile karşılaştırıldığında küçük olduğu kabülü yapılmakta olup, hareketlerin harmonik olduğu kabülü ile çözümler frekans bazında elde edilmektedir.

Üç boyutlu yüzen bir cisim için, dalgaların yayılması ve bir yüzeye çarpıp geri kırılma problemlerini göz önüne alalım. Bu problem için sağ el kartezyen koordinat sistemine uygun olarak xy düzlemi serbest su düzlemi ile çakışık, z eksenine ise yukarıyı göstermektedir. Şekil 5.17’de kabül edilen koordinat sistemi gösterilmiştir.



Şekil 5.17 Koordinat sistemi ve Sınır koşulları[26]

Akışkanın viskoz olmayan, sıkıştırılamaz, homojen olduğu ve hareketin de dönmediği kabul edilmektedir. Akışkanın toplam hız potansiyeli 5.5’de görüldüğü gibi yazılabilir [26]:

$$\Phi(x,y,z,t)= \Phi_I(x,y,z,t)+ \Phi_S(x,y,z,t) \quad (5.5)$$

5.5 denkleminde yer alan Φ_I gelen dalgaya ait potansiyel ve Φ_S ise; gemi yüzeyi ile karşılaşan dalga'nın geri kırılmasını da içeren saçılma potansiyelini ifade etmektedir. Saçılma potansiyeli Φ_S için, ilk değer problemi Laplace denklemi, sınır koşulları ve ilk değerler ile belirtilmektedir [26].

$$\nabla^2 \Phi_S = 0 \quad \Omega \text{ bölgesi için} \quad (5.6)$$

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial t^2} + g * \frac{\partial \phi_S}{\partial z} = 0 \quad \text{Serbest yüzey } S_F \text{ için} \quad (5.7)$$

Lineerleştirilmiş serbest yüzey koşulu;

$$\frac{\partial \phi}{\partial z} - \frac{w^2}{g} * \phi = 0 \quad \text{Serbest yüzey } S_F \text{ için} \quad (5.8)$$

$$\frac{\partial \phi_S}{\partial n} = V_n - \frac{\partial \phi_I}{\partial n} \quad \text{Islak yüzey } S_B \quad (5.9)$$

$$\frac{\partial \phi_S}{\partial n} = 0 \quad \text{Deniz yatağında } S_D \quad (5.10)$$

$$\Phi_S, \Phi_{St}, \nabla \Phi_S = 0 \quad S_\infty \text{ için} \quad (5.11)$$

$$\Phi_S = 0 \quad \Phi_{St} = 0 \quad t=0 \text{ için } S_F \text{ 'de} \quad (5.12)$$

$$\frac{\partial \phi}{\partial z} = 0 \quad Z=-h(\text{sığ sular için}) \quad (5.13)$$

Sonsuz derinlikteki bir deniz için, 5.9 denkleminde $\nabla \phi = 0$ olur $z \rightarrow \infty$

Yukarıdaki denklemlerde g yerçekimi ivmesi, Ω akışkan domaini, S_F ana serbest yüzey, S_B ıslak yüzey, S^∞ sonsuz sınır, S_D deniz yatağındaki dip sınır koşuludur. Gemiye ait ıslak yüzey(S_B) üzerindeki n normal vektörü, akışkanı işaret edecek şekilde tanımlanır ve V_n cismin normal yöndeki hızıdır [26].

Brinci sıra potansiyellerin lineer superpozisyonu denklem 5.14'de gösterilmiştir [26].

$$\phi = \varphi * e^{-i*w*t} = [(\varphi_I + \varphi_d) + \sum_{j=1}^6 \varphi_j x_j] * e^{-i*w*t} \quad (5.14)$$

5.14 denkleminde I indisi yaklaşan dalgaları, d yüzeye çarpan ve geri yansıyan dalgaları ifade etmektedir. $j:1..6$ 'ya kadar altı serbestlik derecesinde yayılan dalgaları ve X_j birim dalga genliği için yapının hareketini göstermektedir [26].

İleri hızdaki etkileri dikkate almak için 5.15 denklemini kullanılmaktadır [25].

$$W_e = w - \frac{w^2}{g} * V * \cos \beta \quad (5.15)$$

Sonlu h derinlik için, yaklaşan dalgaların potansiyeli 5.16 denkleminde görüldüğü gibi yazılabilir [25]:

$$\varphi_I * = \frac{-i * g * \xi * \cosh[k(z + h)] * e^{ik(x*\cos\theta + y*\sin\theta + \alpha)*e^{-i*w*t}}}{w * \cosh(kd)} \quad (5.16)$$

5.16 denkleminde k dalga sayısıdır. Zamana bağlı Green fonksiyonları 5.17'deki gibi yazılabilir [26]:

$$G_1(x, x_0, t) = G_1^0(x; x_0) \partial(t) + G_1^f(x, x_0, t) H(t) \quad (5.17)$$

Sonlu bir derinlik için 5.18, 5.19 denklemleri yazılabilir [26]:

$$G_1^0 = \frac{1}{r} + \frac{1}{r_2} - 2 \int_0^\infty e^{-kh} \frac{\cosh k(z_0+h)}{\cosh kh} \cosh k(z+h) j_0(kR) dk \quad (5.18)$$

$$G_1^f = 2 \int_0^\infty \frac{\sqrt{gk \tanh kh} \cosh k(z+h) \cosh k(z_0+h)}{\cosh kh \sinh kh} \sin[t \sqrt{gk \tanh kh}] j_0(kR) dk \quad (5.19)$$

$$R^2 = (x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 \quad (5.20)$$

$$r^2 = (x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 + (z - z_0)^2 \quad (5.21)$$

$$r_1^2 = (x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 + (z + z_0)^2 \quad (5.22)$$

$$r_2^2 = (x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 + (2h + z + z_0)^2 \quad (5.23)$$

5.17 denkleminde bulunan $\delta(t)$ delta fonksiyonu, $H(t)$ birim adım fonksiyonu, J_0 Bessel Fonksiyonunun sıfırıncı sırası, G_1^0 Rankine terimi, G_1^f Green fonksiyonunun zamana bağlı terimi, x (x, y, z) alan noktalarını, x_0 (x_0, y_0, z_0) kaynak noktalarını, h su derinliğini göstermektedir [26].

Gemi yüzeyinde hız potansiyeli 5.24' teki denkleme göre türetilebilir [26].

$$\alpha \phi_S(X, t) + \iint_{SB} \phi_S(x_0, t) \frac{\partial G_1^0(x, x_0)}{\partial n} dS = \iint_{SB} \frac{\partial \phi_S(x_0, t)}{\partial n} G_1^0(x, x_0) dS + \quad (5.24)$$

$$0 t d\tau S B \partial \phi_S x_0, t \partial n G_1^f x, x_0, t - \tau - \phi_S x_0, t \partial G_1^f x, x_0, t - \tau \partial n dS + 1 g 0 t d\tau$$

$$r(\phi_S \tau(x_0, t))$$

$$G_1^f(x, x_0, t - \tau) - \phi_S(x_0, t) G_{1\tau}^f(x, x_0, t - \tau) V_N dl$$

5.24 denkleminde bulunan τ cisim ile serbest yüzey arasındaki kesişimi, N cismin serbest yüzeydeki birim normalini, V_N N yönündeki τ 'nın hızını göstermektedir. Denklem 5.24 hem sonsuz derinlikli hem de derinliği sınırlı olan denizler için kullanılabilir. 5.24 denkleminin türetilmesine ilişkin detaylı bilgi Lin ve Yue tarafından 1990 yılında yapılan çalışmada bulunabilir [27].

Lineer olmayan veya genliği büyük olan gemi hareketlerinde hem ıslak gemi yüzeyi hem de su hattı zamana bağlıdır. Gemi yüzeyinde her bir panelin kaynak şiddetinin değişmediği kabul edilmektedir [26].

$$\frac{\partial \varphi(x, y, z)}{\partial n} = -\frac{1}{2}\sigma(x, y, z) + \frac{1}{4\pi} \iint_S \sigma \frac{\partial G(x, y, z; \xi, \eta, \zeta)}{\partial n} ds \quad (5.25)$$

Dalgalar arasındaki geminin tepkisi, 5.26 denkleminin çözümü ile bulunmaktadır.

$$[-w^2(M_s + M_a(w)) - iwC(w) + K]X(w) = F(w) \quad (5.26)$$

5.26 denkleminde M_s geminin kütlesi, M_a frekansa bağlı olarak ilave kütle, C frekansa bağlı olarak sönümleme, K hidrostatik katsayı, F dalga kuvveti(gelen ve yansıyan) dir.

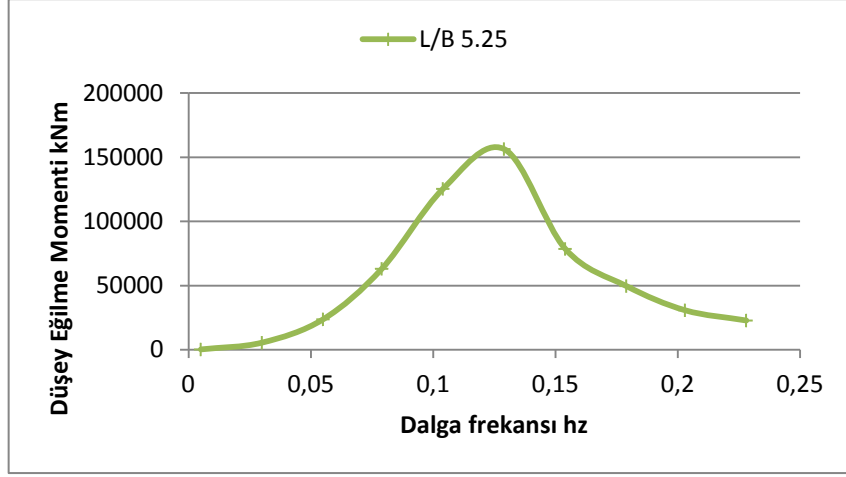
5.2 Dalga Kaynaklı Düşey Eğilme Momenti Hesap Sonuçları

5.2.1 Düzenli Dalgalarda Hesap Sonuçları

Düzenli dalgalarda dalga kaynaklı düşey eğilme momenti değerleri ANSY AQWA Hydrodynamic diffraction modülü kullanılarak hesaplanmıştır.

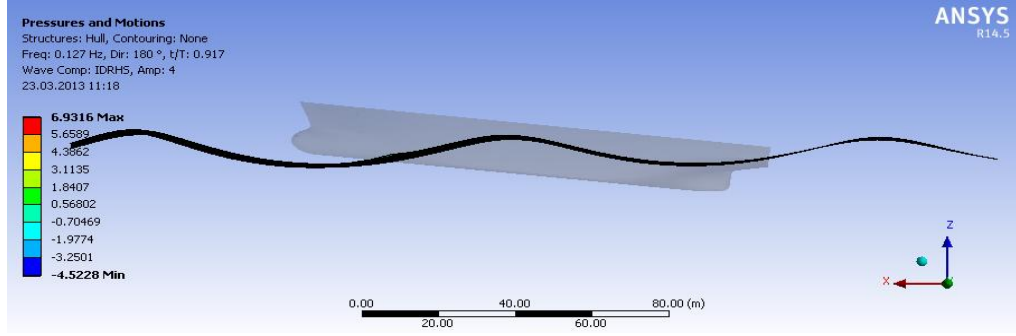
5.2.1.1 L/B oranı 5.25 olan Gemi için Hesap Sonuçları

Dalga frekansına bağlı olarak hesaplanmış olan dalga kaynaklı düşey eğilme momenti frekansa bağlı olarak Şekil 5.18’de ve gemi boyunca dağılımı ise Şekil 5.20’de gösterilmiştir. Çizelge 5.2’de frekansa bağlı dalga boyu ve eğilme momenti değerleri verilmiştir.



Şekil 5.18 L/B oranı 5.25 olan gemi için frekansa bağlı dalga kaynaklı düşey eğilme momenti

Frekans değeri 0.127 Hz için dalga profili Şekil 5.19’da gösterilmiştir.



Şekil 5.19 L/B oranı 5.25 için 0.127 Hz’ de elde edilen dalga profili

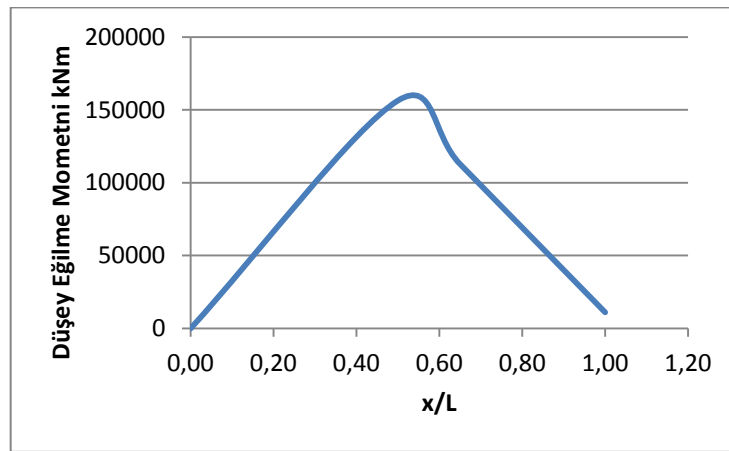
Çizelge 5.2 L/B oranı 5.25 için frekansa bağlı dalga boyu ve eğilme momenti

Frekans hz	Frekans rad/s	Dalga Sayısı k	Dalga Boyu m	Eğilme Momenti kNm
0.005	0.031416	0.000	62452.4	1.36E+02
0.03	0.188496	0.004	1734.7889	5.41E+03
0.055	0.345575	0.012	516.13554	2.36E+04
0.079	0.496372	0.025	250.16984	6.30E+04
0.104	0.653451	0.044	144.35189	1.25E+05
<u>0.129</u>	<u>0.810531</u>	<u>0.067</u>	<u>93.823087</u>	<u>1.56E+05</u>
0.154	0.967611	0.095	65.833614	7.85E+04
0.179	1.12469	0.129	48.728504	4.95E+04
0.203	1.275487	0.166	37.887597	3.07E+04
0.228	1.432566	0.209	30.034434	2.27E+04

Gemi boyunca hesaplanan dalga kaynaklı düşey eğilme momenti değerleri Çizelge 5.3'te gösterilmiştir.

