



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GEMİ İNŞAATI VE GEMİ MAKİNELERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ARAŞTIRMA GEMİSİNDE PERVANE, DÜMEN VE TEKNE FORMU ETKİLEŞİMİNİN
HESAPLAMALI AKIŞKANLAR DİNAMİĞİ İLE ANALİZİ**

Mehmet Zeki ŞENER

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
"GEMİ İNŞAATI VE GEMİ MAKİNELERİ YÜKSEK MÜHENDİSİ"
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 27 / 11 / 2017

Tezin Savunma Tarihi : 19 / 12 / 2017

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Ercan KÖSE

Trabzon 2017

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Anabilim Dalında
Mehmet Zeki ŞENER Tarafından Hazırlanan**

**ARAŞTIRMA GEMİSİNDE PERVANE, DÜMEN VE TEKNE FORMU ETKİLEŞİMİNİN
HESAPLAMALI AKIŞKANLAR DİNAMİĞİ İLE ANALİZİ**

**başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 12 / 12 / 2017 gün ve 1731 sayılı
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda
YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak kabul edilmiştir.**

Jüri Üyeleri

Başkan : Prof. Dr. Ercan KÖSE



Üye : Prof. Dr. Ömer GÖREN



Üye : Yrd. Doç. Dr. Emre PEŞMAN



Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ

Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

Hesaplamalı akışkanlar dinamiği, akışkan hareketi içeren problemleri çözmek ve analiz etmek için sayısal yöntemlerin kullanıldığı bilgisayar tabanlı bir mühendislik yöntemidir. Gelişen bilgisayar teknolojisi ve ticari yazılımlar, gemilerin hesaplamalı akışkanlar dinamiği ile analizlerini mümkün kılmaya başlamıştır. Gemilerin yüksek maliyete sahip olması nedeniyle hesaplamalı akışkanlar dinamiği analizlerinin gemi inşaat sektöründe önemi giderek artmaktadır. Bu durumu göz önüne alarak tez çalışmam da KTU DENAR-1 adlı bilimsel araştırma gemisinin pervane, dümen ve gövde formu etkileşiminin hesaplamalı akışkanlar dinamiği ile analizini gerçekleştirdim.

Hazırlamış olduğum yüksek lisans tezinde beni bu konuda çalışmaya yönlendiren, bilgi birikimi ve önerileriyle bana yardımcı olan Sayın danışman hocam Prof. Dr. Ercan KÖSE'ye teşekkür ederim.

Çalışmalarında benden yardımlarını esirgemeyen Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Bölümü öğretim üyesi Yrd. Doç. Dr. Emre PEŞMAN ve KTÜ Makine Mühendisliği Bölümü öğretim üyesi Doç. Dr. Yücel ÖZMEN'e, bana olan katkılarından dolayı mezunu olduğum Karadeniz Teknik Üniversitesindeki gemi inşaatı ve gemi makineleri mühendisliğinde bulunan tüm hocalarıma, hesaplamalı akışkanlar dinamiği programlarını öğrenirken bana yardımcı olan Gemi Makineleri Bölümü'nden Arş. Gör. Erhan AKSU'ya ve çalışmalarında bana destek olan diğer tüm araştırma görevlisi arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Bu tezde, FAY-2014-91 Sürmene Deniz Bilimleri Fakültesi Araştırma Yapısını Geliştirme Projesi (Araştırma Alt Yapı Projesi (BAP04) kapsamında yapılan Gemi İnşaatı ARGE laboratuvarından yararlanılmıştır.

Mehmet Zeki ŞENER

Trabzon 2017

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Araştırma Gemisinde Pervane, Dümen Ve Tekne Formu Etkileşiminin Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği ile Analizi” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Ercan KÖSE'nin sorumluluğunda tamamladığımı, verileri ve örnekleri kendim topladığımı, analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 19.12.2017

Mehmet Zeki ŞENER

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ.....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	VII
SUMMARY.....	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	IX
TABLolar DİZİNİ.....	XI
SEMBOLLER DİZİNİ	XII
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş	1
1.2. Tez Çalışmasının Kapsam ve İçeriği	3
1.3. Literatür Araştırması.....	5
1.4. KTU DENAR-1 Araştırma Gemisinin Özellikleri	7
1.5. Sevk Sistemleri	8
1.5.1. Pervane	9
1.5.1.1. Wageningen B Serisi	9
1.5.1.2. Pervanelerin Hidrodinamik Karakteristiği.....	13
1.6. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği.....	14
1.6.1. HAD Analizlerinin Matematiksel Altyapısı	14
1.6.1.1. Akışkan Hareketinin Temel Denklemleri.....	15
1.6.1.1.1. Reynolds Transport Teoremi	15
1.6.1.1.2. Kütle Korunumu Denklemi	15
1.6.1.1.3. Momentumun Korunumu Denklemi	16
1.6.1.1.4. Navier-Stokes Denklemleri	17
1.6.2. Türbülans ve Türbülans Modelleri	18
1.6.2.1. Gerçeklenebilir k- ε Model.....	19
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR, BULGULAR VE İRDELEME	21

2.1.	Gemi Gövdesinin Tam Ölçekte Sayısal Analizi.....	21
2.2.	Pervaneni Tam Ölçekte Sayısal Analizi	29
2.3.	Dümenin Tam Ölçekte Sayısal Analizi	33
2.4.	Gemi Gövdesi ile Dümenin Birlikte Olduğu Durumun Tam Ölçekte Sayısal Analizi.....	36
2.5.	Gemi Gövdesi, Dümen ve Pervanenin Birlikte Olduğu Durumun Tam Ölçekte Sayısal Analizi	43
3.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	51
4.	KAYNAKLAR.....	52

ÖZGEÇMİŞ



Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

ARAŞTIRMA GEMİSİNDE PERVANE, DÜMEN VE TEKNE FORMU ETKİLEŞİMİNİN
HESAPLAMALI AKIŞKANLAR DİNAMİĞİ İLE ANALİZİ

Mehmet Zeki ŞENER

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Ercan KÖSE
2017, 53 Sayfa

Gemilerin üretim maliyetlerinin yüksek olması ve bu maliyetlerin giderek artması nedeniyle hesaplamalı akışkanlar dinamiği ile yapılabilecek analizler gemi inşaat sektöründe büyük önem kazanmıştır. Gemi üretimine başlamadan önce yapılan hesaplamalı akışkanlar dinamiği analizleri sayesinde, ortaya çıkabilecek problemler incelenerek bu problemler engellenebilir. Bu analizler, üretim öncesinde ürünü geliştirmeyi mümkün kılmaktadır. Yapılabilecek değişiklikler sayesinde fazla maliyetin, boşa giden iş gücünün ve zaman kaybının önüne geçilebilmekte, ürün kalitesi arttırılabilmektedir.

Bu tez çalışmasında KTU DENAR-1 adlı bilimsel araştırma gemisinin pervane, dümen ve tekne formu etkileşiminin hesaplamalı akışkanlar dinamiği ile analizi yapılmıştır. KTU DENAR-1 yakın kıyusal sefer gerçekleştirmek amacı ile navigasyon ve bilimsel çalışmalar için tasarlanmış ve donatılmıştır. KTU DENAR-1'in gövde formu, pervane, dümen, gemi-dümen, gemi-dümen-pervane modellerinin ayrı ayrı sayısal analizleri yapıldıktan sonra, birbirleriyle olan etkileşimleri hidrodinamik açıdan incelendi. Hesaplamalı akışkanlar dinamiği analizleri "ANSYS FLUENT 16.0" yazılımı kullanılarak gerçekleştirildi ve analizler için gerekli olan ağ yapısı (mesh) "ANSYS ICEMCFD 16.0" yazılımı kullanılarak oluşturuldu.

Anahtar Kelimeler: Gövde-pervane-dümen etkileşimi, Gemi, Pervane, Dümen, Akışkan Hacimleri Yöntemi, Hesaplamalı akışkanlar dinamiği

Master Thesis

SUMMARY

ANALYSIS OF HULL-PROPELLER-RUDDER INTERACTION OF A RESEARCH SHIP BY
USİNG COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS

Mehmet Zeki ŞENER

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Naval Architecture and Marine Engineering
Supervisor: Prof. Dr. Ercan KÖSE
2017, 53 Pages

Due to the high production costs of vessels and gradual increase of these costs, analyzes that can be done with computational fluid dynamics have gained great importance in the shipbuilding industry. Most problems can be avoided by examining the analysis of computational fluid dynamics performed prior to the start of shipbuilding. These analyzes make it possible to develop the product before production. Due to the changes that can be made, it is possible to increase the quality of the product by avoiding costly, wasted work and loss of time.

In this thesis, the analysis of the propeller, rudder and hull interaction of the scientific research ship named KTU DENAR-1 was carried out with computational fluid dynamics. KTU DENAR-1 is designed and equipped for navigation and scientific studies with the aim of performing near coastal voyage. Hull, propeller, rudder, hull-rudder, and hull-rudder-propeller models were investigated hydrodynamically in terms of their interactions with each other. Computational fluid dynamics analyses were performed using ANSYS FLUENT 16.0 software and the mesh required for the analyzes was constructed using ANSYS ICEMCFD 16.0 software.

Key Words: Hull–propeller–rudder interaction, Ship, Propeller, Rudder, Volume of Fluid Method, Computational fluid dynamics

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.1.	Geliştirilmiş çeşitli pervane modelleri.....	2
Şekil 1.2.	Bilimsel araştırma gemisi "KTU DENAR-1".....	7
Şekil 1.3.	Pervane koordinat sistemi ve hız notasyonu.....	9
Şekil 1.4.	Bir kanadın kesit alanı	10
Şekil 2.1.	Akış alanı geometrisi ve sınır şartları	22
Şekil 2.2.	Üç boyutlu ağ yapısı	23
Şekil 2.3.	$V=3.07$ m/s için su hacim oranı (a), statik basınç (b) ve su hacim oranı ile renklendirilmiş akım çizgileri (c)	25
Şekil 2.4.	$V=3.78$ m/s için su hacim oranı (a), statik basınç (b) ve su hacim oranı ile renklendirilmiş akım çizgileri (c)	26
Şekil 2.5.	$V=4.49$ m/s için su hacim oranı (a), statik basınç (b) ve su hacim oranı ile renklendirilmiş akım çizgileri (c)	27
Şekil 2.6.	$V=5.19$ m/s için su hacim oranı (a), statik basınç (b) ve su hacim oranı ile renklendirilmiş akım çizgileri (c)	28
Şekil 2.7.	Akış alanı geometrisi ve sınır şartları	29
Şekil 2.8.	Üç boyutlu ağ yapısı	30
Şekil 2.9.	İtme ve tork katsayısının ilerleme katsayısına göre olan değişimleri.....	31
Şekil 2.10.	Pervane yüzeyi üzerindeki basınç dağılımı: (a=3.07 m/s; b=3.78 m/s; c= 4.49 m/s; d=5.19 m/s).....	32
Şekil 2.11.	Akış alanı geometrisi ve sınır şartları	33
Şekil 2.12.	Üç boyutlu ağ yapısı	33
Şekil 2.13.	Dümen yüzeyi üzerindeki basınç dağılımları (a=3.07 m/s; b=3.78 m/s; c= 4.49 m/s; d=5.19 m/s).....	35
Şekil 2.14.	Akış alanı geometrisi ve sınır şartları	36
Şekil 2.15.	Üç boyutlu ağ yapısı	37
Şekil 2.16.	$V=3.07$ m/s için su hacim oranı (a), statik basınç (b) ve su hacim oranını ile renklendirilmiş akım çizgileri (c)	39
Şekil 2.17.	$V=3.78$ m/s için su hacim oranı (a), statik basınç (b) ve su hacim oranını ile renklendirilmiş akım çizgileri (c)	40

Şekil 2.18. $V=4.49$ m/s için su hacim oranı (a), statik basınç (b) ve su hacim oranını ile renklendirilmiş akım çizgileri (c)	41
Şekil 2.19. $V=5.19$ m/s için su hacim oranı (a), statik basınç (b) ve su hacim oranını ile renklendirilmiş akım çizgileri.....	42
Şekil 2.20. Akış alanı geometrisi ve sınır şartları	43
Şekil 2.21. Üç boyutlu ağ yapısı	44
Şekil 2.22. İtme ve tork katsayısının ilerleme katsayısına göre olan değişimleri.....	45
Şekil 2.23. Pervaneye gelen akım izleri: (a) Gemi gövdesi analizi, (b) Gemi gövdesi-dümen-pervane analizi.....	45
Şekil 2.24. $V_a=3.07$ m/s için su hacim oranı (a), statik basınç (b), su hacim oranı ile renklendirilmiş akım çizgileri (c) ve kış bölgesinde hız ile renklendirilmiş akım çizgileri	46
Şekil 2.25. $V_a=3.07$ m/s için su hacim oranı (a), statik basınç (b), su hacim oranı ile renklendirilmiş akım çizgileri (c) ve kış bölgesinde hız ile renklendirilmiş akım çizgileri	47
Şekil 2.26. $V_a=3.07$ m/s için su hacim oranı (a), statik basınç (b), su hacim oranı ile renklendirilmiş akım çizgileri (c) ve kış bölgesinde hız ile renklendirilmiş akım çizgileri	48
Şekil 2.27. $V_a=3.07$ m/s için su hacim oranı (a), statik basınç (b), su hacim oranı ile renklendirilmiş akım çizgileri (c) ve kış bölgesinde hız ile renklendirilmiş akım çizgileri	49
Şekil 2.28. Pervane yüzeyi üzerindeki basınç dağılımı: 3.07 m/s (a), 3.78 m/s (b), 4.49 m/s (c), 5.19 m/s (d).....	50

