

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK SÜRATLI KAYICI BİR TEKNENİN
HESAPLAMALI AKIŞKANLAR DİNAMİĞİ YÖNTEMİ
İLE FORM OPTİMİZASYONU**

Gemi İnş. Müh. Nariman MEHDİYEV

**FBE Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Anabilim Dalında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Tamer YILMAZ

Doç. Dr. Ahmet ERDİL

Doç. Dr. Fahri ÇELİK

İSTANBUL, 2009

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	iv
KISALTMA LİSTESİ	v
ŞEKİL LİSTESİ	vi
ÇİZELGE LİSTESİ	x
ÖNSÖZ	xi
ÖZET	xii
ABSTRACT	xiii
1. GİRİŞ	1
1.1 Yüksek Hızlı Kayıcı Tekneler	1
1.2 Sayısal Yöntemler	3
1.3 Gemi İnşaatında HAD Uygulamaları	5
2. MATEMATİK MODELLER	12
2.1 Akışkanlar Mekaniğinin Temel Diferansiyel Denklemleri	12
2.1.1 Kütleinin Korunumunun Diferansiyel Denklemi	12
2.1.2 Momentumun Korunumunun Diferansiyel Denklemi	13
2.1.3 Newton Tipi Akışkan ve Navier-Stokes Denklemleri	13
2.1.4 Akışkanlar Mekaniğinin Temel Denklemlerinin Kapalı Formu	14
2.2 Sayısal Analiz	15
2.2.1 Sonlu Hacimler Yöntemi	15
2.3 Türbülans Modelleri	16
2.3.1 SST k- ω türbülans modeli	17
3. TEKNE ETRAFINDAKİ AKIŞIN MODELLENMESİ	19
3.1 Tekne Geometrisi	19
3.2 HAD Yöntemlerinin Kullanılması	21
3.3 HAD Modelinin Çözümüne Hazır Hale Getirilmesi	21
3.3.1 Serbest Su Yüzeyinin Modellenmesi	26
3.3.2 Türbülans Modellemesi	28
3.3.3 Başlangıç ve Sınır Koşulları	28
4. FARKLI HIZLARDA TEKNE ETRAFINDAKİ AKIŞIN ANALİZİ	33
4.1 Tekne Direnci ve Ana Bileşenleri	33
4.1.1 HAD Yöntemi Kullanılarak Direnç Analizinin Yapılması	35
4.1.2 Teknenin 20 Knot ve 25 Knot Hızlardaki Toplam Direncinin Bulunması	36
4.2 HAD Analizleri Sonucunda Elde Edilen Basınç Dağılımı	37
4.3 HAD Analizleri Sonucunda Elde Edilen Dalga Deformasyonları	39
4.4 HAD Analizleri Sonucunda Pervane Düzleminde Elde Edilen Basınç Dağılımı ..	45
4.5 HAD Analizleri Sonucunda Tekne Etrafında Elde Edilen Akım Çizgileri	48

5.	ALTERNATİF TEKNE FORMLARI İÇİN HAD ANALİZİ YARDIMI İLE FORM İYİLEŞTİRİLMESİ	51
5.1	HAD Yöntemi Kullanılarak $L_{WL}/B_{WL} = 5.598$ ve $L_{WL}/B_{WL} = 6.662$ Olan Teknelerin 25 Knot Seyir Hızında Toplam Dirençlerinin Bulunması.....	52
5.2	HAD Analizleri Sonucunda Elde Edilen Basınç Dağılımı	52
5.3	HAD Analizleri Sonucunda Elde Edilen Dalga Deformasyonları	55
5.4	HAD Analizleri Sonucunda Pervane Düzleminde Elde Edilen Basınç Dağılımı..	62
5.5	HAD Analizleri Sonucunda Tekne Etrafında Elde Edilen Akım Çizgileri	64
6.	DALGALI DURUM İÇİN TEKNE ETRAFINDAKİ AKIŞIN MODELLENMESİ.....	67
6.1	Dalgalı Durumda Teknenin 25 Knot Seyir Hızındaki Toplam Direncinin Bulunması	69
6.2	HAD Analizleri Sonucunda Elde Edilen Basınç Dağılımı	70
6.3	HAD Analizleri Sonucunda Elde Edilen Dalga Deformasyonları	71
6.4	HAD Analizleri Sonucunda Pervane Düzleminde Elde Edilen Basınç Dağılımı	74
6.5	Analizleri Sonucunda Tekne Etrafında Elde Edilen Akım Çizgileri.....	75
7.	SONUÇLAR ve ÖNERİLER	77
	KAYNAKLAR.....	78
	ÖZGEÇMİŞ.....	82

SİMGE LİSTESİ

F_n	Froude sayısı
V	Hız
L	Tekne su hattı boyu
g	Yerçekimi ivmesi
ρ	Akışkanın Yoğunluğu
t	Zaman
u, v, w	Hız vektörü bileşenleri
p	Basınç
τ	Kayma gerilmesi
μ	Akışkanın dinamik viskozitesi
S_{Mx}, S_{My}, S_{Mz}	Bünye kuvvetleri
S	Alan
V	Hacim
d	Boru çapı
T_t	Reynolds gerilme tensörü
k	Türbülans kinetik enerjisi
ω	Özel türbülans kinetik enerjisi kayıp oranı
G_k	Türbülans kinetik enerji üretimi
G_ω	Türbülans özel kayıp oranı üretimi
L_{OA}	Tam boyu
L_{WL}	Su hattı boyu
B_{WL}	Su hattı genişliği
T	Su çekimi
D	Derinlik
∇	Deplasman hacmi
C_B	Blok katsayısı
C_n	n'inci fazın hacim oranı
R_T	Toplam direnç
R_f	Sürtünme direnci
R_{pV}	Viskoz basınç direnci
R_w	Dalga yapma direnci
$f_f^{pressure}$	Basınç kuvvet vektörü
f_f^{shear}	Sürtünme kuvvet vektörü
n_f	Yön vektörü
p_f	Eleman yüzeyinde hesaplanan basınç
p_{ref}	Kabul edilen referans basınç
a_f	Yüzey alan vektörü
T_f	Eleman yüzeyindeki gerilme tensörü
H	Dalga yüksekliği
ζ	Dalga genliği
λ	Dalga uzunluğu

KISALTMA LİSTESİ

HAD	Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği
HSVA	Hamburg Gemi Model Havuzu
ITTC	Uluslar arası Çekme Tankı Konferansı
RANS	Reynolds Ortalamalı Navier-Stokes
MAC	İşaretleyici ve Hücre
VOF	Akışkan Hacmi
SST	Kayma Gerilme Taşınımı
BDT	Bilgisayar Destekli Tasarım

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1.1 Kayıcı tekne en kesit resmi.....	3
Şekil 3.1 Tekne form planı.....	20
Şekil 3.2 Teknenin önden görünümü.....	20
Şekil 3.3 Tekne perspektif görünümü.....	20
Şekil 3.4 Simetri düzleminde kesilip yarım model olarak hazırlanan tekne ve akışkan hacminin beraber görünümü.....	23
Şekil 3.5 Tekne ve akışkan hacmini temsil eden yüzeylerin yüzey ağı gösterimi.....	23
Şekil 3.6 Hacimsel çözüm ağı gösterimi.....	24
Şekil 3.7 Çözüm bölgesi simetri düzlemi üzerindeki çözüm ağı.....	24
Şekil 3.8 Tekne ve su hattı çevresindeki sık çözüm ağı.....	25
Şekil 3.9 Teknenin en kesitleri etrafındaki çözüm ağı.....	25
Şekil 3.10 Tekne ve çözüm ağının beraber gösterimi.....	26
Şekil 3.11 Tekne duvarı etrafında kullanılan çözüm ağı elemanları.....	26
Şekil 3.12 Duvar sınır koşullarının şematik olarak gösterimi (akışkan bölgeyi sınırlayan üst, alt ve yan duvarlar kaygan duvar olarak modellenmiştir).....	30
Şekil 3.13 Giriş, simetri ve tekne duvar sınır koşullarının şematik olarak gösterimi (giriş için hız giriş (velocity inlet) sınır koşulu kullanılmıştır).....	30
Şekil 3.14 Çıkış ve simetri sınır koşullarının şematik olarak gösterimi (çıkış için basınç çıkışı (pressure outlet) sınır koşulu tanımlanmıştır).....	31
Şekil 3.15 Başlangıç koşulu olarak serbest su yüzeyi hattının simetri düzlemindeki gösterimi (lacivert bölge su akışkanını, kırmızı bölge hava akışkanını temsil etmektedir).....	31
Şekil 3.16 Başlangıç koşulu olarak hidrostatik basıncın simetri düzlemi üzerindeki dağılımı.....	32
Şekil 3.17 Başlangıç koşulu olarak hidrostatik basıncın tekne üzerinde gösterimi.....	32
Şekil 4.1 20 knot seyir hızı ile hareket eden tekne üzerinde elde edilen basınç dağılımı.....	37
Şekil 4.2 25 knot seyir hızı ile hareket eden tekne üzerinde elde edilen basınç dağılımı.....	37
Şekil 4.3 20 ve 25 knot seyir hızlarında, su hattı (T=1.3 m) seviyesinde ölçülen basınç değerlerinin tekne boyuna göre dağılımı.....	38
Şekil 4.4 20 ve 25 knot seyir hızlarında, orta simetri düzlemi ile tekne yüzeyinin kesiştiği çizgide ölçülen basınç değerlerinin tekne boyuna göre dağılımı.....	38
Şekil 4.5 20 knot seyir hızında teknenin simetri düzlemi ve tekne yüzeyi üzerinde elde edilen dalga deformasyonu.....	39
Şekil 4.6 25 knot seyir hızında teknenin simetri düzlemi ve tekne yüzeyi üzerinde elde edilen dalga deformasyonu.....	39
Şekil 4.7 20 knot seyir hızında tekne etrafında oluşan dalga deformasyonları.....	40
Şekil 4.8 25 knot seyir hızında tekne etrafında oluşan dalga deformasyonları.....	40
Şekil 4.9 20 knot seyir hızında tekne etrafında oluşan dalgaların başlangıç su hattı seviyesine göre yükseklikleri.....	41
Şekil 4.10 25 knot seyir hızında tekne etrafında oluşan dalgaların başlangıç su hattı seviyesine göre yükseklikleri.....	41
Şekil 4.11 20 knot seyir hızında tekne etrafında oluşan dalgaların başlangıç su hattı seviyesine göre yükseklikleri (farklı açılardan).....	42
Şekil 4.12 25 knot seyir hızında tekne etrafında oluşan dalgaların başlangıç su hattı seviyesine göre yükseklikleri (farklı açılardan).....	43
Şekil 4.13 20 knot seyir hızında tekne yüzeyi üzerinde oluşan dalga yüksekliklerinin tekne boyunca değişimi.....	44
Şekil 4.14 25 knot seyir hızında tekne yüzeyi üzerinde oluşan dalga yüksekliklerinin tekne boyunca değişimi.....	44

Şekil 4.15	20 knot seyir hızında $X/L = 1$ 'de düşünülen pervane düzlemi için iskele ve sancak taraflarında elde edilen basınç dağılımı	45
Şekil 4.16	25 knot seyir hızında $X/L = 1$ 'de düşünülen pervane düzlemi için iskele ve sancak taraflarında elde edilen basınç dağılımı	45
Şekil 4.17	20 knot seyir hızında $X/L \approx 0.975$ 'de düşünülen pervane düzlemi için iskele ve sancak taraflarında elde edilen basınç dağılımı	46
Şekil 4.18	25 knot seyir hızında $X/L \approx 0.975$ 'de düşünülen pervane düzlemi için iskele ve sancak taraflarında elde edilen basınç dağılımı	46
Şekil 4.19	20 knot seyir hızında $X/L = 1$ 'de düşünülen pervane düzlemi için iskele ve sancak taraflarında elde edilen hız dağılımı	47
Şekil 4.20	25 knot seyir hızında $X/L = 1$ 'de düşünülen pervane düzlemi için iskele ve sancak taraflarında elde edilen hız dağılımı	47
Şekil 4.21	20 knot seyir hızında $X/L \approx 0.975$ 'de düşünülen pervane düzlemi için iskele ve sancak taraflarında elde edilen hız dağılımı	48
Şekil 4.22	25 knot seyir hızında $X/L \approx 0.975$ 'de düşünülen pervane düzlemi için iskele ve sancak taraflarında elde edilen hız dağılımı	48
Şekil 4.23	20 knot seyir hızında tekne baş tarafında akım hatlarının dağılımı.....	49
Şekil 4.24	25 knot seyir hızında tekne baş tarafında akım hatlarının dağılımı.....	49
Şekil 4.25	20 knot seyir hızında tekne pervane ekseninden geçen akım hatları üzerindeki basınç değerleri	50
Şekil 4.26	25 knot seyir hızında tekne pervane ekseninden geçen akım hatları üzerindeki basınç değerleri	50
Şekil 5.1	25 knot seyir hızı ile hareket eden, $L_{WL}/B_{WL} = 5.598$ olan tekne üzerinde elde edilen basınç dağılımı	53
Şekil 5.2	25 knot seyir hızı ile hareket eden, $L_{WL}/B_{WL} = 6.662$ olan tekne üzerinde elde edilen basınç dağılımı	53
Şekil 5.3	25 knot seyir hızında, $L_{WL}/B_{WL} = 5.598$ ve $L_{WL}/B_{WL} = 6.662$ olan teknelerin su hattı ($T=1.3$ m) seviyesinde ölçülen basınç değerlerinin tekne boyuna göre dağılımı	54
Şekil 5.4	25 knot seyir hızında, $L_{WL}/B_{WL} = 5.598$ ve $L_{WL}/B_{WL} = 6.662$ olan teknelerin orta simetri düzlemi ile tekne yüzeyinin kesiştiği çizgide ölçülen basınç değerlerinin tekne boyuna göre dağılımı	54
Şekil 5.5	25 knot seyir hızında, $L_{WL}/B_{WL} = 5.598$ olan tekne modeli için, simetri düzlemi ve tekne yüzeyi üzerinde elde edilen dalga deformasyonu	55
Şekil 5.6	25 knot seyir hızında, $L_{WL}/B_{WL} = 6.662$ olan tekne modeli için, simetri düzlemi ve tekne yüzeyi üzerinde elde edilen dalga deformasyonu	55
Şekil 5.7	25 knot seyir hızında, $L_{WL}/B_{WL} = 5.598$ olan tekne etrafında oluşan dalga deformasyonları	56
Şekil 5.8	25 knot seyir hızında, $L_{WL}/B_{WL} = 6.662$ olan tekne etrafında oluşan dalga deformasyonları	56
Şekil 5.9	25 knot seyir hızında $L_{WL}/B_{WL} = 5.598$ olan tekne etrafında oluşan dalgaların başlangıç su hattı seviyesine göre yükseklikleri.....	57
Şekil 5.10	25 knot seyir hızında $L_{WL}/B_{WL} = 6.662$ olan tekne etrafında oluşan dalgaların başlangıç su hattı seviyesine göre yükseklikleri.....	57
Şekil 5.11	25 knot seyir hızında $L_{WL}/B_{WL} = 5.598$ olan tekne etrafında oluşan dalgaların başlangıç su hattı seviyesine göre yükseklikleri (farklı açılardan).....	58

Şekil 5.12	25 knot seyir hızında $L_{WL}/B_{WL} = 6.662$ olan tekne etrafında oluşan dalgaların başlangıç su hattı seviyesine göre yükseklikleri (farklı açılardan).....	59
Şekil 5.13	25 knot seyir hızında, $L_{WL}/B_{WL} = 5.598$ olan tekne yüzeyi üzerinde oluşan dalga yüksekliklerinin tekne boyunca değişimi	60
Şekil 5.14	25 knot seyir hızında, $L_{WL}/B_{WL} = 6.662$ olan tekne yüzeyi üzerinde oluşan dalga yüksekliklerinin tekne boyunca değişimi	60
Şekil 5.15	25 knot seyir hızında, $L_{WL}/B_{WL} = 5.598$ olan tekne, $X/L = 1$ 'de düşünülen pervane düzlemi için iskele ve sancak taraflarında elde edilen basınç dağılımı ...	61
Şekil 5.16	25 knot seyir hızında, $L_{WL}/B_{WL} = 6.662$ olan tekne, $X/L = 1$ 'de düşünülen pervane düzlemi için iskele ve sancak taraflarında elde edilen basınç dağılımı ...	61
Şekil 5.17	25 knot seyir hızında, $L_{WL}/B_{WL} = 5.598$ olan tekne, $X/L = 0.95$ 'de düşünülen pervane düzlemi için iskele ve sancak taraflarında elde edilen basınç dağılımı ...	62
Şekil 5.18	25 knot seyir hızında, $L_{WL}/B_{WL} = 6.662$ olan tekne, $X/L = 0.95$ 'de düşünülen pervane düzlemi için iskele ve sancak taraflarında elde edilen basınç dağılımı ...	62
Şekil 5.19	25 knot seyir hızında, $L_{WL}/B_{WL} = 5.598$ olan tekne, $X/L = 1$ 'de düşünülen pervane düzlemi için iskele ve sancak taraflarında elde edilen hız dağılımı.....	63
Şekil 5.20	25 knot seyir hızında, $L_{WL}/B_{WL} = 6.662$ olan tekne, $X/L = 1$ 'de düşünülen pervane düzlemi için iskele ve sancak taraflarında elde edilen hız dağılımı.....	63
Şekil 5.21	25 knot seyir hızında, $L_{WL}/B_{WL} = 5.598$ olan tekne, $X/L = 0.95$ 'de düşünülen pervane düzlemi için iskele ve sancak taraflarında elde edilen hız dağılımı.....	64
Şekil 5.22	25 knot seyir hızında, $L_{WL}/B_{WL} = 6.662$ olan tekne, $X/L = 0.95$ 'de düşünülen pervane düzlemi için iskele ve sancak taraflarında elde edilen hız dağılımı.....	64
Şekil 5.23	25 knot seyir hızında, $L_{WL}/B_{WL} = 5.598$ olan teknenin baş tarafında akım hatlarının dağılımı.....	65
Şekil 5.24	25 knot seyir hızında, $L_{WL}/B_{WL} = 6.662$ olan teknenin baş tarafında akım hatlarının dağılımı.....	65
Şekil 5.25	25 knot seyir hızında, $L_{WL}/B_{WL} = 5.598$ olan teknenin pervane ekseninden geçen akım hatları üzerindeki basınç değerleri.....	65
Şekil 5.26	25 knot seyir hızında, $L_{WL}/B_{WL} = 6.662$ olan teknenin pervane ekseninden geçen akım hatları üzerindeki basınç değerleri.....	66
Şekil 6.1	Dalga yüksekliği ve dalga boyunun grafiksel gösterimi.....	67
Şekil 6.2	Başlangıç koşulu olarak serbest su yüzeyi (lacivert bölge su akışkanını, kırmızı bölge hava akışkanını temsil etmektedir)	68
Şekil 6.3	Başlangıç koşulu olarak simetri düzlemi ve tekne gövdesi üzerindeki hidrostatik basınç	68
Şekil 6.4	Yarım model için toplam direnç kuvvetinin dalga dolayısıyla değişkenlik gösterdiği anların çözüm adımına bağlı gösterimi.....	69
Şekil 6.5	25 knot seyir hızında dalgalı durum için çözüm sonucunda tekne üzerinde elde edilen basınç dağılımı	70
Şekil 6.6	25 knot seyir hızında, dalgalı durum için su hattı ($T=1.3$ m) seviyesinde ölçülen basınç değerlerinin tekne boyuna göre dağılımı.....	70
Şekil 6.7	25 knot seyir hızında, dalgalı durum için orta simetri düzlemi ile tekne yüzeyinin kesiştiği çizgide ölçülen basınç değerlerinin tekne boyuna göre dağılımı	71
Şekil 6.8	25 knot seyir hızında dalgalı durum için simetri düzlemi ve tekne yüzeyi üzerinde elde edilen dalga deformasyonu.....	71
Şekil 6.9	25 knot seyir hızında dalgalı durum için tekne etrafında oluşan dalgaların başlangıç su hattı seviyesine göre yükseklikleri (farklı açılardan).....	72

Şekil 6.10	25 knot seyir hızında dalgalı durum için tekne etrafında oluşan dalgaların başlangıç su hattı seviyesine göre yükseklikleri	73
Şekil 6.11	25 knot seyir hızında dalgalı durum için tekne yüzeyi üzerinde oluşan dalga yüksekliklerinin tekne boyunca değişimi	73
Şekil 6.12	25 knot seyir hızında dalgalı durum için $X/L = 1$ 'de düşünülen pervane düzlemi için iskele ve sancak taraflarında elde edilen basınç dağılımı	74
Şekil 6.13	25 knot seyir hızında dalgalı durum için $X/L \approx 0.975$ 'de düşünülen pervane düzlemi için iskele ve sancak taraflarında elde edilen basınç dağılımı	74
Şekil 6.14	25 knot seyir hızında dalgalı durum için $X/L = 1$ 'de düşünülen pervane düzlemi için iskele ve sancak taraflarında elde edilen hız dağılımı	75
Şekil 6.15	25 knot seyir hızında dalgalı durum için $X/L \approx 0.975$ 'de düşünülen pervane düzlemi için iskele ve sancak taraflarında elde edilen hız dağılımı	75
Şekil 6.16	25 knot seyir hızında dalgalı durum için teknenin baş tarafında akım hatlarının dağılımı	76
Şekil 6.17	25 knot seyir hızında dalgalı durum için teknenin pervane ekseninden geçen akım hatları üzerindeki basınç değerleri	76

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 3.1 Tekne ana boyutları.....	19
Çizelge 4.1 20 knot ve 25 knot seyir hızıyla hareket eden tekneye etki eden toplam direnç ve bileşenleri	36
Çizelge 5.1 Değişik L_{WL}/B_{WL} değerleri için tekne ana boyutları.....	51
Çizelge 5.2 25 knot seyir hızıyla hareket eden, $L_{WL}/B_{WL} = 6.039$, $L_{WL}/B_{WL} = 5.598$ ve $L_{WL}/B_{WL} = 6.662$ olan teknelere etki eden toplam direnç kuvveti ve bileşenleri.....	52
Çizelge 6.1 Dalgalı durumda 25 knot seyir hızıyla hareket eden tekneye etki eden toplam direnç ve bileşenleri	69

ÖNSÖZ

Yüksek lisans çalışması olarak hazırlanan bu çalışmada Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği yöntemlerinin kullanılması ile yüksek hızlı kayıcı teknelerin hidrodinamik analizi yapılmış ve gerekli veriler elde edilmiştir. Çalışma devam ettirilebilecek bir çalışma olup, Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiğindeki gelişen teknolojik imkanlar kullanılarak daha kapsamlı, daha gerçekçi modellerin hazırlanması için temel çalışma niteliğindedir.

Çalışmanın hazırlanmasında öncelikle, görev dolayısıyla çok kısıtlı olan zamanından değerli bir kısmını bizim için ayırıp, yardımlarını esirgemeyip her türlü destekte bulunan danışman hocam sayın Prof. Dr. Tamer Yılmaz'a en içten saygılarımı sunar ve teşekkürü borç bilirim.

Uzarlarda olsalar da, maddi ve manevi desteklerini her zaman hissettiğim anneme, babama ve kız kardeşlerime, çalışma süresince yazdıkları ile, söyledikleri ile beni daha şevkle çalışmaya sevk eden nişanlım Aytekin Ebilova'ya sonsuz sevgi ve şükranlarımı arz ederim.

Ayrıca, beni sabır ve anlayışla karşılayan ev arkadaşım Samir Baboğluna, üniversitede her zaman desteklerini gördüğüm Ar. Gör. Y. Hakan Özdemir'e, Ar. Gör. Bekir Şener'e, Y. Doç. Dr. Seyfettin Bayraktar'a ve en önemlisi mesai arkadaşlarım ve sayısal hesaplamalar konusunda engin tecrübesine başvurduğum A-Ztech Ltd. teknik müdürü Ali İ. Öge beyefendiye teşekkür ederim.

ÖZET

Gemi inşaatındaki hızlı gelişmelere paralel olarak, gemi model deneylerine ve sayısal modellemelere olan talep hızla artmaktadır. Tekne direncinin tespit edilmesi ve teknenin diğer hidrodinamik özellikleri hakkında bilgi sahibi olmak amacıyla deneysel çalışmalarla beraber, son zamanlarda deneysel çalışmalara alternatif olarak görülen, deneysel çalışmaları destekleyen ve onlardan yararlanan sayısal modelleme teknikleri de kullanılmaktadır.

Sayısal veya hesaplamalı akışkanlar dinamiği teknikleri olarak adlandırılan bu yöntemlere günümüzde sıkça başvurulmakta ve bu yöntemler sayesinde büyük kazançlar sağlanmaktadır.

Sunulan bu çalışmada da, yüksek hızlı kayıcı tekne etrafındaki akış farklı seyir hızları için, hesaplamalı akışkanlar dinamiği yöntemi kullanılarak incelenmiştir. Elde edilen direnç değerleri istatistiksel yöntemlerle elde edilen değerlerle karşılaştırılmıştır. Aynı teknenin deplasman hacmi sabit tutularak ve L_{WL}/B_{WL} tasarım parametresi değiştirilerek oluşturulan yeni iki tekne etrafındaki akış incelenmiş ve toplam direnç yönünden en uygun olan tekne modeli seçilmiştir. Ayrıca, çalışmada aynı yöntemler kullanılarak başlangıç durumu olarak sinüzoidal dalga modellemesi için toplam direnç hesaplanmış ve tekne etrafında oluşan dalga incelenmiştir.

Sonuç olarak Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği yöntemlerinin sakin su ve dalgalı deniz şartlarındaki yüksek hızlı tekne etrafındaki akış benzetimi için oldukça iyi yaklaşımlar verdiği görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Sayısal modelleme, sayısal ve hesaplamalı akışkanlar dinamiği, yüksek hızlı kayıcı tekne, toplam direnç, L_{WL}/B_{WL} tasarım parametresi

ABSTRACT

In parallel rapid improvement in naval architecture, the demands for ship model tests and numerical modelings have been increasing. Beside the experimental works, for determining the hull resistance and getting the realistic information about the hydrodynamical characteristics of hull, the numerical modeling techniques have been used commonly as an alternative to experiments. Nowadays engineers and scientists are frequently referring to these techniques, which named Computational Fluid Dynamics methods. These methods provide them big profits.

In this study, the flow around the high speed planning hull has been investigated for different cruising speeds by using computational fluid dynamics methods. The total resistance has been compared with the statistical results. Then the displacement of the hull was set fixed and by the changing L_{WL}/B_{WL} design parameter, two different hulls were formed. The flow around these hulls also has been investigated separately and aspect of resistance the appropriate hull has been selected. Furthermore same methods have been used for computing the total resistance and investigating the wave forming around the hull in sinusoidal wavy initial conditions.

Consequently, it has been seen that, the usage of Computational Fluid Dynamics methods give good results for the flow simulations around the high speed marine vehicles in quiet and rough water.

Keywords: Numerical modeling, Computational Fluid Dynamics, high speed planning hull, total resistance, L_{WL}/B_{WL} design parameter

1. GİRİŞ

Tekne tasarımının en temel amacı belli bir yükü, belli bir hızda bir yerden başka bir yere en güvenli, ekonomik bir şekilde taşıyacak platformun tip, boyut, form ve diğer özelliklerinin belirlenmesi işlemidir. İlk zamanlarda basit geometrik formların tekne formlarına uygulanma çalışmaları yapılsa da, sonrasında bu formların performans özelliklerinin yetersizliği görülmüştür. Bugünün tekne formları matematiksel modeli olmayan ampirik formlardan oluşmaktadır. Bu ampirik formlar genellikle direnç, sevk, stabilite, denizcilik, manevra gibi performans kriterleri arasında en iyi dengeyi kuracak şekilde deneyime, tecrübeye dayalı olarak çıkarılmaktadır. Bu yöntemlerle ortaya çıkarılmış olan formlar, optimum olmaktan çok genellikle değişik performans kriterlerini kısmen sağlayan uzlaşmış bir çözümü yansıtmaktadır (Sarıöz, 2006).

Ayrıca deniz araçlarının inşasında otomotiv veya havacılık endüstrisindekine benzer şekilde bir prototip imali mümkün değildir. Bu durum tekne tasarımcısını çok büyük risk altına sokmaktadır. Bu riskleri azaltmak için tasarımcı genellikle risk oranı düşük yöntemler kullanmalıdır. Bilgisayar, sayısal geometri, hesaplamalı akışkanlar dinamiği alanlarındaki baş döndürücü ilerlemeler bu risklerin azaltılmasında çok büyük rol oynamaktadır.

Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) akışkan hareketlerini tanımlayan kısmi diferansiyel korunum denklemlerinin sayısal yöntemler kullanılarak çözümlenmesini içermektedir. Sayısal yöntemlerin ve bilgisayar donanımlarının son yıllardaki gelişimi, HAD yöntemlerinin deniz araçlarının tasarımı için kullanılmasını da beraberinde getirmiştir. Çekme tank testlerinin maliyetinin yüksek olması ve buna karşın sayısal yöntemlerin maliyetlerini son yıllarda çok düşmesi artık tekne tasarımcıları için HAD yöntemlerini vazgeçilmez kılmaktadır.

Bu çalışmada da HAD yöntemi kullanılarak yüksek süratli teknelerin form optimizasyonu için yaklaşım yapılacaktır. Bilindiği üzere yüksek süratli tekneler farklı amaçlara uygun ve farklı form şekillerinde tasarlanabilmektedir. Yapılacak çalışmada V kesitli yüksek süratli kayıcı tekne formu kullanılmakta ve bu tekne formunun farklı amaçlar için kullanılabilmesi öngörülmektedir.

1.1 Yüksek Hızlı Kayıcı Tekneler

İsimden de belli olduğu üzere bu tekneler diğer geleneksel deniz taşıtlarına göre daha hızlıdırlar. Ama hızlı kavramı nispi bir kavramdır. Baird yüksek hızlı tekneleri, en yüksek seyir hızları 30 knot hızın üzerinde olan tekneler olarak tanımlamaktadır (Baird, 1998). Buna

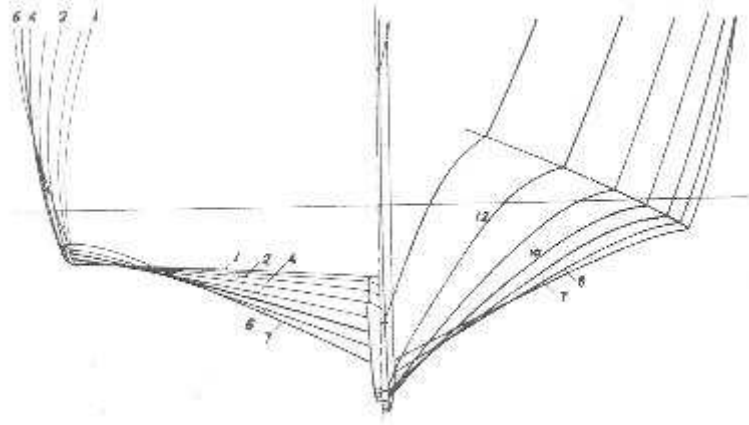
karşın hidrodinamikçiler, 0.4'ten büyük Froude sayısına ($F_n = V/\sqrt{L \cdot g}$) sahip tekneleri yüksek hızlı tekneler olarak adlandırmaktadırlar. Burada V hız, L su hattı boyu, g ise yer çekimi ivmesidir (Faltinsen, 2005).

Deniz araçlarını taşıyan kuvvetler genel olarak iki kategoride incelenebilir: Hidrostatik ve hidrodinamik kuvvetler. Hidrostatik yükler batan hacim ile ilişkili olup, kaldırma kuvveti sağlarlar. Hidrodinamik kuvvetler ise araç etrafındaki akışa bağlı olup yaklaşık aracın hızının karesi ile orantılıdır. Froude sayısının 0.4'ten küçük olduğu durumlarda hidrostatik kuvvetler hidrodinamik kuvvetlere nispeten baskındır. Bu Froude sayısına karşılık gelen maksimum seyir hızlarına sahip tekneler deplasman tekneleri olarak adlandırılmaktadır. F_n sayısının 1 ve 1.2'den büyük olduğu durumlarda hidrodinamik kuvvetler taşıt kütlelerini taşımakta ve bu tür durumlar kayma olarak bilinmektedir. Bu F_n sayısına sahip hızlarda seyr eden tekneler kayıcı tekneler olarak adlandırılır. Maksimum seyir hızına karşılık gelen Froude sayısı $0.4-0.5 < F_n < 1-1.2$ aralığında ise, bu tekneler yarı deplasman tekneler olarak isimlendirilirler (Faltinsen, 2005).

Sephiye kuvveti sıfır hızda yüzen bir cismin ağırlığını tamamıyla dengeler. Archimedes'e göre bir akışkan içine tamamen veya kısmen batmış bir cismine etkiyen kaldırma kuvveti (sephiye) yer değiştirdiği akışkanın ağırlığına eşittir. Cismin, akışkan içerisinde hareket etmeye başlamasıyla, tekne gövdesi etrafındaki akış dolayısıyla hidrostatik kuvvete ek hidrodinamik kuvvetler de oluşmaktadır. Bu hidrodinamik kuvvetin düşey doğrultudaki bileşeni teknenin batmasına ve trim'e neden olur. Yüksek hızlarda ise bu düşey basınç kuvveti sephiyeden oldukça büyük olabilir ve tekneyi neredeyse tamamıyla suyun dışına kaldırabilir (Larsson, 2006). Baskın olarak hidrodinamik olarak desteklenen bir tekne kayıcı olarak değerlendirilir (Şekil 1.1)

Froude sayısının 1'den daha yüksek değerlerini taşıyan tekneler yarı deplasmandan daha çok kayıcı tekne özelliğini taşımaktadır. Kayıcı teknelerde yüksek güce ve düşük ağırlığa sahip olan ve bu tekne formları için özellikle kullanılmakta olan motorların üretilmesiyle birlikte istenen güce ve hıza ulaşılabilmektedir.

Genel olarak teknelerin istenen hızda gitmesi için gerekli makine gücünün belirlenmesi, tekne inşa edilmeden önce bu hızda tekne toplam direncinin hassas bir şekilde hesaplanmasıyla mümkündür. Basit olarak, belirli bir hızda giden bir teknenin direnci, etrafındaki akışkan ortamlarının oluşturduğu ve hareket doğrultusuna ters yönde tekne üzerine etki ederek hareketini engelleyen kuvvete denir (Baykal, 2002).



Şekil 1.1 Kayıcı tekne en kesit resmi (Alkan, 2007)

Şu halde direnç, akışkan kuvvetlerinin gemi hareket eksenine paralel doğrultuda etki eden bileşenine eşittir.

Genel olarak gemilerin, özel olarak da kayıcı teknelerin toplam dirençleri aşağıdaki yöntemlerden biri ile bulunabilir:

- Eş veya geometrik benzer gemilerden yararlanılarak
- İstatistiki diyagramlar kullanılarak
- Yaklaşık formüller kullanılarak
- Sistematik direnç araştırmalarının istatistiki analizi yapılarak
- Model deneyleri yapılarak
- Sistematik model deneylerinden çıkarılan yöntemlerden istifade edilerek
- Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) yöntemleri kullanılarak

Gemi direncine etki eden faktörler, kayıcı teknelerin direnci için de geçerlidir. Ancak bunlara ek olarak çene ve çene trimi, flap, kalkıntı açısı ve step de kayıcı teknenin direncine etki etmektedir.

1.2 Sayısal Yöntemler

Zaman geçtikçe, matematik, fizik, mühendislik problemleri daha karmaşık olmaktadır. Yıllardan beri karmaşık problemler, analitik olarak çözülemediğinden, hep deneysel yollarla çözümlenmekte ve incelenmekte idi. Teknolojinin gelişimi ile problemlerin fiziğini tanımlayan matematiksel denklemler, sayısal yöntemlerle çözülmeye başlandı. Akışkanlar mekaniğinin temel hareket denklemleri de farklı sayısal yöntemler kullanılarak

çözölebilmektedir.

Yeni milenyumun gelişi ile hemen her alanda bilgisayar uygulamaları çok büyük bir rağbet gördü. Şimdilerde karmaşık geometriler ve akış yapıları için akışkan hareketi denklemlerini yaklaşık olarak dijital bilgisayarlar ile modellemek daha yaygındır. Akışkanlar mekaniği hareket denklemlerinin çözümü için kullanılan sayısal yöntemler, Sayısal Akışkanlar Dinamiği veya Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği olarak adlandırılır.

Günümüzde HAD iç ve dış akışların modellenmesi ve akış özelliklerinin tahmin edilmesinde kullanımı hızla artan bir yöntemdir. Akış analizleri, ısı transferi ve bunlarla ilgili fiziksel olaylar HAD'nin konuları arasına girer. Bu teknik çok güçlü olup endüstride ve endüstriyel olmayan sahalarda geniş uygulama alanına sahiptir ve endüstriler tarafından hızlıca benimsenmiştir. HAD'nin uygulama alanlarından bazıları aşağıdaki gibi gösterilebilir:

- Uçakların ve hava taşıtlarının aerodinamiği,
- Gemilerin ve deniz taşıtlarının hidrodinamiği,
- Güç üreten sistemler ve yanma olayları,
- Elektrik ve Elektronik mühendisliğinde kullanılan devrelerin ve donanımların soğutma sistemlerinin incelenmesi,
- Çevre mühendisliğinde çevre kirliliğinin incelenmesi,
- Meteorolojide hava tahmin raporlarının hazırlanması,
- Biyomedikal mühendisliğinde kan akışının incelenmesi,

Modern HAD'nin gelişmesi 1950'li yıllarda dijital bilgisayarların ortaya çıkması ile başlamaktadır. HAD'nin temelini oluşturan Sonlu Farklar Yöntemi ve Sonlu Elemanlar Yöntemi kısmi diferansiyel denklemlerin çözümünde kullanılan farklı orijin noktalarına sahip iki metottur. 1910 yılında İngiltere'de Richardson tarafından yayınlanan makalede sonlu farklar metodu taş duvarların gerilme analizi için kullanılmıştır. Turner (1956) tarafından yayınlanan makalede sonlu elemanlar metodunun ilk uygulama örneği verilmiş olup burada sonlu elemanlar metodu uçak kanatlarının gerilme analizinin gerçekleştirilmesi için kullanılmıştır. Bundan sonra her iki metodun akışkanlar mekaniği, ısı transferi ve ilgili alanlara uygulanması paralel şekilde artmıştır.

Sonlu Farklar Yönteminin HAD'ne uygulanmasının ilk örnekleri Courant, Friedrichs ve Lewy (1928), Evans ve Harlow (1957), Goudunov (1959), Lax ve Wendroff (1960), MacCormack (1969) tarafından verilmiş olup, mühendislik edebiyatında Sonlu Farklar Yönteminin HAD'ne

uygulanması ile ilgili benzer çalışmalar görülmektedir.

Sonlu Elemanlar Yönteminin HAD'ne uygulanmasının ilk örnekleri ise Zienkiewicz ve Chung (1965), Oden (1972), Chung (1978) tarafından verilmiştir.

HAD'nin temelini oluşturan bu iki metot dışında Sınır Elemanları Yöntemi, Sonlu Hacimler Yöntemi gibi değişik teknikler geliştirilmiş olup sonlu farklar metodu formülasyonundan türetilen sonlu hacimler yöntemi son zamanlarda HAD'nde en çok kullanılan sayısal yöntemdir. Yapısal çözüm ağlarında olduğu kadar yapısal olmayan çözüm ağlarında da başarılı sonuçlar vermesi bu yöntemin avantajıdır.

1.3 Gemi İnşaatında HAD Uygulamaları

Mühendislik hizmeti almış bir sanayi yapısının rekabet gücünün olabilmesi için emniyetli, ergonomik, ekonomik olması gerekmektedir. Sanayi kuruluşlarının ihtiyaçlara cevap verebilmesi ancak bu hususları göz önünde bulundurmasıyla mümkün olur. Günümüzde ekonomik tasarımların yapılabilinmesi için sayısal yöntemlerin ve deneysel verilerin kullanılması kaçınılmaz hale gelmiştir. Gemi inşaatı sanayinde de diğer sanayi dallarında olduğu gibi HAD uygulamalarının birçok örneği görülebilir. Gemi inşaatı sanayinde bugüne kadar gerçekleştirilmiş olan HAD uygulamaları aşağıda sıralanmıştır;

- a) Form optimizasyonu
- b) Baş ve kık formunun optimizasyonu
- c) Gemi etrafındaki dalga formunun ve deformasyonlarının tespiti
- d) Geminin direnç bileşenlerinin bulunması
- e) Takıntıların uygun yerlerinin bulunması
 - Yalpa omurgası
 - Baş ve kık iticiler
 - Kık kanatçıklar
 - Skeg omurga
 - Dümen ve topuk etrafındaki akış
 - İz düzenleyici nozul
 - Kort nozul
- f) Pervane tasarımı

- Pervane etrafındaki akış
 - Pervane, tekne, dümen etkileşimi
 - Nozul pervane ilişkisi
 - Kavitasyon
 - İz dağılımı
- g) Akış kaynaklı akustik analiz
- h) Yelken etrafındaki akışın analizi
- i) Yumru baş optimizasyonu
- j) Kayıcı tekneler üzerindeki dinamik kuvvetlerin hesabı
- k) Boru devrelerinde akışlar
- l) Baca gazı akışları
- m) Yatlarda ısı konforunun analizi

Bilgisayar teknolojisindeki yetersizliklerden dolayı, 1970'lerin başında Navier-Stokes denklemlerini, uygun sınır koşulları altında gemi için uygulayıp çözmek imkan dahilinde olmadığından, elde var olan imkanlar dahilinde, kabul edilebilir yaklaşımlar sureti ile, gemi etrafındaki akış problemi çözülmeye çalışılmıştır.

1980'de, bu konudaki araştırmacıları bir araya toplamak ve kullanılan metotların geçerliliğini sınamak üzere SSPA ve ITTC tarafından Göteborg-İsveç'te bir toplantı düzenlenmiştir. Kullanılan metotların geçerliliği ise SSPA 720 ve HSVA tankeri deney sonuçlarına göre yapılmıştır. Elde edilen genel sonuçta, birçok araştırmacı belirli bir yaklaşıklıkla, geminin büyük bir kısmı için sınır tabakayı doğru biçimde bulmuşlardır. Fakat gemi kıçında ve iz bölgesinde metotların birçoğu arzu edilen sonucu vermemiştir. Çıkan sonuçlara göre, bundan sonra araştırmalar, gemi kıç ve iz bölgesine üzerine odaklanmıştır. 1980'deki toplantıdan çıkan bir başka sonuç ise, gemi etrafındaki akımın hesaplanmasında kullanılan denklemlerin ve yaklaşımların, olayın tamamının düzgün ve doğru biçimde modellenmesi için yeterli olmadığıdır. Bu toplantıdan sonra araştırmacılar, hızla gelişmekte olan bilgisayar teknolojisinin verdiği cesaret ile çalışmalarında Reynolds Ortalamalı Navier-Stokes (RANS) denklemlerini kullanmaya başlamışlardır.