Çizelge 5.3 L/B oranı 5.25 için gemi boyunca hesaplanan eğilme momenti

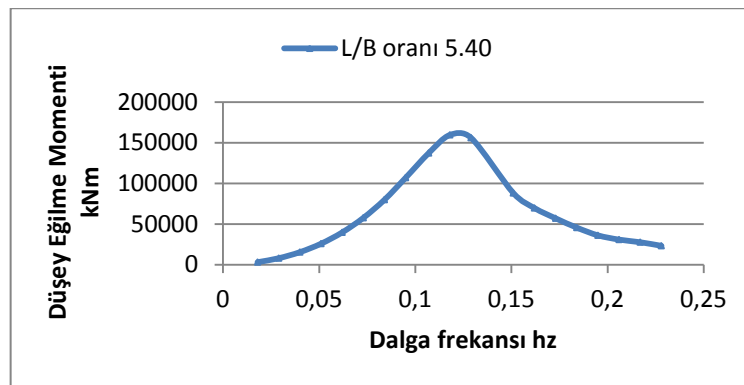
x m	Eğilme Momenti kNm
0.00	0
57.59	1.56E+05
74.86	1.13E+05
115.17	11060.96



Şekil 5.20 L/B oranı 5.25 için gemi boyunca hesaplanan düşey eğilme momenti

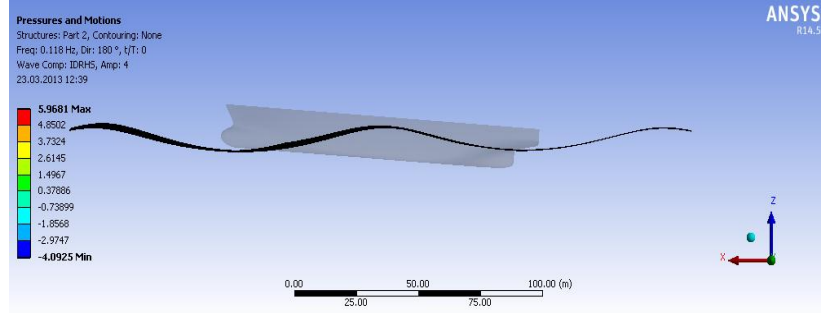
5.2.1.2 L/B oranı 5.40 olan Gemi için Hesap Sonuçları

Dalga frekansına bağlı olarak hesaplanmış olan dalga kaynaklı düşey eğilme momenti Şekil 5.21'de ve gemi boyunca dağılımı ise Şekil 5.23'te gösterilmiştir. Çizelge 5.4'te frekansa bağlı dalga boyu ve eğilme momenti değerleri verilmiştir.



Şekil 5.21 L/B oranı 5.40 için frekansa karşılık hesaplanan düşey eğilme momenti

Frekans değeri 0.118 Hz için dalga profili Şekil 5.22’de gösterilmiştir.



Şekil 5.22 L/B oranı 5.40 için 0.118 Hz’ de elde edilen dalga profili

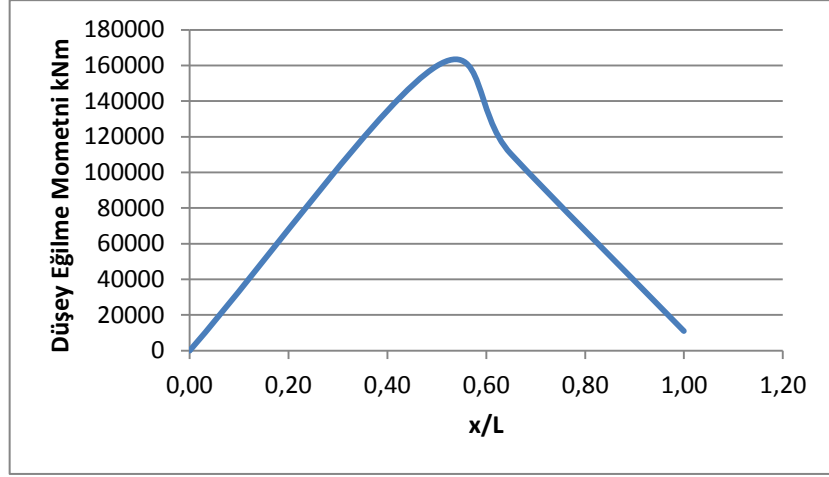
Çizelge 5.4 L/B oranı 5.40 için frekansa bağlı dalga boyu ve eğilme momenti

Frekans hz	Frekans rad/s	Dalga Sayısı k	Dalga Boyu m	Eğilme Momenti kNm
0.018	0.113097	0.001	4818.858	2.99E+03
0.029	0.182212	0.003	1856.4923	7.88E+03
0.04	0.251327	0.006	975.81875	1.53E+04
0.051	0.320442	0.010	600.27297	2.58E+04
0.062	0.389557	0.015	406.16805	3.96E+04
0.073	0.458673	0.021	292.98367	5.76E+04
0.084	0.527788	0.028	221.27409	7.99E+04
0.095	0.596903	0.036	172.99834	1.07E+05
0.107	0.672301	0.046	136.37086	1.37E+05
<u>0.118</u>	<u>0.741416</u>	<u>0.056</u>	<u>112.13085</u>	<u>1.60E+05</u>
0.129	0.810531	0.067	93.823087	1.56E+05
0.14	0.879646	0.079	79.658673	1.26E+05
0.151	0.948761	0.092	68.475505	8.81E+04
0.162	1.017876	0.106	59.492074	6.96E+04
0.173	1.086991	0.120	52.167129	5.70E+04
0.184	1.156106	0.136	46.116198	4.55E+04
0.195	1.225221	0.153	41.060092	3.60E+04
0.206	1.294336	0.171	36.79211	3.08E+04
0.217	1.363451	0.190	33.156576	2.76E+04
0.228	1.432566	0.209	30.034434	2.31E+04

Gemi boyunca hesaplanan dalga kaynaklı düşey eğilme momenti değerleri Çizelge 5.5’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.5 L/B oranı 5.40 için gemi boyunca hesaplanan eğilme momenti

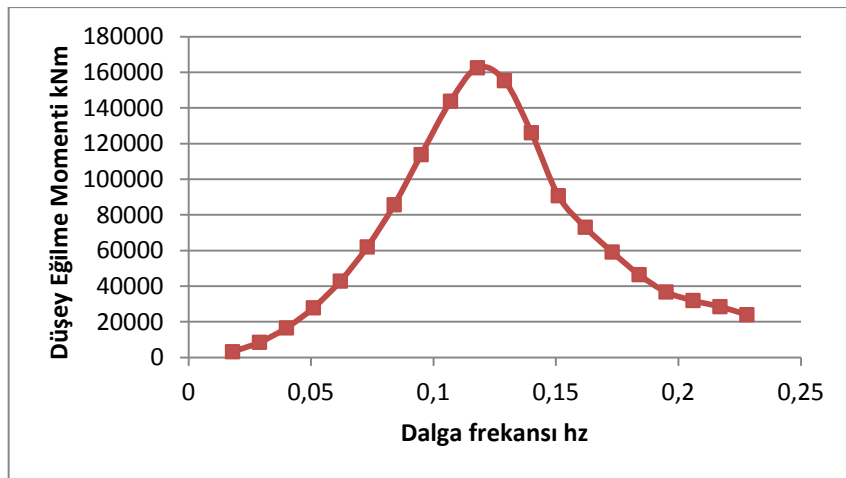
x m	Eğilme Momenti kNm
0.00	0
59.23	1.60E+05
77.00	1.10E+05
118.46	1.10 E+04



Şekil 5.23 L/B oranı 5.40 için gemi boyunca hesaplanan düşey eğilme momenti

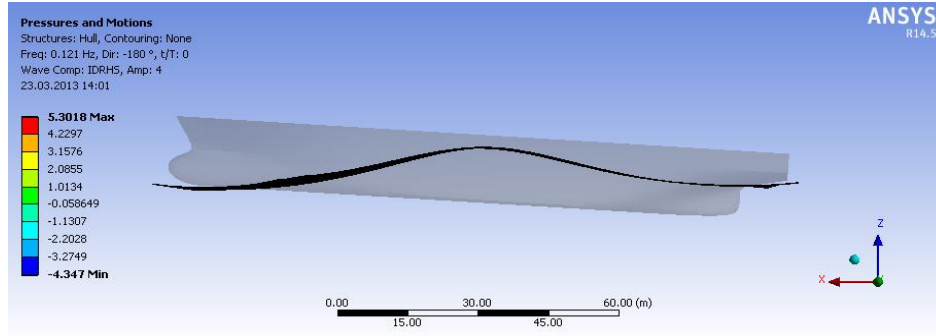
5.2.1.3 L/B oranı 5.56 olan Gemi için Hesap Sonuçları

Dalga frekansına bağlı olarak hesaplanmış olan dalga kaynaklı düşey eğilme momenti Şekil 5.24'te ve gemi boyunca dağılımı ise Şekil 5.26'da gösterilmiştir. Çizelge 5.6'da frekansa bağlı dalga boyu ve eğilme momenti değerleri verilmiştir.



Şekil 5.24 L/B oranı 5.56 için frekansa karşılık hesaplanan düşey eğilme momenti

Frekans değeri 0.121 Hz için dalga profili Şekil 5.25'te gösterilmiştir.



Şekil 5.25 L/B oranı 5.56 için 0.121 hz' de elde edilen dalga profili

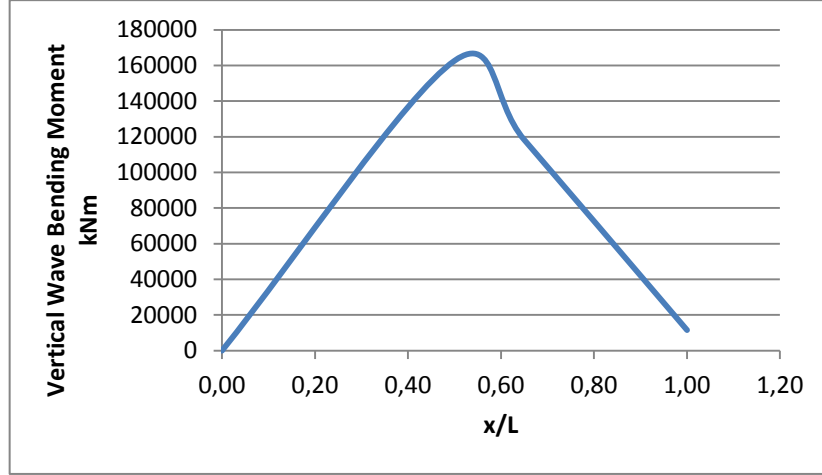
Çizelge 5.6 L/B oranı 5.56 için frekansa bağlı dalga boyu ve eğilme momenti

Frekans hz	Frekans rad/s	Dalga Sayısı k	Dalga Boyu m	Eğilme Momenti kNm
0.018	0.113097335	0.001	4818.858	3.24E+03
0.029	0.182212374	0.003	1856.492	8.54E+03
0.04	0.251327412	0.006	975.8187	1.66E+04
0.051	0.32044245	0.010	600.273	2.79E+04
0.062	0.389557489	0.015	406.1681	4.29E+04
0.073	0.458672527	0.021	292.9837	6.21E+04
0.084	0.527787565	0.028	221.2741	8.57E+04
0.095	0.596902604	0.036	172.9983	1.14E+05
0.107	0.672300827	0.046	136.3709	1.44E+05
<u>0.118</u>	<u>0.741415865</u>	<u>0.056</u>	<u>112.1309</u>	<u>1.63E+05</u>
0.129	0.810530904	0.067	93.82309	1.55E+05
0.14	0.879645942	0.079	79.65867	1.26E+05
0.151	0.94876098	0.092	68.47551	9.08E+04
0.162	1.017876019	0.106	59.49207	7.31E+04
0.173	1.086991057	0.120	52.16713	5.92E+04
0.184	1.156106095	0.136	46.1162	4.65E+04
0.195	1.225221134	0.153	41.06009	3.68E+04
0.206	1.294336172	0.171	36.79211	3.20E+04
0.217	1.36345121	0.190	33.15658	2.85E+04
0.228	1.432566248	0.209	30.03443	2.40E+04

Gemi boyunca hesaplanan dalga kaynaklı düşey eğilme momenti değerleri Çizelge 5.7'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.7 L/B oranı 5.56 için gemi boyunca hesaplanan eğilme momenti

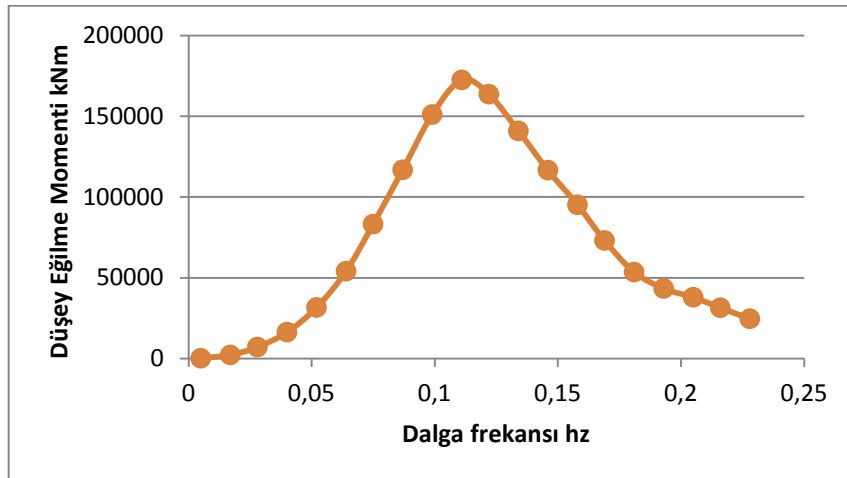
x m	Eğilme Momenti kNm
0.00	0.00E+00
61.00	1.63E+05
79.30	1.18E+05
122.00	1.16E+04



Şekil 5.26 L/B oranı 5.56 için gemi boyunca hesaplanan düşey eğilme momenti

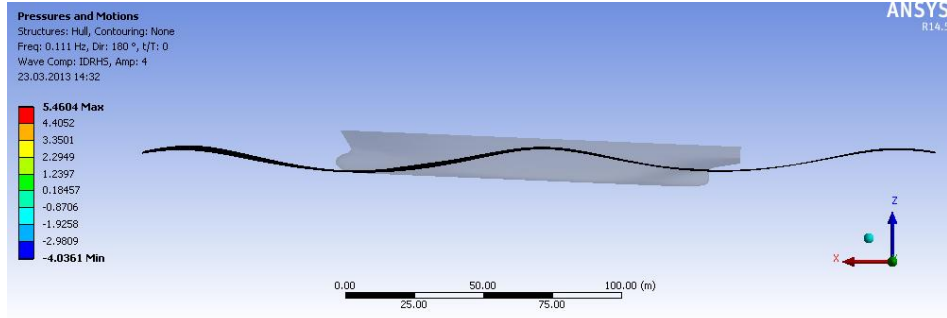
5.2.1.4 L/B oranı 6.10 olan Gemi için Hesap Sonuçları

Dalga frekansına bağlı olarak hesaplanmış olan dalga kaynaklı düşey eğilme momenti Şekil 5.27’de ve gemi boyunca dağılımı ise Şekil 5.29’da gösterilmiştir. Çizelge 5.8’de frekansa bağlı dalga boyu ve eğilme momenti değerleri verilmiştir.



Şekil 5.27 L/B oranı 6.10 için frekansa karşılık hesaplanan düşey eğilme momenti

Frekans değeri 0.111 Hz için dalga profili Şekil 5.25’de gösterilmiştir.