TABLULAR DİZİNİ

Sayfa No

Tablo 1.1. "KTU DENAR-1" gemisine ait temel boyutlar ve bazı diğer bilgiler.	8
Tablo 1.2. Dört, beş, altı ve yedi kanatlı pervanelerin boyutları.	11
Tablo 1.3. Üç kanatlı pervanelerin boyutları.....	11
Tablo 1.4. Denklemlerde kullanılan V_1 değerleri.....	12
Tablo 1.5. Denklemlerde kullanılan V_2 değerleri.....	13
Tablo 2.1. Gemi gövdesinde oluşan su direnci.....	23
Tablo 2.2. Pevaneye ait temel boyutlar ve özellikler.	29
Tablo 2.3. Dümen üzerinde oluşan su direnci.	34
Tablo 2.4. Suyun oluşturduğu direnç kuvvetleri.	37

SEMBOLLER DİZİNİ

A	: Alan
C_B	: Blok katsayısı
C_D	: Sürüklenme katsayısı
C_L	: Kaldırma katsayısı
D	: Pervanenin çapı
F	: Kuvvet
F'	: Birim uzunluğa düşen kuvvet
g	: Yerçekimi ivmesi
J	: İlerleme Katsayısı
k	: Türbülans kinetik enerjisi
K_Q	: Tork Katsayısı
K_T	: İtme Katsayısı
m	: Kütle
N	: Pervanenin saniyedeki devir sayısı
P	: Basınç
R	: Yarı çap
Q	: Pervane torku
t	: Zaman
T	:Pervanenin itme kuvveti
t_{max}	: Kanat kesitinin maksimum kalınlığı
$t_{l,e}$: Hücüm kenarındaki ekstrapolasyon kanat kesit kalınlığı
$t_{f,e}$: Firar kenarındaki ekstrapolasyon kanat kesit kalınlığı
u, v, w	: Hız bileşenleri
\bar{V}	: Hız alanı
V	: Serbest akış hızı
V_A	: Pervaneye gelen suyun ortalama akım hız
β	: Yoğun özellik
Φ	: Yaygın özellik

- ρ : Yoğunluk
 $\bar{\nabla}$: Gradyen operatörü
 σ_{ij} : Gerilme tensörü
 τ_{ij} : Viskoz gerilme tensörü
 μ : Dinamik viskozite
 ν : Kinematik viskozite
 ε : Türbülans yutulma oranı
 μ_t : Türbülans viskozitesi



1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

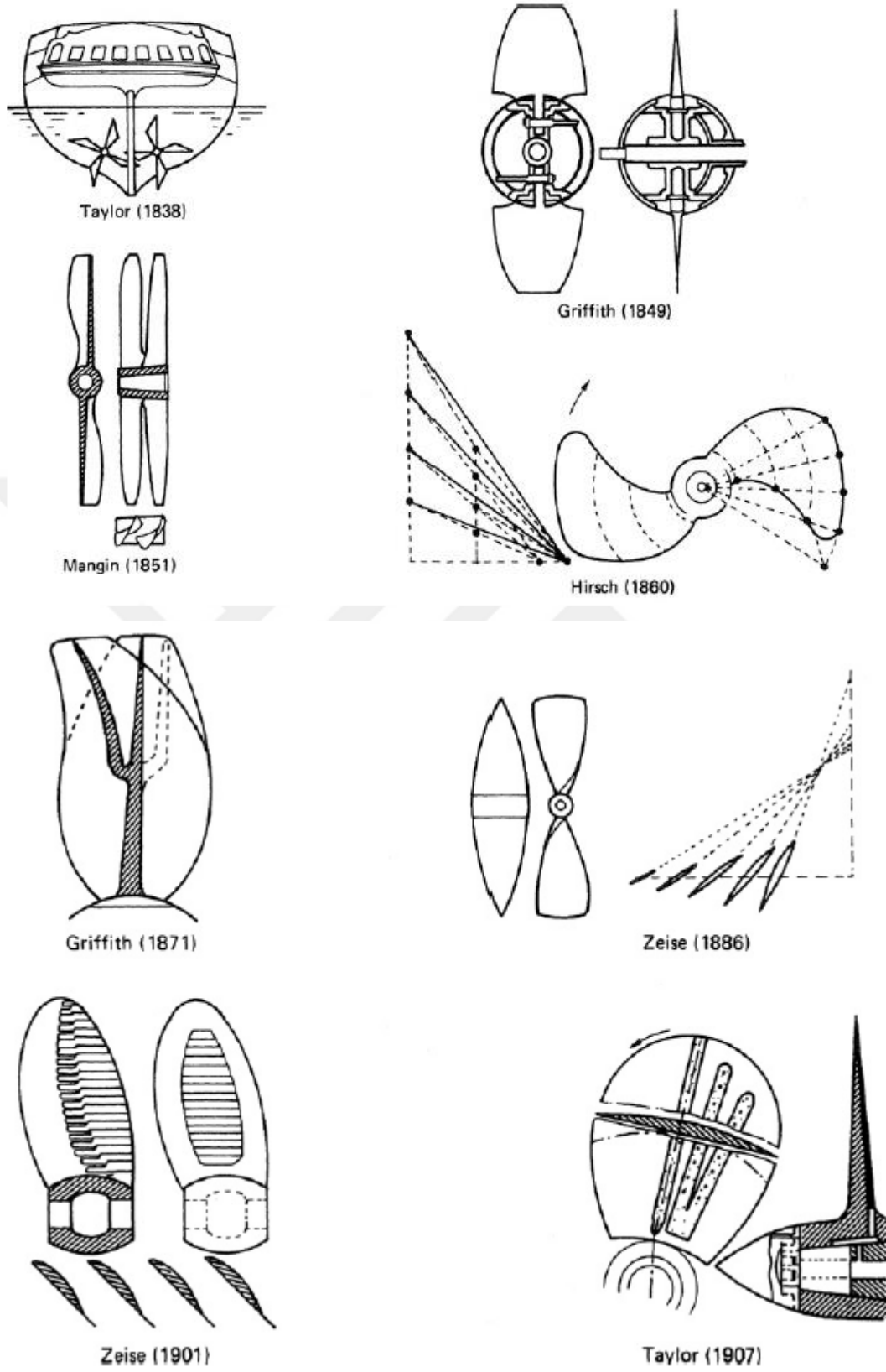
Gemilerin tarihi o kadar eskiye dayanır ki günümüzde hala ilk geminin nerede ve kimler tarafından yapıldığı bilinmemektedir. Tarihi kaynaklar bize en eski geminin M.Ö 3000'li yıllarda Eski Mısırlılar tarafından yapıldığını göstermektedir. İnsanlar ilk kez yük ve yolcu taşımak için deniz ulaşımını kullanmaya başladıklarında ellerindeki malzemelere göre farklı niteliklerde kayıklar yapmışlardır. Yaptıkları bu kayıkların sevki için kürek ve yelken gibi sistemler kullanılmaktaydı.

Teknolojinin gelişmesiyle birlikte 19. yüzyıl başlarında buhar makineleri padıl çark mekanizmalarıyla birlikte kullanıldı ve böylelikle gemi sevkinde mekanik sevk sistemleri kullanılmaya başlanmış oldu. 1850 yılına kadar yaygın olarak kullanılan padıl çark mekanizmaları başarılı pervane uygulamalarından sonra önemini kaybetmeye başladı. 1850'li yıllarda pervanenin yaygınlaşmaya başlamasıyla birlikte pervaneden alınan verimi arttırabilmek için yeni pervane modelleri geliştirildi. Bu pervaneler farklı tür ve boyutlardaki gemilerde buhar makineleriyle birlikte denenmeye başlandı ancak bu denemeler oldukça maliyetli ve gerçekleştirilebilmeleri uzun zaman almaktaydı. Zorlu şartlarda geliştirilseler de yüksek verime sahip olmaları ve kullanımlarının uygunluğu nedeniyle günümüze kadar pervanenin temel yapısı aynı kaldı ve birçok pervane modeli geliştirildi (Şekil 1).

Gelişen teknoloji ile birlikte pervanelerin tahriki için içten yanmalı motorlar kullanılmaya başlandı ve bu sistem gemilerin sevki için kullanılan en yaygın yöntemdir. Verimleri ve kullanım kolaylığı göz önüne alındığında gelecekte de uzun bir süre bu sistem kullanılacaktır.

Günümüzde, mühendislik uygulamalarını deneysel ve teorik yöntemlerin yanında nümerik olarak da inceleyebilmekteyiz. Hesaplmalı akışkanlar dinamiği (HAD) akışkan hareketini nümerik olarak incelememizi sağlayan bilgisayar tabanlı bir mühendislik yöntemidir. HAD uygulamaları için ticari yazılımların ortaya çıkması ve bilgisayarların yaygınlaşması sayesinde HAD birçok alanda etkin olarak kullanılmaya başlanmıştır.

2000'li yıllardan sonra hızla gelişen bilgisayar teknolojisi sayesinde gemi inşa sektöründe HAD'ın kullanımı kolaylaşmıştır. Bu da bize gemilerde uyguladığımız sevk sistemlerini sayısal olarak HAD ile inceleme imkânı vermektedir.



Şekil 1.1. Geliştirilmiş çeşitli pervane modelleri [1]

HAD ile yapılan analizler yüksek maliyetlere sahip olan pervanelerin tasarımlarında, üretime geçilmeden önce ürünü geliştirmemize olanak verir. Pervaneye gelen akım, pervane izi, pervane üzerindeki basınç dağılımı, pervane kavitasyonu gibi birçok fiziksel durumun HAD analizleri ile incelenip ortaya çıkabilecek problemlerin belirlenmesi mümkündür. Üretim öncesinde bu problemlerin giderilmesi sayesinde fazla maliyetin, boşa giden iş gücünün, zaman kaybının önüne geçilebilir ve ürün kalitesi artırılabilir.

Literatürde daha önceden pervane, dümen ve gövde etkileşimi ile ilgili çalışmalar bulunmasına rağmen kullanılacak geminin tipi, boyutları, pervanenin dizaynı, pervane sayısı, dümenin konumu ve skeg kullanımı gibi birçok fiziksel etmen bu çalışmaları birbirinden ayırmaktadır. Bu tezde yapılan çalışmaların temel amacı bir araştırma gemisi olan KTU DENAR-1 için pervane, dümen, gemi gövdesi etkileşimi etkilerini tam ölçekte HAD ile inceleyerek HAD'ın bu alandaki uygulanabilirliğini göstermektir.

1.2. Tez Çalışmasının Kapsam ve İçeriği

Verim, elde edilen yararlı işin bu iş için harcanan enerjiye olan oranı olarak ifade edilebilir. Bir mühendisin ürettiği veya geliştirdiği ürünün kalitesi üründen alınan verim ile değerlendirilir. Tasarlanan ürünün prototipini üretmek bu üründen ne kadar verim alınabildiğini bilmek ürünü geliştirebilmek için en iyi yoldur ancak ürünün maliyeti, üretim sürecinin uzunluğu, çevreye olan etkisi ve kısıtlı kaynaklar gibi birçok etmen prototip üretebilmeyi her zaman mümkün kılmaz. Gemi inşa sektöründe de üretim sürecinin uzunluğu ve ürün maliyetinin fazla olması nedeniyle her tasarımdan sonra prototip üretmek mümkün değildir. Tasarlanan ürünün beklentileri karşılayıp karşılamayacağını öğrenebilmek için HAD kullanmak hem maliyet hem de süre açısından çok uygundur. Bu nedenle yapılan çalışmalarda HAD'dan yararlanılmıştır.

Bu tez çalışmasında, yakın kıyısız seferler gerçekleştirmek amacı ile navigasyon ve bilimsel çalışmalar için tasarlanmış olan KTU DENAR-1 adlı bilimsel araştırma gemisinin pervane, dümen ve gemi gövdesinin birbirleriyle olan etkileşimi HAD ile incelenerek ilgili alanda HAD'ın uygulanabilirliği ortaya konmuştur.

HAD analizleri 5 ayrı durum için gerçekleştirilmiştir. Bu durumlar:

1. Durum: DENAR-1'in dümen ve pervaneden bağımsız olan gemi gövdesinin tam ölçekte sayısal analizi,
2. Durum: DENAR-1'de kullanılan Wageningen B serisi 4 kanatlı pervanenin tam ölçekte sayısal analizi,
3. Durum: DENAR-1'de kullanılan levha tipi dümenin tam ölçekte analizi
4. Durum: DENAR-1'in dümen ile birlikte gemi gövdesinin pervaneden bağımsız olarak tam ölçekte sayısal analizi,
5. Durum: DENAR-1'in gemi gövdesinin, dümeninin ve pervanesinin birlikte olduğu durumun tam ölçekte analizidir.

Bu dört durumun HAD analizlerinden elde edilen sonuçlar kullanılarak KTU DENAR-1 araştırma gemisinin gemi gövdesi, dümen ve pervane etkileşimi incelenmiştir.

Birinci durumda gemi gövdesi üzerindeki statik basınç dağılımı, gemi arkasında oluşan akım hatları, gemi yüzeyinde oluşan ıslak alan ve gemi gövdesinin direnci belirlenmiştir.

İkinci durumda pervanenin itme katsayısı, tork katsayısı ve pervane üzerindeki statik basınç belirlenmiştir.

Üçüncü durumda, dümen üzerindeki statik basınç dağılımları ve dümen üzerinde oluşan su direnci belirlenmiştir.

Dördüncü durumda, toplam gemi direnci, statik basınç dağılımları, gemi arkasında oluşan akım hatları ve gemi yüzeyinde oluşan ıslak alan belirlenmiştir.

Beşinci durumda pervanenin itme katsayısı, tork katsayısı, pervane üzerindeki statik basınç dağılımları, pervaneye gelen akım izi, akım hatları, gemi yüzeyindeki statik basınç dağılımları, gemi arkasında oluşan akım hatları ve gemi yüzeyinde oluşan ıslak alan belirlenmiştir.