Larsson (1981) gemi etrafındaki sınır tabakayı ince bir tabaka kabul ederek, bu bölgede ve iz bölgesinde sınır tabaka denklemlerini, bu bölgenin dışında ise ideal akım kabulü yaparak,

akım problemini çözmüş ve SSPA 720 modeli için kapsamlı ölçüm deneyleri yapmıştır. Larsson'un bu çalışması, o tarihe kadar, gemiler için türbülanslı sınır tabakasının araştırıldığı önemli ve kapsamlı çalışmalardan biridir. H.P.Hoffmann (1976) HSVA tanker modeli için sınır tabaka deneylerini kapsamlı olarak gerçekleştirmiştir.

Navier-Stokes çözüm metotlarında serbest su yüzeyi sınır koşulu, ilk defa Harlow ve Welch (1965) tarafından kapalı kaplardaki çalkantı problemlerinde kullanılmıştır. Harlow ve Welsh serbest yüzeylerin takibi için MAC yaklaşımını geliştirdiler. Bu yöntemde, serbest yüzeydeki parçacıkların yüzeyde kaldığı varsayımı yapılarak parçacık takibi yaklaşımı ile serbest su yüzeyi takip edildi. Başka ara yüzey tanımlama metodu VOF şeması Hirt ve Nicholas'ın (1981) çalışmaları ile tanındı. Serbest yüzey modellemesi çalışmaları, sonraki senelerde çalkantı problemleri dışında, açık borulardaki akışlarda, yapı etrafındaki akışlarda da kullanılmaya başlanmıştır. Farmer, Martinelli ve Jameson (1994), Kavamura ve Miyata (1994), Raithby ve diğerleri (1995), Hinatsu (1993), Hino (1992), Gentaz (1996), Muzaferija ve Peric (1997), Leonard (1997), Ubbink'in (1997) çalışmaları bunlara örnek gösterilebilir. Serbest su yüzeyi modellemesi çalışmalarında karşılaşılan en büyük sorunlardan birisi kullanılan çözüm ağı yapısı ile dalgaların yeterince iyi modellenememesidir.

1985'te Göteborg'da yapılan 2. Uluslararası Gemi Viskoz Direnci Sempozyumu'nda, dikkati çeken noktalardan birisi, araştırmacıların kullandıkları denklemlerdir. Daha önceleri çoğunlukla kullanılan sınır tabaka denklemleri yerine, parabolik Navier-Stokes denklemleri veya Reynolds Ortalamalı Navier-Stokes (RANS) denklemleri kullanılmıştır. Kullanılan türbülans modelleri ise, basit cebrik türbülans modelleri yerine, daha evrensel cebirsel türbülans modelleri ve iki denklemlilik türbülans modelleridir.

Gemi etrafındaki akışların HAD yöntemleri ile modellenmesinde en erken çalışmalardan biri olarak, Miyata ve Inui'nin gemi başına gelen akışı modellemek için kullandıkları üç boyutlu sonlu farklar yöntemi kullanılarak yazılmış laminar Navier-Stokes kod olan TUMMAC kodu gösterilebilir.

TUMMAC kodunun daha sonradan Miyata, Nishamura ve Masuko (1985) tarafından geliştirilmesi ile gemi modelinin tamamı etrafındaki akış Navier-Stokes denklemlerinin Euler denklemlerine indirgenmesi ile modellenebilmiştir.

Miyata, Sato ve Baba WISDAM isimli kodu geliştirerek, gemi geometrisi çözüm ağını ve serbest yüzey modellemesini beraber yaptılar. Zhu, Miyata, Kajitani ve Watanabe (1993) kod (WISDAM-V) üzerinde yeniden çalışarak, kodu sonlu hacimler sayısal yöntemi ile çözüm yapabilecek hale getirdiler.

1990'da, aynen 1980'de olduğu gibi SSPA, CTH ve IIHR organizasyonlarının sayesinde Göteborg, İsveç'te benzer bir toplantı düzenlendi. Toplantının amacı gemi etrafında yapılan tüm viskoz akış hesaplamalarının sonuçlarını ortaya çıkarmak ve değişik çözüm metotlarının ve teorilerinin bir karşılaştırmasını yaparak, en etkin çözüm yollarını bularak gelecekteki araştırmacılara yol göstermektedir. 1993'te Iowa'da, 1996'da Trondheim'de ve 1998'de Osaka'da yapılan konferanslarda viskoz akış konusunda çalışan araştırmacılar, RANS denklemleri ve çok sayıdaki türbülans modellerini, farklı çözüm ağı yapılarında, gemi kıcı ve izinde çözerek karşılaştırmışlardır.

2000'li yılların başından itibaren, ticari yazılımların hızlı bir şekilde yaygınlaşması ve akademik kodların geniş çevrelere ulaşması ile gemi inşaatındaki HAD uygulamaları daha da artmıştır. Artık denizcilik, manevra gibi özel uygulamalarda dahi, HAD teknikleri başarılı bir şekilde uygulanabilmektedir. En son geliştirilen metotlar ile gemilerin sakin deniz ve dalgalı denizdeki altı serbestlik dereceli hareketleri de rahatlıkla modellenabilmektedir.

Gemi inşaatında ve denizcilikte HAD uygulamalarına yönelik hazırlanmış olan çalışmalardan biri, WS Atkins Danışmanlık şirketinin ve bazı teknoloji kurumlarının birlikte hazırlanmış oldukları kapsamlı çalışmadır. Bu çalışmada, sayısal yöntemlerin, türbülans modellerinin, fiziksel özelliklerin, sınır ve başlangıç koşullarının seçimi, karşılaşılabilecek kullanıcı ve çözücü hataları, potansiyel ve viskoz akış ile ilgili sayısal uygulamalar, en iyi şekilde çözümler elde etmek için tavsiyeler bulunmaktadır. Bunun dışında Bertram (2000), kitabında gemi inşaatı uygulamalarında kullanılan sayısal yöntemlerden, temel HAD tekniklerinden, gemi hidrodinamiği açısından sınır elemanları sayısal yönteminin uygulanabilirliğinden bahsetmektedir. Dejhalla ve Prpic-Orsic (2006) ise, çalışmalarında gemi hidrodinamiği alanında son zamanlardaki teorik, deneysel ve sayısal gelişmelerden bahsetmektedirler. Ayrıca bu çalışmada modern teknolojinin gereği olarak HAD benzetimlerini gemi hidrodinamiğinde önemine değinilmiştir.

Y.Tahara ve F.Stern (1996) gemi sınır tabakasını ve iz ve dalga alanını çözmek için Geniş Bölge yaklaşımını geliştirdiler. Çalışmada yüksek ve düşük seyir hızlarında, RANS denklemlerinin ve türbülans denklemlerinin sayısal çözümü ile elde edilen sonuçlar, Seri 60 tekneleri için var olan deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

Takuyo Ohmori (1998) gemi manevra hareketlerinin akış benzetimi için sonlu hacimler yöntemi tabanlı kod geliştirdiler. Yapılan çalışmada elde edilen hidrodinamik direnç ve moment değerleri, basınç dağılımının tekne üzerindeki dağılımı deneysel sonuçlarla benzerlik göstermiştir.

Dalgalı denizde gemi direnci ve gemi performansını incelemek amaçlı Sato vd. (1999) yeni sayısal akışkanlar dinamiği kodu geliştirdiler. Bu kod yardımı ile dalgalı denizde geminin 3 boyutlu hareketini inceleyerek kuvvet ve momentler elde ettiler.

Yang vd. (2000) yapısal olmayan sayısal ağ kullanarak, sonlu elemanlar tabanlı paralel işlemcili serbest yüzey kodu ile tekne etrafında oluşan dalgaları hesaplamak için dalıp-çıkma ve trim etkenlerini de çalışmalarında dikkate aldılar. Farklı hız değerlerinde deneysel verilerle karşılaştırıldığında, hesaplanan dalıp-çıkma, baş-kıç vurma, dalga şekilleri, dalga direnci değerlerinin kabul edilebilir değerler olduğu görülmüştür.

Daniel Peri ve Emilio F.Campana (2001) yapmış oldukları çalışmada değişik yüklerdeki balıkçı teknesinin çok disiplinli optimizasyonu için HAD araçlarını kullandılar.

Percival vd. (2001) Wigley teknesini başlangıç tekne formu olarak kabul edip toplam direnci minimize etmeye yönelik hidrodinamik form optimizasyonu için HAD araçlarını etkin bir şekilde kullandılar.

Tahara vd. (2002) yapmış oldukları çalışmada Seri 60 tekneleri için sayısal ve deneysel sonuçların karşılaştırmasını yansıtmaktadırlar.

14 Avrupa şirketinin iş ortaklığı ile kurulmuş olan konsorsiyum (2003), HAD araçları yardımı tekne gövde formu optimizasyonu çalışması gerçekleştirdiler. BDT yazılımı yardımı ile çok sayıda parametrik tekne formu tasarımları oluşturularak optimum tekne formuna ulaşmaya çalıştılar.

HAD yöntemleri sadece direnç hesaplamak ve dalga formlarının elde edilmesi için değil, aynı zamanda gemi hareketleri ve denizcilik hesapları için de kullanılmaktadır. Rodrigo Azcueta (2004) yapmış olduğu çalışmada yüksek hızlı kayıcı teknelerin daimi ve daimi olmayan durum için altı serbestlik dereceli HAD analizlerini gerçekleştirmiş, baş-kıç vurma, dalıp-çıkma hareketleri incelemiş, değişen direnç kuvveti hesaplamıştır. Bu çalışmanın amacı, Azcueta'nın da açıkladığı gibi, HAD analizi yardımı ile teknenin dalgalı denizdeki hareketlerinin hassas, doğru şekilde hesaplanabildiğini göstermektir. Benzetim ile elde edilen sonuçlar Osaka Prefecture üniversitesinde yapılmış olan çekme tankı testleri ile de karşılaştırılmıştır.

Tekne kıç bölgesinde akış izinin karakteristiği pervane tasarımı açısından önem arz etmektedir. V. Anantha Subramanian ve R. Vijayakumar (2004) yaptıkları çalışmada tekne kıç bölgesinde yapılan küçük değişikliklerin akış izini nasıl etkilediğini hem sayısal hem de deneysel olarak incelediler.

Saha vd. (2004) yapmış oldukları çalışmada, HAD analizi yardımı ile sığ sularda seyreden tekne formları için hidrodinamik optimizasyon gerçekleştirdiler. Optimizasyon işleminin geliştirilmesi Seri 60 ve Wigley tekneleri seçilerek gösterilmiştir.

Seif ve Amini (2004) çalışmalarında, son zamanlarda geleneksel tekne formları haricinde yüksek hızlı tekneler için geliştirilmiş monohol ve trimaran gövde formlarının HAD analizleri yardımı ile dirençlerini karşılaştırarak ön tasarım aşamasında hangisinin daha uygun, seçilebilir olduğunu gösterdiler.

Wilson vd. (2005) tekne hareketini çözümlmek ve hareket zamanı oluşan akış ve dalga alanlarının hesaplanması için daimi olmayan RANS denklem çözücüsü geliştirdiler.

L. Koh vd. (2005) yaptıkları çalışmada tekne baş ve kış formlarının direnç açısından farklı yaklaşımlarla optimize etmeyi amaçladılar ve tasarlanan yüksek hızlı tekne formlarının hidrodinamik optimizasyonu için HAD teknikleri kullandılar.

Genel olarak modellerin HAD analizleri için hazır hale getirilmesi işlemleri her bir uygulama alanı için kolay olmamaktadır. Friendship Systems'den Claus Abt ve Stefan Harries (2006) çalışmalarında Bilgisayar Destekli Tasarım (BDT) yazılımı ile belirli HAD yazılımlarının bileşik bir arayüzde kolay bir şekilde hem tasarlanıp hem de analizlerinin yapılıp sonuçların alınabileceğini gösterdiler.

Emilio F.Campana vd. (2006) yapmış oldukları çalışmada HAD yöntemlerini kullanarak gemi hidrodinamiği açısından form optimizasyonu gerçekleştirdiler. Çalışmada ayrıca deneysel sonuçların sayısal sonuçları doğruladığı gösterilmiştir.

Carrica vd. (2006) farklı iki durum için, farklı sayısal ağlar ve farklı zaman adımları, k-epsilon ve k-omega karışık türbülans modeli kullanarak ileri hız kırılmasını sayısal olarak incelediler.

Tahara vd. (2006) farklı iki HAD yazılımı ve farklı sayısal ağlar kullanarak elde edilen sonuçları deneysel sonuçlarla karşılaştırdılar ve HAD yazılımlarının kullanılabilir olduğunu gösterdiler.

Ciortan vd. (2006) çalışmada farklı iki türbülans modeli kullanarak Wigley teknesi etrafındaki akışın HAD analizini gerçekleştirdiler.

Bu çalışmada da yukarıda bahsedilen kaynaklar kullanılarak yüksek hızlı kayıcı bir tekne formu etrafındaki akış ayrıntılı bir şekilde incelenmiştir. Yapılan çalışmada kullanılan form, geleneksel tekne formlarından farklı olup, kış bölgesinde iskele ve sancakta pervane tüneli olarak adlandırılan bir yapıya sahiptir. Çalışmada öncelikle ana form kullanılarak iki farklı

hızda tekne etrafındaki akış incelenmiştir. Daha sonra, form iyileştirilmesi için deplasman hacmi sabit tutularak oluşturulan iki farklı form etrafındaki akış analizi de aynı hız için çözümlenmiştir. Daha önce yapılmış olan diğer çalışmalardan farklı olarak, bu çalışmada başlangıç durum için dalgalı deniz modeli düşünülerek, tekne etrafındaki akışın HAD modellenmesi yapılmıştır.

Bölüm 2’de genel olarak akışkan hareketlerinin matematik modelini oluşturan temel denklemler, sayısal yöntemler ve türbülans modellerinden bahsedilmiştir.

Bölüm 3’de tekne formu etrafındaki akışın sonlu hacimler sayısal yöntemi ile modellenmesi, sınır koşulları başlangıç koşulları, kabuller, modelleme için kullanılan yazılımlar ve yazılımın özellikleri anlatılmıştır. Sayısal modelleme STAR-CCM+ HAD yazılımı kullanılarak yapılmıştır.

Bölüm 4’de, Bölüm 3’de anlatılan modelleme teknikleri kullanılarak, farklı hızlarda tekne etrafındaki akış incelenmiş ve farklı hızlardaki sonuçlar istatistiksel yöntemler kullanılarak tekne toplam direnç hesabı yapılan yazılımlardan elde edilen değerler ile karşılaştırılmıştır.

Ana tekne modeli kullanılarak elde edilen iki farklı tekne formu etrafındaki akışın incelenmesi Bölüm 5’de gösterilmiştir. Farklı formlar için elde edilen sonuçlar birbiri ile karşılaştırılmıştır.

Bölüm 6’da başlangıç durum için dalgalı deniz modeli düşünülmüş ve bu durumda tekne etrafındaki akışın modellenmesi gerçekleştirilmiştir.

2. MATEMATİK MODELLER

Matematik bir model, en genel anlamıyla, fiziksel bir sistemin veya bir sürecin ana özelliklerini matematik terimlerle ifade eden bir eşitlik veya formül olarak tanımlanabilir. Ancak fiziksel olayların matematik modelleri çok daha karmaşık olabilir. Bunlar ya tam olarak çözülemez ya da basit cebirsel işlemlerden daha karmaşık matematik teknikleri kullanmayı gerektirir. Genel olarak bir akışkanlar mekaniği probleminin matematik modelini oluşturan temel denklemler aşağıda verilmiştir.

2.1 Akışkanlar Mekaniğinin Temel Diferansiyel Denklemleri

Hareketin diferansiyel denklemlerini çözmek çok zordur ve ayrıca bunların genel matematiksel özellikleri hakkında çok az şey bilinmektedir. Bununla beraber, büyük eğitsel değere sahip olan belirli bazı şeyler yapılabilir. İlk olarak denklemler çözülmemiş olsalar bile akışkanın hareketini düzenleyen temel boyutsuz parametreleri ortaya çıkarırlar. Daimi akış ve sıkıştırılamaz akış kabulleri yapılırsa önemli sayıda yararlı çözümler elde edilebilir. Üçüncü ve oldukça büyük bir basitleştirme sürtünmesiz akış kabulüdür ve Bernoulli denklemini geçerli kılar ve çok çeşitli idealleştirilmiş, ya da ideal akışkan, muhtemel çözümleri sağlar.

2.1.1 Kütlenin Korunumunun Diferansiyel Denklemi

Tüm temel diferansiyel denklemler ya eleman denetim hacmi ya da elemansal sistem düşünülerek türetilebilir. Kütlenin korunumunun diferansiyel denklemi aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(\rho u) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho v) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho w) = 0 \quad (2.1)$$

Sonsuz küçük bir denetim hacmi için kütlenin korunumu, yoğunluk ve hızın sürekli fonksiyonlar olması dışında başka bir kabul gerektirmediği için sıklıkla süreklilik denklemi olarak adlandırılır. Yani akış daimi ya da daimi olmayan, sürtünmeli ya da sürtünmesiz, sıkıştırılabilir ya da sıkıştırılamaz olabilir. Süreklilik bağıntısı kısa biçimde

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{V}) = 0 \quad (2.2)$$

şeklinde ifade edilebilir. Bu vektör biçiminde denklem hala oldukça daha geneldir ve kartezyen koordinat sisteminden diğer koordinat sistemlerine kolayca dönüştürülebilirler.

2.1.2 Momentumun Korunumunun Diferansiyel Denklemini

Akışkanlar mekaniğinde sonsuz küçük bir eleman için temel diferansiyel momentum denklemi aşağıdaki formülle ifade edilir.

$$f - \nabla p + \nabla \tau_{ij} = \rho \frac{dV}{dt} \quad (2.3)$$

Burada f birim hacme gelen kütle kuvvetleridir. Ayrıca $\frac{dV}{dt}$ açık bir şekilde aşağıdaki gibi gösterilir:

$$\frac{dV}{dt} = \frac{\partial V}{\partial t} + u \frac{\partial V}{\partial x} + v \frac{\partial V}{\partial y} + w \frac{\partial V}{\partial z} \quad (2.4)$$

(2.3) denklemi kısa ve özür. Momentum denkleminin tüm bileşenleri yazılırsa aşağıdaki ifadeler elde edilir:

$$\rho \left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right) = -\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} + f_x \quad (2.5)$$

$$\rho \left(\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} \right) = -\frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial z} + f_y \quad (2.6)$$

$$\rho \left(\frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} \right) = -\frac{\partial p}{\partial z} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zz}}{\partial z} + f_z \quad (2.7)$$

Yukarıdaki momentum denklemleri herhangi bir akışkanın genel hareketi için geçerli olup özel akışkanlar, özel viskoz gerilme terimleri ile karakterize edilirler.

2.1.3 Newton Tipi Akışkan ve Navier-Stokes Denklemleri

Newton tipi akışkan için, kayma gerilmelerinin hız gradyeni ile orantılı olduğu bilinmektedir. Orantı sabiti μ , viskozite katsayısıdır. Viskoz gerilmeler

$$\tau_{xx} = 2\mu \frac{\partial u}{\partial x} \quad \tau_{yy} = 2\mu \frac{\partial v}{\partial y} \quad \tau_{zz} = 2\mu \frac{\partial w}{\partial z} \quad (2.8)$$

$$\tau_{xy} = \tau_{yx} = \mu \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \quad \tau_{xz} = \tau_{zx} = \mu \left(\frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z} \right) \quad \tau_{yz} = \tau_{zy} = \mu \left(\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right) \quad (2.9)$$

şeklinde üç boyutlu viskoz akış için genelleştirilebilirler. Bu ifadelerin (2.5), (2.6) ve (2.7) denklemlerinde yerleştirilmesi, sabit yoğunluk ve viskoziteli Newton tipi bir akışkan için diferansiyel momentum denklemini verir. Burada f_x , f_y ve f_z birim hacme düşen kütle

kuvvetleri olup, yerçekimi, manyetizma, elektrik potansiyel gibi dış alanlar nedeniyle oluşur ve elemanın içindeki kütlenin tamamına etki ederler.

$$f_x - \frac{\partial p}{\partial x} + \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) = \rho \frac{du}{dt} \quad (2.10)$$

$$f_y - \frac{\partial p}{\partial y} + \mu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) = \rho \frac{dv}{dt} \quad (2.11)$$

$$f_z - \frac{\partial p}{\partial z} + \mu \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) = \rho \frac{dw}{dt} \quad (2.12)$$

Bu denklem sistemleri, bu çalışmalara en büyük katkıları olan C. L. M. H. Navier (1785–1836) ve Sir George G. Stokes (1819–1903)’a atfen, Navier-Stokes denklemleri olarak anılırlar.

2.1.4 Akışkanlar Mekaniğinin Temel Denklemlerinin Kapalı Formu

Akışkan hareketlerini tanımlayan denklemler aşağıdaki gibi kapalı formda yazılabilir.

Kütlenin korunumunun diferansiyel denklemi:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{div}(\rho \vec{V}) = 0 \quad (2.13)$$

x, y, z yönleri için momentumun korunum denklemleri:

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial t} + \text{div}(\rho u \vec{V}) = -\frac{\partial p}{\partial x} + \text{div}(\mu \text{grad} u) + S_{Mx} \quad (2.14)$$

$$\frac{\partial(\rho v)}{\partial t} + \text{div}(\rho v \vec{V}) = -\frac{\partial p}{\partial y} + \text{div}(\mu \text{grad} v) + S_{My} \quad (2.15)$$

$$\frac{\partial(\rho w)}{\partial t} + \text{div}(\rho w \vec{V}) = -\frac{\partial p}{\partial z} + \text{div}(\mu \text{grad} w) + S_{Mz} \quad (2.16)$$

Kütlenin ve momentumun korunum denklemleri genel olarak aşağıdaki gibi ifade edilebilirler:

$$\frac{\partial(\rho \phi)}{\partial t} + \text{div}(\rho \phi \vec{V}) = \text{div}(\Gamma \text{grad} \phi) + S_\phi \quad (2.17)$$

Bu denklem ϕ değişkeni için transport denklemdir. Denklemdaki ϕ yerine 1, u, v, w, Γ yerine de uygun difüzyon katsayısı konarak çözüm yapılır.

Sonlu hacimler yöntemi için önemli bir adım (2.17) denkleminin kontrol hacmi üzerinde entegrasyonudur.

$$\int_{CV} \frac{\partial(\rho\phi)}{\partial t} dV + \int_{CV} \text{div}(\rho\phi\vec{V}) dV = \int_{CV} \text{div}(\Gamma \text{grad}\phi) dV + \int_{CV} S_\phi dV \quad (2.18)$$

Sol taraftaki terim net taşınım akısını, sağ taraftaki terimler ise net difüzyon akısını ve hacimdeki kaynağı gösterir.

2.2 Sayısal Analiz

Akış karmaşık geometrileri ya da alışılmamış sınır koşullarını içeriyorsa, sayısal yöntemlerin kullanımı bu karmaşık problemlerin çözümü için daha modern bir yaklaşımdır. Sayısal yöntemler, matematik problemlerinin, aritmetik işlemlerle çözülebilmelerini sağlayacak şekilde formüle edildiği tekniklerdir. Sayısal yöntemler mühendislik probleminin gereksinimlerini karşılamaya yetecek kadar doğru olmalıdır. Aynı zamanda, iyi bir mühendislik tasarımı için de yeterince hassas olmalıdır.

Sonlu farklar yöntemi sayısal yöntemlerden biri olup, bir fiziksel denklemdeki kısmi türevleri, birbirinden sonlu uzaklıkta yerleştirilmiş noktasal değerler arasında “farklarla” yaklaşık ifade etmekten ibarettir. Sonlu farklar yaklaşımı, direkt olarak türev tanımlamasından yola çıkılarak ortaya konulmuştur. Sonlu farklar yöntemi kısmi diferansiyel denklemlerin çözümü için kullanılan en eski metottur.

Karmaşık geometri, alışılmamış sınır koşulları veya heterojen bileşimli sistemler için sonlu farklar yönteminin uygulanması çok zor olmaktadır. Sonlu elemanlar yöntemi bu tür sistemler için daha iyi bir seçenek olup, fizik ve mühendislikte her türlü doğrusal olan ve doğrusal olmayan kısmi diferansiyel denklemlere uygulanabilir.

2.2.1 Sonlu Hacimler Yöntemi

Sonlu hacimler yöntemi kısmi diferansiyel denklemlerin çözümünde kullanılan sayısal bir yöntemdir. Sonlu hacimler metodu akışkanlar mekaniğinde, akışkanın hareket denklemlerinin integral hallerini fiziksel uzayda ayrıştırmak için kullanılır. Başlangıçta araştırmacı McDonald (1971) tarafından ileri sürülmüş ve MacCormack ve Paullay (1972) tarafından da zamana bağlı iki boyutlu Euler denklemlerinin çözümü için kullanılmıştır. Daha sonra ise üç boyutlu akışlar için Rizzi ve Inouye (1973) tarafından kullanılmıştır.

$$\frac{d}{dt} \int_V \rho dV + \int_S \rho(v - v_b) \cdot n dS = 0 \quad (2.19)$$

$$\frac{d}{dt} \int_V \rho u_i dV + \int_S \rho u_i (v - v_b) \cdot n dS = \int_S (\tau_{ij} i_j - p i_i) \cdot n dS + \int_V \rho b_i dV \quad (2.20)$$

$$\frac{d}{dt} \int_V \rho \phi dV + \int_S \rho \phi (v - v_b) \cdot n dS = \int_S \Gamma \nabla \phi \cdot n dS + \int_V \rho b_\phi dV \quad (2.21)$$

Çözüm için, incelenecek bölgenin üst-üste binmeyen sonlu sayıda kontrol hacmine bölünmesi gerekmektedir. Bu sonlu sayıdaki elemanların tamamı çözüm ağı veya sayısal ağ olarak adlandırılmaktadır. Genellikle değişkenler kontrol hacimlerinin merkezinde hesaplanır. Sınır koşulları ise kontrol hacimlerinin yüzey merkezlerinde tanımlanır. Korunum denklemlerinin integral formlarının ayrıklaştırılmış halleri her bir kontrol hacmine uygulanır ve tüm kontrol hacimleri, çözüm ağı için çok bilinmeyenli denklem sistemleri elde edilir. Bu denklem sistemleri doğrusal ve doğrusal olmayan denklem çözücülerini vasıtasıyla çözülerek sonuçlar elde edilir. Hacim merkezlerinde elde edilen sonuçlar, hacim yüzeylerine enterpole edilir. Diğer metotlardan farklı olarak, sonlu hacimler yöntemi ile hesaplamalar düğüm noktalarında yapılmadığından çok esnek çözüm ağlarına uygulanabilmektedir. Bu avantajı dolayısıyla, yapısal çözüm ağlarında olduğu kadar yapısal olmayan çözüm ağlarında da başarılı sonuçlar vermektedir. Karmaşık geometrilere uygulanabilmesi ve daha esnek olması açısından daha çok yapısal olmayan çözüm ağları tercih edilmektedir. Sonlu hacimler yöntemi için hazırlanmış olan çözüm ağlarında üçgen dörtyüzlü, piramit, prizmatik ve düzgün altı yüzlü elemanlar kullanılmaktadır. Son zamanlarda çokgen çokyüzlü eleman kullanımı da yaygınlaşmıştır.

2.3 Türbülans Modelleri

Türbülanslı akışa laminar akıştan daha fazla rastlandığından, deneyciler ayrıntıların farkında olmadan yüzyıllar boyunca türbülansı gözlemlediler. İlk defa alman mühendisi G.H.L. Hagen sürtünmeli akışın iki rejimli olabileceğini 1839'da söyledi ve debinin artışı ile akıştaki değişimin sebeplerini açıklayamadı.

İngiliz mühendis ve fizikçisi Osborne Reynolds (1842–1902) bir depo içindeki suyun seviyesini sabit tutarak, depoya bağlı bir cam boru içinden suyun akış hızını, boru ucundaki bir muslukla ayarlayarak laminar ve türbülanslı akımın oluşumunu deneysel olarak 1883 yılında inceledi. Hızın yükselmesi ile akıştaki değişimin, şimdi onun isminin verildiği Reynolds sayısına ($Re = \rho V d / \mu$) parametresine dayandığını gösterdi. Boru içindeki akış halinde d boru çapı, V akış hızı ρ akışkan yoğunluğu ve μ dinamik viskozite katsayısıdır. Düz bir levha etrafındaki akım halinde, boru çapı yerine levha boyu alınarak

Reynolds sayısı $Re = \rho V L / \mu$ şeklinde belirlenir.

Kullanılan modellerde tekne boyu, akış hızı ve akışkan özellikleri dikkate alınarak akışın yüksek Reynolds sayılarında gerçekleştiği hesaplanmakta, dolayısıyla akışın türbülanslı olduğu kabul edilmektedir.

Yüksek Reynolds sayılarında, türbülanslı akışta, akışın atalet kuvvetleri viskoz kuvvetlere göre daha baskın bir hal alır. Bunun sonucunda akışkan hareketi kararsız olmaya başlar. Hız ve diğer tüm akış özellikleri rasgele ve kaotik bir şekilde değişmeye başlar ve akış üç boyutlu olur. Türbülanslı bir problemin çözümü de doğası gibi karmaşıktır ve dolayısıyla türbülanslı problemlerin çözümünde kullanılmak üzere çeşitli türbülans modelleri geliştirilmiştir. Geliştirilen türbülans modelleri akışı tamamen tanımlayamamaktadır. Her bir akış benzetimi için tek bir türbülans modeli yoktur. Farklı özellikteki akış modellemeleri için farklı türbülans modeli kullanılabilir.

Daha önceki çalışmalar dikkate alınarak, tekne etrafındaki akışlarda RANS denklemlerinin çözümü için önerilen iki denklemlilik $k - \omega$ türbülans modeli kullanılacaktır (Özdemir, 2007, Simonsen, 2008). Türbülanslı akış için, çalkantılardan dolayı, korunum denklemlerindeki her hız ve basınç terimi zaman ve konumun hızlı değişen rasgele bir fonksiyonudur. Bundan dolayı RANS denklemlerini elde etmek için akış fiziksel büyüklüklerin ani değerlerinin ortalaması alınarak akışkan hareket denklemleri çözülür. Ortalama değerler için elde edilen denklemler esas itibari ile orijinal denklemler ile aynıdır. İlaveten momentum denkleminde yeni bir terim elde edilmektedir ki, bu terim Reynolds Gerilme Tensörü olarak adlandırılır ve aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$T_i \equiv -\rho \overline{v'v'} = -\rho \begin{bmatrix} \overline{u'u'} & \overline{u'v'} & \overline{u'w'} \\ \overline{u'v'} & \overline{v'v'} & \overline{v'w'} \\ \overline{u'w'} & \overline{v'w'} & \overline{w'w'} \end{bmatrix} \quad (2.22)$$

Ortalama akış bileşenlerinin oluşturduğu Reynolds Gerilme Tensörünü içeren RANS denklemleri incelendiğinde, bilinmeyen sayısının arttığı gözlenmektedir ve bu denklemlerin çözülebilmesi için yeni denklemlerin kullanılmasına ihtiyaç vardır. Bu denklemler de türbülans modelleri ile elde edilirler. Bu çalışmada da SST $k - \omega$ türbülans modeli kullanılmıştır.

2.3.1 SST $k - \omega$ türbülans modeli

Kayma-Gerilme Taşınım (Shear-Stress Transport-SST) $k - \omega$ türbülans modeli F.R.Menter

(Menter, 1994) tarafından önerilmiştir. Bu türbülans modelinde türbülans kinetik enerjisi (k) ve özel türbülans kinetik enerji kayıp oranı (ω) için taşınım denklemleri aşağıdaki gibidir:

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_V \rho k dV + \int_A \rho k (v - v_g) \cdot d\vec{a} = \int_A (\mu + \sigma_k \mu_t) \nabla k \cdot d\vec{a} + \int_V (G_k - \rho \beta^* \omega k) dV \quad (2.23)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_V \rho \omega dV + \int_A \rho \omega (v - v_g) \cdot d\vec{a} = \int_A (\mu + \sigma_\omega \mu_t) \nabla \omega \cdot d\vec{a} + \int_V (G_\omega - \rho \beta^* f_\beta \omega^2 + D_\omega) dV \quad (2.24)$$

Bu denklemlerdeki G_k türbülans kinetik enerji üretimini, G_ω ise özel kayıp oranı ω 'ın ($\omega \approx \varepsilon/k$) üretimini ifade eder:

$$G_k = \mu_t S^2 - \frac{2}{3} \rho k \nabla \cdot \vec{V} - \frac{2}{3} \mu_t (\nabla \cdot \vec{V})^2 \quad (2.25)$$

$$G_\omega = \rho \gamma \left[\left(S^2 - \frac{2}{3} (\nabla \cdot \vec{V})^2 \right) - \frac{2}{3} \omega \nabla \cdot \vec{V} \right] \quad (2.26)$$

Daha ayrıntılı bilgi için STAR-CCM+ kullanıcı kitabı incelenebilir.

3. TEKNE ETRAFINDAKİ AKIŞIN MODELLENMESİ

Gemilerin istenilen bir hızda seyretmesi, ana makine gücünün doğru olarak seçilmesiyle mümkündür. Bu gücü belirleyebilmek için, öncelikle geminin hareketi sırasında su ve havadan gördüğü direncin hassas olarak bilinmesi gerekir. O halde gemiye, hareketini engelleyen direnci karşılayacak bir itme kuvveti uygulamak gerekir. Gemiye belirli bir hızda hareket ettiren bu itme kuvveti, gemi direncine eşit olacağından, itme kuvveti yerine gemi direncinden söz edilir. Bu sebeple, gemi ana makine gücü öyle belirlenmelidir ki, makineden pervaneye kadar uzanan güç iletim sistemi ve pervanedeki kayıplardan sonra tekne kışında oluşan itme kuvveti, toplam direnci karşılayarak teknenin istenen hızda seyrini sağlasın (Baykal, 2002).

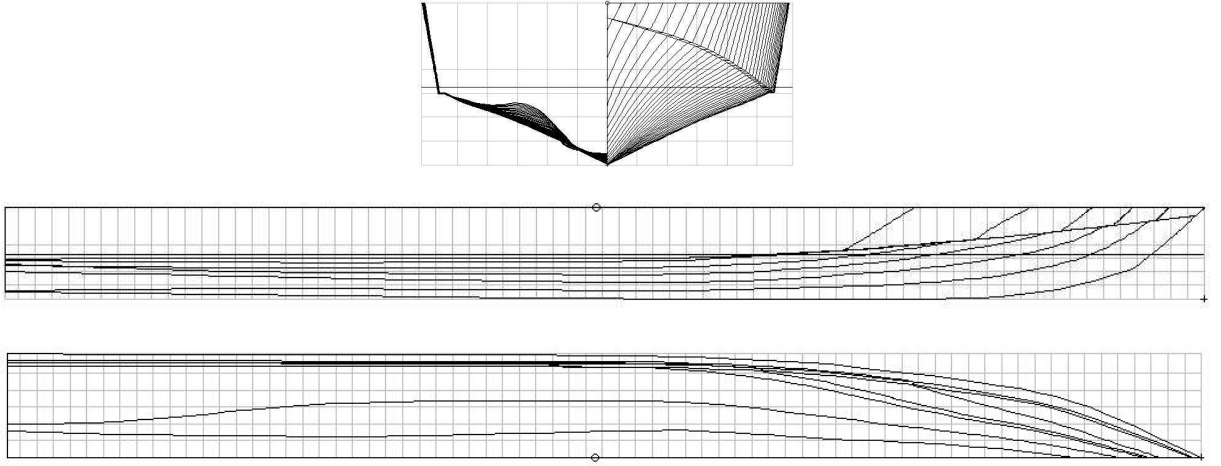
Sakin hava ve deniz koşulları için toplam direncin belirlenmesinden sonra takıntılar, yüzey pürüzlülüğü ve geminin çalışacağı bölgedeki hava ve deniz durumuna göre gemi toplam direnci ve buna bağlı olarak ana makine gücü belirlenir. Ana makine gücünün uygun değerinden farklı seçilmesi gemi hızını ve yakıt sarfiyatını etkileyeceğinden, yanlış seçim gemi ekonomik ömrü boyunca işletmeciliği olumsuz yönde etkiler.

3.1 Tekne Geometrisi

Sunulan bu çalışmada V kesitli kayıcı bir tekne için sakin su ve dalgalı deniz şartlarında akım modellemesi yapılmıştır. Teknenin değişik hızlarda gösterdiği direnç ve oluşan dalga durumları analiz edilmiştir. Tekne ana boyutları Çizelge 3.1’de ve tekne form planı Şekil 3.1’de verildiği gibidir.

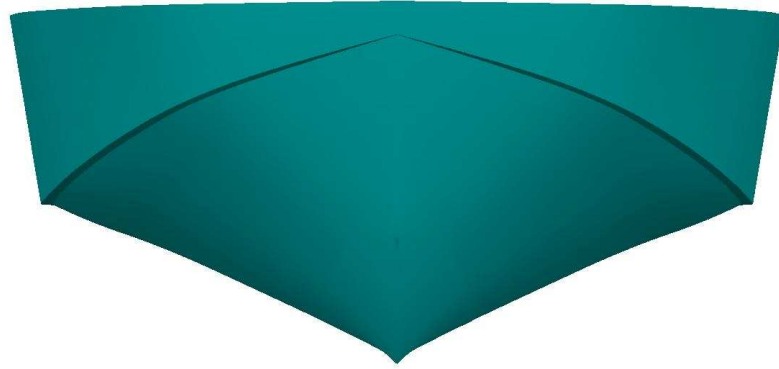
Çizelge 3.1 Tekne ana boyutları

Tam boy	L_{OA}	35.88 m
Su hattı boyu	L_{WL}	34.27 m
Su hattı genişliği	B_{WL}	5.675 m
Su çekimi	T	1.3 m
Derinlik	D	2.7 m
Deplasman hacmi	∇	94.326 m ³
Blok katsayısı	C_B	0.373

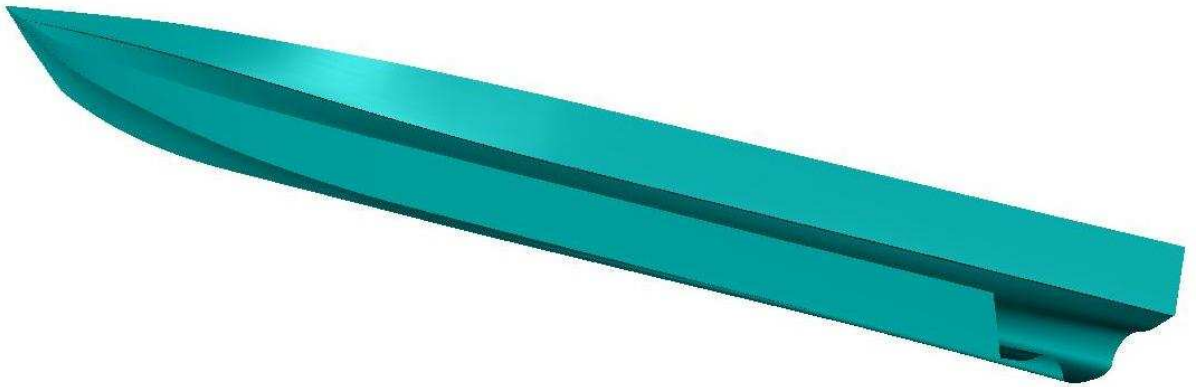


Şekil 3.1 Tekne form planı

Tekne formunun önden görünümü Şekil 3.2’de, perspektif resmi ise Şekil 3.3’de gösterilmiştir. Tekne formunun en kesit veya perspektif resmine bakılırsa tekne kış bölgesinde pervane tünelinin olduğu görülmektedir.



Şekil 3.2 Teknenin önden görünümü



Şekil 3.3 Tekne perspektif görünümü

3.2 HAD Yöntemlerinin Kullanılması

Doğadaki birçok olay, matematik bir denklem veya denklemlerle tanımlanabilir. Çoğu kez diferansiyel denklemler şeklinde tanımlanan bu denklemler sistemine, olayın matematiksel modeli denir.

Daha önceki bölümde akışkan hareketlerinin matematiksel olarak nasıl ifade edildikleri gösterilmişti. Akışkan hareketinin diferansiyel denklemlerini en genel haliyle karmaşıklığı dolayısıyla çözmek çok zordur ve ayrıca bunların genel matematiksel özellikleri hakkında çok az şey bilinmektedir. Boyutsuz yazılması veya bazı kabuller yapılması ile akışkan hareketini ifade eden denklemlerin önemli sayıda çözümleri elde edilebilmiştir.

Ayrıca çok zor genel diferansiyel denklemler sayısal analiz olarak bilinen yaklaşım tekniklerinin gelişmesine yol açmıştır. Bu tekniklerde matematiksel ifadeler sistemdeki sonlu sayıdaki hacim, eleman veya çözüm noktaları arasındaki matematiksel ilişkiler ile ifade edilmekte ve sonra bilgisayarlar ile çözülmektedir. Akışkan hareketini ifade eden diferansiyel denklemlerin sayısal olarak bilgisayar yardımı ile çözümlenmesi, son senelerdeki bilgisayar teknolojisindeki baş döndürücü ilerlemeler dolayısıyla daha da yaygınlaşmıştır.

Bilinen tekne direnç hesaplama yöntemleri arasındaki en modern yöntem akışkan diferansiyel denklemlerinin sayısal çözümlenmesine dayanan Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) olarak bilinen tekniklerin kullanılmasıdır. Bu teknikler sayesinde tekne tasarımının akış ve direnç özellikleri çok detaylı bir şekilde elde edilebilmektedir. HAD tekniklerinin, tekne direnç ve akış özelliklerinin incelenmesinde uzun yıllardan beri yaygın olarak kullanılan model deney tekniklerine göre avantajı hesaplamaların daha çabuk ve daha ucuz olmasıdır. Diğer bir avantaj ise tekne etrafındaki herhangi bir yerde akışla ilgili daha detaylı bilgi elde edilebilmektedir. Model deneylerinde bu bilgileri elde etmek çok pahalıya mal olmaktadır.

Bu çalışmada da genel amaçlı HAD yazılımı olan STAR-CCM+ yazılımı kullanılmıştır. STAR-CCM+ yazılımı modern yazılım geliştirme teknolojisi ve en iyi sayısal sürekli ortamlar mekaniği algoritmalarının beraber kullanılması ile yazılmış HAD yazılımıdır. Bu yazılım ile akışkanlar mekaniğine ait birçok problem çözülebilmektedir. Bu çalışma kapsamında da tekne etrafındaki akış modellemesi ve genel itibari ile tekne direnç hesapları STAR-CCM+ yazılımının benzersiz özellikleri kullanılarak yapılmıştır.