Şekil 5.28 L/B oranı 6.10 için 0.111 hz’ de elde edilen dalga profili

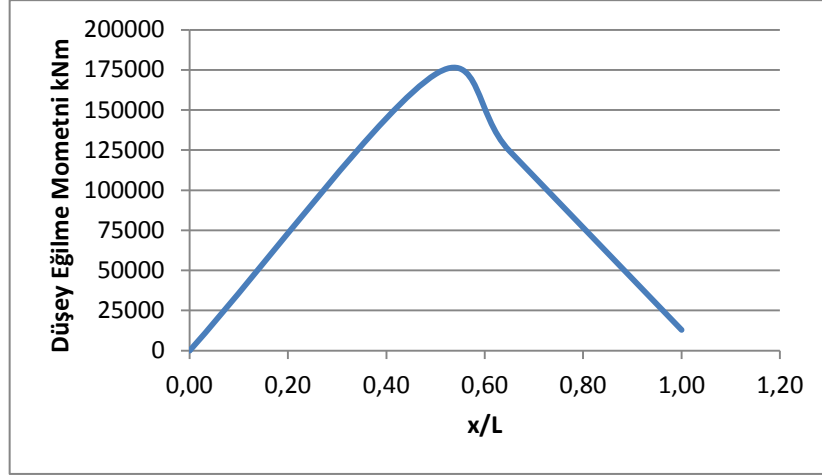
Çizelge 5.8 L/B oranı 6.10 için frekansa bağlı dalga boyu ve eğilme momenti

Frekans hz	Frekans rad/s	Dalga Sayısı k	Dalga Boyu m	Eğilme Momenti kNm
0.005	0.031	0.000	62452.4	1.91E+02
0.017	0.107	0.001	5402.457	2.24E+03
0.028	0.176	0.003	1991.467	7.11E+03
0.04	0.251	0.006	975.8187	1.63E+04
0.052	0.327	0.011	577.4075	3.16E+04
0.064	0.402	0.016	381.1792	5.41E+04
0.075	0.471	0.023	277.5662	8.32E+04
0.087	0.547	0.030	206.2769	1.17E+05
0.099	0.622	0.039	159.3011	1.51E+05
<u>0.111</u>	<u>0.697</u>	<u>0.050</u>	<u>126.7194</u>	<u>1.72E+05</u>
0.122	0.767	0.060	104.8985	1.64E+05
0.134	0.842	0.072	86.95199	1.41E+05
0.146	0.917	0.086	73.24592	1.17E+05
0.158	0.993	0.100	62.54246	9.52E+04
0.169	1.062	0.115	54.6658	7.31E+04
0.181	1.137	0.132	47.65758	5.35E+04
0.193	1.213	0.150	41.91549	4.34E+04
0.205	1.288	0.169	37.15193	3.79E+04
0.216	1.357	0.188	33.46429	3.14E+04
0.228	1.433	0.209	30.03443	2.47E+04

Gemi boyunca hesaplanan dalga kaynaklı düşey eğilme momenti değerleri çizelge 5.9’da gösterilmiştir.

Çizelge 5.9 L/B oranı 6.10 için gemi boyunca hesaplanan eğilme momenti

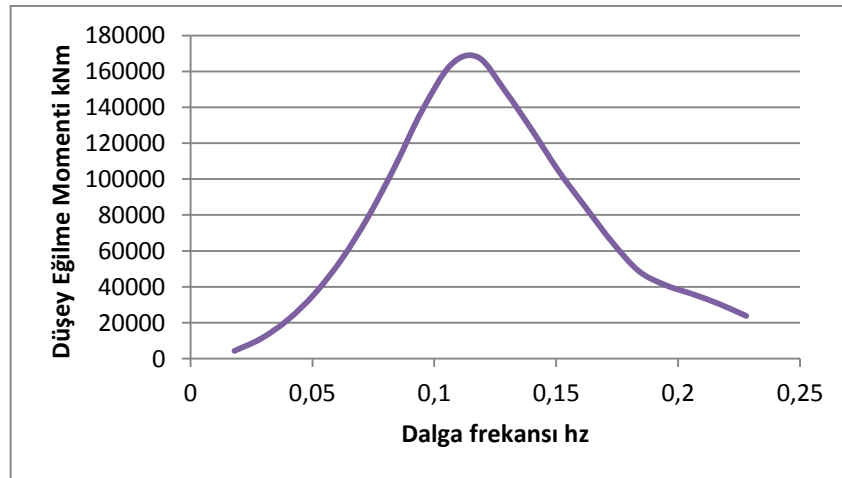
x m	Eğilme Momenti kNm
0.00	0.00E+00
67.54	1.72E+05
87.80	1.25E+05
135.08	1.30E+04



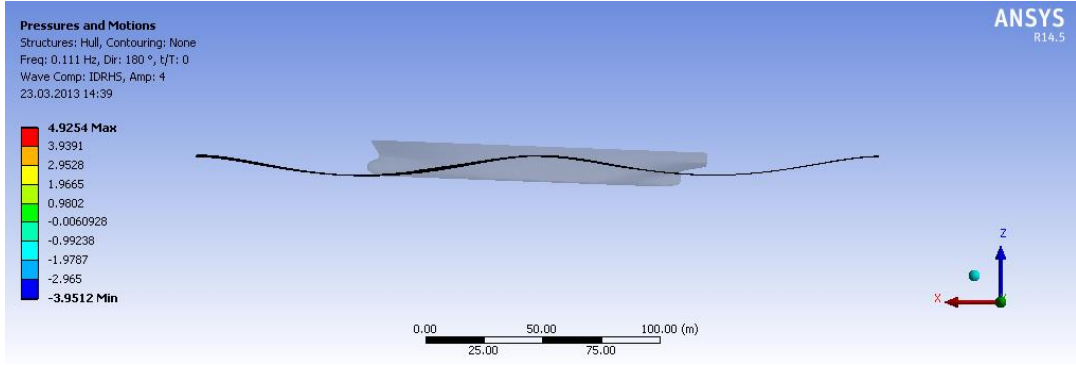
Şekil 5.29 L/B oranı 6.12 için gemi boyunca hesaplanan düşey eğilme momenti

5.2.1.5 L/B oranı 6.12 olan Gemi için Hesap Sonuçları

Dalga frekansına bağlı olarak hesaplanmış olan dalga kaynaklı düşey eğilme momenti Şekil 5.30'da ve gemi boyunca dağılımı ise Şekil 5.32'de gösterilmiştir. Frekans değeri 0.111 Hz için, dalga profili Şekil 5.31'de gösterilmiştir. Çizelge 5.10'da frekansa bağlı dalga boyu ve eğilme momenti değerleri verilmiştir.



Şekil 5.30 L/B oranı 6.12 için frekansa karşılık hesaplanan düşey eğilme momenti



Şekil 5.31 L/B oranı 6.12 için 0.111 Hz’ de elde edilen dalga profili

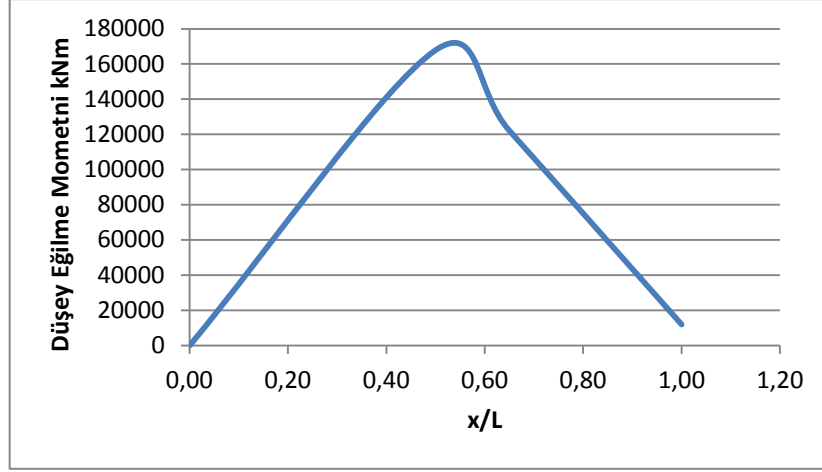
Çizelge 5.10 L/B oranı 6.12 için frekansa bağlı dalga boyu ve eğilme momenti

Frekans Hz	Frekans rad/s	Dalga Sayısı k	Dalga Boyu m	Eğilme Momenti kNm
0.018	0.113	0.001	4818.858	4.21E+03
0.041	0.258	0.007	928.7983	2.30E+04
0.065	0.408	0.017	369.5408	6.02E+04
0.088	0.553	0.031	201.6154	1.18E+05
<u>0.111</u>	<u>0.697</u>	<u>0.050</u>	<u>126.7194</u>	<u>1.70E+05</u>
0.135	0.848	0.073	85.66859	1.37E+05
0.158	0.993	0.100	62.54246	9.10E+04
0.181	1.137	0.132	47.65758	5.14E+04
0.205	1.288	0.169	37.15193	3.66E+04
0.228	1.433	0.209	30.03443	2.36E+04

Gemi boyunca hesaplanan dalga kaynaklı düşey eğilme momenti değerleri çizelge 5.11’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.11 L/B oranı 6.12 için gemi boyunca hesaplanan eğilme momenti

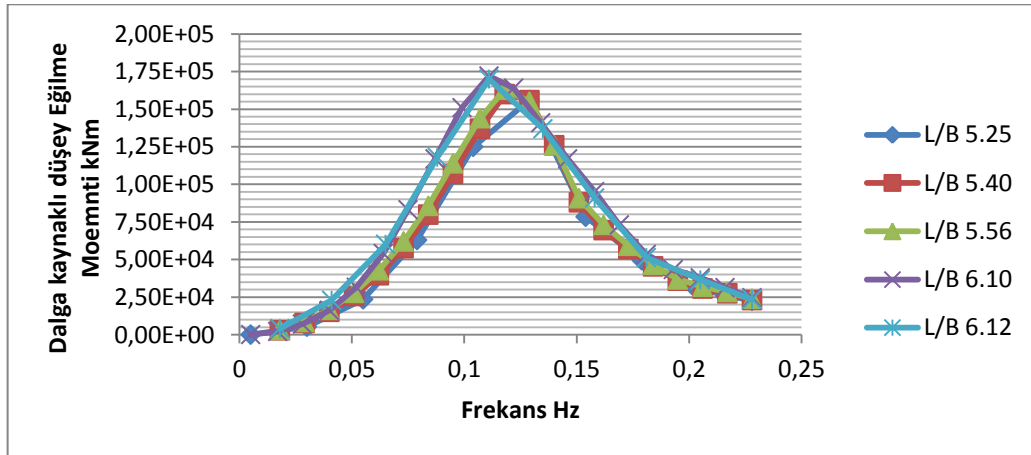
x m	Eğilme Momenti kNm
0.000	0.00E+00
67.101	1.70E+05
87.231	1.22E+05
134.201	1.20E+04



Şekil 5.32 L/B oranı 6.12 için gemi boyunca hesaplanan düşey eğilme momenti

5.2.1.6 Tüm Yüzeyler için Hesap Sonuçları

Beş yüzey için yapılan dalga kaynaklı düşey eğilme momentlerinin frekansa bağlı sonuçları Şekil 5.33'te gösterilmiştir.



Şekil 5.33 Tüm yüzeyler için Dalga kaynaklı düşey Eğilme Momenti kNm

5.2.2 Karışık Dalgalarda Hesap Sonuçları

Karışık dalgalarda hesap yapmak için L/B oranı 6.1 ve 5.25 olan iki yüzey seçilmiştir. Karışık dalgaları temsil etmek üzere Pierson-Moskowitz dalga spektrumu kullanılmıştır. Deniz sahalarına ilişkin dalga yükseklikleri ve dalga periyotları Çizelge 5.12'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.12 Deniz sahalarına ilişkin dalga yükseklikleri ve dalga periyodları

Deniz Durumu	Ortalama Dalga Yüksekliği (m)	Ortalama Dalga Periyotları (s)		
		Karadeniz	Ege	Doğu Akdeniz
1	0.05	<1.5	<2	<1.7
2	0.3	1.75	2.6	2.2
3	0.88	2.55	4	3.25
4	1.88	3	5.65	4.45
5	3.25	3.9	6.75	5.35
6	5	>4.4	>7.3	>5.5

Hesaplamalar için kullanılacak dalga periyodu denklem 5.27’de gösterilmiştir.

$$T_z = 0.920 \cdot T_{\text{ortalama}} \quad (5.27)$$

Tankerlerin çalışacağı deniz koşulları olarak, deniz durumu 5 ile Karadeniz,Ege ve Doğu Akdeniz bölgeleri için hesaplamalar yapılmıştır.Farklı deniz sahaları için hesaplanmış olan T_z ve dalga yükseklikleri Çizelge 5.13’te gösterilmiştir.

Çizelge 5.13 Deniz sahalarına ilişkin dalga yükseklikleri ve dalga periyodları(T_z)

Deniz Durumu	Ortalama Dalga Yüksekliği (m)	Zero Crossing Periyot T_z (s)		
		Karadeniz	Ege	Doğu Akdeniz
1	0.05	<1.38	<1.840	<1.564
2	0.3	1.610	2.392	2.024
3	0.88	2.346	3.680	2.990
4	1.88	2.76	5.198	4.094
<u>5</u>	<u>3.25</u>	<u>3.588</u>	<u>6.210</u>	<u>4.922</u>
6	5	>4.048	>6.716	>5.060

Çizelge 5.14’de ANSYS AQWA Hydrodynamic Time Response modülü kullanılarak elde edilmiş dalga kaynaklı düşey eğilme momenti hesap sonuçları gösterilmiştir. Hesaplamalar 60 sn boyunca 0.1 sn aralık ile yapılmış olup çizelgelerde 1sn aralık ile gösterilmiştir.