Gemi gövdesi, dümen ve pervane etkileşimi kısmında, dümen ve gemi gövdesinin pervane performansına olan etkisini belirlemek için birinci ile beşinci durumdan elde edilen sonuçlar ve dümen üzerindeki etkisini belirlemek için üçüncü ile beşinci durumdan elde edilen sonuçlar birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Pervane ile dümenin gemi kıçındaki akıma olan etkisi, ikinci durumdan elde edilen sonuçların dördüncü ile beşinci durumdan elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmasıyla değerlendirilmiştir.

Sonuçlar kısmında, elde edilen bulgular değerlendirilerek gemi gövdesi, dümen ve pervane etkileşimiyle ilgili çıkarımlarda bulunulmuştur.

Öneriler kısmında, ilgili alanda yapılabilecek önemli araştırma ve çalışma konularına yer verilmiştir ve bu çalışmaların gemi sektörüne sağlayacağı katkılardan bahsedilmiştir.

1.3. Literatür Araştırması

Gemilerde pervane, dümen ve gövde formunun etkileşimi üzerine literatürde çalışmalar bulunmaktadır. Bu konu gemi inşaatında önemli bir unsur olduğundan günümüzde hala çalışılan bir konudur.

Young T. Shen ve diğ. 1997 yılında yayınladıkları makalede, gövde formu ve pervanenin dümen kavitasyonuna olan etkisini deneysel ve sayısal olarak incelemişlerdir[2]. Sonuçlar farklı dümen açıları için elde edilmiş olan dümen yüzeylerindeki basınç dağılım grafikleri, sürüklenme kuvveti katsayısının dümen açısına göre olan değişimi, kaldırma kuvveti katsayısının dümen açısına göre olan değişimi, dümen açısının yüzey kavitasyon başlangıç noktasına olan etkisi ve gemi hızının sürüklenme kuvveti katsayısına olan etkisinin belirlenmesiyle değerlendirilmiştir.

Claus D. Simonsen 2000 yılında yayınladığı doktora tezinde, Iowa üniversitesinde bulunan Iowa Institute of Hydraulic Research'de geliştirilmiş CFDSHIP-IOWA HAD kodunu kullanarak elde ettiği sonuçları deneysel sonuçlarla karşılaştırarak bu kodun gemilerde dümen, pervane ve gövde formu etkileşiminin belirlenmesindeki uygulanabilirliğini incelemiştir[3].

Shreenaath Natarajan 2003 yılında yayınladığı tez çalışmasında pervaneden gelen akışa maruz kalan dümenlerde kavitasyon analizi için sonlu hacim yöntemi, vortex-lattice yöntemi ve sınır elemanları yöntemlerini birleştiren bir iteratif yöntem geliştirmiştir[4].

Young-Gill Lee ve diğ. 2008 yılında yayınladıkları makalede, gövde ve pervane ile etkileşime giren bir dümen çevresinde akış özelliklerinin sayısal simülasyonu için, gridgen programı tarafından üretilen akıcı kod ve gövde takma ağ sistemleri kabul edilmiştir[5].

Mario Felli ve diğ. 2009 yılında yayınladıkları makalede, pervane-dümen konfigürasyonu etrafındaki akış alanını deneysel olarak incelemişlerdir[6]. Bu çalışma, dümenin önünde ve arkasındaki izin iki çapraz düzleminde, LDV ile elde edilen faz

ortalamalı hız ölçümleri ile ilgilidir. Pervanelerin, bir dümen performansına olan etkileri, özellikle kararsız akış özelliklerine dikkat çekilerek vurgulanmıştır.

Xiao Wang ve diğ. 2012 yılında yayınladıkları makalede, RANS metodu ile zaman bağımlı rejimde çözdükleri üç boyutlu çift pervane ve çift dümene sahip bir gemi modelinde dinamik mesh kullanarak 6 serbestlik derecede sonuçlar elde etmişlerdir[7]. Direnç ve ω_p , u_R , α_R , α_H , x_H dahil olmak üzere girişim katsayılarının sonuçları deney sonuçları ile uyumlu olmuştur.

Ömer Kemal Kınacı 2013 yılında yayınladığı doktora tezinde teknenin tamamen suya battığı kabulünü yaparak dalga direncinin ihmal edildiği durum için gövde formu, dümen ve pervane etkileşimini incelemiştir[8].

Win Yan Naing 2014 yılında yayınladığı doktora tezinde “simple body-force distribution” modelinin Moeri KVLCC2 tanker gemisinin pervane-gövde formu ve pervane-gövde formu-dümen etkileşimi üzerindeki uygulanabilirliği üzerine bir çalışma yapmıştır[9].

Lei He ve diğ. 2017 yılında yayınladıkları makalede, pervane ve dümen arasındaki kararsız etkileşimi ifade etmek için potansiyel bir akış metoduna dayanan sayısal bir yaklaşım geliştirmiştir[10]. Bu yaklaşımda, dümen etrafındaki akışı çözmek için bir panel yöntemi ve çevredeki akışı çözmek için bir vortex lattice yöntemi kullanılmıştır. Pervane ve dümen arasındaki etkileşimi çözmek için iteratif bir prosedür benimsenmiş ve bir bileşenin diğerine etkisi, her adımda diğer bileşen nedeniyle oluşan hızları kullanarak değerlendirilmiştir. Kararsız pervane akışını ifade edebilmek için vortex lattice yöntemine tamamen değişken bir iz hizalama algoritması uygulanmıştır. Rosenhead-Moore çekirdek modeli, tekilliklerin ve istikrarsızlıktan kaçınmak için iz hizalama prosedürü sırasında kullanılmıştır. Lamb-Oseen girdap modeli, mevcut yöntemde, dümen etrafındaki girdap kuvvetini çürütmek ve gerçekçi olmayan yüksek indüklenen hızı ortadan kaldırmak için benimsenmiştir. Bu yöntemlerin hepsi, 6 kanatlı bir pervanenin varlığında kavitasyonlu bir boynuz tipi dümenin performansını öngörmek için uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar deneylerden gözlemlenenlerle karşılaştırılmıştır.

1.4. KTU DENAR-1 Araştırma Gemisinin Özellikleri

Araştırma gemileri denizde araştırma yapmak amacıyla özel olarak dizayn edilen ve ilgili alanda donanım ve ekipmanlara sahip gemilerdir. Araştırma gemileri, balıkçılık araştırmaları, petrol ve doğalgaz araştırmaları, deprem araştırmaları, gibi herhangi bir amaç için kullanılabilir[11].

Araştırma gemilerinin temel kullanım alanları aşağıda verilmiştir.

- Hidrografik incelemeler
- Oşinografi araştırmaları
- Sismik incelemeler
- Balıkçılık araştırmaları
- Kutup araştırmaları
- Deniz harp araştırmaları
- Deprem araştırmaları
- Meteorolojik araştırmalar
- Jeolojik ve jeofiziksel araştırmalar
- Petrol ve doğalgaz araştırmaları

KTU DENAR-1 gemisi hidrografik incelemelerde ve oşinografi, jeofiziksel, jeolojik, meteoroloji, balıkçılık araştırmalarda kullanılmak için tasarlanmış bir araştırma gemisidir(şekil 1.2.). 09.09.2014 tarihinde denize indirilen bu gemi Karadeniz Teknik Üniversitesi bünyesinde eğitim ve araştırma gemisi olarak faaliyet göstermektedir.



şekil 1.2. Bilimsel araştırma gemisi "KTU DENAR-1"

Pervane, dümen, gemi gövdesi etkileşimini inceleyen bu çalışma, Karadeniz Teknik Üniversitesine ait KTU DENAR-1 bilimsel araştırma gemisinin tam ölçekli modeli kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu gemiye ait temel boyutlar ve bazı diğer bilgiler tablo 1.1'de verilmiştir.

Tablo 1.1. "KTU DENAR-1" gemisine ait temel boyutlar ve diğer bilgiler

Gemi Adı	KTÜ DENAR-1
Bayrağı	T.C
IMO Numarası	8672304
Sahibi	Karadeniz Teknik Üniversitesi
Klas	Türk Loydu
Ana Görev Fonksiyonu	Bilimsel Araştırma Gemisi
Operasyon Bölgesi	A2
Tam Boy	32,47 m
Genişlik	9,60 m
Yükseklik	4 m
Su Kesimi	2,5 m
Net Tonajı	115
Gros Tonaj	384
Maksimum Sürati	11 Knts
Ana Makine	DAIWOO 2x400 HP
Pervane Sayısı	2
Dümen Sayısı	2

1.5. Sevk Sistemleri

Giriş bölümünde pervanenin tarihsel gelişiminin ana hatları ve bunun ilerlemeleri hakkında bilgiler bulunmaktadır. Pervanenin çeşitli yönlerini daha derinlemesine tartışmadan önce konunun genel bir görünümünü elde etmek önemlidir. Bu nedenle bu bölümde günümüzde kullanılan sevk sistemleri hakkında kısaca bilgi verilmekte ve pervane bir sonraki bölümde daha ayrıntılı olarak ele alınmaktadır.

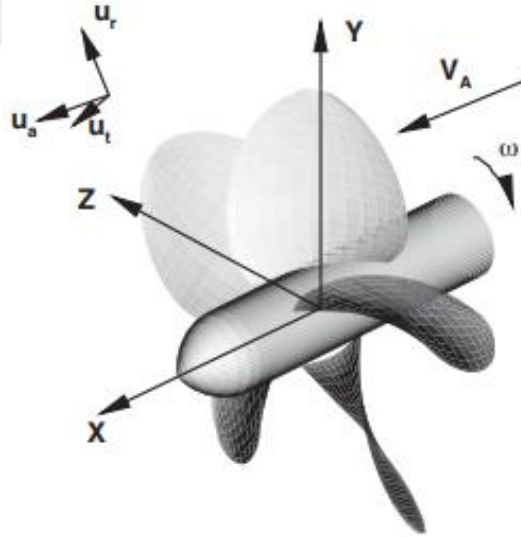
Gemilerin istenen bir hızda seyredabilmeleri için hareket ettikleri ortamda üzerlerinde oluşan direnç kuvvetlerini yemeleri gerekir. Gemiler bu direnç kuvvetini sevk sisteminin ürettiği itme kuvvetiyle yenerler. Günümüzde gemilerin sevk için kullanılan birçok sevk sistemi mevcuttur. Bu sistemlerden en yaygın olanı ana makine ve pervanenin sağladığı itme kuvveti ile sevk sistemidir. Gemilerin gereksinimleri doğrultusunda gerekli itme kuvvetini, manevra kabiliyetini ve pervane verimini sağlamak üzere birçok pervane modeli geliştirilmiştir. Bu pervane modellerinden bazıları sabit kanatlı pervaneler, hatve

kontrollü pervaneler, nozullu pervaneler, zıt dönüşlü pervaneler, üst üste bindirilmiş pervaneler, tandem pervaneler ve düşey pervanelerdir.

Sabit kanatlı pervaneler, kanatları pervane ile birlikte yekpare dökülen veya pervane kanatları saplamalarla göbeğe tutturulan pervane çeşitleridir. Kurulum ve bakım maliyetlerinin düşük olmaları ve uzun yıllar sorunsuz kullanılabilmeleri nedeniyle en yaygın kullanılan pervane türüdür. KTU DENAR-1 gemisinde de Wageningen B serisine ait sabit kanatlı iki adet pervane bulunmaktadır ve çalışmalarda bu pervane modeli kullanılmıştır.

1.5.1. Pervane

Pervane, bir silindir etrafına eşit aralıklarla yerleştirilmiş helisel yüzeylerden oluşan ve su içinde bir vida gibi çalışan gemi elemanıdır. Pervanenin dönmesi sonucu, akışkanın pervane üzerinde oluşturduğu etki-tepki nedeniyle pervanenin bağlı olduğu gemi bir öteleme hareketi yapmaktadır[12].

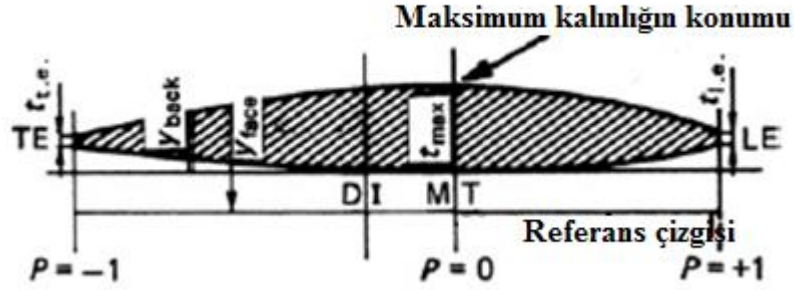


Şekil 1.3. Pervane koordinat sistemi ve hız notasyonu [13]

1.5.1.1. Wageningen B Serisi

Wageningen B serisi belki de en kapsamlı ve yaygın olarak kullanılan pervane serisidir. Bu seri Troost tarafından 1940'ların sonlarında yayınlanan bir makale ile sunuldu ve pek çok araştırmacı bu seriyi “Troost serisi” olarak anmaktadır.

Wageningen B serisi, tasarım ve analiz amaçları için yaygın olarak kullanılan, genel amaçlı, sabit hatveli, nozulsuz bir pervane serisidir. Bu serinin BB serisi olarak adlandırılan bir modeli, B serisinin modern uygulamayı tamamen temsil etmeyen kord uzunluklarına sahip olduğu düşünülerek piyasaya sürüldü ancak yalnızca birkaç üyesi bulunan BB serisi yaygın olarak kullanılmadı[1].



Şekil 1.4. Bir kanadın kesit alanı [1]

LE = Hücüm kenarı (Leading Edge)

TE = Firar kenarı (Trailing edge)

MT = Maximum kalınlığın olduğu yer

$P \leq 0$ için

$$Y_{face} = V_1(t_{max} - t_{t.e.}) \quad (1.1)$$

$$Y_{back} = (V_1 + V_2)(t_{max} - t_{t.e.}) + t_{t.e.} \text{ ve} \quad (1.2)$$

$P \geq 0$ için

$$Y_{face} = V_1(t_{max} - t_{l.e.}) \quad (1.3)$$

$$Y_{back} = (V_1 + V_2)(t_{max} - t_{l.e.}) + t_{l.e.} \quad (1.4)$$

Y_{face}, Y_{back} = Bir kanat kesitinde ön ve arka yüzey noktalarının referans çizgisine göre verilmiş olan dikey ordinatlar

t_{max} = Kanat kesitinin maximum kalınlığı

$t_{t.e.}, t_{l.e.}$ = Hücüm ve firar kenarındaki ekstrapolasyon kanat kesit kalınlığı

$V_1, V_2 = r/R$ ve P' ye bağlı olarak verilen tablo halindeki fonksiyonlar.