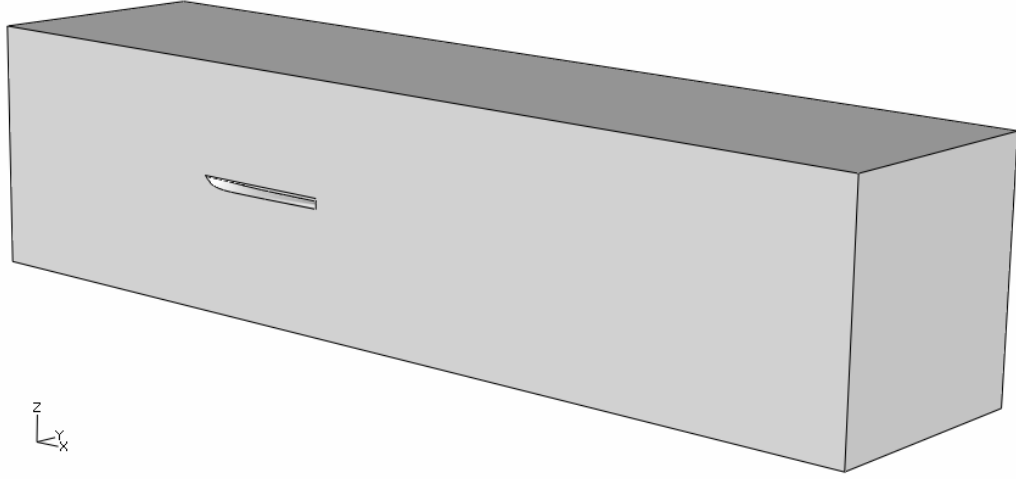
3.3 HAD Modelinin Çözüme Hazır Hale Getirilmesi

Daha önceki bölümde diferansiyel denklemlerin çözümünde kullanılan sayısal yöntemlerden bahsedilmişti. Bir HAD yazılımı olan STAR-CCM+ yazılımı da bu sayısal yöntemlerden

sonlu hacimler yöntemini kullanmaktadır. Sonlu hacimler yöntemi kısmi diferansiyel denklemlerin çözümünde kullanılan sayısal bir yöntemdir. Sonlu hacimler metodu akışkanlar mekaniğinde, akışkanın hareket denklemlerinin integral hallerini fiziksel uzayda ayırklaştırarak çözmek için kullanılır. Çözüm için, incelenecek bölgenin üst-üste binmeyen sonlu sayıda kontrol hacmine bölünmesi gerekmektedir. Bu sonlu sayıdaki elemanların tamamı çözüm ağı veya sayısal ağ olarak adlandırılmaktadır. Genellikle değişkenler kontrol hacimlerinin merkezinde hesaplanır. Diğer metotlardan farklı olarak, sonlu hacimler yöntemi ile hesaplamalar düğüm noktalarında yapılmadığından çok esnek çözüm ağlarına uygulanabilmektedir. Bu avantajı dolayısıyla, yapısal çözüm ağlarında olduğu kadar yapısal olmayan çözüm ağlarında da başarılı sonuçlar vermektedir. Karmaşık geometrilere uygulanabilmesi ve daha esnek olması açısından daha çok yapısal olmayan çözüm ağları tercih edilmektedir. Sonlu hacimler yöntemi için hazırlanmış olan çözüm ağlarında üçgen dörtyüzlü, piramit, prizmatik, düzgün altı yüzlü ve gelişigüzel çok yüzlü elemanlar kullanılmaktadır. STAR-CCM+ yazılımında kullanılan sonlu hacimler metodu kısaca bu şekilde anlatılabilir. Aşağıda tekne modeli etrafındaki akışın modellenmesi için gerekli olan çözüm ağının hazırlanması anlatılmıştır.

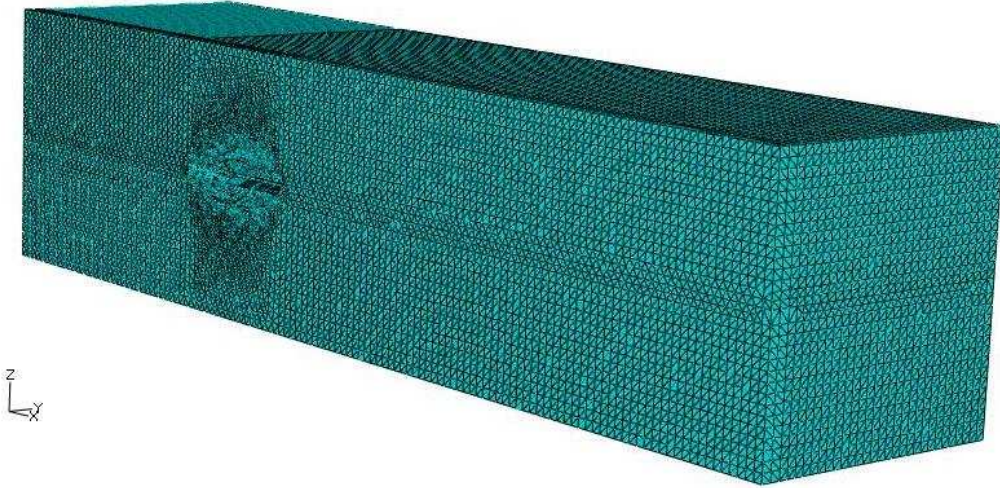
Analizleri yapılacak tekne geometrilerinin yüzeyleri daha öncesinden, tekne yüzey modelleme yazılımı olan Maxsurf yazılımı kullanılarak hazırlanmıştır. Maxsurf yazılımı, yüzey modelleme yetenekleri haricinde hidrostatik hesaplama becerilerine de sahiptir. Öncelikle Çizelge 3.1’de ana boyutları verilmiş olan hazır bir tekne yüzey modeli için hidrostatik hesaplar yapıldı. Bu tekne modeli baz alınıp Maxsurf yazılımının parametrik dönüştürücüsü kullanılarak deplasmanları eşit, ana boyutları farklı 2 yeni tekne yüzey modeli daha hazırlandı. Toplamda 3 tekne modeli için de belli hızlar için STAR-CCM+ yazılımı kullanılarak HAD analizleri yapıldı ve direnç kuvvetleri hesaplandı. Ana tekne formu perspektif görüntüsü Şekil 3.3’de gösterilmiştir.

Maxsurf yüzey modelleme yazılımı kullanılarak hazırlanan tekne yüzey geometrileri yazılımlar arası transfer yapılabilmesi için IGES (Initial Graphics Exchange Specification) dosya formatında kaydedilmiştir. Bu dosya Abaqus Sonlu Elemanlar Analizi yazılımının Bilgisayar Destekli Tasarım (BDT) kısmını da içeren Abaqus/CAE ortamına alınarak, tekne yüzey modelleri etrafında akışkanı temsil eden bölge oluşturuldu. Ayrıca bilgisayar kaynaklarını hesaplı kullanmak amaçlı tekne ve akışkanı temsil eden bölgeler, teknelerin simetrik modele sahip oldukları düşünülerek, Abaqus/CAE yazılımının yetenekleri yardımı ile yarım model olarak hazırlandı. Şekil 3.4’de hazırlanmış olan yarım model görülmektedir.



Şekil 3.4 Simetri düzleminde kesilip yarım model olarak hazırlanan tekne ve akışkan hacminin beraber görünümü

Yazılımlar arası BDT modellerinin transferleri için her zaman ortak dosyalar üretilebilse de, bu transfer işlemleri modern yazılımlar için halen daha en sorunlu bölümdür. Bundan dolayı Abaqus/CAE kullanılarak yüzey geometrisi için yüzey çözüm ağı hazırlandı. Oluşturulmuş olan bu yüzey ağı Şekil 3.5’de gösterilmektedir.

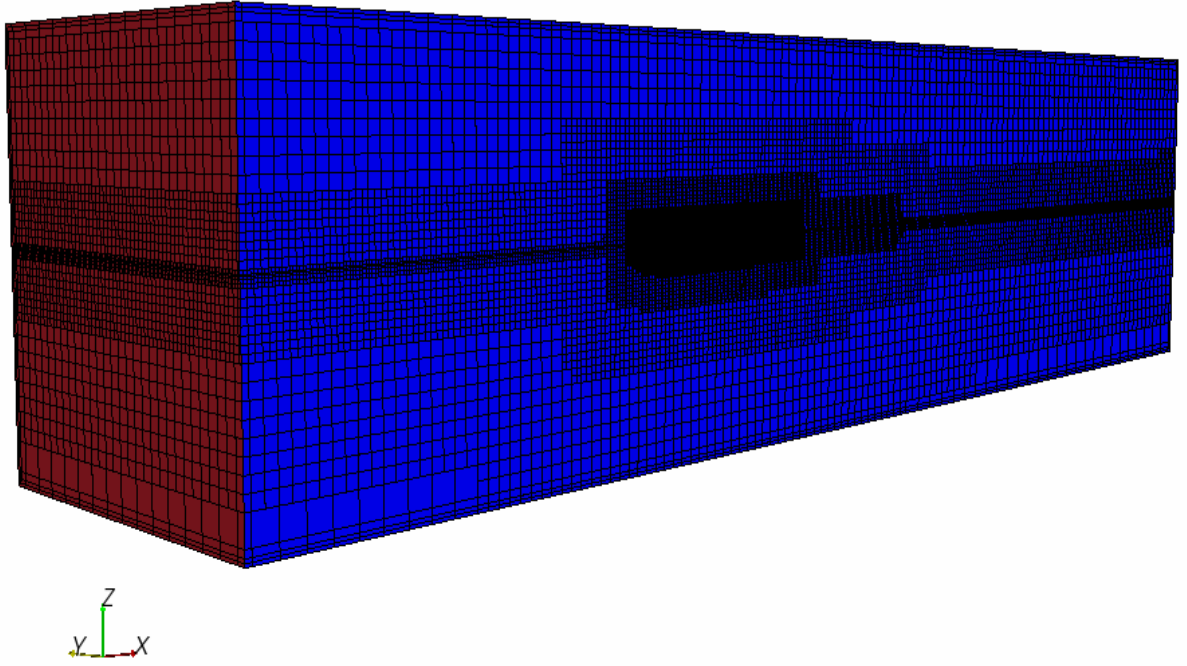


Şekil 3.5 Tekne ve akışkan hacmini temsil eden yüzeylerin yüzey ağı gösterimi

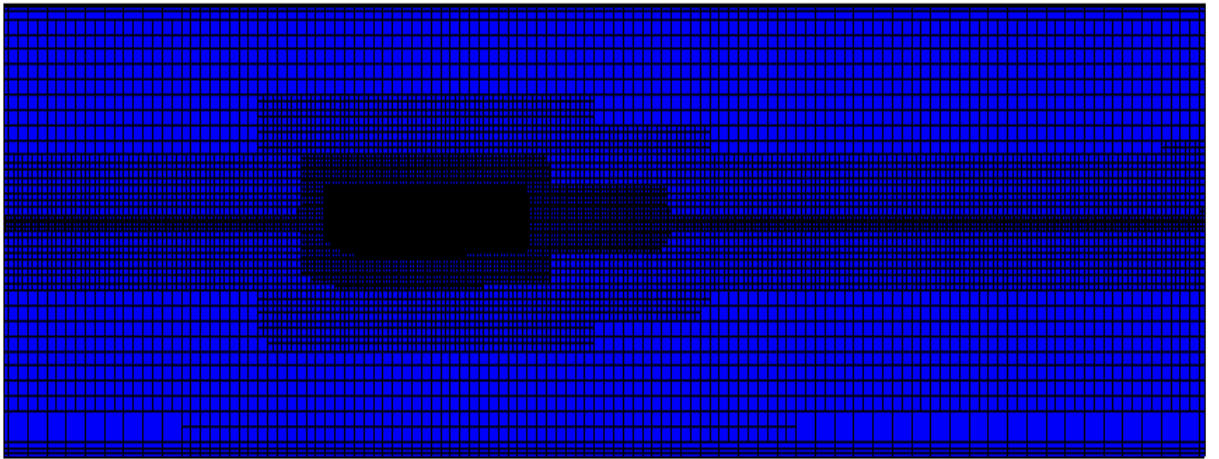
Bu çözüm ağı, düğüm noktaları ve düğüm noktaları koordinatları şeklinde Abaqus girdi dosyası olarak yazıldı. Abaqus girdi dosyası (*.inp), küçük bir program tarafından Nastran kabuk dosyası (*.nas) formatına dönüştürüldü. Daha önceki denemelere dayanarak, yüzey geometri dosyalarının transferleri yapılırken, kullanılacak yazılımda bu yöntemle, yani yüzey (kabuk) çözüm ağı şeklinde transfer edilen tekne yüzey geometrilerinin daha düzgün, daha

hassas ifade edildiği görülmüştür.

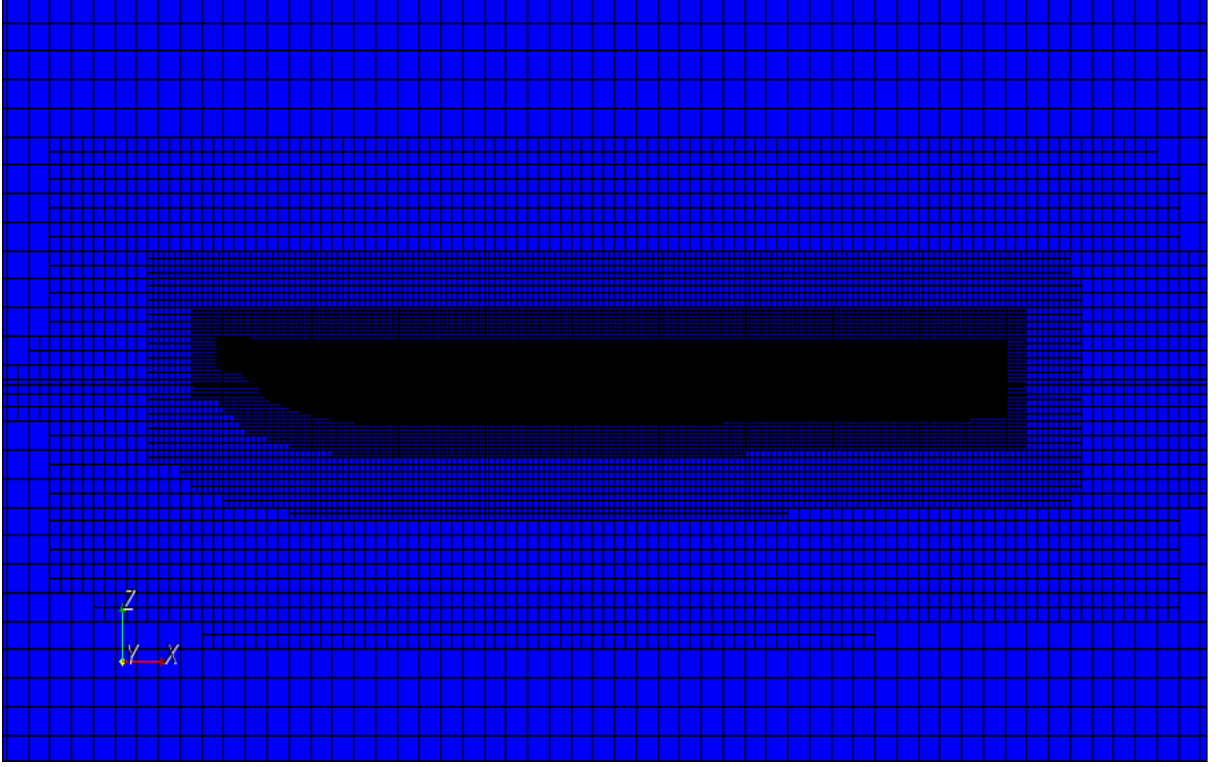
Oluşturulmuş olan bu kabuk dosyası STAR-CCM+ yazılımında kaynak yüzey olarak kullanılmış, çözüm ağı genel eleman boyutları ve tekne etrafındaki çözüm ağı eleman büyüklükleri belirtilerek hacimsel çözüm ağı oluşturulmuştur. Oluşturulmuş olan çözüm ağı, Şekil 3.6, Şekil 3.7, Şekil 3.8, Şekil 3.9, Şekil 3.10 ve Şekil 3.11’de görülmektedir.



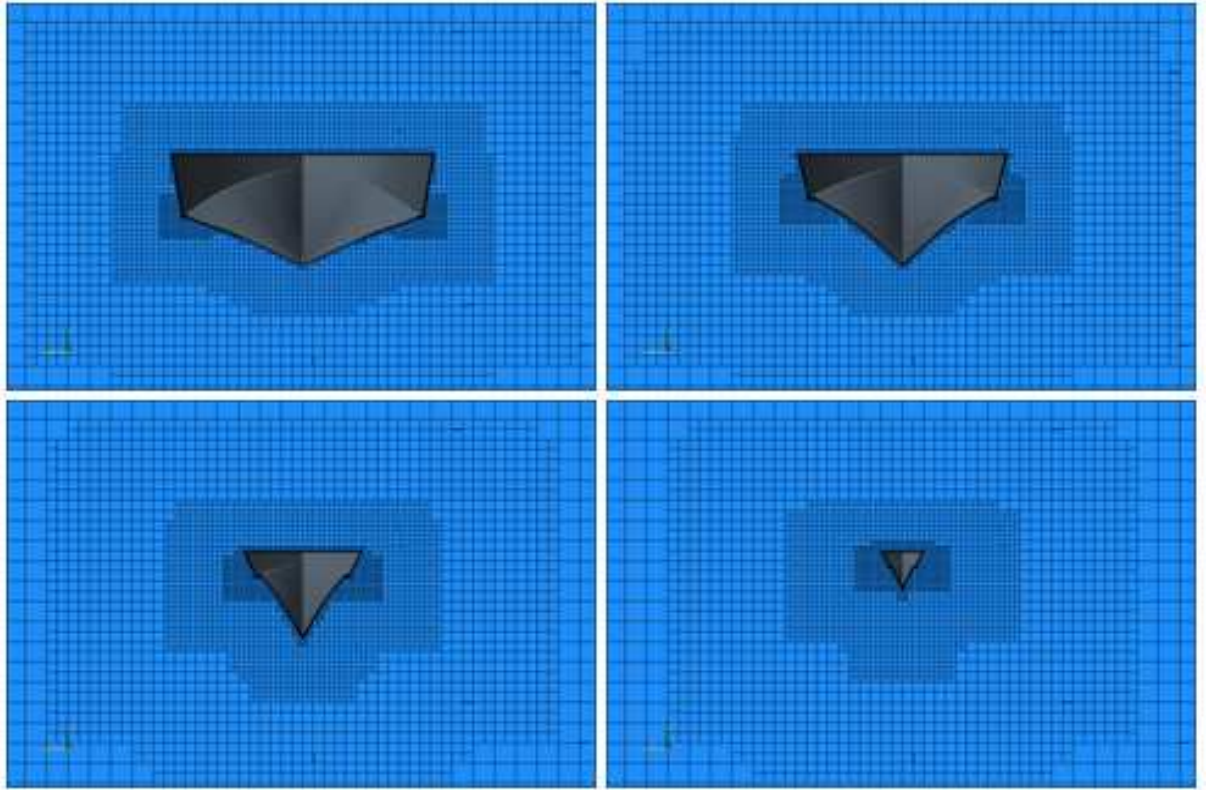
Şekil 3.6 Hacimsel çözüm ağı gösterimi



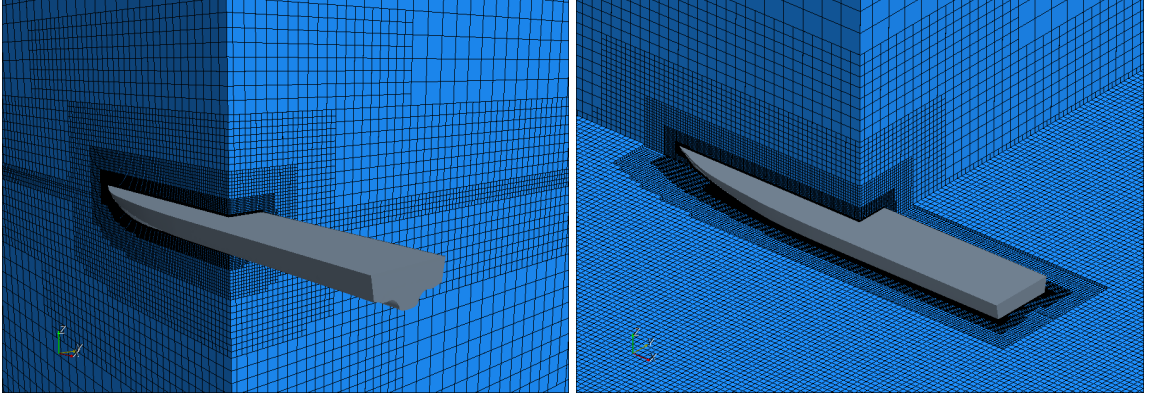
Şekil 3.7 Çözüm bölgesi simetri düzlemi üzerindeki çözüm ağı



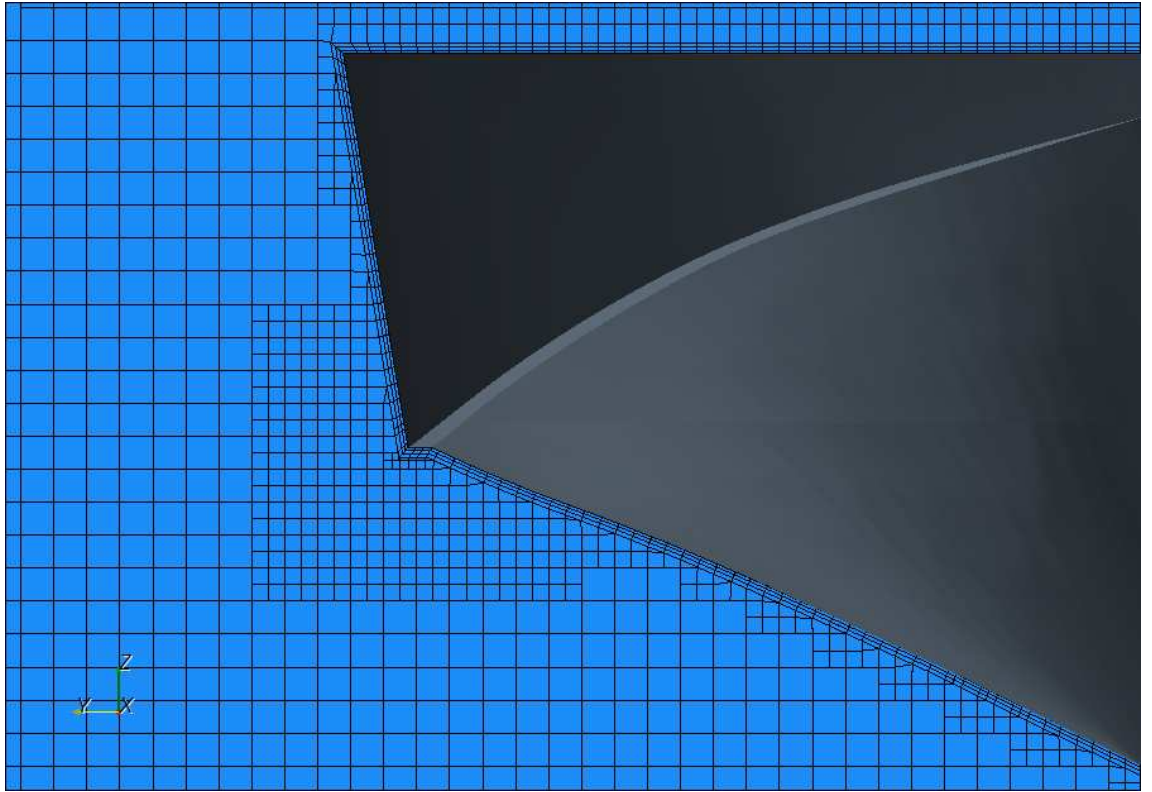
Sekil 3.8 Tekne ve su hattı çevresindeki sık çözüm ağı



Şekil 3.9: Teknenin en kesitleri etrafındaki çözüm ağı



Şekil 3.10 Tekne ve çözüm ağının beraber gösterimi



Şekil 3.11 Tekne duvarı etrafında kullanılan çözüm ağı elemanları

Tekne etrafındaki akışların modellenmesinde iki farklı fazdaki akışkan hareketi incelenmektedir. Akış hızı ve tekne boyu baz alınarak türbülanslı kabul edilmiş ve türbülans modeli olarak da iki denklemlilik $k - \omega$ türbülans modeli kullanılmıştır.

3.3.1 Serbest Su Yüzeyinin Modellenmesi

Birbirine karışmayan çok fazlı akışkanların akış modellenmesi, akışkanlar arasındaki ara yüzeyin şekline göre üç sınıfa ayrılabilir. Birinci sınıfa, iyi tanımlanmış birbirinden keskin ara

yüzeyle ayrılan çift fazlı akışlar dahildir. Açık kanallardaki dalga oluşmaksızın var olan akışlar bu sınıfa ait edilebilir. İkinci sınıfa, dalga oluşumunu sağlayan çift fazlı akışlar dahildir. Açık kanallarda dalgalı akış, tekne etrafındaki akış bu tarz çift fazlı akışlara örnek gösterilebilir. Üçüncü sınıf çift fazlı akışlara ise, farklı fazdaki akışkanların aktif bir şekilde birbirleri ile tank çalkalanmasına benzer şekilde karışması örnek gösterilebilir.

Birbiri ile karışmayan farklı fazdaki akışkanların ara yüzeyleri serbest yüzey adlanır. Dalga oluşumunun sağlandığı akışların sayısal modellenmesinde iki farklı yöntem kullanılarak serbest yüzeyi modellemesi yapılabilir: a) ara yüzey takibi metodu ve b) ara yüzeyi yakalama metodu

Ara yüzeyi takip metodu, sonlu farklar yöntemine uygun şekilde ayrıklaştırılmış bölgelere uygulanabildiği gibi, sonlu hacimler yöntemine uygun ayrıklaştırılmış bölgelere de uygulanabilmektedir. Bu yöntemde çözüm ağı noktalarının düşey olarak hareketine izin verilmektedir. Bu yöntem daha çok yumuşak serbest yüzeye sahip akışlar ve basit geometriler için kullanılmaktadır. Bu yöntemde ara yüzey çözüm ağı sınırlarını takip eder.

Ara yüzey yakalama metotlarından en eskisi MAC şemasıdır (Harlow ve Welch, 1965). Bu yöntemde, küçük kütle etkisi bulunmayan parçacıklar serbest yüzeye yakın yerlerde sıvı akışkan içerisine bırakılır ve bunların hareketi izlenir. MAC şeması ile dalga oluşumları çok iyi ifade edilseler de, özellikle üç boyutlu geometrilerde akışkan hareket denklemlerine ek olarak çok sayıda parçacığın hareketinin takip edilmesi, hesaplama hacmi açısından çok büyük olmaktadır.

Başka ara yüzey yakalama metodu VOF (Volume of Fluid) şemasının tanımlanması (Hirt ve Nicholas, 1981) ile tanındı. O zamandan sonra çok fazla sayıda buna benzer yöntem geliştirildi. Kütle, momentum ve enerji denklemlerine ek olarak, her bir hücrede her bir akışkanın faz dağılımını, hacim payını hesaplayacak denklem de sunuldu. Bu yöntemde serbest yüzey çözüm ağının şekil değiştirmesine izin verilmiyor

STAR-CCM+ HAD yazılımı da her bir akışkan fazı için ortak hız, basınç ve sıcaklık alanı hesaplayan VOF homojen çok fazlı akış modellemesi yöntemini desteklemektedir. VOF yönteminin kullanımında faz dağılımlarının, hacim paylarının veya hacim oranlarının, akışkanlar arası yüzeyin, serbest yüzeyin hassas bir şekilde hesaplanabilmesi için iyi çözüm ağlarının kullanılması gerekmektedir. Hacim payları herhangi bir çözüm ağı elemanındaki akışkanların kapladığı hacimlerin birbirlerine oranı olarak tanımlanır. Bir hücre içindeki tüm fazların hacim oranları toplamı 1 olacak şekilde hesaplamalar yapılmaktadır. Başka bir deyişle bir hücre içerisindeki n'inci fazın hacim oranı C_n olarak tanımlanırsa;

- $C_n = 0$ ise, o hücrede n numaralı fazın olamadığı
- $C_n = 1$ ise, o hücrenin n numaralı fazın hepsini içermekte olduğu
- $0 < C_n < 1$ ise, o hücrede n numaralı fazdan başka diğer fazlarında bulunduğu anlamına gelmektedir.

Tekne etrafındaki akış modellemesinde de, akışkan hacim payları başlangıç koşulları ayarlanırken, su hattı baz alınarak fonksiyona bağlı olarak tanımlandı. Su hattı üzerindeki elemanların tamamının gaz (hava) hacim payı 1 olarak, su altındaki elemanların tamamının sıvı (su) hacim payı 1 olarak kabul edildi.

3.3.2 Türbülans Modellemesi

$k - \omega$ türbülans modeli $k - \varepsilon$ türbülans modeline alternatif model olup, türbülans kinetik enerjisi (k) ve türbülans kinetik enerjisi özel kayıp oranı (ω) için taşınım denklemlerini çözer. $k - \omega$ türbülans modelinin de farklı modelleri bulunup, çalışmadaki tüm benzetimler için bu modellerden SST (Menter) $k - \omega$ türbülans modeli kullanılmıştır.

3.3.3 Başlangıç ve Sınır Koşulları

Akışkanın hareket denklemlerinin çözümü için başlangıç ve sınır koşullarının biliniyor olması gerekmektedir. Eğer akış daimi değilse, yani zamana bağlı ise başlangıç koşulu ya da herhangi bir değişken için ilk konum dağılımı biliniyor olmalıdır. $t = 0$ anında ρ , V , p , T değişkenlerinin, konumun fonksiyonu olarak ifade edilebilmelidir. Sonra, benzetimi yapılacak bölge için tüm analiz zamanı akışı çevreleyen her bir sınırdaki değişkenler hakkında bir şeylerin bilinmesi gerekmektedir. Akışkanların hareketinin analizinde karşılaşılan en yaygın sınır tipleri, katı duvar, giriş, çıkış ve sıvı-gaz ara yüzeyidir. Bilindiği üzere, katı duvar için viskoz bir akışkanın katı bir sınırdaki hız vektörü sıfırdır.

$$u = v = w = 0 \quad (3.1)$$

Akışın her hangi giriş ya da çıkış kesitinde, tüm zamanlar için hız, basınç dağılımları bilinmelidir.

En karmaşık koşul sıvı-gaz ara yüzeyinde veya serbest yüzeyde meydana gelir. Ara yüzeyde düşey hızlar eşit olmalıdır ve dolayısıyla sıvı ve gaz arasında boşluklar oluşmaz. Bu kinematik sınır koşulu olarak adlandırılır:

$$z = H(x, y, y) \quad (3.2)$$

$$w_{liq} = w_{gas} = \frac{dH}{dt} = \frac{\partial H}{\partial t} + u \frac{\partial H}{\partial x} + v \frac{\partial H}{\partial y} \quad (3.3)$$

Ara yüzey boyunca mekanik denge sağlanmış olmalıdır ve bu durumda viskoz kayma gerilmeleri dengede olmalıdır.

$$(\tau_{zy})_{liq} = (\tau_{zy})_{gas} \quad (3.4)$$

$$(\tau_{zx})_{liq} = (\tau_{zx})_{gas} \quad (3.5)$$

Viskoz normal gerilmeleri ihmal ederek, basınç ara yüzeyde dengelenmelidir.

Bu çalışmada hesap yükünü azaltmak amaçlı tekne modelleri yarım olarak modellenmiş ve yukarıda bahsedilen sınır koşullarına ek olarak, simetri sınır koşulu kullanılmıştır. Simetri sınır koşulunun uygulanması için ilk şart, o sınırdan hiçbir akının geçmiyor olmasıdır. Bu da o sınırdaki hız normallerinin sıfır olduğunun kabulüdür. Simetri sınır koşulunun uygulandığı yüzeylerde kayma gerilmesi sıfır olmaktadır. Simetri yüzeyindeki sınır koşulları daha ayrıntılı olarak aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$\vec{n} \cdot \nabla U = 0 \quad (3.6)$$

$$\vec{n} \cdot \nabla (\vec{V} \cdot \vec{t}) = 0 \quad (3.7)$$

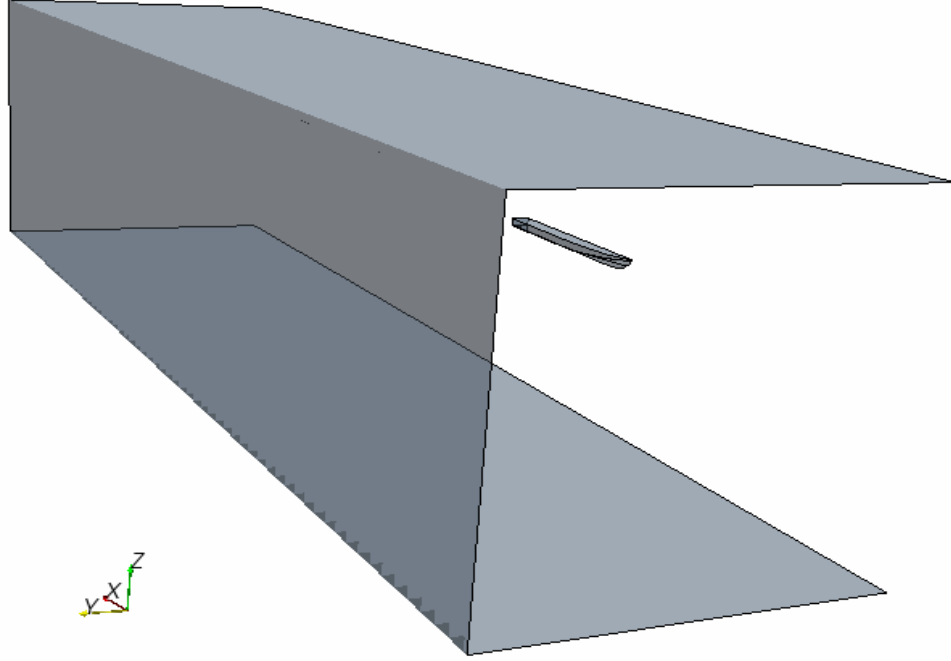
$$\vec{t} \cdot \nabla (\vec{V} \cdot \vec{n}) = 0 \quad (3.8)$$

Burada U skaler değişkenleri, $\vec{t}$ ise simetri sınırına teğetsel vektörü göstermektedir.

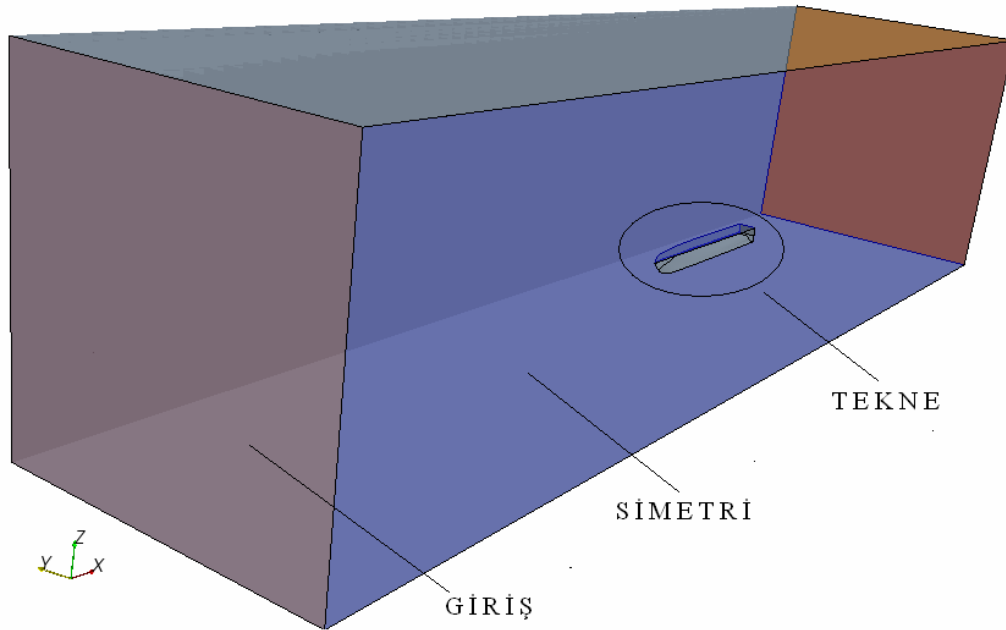
Teknenin açık deniz ortamındaki durumu düşünülürse, etrafına akışı sınırlayacak bir duvarın söz konusu olmadığı bilinir. Sayısal yaklaşımlarda ise, tekne etrafındaki akışkan bölgenin tamamı değil, belli bir kısmı modellenmekte ve bunlara uygun olarak da sınır koşulları belirlenmektedir. Çalışmada kullanılan tüm modeller için benzer sınır koşulları kullanılmıştır. Giriş sınır koşulu sabit hız, çıkış sınır koşulu ise hidrostatik basınç olarak tanımlanmıştır. Serbest su yüzeyi yazılımının sunduğu imkanlar dahilinde fonksiyon yazılarak belirtilmiştir. Akışkan bölgenin sınırları da belli ölçüler dahilinde sınırlı tutulmuş ve bu sınırlara kaygan duvar (slip wall) sınır koşulu uygulanmıştır. Kaygan duvar koşulu değil de normal duvar koşulu uygulansaydı, kanal etkisi oluşturulacaktı ki, bu da tekne direnci ile ilgili yanlış sonuçların elde edilmesine sebep olacaktı. Kaygan duvar sınır koşulunun uygulandığı yüzeylerde hızın normal bileşeninin sıfır olduğu kabul edilir.

$$\vec{V} \cdot \vec{n} = 0 \quad (3.9)$$

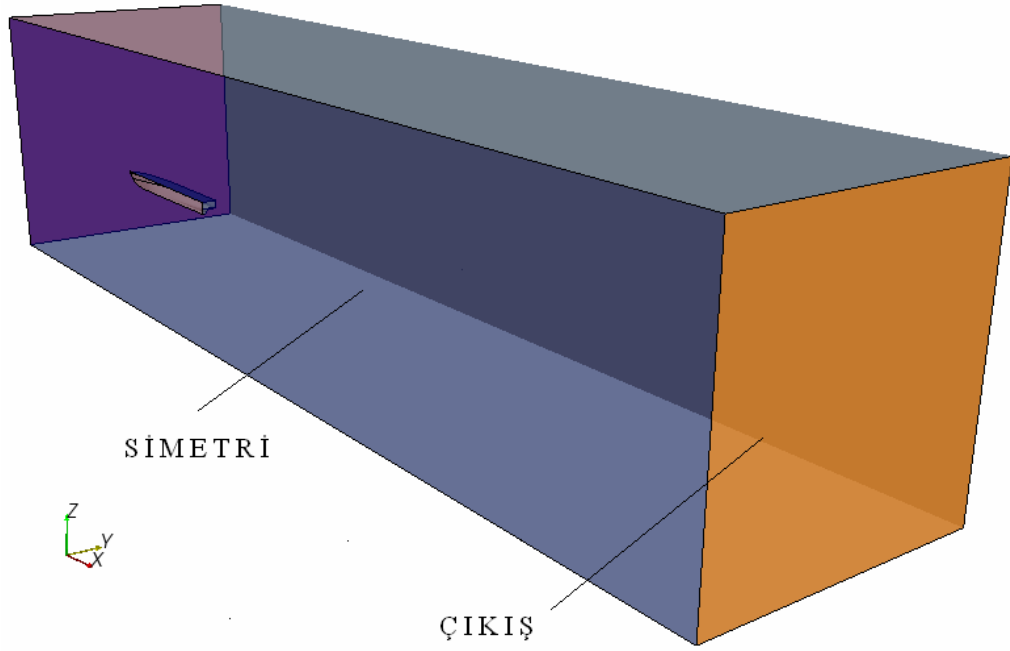
Bu sınır koşulları dikkate alınarak tekne etrafındaki akış modellemesi için kullanılan sınır yüzeyleri Şekil 3.12, Şekil 3.13 ve Şekil 3.14'deki gibidir.