Çizelge 5.14 Karışık denizlerde düşey eğilme momenti

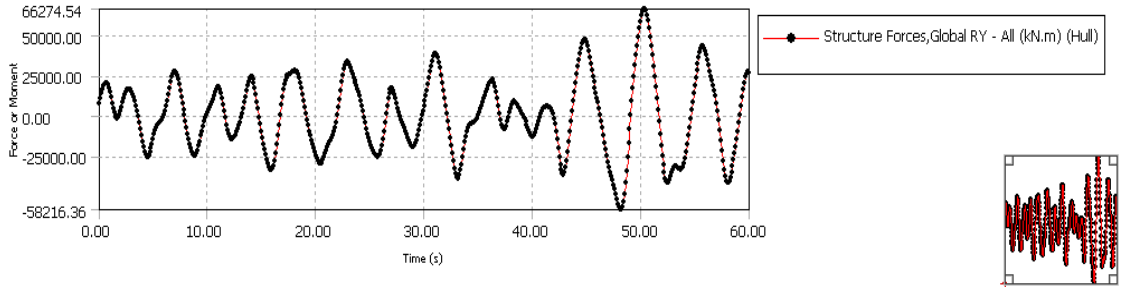
zaman sn	L/B 6.1 Düşey Eğilme Momenti (kNm)			L/B5.25 Düşey Eğilme Momenti (kNm)		
	Karadeniz	Ege	Doğu Akdeniz	Karadeniz	Ege	Doğu Akdeniz
0	29803.86	45455.57	10060.426	7617.856	32285.7	-52718.6
1	-7687.09	16723.6	-14412.143	14518.87	101911.6	4397.071
2	-40794	-28595	-50618.892	2745.522	95748.2	54914.05
3	-28508.3	-66431.1	-44267.256	15027.67	24746.26	7706.117
4	-2160.24	-59643.3	32888.036	-15909.7	-73587.5	-40240.6
5	7597.9	-15393.5	100103.01	-14577.8	-118517	-28910.5
6	24449.06	16325.45	93353.552	401.1108	-78224.2	34271.12
7	46994.51	42681.11	12515.498	27485.77	6454.573	79419.13
8	7774.256	51853.36	-82432.064	-3751.59	86810.8	49569.38
9	-68440.2	29147.19	-101910.91	-23377	97150.45	-42966.7
10	-41049.9	1575.488	-75448.384	2019.909	47083.78	-100679
11	46995.82	-7294.71	-37898.84	18222.56	-9590.06	-86923.7
12	30574.45	17664.87	34402.336	-11619.3	-56717.7	-6756.57
13	-6106.05	20807.91	125734.86	-4045.18	-59676.1	73017.78
14	-11210.5	-33551.9	135221.76	24164.58	-20060.6	78998.98
15	-3645.18	-94234.8	56442.068	-9718.65	21770.18	54987.9
16	-5113.55	-120239	-72218.192	-32868.1	22581.38	32499.13
17	491.01	-61728.2	-144770.38	16153.51	-30660.8	-14858.8
18	-8541.98	70207.79	-121904.06	27643.29	-55986.2	-79375.8
19	7218.37	170392.5	-4770.0815	4923.5	-11829.2	-94793.2
20	21936.77	166695.3	89995.408	-24763.8	62448.78	-60190.8
21	5964.802	60413.59	83969.536	-21541	119279.8	15291.48
23	-23895.5	-114369	-5051.6585	33034.4	-13347.4	108152.3
24	20111.66	-124075	10524.494	14556.87	-106821	57610.93
25	20309.04	-80320.2	21531.998	-16419.5	-127559	-25160.7
26	-8806.98	-21973.5	3332.5743	-21858.5	-69797.7	-67499
27	-21759.9	6785.524	-36193.732	17355.62	-7294.08	-55039
28	11035.11	28594.23	-76068.08	-4343.41	38109.84	-43286.9
29	25431.38	65155.89	-60622.96	-19266.8	76821.23	-5261.75
30	-16757.7	121899.1	-19366.21	6131.054	82552.28	14484.22
31	-10364.3	139780.1	58830.544	38275.13	68475.19	25346.69
32	-3470.21	56302.5	129329.26	5881.948	36898.8	38375.66
33	-1321.17	-87485.3	104713.78	-38104.7	-16174.7	48410.38
34	20952.97	-209052	-14565.738	-9516.29	-79725.2	30256.48
35	976.9866	-201902	-124338.93	69.72294	-134081	2823.846

Çizelge 5.15 Karışık denizlerde düşey eğilme momenti (devamı)

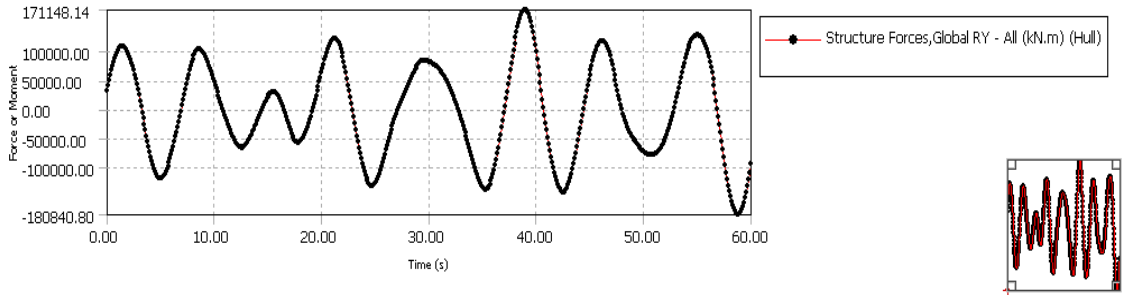
zaman sn	L/B 6.1 Düşey Eğilme Momenti (kNm)			L/B5.25 Düşey Eğilme Momenti (kNm)		
	Karadeniz	Ege	Doğu Akdeniz	Karadeniz	Ege	Doğu Akdeniz
36	-3590.52	-42546.4	-130257.02	19968.4	-110727	-68626.2
37	-20555.5	140457.6	-30997.12	1619.081	-7018.36	-98810.8
38	-6798.27	220243.2	81303.936	4767.074	113033.1	-43031.2
40	19483.65	-48201.6	25264.024	-12906.7	98740.79	98258.18
41	-55442.3	-176984	-70473.104	4077.403	-35781.1	41599.86
42	-25295.2	-155944	-59900.284	-1684.8	-128377	-49198.5
43	35059.28	-9169.52	31922.55	-35168.4	-129875	-60314.8
44	47227.78	125857	96619.008	20483.76	-42623.7	-5500.82
45	12698.65	136861.3	46498.192	45471.34	59289.38	65696.2
46	-53198.7	69405.36	-53909.812	11124.43	116458.9	47050.33
47	-67073.6	-18647.8	-122764.6	-28876	84714.84	-42235.8
48	28957.17	-94559	-68888.416	-56873.7	291.6855	-99524.9
49	78268.82	-116370	31386.72	-7913.21	-48567.7	-56583.3
50	24086.24	-82539	96083.208	58505.46	-71483.1	49639
51	-49150	-9268.23	89087.696	43308.09	-76794.3	116819.2
52	-48503.7	57751.69	21668.37	-24931.1	-52630.7	66507.03
53	-20425.8	91577.69	-57829.736	-33446.5	11107.61	-27603.4
54	60642.6	108794.3	-73140.544	-29467.9	94019.98	-86163.3
55	54185.42	75960.86	-38103.404	18586.41	127721.6	-70811.3
56	-30118.4	-14070.2	9523.973	40072.03	96934.22	14595.38
57	-70007.6	-103641	60315.244	7816.435	-12020.9	54925.9
58	-8360.08	-144948	43795.776	-41926.7	-140790	33938.29
59	56712.35	-91651.8	-21206.506	-9679.29	-178785	-9003.77
60	43890.96	32431.96	-65333.356	26948.1	-94365.4	-35986.5
Maksimum	78268.82	220243.2	142017.41	66274.54	171148.1	116819.2

5.2.2.1 L/B oranı 5.25 için Düşey Dalga Eğilme Momenti

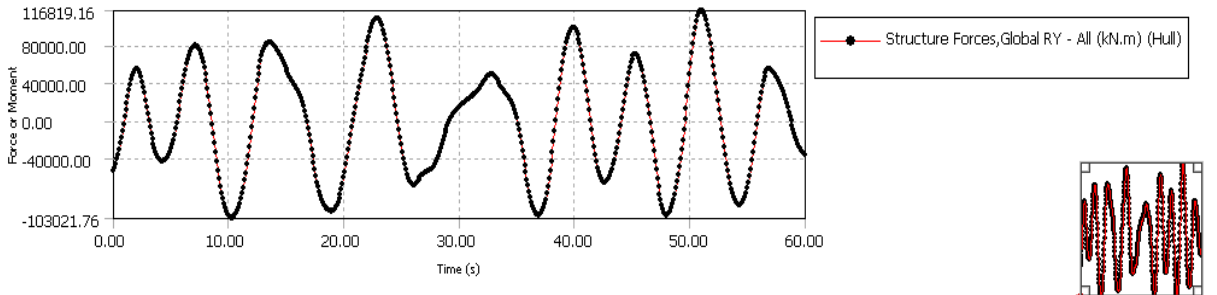
Şekil 5.34-36'da L/B oranı 5.25 için karışık dalgalarda Karadeniz,Ege ve Doğu Akdeniz bölgelerinde hesaplanan düşey dalga eğilme momenti değerlerinin grafikleri gösterilmiştir.



Şekil 5.34 L/B 5.25 olmak üzere operasyon bölgesi Karadeniz için Düşey Eğilme Momenti



Şekil 5.35 L/B 5.25 olmak üzere operasyon bölgesi Ege için Düşey Eğilme Momenti

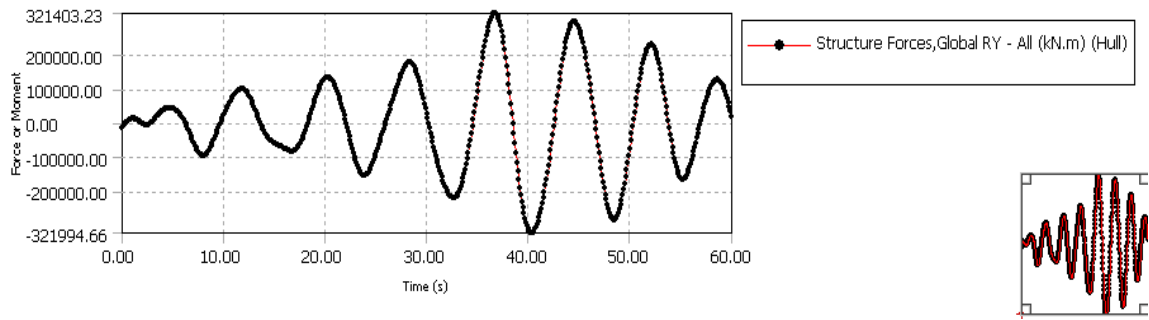


Şekil 5.36 L/B 5.25 olmak üzere operasyon bölgesi Doğu Akdeniz için Düşey Eğilme Momenti

Belirlenen operasyon bölgeleri dışında boyutlandırmaya esas olacak şekilde Evans tarafından 1975 yılında önerilmiş olan dizayn dalga yükseklikleri kullanılarak karışık dalga durumu için hesaplamalar tekrar yapılmıştır [28]:

- i. $H = L/20$, bugünlerde daha az kullanılmaktadır.
- ii. $H = 1.1 L$ (feet) or $H = 0.6 L^{0.5}$ (metre),
- iii. '8m' dalga yüksekliği; eğer $L > 80$ m ise, küçük ise; $L/10$

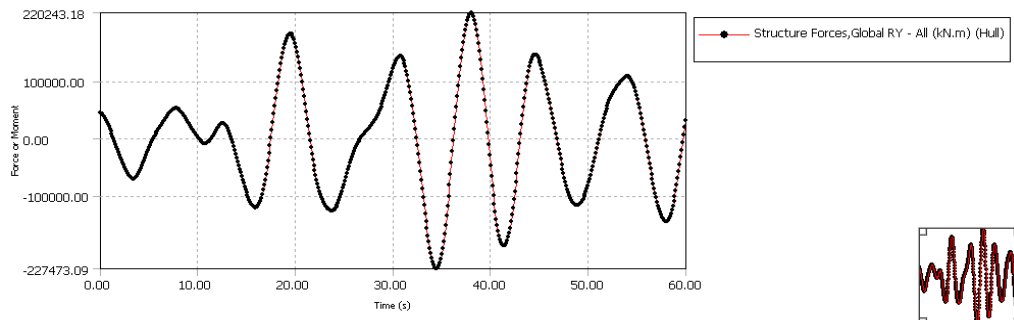
Operasyon bölgeleri dikkate alınarak yapılan hesaplamalardan elde edilen sonuçlara göre Ege bölgesi eğilme momenti bakımından daha olumsuz bir durumu göstermektedir, bu nedenle Çizelge 5.13'te Ege bölgesi için verilen $T_z = 6.719$ sn değeri ile Evans tarafından belirtilen 8m dalga yüksekliği değeri kullanılarak Pierson-Moskowitz dalga spektrumu ile karışık dalgalar için hesaplar tekrar yapılmıştır. L_{wl}/B_{wl} 5.25 modeli için elde edilen dalga kaynaklı düşey düşey eğilme momenti Şekil 5.37'de görüldüğü gibi 321403.23 kNm olarak hesaplanmıştır.



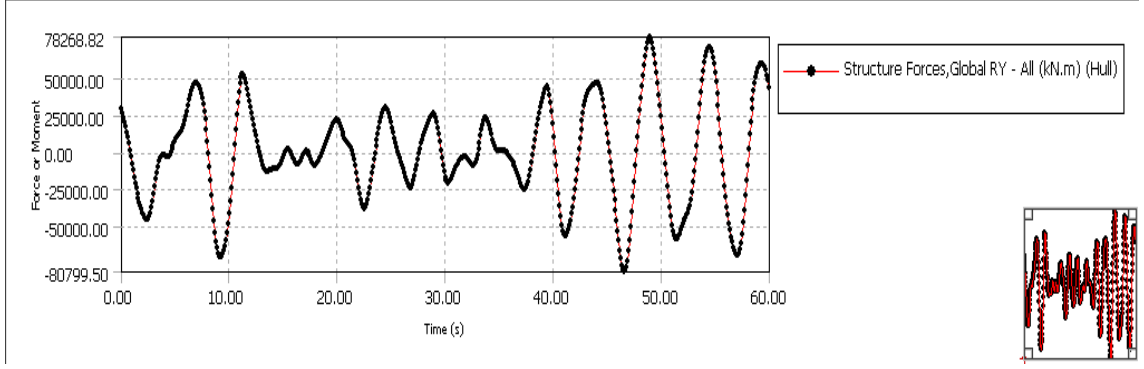
Şekil 5.37 L/B 5.25 olmak üzere dalga yüksekliği 8m, $T_z=6.719$ sn için Düşey Eğilme Momenti

5.2.2.2 L/B oranı 6.1 için Düşey Dalga Eğilme Momenti

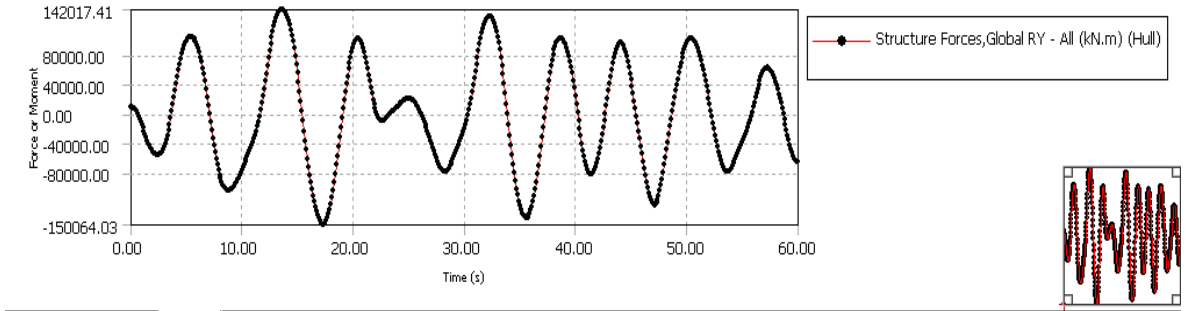
Şekil 5.38-40'da L/B oranı 6.1 için karışık dalgalarda Karadeniz, Ege ve Doğu Akdeniz bölgelerinde hesaplanan düşey dalga eğilme momenti değerlerinin grafikleri gösterilmiştir.