P = Referans çizgisi üzerinde maksimum kalınlığın konumundan hücum kenarına (P = 1) ve maksimum kalınlığın konumundan firar kenarına (P = -1) kadar olan boyutsuz koordinat.

Tablo 1.2. Dört, beş, altı ve yedi kanatlı pervanelerin boyutları [1]

r/R	$\frac{r}{R} \cdot \frac{Z}{A_E/A_O}$	a/c	b/c	$t/D = A_r - B_r Z$	
				A_r	B_r
0.2	1.662	0.617	0.350	0.0526	0.0040
0.3	1.882	0.613	0.350	0.0464	0.0035
0.4	2.050	0.601	0.351	0.0402	0.0030
0.5	2.152	0.586	0.355	0.0340	0.0025
0.6	2.187	0.561	0.389	0.0278	0.0020
0.7	2.144	0.524	0.443	0.0216	0.0015
0.8	1.970	0.463	0.479	0.0154	0.0010
0.9	1.582	0.351	0.500	0.0092	0.0005
1.0	0.000	0.000	0.000	0.0030	0.0000

Tablo 1.3. Üç kanatlı pervanelerin boyutları [1]

r/R	$\frac{r}{R} \cdot \frac{Z}{A_E/A_O}$	a/c	b/c	$t/D = A_r - B_r Z$	
				A_r	B_r
0.2	1.633	0.616	0.350	0.0526	0.0040
0.3	1.832	0.611	0.350	0.0464	0.0035
0.4	2.000	0.599	0.350	0.0402	0.0030
0.5	2.120	0.583	0.355	0.0340	0.0025
0.6	2.186	0.558	0.389	0.0278	0.0020
0.7	2.168	0.526	0.442	0.0216	0.0015
0.8	2.127	0.481	0.478	0.0154	0.0010
0.9	1.657	0.400	0.500	0.0092	0.0005
1.0	0.000	0.000	0.000	0.0030	0.0000

$A_R, B_R = t/D$ denklemi için sabitler

a = r'de hücum kenarı ve üretici hat arasındaki mesafe

b = Hücum kenarı ve kanat kesitinin maksimum kalınlığının konumu arasındaki mesafe

$c = r$ yarıçapındaki kanat kesitinin kord uzunluğu

$t = r$ yarıçapındaki kanat kesitinin maksimum kalınlığı

Tablo 1.4. Denklemlerde kullanılan V_1 değerleri [1]

r/R	P	-1.0	-0.95	-0.9	-0.8	-0.7	-0.6	-0.5	-0.4	-0.2	0
0.7-1.0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.6		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.5		0.0522	0.0420	0.0330	0.0190	0.0100	0.0040	0.0012	0	0	0
0.4		0.1467	0.1200	0.0972	0.0630	0.0395	0.0214	0.0116	0.0044	0	0
0.3		0.2306	0.2040	0.1790	0.1333	0.0943	0.0623	0.0376	0.0202	0.0033	0
0.25		0.2598	0.2372	0.2115	0.1651	0.1246	0.0899	0.0579	0.0350	0.0084	0
0.2		0.2826	0.2630	0.2400	0.1967	0.1570	0.1207	0.0880	0.0592	0.0172	0
0.15		0.300	0.2824	0.2650	0.2300	0.1950	0.1610	0.1280	0.0955	0.0365	0

a

r/R	P	+1.0	+0.95	+0.9	+0.85	+0.8	+0.7	+0.6	+0.5	+0.4	+0.2	0
0.7-1.0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.6		0.0382	0.0169	0.0067	0.0022	0.0006	0	0	0	0	0	0
0.5		0.1278	0.0778	0.0500	0.0328	0.0211	0.0085	0.0034	0.0008	0	0	0
0.4		0.2181	0.1467	0.1088	0.0833	0.0637	0.0357	0.0189	0.0090	0.0033	0	0
0.3		0.2923	0.2186	0.1760	0.1445	0.1191	0.0790	0.0503	0.0300	0.0148	0.0027	0
0.25		0.3256	0.2513	0.2068	0.1747	0.1465	0.1008	0.0669	0.0417	0.0224	0.0031	0
0.2		0.3560	0.2821	0.2353	0.2000	0.1685	0.1180	0.0804	0.0520	0.0304	0.0049	0
0.15		0.3860	0.3150	0.2642	0.2230	0.1870	0.1320	0.0920	0.0615	0.0384	0.0096	0

b

Tablo 1.5. Denklemlerde kullanılan V_2 değerleri [1]

r/R	P	-1.0	-0.95	-0.9	-0.8	-0.7	-0.6	-0.5	-0.4	-0.2	0
0.9-1.0	0	0	0.0975	0.19	0.36	0.51	0.64	0.75	0.84	0.96	1
0.85	0	0	0.0975	0.19	0.36	0.51	0.64	0.75	0.84	0.96	1
0.8	0	0	0.0975	0.19	0.36	0.51	0.64	0.75	0.84	0.96	1
0.7	0	0	0.0975	0.19	0.36	0.51	0.64	0.75	0.84	0.96	1
0.6	0	0	0.0965	0.1885	0.3585	0.5110	0.6415	0.7530	0.8426	0.9613	1
0.5	0	0	0.0950	0.1865	0.3569	0.5140	0.6439	0.7580	0.8456	0.9639	1
0.4	0	0	0.0905	0.1810	0.3500	0.5040	0.6353	0.7525	0.8415	0.9645	1
0.3	0	0	0.0800	0.1670	0.3360	0.4885	0.6195	0.7335	0.8265	0.9583	1
0.25	0	0	0.0725	0.1567	0.3228	0.4740	0.6050	0.7184	0.8139	0.9519	1
0.2	0	0	0.0640	0.1455	0.3060	0.4535	0.5842	0.6995	0.7984	0.9446	1
0.15	0	0	0.0540	0.1325	0.2870	0.4280	0.5585	0.6770	0.7805	0.9360	1

a

r/R	P	+1.0	+0.95	+0.9	+0.85	+0.8	+0.7	+0.6	+0.5	+0.4	+0.2	0
0.9-1.0	0	0	0.0975	0.1900	0.2775	0.3600	0.51	0.6400	0.75	0.8400	0.96	1
0.85	0	0	0.1000	0.1950	0.2830	0.3660	0.5160	0.6455	0.7550	0.8450	0.9615	1
0.8	0	0	0.1050	0.2028	0.2925	0.3765	0.5265	0.6545	0.7635	0.8520	0.9635	1
0.7	0	0	0.1240	0.2337	0.3300	0.4140	0.5615	0.6840	0.7850	0.8660	0.9675	1
0.6	0	0	0.1485	0.2720	0.3775	0.4620	0.6060	0.7200	0.8090	0.8790	0.9690	1
0.5	0	0	0.1750	0.3056	0.4135	0.5039	0.6430	0.7478	0.8275	0.8880	0.9710	1
0.4	0	0	0.1935	0.3235	0.4335	0.5220	0.6590	0.7593	0.8345	0.8933	0.9725	1
0.3	0	0	0.1890	0.3197	0.4265	0.5130	0.6505	0.7520	0.8315	0.8020	0.9750	1
0.25	0	0	0.1758	0.3042	0.4108	0.4982	0.6359	0.7415	0.8259	0.8899	0.9751	1
0.2	0	0	0.1560	0.2840	0.3905	0.4777	0.6190	0.7277	0.8170	0.8875	0.9750	1
0.15	0	0	0.1300	0.2600	0.3665	0.4520	0.5995	0.7105	0.8055	0.8825	0.9760	1

b

1.5.1.2. Pervanelerin Hidrodinamik Karakteristiği

Pervanelerin hidrodinamiği oldukça karışık ve incelenmeleri zor olan bir problemdir. Gemi formu, gemi boyutları, pervane çapı, kanat sayısı, pervanenin devri, pervaneye gelen akım hızı gibi birçok durumun pervane hidrodinamiğine etkisi vardır ve incelenmeleri gerekmektedir. Bu nedenle tasarımcılar için tasarımlarında problem olup olmadığını kontrol etmek ve geliştirmek oldukça zor ve zahmetlidir.

Pervaneye gelen akımın verimi düşürmemesi için olabildiğince düzgün olması gerekmektedir ancak gemilerde kullanılan pervaneler oldukça karışık akımlara maruz

kalırlar. Bu durum pervanenin ürettiği kuvvetleri ve momentleri etkiler. Pervanenin ürettiği kuvvet ve moment, boyutsuz karakteristik terimlerle ifade edilir. Bu terimler itme katsayısı tork katsayısı ve ilerleme katsayısıdır ve aşağıdaki gibi ifade edilir [1]:

$$\text{İtme Katsayısı: } K_T = \frac{T}{\rho n^2 D^4} \quad (1.5)$$

$$\text{Tork Katsayısı: } K_Q = \frac{Q}{\rho n^2 D^5} \quad (1.6)$$

$$\text{İlerleme Katsayısı: } J = \frac{V_A}{nD} \quad (1.7)$$

T = Pervanenin itme kuvveti

Q = Pervane torku

D = Pervanenin çapı

n = Pervanenin saniyedeki devir sayısı

ρ = Suyun Yoğunluğu

V_A = Pervaneye gelen suyun ortalama akım hızı

1.6. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği

Hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) akışkan hareketini nümerik olarak incelememizi sağlayan bilgisayar tabanlı bir mühendislik yöntemidir. Fluent ise sonlu hacimler yöntemini kullanan bir hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) yazılımıdır. Bu tez çalışmasında yapılan HAD analizlerinde Fluent tercih edilmiştir.

1.6.1. HAD Analizlerinin Matematiksel Altyapısı

HAD analizlerinin matematiksel altyapısını anlayabilmek için öncelikle, akışkan hareketinin temel prensiplerinin ve akışkan hareketinin temel denklemlerinin incelenmesi gerekmektedir.

1.6.1.1. Akışkan Hareketinin Temel Denklemleri

Bu bölümde akışkan hareketinin temel denklemleri olan reynolds transport teoremi, kütle korunumu denklemi, momentumun korunumu denklemi, navier-stokes denklemleri kısaca anlatılmıştır.

1.6.1.1.1. Reynolds Transport Teoremi

Reynolds transport teoremi bir sistemdeki bir akışkan özelliğinin zamana göre değişim hızı ile bir kontrol hacmindeki bir akışkan özelliğinin zamana göre değişim hızı arasındaki matematiksel bağıntıdır. Bu teoreme göre sabit bir kontrol hacmi için Reynolds Transport Teoremi,

$$\frac{d\Phi_{sis}}{dt} = \frac{d}{dt} \int_V \rho\beta dV + \int_A \rho\beta \vec{V} \cdot \vec{n} dA \quad (1.8)$$

şeklindedir. Burada Φ kütle, enerji, momentum gibi herhangi bir yaygın özelliği gösterirken, $\beta = \Phi/m$ ise buna karşılık gelen yoğun özelliği göstermektedir. Ayrıca sabit bir kontrol hacmi için Reynolds transport teoreminin alternatif formu aşağıdaki gibidir:

$$\frac{d\Phi_{sis}}{dt} = \int_V \frac{\partial}{\partial t} (\rho\beta) dV + \int_A \rho\beta \vec{V} \cdot \vec{n} dA \quad (1.9)$$

1.6.1.1.2. Kütle Korunumu Denklemi

Reynolds transport teoreminin uygulanmasıyla ($\Phi = m$ için) kontrol hacmi için kütle korunumu denklemi,

$$0 = \int_V \frac{\partial \rho}{\partial t} dV + \int_A \rho \vec{V} \cdot \vec{n} dA \quad (1.10)$$

şeklinde yazılabilir. Diverjans teoreminin uygulanmasıyla denklem (1.10),

$$\int_V \left[\frac{\partial \rho}{\partial t} + \vec{\nabla} \cdot (\rho \vec{V}) \right] dV = 0 \quad (1.11)$$

şekline dönüşür. Bu denklem yalnızca köşeli parantezin sıfır olmasıyla sağlanır. Böylece kütle korunumu denklemi (süreklilik denklemi),

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \vec{\nabla} \cdot (\rho \vec{V}) = 0 \quad (1.12)$$

elde edilmiş olur. Bu denklemin Kartezyen koordinatlarda açık şekli aşağıdaki gibidir:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} (\rho u) + \frac{\partial}{\partial y} (\rho v) + \frac{\partial}{\partial z} (\rho w) = 0 \quad (1.13)$$

1.6.1.1.3. Momentumun Korunumu Denklemi

Reynolds transport teoreminin uygulanmasıyla ($\Phi = m\vec{V}$ için) kontrol hacmi için kütle korunumu denklemi,

$$\sum \vec{F} = \int_V \rho \vec{g} dV + \int_A \sigma_{ij} \cdot \vec{n} dA = \int_V \frac{\partial}{\partial t} (\rho \vec{V}) dV + \int_A (\rho \vec{V}) \vec{V} \cdot \vec{n} dA \quad (1.14)$$

yazılabilir. Diverjans teoreminin uygulanmasıyla denklem (1.14),

$$\int_V \left[\frac{\partial}{\partial t} (\rho \vec{V}) + \vec{\nabla} \cdot (\rho \vec{V} \vec{V}) - \rho \vec{g} - \vec{\nabla} \cdot \sigma_{ij} \right] dV = 0 \quad (1.15)$$