Şekil 3.12 Duvar sınır koşullarının şematik olarak gösterimi (akışkan bölgeyi sınırlayan üst, alt ve yan duvarlar kaygan duvar olarak modellenmiştir)

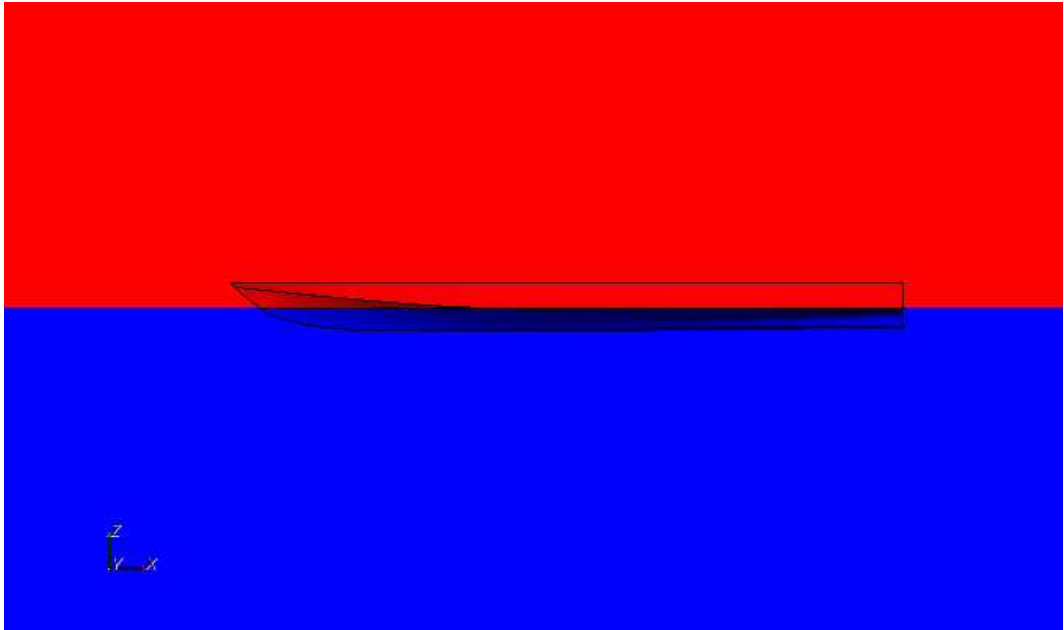


Şekil 3.13 Giriş, simetri ve tekne duvarı sınır koşullarının şematik olarak gösterimi (giriş için hız giriş (velocity inlet) sınır koşulu kullanılmıştır)

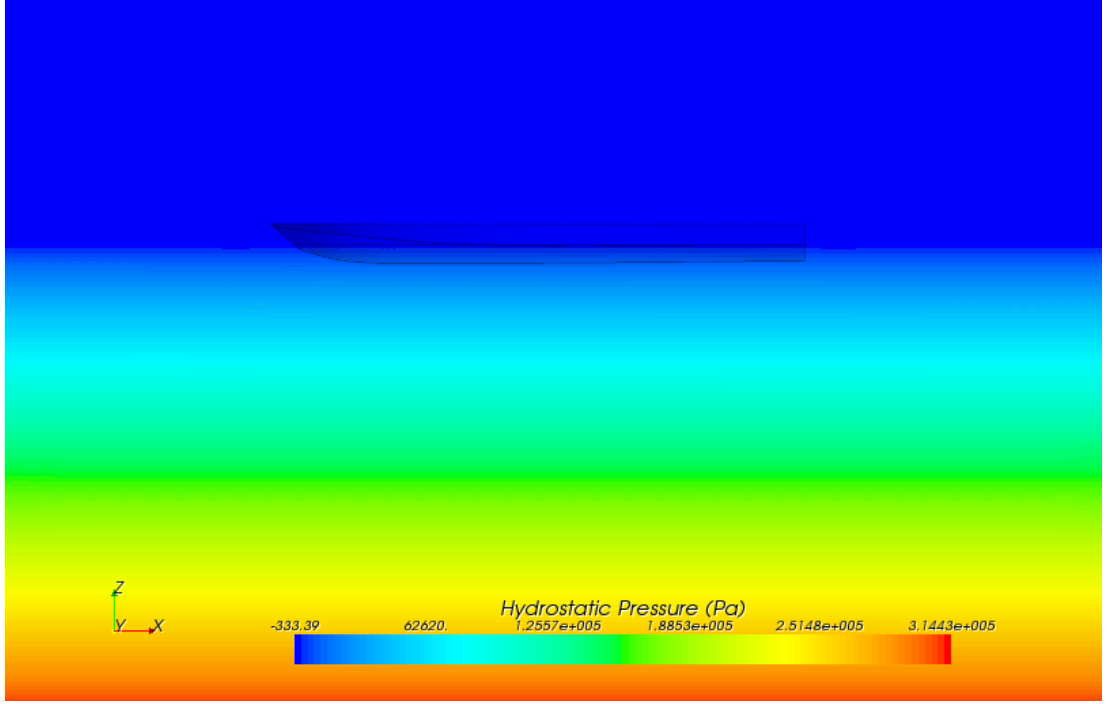


Şekil 3.14 Çıkış ve simetri sınır koşullarının şematik olarak gösterimi (çıkış için basınç çıkışı (pressure outlet) sınır koşulu tanımlanmıştır)

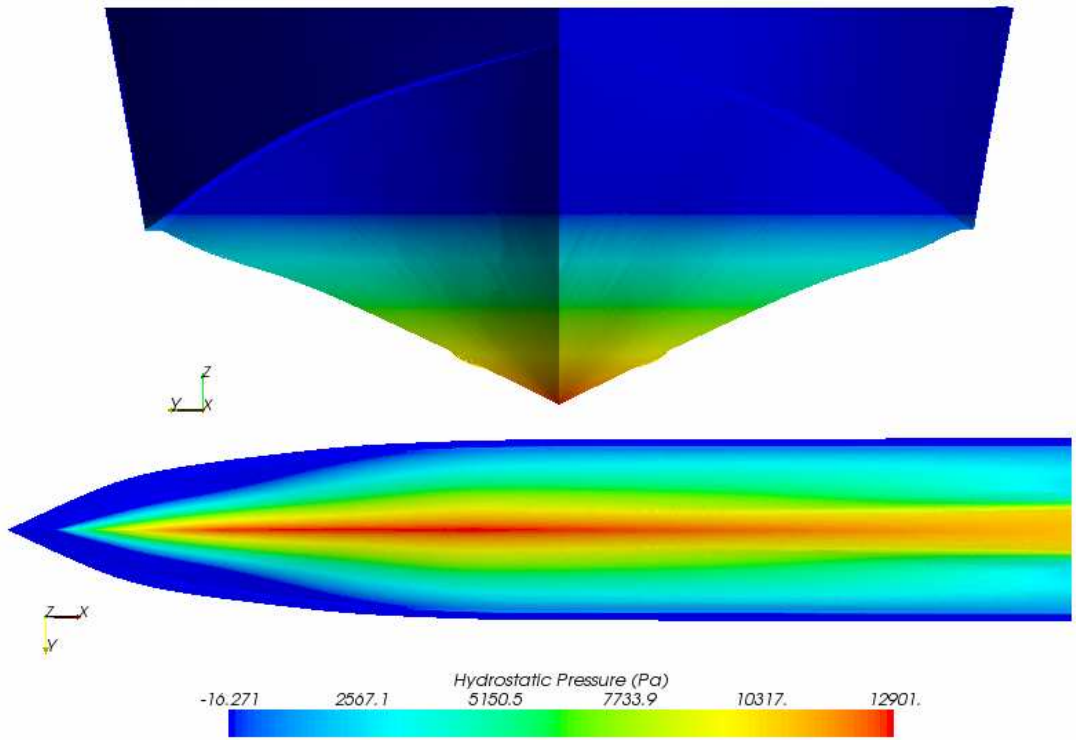
Modeller için başlangıç koşulları STAR-CCM+ yazılımı içinde özel fonksiyonlar yazma aracı kullanılarak tanımlanmıştır. Başlangıç durumu için akışkan hidrostatik basınç ve genel akışkan bölgesi için serbest yüzey hattı, su hattı tanımlaması yapılmıştır. Başlangıç koşulların tanımlanması ana model ve diğer iki model için de aynı kullanılmıştır.



Şekil 3.15 Başlangıç koşulu olarak serbest su yüzeyi hattının simetri düzlemindeki gösterimi (lacivert bölge su akışkanını, kırmızı bölge hava akışkanını temsil etmektedir)



Şekil 3.16 Başlangıç koşulu olarak hidrostatik basıncın simetri düzlemi üzerindeki dağılımı



Şekil 3.17 Başlangıç koşulu olarak hidrostatik basıncın tekne üzerinde gösterimi

4. FARKLI HIZLARDA TEKNE ETRAFINDAKİ AKIŞIN ANALİZİ

Öncelikle farklı iki hızda tekne etrafındaki akış incelenmiş ve toplam direnç hesaplanmıştır. Gemi formu, hidrodinamik akış ve direnç karakteristikleri açısından hesaplamalı akışkanlar dinamiği tekniklerinden sonlu hacimler yöntemi kullanılarak analiz edilmiştir. Kullanılan tekne ana boyutları Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Tekne ve tekneyi çevreleyen akışkan bölge için yapısal olmayan, geneli düzgün altı yüzlü kontrol hacmi elemanlarını içeren çözüm ağının oluşturulması bir önceki bölümde anlatılmıştır. Analiz sonuçlarının istenen hassasiyeti vermesi ve serbest su yüzeyinin program tarafından hesaplanabilmesi için teknenin etrafında ve yüklü su hattında daha sık bir çözüm ağı yapısı kullanılmaya çalışılmıştır. Ayrıca tekne üzerinde sınır tabakayı daha iyi çözümlemek için prizmatik tabakalar kullanılmıştır.

Ana boyutları Çizelge 3.1’de verilen tekne modelinin HAD analizi için 1.485.720 çözüm ağı hacim elemanı kullanılmıştır. Tekne üzerinde ve serbest su yüzeyine yakın yerlerde kullanılan sık çözüm ağı yapısı Şekil 3.7 ve Şekil 3.8’de gösterilmiştir.

Basit olarak sınır koşulları bir önceki bölümde anlatıldığı gibi, akışkan bölgesine her iki akışkanın girişi için hız girişi (velocity inlet), çıkışı için ise her iki akışkan için de hidrostatik basınç çıkışı (pressure outlet) olarak tanımlanmıştır.

4.1 Tekne Direnci ve Ana Bileşenleri

Sakin bir su içerisinde hareket etmeden yüzen bir geminin, suya batan yüzeyine hidrostatik basınç kuvvetleri etki eder. Bunların baş-kıç ve enine doğrultudaki bileşeni sıfır olup, düşey bileşeni ise, su altı hacim merkezine etki eden gemi ağırlığına eşit bir kuvvettir. Gemi akışkan içerisinde belirli bir hızda hareket ettiğinde, tekne sualtı yüzeyine akışkanın oluşturduğu dinamik basınçlar da etki eder. Geminin ileri doğru hareketi sırasında, akışkanın viskozitesi nedeniyle oluşan kuvvetler de dikkate alınmalıdır. Su altı yüzeyi üzerinde, viskozite etkisiyle gemi hareketine ters yönde etki eden yüzeye teğet kuvvetler oluşur. Böylece bir cismin akışkan içerisindeki hareketi sırasında, cismin yüzeyine akışkan basıncı ve viskozitesinin etkisi ile kuvvetler etki eder. O halde cisim üzerinde akışkan etkisiyle oluşan kuvvetler, cisim yüzeyine dik ve teğet doğrultuda bileşenlere ayrılabilir. Teğetsel bileşenler kesme kuvvetlerinden oluşur ve bunların yüzey boyunca entegrasyonu, yüzeye teğet yatay bir kuvvet verir ki, buna sürtünme direnci denir. Yüzeye dik kuvvetlerin hareket doğrultusundaki yatay bileşenine basınç direnci denir. Gemi yüzeyine dik ve teğetsel bu iki kuvvet birlikte, geminin toplam direncini oluşturur (Baykal, 2002).

Cisim serbest su yüzeyinde veya yüzeye yakın olarak hareket ettiğinde su yüzeyinde dalgalar oluşturur. Dalgalar, cismi hareket ettirmek için kullanılan enerjinin dönüşümüdür. Böylece geminin veya cismin su yüzeyinde hareketiyle oluşan dalgaların direncine dalga yapma direnci denir.

Hava ve denizin birleştiği su yüzeyinde seyreden klasik deplasman teknelerinin su altı yüzeyine suyun etkisiyle sürtünme, viskoz basınç ve dalga yapma direnç bileşenleri etki eder. Bu üç direnç bileşeninin toplamı, geminin su tarafından oluşturulan toplam direncini verir (Baykal, 2002).

Rüzgarsız bir havada ve dalgasız sakin bir denizde seyreden bir geminin sudan gördüğü toplam direnç aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

Toplam Direnç = Sürtünme Direnci + Viskoz Basınç Direnci + Dalga Yapma Direnci

$$R_T = R_f + R_{PV} + R_w \quad (4.1)$$

Dikkat edilirse, söylemlerde hep geminin sudan gördüğü dirençten bahsedildi. Ayrıca gemiye, etki eden hava direnci de geminin hareketine etki eden direnç bileşenleri arasındadır. Gemi ana gövdesinin su üstünde kalan kısmı ile üst yapıların hava içindeki hareketi, hava direncini oluşturmaktadır. Geminin sakin hava ve deniz koşullarında seyretmesi halinde, su üstü kısmının hava içindeki hareketinin neden olduğu bu direnç, gemi hızına ve hava ile temas eden ana gövde ve üst yapılarının şekline bağlı olarak değişir. Havanın yoğunluğunun suya göre çok az olması nedeni ile sakin hava halindeki bu direnç, su tarafından oluşturulan dirence göre oldukça küçüktür. Sakin hava halinde hava direnci, gemi toplam direncinde %2–4 oranında bir artma yapar.

Genel olarak gemilerin, özel olarak da kayıcı teknelerin toplam dirençleri aşağıdaki yöntemlerden biri ile bulunabilir:

- Eş veya geometrik benzer gemilerden yararlanılarak
- İstatistiki diyagramlar kullanılarak
- Yaklaşık formüller kullanılarak
- Sistematik direnç araştırmalarının istatistiki analizi yapılarak
- Model deneyleri kullanılarak
- Sistematik model deneylerinden çıkarılan yöntemlerden istifade edilerek
- Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) yöntemleri kullanılarak

4.1.1 HAD Yöntemi Kullanılarak Direnç Analizinin Yapılması

Yazılım yüzey üzerinde hesaplanan toplam kuvveti, basınç kuvveti ve sürtünme kuvveti olarak ayırmaktadır.

$$f = \sum_f (f_f^{pressure} + f_f^{shear}) \cdot n_f \quad (4.2)$$

Burada $f_f^{pressure}$ ve f_f^{shear} çözüm ağı eleman yüzeyi üzerinde hesaplanan basınç ve sürtünme kuvvet vektörleridir. n_f ise hesaplanması istenen kuvvetin yönünü belirten kullanıcı tarafından tanımlanan yön vektörüdür.

$$f_f^{pressure} = (p_f - p_{ref}) \cdot a_f \quad (4.3)$$

p_f ve p_{ref} sırasıyla yüzey üzerinde hesaplanan basınç ve referans basınç değerleridir. a_f ise yüzey alan vektörüdür.

$$f_f^{shear} = -T_f \cdot a_f \quad (4.4)$$

Eleman yüzeyinde hesaplanan sürtünme kuvveti formülasyonunda, T_f eleman yüzeyindeki gerilme tensörüdür.

(4.1) eşitliğinden bilindiği gibi toplam direnç kuvvetindeki bileşenler, sürtünme direnci, viskoz basınç direnci ve dalga direnci olarak ayrılabilir. Viskoz basınç direnci ve dalga direnci bileşenlerinin her ikisinin basınç kaynaklı olduğu bilinmektedir. Basınç kuvvetinin hesaplanması zamanı bunların ayrılması mümkün değildir. Viskoz basınç direncinin ayrılığa hesaplanabilmesi için tekne modeli çift-model olarak tasarlanır ve sadece sıvı akışkanından gelen kuvvetler hesaplanırsa, basınç kuvveti viskoz basınç direnci değerini verir. Serbest yüzeyli modelde hesaplanan basınç kuvveti değerinden çift-model için hesaplanan basınç kuvveti değerinin çıkarılması ile dalga direnci de bulunabilir.

VOF modeli kullanılarak elde edilen çözümde hücrelerdeki fazların son halini almasıyla dalga deformasyonları elde edilmekte ve bu deformasyona bağlı olarak gemi yüzeyindeki basınç dağılımı değişmektedir. Viskoz akım çözüldüğünden bu basınç dağılışı viskoz basınç etkisini de içermektedir. Bu çalışmada toplam direnç ilgi odağı olduğundan direnç bileşenleri ayrıntılı şekilde incelenmeyecektir.

Bu çalışmada da ilk olarak tekne modelinin farklı iki hız değeri, 20 knot ve 25 knot seyir hızları için toplam direnç değeri HAD yazılımı yardımı ile hesaplanmıştır. Çözümler için daha önceden bahsedilen sınır koşulları ve fiziksel modeller kullanılmıştır.

4.1.2 Teknenin 20 Knot ve 25 Knot Seyir Hızlarındaki Toplam Direncinin Bulunması

Her iki durum için 20 saniyelik gerçek çözüm süresi içinde toplam direncin yakınsadığı görülmüş ve dolayısıyla çözüm durdurulmuştur. Öncelikle teknenin sakin denizde 20 knot seyir hızı ile hareket ettiği düşünülmüş ve toplam direnç ve bileşenleri hesaplanmıştır. Çözüm için önceki bölümlerde bahsedilen türbülans modeli, sınır koşulları, başlangıç koşulları kullanılmıştır. Başlangıç koşulları için bazı parametrelerin simetri düzleminde, tekne gövdesi üzerindeki gösterimleri daha önceki bölümlerde ayrıntılı bir şekilde gösterilmiştir. Bir sonraki aşama olarak aynı koşulların kabulü çerçevesinde, tekne 25 knot seyir hızında iken karşılaştığı toplam direnç ve bileşenleri hesaplanmıştır. Hesaplamalar (4.2) denklemi kullanılarak çözüm ağındaki tekne geometrisi üzerinde bulunan her bir eleman için basınç değerleri dolayısıyla etki eden kuvvetin direnç yönündeki bileşeni alınarak yapılmıştır.

Çözüm sonucunda her iki hız değeri için HAD yazılımı kullanılarak elde edilen toplam direnç ve direnç bileşenleri değerleri Çizelge 4.1’de gösterildiği gibidir.

Çizelge 4.1 20 knot ve 25 knot seyir hızıyla hareket eden tekneye etki eden toplam direnç ve bileşenleri

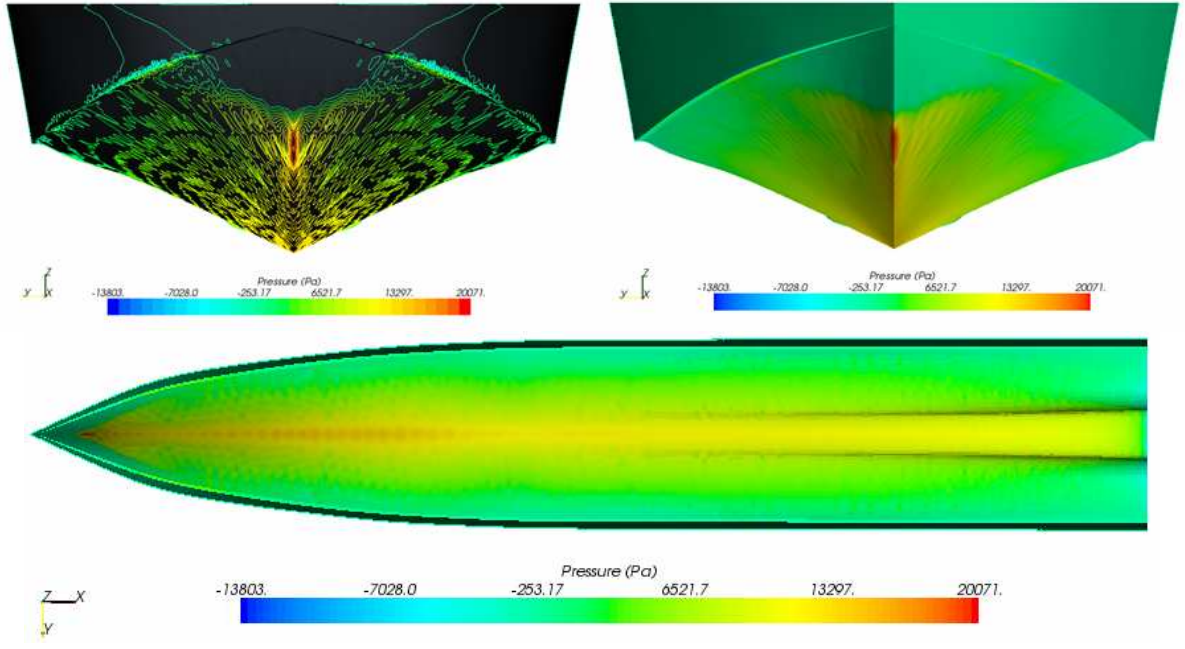
Hız (knot)	Sürtünme Direnci (N)	Basınç Direnç (N)	Toplam Direnç (N)
20	17229.54	29910.90	47140.44
25	28627.22	47010.46	75637.68

Söz konusu seyir hızlarında tekne üzerine etki eden direnç değerleri HAD yazılımında yarı model için elde edilmiş ve modelin simetrik olduğu düşünülerek, toplam direnç değerleri hesaplanmıştır.

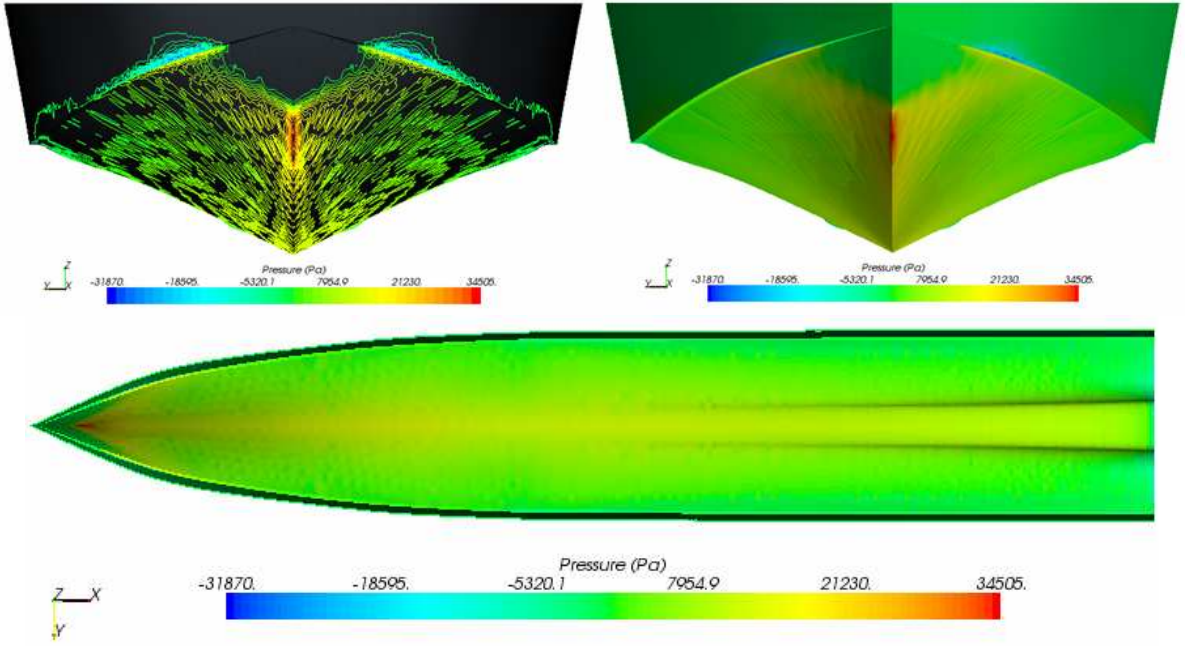
4.2 HAD Analizleri Sonucunda Elde Edilen Basınç Dağılımı

Direnç değerleri haricinde, tekne üzerinde ve akışkan bölgede basınç dağılımları HAD yazılımı ile elde edilmektedir.

Şekil 4.1 ve Şekil 4.2’de 20 ve 25 knot seyir hızlarında hareket eden tekne üzerinde oluşan basınç dağılımları gösterilmiştir. Beklendiği gibi, en yüksek basınç değerleri su hattı ile tekne baş kısmının kesiştiği bölgede elde edilmiştir. Resimlerde gösterilen basınç, mutlak basınç değil, gösterge basınç dağılımıdır.



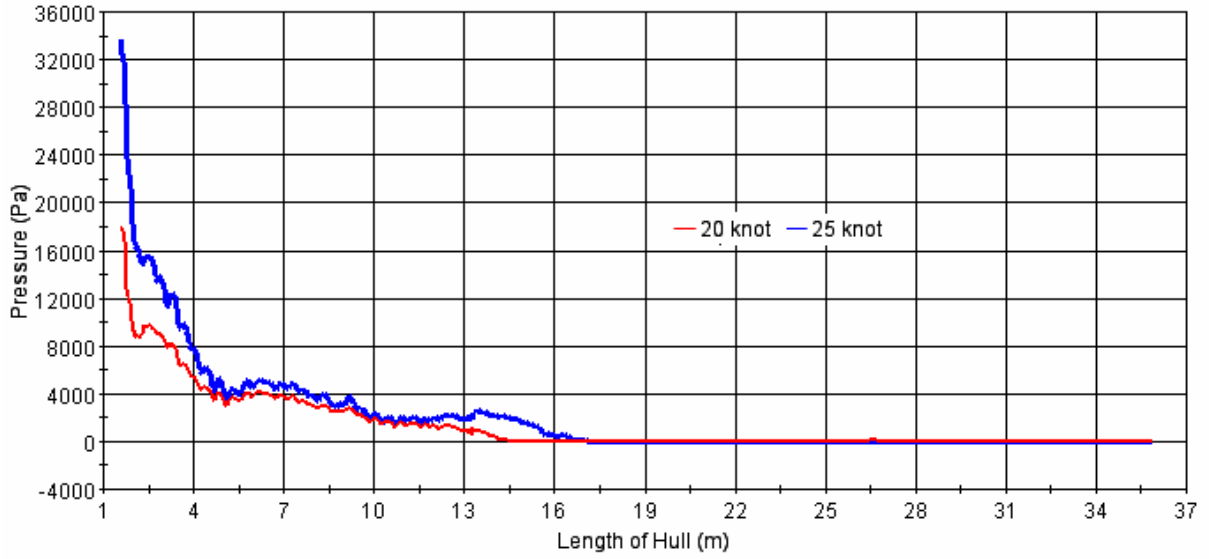
Şekil 4.1 20 knot seyir hızı ile hareket eden tekne üzerinde elde edilen basınç dağılımı



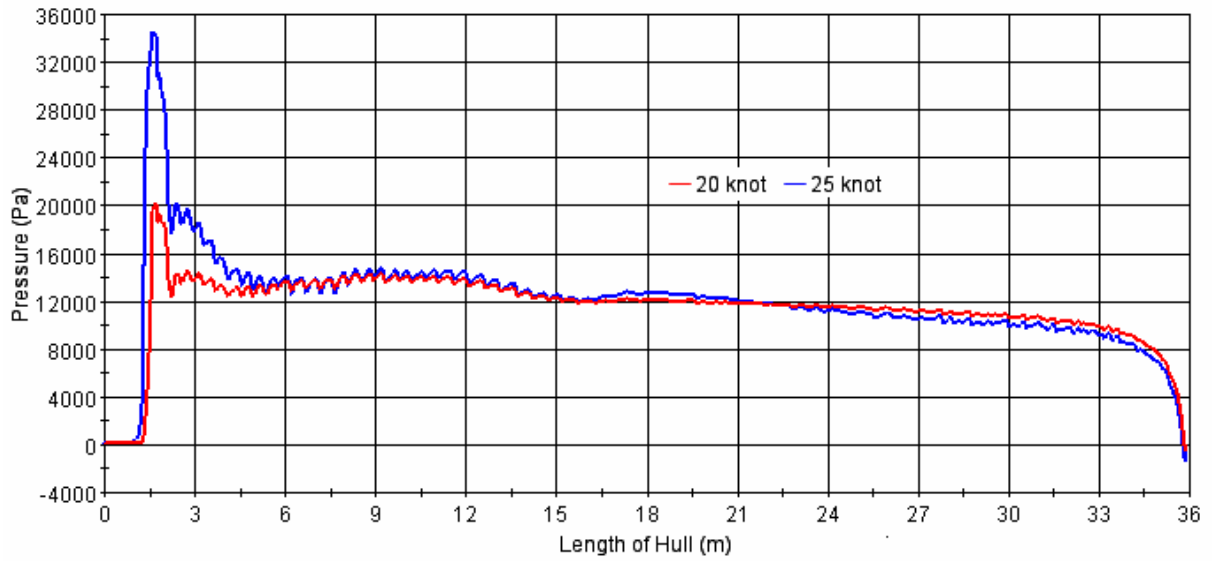
Şekil 4.2 25 knot seyir hızı ile hareket eden tekne üzerinde elde edilen basınç dağılımı

Resimlerdeki basınç dağılımları incelenirse beklendiği gibi en yüksek basınç değerleri tekne baş tarafında oluşmaktadır.

Yüklü su hattı seviyesinde ve orta simetri düzleminin tekne yüzeyi ile kesiştiği çizgideki basınç değerlerinin tekne boyuna göre dağılımları her bir hız değeri için Şekil 4.3 ve Şekil 4.4'de verilmiştir.



Şekil 4.3 20 ve 25 knot seyir hızlarında, su hattı ($T=1.3$ m) seviyesinde ölçülen basınç değerlerinin tekne boyuna göre dağılımı



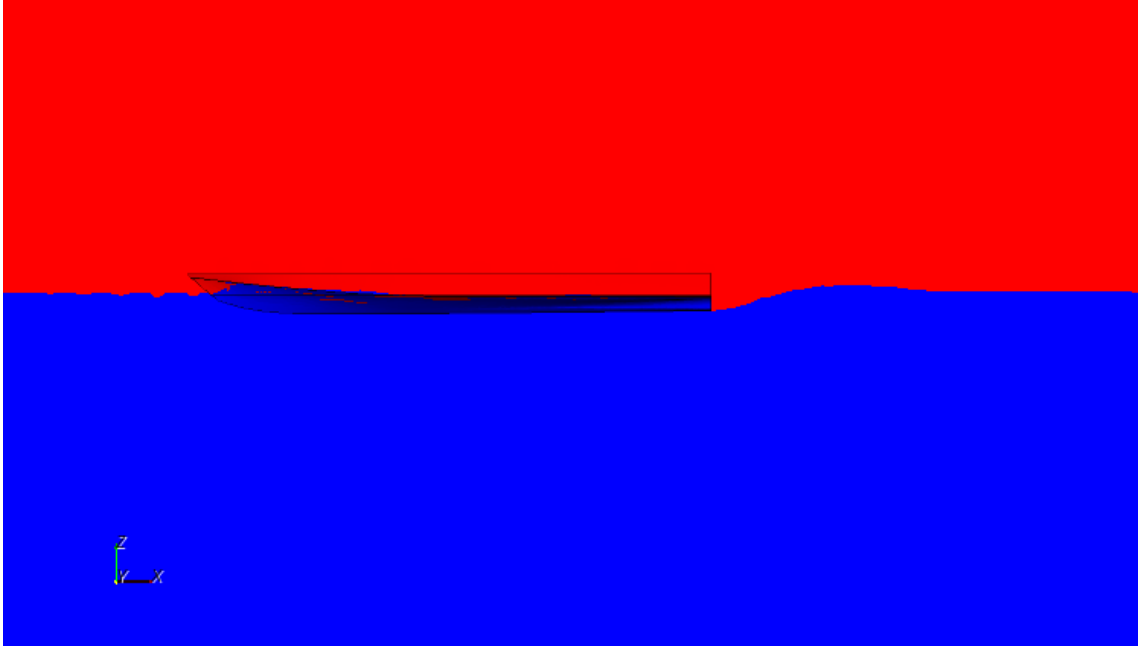
Şekil 4.4 20 ve 25 knot seyir hızlarında, orta simetri düzlemi ile tekne yüzeyinin kesiştiği çizgide ölçülen basınç değerlerinin tekne boyuna göre dağılımı

4.3 HAD Analizleri Sonucunda Elde Edilen Dalga Deformasyonları

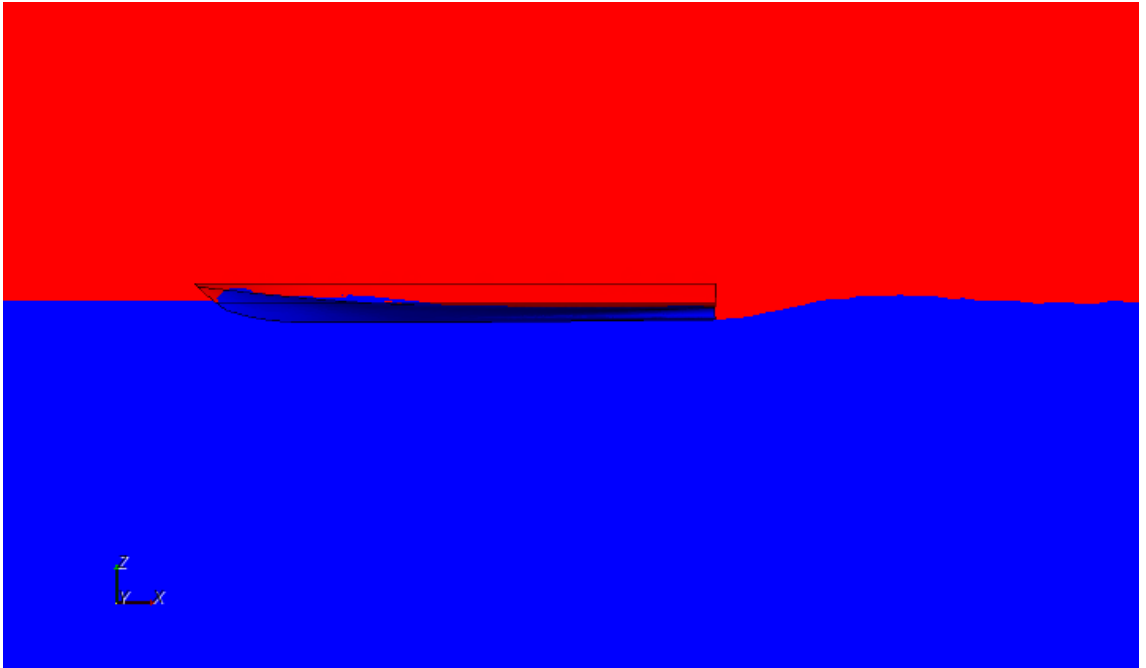
Dalga sistemini oluşturmak için gemi tarafından harcanan enerji, geminin ileri doğru hareketine karşı koyan kuvvetin yaptığı iştir. Dalga direnci bir teknenin suda kabarttığı dalgalar için sarf ettiği enerjiye karşılık, sudan görmüş olduğu dirençtir. Tekneden su ortamına geçerek dalgalarla taşınan enerji, bir kayıp olarak düşünüldüğünde, dalga direnci daha az olan, küçük dalgalar oluşturan teknelerin yapımı istenir. Dalga direncinin büyüklüğü, teknenin hızına, su hattı ve enine kesitlerin şekline bağlı olup belirlenmesi ve azaltılması asıl

amaçtır. Tüm bunlar dikkate alınarak tekne modellemesi açısından dalga deformasyonlarının elde edilmesi önem arz etmektedir.

STAR-CCM+ yazılımı kullanılarak tekne etrafında elde edilen dalga deformasyonları şematik olarak Şekil 4.5, Şekil 4.6, Şekil 4.7 ve Şekil 4.8’de gösterildiği gibidir.



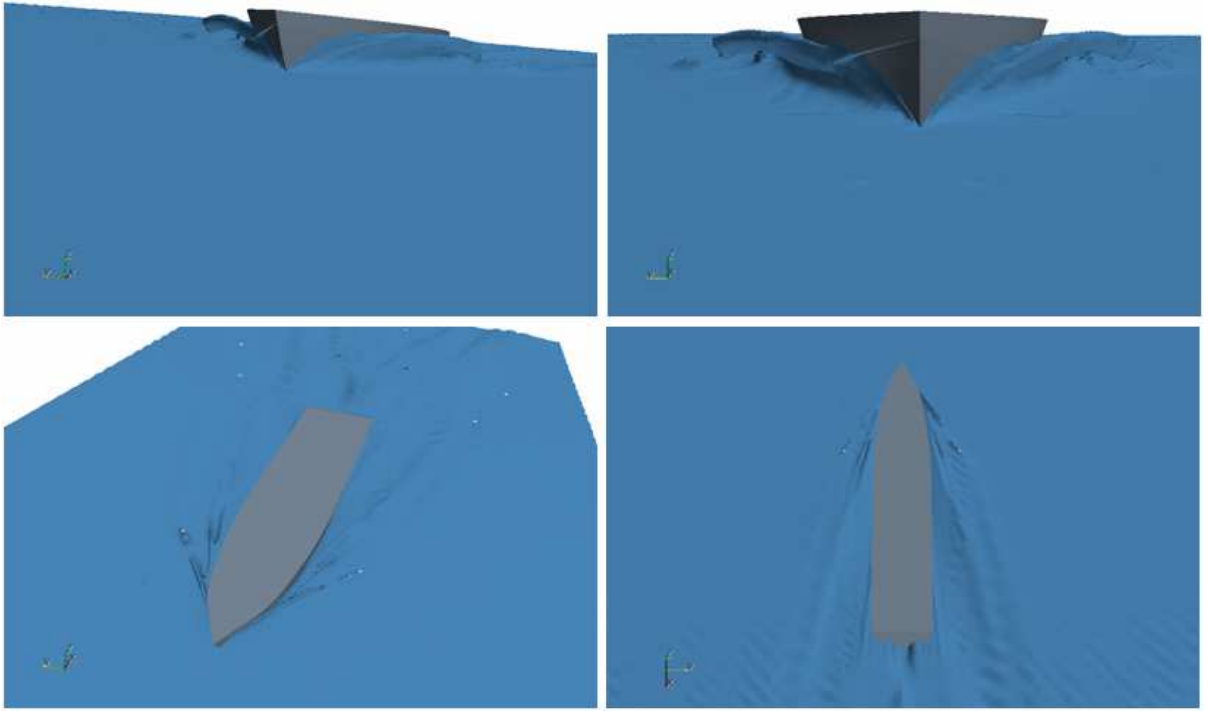
Şekil 4.5 20 knot seyir hızında teknenin simetri düzlemi ve tekne yüzeyi üzerinde elde edilen dalga deformasyonu



Şekil 4.6 25 knot seyir hızında teknenin simetri düzlemi ve tekne yüzeyi üzerinde elde edilen dalga deformasyonu

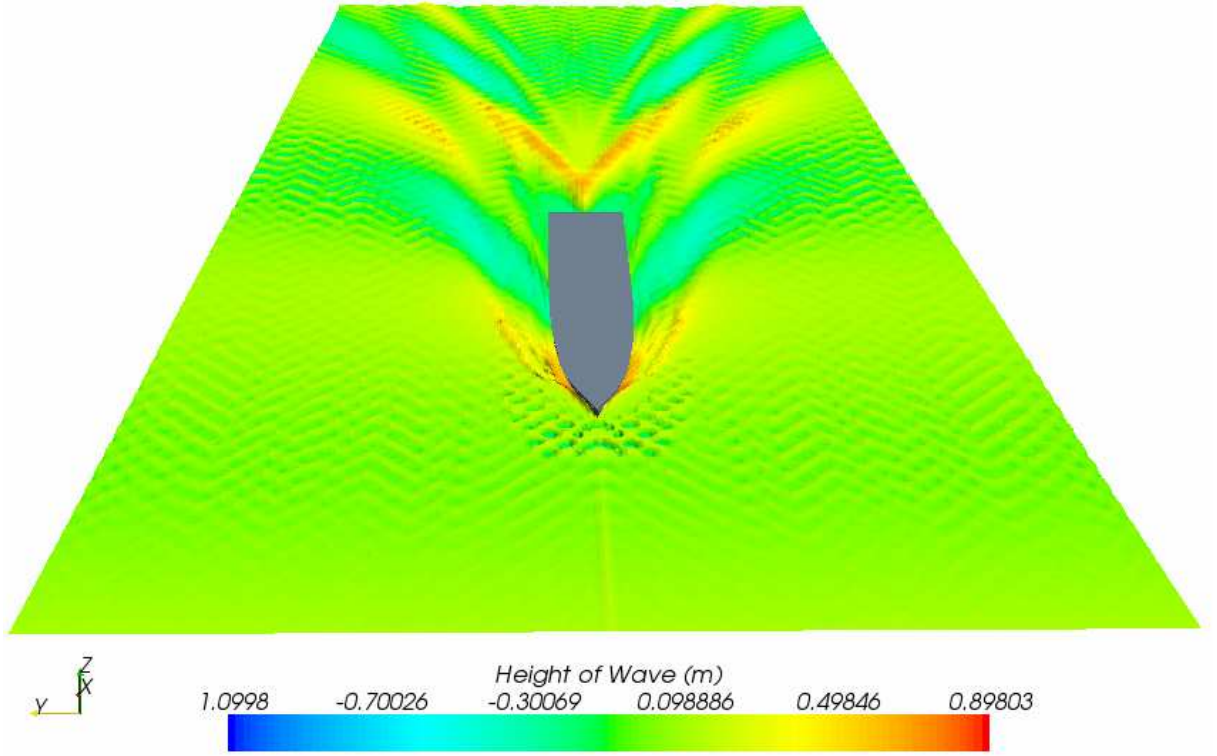


Şekil 4.7 20 knot seyir hızında tekne etrafında oluşan dalga deformasyonları

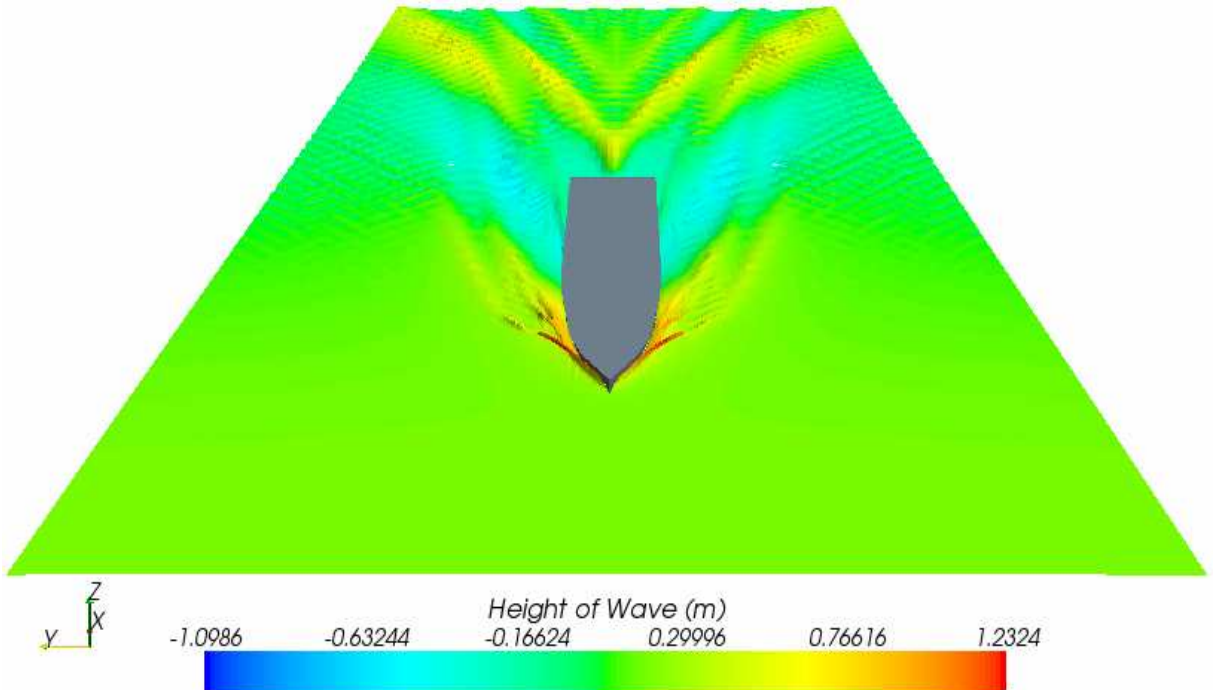


Şekil 4.8 25 knot seyir hızında tekne etrafında oluşan dalga deformasyonları

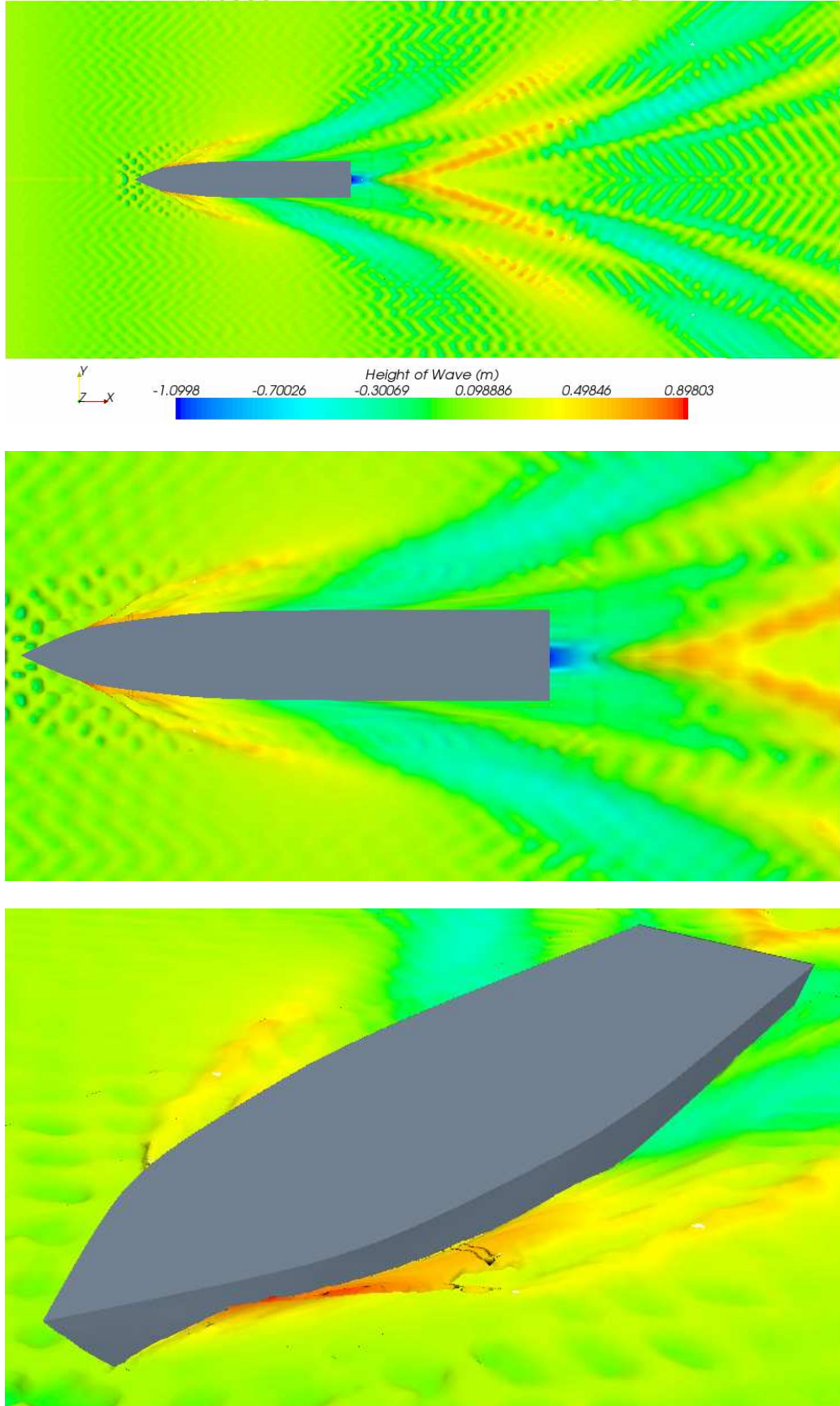
20 knot ve 25 knot seyir hızlarında tekne etrafında oluşan dalga yükseklikleri STAR-CCM+ yazılımında hesaplanabilmektedir. Oluşan bu dalgaların yükseklikleri sakin su hattı baz alınarak Şekil 4.9, Şekil 4.10, Şekil 4.11 ve Şekil 4.12’de gösterilmiştir.