Şekil 5.38 L/B 6.1 olmak üzere Operasyon bölgesi Ege Denizi için Düşey Eğilme Momenti

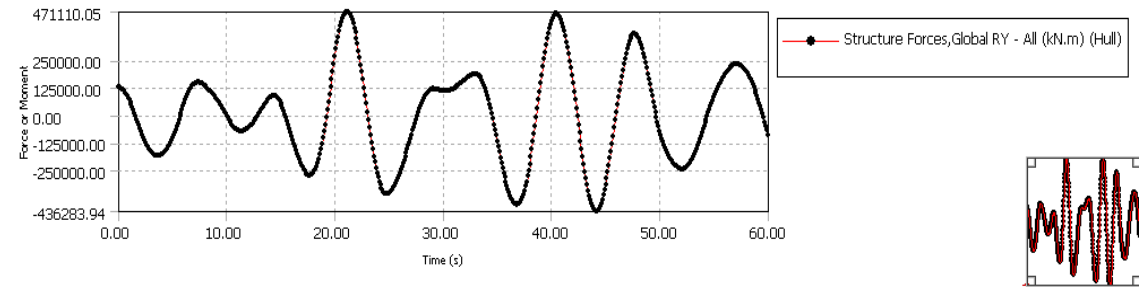


Şekil 5.39 L/B 6.1 olmak üzere Operasyon bölgesi Karadeniz için Düşey Eğilme Momenti



Şekil 5.40 L/B 6.1 olmak üzere Operasyon bölgesi DoğuAkdeniz için Düşey Eğilme Momenti

Operasyon bölgeleri dikkate alınarak yapılan hesaplamalardan elde edilen sonuçlara göre Ege bölgesi eğilme momenti bakımından daha olumsuz bir durumu göstermektedir bu nedenle Çizelge 5.13'te Ege bölgesi için verilen T_z 6.719 sn değeri ile Evans tarafından belirtilen 8m dalga yüksekliği değeri kullanılarak Pierson-Moskowitz dalga spektrumu ile karışık dalgalar için hesaplar tekrar yapılmıştır. L_{wl}/B_{wl} 6.1 modeli için elde edilen dalga kaynaklı düşey düşey eğilme momenti Şekil 5.42'de görüldüğü gibi 471110.05 kNm olarak hesaplanmıştır.



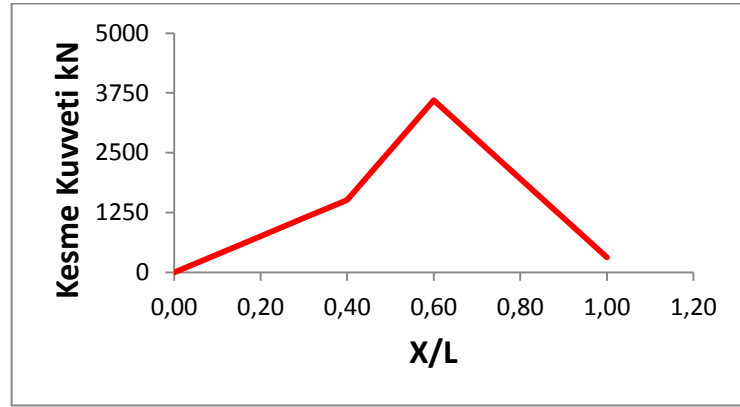
Şekil 5.41 L/B 6.1 olmak üzere olmak üzere dalga yüksekliği 8m, $T_z=6.719$ sn için Düşey Eğilme Momenti

5.3 Dalga Kaynaklı Düşey Kesme Kuvveti Hesap Sonuçları

5.3.1 Düzenli Dalgalarda Düşey Kesme Kuvveti Hesap Sonuçları

5.3.1.1 L/B Oranı 5.25 olan Gemi için Hesap Sonuçları

L/B oranı 5.25 olan yüzey için ANSYS AQWA programı içerisinde düzenli dalgalarda nümerik olarak hesaplanan düşey kesme kuvveti değerlerinin gemi boyunca dağılımı Şekil 5.42’de grafik olarak ve Çizelge 5.16’da da hesaplanan değerler gösterilmiştir.



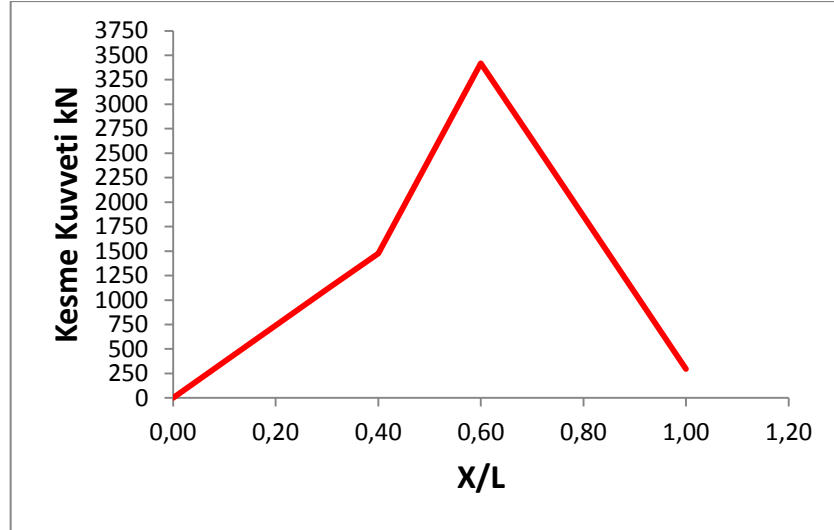
Şekil 5.42 L/B 5.25 için gemi boyunca hesaplanan düşey kesme kuvveti kN

Çizelge 5.16 L/B 5.25 için gemi boyunca hesaplanan düşey kesme kuvveti kN

x	L	x/L	Q kN
0.00	115.17	0.00	0
23.03	115.17	0.20	756.9504
34.55	115.17	0.30	1135.495
46.07	115.17	0.40	1514.039
69.10	115.17	0.60	3597.851
80.62	115.17	0.70	2776.392
97.89	115.17	0.85	1544.916
115.17	115.17	1.00	312.7268

5.3.1.2 L/B Oranı 5.40 olan Gemi için Hesap Sonuçları

L/B oranı 5.40 olan yüzey için ANSYS AQWA programı içerisinde düzenli dalgalarda nümerik olarak hesaplanan düşey kesme kuvveti değerlerinin gemi boyunca dağılımı Şekil 5.43’te grafik olarak ve Çizelge 5.17’de de hesaplanan değerler gösterilmiştir.



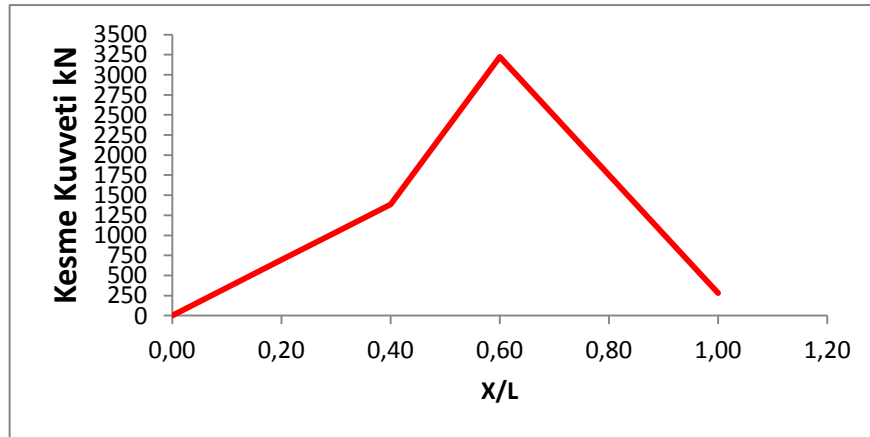
Şekil 5.43 L/B 5.40 için gemi boyunca hesaplanan düşey kesme kuvveti kN

Çizelge 5.17 L/B 5.40 için gemi boyunca hesaplanan düşey kesme kuvveti kN

x	L	x/L	Q kN
0.00	118.46	0.00	0
23.69	118.46	0.20	738.7234
35.54	118.46	0.30	1108.148
47.39	118.46	0.40	1477.573
71.08	118.46	0.60	3418.209
82.92	118.46	0.70	2638.224
100.69	118.46	0.85	1467.587
118.46	118.46	1.00	296.9498

5.3.1.3 L/B Oranı 5.56 olan Gemi için Hesap Sonuçları

L/B oranı 5.56 olan yüzey için ANSYS AQWA programı içerisinde düzenli dalgalarda nümerik olarak hesaplanan düşey kesme kuvveti değerlerinin gemi boyunca dağılımı Şekil 5.44'te grafik olarak ve Çizelge 5.18'de de hesaplanan değerler gösterilmiştir.



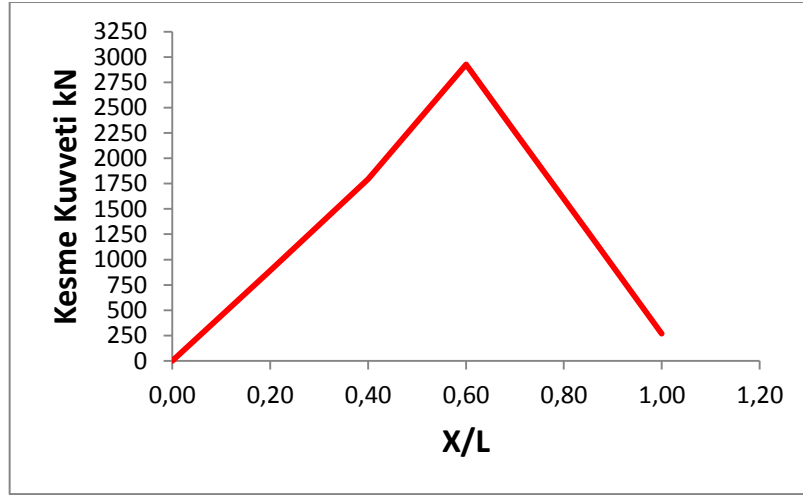
Şekil 5.44 L/B 5.56 için gemi boyunca hesaplanan düşey kesme kuvveti kN

Çizelge 5.18 L/B 5.56 için gemi boyunca hesaplanan düşey kesme kuvveti kN

x	L	x/L	Q kN
0.00	122.00	0.00	0
24.40	122.00	0.20	693.4446
36.60	122.00	0.30	1040.08
48.80	122.00	0.40	1386.715
73.20	122.00	0.60	3224
85.40	122.00	0.70	2487.749
103.70	122.00	0.85	1383.373
122.00	122.00	1.00	278.9969

5.3.1.4 L/B Oranı 6.10 olan Gemi için Hesap Sonuçları

L/B oranı 6.10 olan yüzey için ANSYS AQWA programı içerisinde düzenli dalgalarda nümerik olarak hesaplanan düşey kesme kuvveti değerlerinin gemi boyunca dağılımı Şekil 5.45’de grafik olarak ve Çizelge 5.19’da da hesaplanan değerler gösterilmiştir.



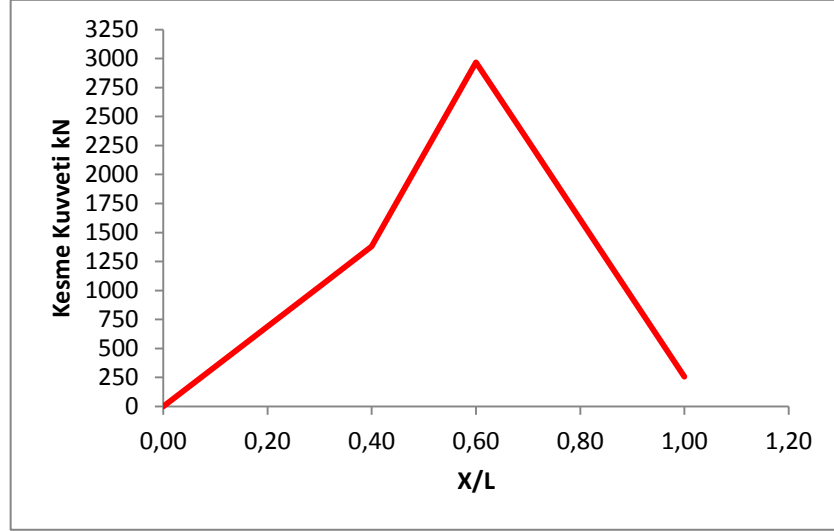
Şekil 5.45 L/B 6.10 için gemi boyunca hesaplanan düşey kesme kuvveti kN

Çizelge 5.19 L/B 6.10 için gemi boyunca hesaplanan düşey kesme kuvveti kN

x	L	x/L	Q kN
0.00	135.08	0.00	0
27.02	135.08	0.20	890.9435
40.52	135.08	0.30	1343.02
54.03	135.08	0.40	1794.761
81.05	135.08	0.60	2926.746
94.55	135.08	0.70	2262.913
114.81	135.08	0.85	1266.674
135.08	135.08	1.00	269.9415

5.3.1.5 L/B Oranı 6.12 olan Gemi için Hesap Sonuçları

L/B oranı 6.12 olan yüzey için ANSYS AQWA programı içerisinde düzenli dalgalarda nümerik olarak hesaplanan düşey kesme kuvveti değerlerinin gemi boyunca dağılımı Şekil 5.46’da grafik olarak ve Çizelge 5.20’de de hesaplanan değerler gösterilmiştir.