şekline dönüşür. Bu denklem yalnızca köşeli parantezin sıfır olmasıyla sağlanır. Böylece doğrusal momentumun korunumu denklemi,

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho \vec{V}) + \vec{\nabla} \cdot (\rho \vec{V} \vec{V}) - \rho \vec{g} - \vec{\nabla} \cdot \sigma_{ij} = 0 \quad (1.16)$$

elde edilmiş olur. Denklem (1.16)' un alternatif formu ise

$$\rho \frac{D\vec{V}}{Dt} = \rho \vec{g} + \vec{\nabla} \cdot \sigma_{ij} \quad (1.17)$$

şeklindedir. Bu denklemin Kartezyen koordinatlarda açık şekli aşağıdaki gibidir:

$$\rho \left[\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right] = \rho g_x + \frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_{zx}}{\partial z} \quad (1.18)$$

$$\rho \left[\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} \right] = \rho g_y + \frac{\partial \sigma_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_{zy}}{\partial z} \quad (1.19)$$

$$\rho \left[\frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} \right] = \rho g_z + \frac{\partial \sigma_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_{zz}}{\partial z} \quad (1.20)$$

1.6.1.1.4. Navier-Stokes Denklemleri

Momentum denklemindeki gerilme tensörü,

$$\sigma_{ij} = \begin{pmatrix} \sigma_{xx} & \sigma_{xy} & \sigma_{xz} \\ \sigma_{yx} & \sigma_{yy} & \sigma_{yz} \\ \sigma_{zx} & \sigma_{zy} & \sigma_{zz} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -P & 0 & 0 \\ 0 & -P & 0 \\ 0 & 0 & -P \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \tau_{xx} & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \tau_{yy} & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \tau_{zz} \end{pmatrix} \quad (1.21)$$

şeklinde yazılabilir. Burada yer alan viskoz gerilme tensörü τ_{ij} Newton tipi akışkanlar için hız alanı ve viskozite gibi ölçülebilir akışkan özellikleri cinsinden yazılırsa,

$$\tau_{ij} = \begin{pmatrix} \tau_{xx} & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \tau_{yy} & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \tau_{zz} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2\mu \frac{\partial u}{\partial x} & \mu \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) & \mu \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right) \\ \mu \left(\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right) & 2\mu \frac{\partial v}{\partial y} & \mu \left(\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right) \\ \mu \left(\frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z} \right) & \mu \left(\frac{\partial w}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial z} \right) & 2\mu \frac{\partial w}{\partial z} \end{pmatrix} \quad (1.22)$$

eşitliği elde edilmiş olur. Bu bünye denklemleri momentumun korunumu denkleminde yerine yazılıp düzenlenirse sabit viskoziteli sıkıştırılmaz bir akış için Navier-Stokes denklemi elde edilir.

$$\rho \frac{D\vec{V}}{Dt} = -\vec{\nabla}P + \rho\vec{g} + \mu\nabla^2\vec{V} \quad (1.23)$$

Navier-Stokes denkleminin Kartezyen koordinatlarda açık şekli aşağıdaki gibidir:

$$\rho \left[\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right] = -\frac{\partial P}{\partial x} + \rho g_x + \mu \left[\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right] \quad (1.24)$$

$$\rho \left[\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} \right] = -\frac{\partial P}{\partial y} + \rho g_y + \mu \left[\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right] \quad (1.25)$$

$$\rho \left[\frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} \right] = -\frac{\partial P}{\partial z} + \rho g_z + \mu \left[\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right] \quad (1.26)$$

1.6.2. Türbülans ve Türbülans Modelleri

Çoğu mühendislik problemi türbülanslı akış içerir. Türbülanslı akış, akışının katmanlar halinde ilerlediği laminar akışın aksine akışkanın düzensiz dalgalanmalara maruz kaldığı bir çeşit akış türüdür. Navier-Stokes denklemlerinin türbülanslı akışları tam olarak tanımlamak için kullanılabileceği düşünülmektedir, ancak Navier-Stokes denklemlerinin doğrudan çözümü, çok düşük Reynolds sayılarındaki çok basit akışlar hariç kullanışlı değildir. Bunun nedeni, mevcut bilgisayarların türbülans ile ilişkili uzunluk ve zaman ölçeklerinin geniş bir aralığının çözümüne izin vermemesidir. Bu nedenle mühendisler genel olarak türbülanslı hareketin tüm detaylarıyla değil akışın özelliklerine olan etkisiyle ilgilenir. Birçok uygulama için türbülans dalgalanmalarının ayrıntılarını çözmek gereksizdir. Ortalama değişkenlerin hepsi olması halinde anlık değişkenlerin çözümlerine gerek yoktur.

RANS (Reynolds Avaraged Navier-Stokes) denklemleri, akış için zaman ortalamalı hareket denklemleridir. Denklemlerin ardındaki düşünce, Reynolds ayrışmasıdır; burada, anlık bir miktar, Osborne Reynolds tarafından önerilen bir fikir olan zaman ortalamalı ve dalgalanan miktarlara ayrıştırılır. RANS denklemleri esas olarak türbülanslı akışları tanımlamak için kullanılır. Navier-Stokes denklemlerine yaklaşık zaman-ortalama çözümler vermek için bu tür denklemler akış türbülansının özelliklerine dayalı tahminlere dayalı olarak kullanılabilir. Türbülans modelleri de ortalama alınırken ortaya çıkan türbülans korelasyonlarını belirlemek için gerekli olan bir dizi ilişki ve denklem olarak tanımlanabilir[15]. Türbülans modelleri de ortalama alınırken ortaya çıkan türbülans korelasyonlarını belirlemek için gerekli olan bir dizi ilişki ve denklem olarak tanımlanabilir.

1.6.2.1. Gerçeklenebilir (Realizable) k-ε Modeli

Shih, Liou [14] yaptıkları çalışma ile Standart k-ε modeli geliştirerek, gerçeklenebilir (Realizable) k-ε modeli ortaya çıkarmışlardır. Bu modelin Standart k-ε modele göre iki açıdan farklılığı vardır. Bunlardan birisi, gerçeklenebilir k-ε modelin viskozite için yeni bir formül içeriyor olması, diğer farkı ise, yutulma miktarı (ε) için yeni bir transport denklemi ortalama girdaplılık dalgalanmalarının karekökünün tam eşitliğinden türetilir. Bu model düzlemsel ve dairesel kesitli jetlerin yayılım hızlarını daha doğru bir şekilde belirler. Aynı zamanda dönme, güçlü basınç gradyanlarındaki sınır tabakalar, ayrılmalar ve re-sirkülasyonlu akışlar için iyi bir performans sağlar. İlk çalışmalar göstermiştir ki birçok ayrılmış akışlar ve karmaşık ikincil akış özellikli akışlar için gerçeklenebilir model, k-ε modelleri arasında en iyi performansı sağlar [16].

Bu çalışmada sayısal çözümler süreklilik, momentum ile gerçeklenebilir k-ε türbülans modeli için kinetik enerji "k" ve türbülans dağılım "ε" transport denklemlerinin ANSYS FLUENT 16.0 hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) yazılımı kullanılarak çözülmesiyle elde edilmiştir. Aşağıda fluent programında kullanılan gerçeklenebilir k-ε türbülans modeli için kinetik enerji "k" ve türbülans dağılım "ε" transport denklemleri verilmiştir.

Türbülans kinetik enerji "k" için taşıma denklemi

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho k u_j) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k + G_b - \rho \epsilon - Y_M + S_K \quad (1.27)$$

Türbülans yutulma oranı " ε " için taşıma denklemi

$$\frac{\partial(\rho\varepsilon)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho\varepsilon u_j) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + \rho C_{1\varepsilon} S_E - \rho C_{2\varepsilon} \frac{\varepsilon^2}{k + \sqrt{v\varepsilon}} + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} C_{3\varepsilon} G_b + S_E \quad (1.28)$$

Bu taşıma denklemlerinde, ortalama hız gradyentleri ve kaldırma kuvveti nedeniyle, türbülans kinetik enerjinin üretimi sırasıyla G_k ve G_b olarak kabul edilir.

$$G_k = -\rho \overline{u'_i u'_j} \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \quad (1.29)$$

$$G_b = \beta g_i \frac{\mu_t}{Pr_t} \frac{\partial T}{\partial x_i} \quad (1.29)$$

$$Y_M = 2\rho\varepsilon M_t^2 \quad (1.30)$$

σ_k ve σ_ε , türbülans kinetik enerji ve türbülans yutulma oranı için sırasıyla türbülans Prandtl sayılarıdır. C_2 ve $C_{1\varepsilon}$ sabittir. S_K ve S_E kullanıcı tanımlı kaynak terimleridir. $\sigma_k = 1$, $\sigma_\varepsilon = 1.2$, $C_2=1.9$, $C_{1\varepsilon} = 1.44$ olup, Fluent'te bulunan k- ε türbülans modeli için katsayılarıdır.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR, BULGULAR VE İRDELEME

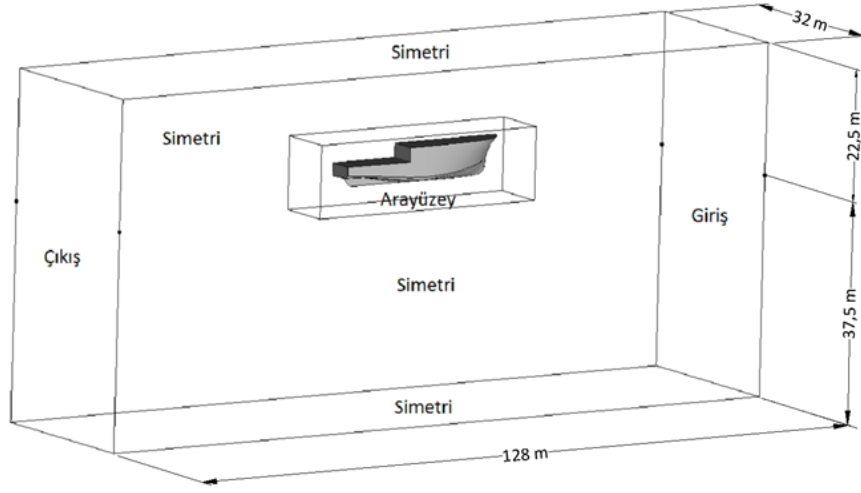
Bu bölümde KTU DENAR-1 için gerçekleştirilen tam ölçekteki sayısal analizlere yer verilmiştir. Bu analizler daha önce de bahsedildiği gibi süreklilik, momentum ile gerçekleştirilebilir k - ϵ türbülans modeli için kinetik enerji " k " ve türbülans dağılım " ϵ " transport denklemlerinin ANSYS FLUENT 16.0 hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) yazılımı kullanılarak çözülmesiyle gerçekleştirilmiştir. Akış alanı geometrileri için gerekli ağ yapısının hazırlanmasında ise ANSYS ICEMCFD 16.0 yazılımından yararlanılmıştır.

Tüm analizler üç boyutta zaman bağımlı olarak yapılmıştır. Zaman adımları courant sayısının birden küçük olması koşulu dikkate alınarak belirlenmiştir. Duvar yaklaşımı olarak, standart duvar yaklaşımı kullanılmıştır. İteratif çözücü olarak SIMPLE algoritması esas alınmıştır. Çözümlerde daha hassas sonuçlar verdiği için, değişkenlerin ağ noktaları arasındaki değişiminde Second OrderUpwind yaklaşımı kullanılmıştır.

2.1. Gemi Gövdesinin Tam Ölçekte Sayısal Analizi

Hesaplamalı akışkanlar dinamiği analizlerinde kullanılacak olan gemi gövdesinin modeli, tam ölçekte ve simetrik çözüme uygun olarak hazırlanmıştır. Pervane, dümen ve diğer takıntılardan bağımsız yalın haldedir. Gemi gövdesinin tam boyu 32,47m, genişliği 9,6 m ve yüksekliği 4 m uzunluğundadır. Serbest su yüzeyi, su kesimine (2,5 m) denk olacak şekilde ayarlanmıştır. Akış alanı geometrisinin boyutları ve kullanılan sınır şartları şekil 2.1.'de gösterilmiştir.

Akış hacmine ait ağ yapısında yaklaşık 3.900.000 ağ elemanı bulunmaktadır. Düzgün altı yüzlü ve dört yüzlü olmak üzere iki tip ağ elemanı kullanılarak karma bir ağ yapısı hazırlanmıştır. Model üzerinde ve yakınındaki bölgelerde Şekil 2.2'de görüldüğü gibi daha küçük eleman boyutları seçilerek, bu bölgelerde daha sık bir ağ yapısı oluşturulmuştur. Gemi yüzeyinde kullanılan ağ elemanlarının boyutları gemi boyunun %0,5'ini aşmamaktadır.

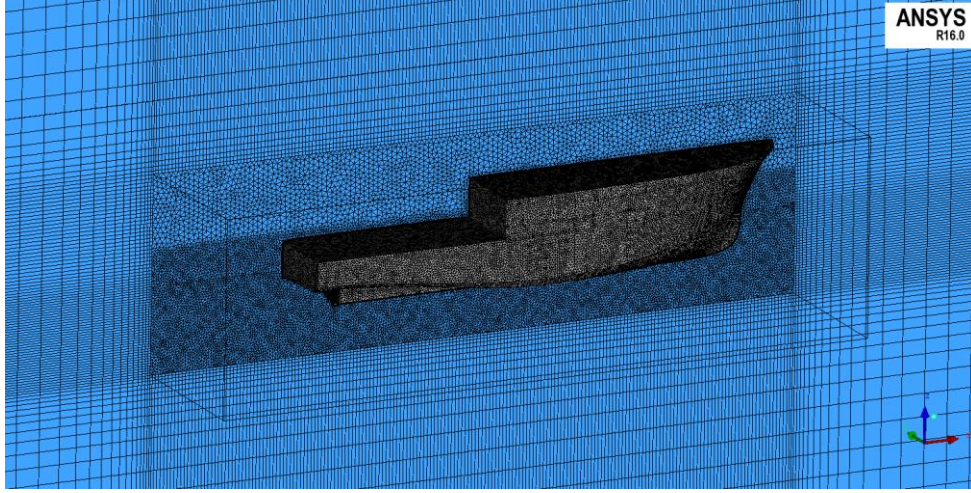


Şekil 2.1. Akış alanı geometrisi ve sınır şartları

Karma bir ağ yapısı kullanımı ağ elemanı sayısını azaltmaya yönelik bir uygulamadır. Dörtgen/düzgün altı yüzlü ağ elemanlarının kompleks geometrilere nümerik açıdan herhangi bir avantajı yoktur ve üçgen/dört yüzlü ağ elemanları kullanmak daha kolay ve hızlıdır. Ancak aynı kenar boyutlarına sahip üçgen/dört yüzlü ağ elemanları hacimlerinin daha az olmasından dolayı dörtgen/düzgün altı yüzlü ağ elemanlarına göre çok daha fazla ağ elemanı kullanılmasını gerektirir ve bu durum analizlerde çözüm süresinin artmasına sebep olur. Karma ağ yapısı kullanmak çözüm süresini önemli ölçüde kısaltmaktadır.