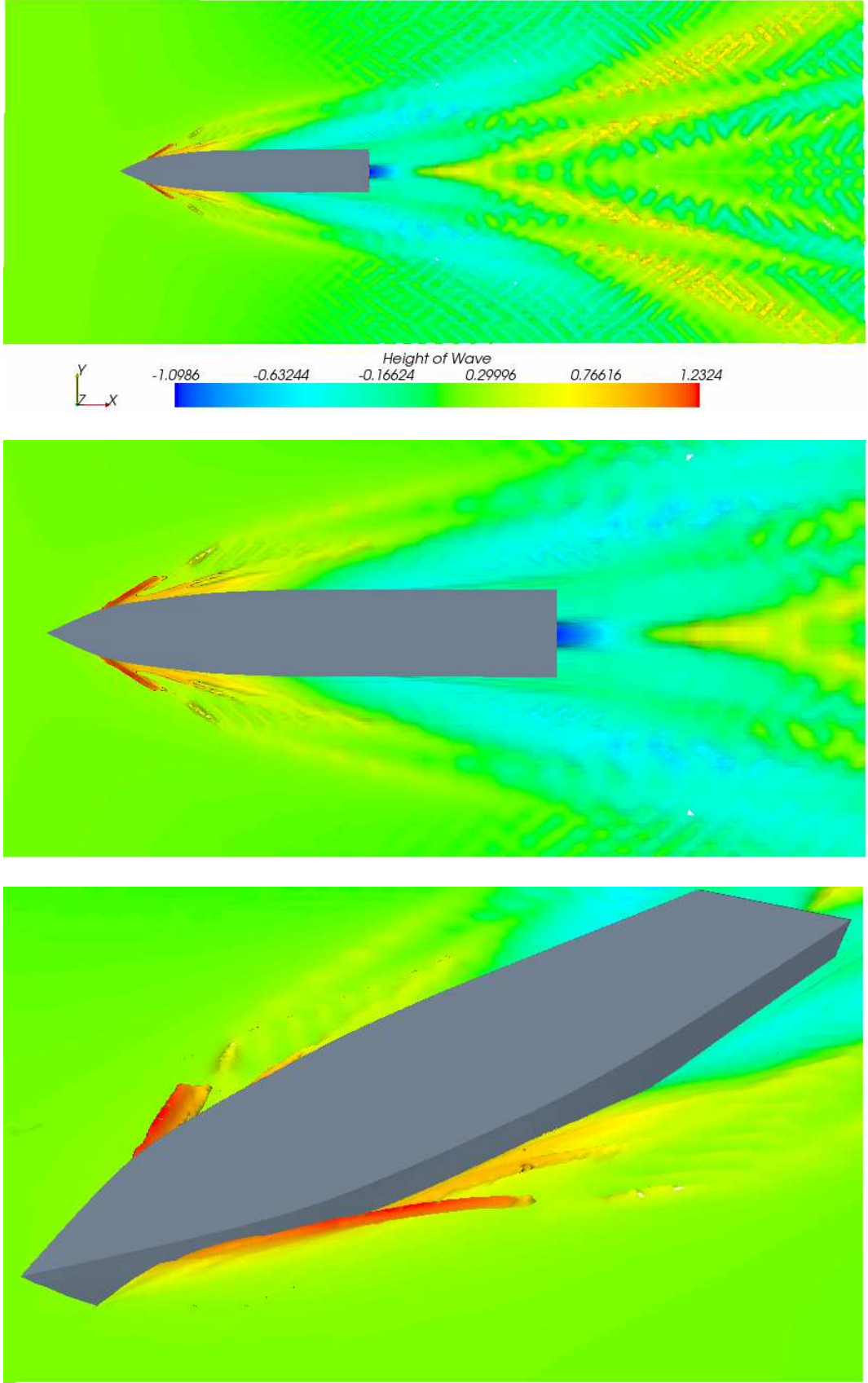
Şekil 4.9 20 knot seyir hızında tekne etrafında oluşan dalgaların başlangıç su hattı seviyesine göre yükseklikleri



Şekil 4.10 25 knot seyir hızında tekne etrafında oluşan dalgaların başlangıç su hattı seviyesine göre yükseklikleri

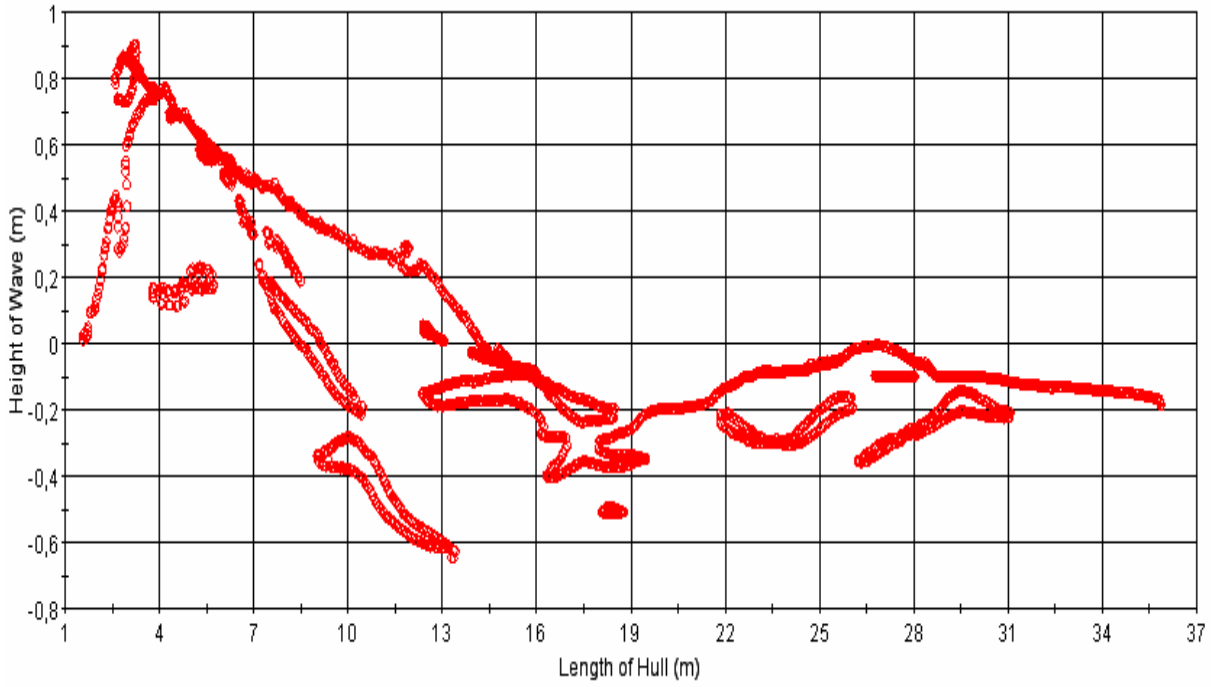


Şekil 4.11 20 knot seyir hızında tekne etrafında oluşan dalgaların başlangıç su hattı seviyesine göre yükseklikleri (farklı açılardan)

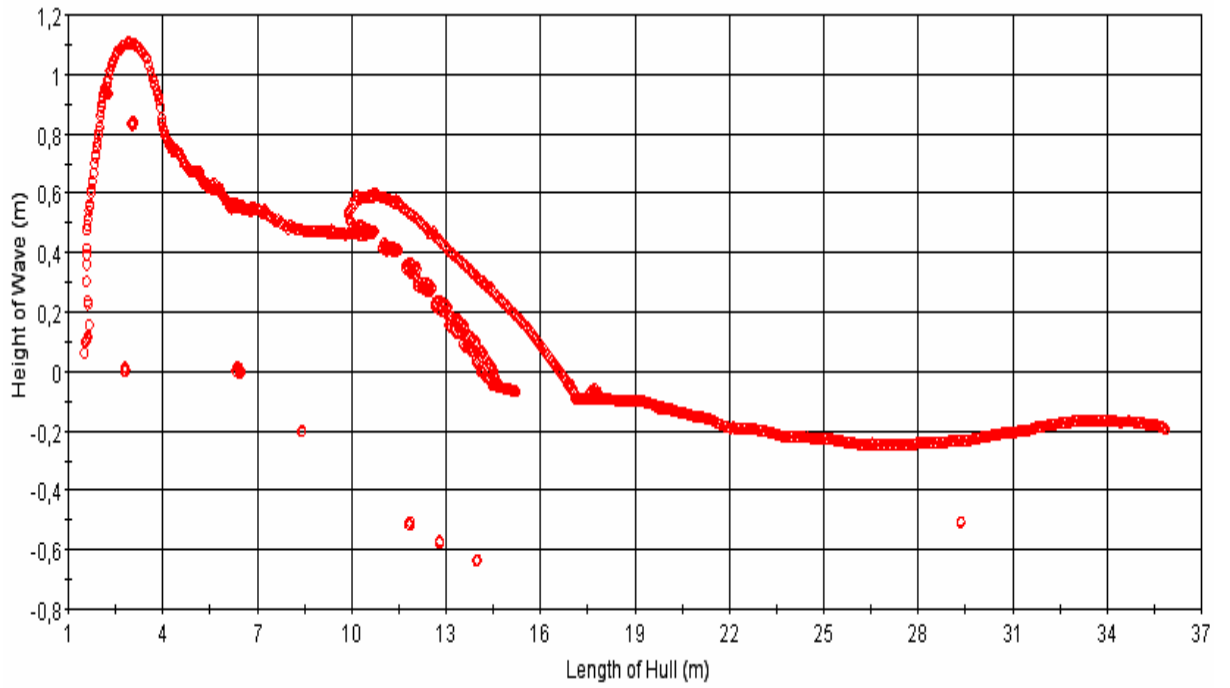


Şekil 4.12 25 knot seyir hızında tekne etrafında oluşan dalgaların başlangıç su hattı seviyesine göre yükseklikleri (farklı açılardan)

Tekne yüzeyi üzerinde dalga yüksekliklerinin tekne boyunca değişimi 20 knot ve 25 knot seyir hızları için Şekil 4.15 ve Şekil 4.16’da grafiksel olarak gösterilmiştir.



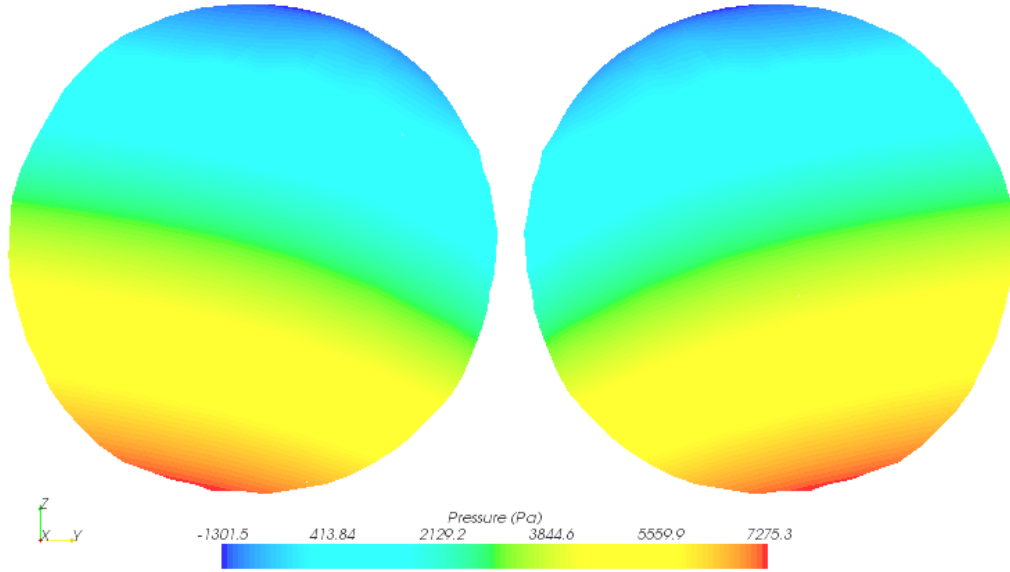
Şekil 4.13 20 knot seyir hızında tekne yüzeyi üzerinde oluşan dalga yüksekliklerinin tekne boyunca değişimi



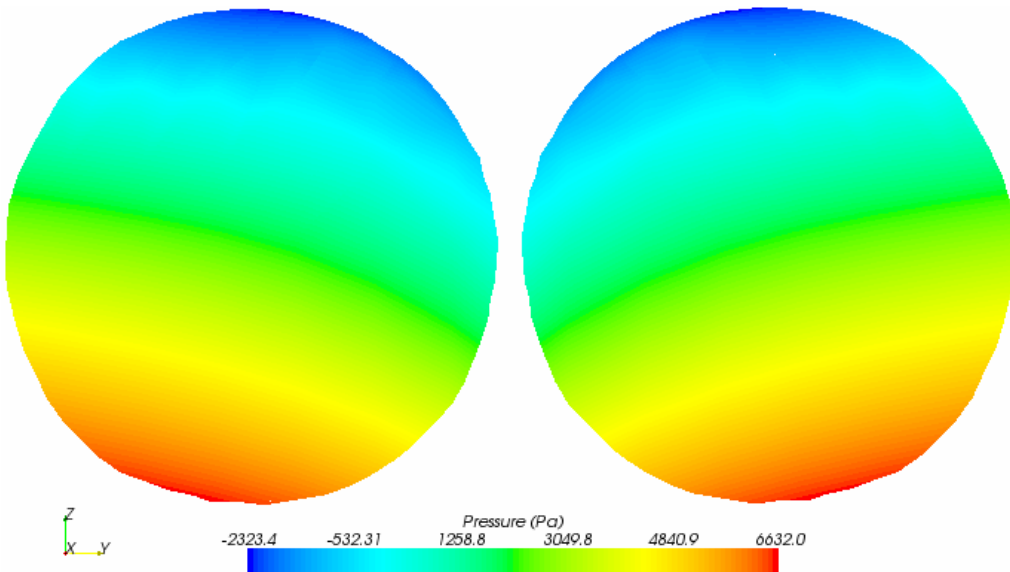
Şekil 4.14 25 knot seyir hızında tekne yüzeyi üzerinde oluşan dalga yüksekliklerinin tekne boyunca değişimi

4.4 HAD Analizleri Sonucunda Pervane Düzleminde Elde Edilen Basınç ve Hız Dağılımı

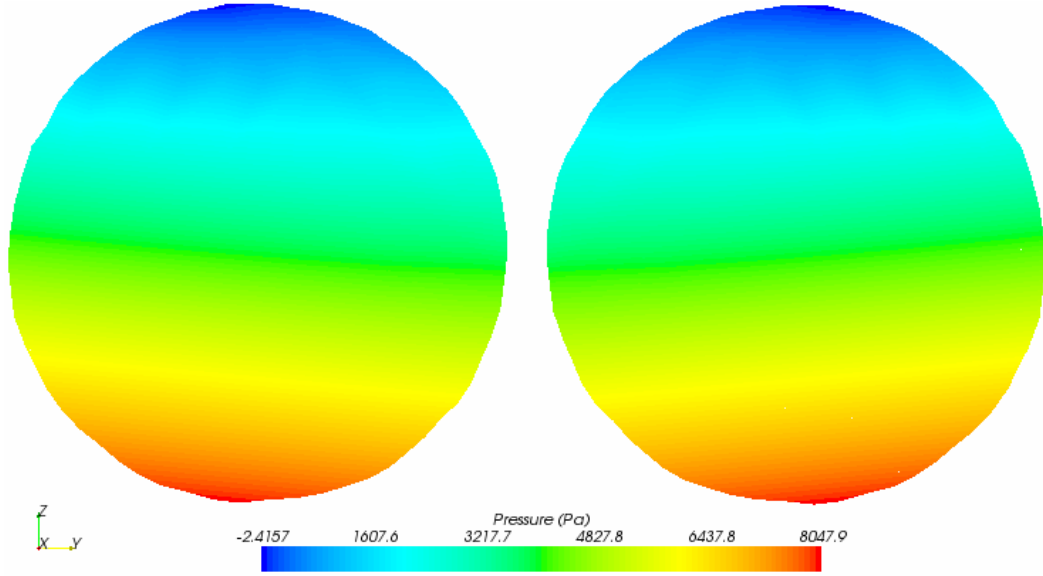
Pervane düzleminde akış dolayısıyla oluşan basınç dağılımı pervane tasarımı açısından önemlidir. Bu çalışmada da analiz sonuçları sonrasında, iki farklı pervane düzlemi için düzlemlerdeki basınç dağılımları incelenmiştir. Şekil 4.15, Şekil 4.16, Şekil 4.17 ve Şekil 4.18’de 20 knot ve 25 knot seyir hızları için düşünülen pervane düzlemlerindeki basınç dağılımları gösterilmiştir.



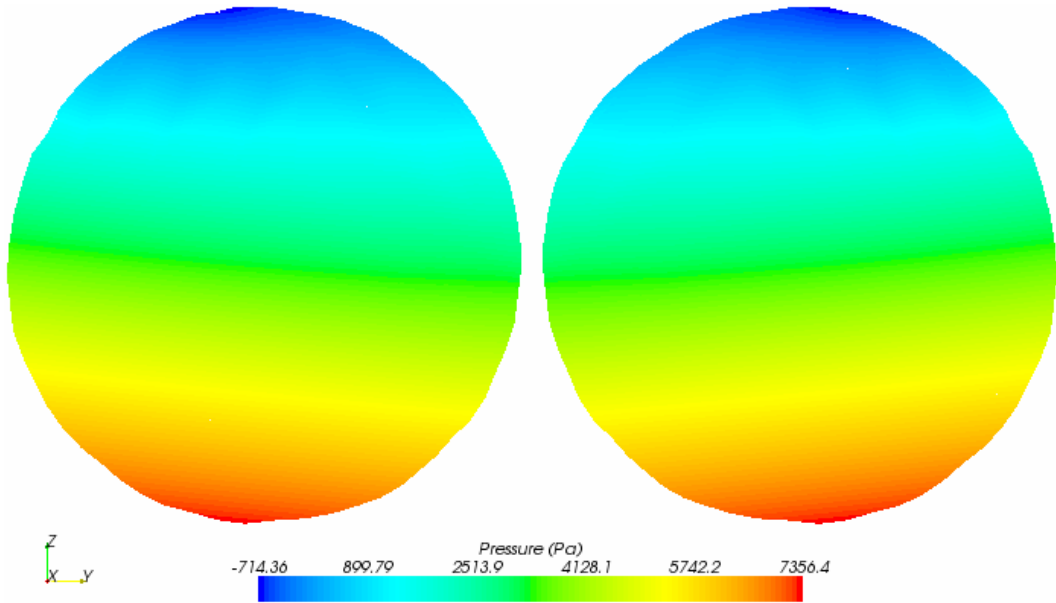
Şekil 4.15 20 knot seyir hızında $X/L = 1$ ’de düşünülen pervane düzlemi için iskele ve sancak taraflarında elde edilen basınç dağılımı



Şekil 4.16 25 knot seyir hızında $X/L = 1$ ’de düşünülen pervane düzlemi için iskele ve sancak taraflarında elde edilen basınç dağılımı



Şekil 4.17 20 knot seyir hızında $X/L \approx 0.975$ 'de düşünülen pervane düzlemi için iskele ve sancak taraflarında elde edilen basınç dağılımı

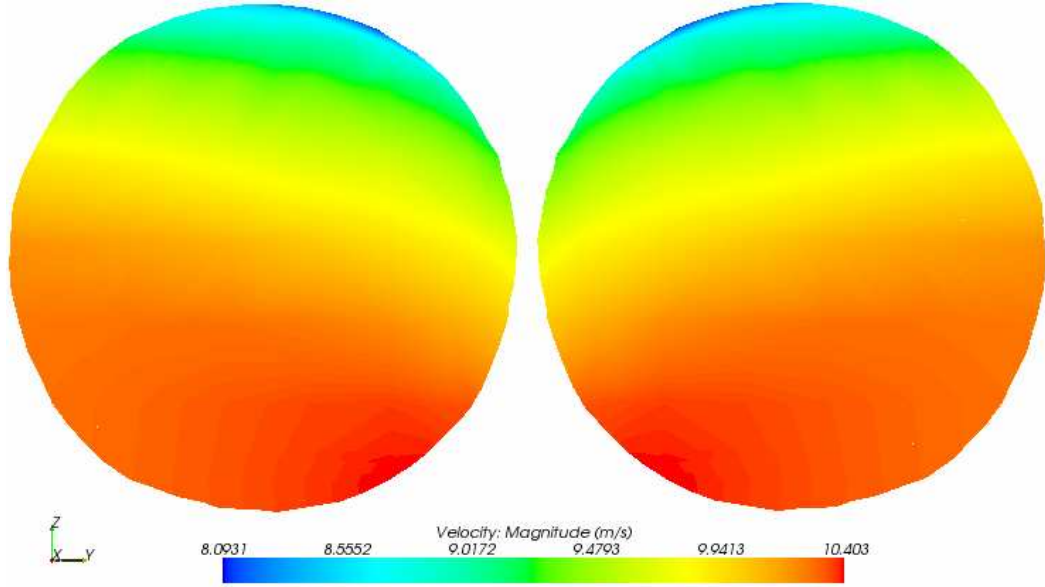


Şekil 4.18 25 knot seyir hızında $X/L \approx 0.975$ 'de düşünülen pervane düzlemi için iskele ve sancak taraflarında elde edilen basınç dağılımı

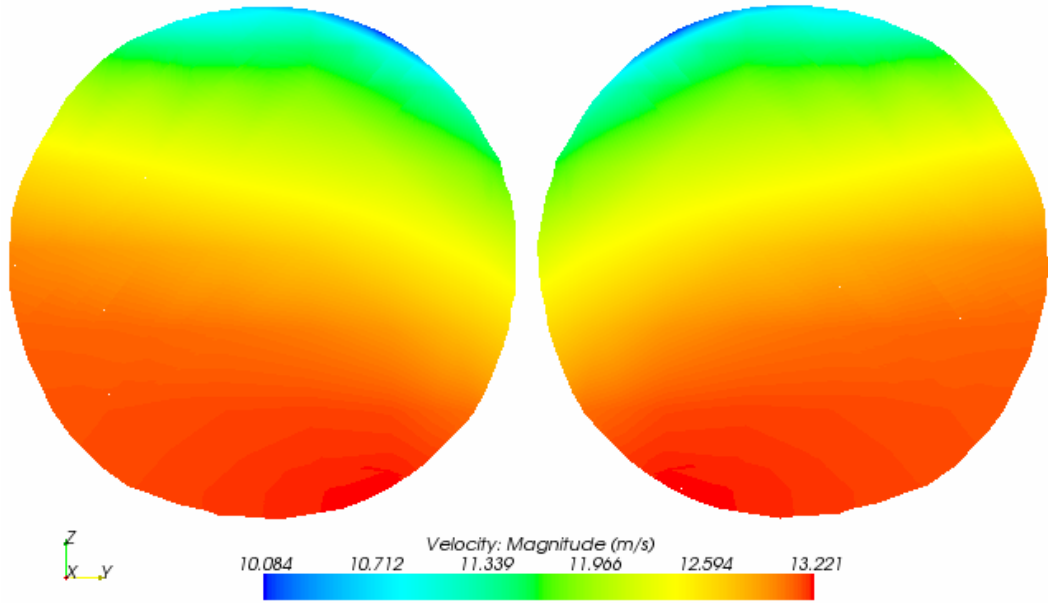
Düşünülen pervane düzlemleri için basınç dağılımları sonuçları incelenirse, çok kısa aralıklarda, basınç değişimlerinin çok farklılık gösterdiği gözlemlenmektedir. Klasik teorilere göre kanat kesitleri üzerindeki basınç değerleri suyun buharlaşma basıncının altına düştüğünde kavitasyon olayı başlamaktadır. Düşünülen pervane düzlemlerinde elde edilen basınç dağılımları incelenerek, kavitasyonun başlayıp başlamayacağına karar verilebilir.

Düşünülen aynı pervane düzlemleri üzerinde basınç dağılımları ile beraber hız dağılımları da

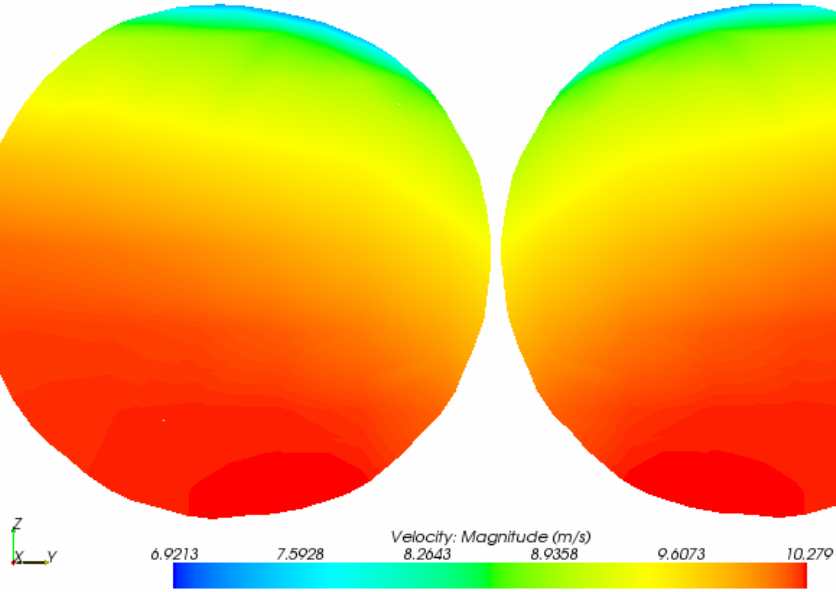
HAD yazılımı ile hesaplanabilmektedir. İz dağılımının niteliği, pervanenin kavitasyon, ses titreşim karakteristiklerini etkileyebildiğine göre, tekne formunun ve özellikle kış formunun optimum iz dağılımını verecek şekilde oluşturulmasına çalışılmalıdır. Veya verimli, etkin pervanelerin dizayn edilebilmesi, olası gürültü ve titreşim problemlerinin ortadan kaldırılabilmesi için tekne kışındaki iz bilinmelidir. Elde edilen hız dağılımları Şekil 4.19, Şekil 4.20, Şekil 4.21 ve Şekil 4.22’de gösterilmektedir.



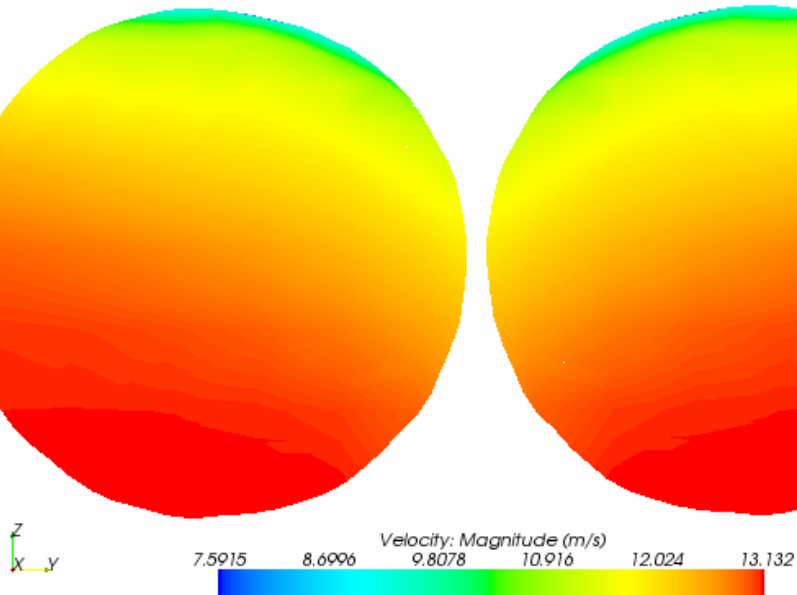
Şekil 4.19 20 knot seyir hızında $X/L = 1$ ’de düşünülen pervane düzlemi için iskele ve sancak taraflarında elde edilen hız dağılımı



Şekil 4.20 25 knot seyir hızında $X/L = 1$ ’de düşünülen pervane düzlemi için iskele ve sancak taraflarında elde edilen hız dağılımı



Şekil 4.21 20 knot seyir hızında $X/L \approx 0.975$ 'de düşünülen pervane düzlemi için iskele ve sancak taraflarında elde edilen hız dağılımı



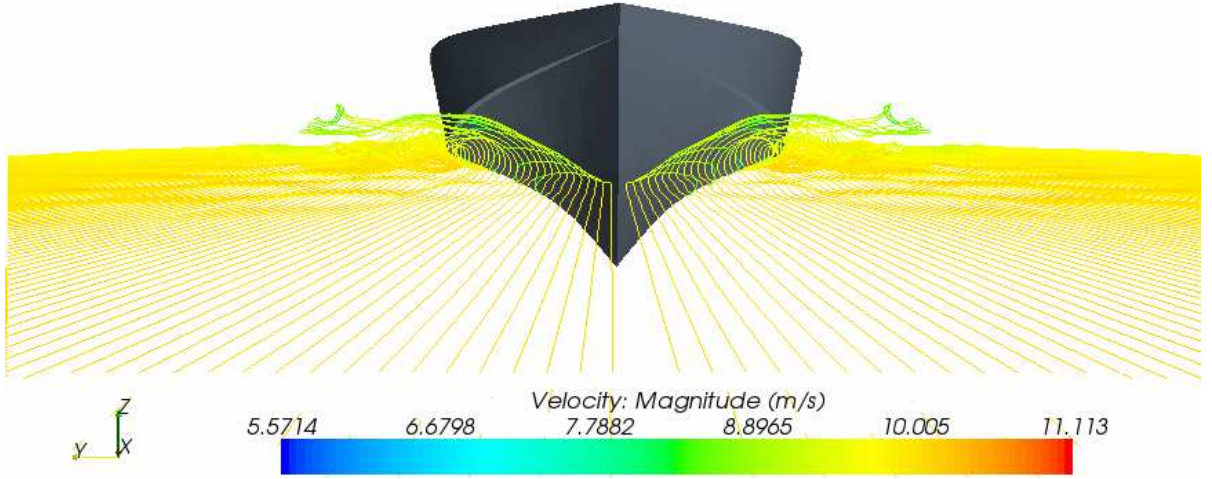
Şekil 4.22 20 knot seyir hızında $X/L \approx 0.975$ 'de düşünülen pervane düzlemi için iskele ve sancak taraflarında elde edilen hız dağılımı

4.5 HAD Analizleri Sonucunda Tekne Etrafında Elde Edilen Akım Çizgileri

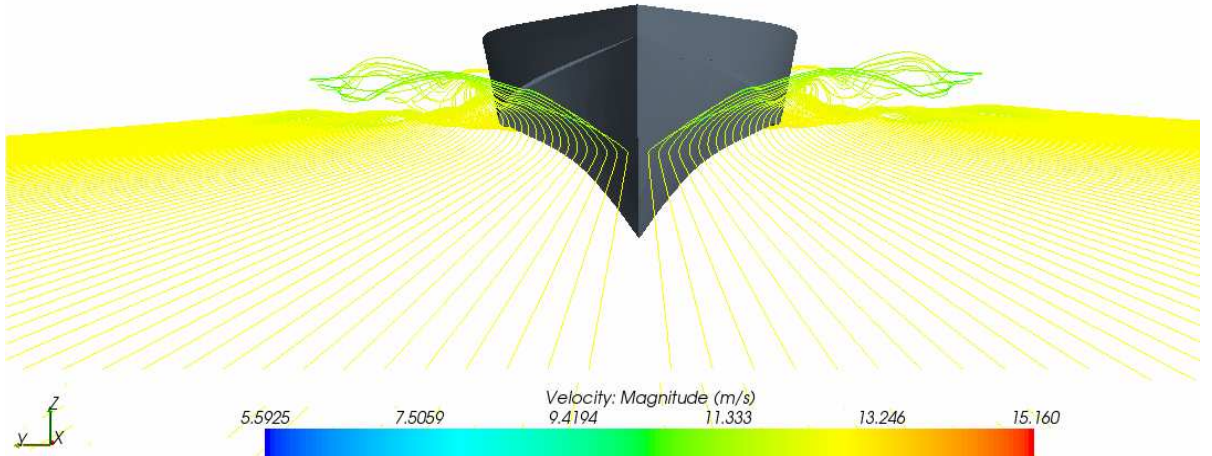
Akım çizgisi her hangi bir anda hız vektörüne teğet olan çizgidir. Akım çizgisi matematiksel olarak hesaplanmaya elverişlidir ve anlık çizgilerdir.

$$\frac{dx}{u} = \frac{dy}{v} = \frac{dz}{w} \quad (4.5)$$

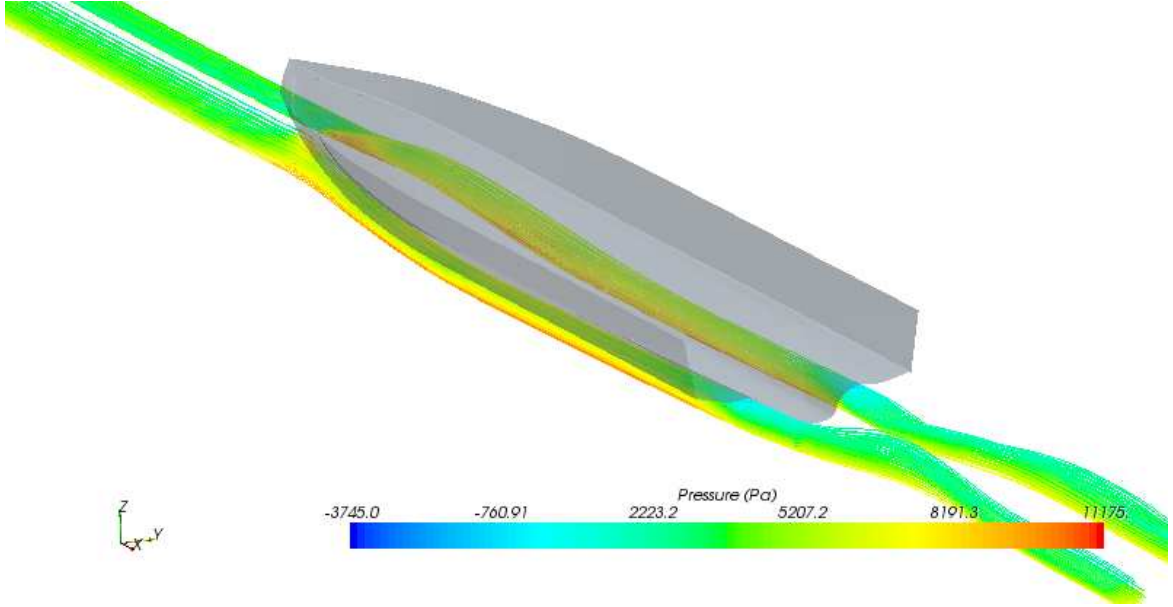
Denklem 4.5 herhangi bir x_0 , y_0 , z_0 , t_0 başlangıç noktasından geçen akım çizgisini bulmak için integre edilebilir. Yöntem daimi akışlar için doğrudan uygulanabilir, fakat daimi olmayan akışlar için oldukça uğraştırıcıdır. STAR-CCM+ yazılımı ile analizler yapıldıktan sonra, belli mevkilerden geçen hız vektörlerinden üretilmiş akım hatları resimleri Şekil 4.23, Şekil 4.24, Şekil 4.25 ve Şekil 4.26'da gösterilmiştir.



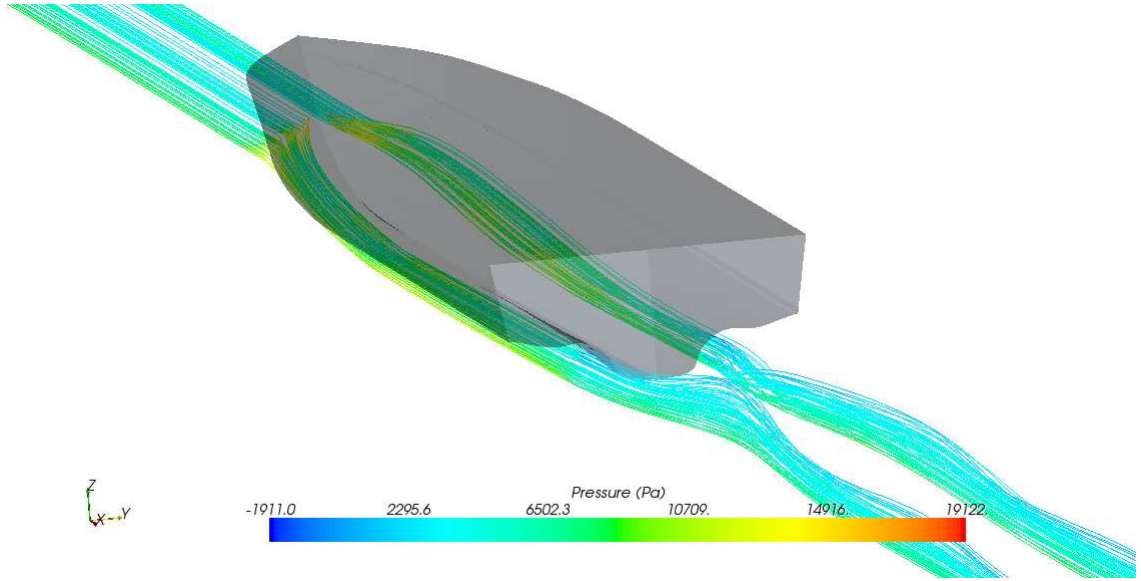
Şekil 4.23 20 knot seyir hızında tekne baş tarafında akım hatlarının dağılımı



Şekil 4.24 25 knot seyir hızında tekne baş tarafında akım hatlarının dağılımı



Şekil 4.25 20 knot seyir hızında tekne pervane ekseninden geçen akım hatları üzerindeki basınç değerleri



Şekil 4.26 25 knot seyir hızında tekne pervane ekseninden geçen akım hatları üzerindeki basınç değerleri

5. ALTERNATİF TEKNE FORMLARI İÇİN HAD ANALİZİ YARDIMI İLE FORM İYİLEŞTİRİLMESİ

Teknenin deplasman hacmi sabit tutularak, L_{WL}/B_{WL} parametresinin değiştirilmesi ile iki yeni tekne gövde modeli tasarlandı. Yeni oluşturulan teknelerin ana boyutları Çizelge 5.1'deki gibidir:

Çizelge 5.1 Değişik L_{WL}/B_{WL} değerleri için tekne ana boyutları

		1. Form	2. Form	3. Form
		$L_{WL}/B_{WL}=6.039$	$L_{WL}/B_{WL}=5.598$	$L_{WL}/B_{WL}=6.662$
Tam boy	L_{OA}	35.88 m	34.55 m	37.69 m
Su hattı boyu	L_{WL}	34.27 m	33 m	36 m
Su hattı genişliği	B_{WL}	5.675 m	5.894 m	5.403 m
Su çekimi	T	1.3 m	1.3 m	1.3 m
Derinlik	D	2.7 m	2.7 m	2.7 m
Deplasman hacmi	∇	94.326 m ³	94.326 m ³	94.326 m ³
Blok katsayısı	C_B	0.373	0.373	0.373

Çizelge 5.1'de ana boyutları gösterilen 1 numaralı tekne ($L_{WL}/B_{WL} = 6.039$) ile ilgili HAD analizlerinden elde edilen sonuçlar daha önceki bölümlerde anlatıldı. Bu teknenin yüzey modeline benzer şekilde, Bölüm 3.3'de anlatıldığı gibi, yeni teknelerin yüzey modelleri ayrı-ayrı, öncelikle Maxsurf yazılımından Abaqus/CAE ortamına, akışkan bölge oluşturulduktan sonra da dönüştürücü kullanımı ile STAR-CCM+ yazılımına aktarılarak HAD modelleri hazır hale getirildi. Yeni tekne modelleri etrafındaki akışın çözülmesi için gerekli olan sayısal ağda, daha önceki modelde kullanılan çözüm ağı eleman boyutları kullanılmıştır. Aynı şekilde tekne üzerinde ve serbest su yüzeyine yakın yerlerde daha sık çözüm ağı kullanılmıştır. $L_{WL}/B_{WL} = 5.598$ olan tekne modelinin HAD analizi için 1.474.816, $L_{WL}/B_{WL} = 6.662$ olan tekne modelinin HAD analizi için 1.509.527 çözüm ağı hacim elemanı kullanılmıştır.

Hazır hale getirilen her iki yeni tekne için, tekne seyir hızı 25 knot olarak düşünülerek HAD analizleri yapıldı.

Daha önceki bölümde anlatılan tekne modeli için kullanılan fiziksel modeller, sınır koşulları, başlangıç koşulları, aynen bu tekneler etrafındaki akışın analizi için de kullanılmıştır.

5.1 HAD Yöntemi Kullanılarak $L_{WL}/B_{WL} = 5.598$ ve $L_{WL}/B_{WL} = 6.662$ Olan Teknelerin 25 Knot Seyir Hızında Toplam Dirençlerinin Bulunması

Daha önceki tekne modelinin HAD analizine benzer şekilde, L_{WL}/B_{WL} parametresi değiştirilmiş tekneler için de 20 saniyelik gerçek çözüm süresi için toplam direnç değerlerinin yakınsadığı görülmüş ve çözümler durdurulmuştur.

Her iki teknenin sakin denizde 25 knot seyir hızında hareket ettiği düşünülmüş ve toplam direnç ve bileşenleri hesaplanmıştır. Başlangıç koşulları, genel sınır koşulları, türbülans modeli daha önceki tekne modeline benzer kabul edilmiştir.

Söz konusu seyir hızlarında tekne üzerine etki eden direnç değerleri HAD yazılımında yarı model için elde edilmiş ve modelin simetrik olduğu düşünülerek, toplam direnç değerleri hesaplanmıştır.

HAD analizleri çözüm sonucunda her iki tekne için elde edilen toplam direnç ve direnç bileşenleri değerleri Çizelge 5.2’de gösterildiği gibidir.