Şekil 5.46 L/B 6.12 için gemi boyunca hesaplanan düşey kesme kuvveti kN

Çizelge 5.20 L/B 6.12 için gemi boyunca hesaplanan düşey kesme kuvveti kN

x	L	x/L	Q kN
0.00	134.20	0.00	0
26.84	134.20	0.20	690.1906
40.26	134.20	0.30	1035.199
53.68	134.20	0.40	1380.208
80.52	134.20	0.60	2968.073
93.94	134.20	0.70	2290.126
114.07	134.20	0.85	1273.207
134.20	134.20	1.00	256.2884

5.3.2 Karışık Dalgalarda Düşey Kesme Kuvveti Hesap Sonuçları

Karışık dalgalarda hesap yapmak için L/B oranı 6.1 ve 5.25 olan iki yüzey seçilmiştir. Beş deniz durumu için karışık dalgaları temsil etmek üzere Pierson-Moskowitz dalga spektrumu kullanılmıştır. Deniz sahalarına ilişkin dalga yükseklikleri ve dalga periyodları Çizelge 5.12 ve 5.13’de gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlar Çizelge 5.21’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.21 Karışık denizlerde düşey kesme kuvvetleri

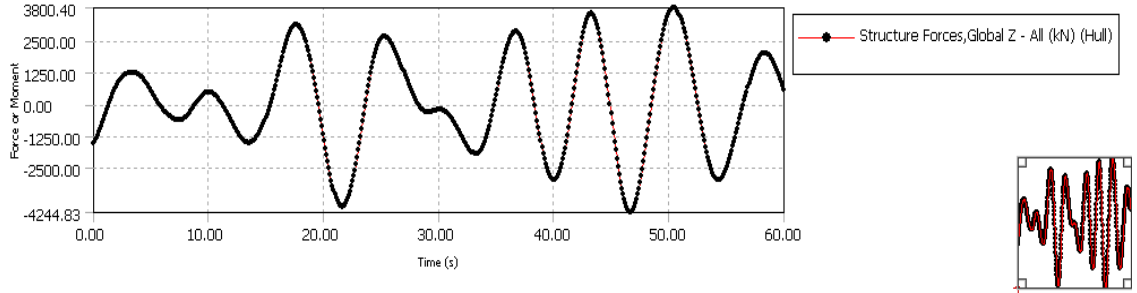
zaman sn	L/B 6.1(kN)			L/B5.25 (kN)		
	Karadeniz	Ege	Doğu Akdeniz	Karadeniz	Ege	Doğu Akdeniz
0	-976.81	-161.533	80.95688	-434.894	-1550.25	120.7002
1	-162.621	1257.312	1328.031	-892.183	-473.01	618.1511
2	850.5493	1692.073	1930.095	-893.489	692.6143	642.1374
3	1107.247	1068.407	1162.492	-322.17	1221.745	898.5756
4	485.8301	-77.4431	-727.125	826.0048	1145.499	776.865
5	-6.79384	-1013.18	-2243.37	967.6027	527.8776	271.2195
6	-575.956	-755.107	-2151.28	459.3425	-169.849	-863.958
7	-1237.92	160.4004	-730.568	-528.62	-563.576	-1900.86
8	-847.534	879.5891	1199.239	-666.982	-526.869	-1845.98
9	897.2139	1004.788	1875.08	-512.119	92.13559	-255.955
10	1497.825	137.9746	1527.896	-113.711	488.5781	1578.508
11	306.1218	-1310.89	863.4509	595.4019	126.1507	2510.919
12	-352.372	-2603.6	-176.202	1148.282	-637.253	1609.145
13	-714.226	-2376.62	-1782.85	210.8436	-1374	-71.3434
14	-890.687	-38.1148	-2320.68	-1076.63	-1403.72	-1340.14
15	-346.747	2705.606	-1398.95	-882.288	-527.128	-1993.29
16	625.7716	4110.777	791.9873	67.51281	1119.847	-1906.17
17	1101.675	3071.797	2443.605	500.2608	2773.641	-539.719
18	810.7466	-62.2278	2456.262	673.4416	3005.742	1339.266
19	-350.967	-2959.99	295.241	220.6481	1507.873	2429.273
20	-1328.87	-3781.58	-2098.16	-213.324	-1158.49	1847.826
21	-950.648	-2222.74	-2482.3	-451.768	-3550.14	-81.8248
22	241.9216	135.9133	-291.414	-379.181	-3807.68	-1811.03
23	1232.866	1477.799	1576.731	-251.349	-1810.47	-1931.55
24	617.7939	1659.079	1824.841	378.2644	984.7029	-266.476

Çizelge 5.22 Karışık denizlerde düşey kesme kuvvetleri (devamı)

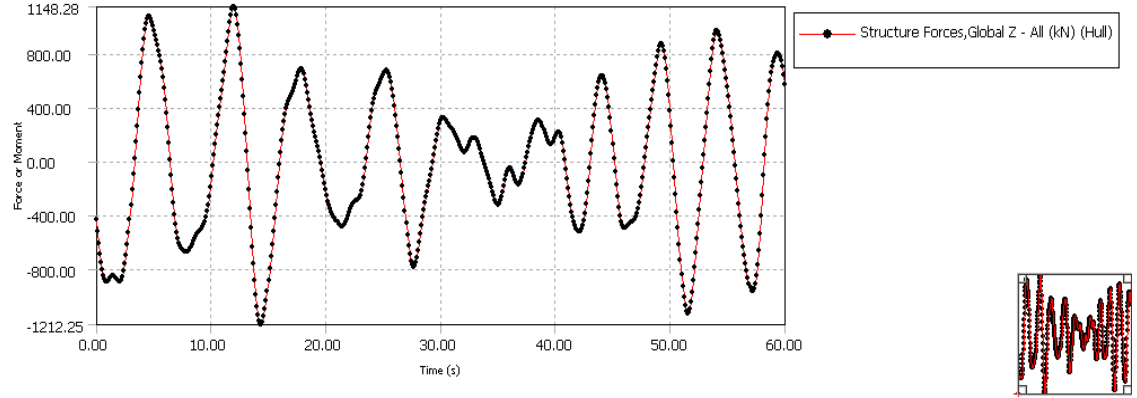
zaman sn	L/B 6.1 (kN)			L/B5.25 (kN)		
	Karadeniz	Ege	Doğu Akdeniz	Karadeniz	Ege	Doğu Akdeniz
25	-149.842	809.4755	372.8374	642.6256	2587.365	1220.959
26	-364.518	-175.774	-1460.42	412.2271	2344.15	906.5346
27	-288.238	-86.0576	-1935.48	-461.462	1264.201	-432.292
28	-548.491	743.8784	-438.296	-659.082	162.0182	-955.182
29	-425.008	1264.121	1345.031	-146.383	-303.246	-432.113
30	669.2279	404.1858	2200.82	304.6953	-209.163	855.2179
31	859.3779	-1469.09	1229.777	241.9054	-458.023	1489.033
32	311.6004	-2516.1	-1055.48	72.46523	-1208.43	911.3689
33	-241.519	-1827.42	-2324.68	172.7589	-1912.76	-439.27
34	-997.428	386.9183	-1525.71	-79.1283	-1478.34	-1596.81
35	-395.64	2399.494	398.4998	-322.189	378.9411	-2006.89
36	124.5303	2252.935	1621.533	-47.9992	2299.399	-647.278
37	661.87	301.4422	1389.851	-148.698	2799.904	1334.437
38	679.7121	-1897.18	62.44416	207.0491	1067.146	2358.393
39	-260.798	-2480.7	-841.21	235.8968	-1699.42	1320.439
40	-734.265	-575.678	-918.483	191.726	-2978.81	-718.957
41	283.7012	2214.085	81.62916	-130.414	-1714.56	-2005.54
42	215.6949	3538.959	672.1103	-522.139	1255.508	-1174.09
43	-344.945	1950.029	367.5676	-48.3961	3446.775	613.3724
44	-339.025	-1476.58	-464.269	632.7079	2751.32	1640.074
45	-72.4078	-3823.41	-707.305	128.6654	-373.284	538.5134
46	623.5744	-3801.8	-398.188	-496.173	-3536.89	-1227.01
47	1068.348	-1537.18	481.8145	-415.002	-4025.07	-1600.9
48	-287.223	1843.645	773.5204	179.0899	-1653.02	-91.4442
49	-1324.75	4080.336	514.5281	819.4316	1464.82	1591.473
50	-780.394	3797.128	64.31588	379.4423	3544.891	1836.508
51	535.0139	1132.58	-489.63	-836.985	3453.637	255.8991
52	1017.825	-2063.87	-711.126	-883.843	1406.777	-1339.24
53	952.296	-3551.26	-345.128	152.573	-1217.85	-1684.26
54	-553.41	-2858.09	96.58703	967.0687	-2875.85	-788.268
55	-1333.56	-430.634	407.6028	550.6977	-2551.19	625.6679
56	-347.85	2291.058	678.3748	-314.906	-941.289	1364.53
57	875.0493	3224.872	25.82625	-941.2	823.7177	906.8179
58	822.9837	1921.086	-612.079	-253.207	1944.859	-55.0234
59	-310.233	-751.965	-575.541	743.2173	1741.077	-933.144
60	-791	-3064.69	205.9865	571.3546	596.4505	-1112.1
Maksimum	<u>1514.997</u>	<u>4294.183</u>	<u>2727.256</u>	<u>1148.282</u>	<u>3800.399</u>	<u>2510.919</u>

5.3.2.1 L/B oranı 5.25 için Düşey Kesme Kuvveti

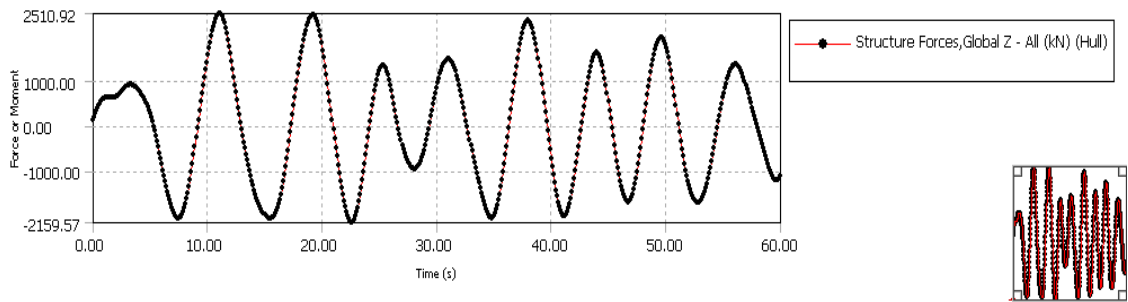
Şekil 5.47-5.49'da L/B oranı 5.25 için karışık dalgalarda Karadeniz,Ege ve Doğu Akdeniz bölgelerinde hesaplanan kesme kuvveti değerlerinin grafikleri gösterilmiştir.



Şekil 5.47 L/B 5.25 olmak üzere Operasyon bölgesi Ege Denizi için Düşey Kesme Kuvveti



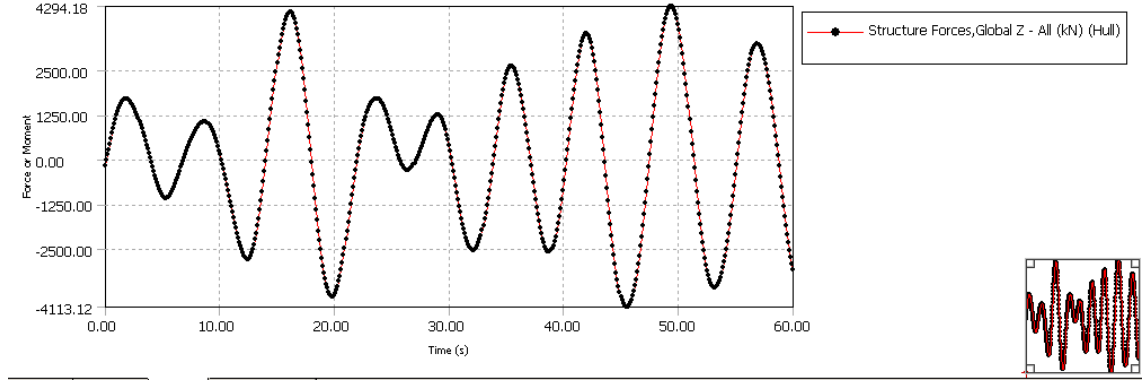
Şekil 5.48 L/B 5.25 olmak üzere Operasyon bölgesi Karadeniz için Düşey Kesme Kuvveti



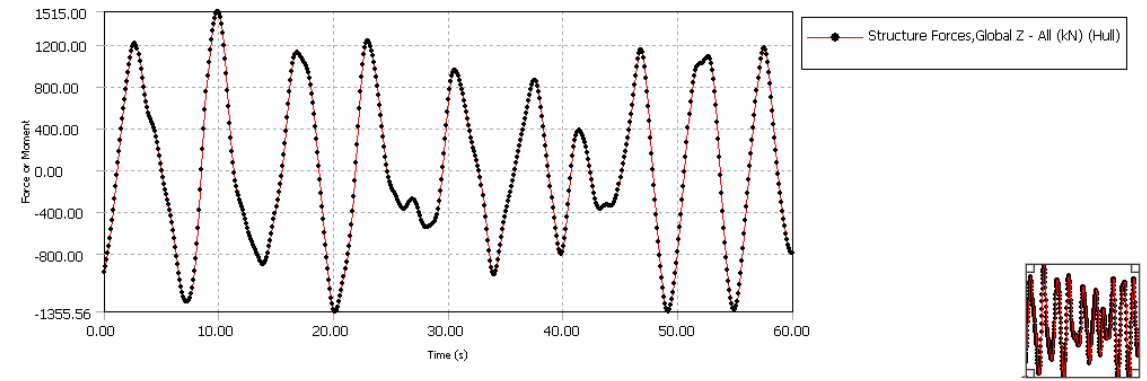
Şekil 5.49 L/B 5.25 olmak üzere Operasyon bölgesi Doğu Akdeniz için Düşey Kesme Kuvveti

5.3.2.2 L/B oranı 6.1 için Düşey Kesme Kuvveti

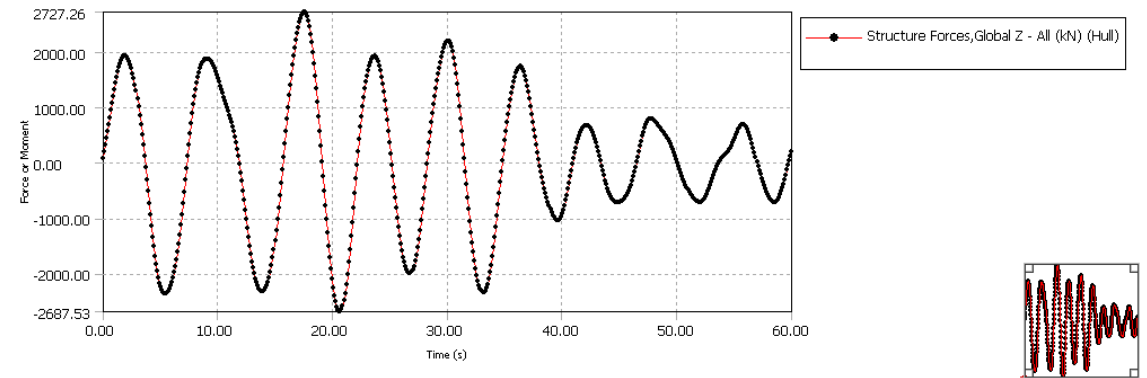
Şekil 5.50-5.52’de L/B oranı 6.10 için karışık dalgalarda Karadeniz,Ege ve Doğu Akdeniz bölgelerinde hesaplanan kesme kuvveti değerlerinin grafikleri gösterilmiştir.