Gemi gövdesi üzerinde ve etrafında ara yüzeyin sınırları içerisinde kalan akım haciminde üçgen/dört yüzlü ağ elemanları, dışarısında kalan akım hacminde ise dörtgen/düzgün altı yüzlü ağ elemanları kullanılmıştır. Ağ yapısındaki elemanlar farklı topolojiye sahipse bu bölgeleri eşleştirmek için ara yüzey sınır koşulu kullanılmalıdır. Bu nedenle üçgen/dört yüzlü ağ elemanlarına sahip akış hacminden dörtgen/düzgün ağ elemanlarına akış hacmine geçişte ara yüzey sınır koşulu kullanılarak eşleştirme yapılmıştır.

Model etrafında sınır tabakayı temsil etmesi için ince bir ağ yapısı hazırlanmıştır. Bu ağ yapısı 20 katmandan oluşmaktadır. İlk ağ katmanın uzunluğu dış akışlar için $y^+ \approx 20$ kabul edilerek belirlenmiştir. Üç boyutlu ağ yapısına ait görsel şekil 2.2'de verilmiştir.



Şekil 2.2. Üç boyutlu ağ yapısı

Serbest su yüzeyinin modellenmesi için, akışkan hacimleri yöntemi (volume of fluid) kullanarak çok fazlı çözüm yapılmıştır. Akışkan olarak 15 °C sıcaklığa sahip su ve hava kullanılmıştır. Analizler dört farklı ilerleme katsayısına denk gelen 3,07 m/s, 3,78 m/s, 4,49 m/s ve 5,19 m/s akışkan hızları ile gerçekleştirilmiştir. Bu analizlerin sonuçları gemi arkasında oluşan akım hatları, gemi gövdesine etkileyen su dirençleri, gemi yüzeyinde oluşan statik basınç ve su hacim oranı dağılımları olarak verilmiştir.

Pervane, dümen veya herhangi bir takıntı direncinin oluşmadığı durum için gemi gövdesinde oluşan toplam su direnci Tablo 2.1.'de görülmektedir. Geminin seyir hızındaki artış aynı olmasına rağmen gemi gövdesinde oluşan direnç artışları giderek artan bir davranış göstermiştir.

Tablo 2.1. Gemi gövdesinde oluşan su direnci

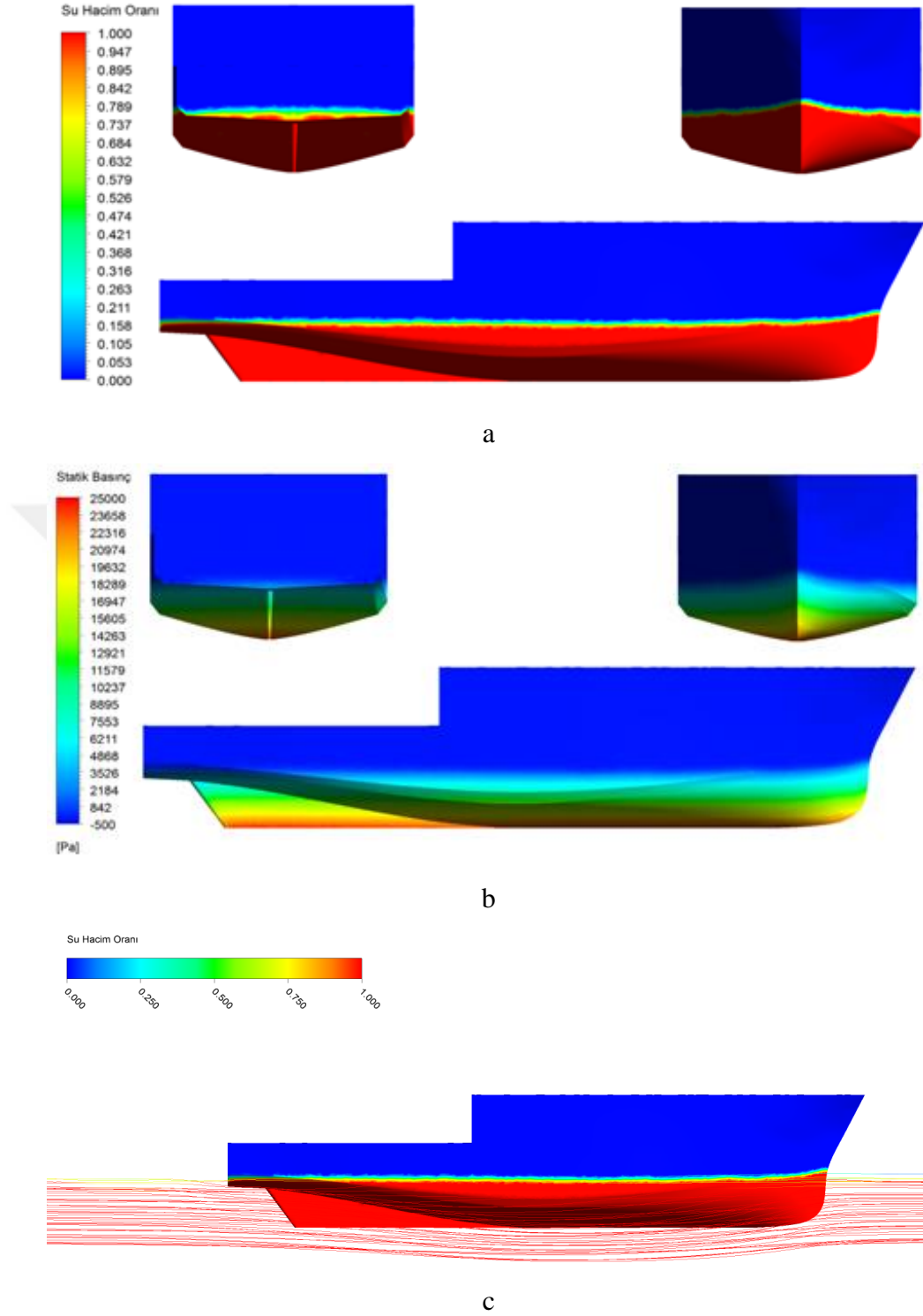
Hız (m/s)	Direnç (N)
3.07	8938.68
3.78	12052.44
4.49	21737.4
5.19	34944.2

Hidrostatik basınç, cismin bulunduğu derinlik ve sıvının yoğunluğuna bağlıdır. Derinliğin artmasıyla doğru orantılı olarak hidrostatik basınç değeri de artar. Akışkan hacimleri tekniği (volume of fluid) kullanılmasıyla yerçekimi ve serbest su yüzeyi çözüme dahil edilerek, hidrostatik basıncın derinliğe bağlı değişimi ve serbest su yüzeyinin gemi üzerindeki etkileri görülebilmektedir. Gemi yüzeyindeki statik basınç dağılımları

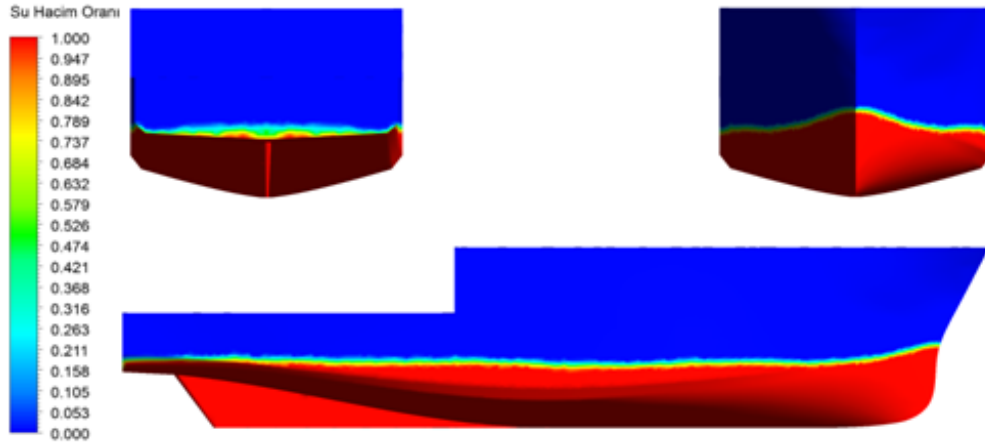
incelendiğinde, statik basınç öngörülen şekilde derinliğin artmasıyla artış göstermektedir (Şekil 2.3.b-2.6.b). Gemi yüzeyindeki ıslak alan incelediğinde ise baş dalgasının geminin seyir hızı ile doğru orantılı olarak arttığı görülmektedir (Şekil 2.3.a-2.6.a). Bu durum geminin dalga direncini arttırmışından dolayı geminin su direncini de arttırmaktadır.

Pervaneler gemilerin kıç bölgesinde türbülanslı ve düzensiz akıslara maruz kalırlar. Gemi gövdesinin formu gemi kıçında oluşan ve pervaneye gelen su akışını önemli ölçüde etkiler. Bu nedenle gemi gövdesi tasarlanırken gövdenin su akışını bozmaması istenir. Şekil 2.3.-2.6.'da verilen su hacim oranı ile renklendirilmiş akım çizgileri incelendiğinde her hızda akım çizgilerinin düzenli ve gemi formu ile uyumlu olduğunu görülmektedir. Bu durum pervane performansı açısından olumludur.

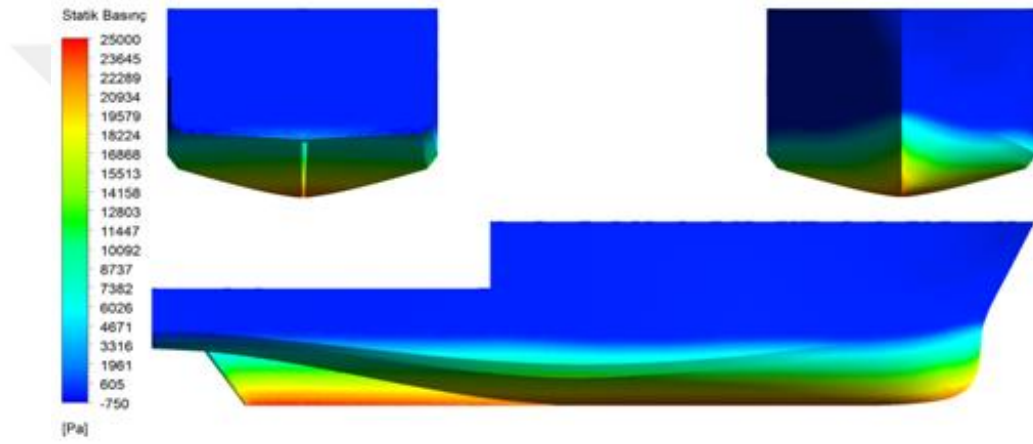




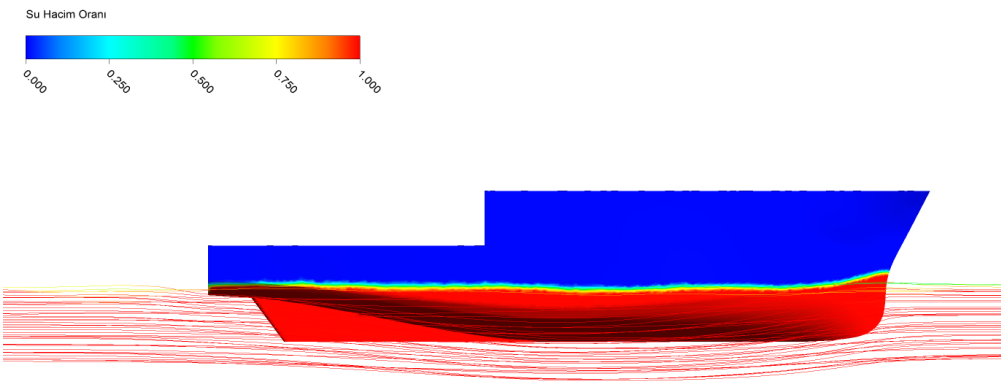
Şekil 2.3. $V=3,07$ m/s için su hacim oranı (a), statik basınç (b) ve su hacim oranı ile renklendirilmiş akım çizgileri (c)