Çizelge 5.2 25 knot seyir hızıyla hareket eden, $L_{WL}/B_{WL} = 6.039$, $L_{WL}/B_{WL} = 5.598$ ve $L_{WL}/B_{WL} = 6.662$ olan teknelere etki eden toplam direnç kuvveti ve bileşenleri

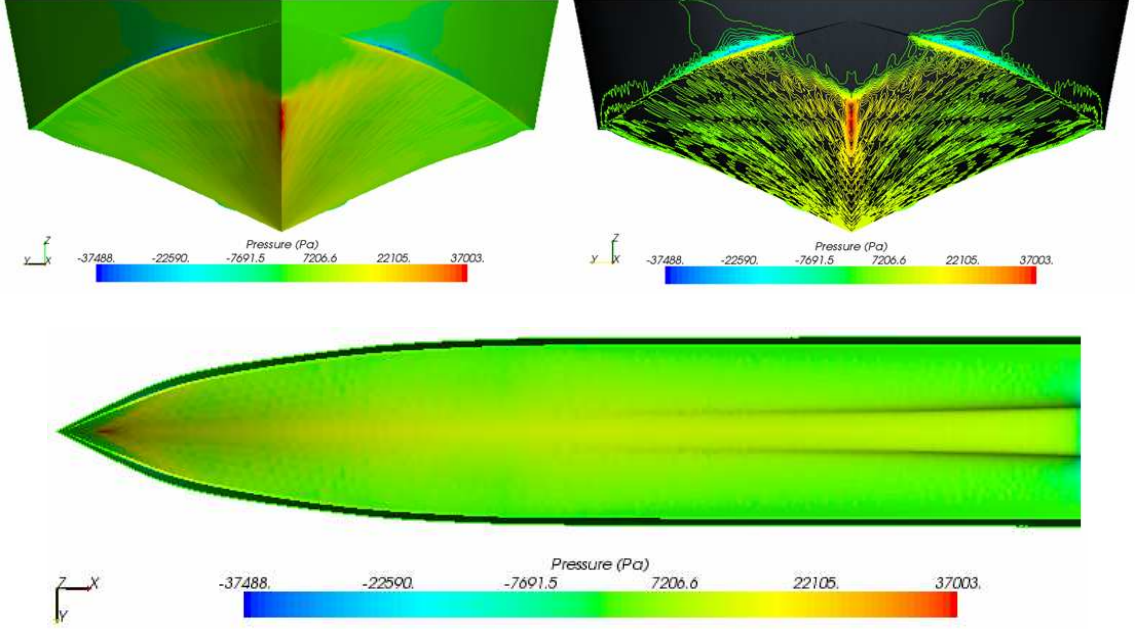
	L_{WL}/B_{WL}	Sürtünme Direnci (N)	Basınç Direnç (N)	Toplam Direnç (N)
1. Form	6.039	28627.22	47010.46	75637.68
2. Form	5.598	29033.66	52118.94	81152.6
3. Form	6.662	28803.08	42345.62	71148.7

Beklendiği gibi, L_{WL}/B_{WL} parametresinin artması ile, tekne formunun daha da narinleşmesi ile direnç değeri düşmektedir.

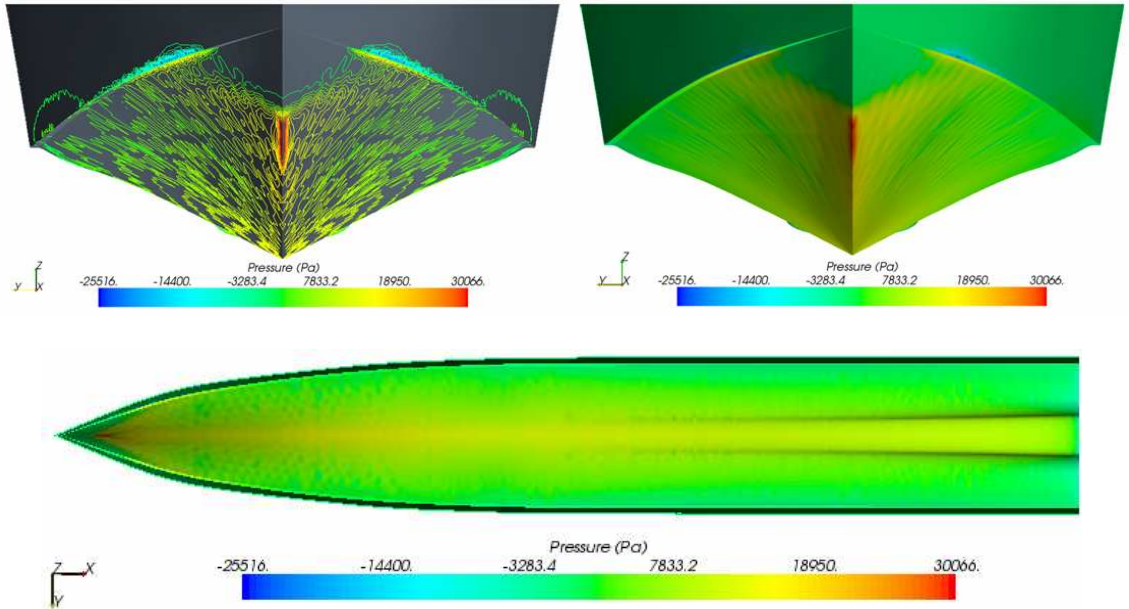
5.2 HAD Analizleri Sonucunda Elde Edilen Basınç Dağılımı

HAD yöntemlerini diğer yöntemlerden üstün kılan, daha da kullanışlı hale getiren özelliklerinden biri de, istenilen nokta için hesap yapılabilmesidir. Hem deneylerde, hem analitik hesaplamalarda, hem de diğer yöntemlerde bunca ayrıntılı bilginin elde edilmesi

olanaksızdır. Toplam direnç değerleri dışında, tekne üzerinde ve akışkan bölgenin diğer kısımlarında basınç değerleri kolay bir şekilde hesaplanabilmektedir. Şekil 5.1 ve Şekil 5.2’de 25 knot seyir hızında hareket eden , $L_{WL}/B_{WL} = 5.598$ ve , $L_{WL}/B_{WL} = 6.662$ olan tekneler üzerinde elde edilen basınç dağılımları gösterilmiştir.



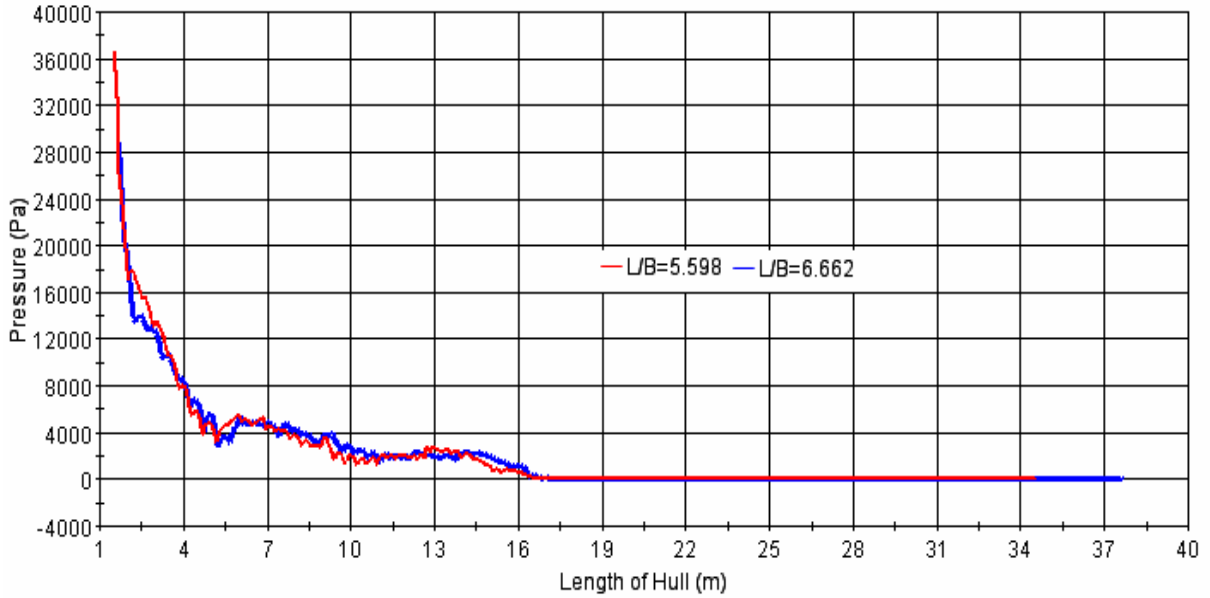
Şekil 5.1 25 knot seyir hızı ile hareket eden, $L_{WL}/B_{WL} = 5.598$ olan tekne üzerinde elde edilen basınç dağılımı



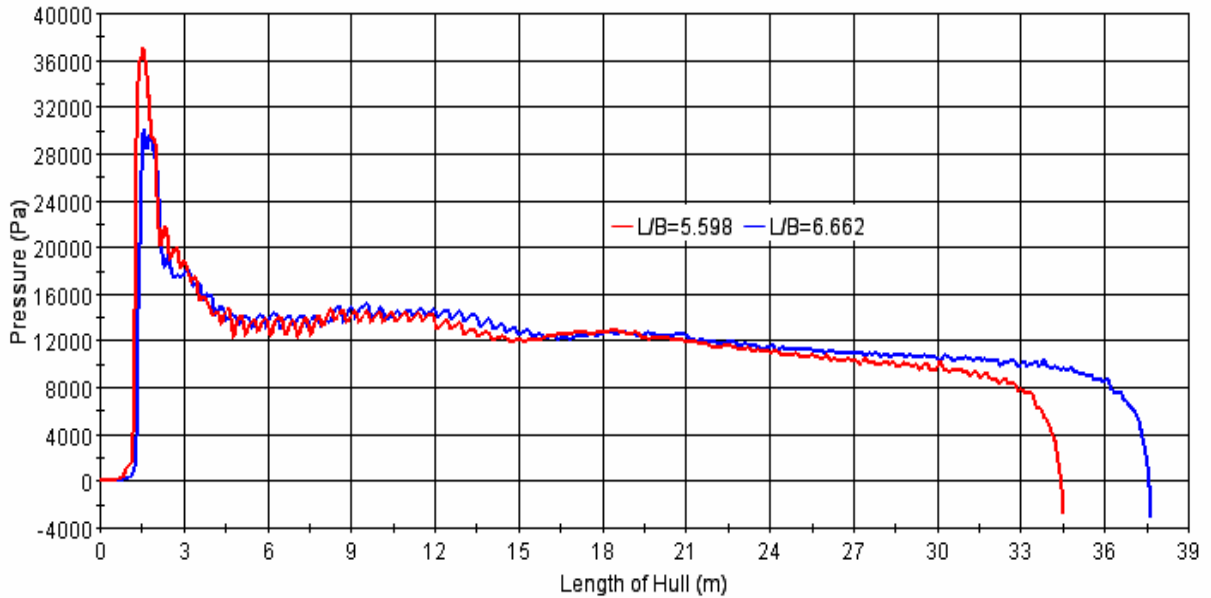
Şekil 5.2 25 knot seyir hızı ile hareket eden, $L_{WL}/B_{WL} = 6.662$ olan tekne üzerinde elde edilen basınç dağılımı

Resimlerde gösterilen basınç, mutlak basınç değil gösterge basınç dağılımıdır.

Bu tekneler için yüklü su hattı seviyesinde ve orta simetri düzleminin tekne yüzeyi ile kesiştiği çizgideki basınç değerlerinin tekne boyuna göre dağılımları her bir tekne için Şekil 5.3 ve Şekil 5.4’de verilmiştir.



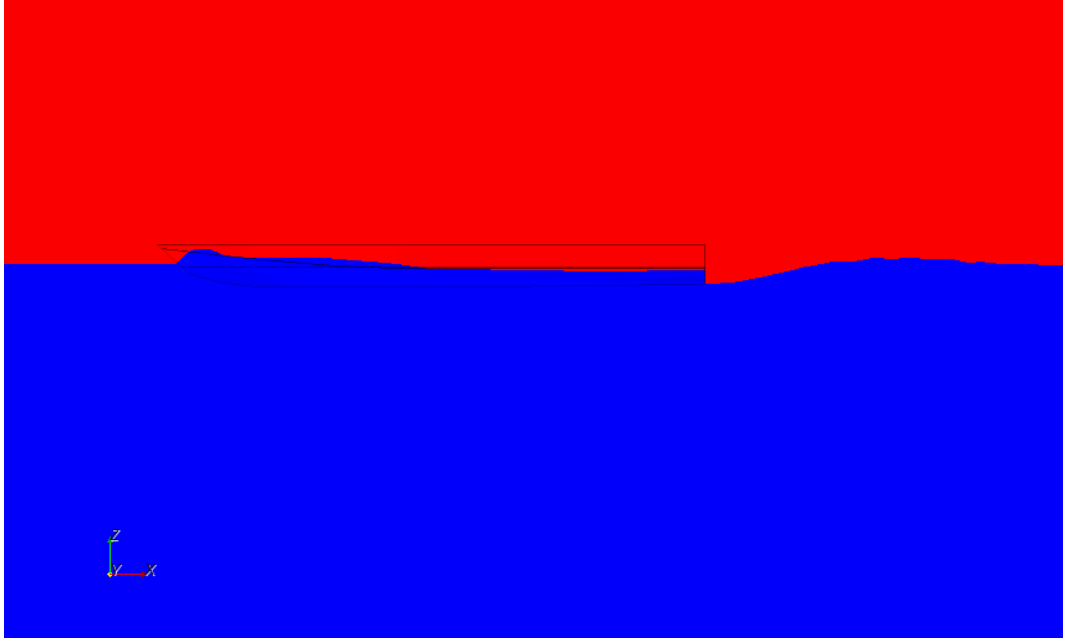
Şekil 5.3 25 knot seyir hızında, $L_{WL}/B_{WL} = 5.598$ ve $L_{WL}/B_{WL} = 6.662$ olan teknelerin su hattı ($T=1.3$ m) seviyesinde ölçülen basınç değerlerinin tekne boyuna göre dağılımı



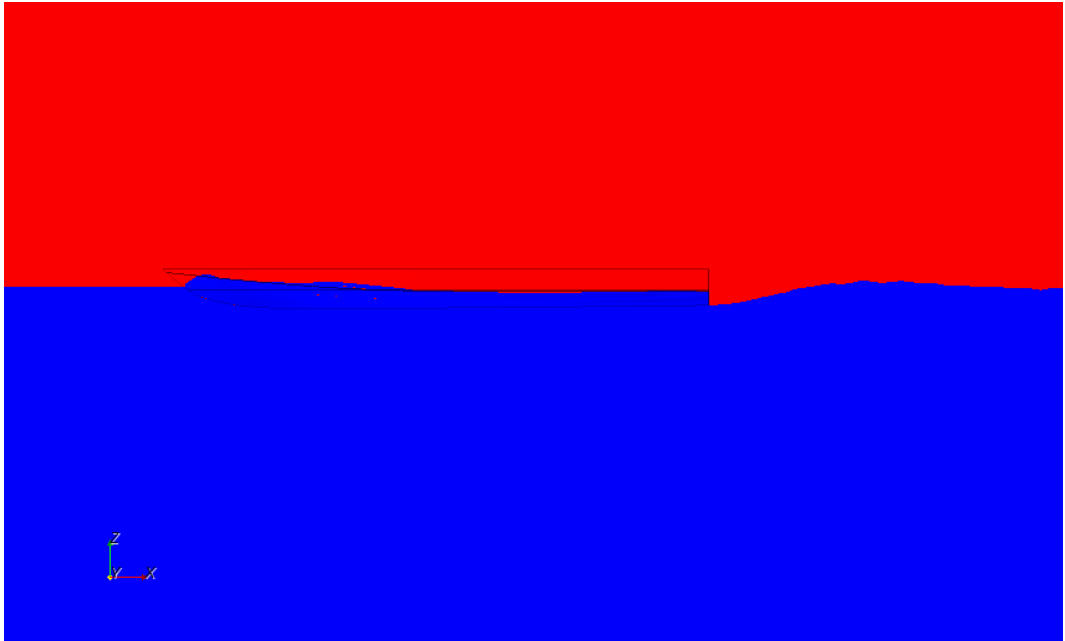
Şekil 5.4 25 knot seyir hızında, $L_{WL}/B_{WL} = 5.598$ ve $L_{WL}/B_{WL} = 6.662$ olan teknelerin orta simetri düzlemi ile tekne yüzeyinin kesiştiği çizgide ölçülen basınç değerlerinin tekne boyuna göre dağılımı

5.3 HAD Analizleri Sonucunda Elde Edilen Dalga Deformasyonları

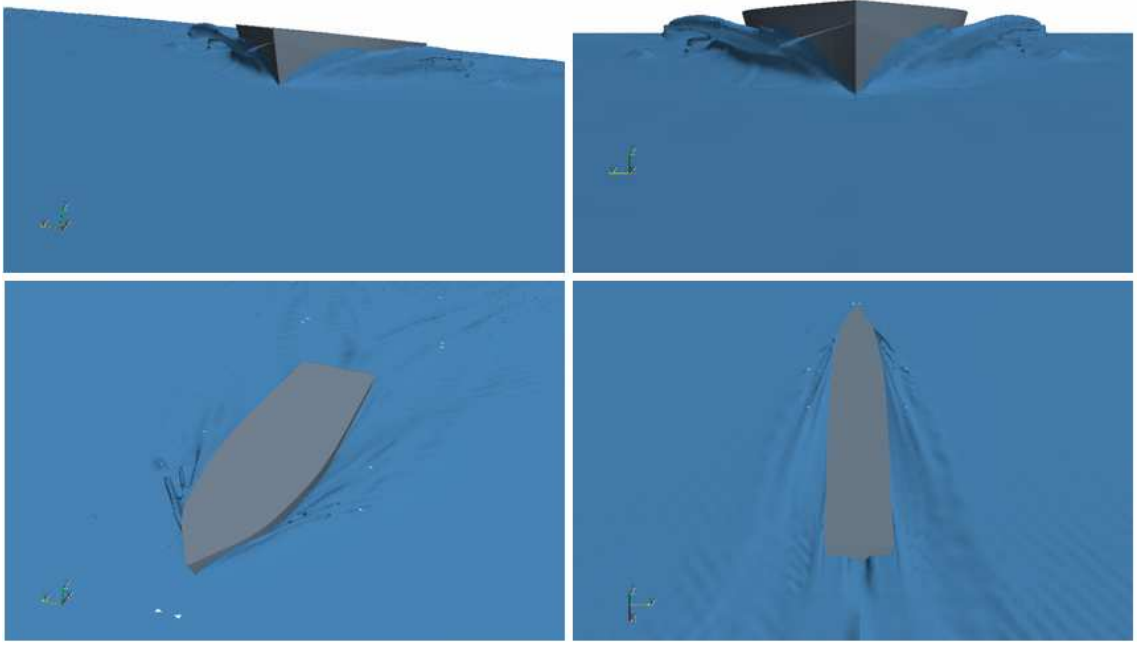
STAR-CCM+ yazılımı yardımı ile $L_{WL}/B_{WL} = 5.598$ ve $L_{WL}/B_{WL} = 6.662$ olan tekneler için elde edilen dalga deformasyonları Şekil 5.5, Şekil 5.6, Şekil 5.7 ve Şekil 5.8’de gösterilmiştir.



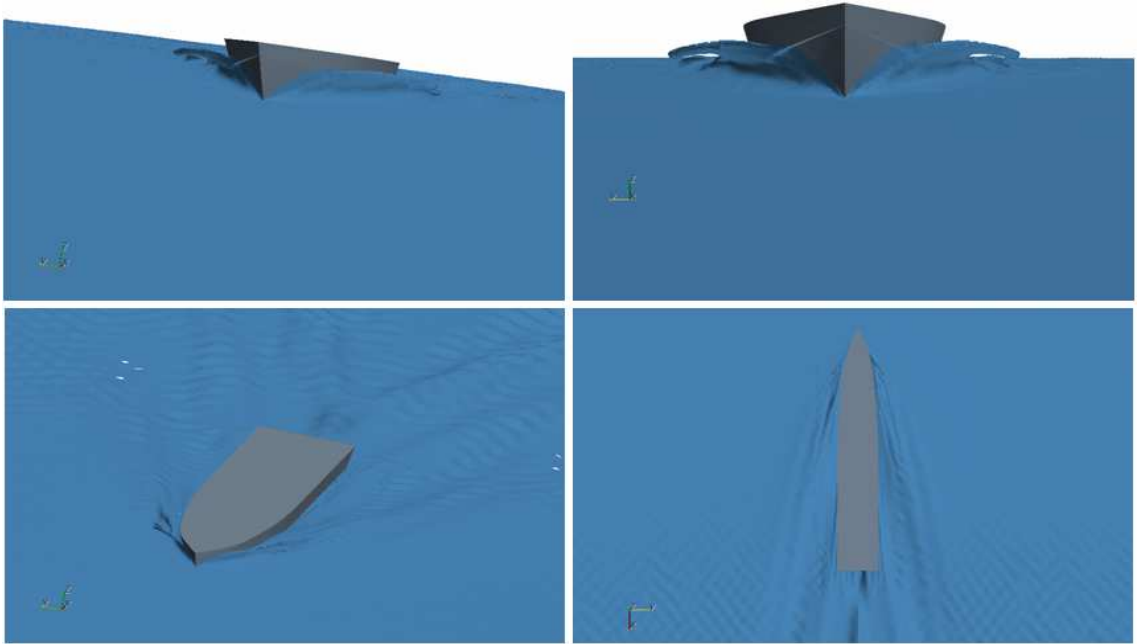
Şekil 5.5 25 knot seyir hızında, $L_{WL}/B_{WL} = 5.598$ olan tekne modeli için, simetri düzlemi ve tekne yüzeyi üzerinde elde edilen dalga deformasyonu



Şekil 5.6 25 knot seyir hızında, $L_{WL}/B_{WL} = 6.662$ olan tekne modeli için, simetri düzlemi ve tekne yüzeyi üzerinde elde edilen dalga deformasyonu

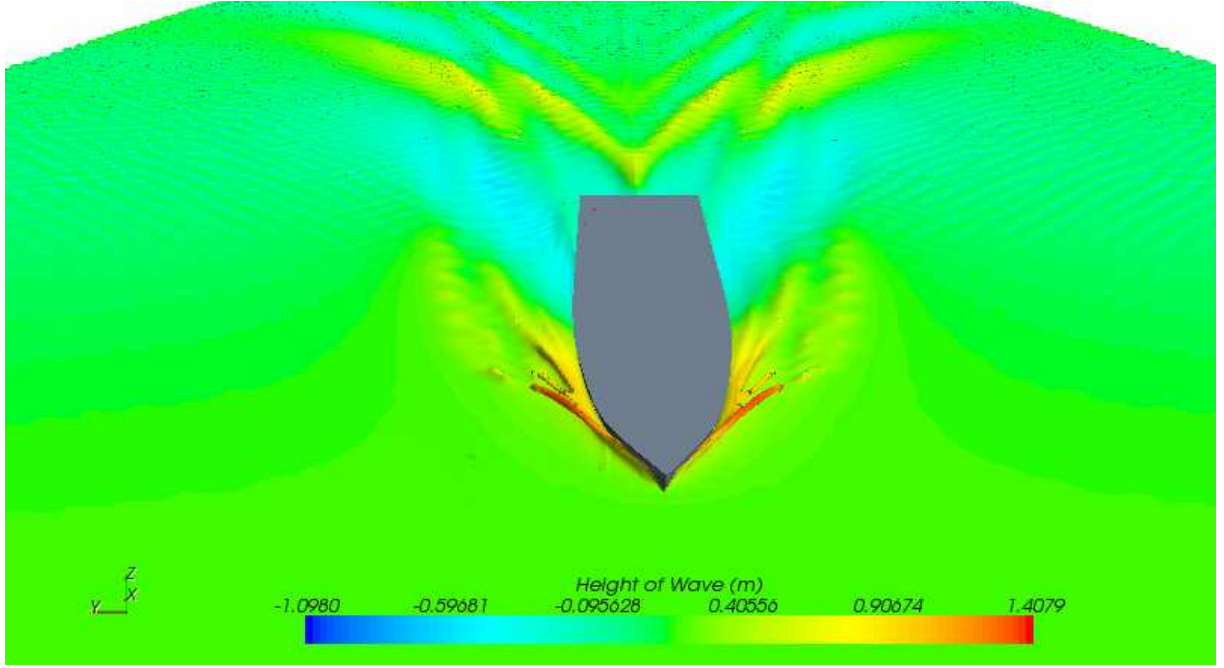


Şekil 5.7 25 knot seyir hızında, $L_{WL}/B_{WL} = 5.598$ olan tekne etrafında oluşan dalga deformasyonları

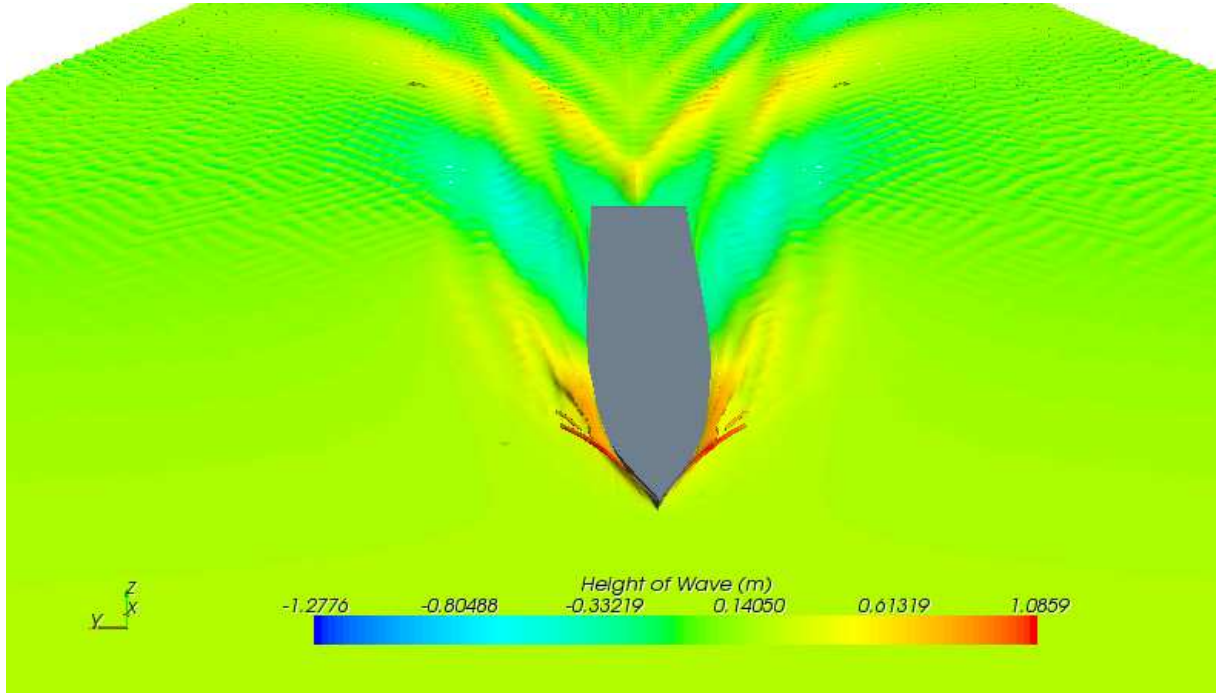


Şekil 5.8 25 knot seyir hızında, $L_{WL}/B_{WL} = 6.662$ olan tekne etrafında oluşan dalga deformasyonları

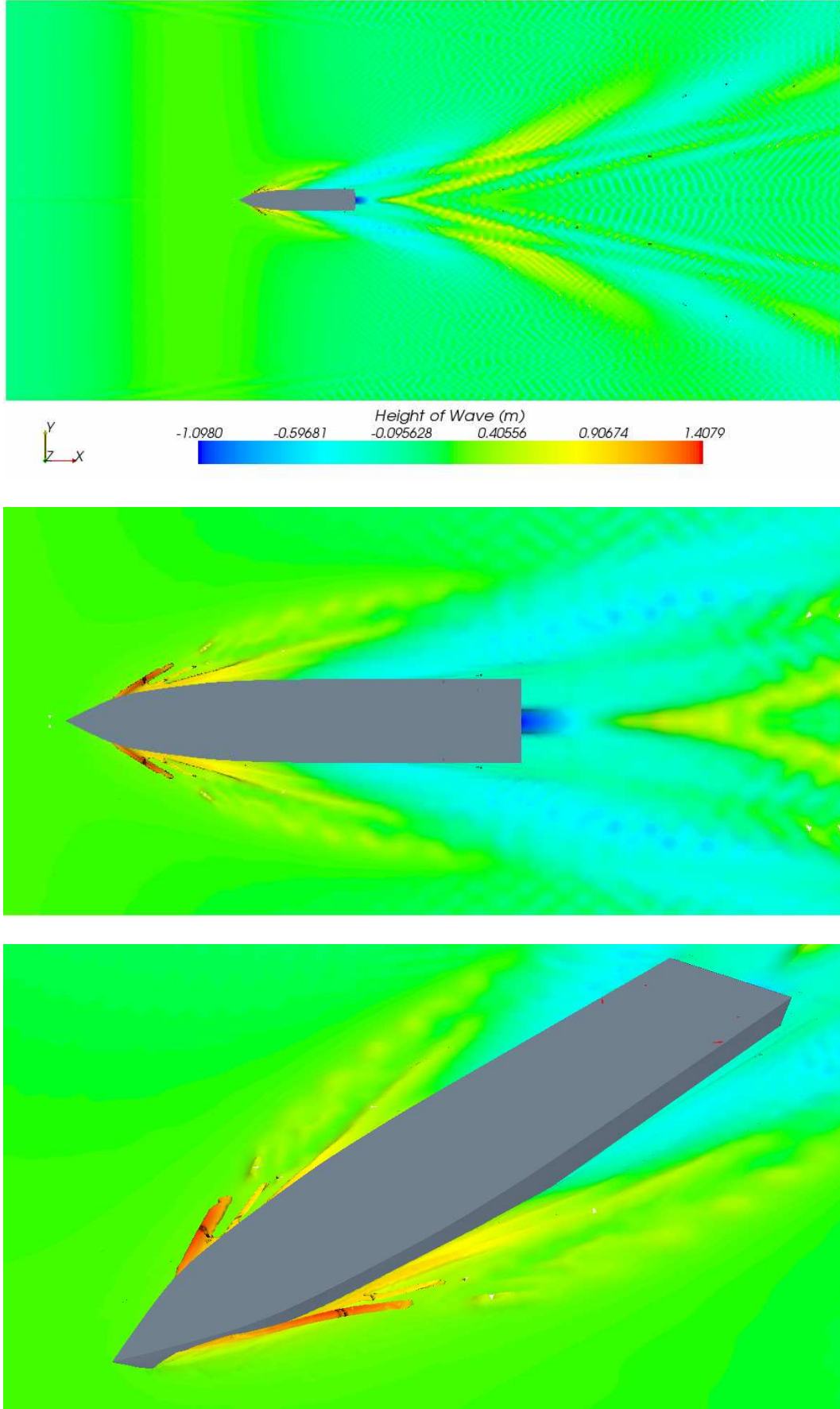
25 knot seyir hızında $L_{WL}/B_{WL} = 5.598$ ve $L_{WL}/B_{WL} = 6.662$ olan tekneler etrafında oluşan dalga yükseklikleri STAR-CCM+ yazılımında hesaplanabilmektedir. Oluşan bu dalgaların yükseklikleri Şekil 5.9, Şekil 5.10, Şekil 5.11 ve Şekil 5.12’de gösterilmiştir. Dalga yükseklikleri sakin su hattı baz alınarak hesaplanmıştır.



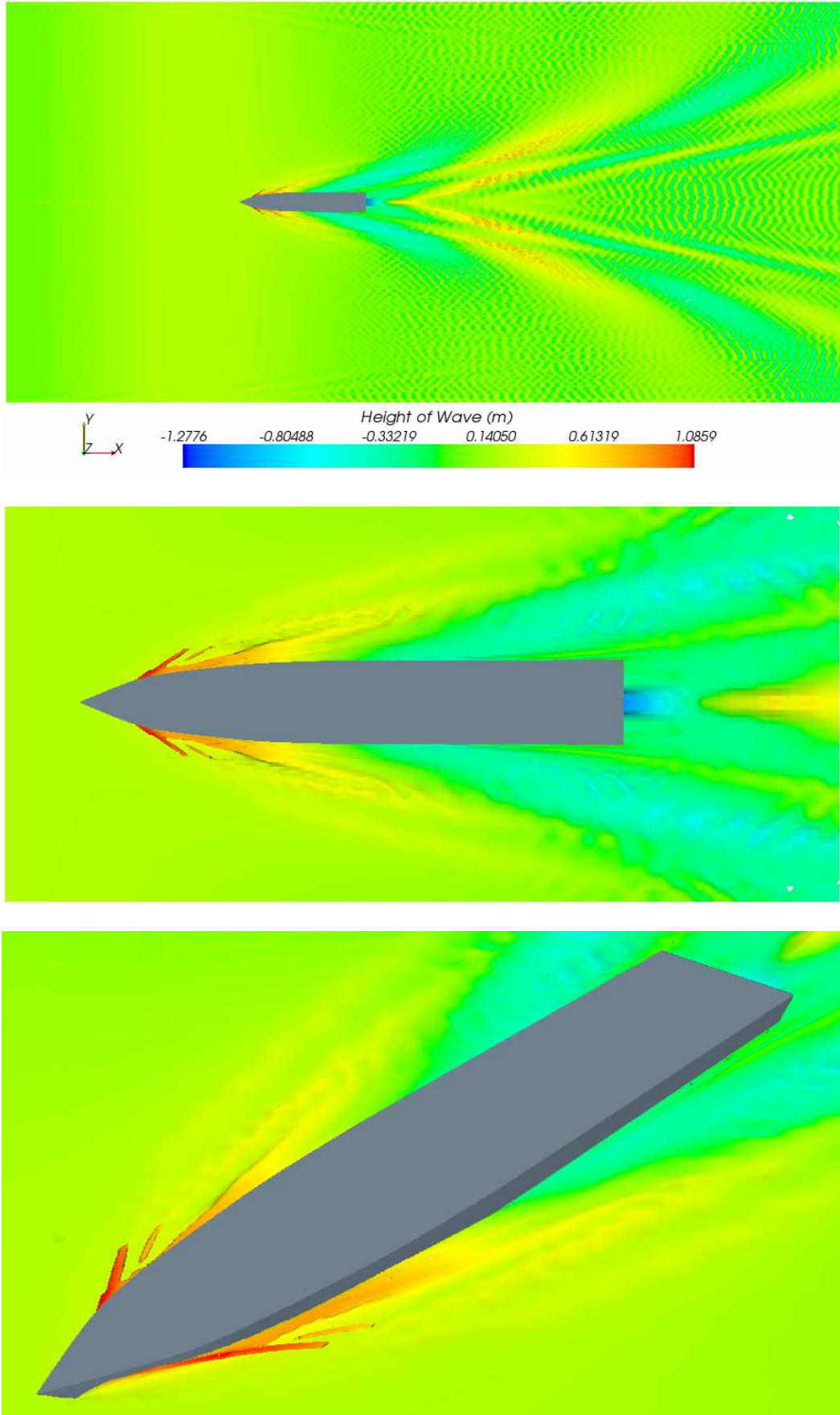
Şekil 5.9 25 knot seyir hızında $L_{WL}/B_{WL} = 5.598$ olan tekne etrafında oluşan dalgaların başlangıç su hattı seviyesine göre yükseklikleri



Şekil 5.10 25 knot seyir hızında $L_{WL}/B_{WL} = 6.662$ olan tekne etrafında oluşan dalgaların başlangıç su hattı seviyesine göre yükseklikleri

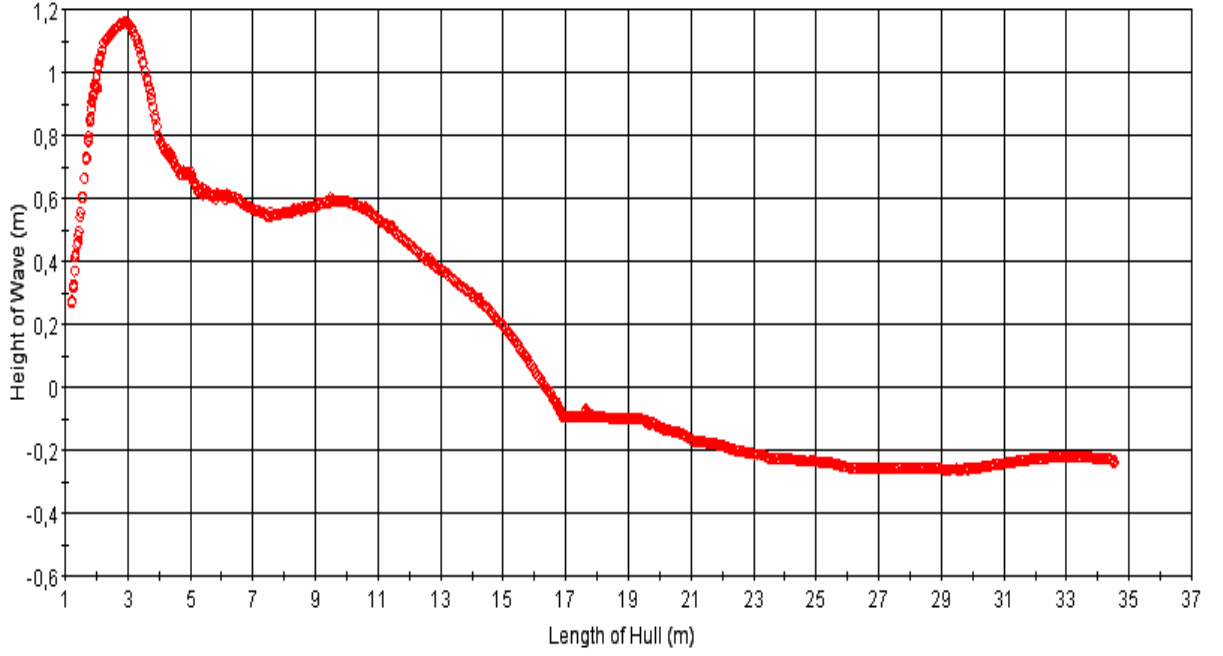


Şekil 5.11 25 knot seyir hızında $L_{WL}/B_{WL} = 5.598$ olan tekne etrafında oluşan dalgaların başlangıç su hattı seviyesine göre yükseklikleri (farklı açılardan)

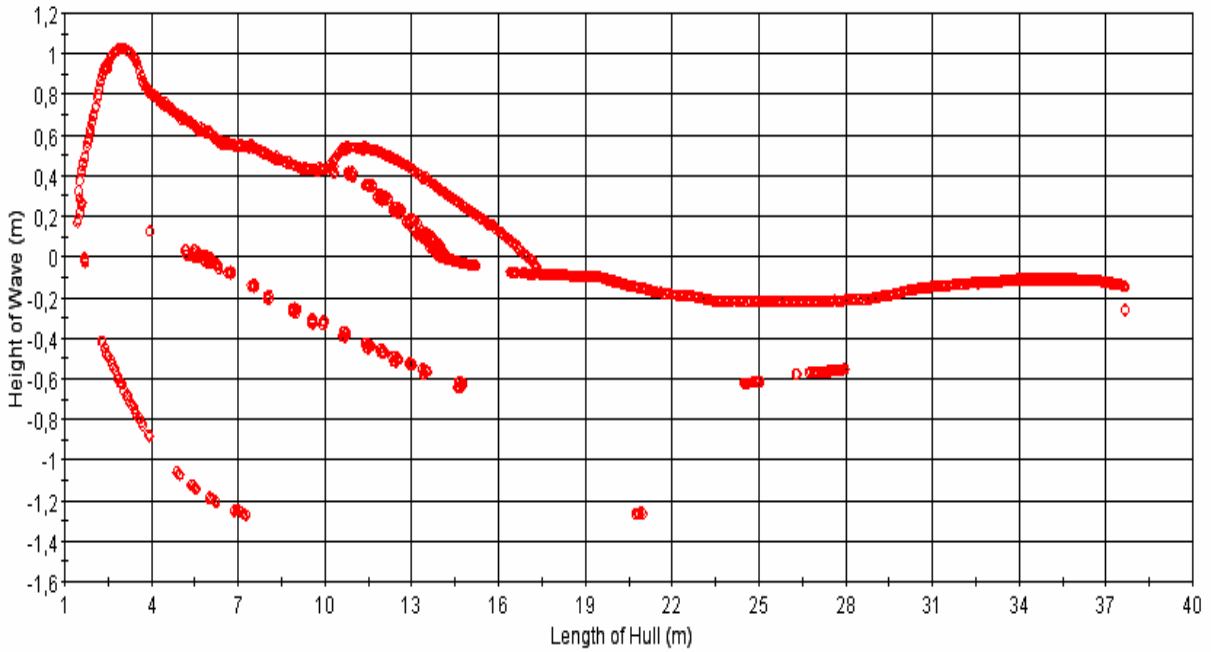


Şekil 5.12 25 knot seyir hızında $L_{WL}/B_{WL} = 6.662$ olan tekne etrafında oluşan dalgaların başlangıç su hattı seviyesine göre yükseklikleri (farklı açılardan)

25 knot seyir hızında, $L_{WL}/B_{WL} = 5.598$ ve $L_{WL}/B_{WL} = 6.662$ olan teknelerin yüzeyleri üzerinde dalga yüksekliklerinin tekne boyunca değişimleri Şekil 5.13 ve Şekil 5.14’de grafiksel olarak gösterilmiştir.