Şekil 5.50 L/B 6.1 olmak üzere Operasyon bölgesi Ege Denizi için Düşey Kesme Kuvveti



Şekil 5.51 L/B 6.1 olmak üzere Operasyon bölgesi Karadeniz için Düşey Kesme Kuvveti



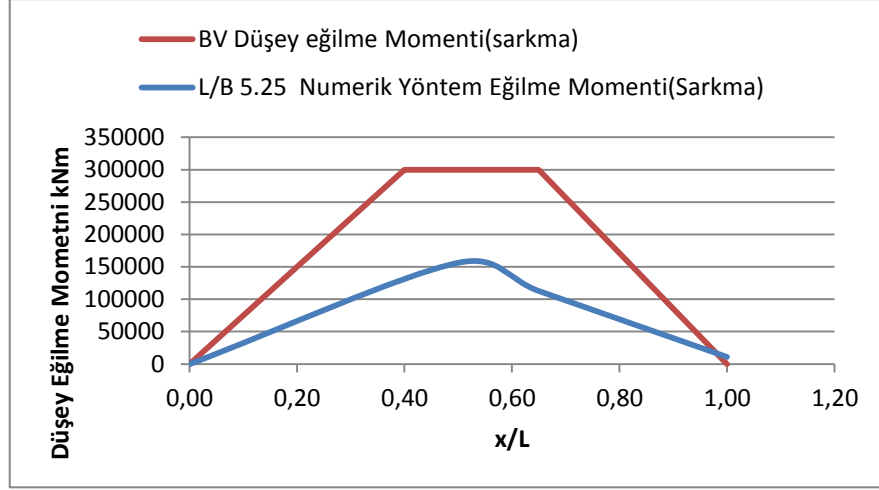
Şekil 5.52 L/B 6.1 olmak üzere Operasyon bölgesi Doğu Akdeniz için Düşey Kesme Kuvveti

KLAS VE NÜMERİK YÖNTEME GÖRE HESAPLANAN DÜŞEY EĞİLME MOMENTİ VE KESME KUVVETİ DEĞERLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

6.1 Düşey Eğilme Momenti Hesap Sonuçlarının Karşılaştırılması

6.1.1 L/B oranı 5.25

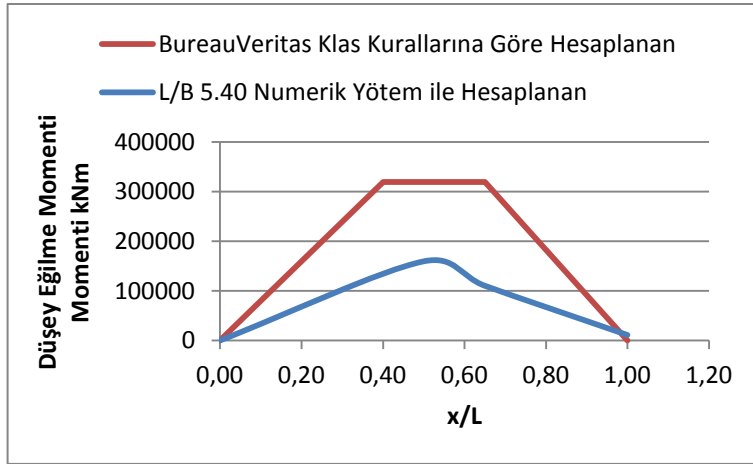
L/B oranı 5.25 için düzenli dalgalarda hesaplanan düşey eğilme momenti ANSYS AQWA programında sarkma durumu için 156000 kNm ve Bureau Veritas klas kurallarına göre hesaplanan dalga kaynaklı düşey eğilme momenti sarkma durumu için 300000 kNm ve çökme durumu için 358085.9 dır. Hesaplanan değerler Şekil 6.1’de gösterilmiştir. Karışık dalgalarda Karadeniz, Ege ve DoğuAkdeniz bölgesi için deniz durumu 5, ve ortalama dalga yüksekliği 3.25 m. olmak üzere ANSYS AQWA programında hesaplanan düşey eğilme momentleri sırası ile 66274.54 kNm, 171148.1 kNm ve 116819.2 kNm dir. Dizayn dalga yüksekliği 8m alınarak Lwl/Bwl 5.25 modeli için ANSYS AQWA programında dalga kaynaklı düşey eğilme momenti Şekil 5.37’de görüldüğü gibi 321403.23 kNm olarak hesaplanmıştır. Elde edilen bu değer ile klas kurallarına göre hesaplanan çökme durumundaki düşey eğilme momenti arasındaki fark %10.24’dir.



Şekil 6.1 L/B 5.25 için nümerik ve ve Klas kuralına göre hesaplanan düşey eğilme momenti

6.1.2 L/B oranı 5.40

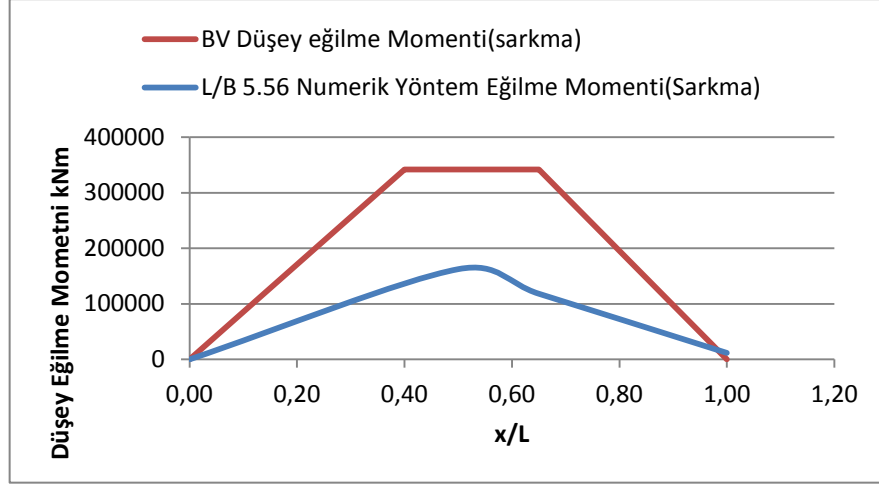
L/B oranı 5.40 için ANSYS AQWA programında düzenli dalgalarda hesaplanan düşey eğilme momenti sarkma durumu için 160000 kNm ve Bureau Veritas klas kurallarına göre hesaplanan dalga kaynaklı düşey eğilme momenti sarkma durumu için 319647.6 kNm dir. Değerler Şekil 6.2’de gösterilmiştir.



Şekil 6.2 L/B 5.40 için nümerik ve ve Klas kuralına göre hesaplanan düşey eğilme momenti

6.1.3 L/B oranı 5.56

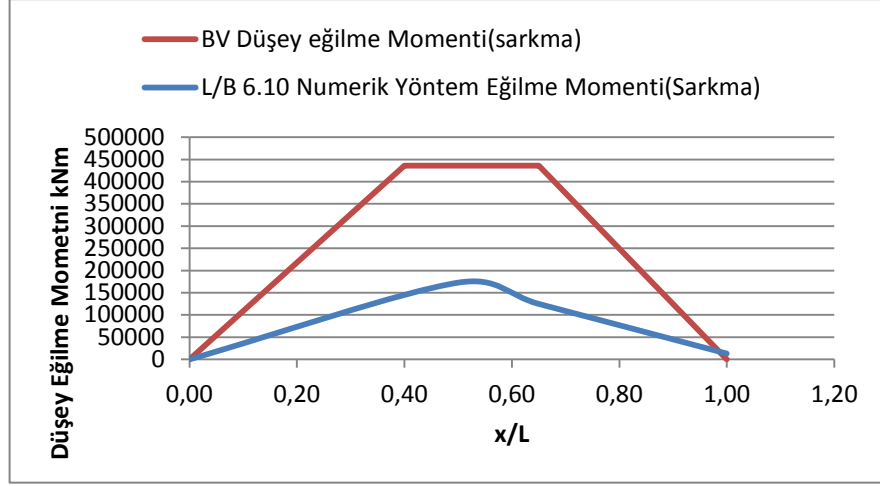
L/B oranı 5.56 için ANSYS AQWA programında düzenli dalgalarda hesaplanan düşey eğilme momenti sarkma durumu için 163000 kNm ve Bureau Veritas klas kurallarına göre hesaplanan dalga kaynaklı düşey eğilme momenti sarkma durumu için 341930.8 kNm dir. Değerler Şekil 6.3’te gösterilmiştir.



Şekil 6.3 L/B 5.56 için nümerik ve ve Klas kuralına göre hesaplanan düşey eğilme momenti

6.1.4 L/B oranı 6.10

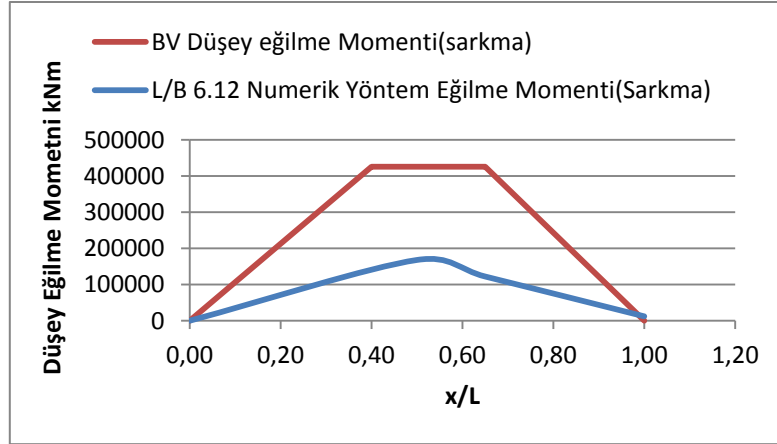
L/B oranı 6.10 için ANSYS AQWA programında düzenli dalgalarda hesaplanan düşey eğilme momenti sarkma durumu için 172000 kNm ve Bureau Veritas klas kurallarına göre hesaplanan dalga kaynaklı düşey eğilme momenti sarkma durumu için 435930.8 kNm ve çökme durumu için ise 520871.4 kNm'dir. Şekil 6.4'te değerler gösterilmiştir. ANSYS AQWA programı içinde karışık dalgalarda Karadeniz, Ege ve Doğu Akdeniz bölgesi için deniz durumu 5 ve ortalama dalga yüksekliği 3.25 m. olmak üzere hesaplanan düşey eğilme momentleri sırası ile 78268.82 kNm, 220243.2 kNm ve 142017.41 kNm dir. Yine ANSYS AQWA programı içinde dizayn dalga yüksekliği 8m alınarak Lwl/Bwl 6.1 modeli için elde edilen dalga kaynaklı düşey düşey eğilme momenti Şekil 5.41'de görüldüğü gibi 471110.05 kNm olarak hesaplanmıştır. Elde edilen bu değer ile klas kurallarına göre hesaplanan çökme durumundaki düşey eğilme momenti arasındaki fark %9.55'dir.



Şekil 6.4 L/B 6.10 için nümerik ve ve Klas kuralına göre hesaplanan düşey eğilme momenti

6.1.5 L/B oranı 6.12

L/B oranı 6.12 için ANSYS AQWA programında düzenli dalgalarda hesaplanan düşey eğilme momenti sarkma durumu için 170000 kNm ve Bureau Veritas klas kurallarına göre hesaplanan dalga kaynaklı düşey eğilme momenti sarkma durumu için 425626.5 kNm dir. Şekil 6.5'te değerler gösterilmiştir.



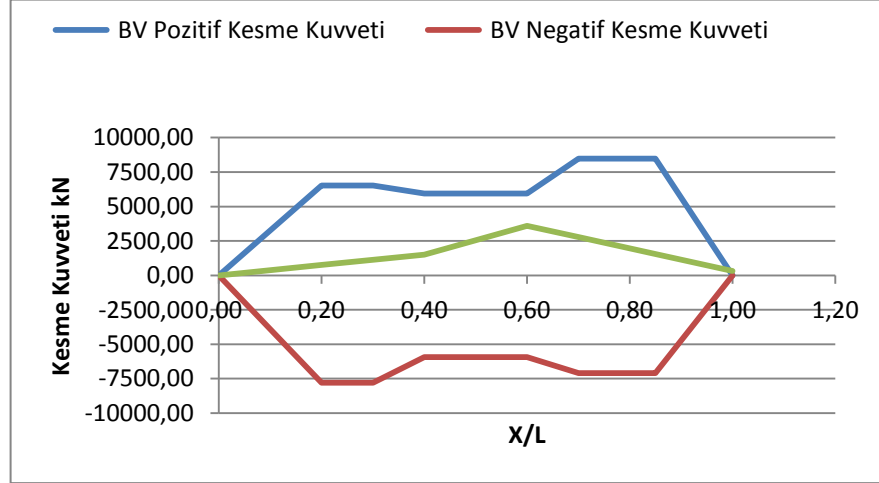
Şekil 6.5 L/B 6.12 için nümerik ve ve Klas kuralına göre hesaplanan düşey eğilme momenti

6.2 Düşey Kesme Kuvveti Hesap Sonuçlarının Karşılaştırılması

6.2.1 L/B oranı 5.25

L/B oranı 5.25 için ANSYS AQWA programında düzenli dalgalarda hesaplanan düşey kesme kuvveti sarkma durumu için x/L 0.6'da 3597.851 kN ve Bureau Veritas klas kurallarına göre hesaplanan dalga kaynaklı düşey kesme kuvveti sarkma durumu için 5936.209 kN dir. Değerler Şekil 6.6'da gösterilmiştir. ANSYS AQWA programında beş deniz durumunda operasyon bölgeleri Karadeniz, Ege ve

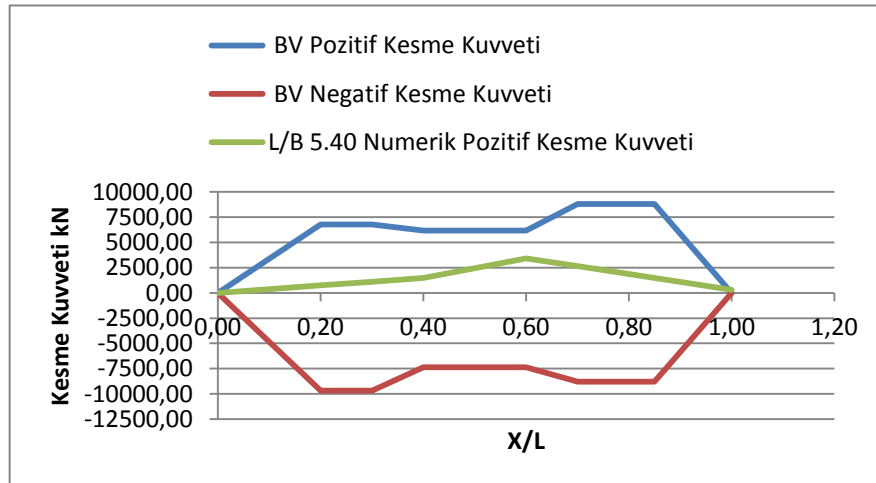
Akdeniz olmak üzere , karışık dalgaları temsil etmek için Pierson-Moskowitz dalga spektrumu kullanılarak elde edilen kesme kuvveti değeri Ege bölgesi için 3800.399 kN'dır. Elde edilen bu değer ile klas kurallarına göre hesaplanan kesme kuvveti arasındaki fark %35.97'dir.