a

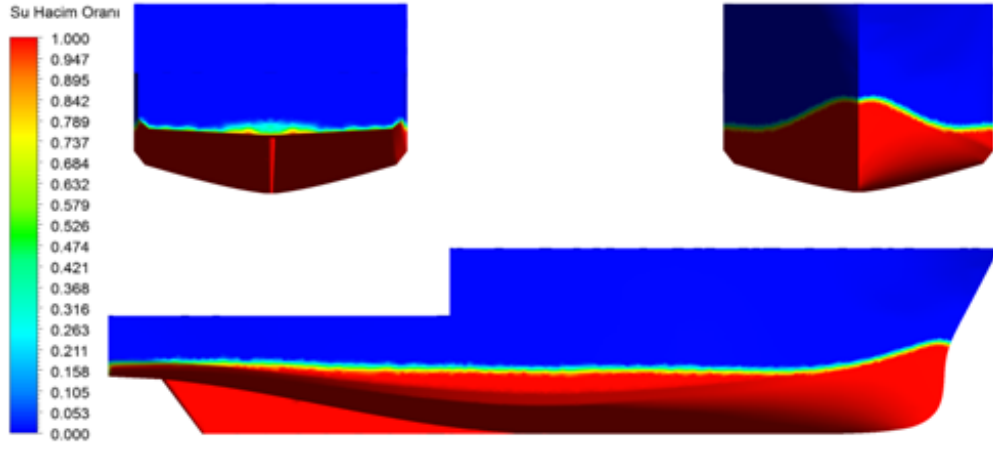


b

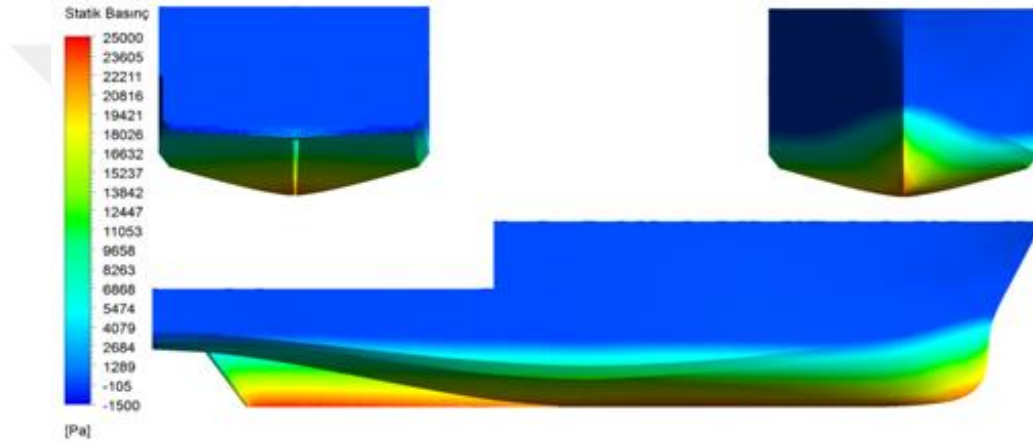


c

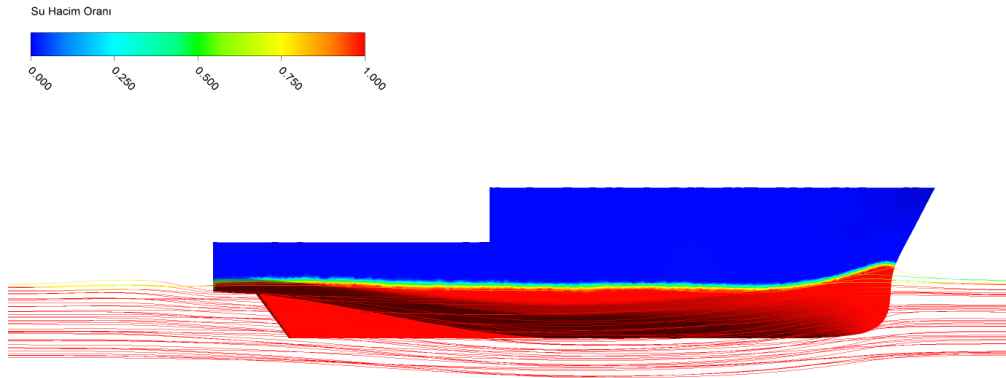
Şekil 2.4. $V=3,78$ m/s için su hacim oranı (a), statik basınç (b) ve su hacim oranı ile renklendirilmiş akım çizgileri (c)



a

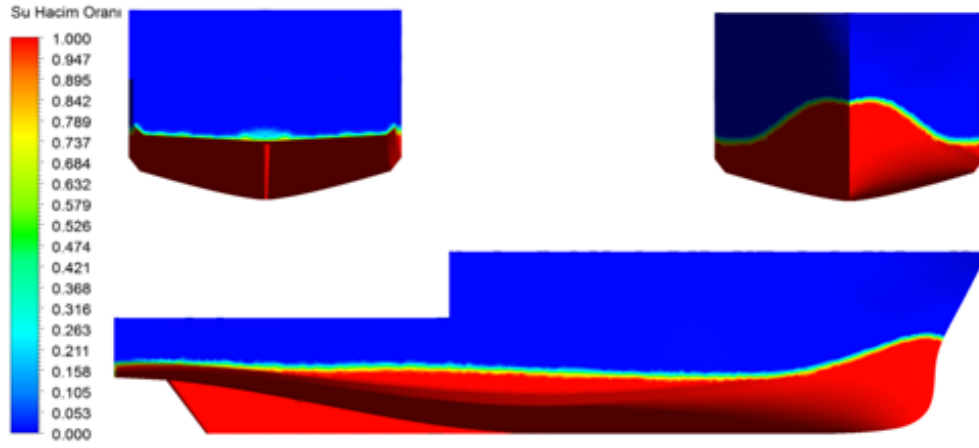


b

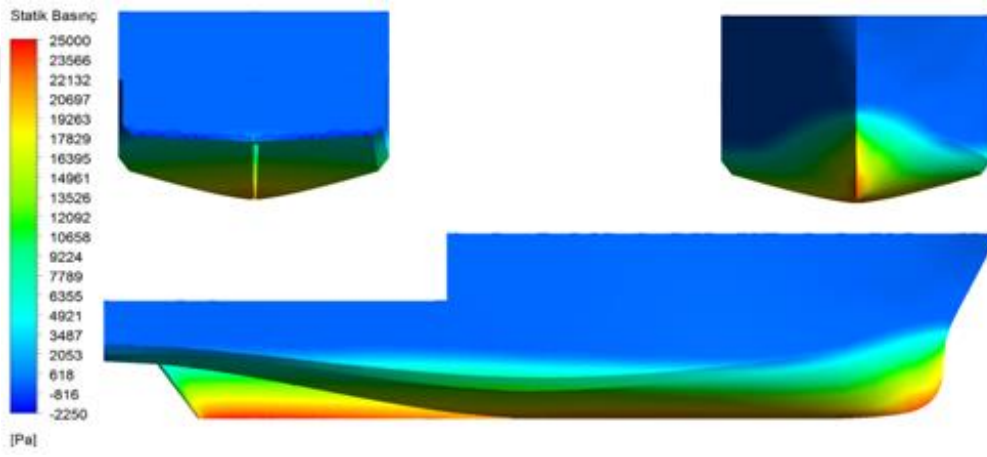


c

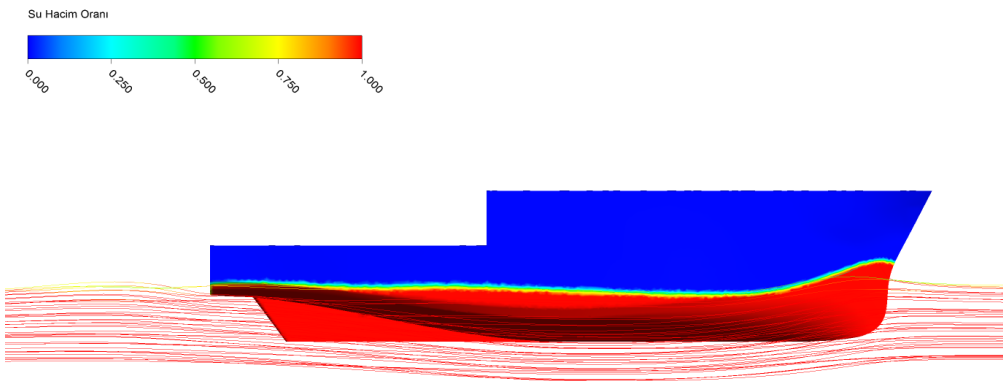
Şekil 2.5. $V=4,49$ m/s için su hacim oranı (a), statik basınç (b) ve su hacim oranı ile renklendirilmiş akım çizgileri (c)



a



b



c

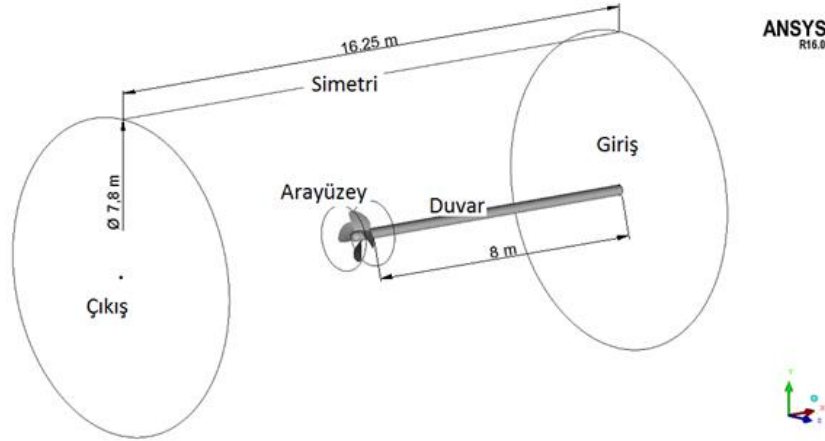
Şekil 2.6. $V=5,19$ m/s için su hacim oranı (a), statik basınç (b) ve su hacim oranı ile renklendirilmiş akım çizgileri (c)

2.2. Pervanenin Tam Ölçekte Sayısal Analizi

Hesaplamalı akışkanlar dinamiği analizlerinde kullanılan pervane modeli tam ölçekte hazırlanmıştır. Şaft, çözümün etkilenmemesi ve deney ile uyumlu olması için pervane göbeğiyle aynı çapa sahiptir. Kullanılan pervane Wageningen B serisine ait bir pervanedir. Pervane analizleri serbest su yüzeyi olmadan tamamen suya batırılarak gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan pervaneye ait temel boyutlar ve özelliklerine ait bilgiler tablo 2.2.'de verilmiştir. Akış alanı geometrisi şekil 2.7.'de görülen boyut ve sınır şartları kullanılarak hazırlanmıştır.

Tablo 2.2. Pervaneye ait temel boyutlar ve özellikler

P/D	0,769231
P	1 m
Z	4
D	1,3 m
A_c/A_o	0,7
t.t.e.	0,002 m
t.i.e.	0,002 m

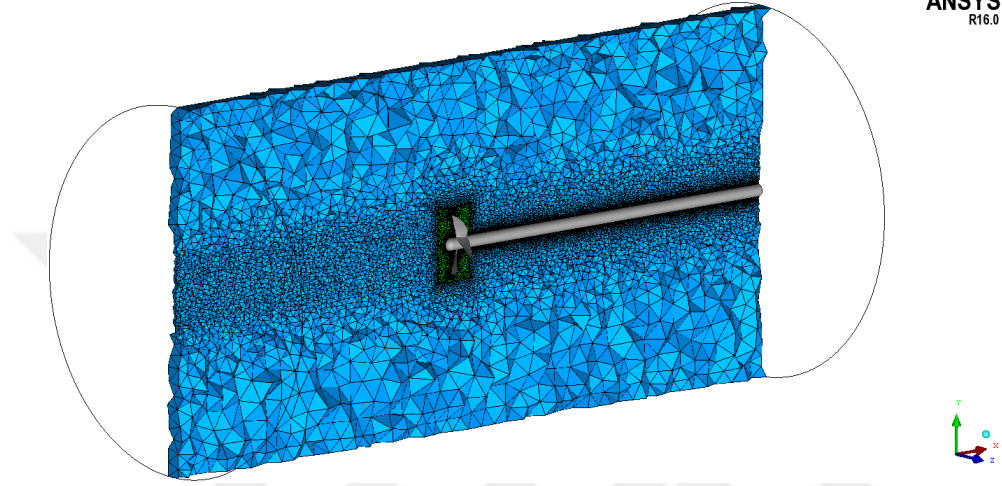


Şekil 2.7. Akış alanı geometrisi ve sınır şartları

Akış hacmine ait ağ yapısında yaklaşık 3.100.000 ağ elemanı bulunmaktadır. Model üzerindeki ve yakınındaki bölgelerde şekil 2.8.'de görüldüğü gibi daha küçük eleman boyutları seçilerek, bu bölgelerde daha sık bir ağ yapısı oluşturulmuştur. Akış hacmi 7,8 m çapa ve 16,25 m yüksekliğe sahip silindirik bir yapıya sahiptir. Pervane yüzeyinde

kullanılan ağ elemanlarının boyutları pervane çapının 1.5%'unu geçmeyecek şekilde ayarlanmıştır.

Pervane modeli etrafında sınır tabakayı temsil etmesi için ince bir ağ yapısı hazırlanmıştır. Bu ağ yapısı 20 katmandan oluşmaktadır. İlk katmana ait ağ elemanlarının uzunluğu dış akışlar için $y^+ \approx 20$ kabul edilerek belirlenmiştir. Üç boyutlu ağ yapısının kesitine ait bir görsel şekil 2.8.'den görülebilir.