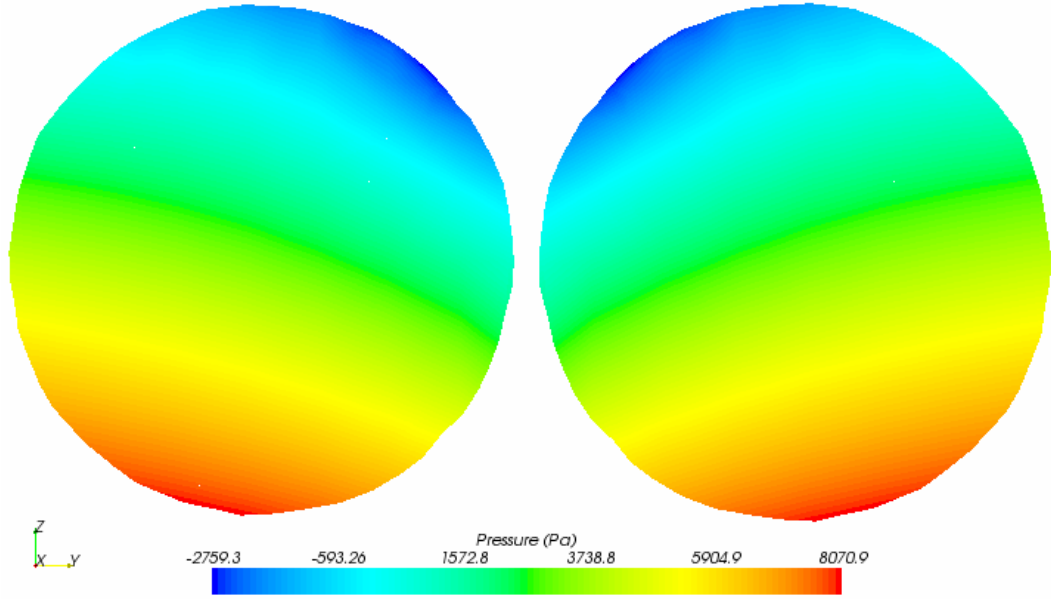
Şekil 5.13 25 knot seyir hızında, $L_{WL}/B_{WL} = 5.598$ olan tekne yüzeyi üzerinde oluşan dalga yüksekliklerinin tekne boyunca değişimi



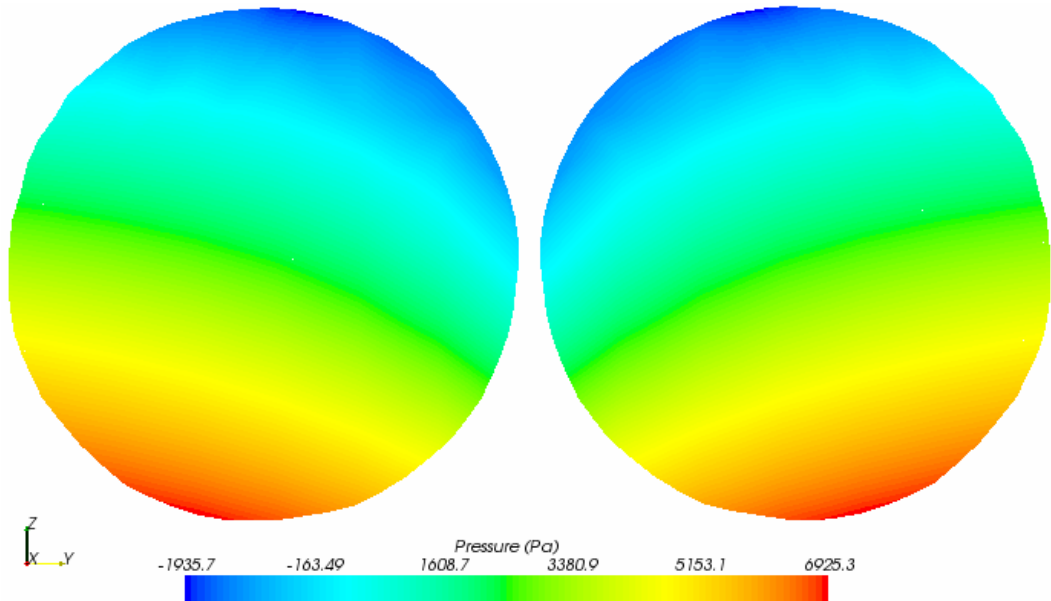
Şekil 5.14 25 knot seyir hızında, $L_{WL}/B_{WL} = 6.662$ olan tekne yüzeyi üzerinde oluşan dalga yüksekliklerinin tekne boyunca değişimi

5.4 HAD Analizleri Sonucunda Pervane Düzleminde Elde Edilen Basınç Dağılımı

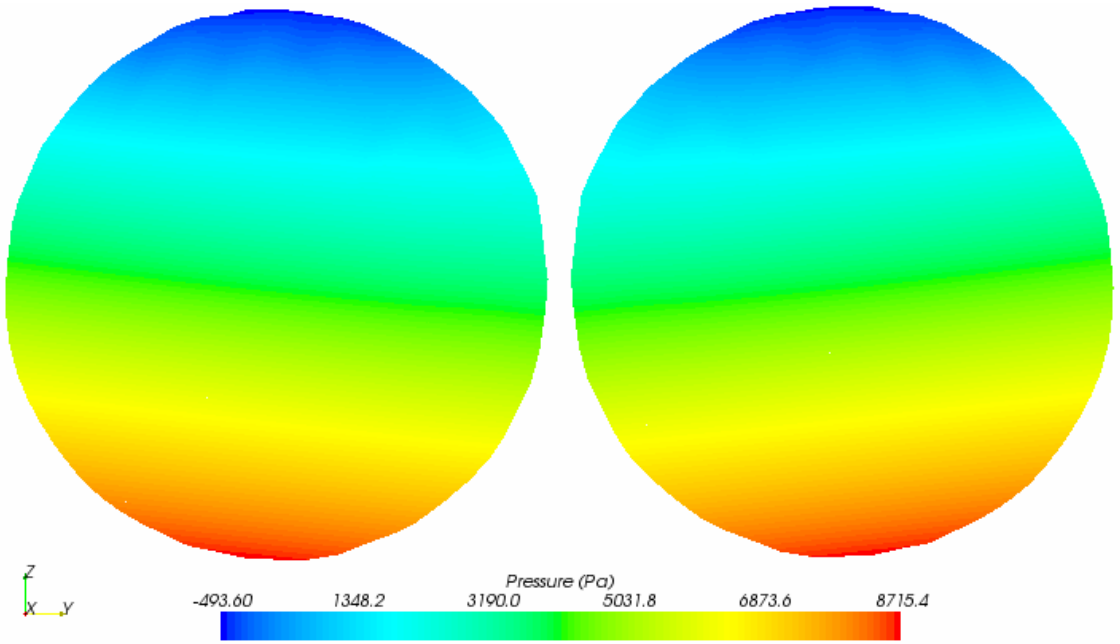
Daha önce analizi yapılmış olan tekneye benzer şekilde, oluşturulmuş olan yeni iki tekne modeli için de iki farklı pervane düzlemindeki basınç dağılımları incelenmiştir. Şekil 5.15, Şekil 5.16, Şekil 5.17 ve Şekil 5.18’de 25 knot seyir hızında $L_{WL}/B_{WL} = 5.598$ ve $L_{WL}/B_{WL} = 6.662$ olan tekneler için düşünülen pervane düzlemlerindeki basınç dağılımları gösterilmiştir.



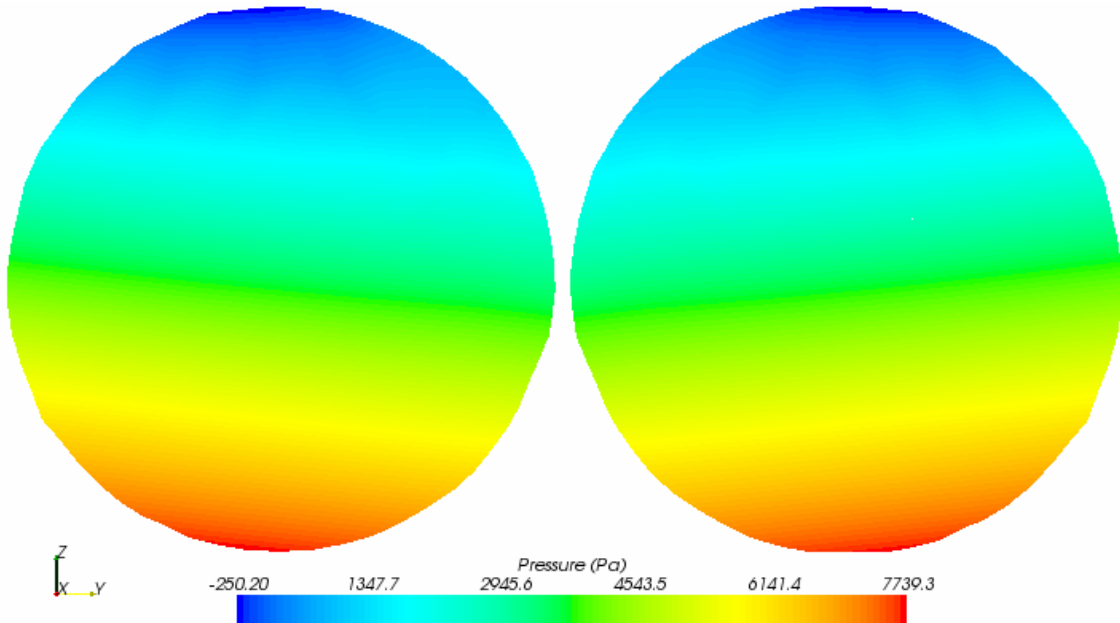
Şekil 5.15: 25 knot seyir hızında, $L_{WL}/B_{WL} = 5.598$ olan teknede, $X/L = 1$ ’de düşünülen pervane düzlemi için iskele ve sancak taraflarında elde edilen basınç dağılımı



Şekil 5.16 25 knot seyir hızında, $L_{WL}/B_{WL} = 6.662$ olan teknede, $X/L = 1$ ’de düşünülen pervane düzlemi için iskele ve sancak taraflarında elde edilen basınç dağılımı



Şekil 5.17: 25 knot seyir hızında, $L_{WL}/B_{WL} = 5.598$ olan teknede, $X/L = 0.95$ 'de düşünülen pervane düzlemi için iskele ve sancak taraflarında elde edilen basınç dağılımı

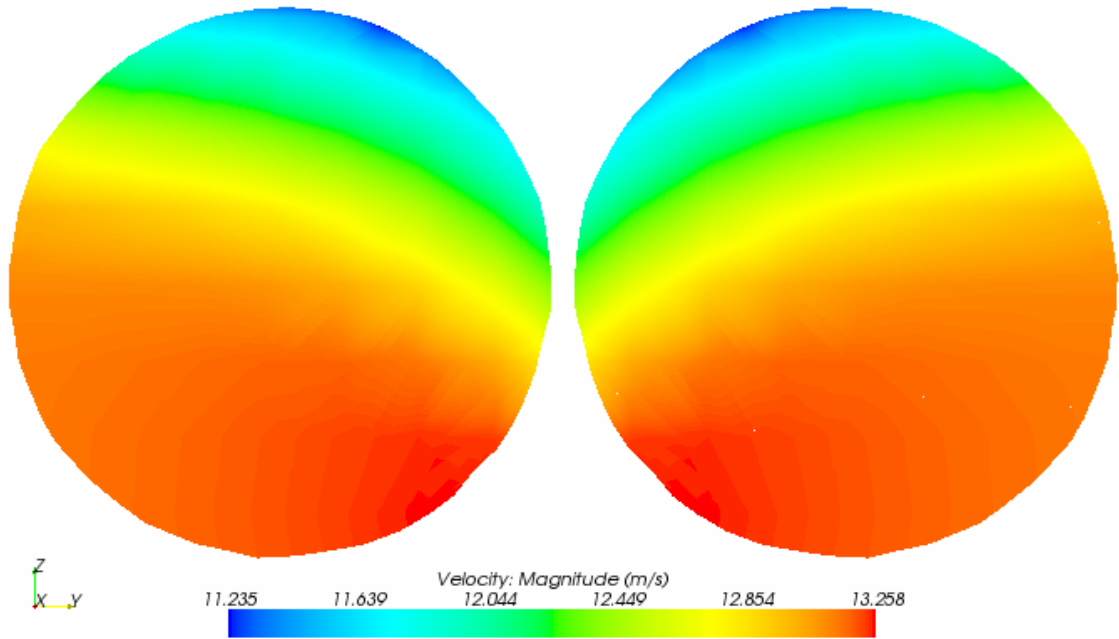


Şekil 5.18 25 knot seyir hızında, $L_{WL}/B_{WL} = 6.662$ olan teknede, $X/L = 0.95$ 'de düşünülen pervane düzlemi için iskele ve sancak taraflarında elde edilen basınç dağılımı

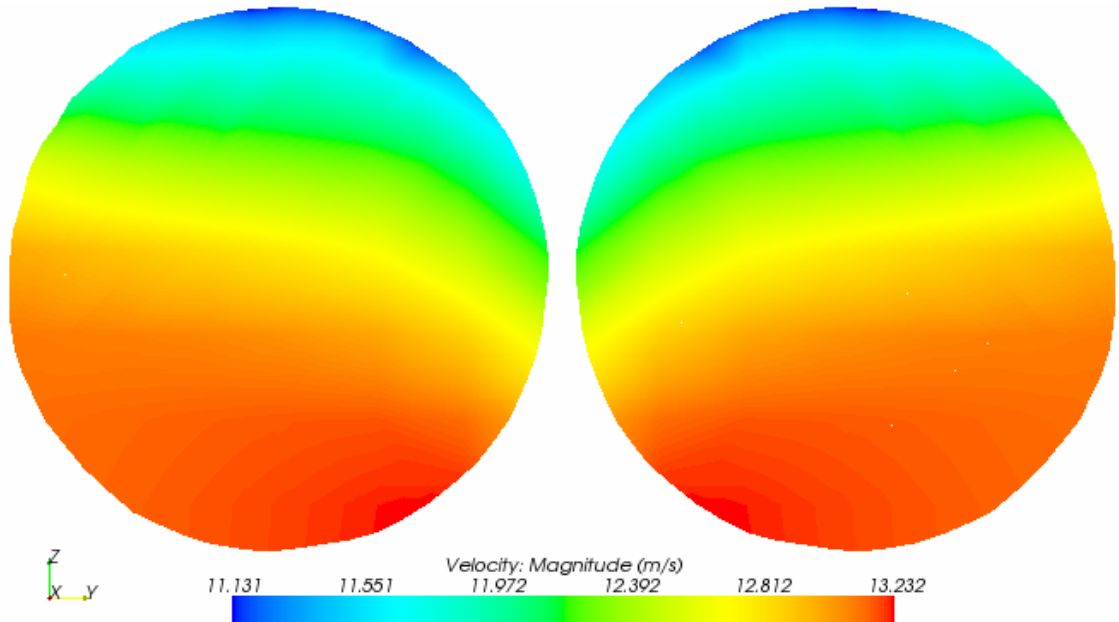
Çok kısa aralıklarda, pervane düzlemlerinde elde edilen basınç değişimlerinin farklılık gösterdiği resimlerden görülmektedir.

Benzer şekilde aynı pervane düzlemleri üzerinde iz hesaplamalarında yararlı olacağı

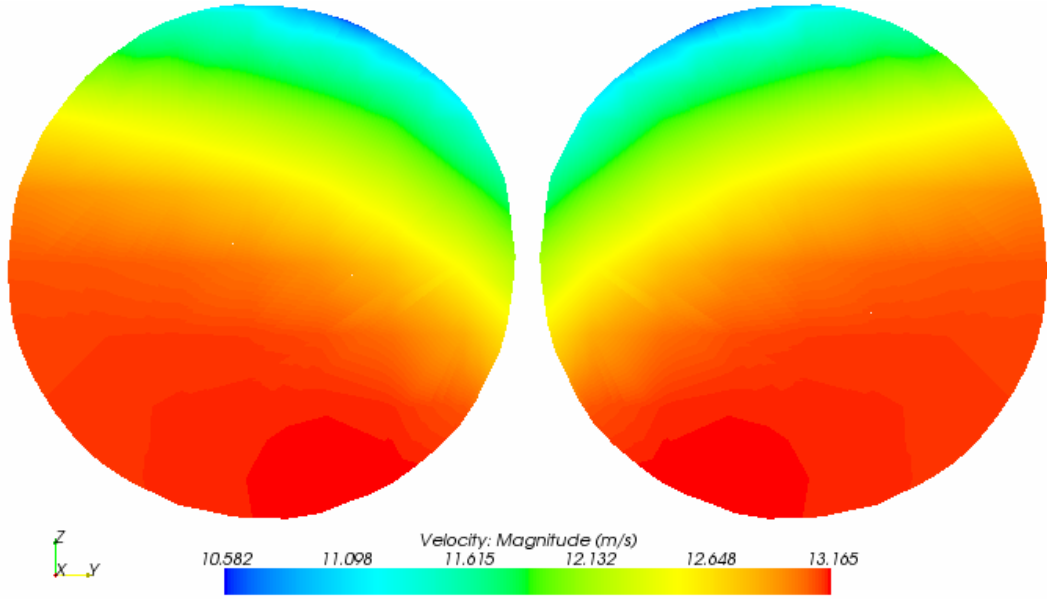
düşünülerek $L_{WL}/B_{WL} = 5.598$ ve $L_{WL}/B_{WL} = 6.662$ olan tekneler için elde edilmiştir. Bu hız dağılımları Şekil 5.19, Şekil 5.20, Şekil 5.21 ve Şekil 5.22’de gösterilmiştir.



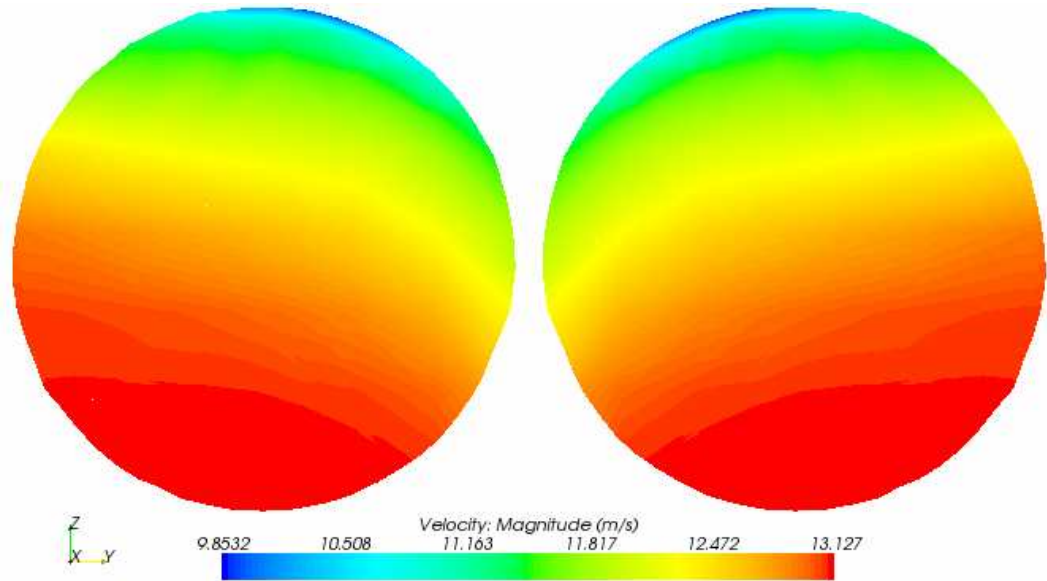
5.19: 25 knot seyir hızında, $L_{WL}/B_{WL} = 5.598$ olan teknede, $X/L = 1$ ’de düşünülen pervane düzlemi için iskele ve sancak taraflarında elde edilen hız dağılımı



5.20: 25 knot seyir hızında, $L_{WL}/B_{WL} = 6.662$ olan teknede, $X/L = 1$ ’de düşünülen pervane düzlemi için iskele ve sancak taraflarında elde edilen hız dağılımı



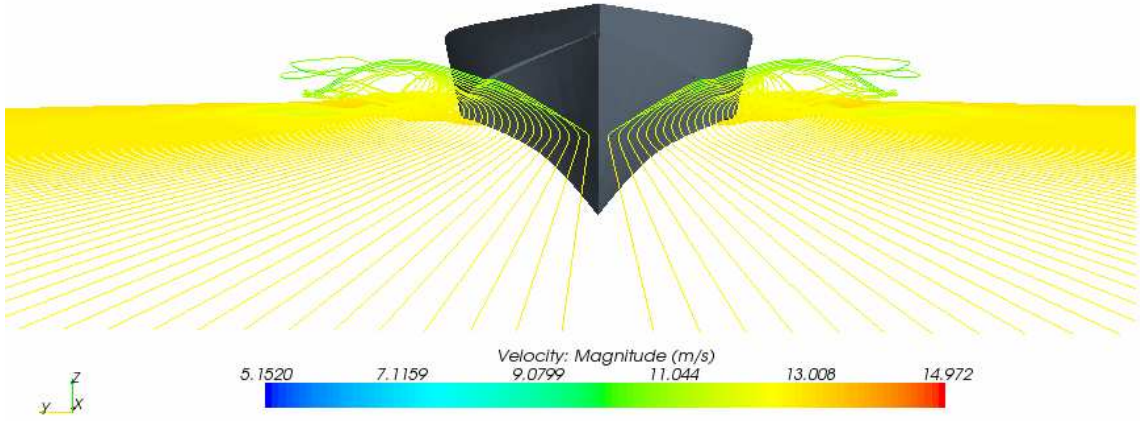
Şekil 5.21: 25 knot seyir hızında, $L_{WL}/B_{WL} = 5.598$ olan teknede, $X/L = 0.95$ 'de düşünülen pervane düzlemi için iskele ve sancak taraflarında elde edilen basınç dağılımı



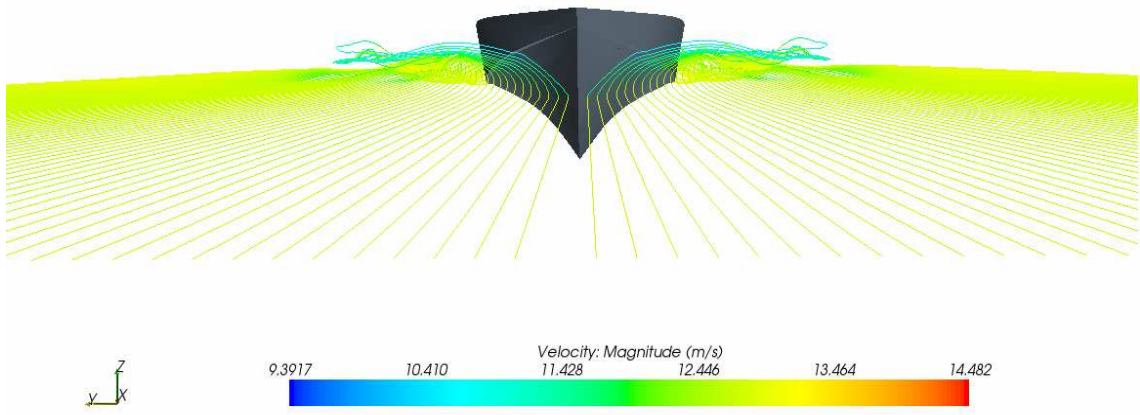
Şekil 5.22: 25 knot seyir hızında, $L_{WL}/B_{WL} = 5.598$ olan teknede, $X/L = 0.95$ 'de düşünülen pervane düzlemi için iskele ve sancak taraflarında elde edilen basınç dağılımı

5.5 HAD Analizleri Sonucunda Tekne Etrafında Elde Edilen Akım Çizgileri

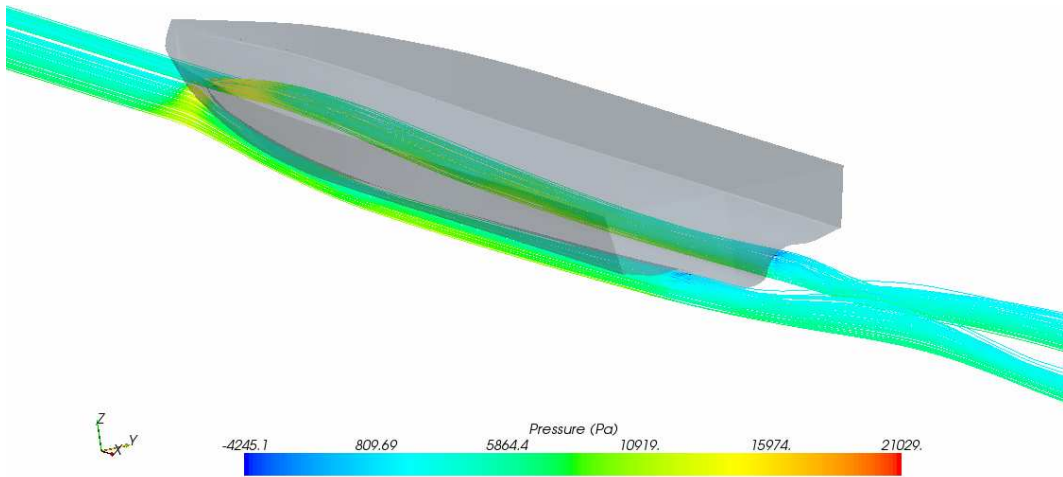
$L_{WL}/B_{WL} = 5.598$ ve $L_{WL}/B_{WL} = 6.662$ olan teknelerin HAD analizleri sonucunda, tekne etrafında elde edilen akım çizgileri Şekil 5.23, Şekil 5.24, Şekil 5.25 ve Şekil 5.26'da gösterilmektedir.



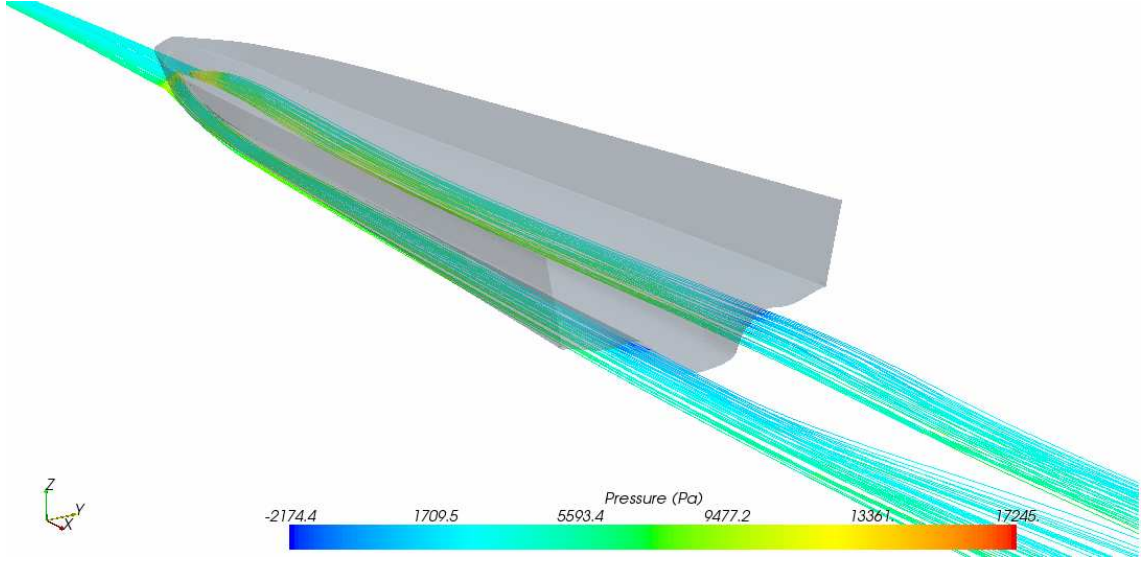
Şekil 5.23 25 knot seyir hızında, $L_{WL}/B_{WL} = 5.598$ olan teknenin baş tarafında akım hatlarının dağılımı



Şekil 5.24 25 knot seyir hızında, $L_{WL}/B_{WL} = 6.662$ olan teknenin baş tarafında akım hatlarının dağılımı



Şekil 5.25 25 knot seyir hızında, $L_{WL}/B_{WL} = 5.598$ olan teknenin pervane ekseninden geçen akım hatları üzerindeki basınç değerleri



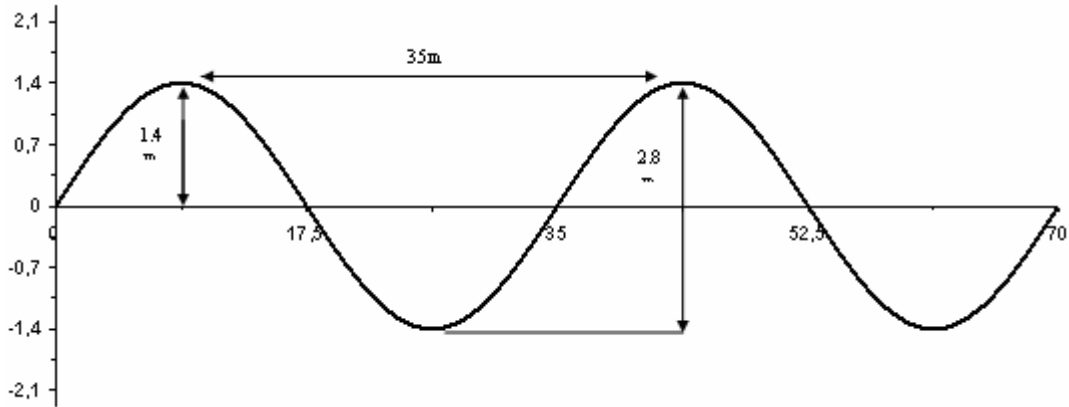
Şekil 5.26 25 knot seyir hızında, $L_{WL}/B_{WL} = 6.662$ olan teknenin pervane ekseninden geçen akım hatları üzerindeki basınç değerleri

6. DALGALI DURUM İÇİN TEKNE ETRAFINDAKİ AKIŞIN MODELLENMESİ

Bu bölümde tekne etrafındaki akışın modellenmesi zamanı sabit su hattı yüksekliği değil, değişken su hattı yüksekliği düşünülmüş ve bu değişken su hattı yüksekliği sinüzoidal olarak tekne boyunun fonksiyonu olarak ifade edilmiştir.

Bir geminin veya en genel anlamda yüzen bir cismin dalgalar içindeki hareketleri ve bu hareketlerin gemi veya yüzen cisim üzerindeki etkileri denizcilik kavramı altında incelenir. Her tip deniz aracı için iyi denizcilik özellikleri istenen bir kabiliyet olmakla birlikte pek çok durumda gemiler sakin deniz durumu için dizayn edilirler.

Bu çalışmada da teknenin dalgalı denizdeki altı serbestlik dereceli hareketi değil, sadece sonuç olarak teknenin hareket etmesi için ne kadar direnci yenmesi gerektiği hesaplanmıştır. Bu çözüm, bağıl hız dolayısıyla, dalga hareketi sırasında teknenin sabit kaldığı kabulü ile yapılmıştır. Ticari HAD yazılımlarındaki son gelişmeler artık teknenin doğrusal veya karışık dalgalar arasındaki altı serbestlik dereceli hareketinin incelenmesini olası kılmaktadır. Bu da zamana bağlı olarak tekne direnci, momenti, trim açısı, dalıp çıkma değerlerinin sayısal olarak incelenmesini kolaylaştırmaktadır. Burada ise, dalga modeli zamana bağlı olarak modellenmemiştir. Dalganın $t=0$ anı için sinüzoidal dalga olduğu kabul edilmiş ve teknenin hareketi süresince bu dalga sönümlenmiştir. Değişken su hattının modellenmesi için Çizelge 3.1’de ana boyutları verilmiş olan tekne modeli kullanılmıştır.



Şekil 6.1 Dalga yüksekliği ve dalga boyunun grafiksel gösterimi

Dalga tepesiyle dalga çukuru arasındaki dikey uzaklık, yani dalga yüksekliği 2.8 m, sakin su yüzeyinden dalga tepesine veya dalga çukuruna ölçülen dikey uzaklık, yani dalga genliği 1.4 m, ardışık dalga tepeleri veya çukurları arasındaki yatay uzaklık, yani dalga boyu yaklaşık tekne boyu, 35 m olarak kabul edilmiştir. Şekil 6.1’de dalga yüksekliğinin dalga boyuna göre değişimi görülmektedir.

$$H = 2.8m$$

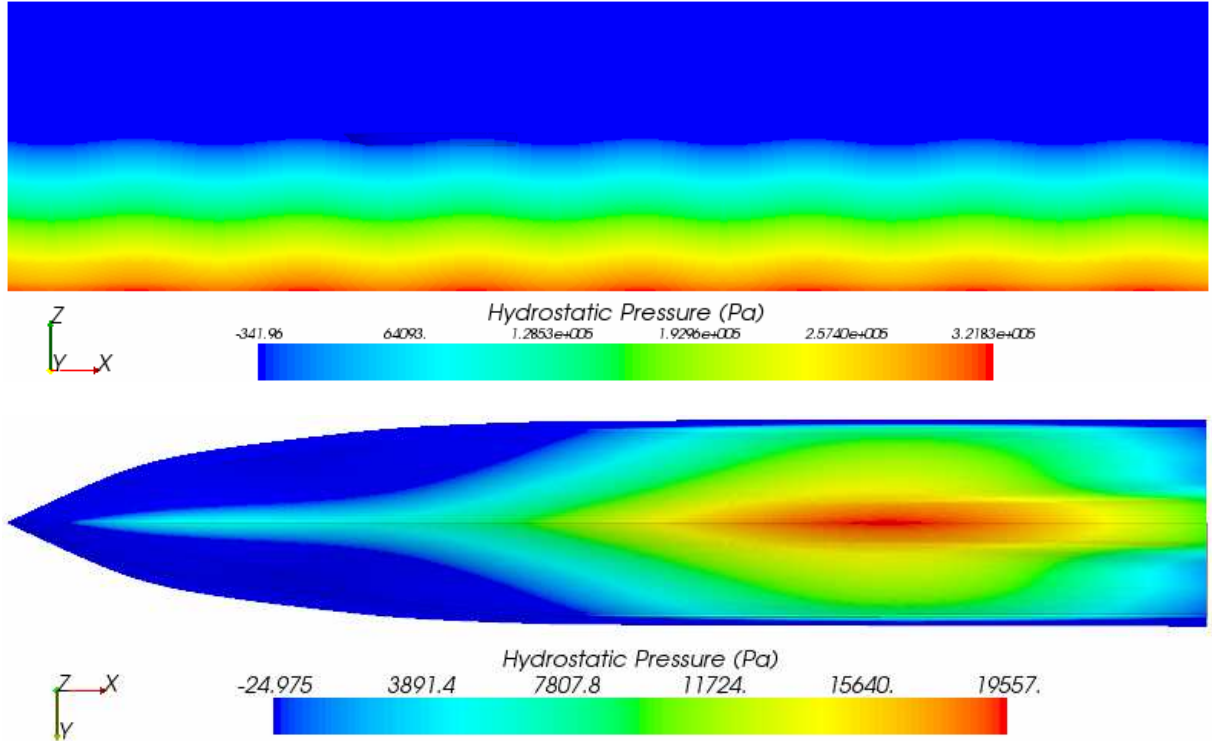
$$\zeta = 1.4m$$

$$\lambda \approx 35m$$

Başlangıç anında dalga şekli sinüzoidal olsa da, ilerleyen zamanlarda dalganın sönümlenmesi dolayısıyla su hattı seviyesine eşitlenmiştir.



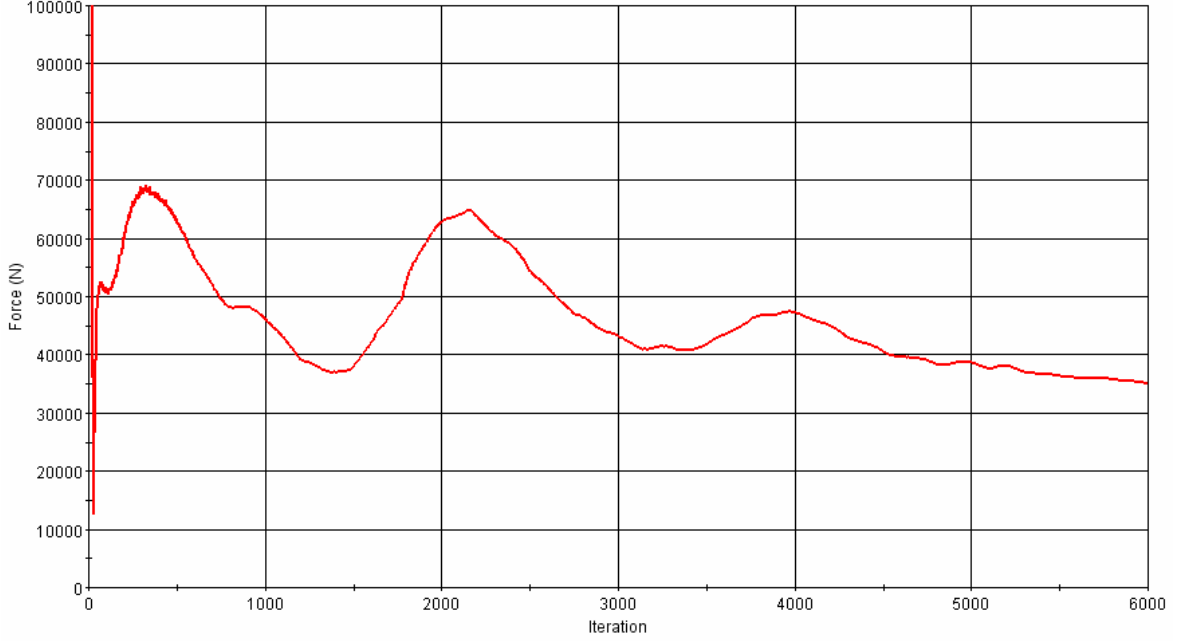
Şekil 6.2 Başlangıç koşulu olarak serbest su yüzeyi (lacivert bölge su akışkanını, kırmızı bölge hava akışkanını temsil etmektedir)



Şekil 6.3 Başlangıç koşulu olarak simetri düzlemi ve tekne gövdesi üzerindeki hidrostatik basınç

6.1 Dalgalı Durumda Teknenin 25 Knot Seyir Hızındaki Toplam Direncinin Bulunması

Sonuç olarak 25 knot seyir hızında dalgalı durum için toplam direnç kuvveti değeri sakin deniz için hesaplanmış olan direnç değerine yakın elde edilmektedir. Ama zamana veya çözüm adımına bağlı olarak kuvvet değişimi incelenirse, dalga şekli dolayısıyla direnç değerinde artma ve azalmalar olmaktadır.



Sekil 6.4 Yarım model için toplam direnç kuvvetinin dalga dolayısıyla değişkenlik gösterdiği anların çözüm adımına bağlı gösterimi

Nihai olarak HAD analizi sonucunda elde edilen toplam direnç değeri Çizelge 6.1’de gösterildiği gibidir.

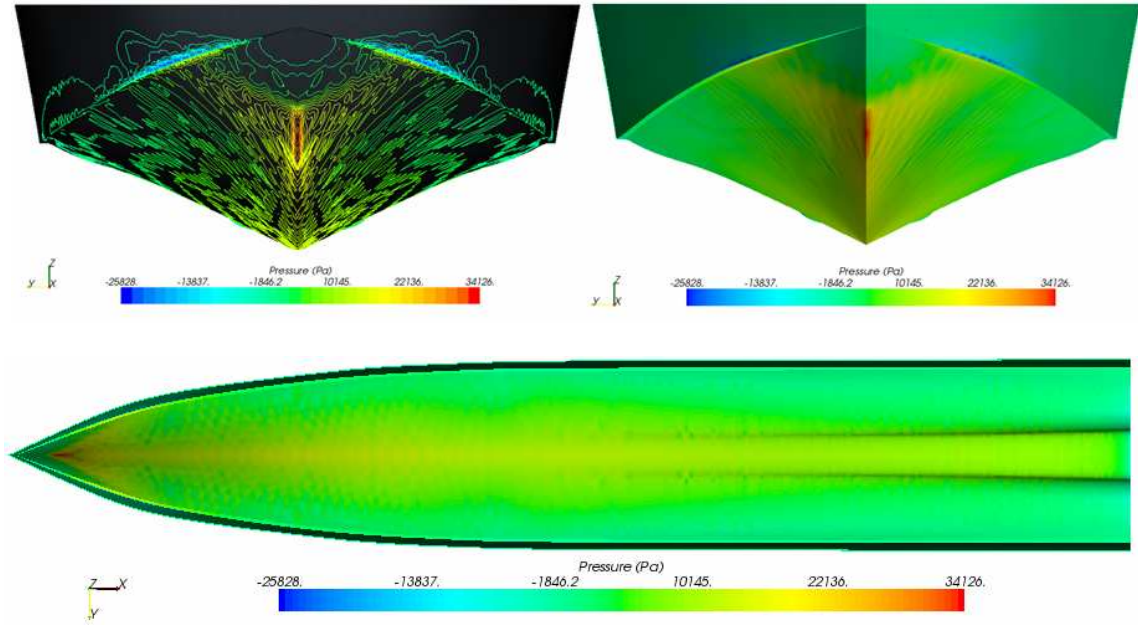
Çizelge 6.1 Dalgalı durumda 25 knot seyir hızıyla hareket eden tekneye etki eden toplam direnç ve bileşenleri

Hız (knot)	Sürtünme Direnci (N)	Basınç Direnç (N)	Toplam Direnç (N)
25	28427.10	47052.80	75479.90

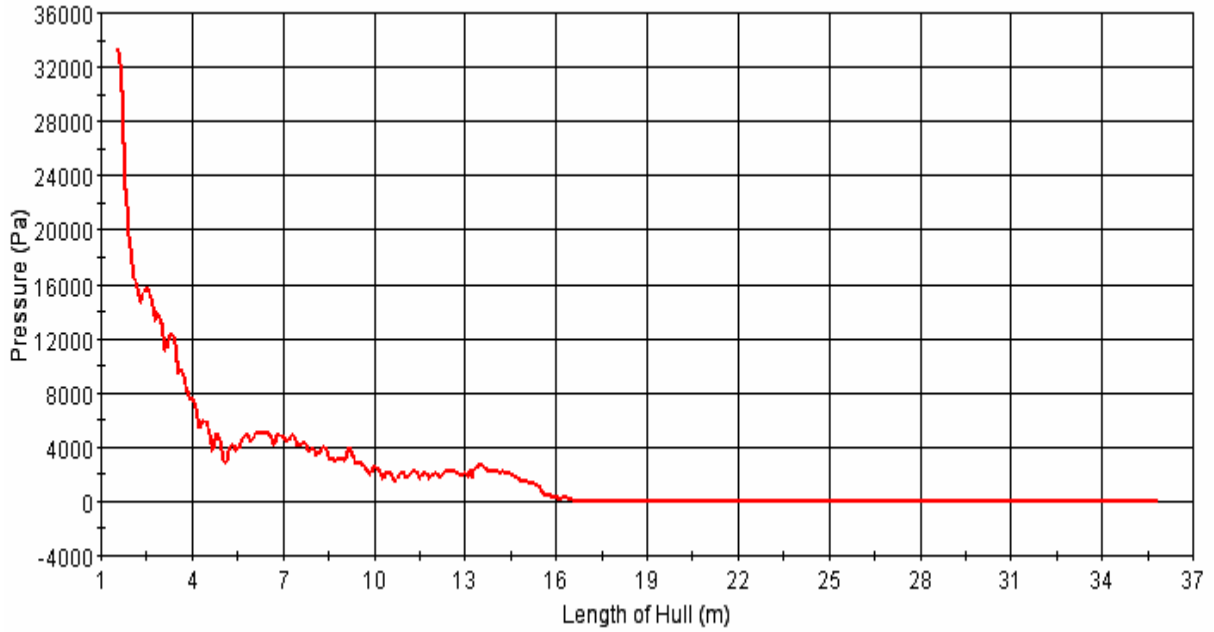
Bu şekilde yapılan benzetim, tam dalgalı model benzetimini ifade etmediğinden elde elden direnç değeri de dalgalı model için baz alınacak direnç değeri olamaz. Bilindiği gibi, dalgalı durumda, direnç değeri zamana bağlı olarak sürekli değişmekte ve sabitlenmemektedir. Bu çalışmada ise, dalganın sönümlendiği düşünüldüğünde, direnç değerinin sabit bir değere ulaştığı görülmektedir.