Şekil 6.6 L/B 5.25 için nümerik ve ve Klas kuralına göre hesaplanan düşey kesme kuvveti

6.2.2 L/B oranı 5.40

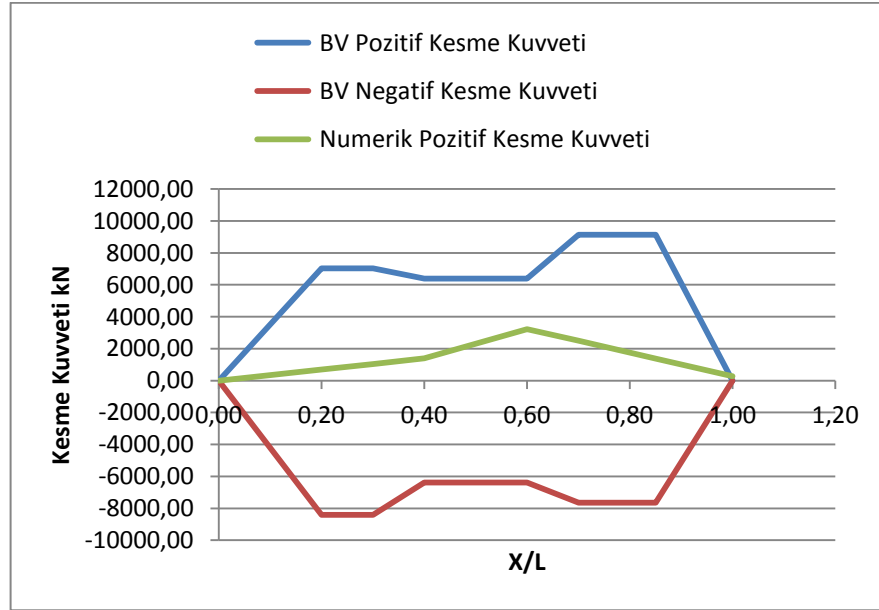
L/B oranı 5.40 için ANSYS AQWA programında düzenli dalgalarda hesaplanan düşey kesme kuvveti sarkma durumu için x/L 0.6'da 3418.209 kN ve Bureau Veritas klas kurallarına göre hesaplanan dalga kaynaklı düşey kesme kuvveti sarkma durumu için 6155.56 kN dir. Şekil 6.7'de değerler gösterilmiştir.



Şekil 6.7 L/B 5.40 için nümerik ve ve Klas kuralına göre hesaplanan düşey kesme kuvveti

6.2.3 L/B oranı 5.56

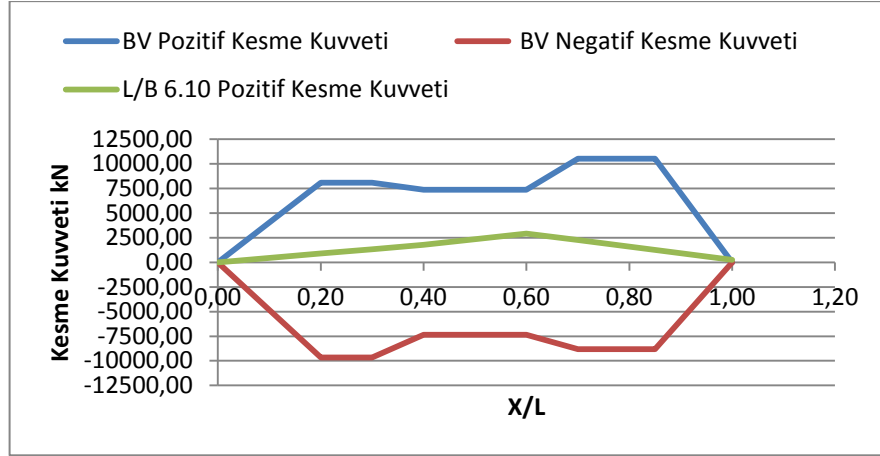
L/B oranı 5.56 için ANSYS AQWA programında, düzenli dalgalarda hesaplanan düşey kesme kuvveti sarkma durumu için $x/L = 0.6$ 'da 3224 kN ve Bureau Veritas klas kurallarına göre hesaplanan dalga kaynaklı düşey kesme kuvveti sarkma durumu için 6393.73 kN dır. Şekil 6.8'de değerler gösterilmiştir.



Şekil 6.8 L/B 5.56 için nümerik ve ve Klas kuralına göre hesaplanan düşey kesme kuvveti

6.2.4 L/B oranı 6.10

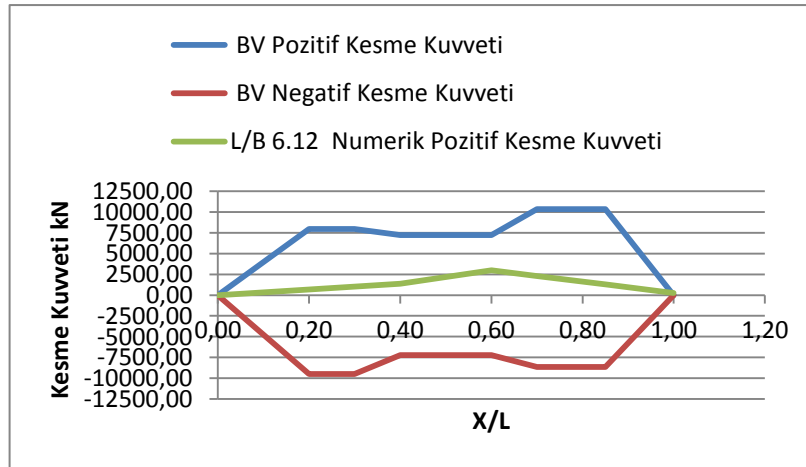
L/B oranı 6.1 için ANSYS AQWA programında düzenli dalgalarda hesaplanan düşey kesme kuvveti sarkma durumu için $x/L = 0.6$ 'da 2926.746 kN iken, Bureau Veritas klas kurallarına göre hesaplanan dalga kaynaklı düşey kesme kuvveti sarkma durumu için 7361.77 kN dır. Yine ANSYS AQWA programında beş deniz durumunda operasyon bölgeleri Karadeniz, Ege ve Doğu Akdeniz olmak üzere , karışık dalgaları temsil etmek için Pierson-Moskowitz dalga spektrumu kullanılarak elde edilen kesme kuvveti değeri Ege bölgesi için 4294.183 kN'dır. Elde edilen bu değer ile klas kurallarına göre hesaplanan kesme kuvveti arasındaki fark %41.66'dir. Şekil 6.9'da değerler gösterilmiştir.



Şekil 6.9 L/B 6.1 için nümerik ve Klas kuralına göre hesaplanan düşey kesme kuvveti

6.2.5 L/B oranı 6.12

L/B oranı 6.12 için ANSYS AQWA programında, düzenli dalgalarda hesaplanan düşey kesme kuvveti sarkma durumu için $x/L = 0.6$ 'da 2968.073 kN iken, Bureau Veritas klas kurallarına göre hesaplanan dalga kaynaklı düşey kesme kuvveti sarkma durumu için 7234.57 kN dir. Şekil 6.10'da değerler gösterilmiştir.



Şekil 6.10 L/B 6.12 için nümerik ve ve Klas kuralına göre hesaplanan düşey kesme kuvveti

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, klas kuruluşları tarafından gemi ön dizaynında yapısal elemanların boyutlandırılmasında kullanılmak üzere verilmiş olan ampirik formüller ile elde edilen dalga kaynaklı düşey eğilme momenti ve kesme kuvveti değerlerinin büyüklüğü, ANSYS AQWA programı kullanılarak nümerik olarak hesaplanan değerlerin büyüklüğü ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar göstermektedir ki, düzenli dalgalar kullanılarak yapılan hesaplamalara göre düşey eğilme momenti için BV klas kuruluşu ile nümerik yöntem arasında $x=0.5L$ 'de %48 ile %60 arasında fark bulunmaktadır. Yine aynı şekilde, düzenli dalgalarda düşey kesme kuvveti için yapılan hesaplamalara göre, nümerik yöntem ile BV kuralları arasında $x=0.5L$ 'de %40 ile %60 arasında fark bulunmaktadır. Bununla birlikte karışık dalgalarda deniz durumu 5 , dalga yüksekliği 3.25 m. alınarak Karadeniz, Ege ve Akdeniz bölgeleri için tanımlanan operasyon bölgelerinde Pierson-Moskowitz dalga spektrumu kullanılarak elde edilen düşey eğilme momentleri ile BV klas kurallarına göre hesaplanan düşey eğilme momentleri arasında %50 fark bulunmaktadır ancak Evans tarafından 1975 yılında önerildiği gibi 80m den büyük gemiler için dizayn dalga yüksekliği 8 m. alınarak yapılan hesap sonuçlarına göre nümerik yöntem ile BV kuralları arasında dalga kaynaklı düşey eğilme momenti için fark %10 seviyelerine düşmektedir. Yapılan beş farklı yüzeye ait inceleme durumunda da, klas kuruluşlarının vermiş oldukları formüllerde güvenlik payının bulunduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Bundan sonraki çalışmalarda, su derinliği ve gemi hızı gibi farklı iki parametrenin, düşey eğilme momenti ve kesme kuvveti üzerinde etkisinin ne olabileceği ile ilgili nümerik çalışmalar yapılabilir.

Gemilerin görev yapacağı operasyon bölgelerinde maksimum beş deniz durumu olacağı kabulü ile sınırlamalar yapılmıştır. Karışık dalgalarda denizi temsil etmek üzere Pierson-Moskowitz dalga spektrumu kullanılmıştır. Daha sonra yapılacak çalışmalarda, farklı deniz koşulları ve dalga spektrumları kullanılarak daha detaylı bir çalışma yapılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] Kroukovsky, B. V., (1955), " Investigation of Ship Motions in Regular Waves", SNAME, 63 : 386-435.
- [2] Korvin-Kroukovsky, B.V. ve Jacobs, WR., (1957), "Pitching and heaving motions of a ship in regular waves", SNAME, 65 :590–632.
- [3] Jacobs, WR., (1958), "The analytical calculation of ship bending moments in regular waves", J Ship Res, 2 : 20.
- [4] Salvesen, N., Tuck, E.O. ve Faltinsen, O., (1970), "Ship motions and sea loads", SNAME, 78:250–287.
- [5] Tasai, F. ve Takagi, M. , (1969), "Theory and calculation of ship responses in regular waves", Symposium on Seaworthiness, Society of Naval Architects of Japan, 1–33.
- [6] Soding, H., (1969), Eine modifikation der streifenmethode, Schiffstchnik, Bd. 16, Heft 80.
- [7] Borodai, I.K. ve Netsvetayev, Y.A., (1969), Ship motions in ocean waves, Leningrad Studostorenie.
- [8] Bishop, RED, Price, W.G. ve Tam, P.K.Y., (1977), "A unified dynamic analysis of ship response to waves.", RINA , 119:363–390.
- [9] Bishop, RED, Price, W.G. ve Tam, P.K.Y., (1980), "A unified dynamic analysis of antisymmetric ship response to waves.", RINA ,112:349–365.
- [10] Gerritsma, J. ve Beukelman, W., (1964), "The distribution of hydrodynamic forces on a heaving and pitching ship model in still water.", 5th Symposium on Naval Hydrodynamics, Washington D.C., National Academy Press,219–251.
- [11] Wahab, R. ve Vink, J.H., (1973), The Hydrodynamic Forces and Ship Motions in Oblique Waves., Netherlands Research Center TNO Report, 193.
- [12] Faltinsen, O. ve Zhao, R., (1991), "Numerical prediction of ship motions at high forward speed.", Philos Trans R Soc , London, 334:241–252.
- [13] Kukkanen, T. , (2006), A numerical and experimental study of nonlinear wave loads on ships, Araştırma Rapru, VTT Teknolojik Araştırma Merkezi, Finlandiya.

- [14] Jensen, J. J. ve Pedersen P.T. , (1979), "Wave-Induced Bending Moments in Ships - A Quadratic Theory", Danish Center for Applied Mathematics and Mechanics.
- [15] Alexander, F. H., (1905), "The Influence of the Proportions and Form of Ships upon Their Longitudinal Bending Moments Among Waves, Trans. INA, vol. 47, London.
- [16] Alexander F. H., (1911), "The Influence of Longitudinal Distribution of Weight the Bending Moments of Ships Among" , Trans. INA, vol. 53, London.
- [17] Robb, A. M., (1918), "An Investigation of the Shearing Force and Bending Moment Acting on the Structure of a Ship Including Dynamic Effects", Trans. INA, vol. 60, London.
- [18] Lockwood, Taylor, J.L., (1924-25), "The Theory of Longitudinal Bending of Ship"s, Trans. N.E. C. I., volume XLI, Newcastle-upon-Tyne.
- [19] Edward V. Lewis, Motion in Waves and Controllability, Principles of Naval Architecture Vol III, November 1989
- [20] Journée, J.M.J., (2001), "OFFSHORE HYDROMECHANICS", Delft University of Technology.
- [21] Salvesen, N., (1970), "Ship Motions and Sea Loads" , The Society of Naval Architects and Marine Engineers, No 6, New York.
- [22] Phelps, B., (1995), "Ship Structural Response Analysis Spectra and Statics", Defence Science and Technology Organisation.
- [23] Bilgin C., "Dalga iklimi Dersi, Dalga Teorilerine Bir Bakış - Nonlineer Dalga Teorisi"
- [24] Journée, J.M.J. ve Adegeest, L.J.M. , (2003), Theoretical Manual of Strip Theory Program SEAWAY for Windows.
- [25] Paul, S., (2009), AQWA Training Course.
- [26] Liu, C.F., Teng, B. Ve Gou, Y., (2011) "A 3D time-domain method for predicting the wave-induced forces and motions of a floating body".
- [27] Lin, W.M. and Yue, D.K.P., (1990), "Numerical solutions for large amplitude ship motions in the time domain." , Proceedings of the 18th Symposium on Naval Hydrodynamics, National Academy Press, Washington, DC, 41–66.
- [28] Phelps B.P., (1997), "Determination of Wave Loads for Ship Structural Analysis", Maritime Platforms Division Aeronautical and Maritime Research Laboratory.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı	Erhan Aslantaş
Doğum Tarihi ve Yeri	01/03/1979 Bursa \Mustafa Kemal Paşa
Yabancı Dili	İngilizce
E-posta	erhanaslantas@yahoo.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lisans	Gemi İnş.ve Mak. Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2001
Lisans	Makine Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi (Çift Anadal Programı)	2002
Lise	Sayısal	Bursa/MustafaKemalPaşa	1996

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2008-	RMK Marine Tersanesi	Tasarım Hesaplama Uzman Mühendisi
2002-2007	ADMARIN Dizayn	Hesaplama Mühendisi

YAYINLARI

Bildiri

1. Aslantaş E., Özdamar A., Gemi Eğilme Momenti ve Kesme Kuvveti Kesit Zorlarının Bureau Veritas Kuralları ve Nümerik Yöntem ile Analizi, Gemi İnşaatı ve Deniz Teknolojisi Teknik Kongresi 2012, (2012)