6.2 HAD Analizleri Sonucunda Elde Edilen Basınç Dağılımı

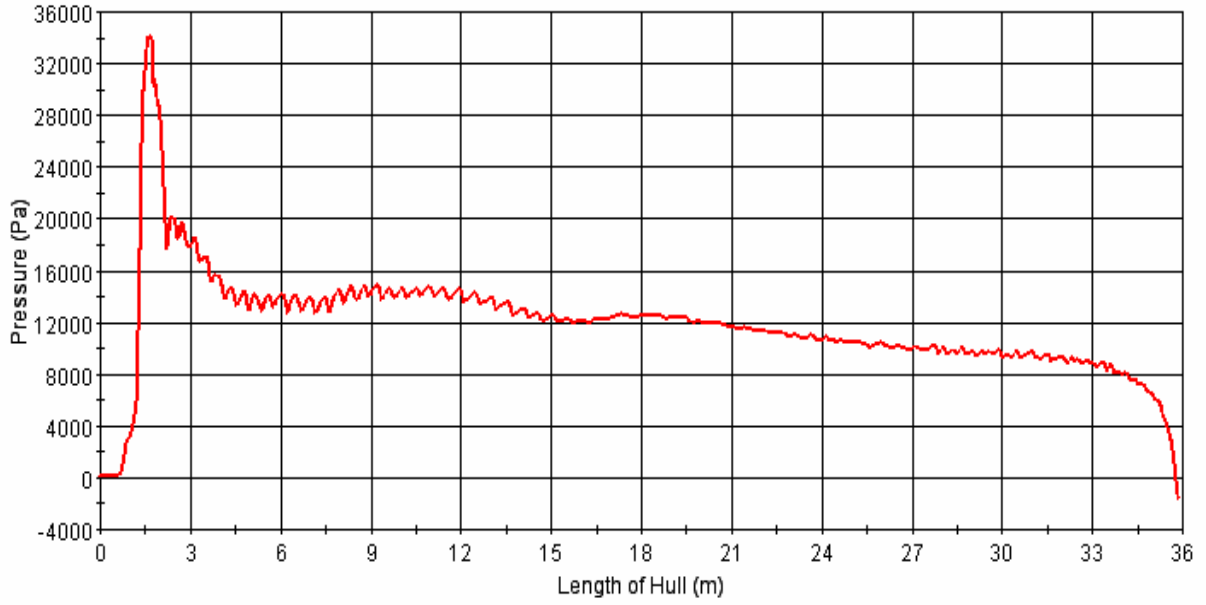
Dalgalı durum için HAD analizi sonucunda tekne üzerinde elde edilen basınç dağılımları Şekil 6.5’de gösterilmiştir.



Şekil 6.5 25 knot seyir hızında dalgalı durum için çözüm sonucunda tekne üzerinde elde edilen basınç dağılımı



Şekil 6.6 25 knot seyir hızında, dalgalı durum için su hattı ($T=1.3$ m) seviyesinde ölçülen basınç değerlerinin tekne boyuna göre dağılımı

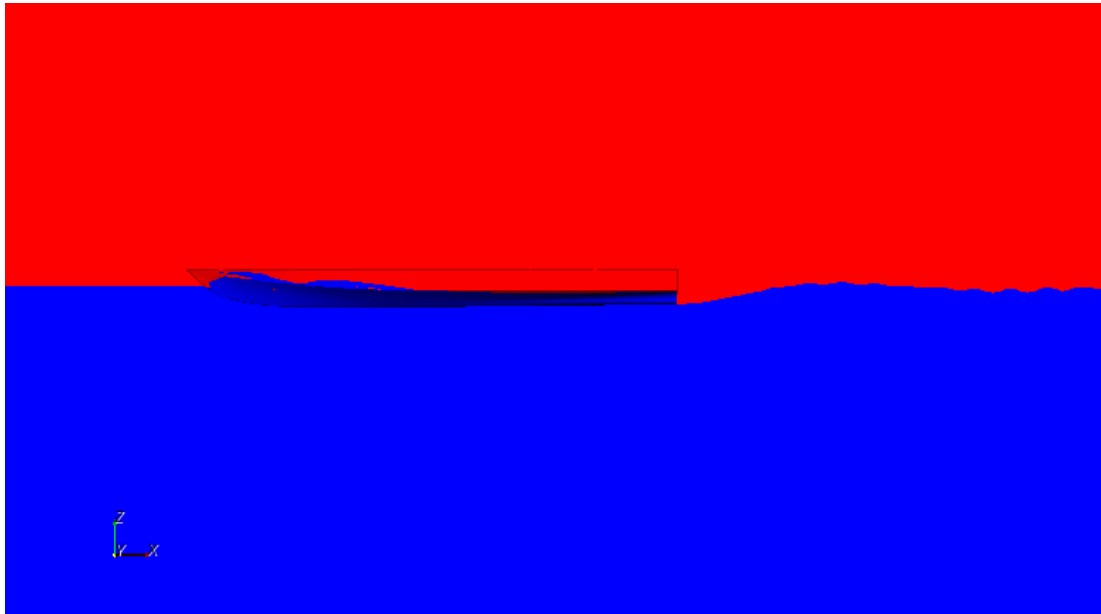


Şekil 6.7 25 knot seyir hızında, dalgalı durum için orta simetri düzlemi ile tekne yüzeyinin kesiştiği çizgide ölçülen basınç değerlerinin tekne boyuna göre dağılımı

Su hattı seviyesinde ve orta simetri düzleminin tekne yüzeyi ile kesiştiği çizgideki basınç değerlerinin tekne boyuna göre dağılımları dalgalı durum sonucu için Şekil 6.6, Şekil 6.7’de verilmiştir.

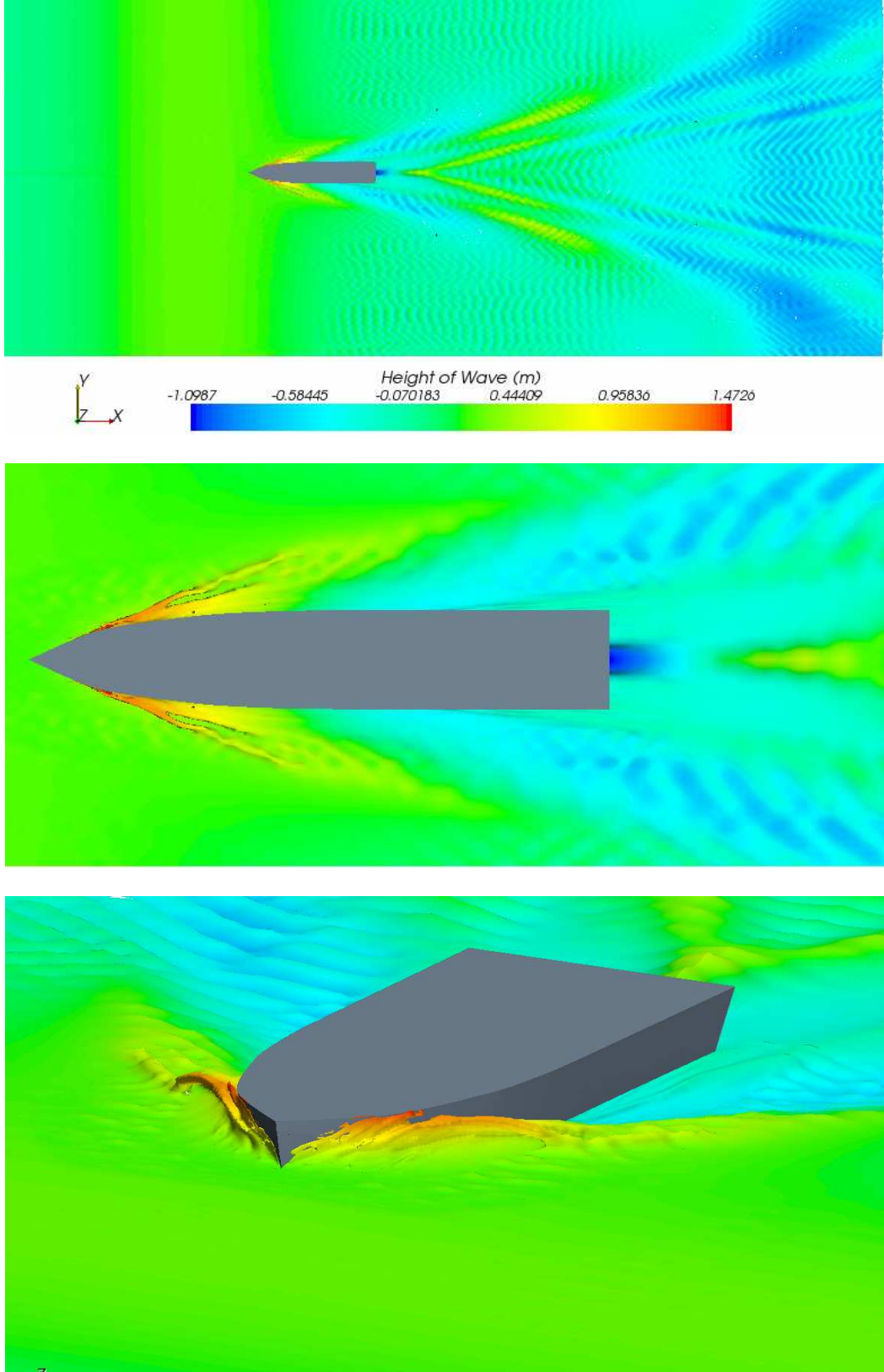
6.3 HAD Analizleri Sonucunda Elde Edilen Dalga Deformasyonları

Simetri düzlemi üzerinde elde edilen dalga deformasyonu Şekil 6.8’de gösterilmiştir.

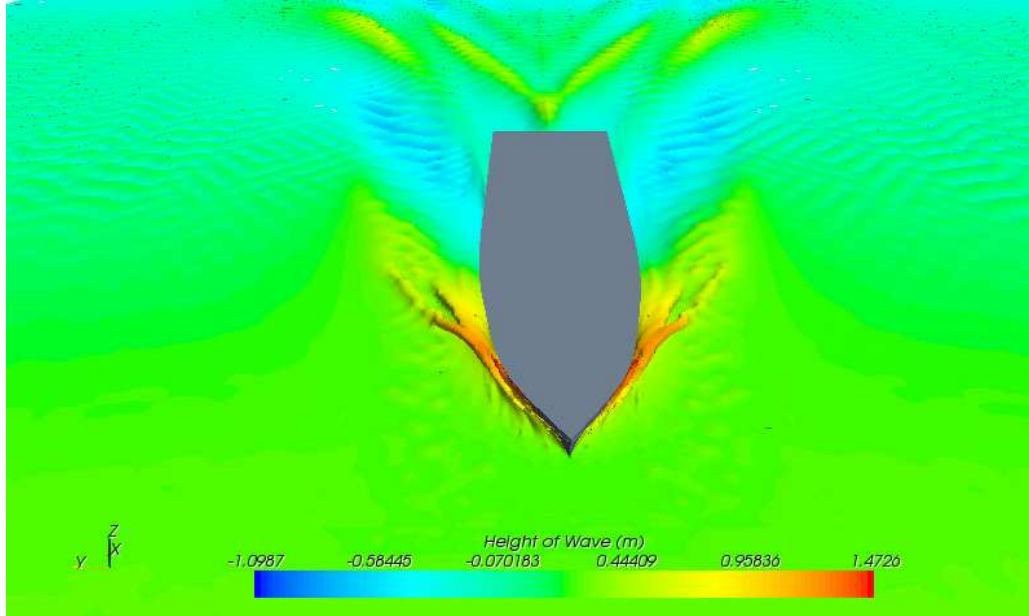


Şekil 6.8 25 knot seyir hızında dalgalı durum için teknenin simetri düzlemi ve tekne yüzeyi üzerinde elde edilen dalga deformasyonu

Şekil 6.8’de tekne önündeki bölge incelenirse, başlangıç koşulu olarak tanımlanmış olan dalga modelinin yok olduğu ve sakin deniz hali aldığı görülmektedir.

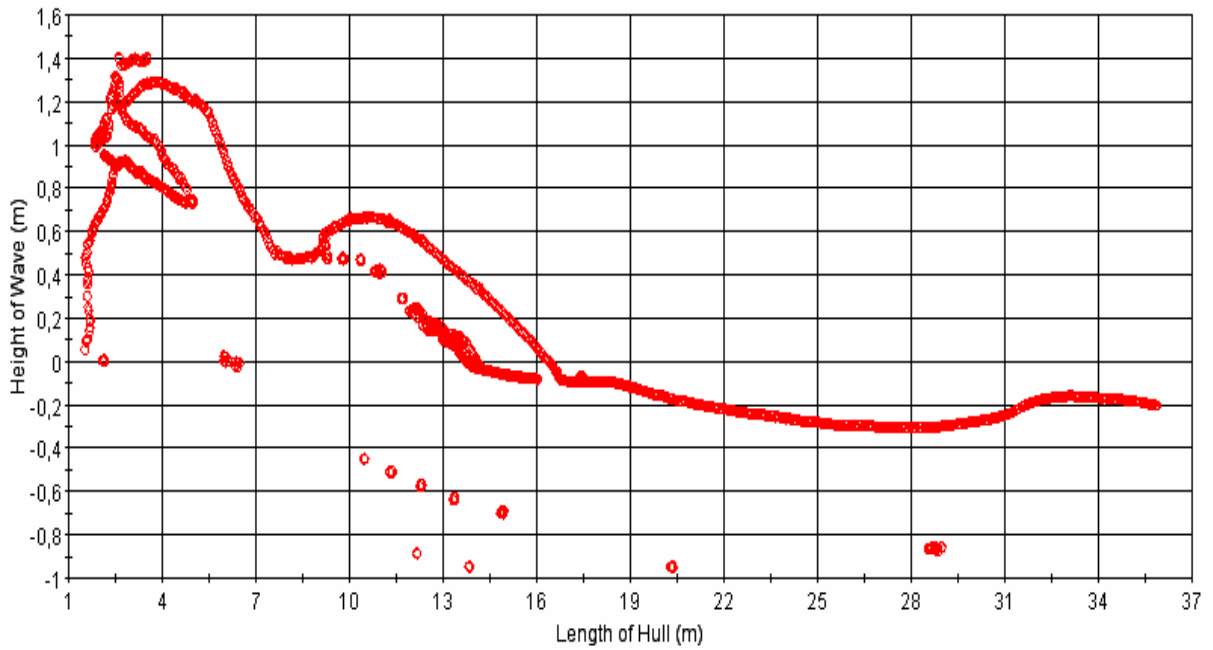


Şekil 6.9 25 knot seyir hızında dalgalı durum için tekne etrafında oluşan dalgaların başlangıç su hattı seviyesine göre yükseklikleri (farklı açılardan)



Şekil 6.10 25 knot seyir hızında dalgalı durum tekne etrafında oluşan dalgaların başlangıç su hattı seviyesine göre yükseklikleri

25 knot seyir hızında tekne yüzeyi üzerinde dalga yüksekliklerinin tekne boyunca değişimi Şekil 6.11’de grafiksel olarak gösterilmiştir.

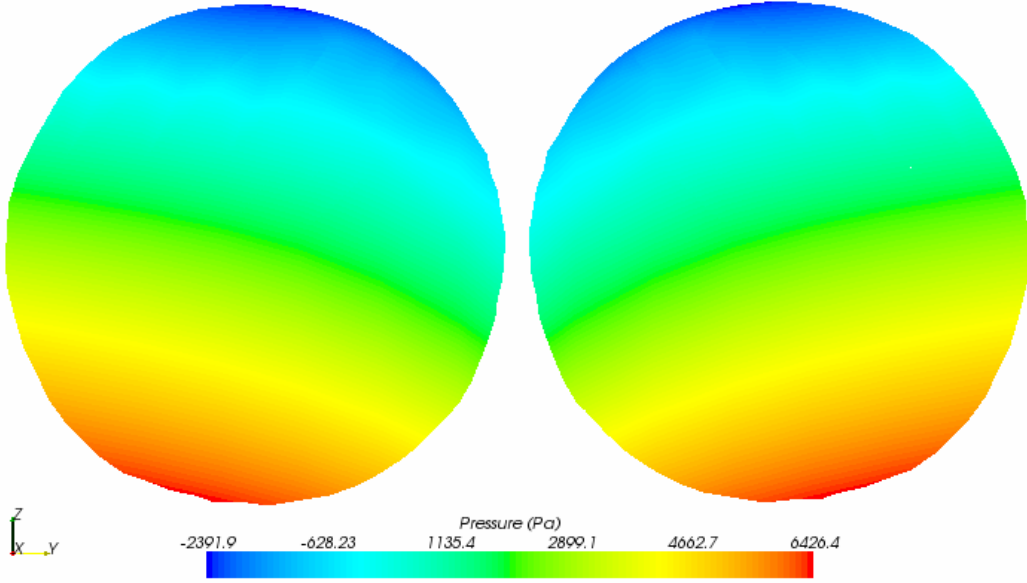


Şekil 6.11 25 knot seyir hızında dalgalı durum için tekne yüzeyi üzerinde oluşan dalga yüksekliklerinin tekne boyunca değişimi

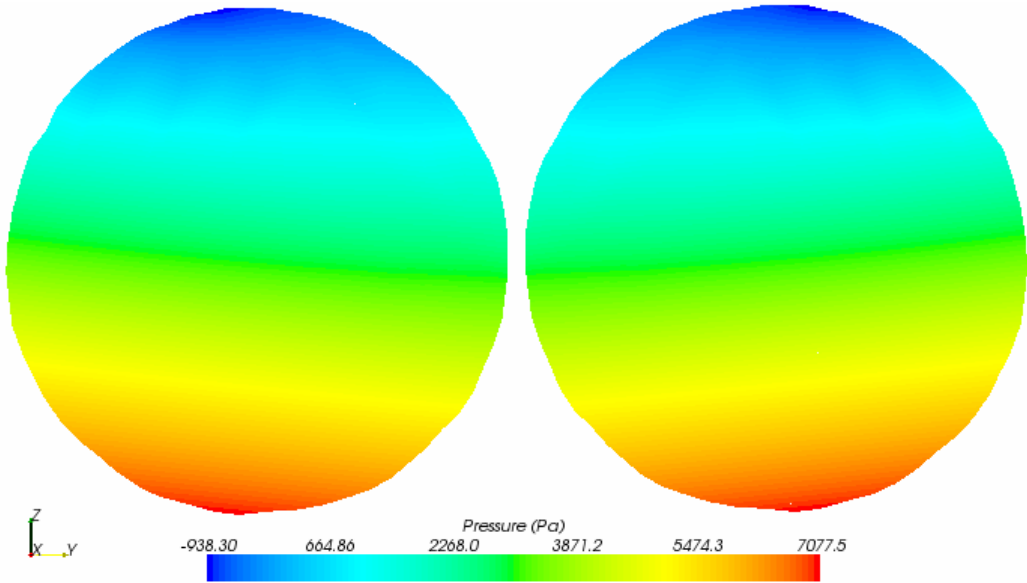
Dalgalı durum için dalga deformasyonları çözümün yakınsadığı durumdan itibaren de sürekli değişmesi gerekmektedir. Daha önce de söylendiği gibi, bu çalışmada başlangıçta tanımlanmış olan dalga sönümlendiği için son durum incelenmiştir.

6.4 HAD Analizleri Sonucunda Pervane Düzleminde Elde Edilen Basınç ve Hız Dağılımı

Diğer HAD analizlerine benzer şekilde bu analiz sonucunda da, belli pervane düzlemleri için elde edilen basınç dağılımları incelenmiştir. Ana tekne modeli için seçilmiş olan pervane düzlemleri bu çalışmada da aynen kabul edilmiştir. Şekil 6.12, Şekil 6.13’de söz konusu pervane düzlemlerinde elde edilen basınç dağılımları gösterilmiştir.



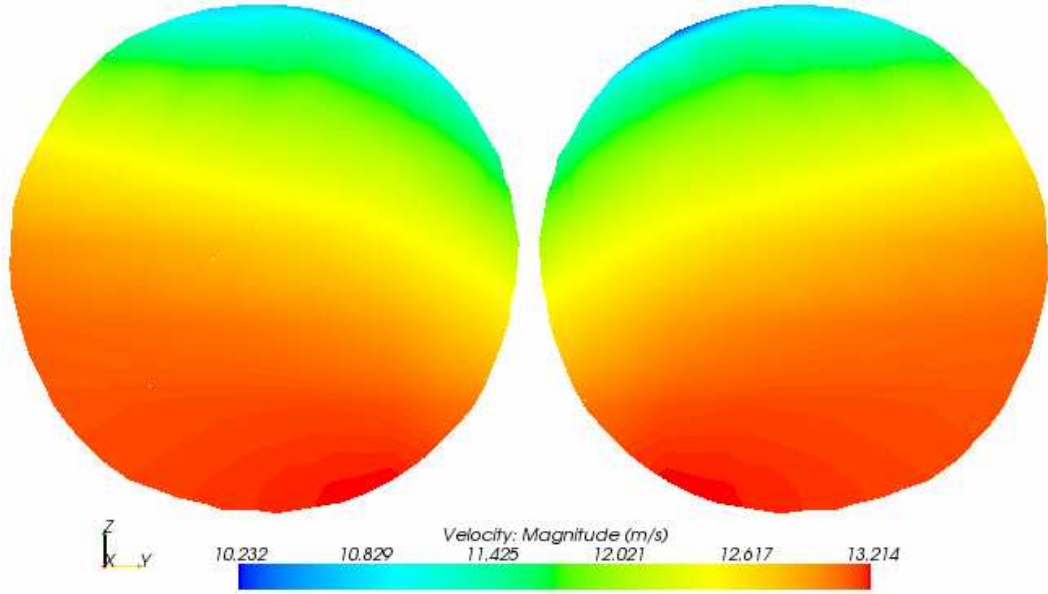
Şekil 6.12 25 knot seyir hızında dalgalı durum için $X/L = 1$ ’de düşünülen pervane düzlemi için iskele ve sancak taraflarında elde edilen basınç dağılımı



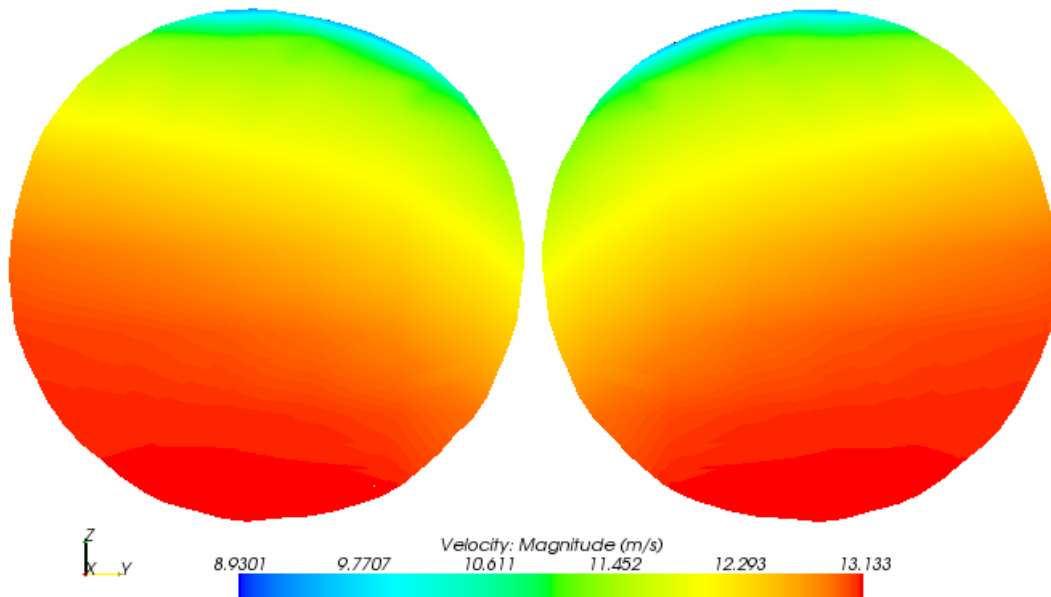
Şekil 6.13 25 knot seyir hızında dalgalı durum için $X/L \approx 0.975$ ’de düşünülen pervane düzlemi için iskele ve sancak taraflarında elde edilen basınç dağılımı

Dalgalı başlangıç şartı sonrasında değişik pervane düzlemlerinde elde edilen basınç değerlerinin, sakin su analizlerinde elde edilen basınç değerlerine göre daha düşük olduğu gözlemlenmiştir.

Benzer şekilde aynı düzlemler üzerindeki hız dağılımı da incelenmiştir. Pervane düzlemi üzerindeki hız değerleri iz ile ilgili tasarımcıya bilgi vermektedir. Düşünülen pervane düzlemlerindeki hız dağılımları Şekil 6.14 ve Şekil 6.15’de gösterilmiştir.



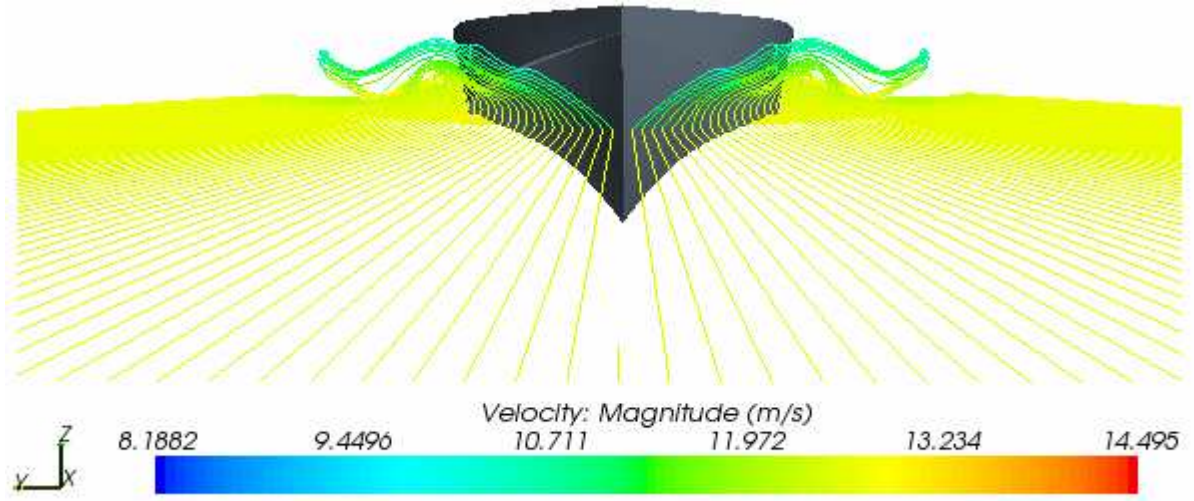
Şekil 6.14 25 knot seyir hızında dalgalı durum için $X/L = 1$ ’de düşünülen pervane düzlemi için iskele ve sancak taraflarında elde edilen hız dağılımı



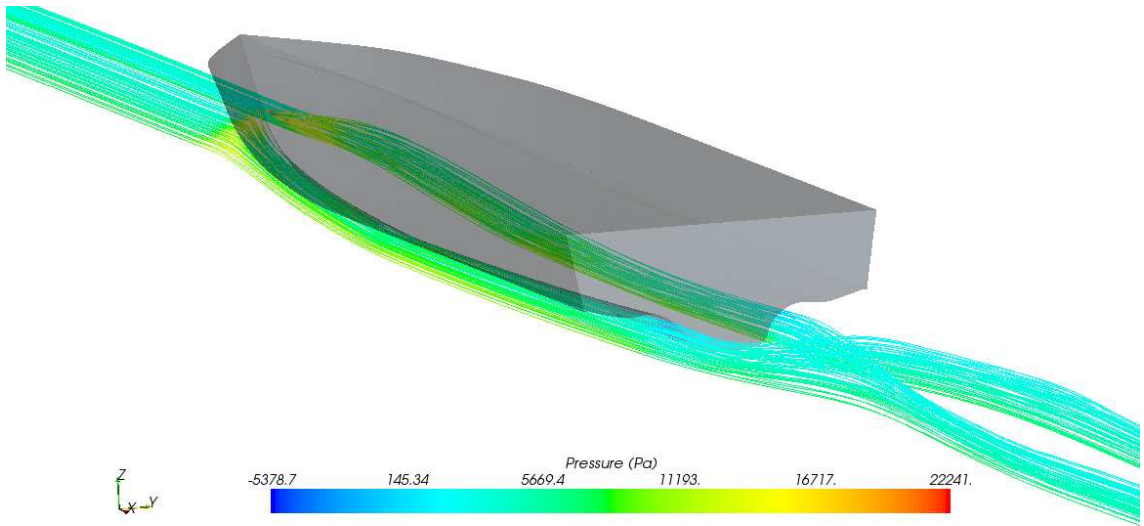
Şekil 6.15 25 knot seyir hızında dalgalı durum için $X/L \approx 0.975$ ’de düşünülen pervane düzlemi için iskele ve sancak taraflarında elde edilen hız dağılımı

6.5 HAD Analizleri Sonucunda Tekne Etrafında Elde Edilen Akım Çizgileri

25 knot seyir hızında dalgalı durum için HAD analizi sonucunda hesaplanan akım çizgilerinin tekne etrafındaki gösterimi Şekil 6.16 ve Şekil 6.17’da gösterilmiştir.



Şekil 6.16 25 knot seyir hızında dalgalı durum için teknenin baş tarafında akım hatlarının dağılımı



Şekil 6.17: 25 knot seyir hızında dalgalı durum için teknenin pervane ekseninden geçen akım hatları üzerindeki basınç değerleri

7. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Teknolojideki hızlı gelişmeler prototip imalatının zor olduğu gemi inşaatı mühendisliği gibi mühendisliklerde bilgisayar destekli mühendislik paket yazılımlarının kullanılarak, benzetimlerin yapılmasını vazgeçilmez kılmaktadır. Bu çalışmada ticari HAD yazılımı kullanılarak da tekne etrafındaki akışın benzetiminin yapılması amaçlanmıştır. HAD analizleri boyunca sınır koşulları her bir analiz için uygun bir şekilde tanımlandı. Daha önceki denemeler ve çalışmalar dikkate alınarak yapılan tüm analizler için $k-\omega$ SST türbülans modeli kullanıldı.

Öncelikle yüksek hızlı kayıcı bir teknenin düşük ve yüksek hızlardaki toplam direnç değerleri, tekne etrafındaki dalga deformasyonları, belirlenen pervane düzlemlerindeki basınç dağılımları, hız dağılımları genel amaçlı HAD yazılımı olan STAR-CCM+ yazılımı yardımı ile hesaplandı. Daha sonra tekne deplasman değeri sabit tutularak, L_{WL}/B_{WL} değeri değiştirilerek Maxsurf yazılımı yardımı ile iki farklı tekne modeli daha hazırlandı. Daha narin ve daha dolgun tekne modelleri için de benzer HAD analizleri yapılarak, toplam direnç değerleri ve direnç bileşenleri, dalga deformasyonları, tekne üzerindeki basınç dağılımı, belli pervane kesitlerindeki basınç dağılımları, hız dağılımları elde edildi. Aynı deplasman hacmine sahip tekne modelleri için, elde edilen toplam direnç değerleri karşılaştırıldığında, aynı hızda daha narin tekne modelinden daha dolgun tekne modeline doğru toplam direnç değerinin arttığı gözlemlenmektedir. Her bir tekne modeli için HAD analizlerinden elde edilen toplam direnç değerleri, kayıcı tekneler için var olan istatistik yöntemler kullanılarak elde edilen toplam direnç değerleri ile karşılaştırıldığında kabul edilebilir mertebede oldukları görülmektedir.

Ayrıca son bölümde dalgalı deniz durumu için yapılmış olan çalışmada dalganın devam etmediği, sönümlendiği bilinmektedir. Gerçekte ise dalgalı durumun devam etmesi gerekmektedir. Tüm bunlar dikkate alınarak, bu çalışmanın yüksek hızlı tekneler için başlangıç çalışması olduğu kabul edilip daha da geliştirilebilir. HAD teknolojisindeki gelişmeler dikkatle takip edilerek, çalışmada kullanılan yüksek hızlı kayıcı teknelerin sakin ve dalgalı deniz şartlarında altı serbestlik dereceli hareketleri, denizcilik performansları incelenebilir.

KAYNAKLAR

- Abt, C. ve Harries, S., A New Approach to Integration of CAD and CFD for Naval Architects, Friendship Systems, Potsdam
- Alkan, A.D. (2007), Hızlı Tekneler, Ders Notları, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul
- Azcueta, R., “Steady and Unsteady RANSE Simulations for Planing Crafts”
- Azcueta, R., (2008) “CFD in yacht design”, STAR European Conference, 17-18 March, 2008, London, England
- Baykal, R. ve Dikili, A.C. (2002), Gemilerin Direnci ve Makina Gücü, İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul
- Bertram, V. (2000), Practical Ship Hydrodynamics, Butterworth-Heinemann, Oxford
- Blazek, J. (2001), Computational Fluid Dynamics: Principles and Applications, Elsevier, Oxford
- Campana, E.F., Peri, D., Tahara, Y. ve Stern, F. (2006), “Shape Optimization in Ship Hydrodynamics Using Computational Fluid Dynamics”, Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, 196 (2000) 634-651
- Carrica, P.M., Wilson, R.V. ve Stern, F. (2006), “Unsteady RANS Simulation of Ship Forward Speed Diffraction Problem”, Computers & Fluids, 35 (2006) 545-570
- Chapra, S.C. ve Canale R.P. (2006), Yazılım ve Programlama Uygulamalarıyla Mühendisler İçin Sayısal Yöntemler (Çev., H.Heperkan ve U.Kesgin), Literatür Yayıncılık, İstanbul
- Ciortan, C., Wanderley, J. ve Soares, C.G. (2006), “Turbulent Free-Surface Flow Around a Wigley Hull Using the Slightly Compressible Flow Formulation”, Ocean Engineering
- Dejhalla, R. ve Prpic-Orsic, J. (2006), “A Review of the State-of-the-Art in Marine Hydrodynamics”, Brodo Gradnja, 57 (2006)1, 13-22, Rijeka, Croatia
- Faltinsen, O.M. (2005), Hydrodynamics of High-Speed Marine Vehicles, Cambridge University Press, Cambridge
- Gemi Mühendisliği El Kitabı, TMMOB Gemi Mühendisleri Odası Yayınları, 2008, İstanbul
- Güner, M., Kükner, A. ve Baykal, M.A. (1999), Gemi Pervaneleri ve Sevk Sistemleri, İstanbul Teknik Üniversitesi Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri Fakültesi Ofset Baskı Atölyesi, İstanbul
- Hochbaum, A.C.ve Vogt, M (2002), “Towards the Simulation of Seakeeping and Manoeuvring based on the Computation of the Free Surface Viscous Ship Flow”, 24th ONR Symposium on Naval Hydrodynamics, July 2002, Fukuoka, Japan
- Hochbaum, A.C., Vogt, M. ve Gatchell, S. (2008), “Manoeuvring Prediction for Two Tankers Based on RANS Simulations”, SIMMAN 2008, April 2008, Copenhagen, Denmark
- Hollenbach, U. ve Grashorn, H. (2007), “Speed Power Prediction Using Potential Flow Codes”, 10th International Symposium on Practical Design of Ships and Other Floating Structures, Houston, Texas, United States of America
- Kim, W.J., Van, S.H ve Kim, D.H. (2001), “Measurement of Flows Around Modern Commercial Ship Models”, Experiments in Fluids, 31 (2001) 567-578
- Koh, L., Atlar, M., Mesbahi, E., Janson, C-E., Larsson, L. ve Abt, C. (2004), “Novel Design and Hydrodynamic Optimisation of a High-Speed Hull”

- Larsson, L., Stern, F. ve Bertram, V. (2003), "Benchmarking of Computational Fluid Dynamics for Ship Flows: The Gothenburg 2000 Workshop", *Journal of Ship Research*, Vol. 47, No. 1, March 2003, 63-81
- Larsson, L. ve Eliasson R. (2006), *Yat Tasarımı Genel İlkeler* (Çev., T.Yılmaz), Birsen Yayınevi Ltd. Şti., İstanbul
- Lee, Y.S. (2003), *Trend Validation of CFD Prediction Results for Ship Design (Based on Series 60)*, Ph.D. Thesis, Institute of Naval Architecture, Marine and Ocean Engineering of Technical University of Berlin, Berlin
- Li, T-Q. ve Matusiak, J. (2001), "Simulation of Viscous Flow of Modern Surface Ships Using the FINFLO RANS Solver", *Practical Design of Ships and Other Floating Structures*, 413-419
- Maisonneuve, J.J., Harries, S., Marzi, J., Raven, H.C., Viviani, U. ve Piippo, H., "Towards Optimal Design of Ship Hull Shapes"
- Meyer, R.E. (1982), *Introduction to Mathematical Fluid Dynamics*, Dover Publications, Inc., New York
- Miyata, H. ve Gotoda, K., "Hull Design by CAD/CFD Simulation"
- Muzaferija, S. ve Peric, M. (2006), "Finite Volume Method and Free-Surface Flows", CD-adapco, Nürnberg
- Ohmori, T. (1998), "Finite-Volume Simulation of Flows About a Ship in Maneuvering Motion", *Journal of Marine Science and Technology*, 3:82-93
- Olivieri, A., Pistani, F. ve Di Mascio, A. (2003), "Breaking Wave at the Bow of the Fast Displacement Ship Model", *Journal of Marine Science and Technology*, 8:68-75
- Özdemir, Y.H. (2007), *Gemi Etrafındaki Akışın Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Yöntemi Kullanılarak İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul*
- Paterson, E.G., Wilson, R.V. ve Stern, F. (2003), *General-Purpose Parallel Unsteady RANS Ship Hydrodynamics Codes: CFDSHIP-IOWA*, IIHR Report no. 432, The University of Iowa, Iowa
- Percival, S., Hendrix, D. ve Noblesse, Francis (2001), "Hydrodynamic Optimization of Ship Hull Forms", *Applied Ocean Research*, 23 (2001) 337-355
- Peri, D. ve Campana, E.F. (2001), "Multi-Disciplinary Optimization of a Fishing Vessel in Variable Loading Conditions", *Annual Conference of Thematic Network MARNET-CFD*, 15-19 October 2001, Anissaras, Crete
- Rosen, B.S., Laiosa, J.P. ve Davis, Jr. W.H. (2000), "CFD Design Studies for America's Cup 2000" 18th Applied Aerodynamics Conference, AIAA-2000-4339, 14-17 August 2000, Denver, Colorado
- Sabuncu, T. (1993), *Gemi Hareketleri, İstanbul Teknik Üniversitesi Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri Fakültesi Ofset Baskı Atölyesi, İstanbul*
- Saha, G.K., Suzuki, K. ve Kai, H. (2004), "Hydrodynamic Optimization of Ship Hull Forms in Shallow Water", *Journal of Marine Science and Technology*, 9:51-62
- Sanchez-Caja, A., Sundell, T. ve Martio, J. (1999), "FINFLO Application to Propeller and Ship Hull Flows", *MARNET-CFD First Workshop*, 18-19 November 1999, Barcelona
- Sampaio, C.M.P., Nishimoto, K., Miyagi, C.H., Hirata, K. ve Miwa, I. (2001), "Numerical and Experimental Evaluation of the Hull Characteristics of Two-Semi-Displacement Fast

Monohulls”, Design of Ships and Other Floating Structures, 493-499

Sato, Y., Miyata, H. ve Sato, T. (1999), “CFD Simulation 3-Dimensional Motion of a Ship in Waves: Application to an Advanced Ship in Regular Heading Waves”, Journal of Marine Science and Technology, 4:108-116

Seif, M.S. ve Amini, E. (2004), “Performance Comparison Between Planing Monohull and Catamaran at High Froude Numbers”, Iranian Journal of Science & Technology, Transaction B, Vol. 28, No. B4

Simonsen, C.D ve Carstens, R (2008), “Application of RANS for Simulations of Complex Flow Problems in the Maritime Industry”, STAR European Conference, 17-18 March, 2008, London, England

Stern, F., Wilson, R., Longo, J., Carrica, P., Xing, T., Tahara, Y., Simonsen, C., Kim, J., Shao, J., Irvine, M., Kandysamy, M., Ghosh, S. ve Weymouth, G. (2003), “Paradigm for Development of Simulation Based Design for Ship Hydrodynamics”, The 8th International Conference on Numerical Ship Hydrodynamics, September 22-25, 2003, Busan, Korea

Subramanian, V.A. ve Vijayakumar, R. (2006), “An Inverse Design Approach for Minimising Wake at Propeller Plane Using CFD”, Ocean Engineering, 33 (2006) 119-136

Tahara, Y. ve Stern, F. (1996), “A Large-Domain Approach for Calculating Ship Boundary Layers and Wakes and Waves Fields for Nonzero Froude Number”, Journal of Computational Physics 127, 398-411

Tahara, Y., Longo, J. ve Stern, F. (2002), “Comparison of CFD and EFD for the Series $C_B=0.6$ in Steady Drift Motion”, Journal of Marine Science and Technology, 7:17-30

Tahara, Y., Wilson, R.V. Carrica, P.M ve Stern, F. (2006), “RANS Simulation of a Container Ship Using a Single-Phase Level-Set Method with Overset Grids and the Prognosis for Extension to Self-Propulsion Simulator”, Journal of Marine Science and Technology, 11:209-228

User Guide, STAR-CCM+ Version 3.02.006, CD-adapco, 2008

Van, S.H., Kim, W.J., Yoon, H.S., Lee, Y.Y ve Park, I.R. (2006), “Flow Measurement Around a Model Ship with Propeller and Rudder”, Experiments in Fluids, 40:533-545

Versteeg, H.K., Malalasekera, W. (1995), An Introduction to Computational Fluid Dynamics, The Finite Volume Method, Longman Scientific & Technical, Essex

Weymouth, G.D., Wilson, R.V. ve Stern, F. (2005), “RANS Computational Fluid Dynamics Predictions of Pitch and Heave Ship Motions in Head Seas”, Journal of Ship Research, Vol. 49, No.2, June 2005, 80-97

White, F.M. (2004), Akışkanlar Mekaniği (Çev., K.Kırkköprü ve E.Ayder), Literatür Yayıncılık, İstanbul

Wilson, R.V., Stern, F., Coleman, H.W. ve Paterson, E.G. (2001), “Comprehensive Approach to Verification and Validation of CFD Simulations – Part 2: Application for RANS Simulation of a Cargo/Container Ship”, Journal of Fluid Engineering, Vol.123, 803-810

Wilson, R.V., Carrica, P.M. ve Stern, F. (2006), “Unsteady RANS Method for Ship Motions with Application to Roll for a Surface Combatant”, Computers & Fluids, 35 (2006) 501-524

WS Atkins Consultants ve NSC üyeleri, Best Practice Guidelines for Marine Applications of Computational Fluid Dynamics

Yang, C., Löhner, R., Noblesse, F. ve Huang, T.T. (2000), “Calculation of Ship Sinkage and Trim Using Unstructured Grids”, European Congress on Computational Methods in Applied Sciences and Engineering ECCOMAS 2000, 11-14 September 2000, Barcelona, Spain

Yang, C., Löhner, R. ve Yim, S.C. (2005), “Development of a CFD Simulation Method for Extreme Wave and Structure Interactions”, 24th International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering, June 12-17, 2005, Halkidiki, Greece

INTERNET KAYNAKLARI

[1]www.cape-horn-eng.com

[2]www.cd-adapco.com

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 29.12.1983

Doğum yeri Sumgayıt/AZERBAYCAN

Lise	1995-2000	Turgut Özal Sumgayıt Özel Türk Lisesi
Türkçe Hazırlık	2000-2001	Ankara Üniversitesi, TÖMER, Şişli
İngilizce Hazırlık	2001-2002	Yıldız Teknik Üniversitesi
Lisans	2002-2006	Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Fakültesi Gemi İnşaatı Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	2006-2009	Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Gemi İnşaatı Mühendisliği Anabilim Dalı