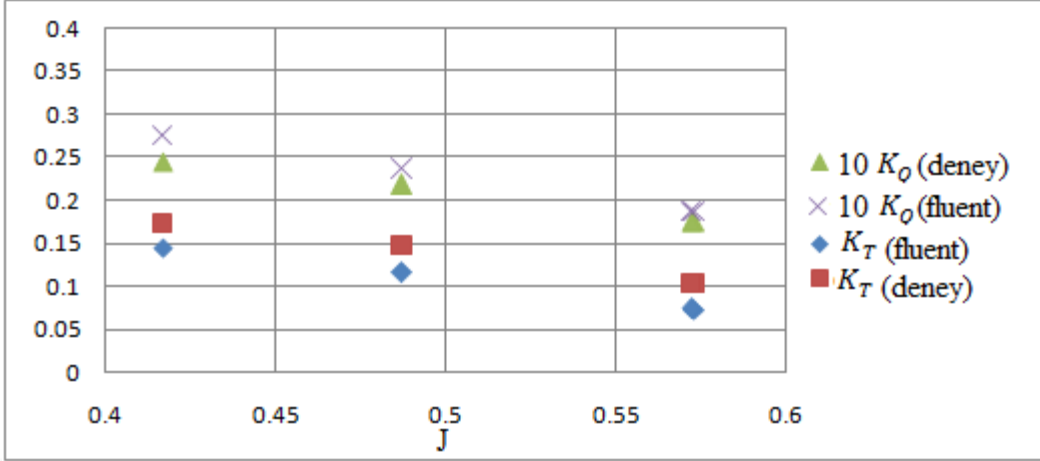
Şekil 2.8. Üç boyutlu ağ yapısı

Analizlerde, pervane hareketini temsil edebilmek için, pervanenin etrafında belirli bir hacim, ara yüz sınır koşulu kullanılarak ayrılmıştır. Ara yüzeyin sınırları içerisinde kalan bu hacme, Fluent üzerinden hareketli ağ yapısı yöntemi (moving mesh metod) uygulanmıştır. Bu yöntem ile istenilen bölgedeki ağ elemanlarına dönme ve öteleme hareketi verilebilmektedir.

Bu yöntemin pervane analizlerinde kullanılmasının birkaç amacı vardır. Bu amaçlardan birincisi, pervane dönme hareketi yapan bir eleman olduğundan, etrafındaki ağ yapısının dönme hareketi sırasında bozulmaması için bu ağ elemanlarına dönme hareketi kazandırmaktır. İkincisi ise, pervanenin, pervane yüzeyine komşu hücrelerle birlikte hareket etmesi sağlanarak pervaneye dönme hareketini kazandırmaktır. Ayrıca bu yöntem, dinamik ağ yapısında kullanılan ağ elemanlarının, harekete göre parçalanıp tekrar oluşturulması (remeshing) gereksinimi ortadan kaldırmaktadır. Böylelikle hem analiz süresi kısaltmakta hem de ağ kalitesi korunarak daha kararlı çözümler elde edilmektedir.

Akışkan olarak 15 °C sıcaklığa sahip su kullanılmıştır. Analizler dört farklı ilerleme katsayısına denk gelen 3,07 m/s, 3,78 m/s, 4,49 m/s, 5,19 m/s akışkan hızları için gerçekleştirilmiştir. Pervanenin bu hızlara denk gelen dakikadaki devir sayıları, sırasıyla

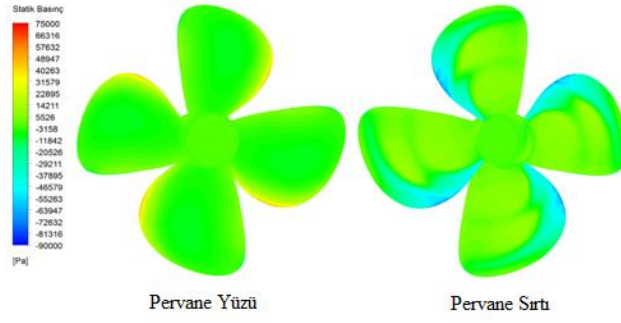
247 d/d, 305 d/d, 425 d/d ve 574 d/d'dır. Bu analizlerin sonuçları pervane yüzeyinde oluşan statik basınç ile pervanenin itme ve tork katsayısı şeklinde verilmiştir.



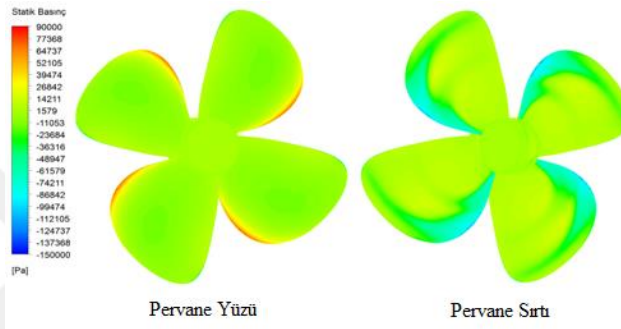
Şekil 2.9. İtme ve tork katsayısının ilerleme katsayısına göre olan değişimleri

İtme ve tork katsayısının ilerleme katsayısına göre olan değişimleri, Bernitas ve diğ. [17] tarafından yapılan çalışmadan alınan deneysel sonuçlarla birlikte Şekil 2.9'da karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Elde edilen sonuçların deneysel sonuçlarıyla uyumlu olduğu görülmüştür.

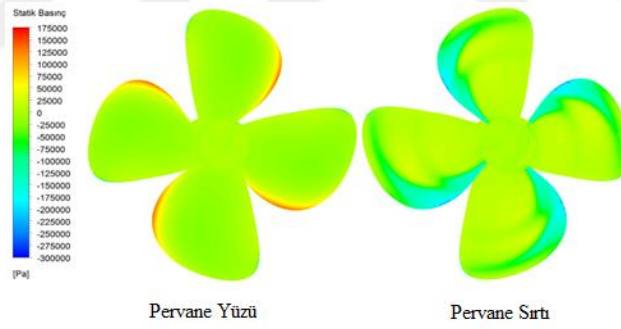
Şekil 2.10'da verilen pervane yüzeyi üzerindeki statik basınç dağılımları incelendiğinde oluşan hidrostatik basıncın pervane sırtında ve pervane yüzünde değişim gösterdiği görülebilmektedir. Pervane yüzünde pervanenin kanar kısımlarında pozitif basınç, pervane sırtında ise negatif basınç maksimum değere ulaşmaktadır. Pervane performansını arttırmak ve kavitasyon sorunlarının önüne geçmek için bu pik basınçların düşürülmesi gerekmektedir.



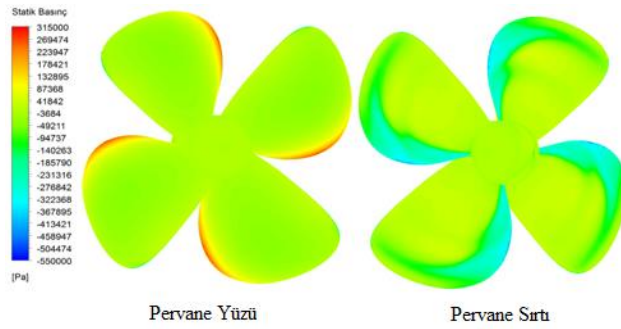
a



b



c

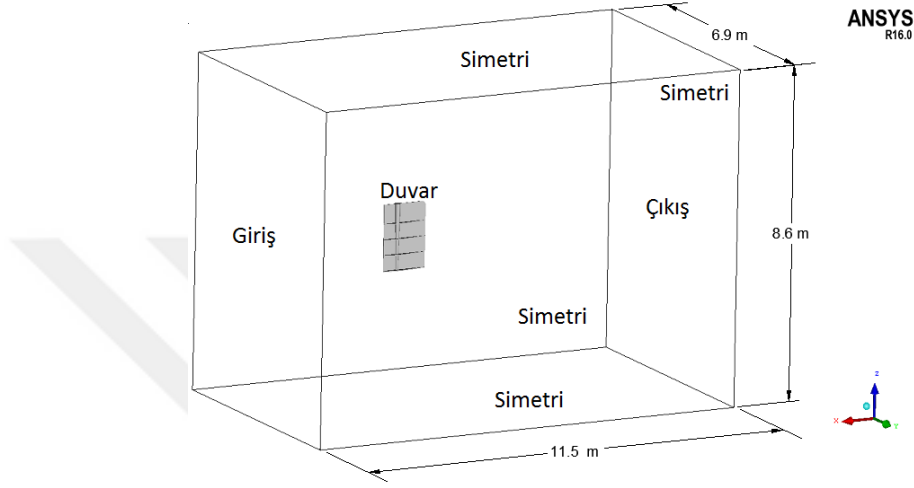


d

Şekil 2.10. Pervane yüzeyi üzerindeki basınç dağılımı:
(a=3,07 m/s; b=3,78 m/s; c= 4,49 m/s; d=5,19 m/s)

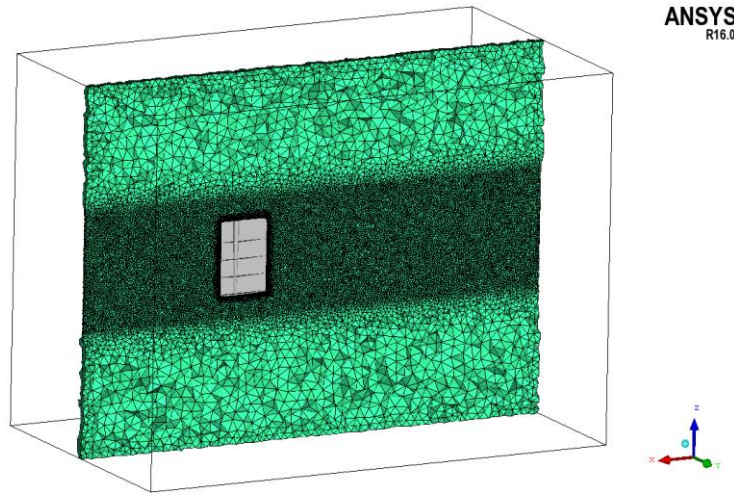
2.3. Dümenin Tam Ölçekte Sayısal Analizi

Hesaplamalı akışkanlar dinamiği analizlerinde kullanılan dümen modeli tam ölçekte hazırlanmıştır. Analizler serbest su yüzeyi olmadan dümen tamamen suya batırılarak gerçekleştirilmiştir. Akış alanı geometrisi ve sınır şartları şekil 2.11.'de gösterildiği gibidir.



Şekil 2.11. Akış alanı geometrisi ve sınır şartları

Akış hacmine ait ağ yapısında yaklaşık 4.000.000 ağ elemanı bulunmaktadır. Model üzerindeki ve yakınındaki bölgelerde şekil 2.12'de görüldüğü gibi daha küçük eleman boyutları seçilerek, bu bölgelerde daha sık bir ağ yapısı oluşturulmuştur. Akış hacmi, 11,5 m boyu, 6,9 m eni ve 8,6 m yüksekliği olan dikdörtgen prizma bir yapıya sahiptir. Dümen yüzeyinde kullanılan ağ elemanlarının boyutları dümen boyunun 1%'ni geçmeyecek şekilde ayarlanmıştır.



Şekil 2.12. Üç boyutlu ağ yapısı

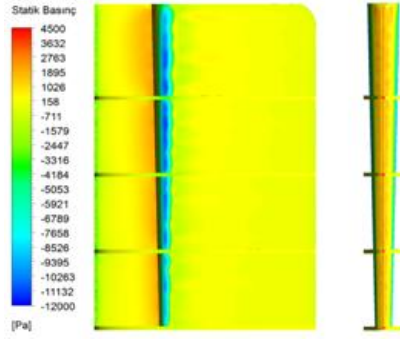
Dümen modeli etrafında sınır tabakayı temsil etmesi için ince bir ağ yapısı hazırlanmıştır. Bu ağ yapısı 20 katmandan oluşmaktadır. İlk katmana ait ağ elemanlarının uzunluğu dış akışlar için $y^+ \approx 20$ kabul edilerek belirlenmiştir. Üç boyutlu ağ yapısının kesitine ait bir görsel şekil 2.12'den görülebilir.

Akışkan olarak 15 °C sıcaklığa sahip su kullanılmıştır. Analizler dört farklı ilerleme katsayısına denk gelen 3,07 m/s, 3,78 m/s, 4,49 m/s, 5,19 m/s akışkan hızları için gerçekleştirilmiştir. Bu analizlerin sonuçları dümen etrafında oluşan akım hatları, dümen yüzeyinde oluşan statik basınç ve dümen üzerinde oluşan su dirençleri şeklinde verilmiştir.

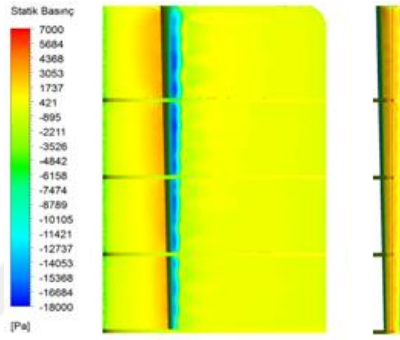
Dümen üzerinde oluşan toplam su direnci Tablo 2.3.'de görülebilir. Dümen yüzeyindeki statik basınç dağılımı dümen rodu ve destek elemanları nedeniyle değişim göstermektedir (şekil 2.13.). Dümen rodunun etrafında akımın hızlanması basıncın düşmesine ve dümen rodunun bulunduğu bölge etrafında negatif basınç alanı oluşmasına sebep olmaktadır.

Tablo 2.3. Dümen üzerinde oluşan su direnci

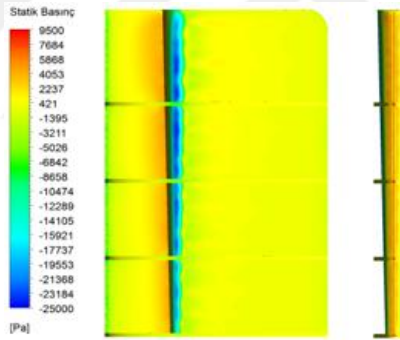
Hız (m/s)	Direnç (N)
3.07	442.807
3.78	669.132
4.49	941.551
5.19	1253.57



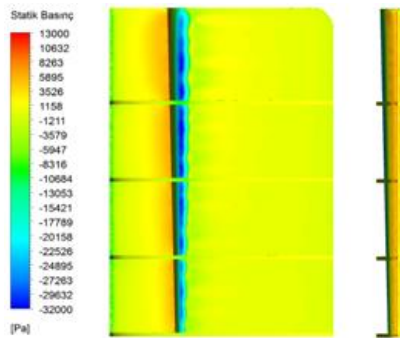
a



b



c

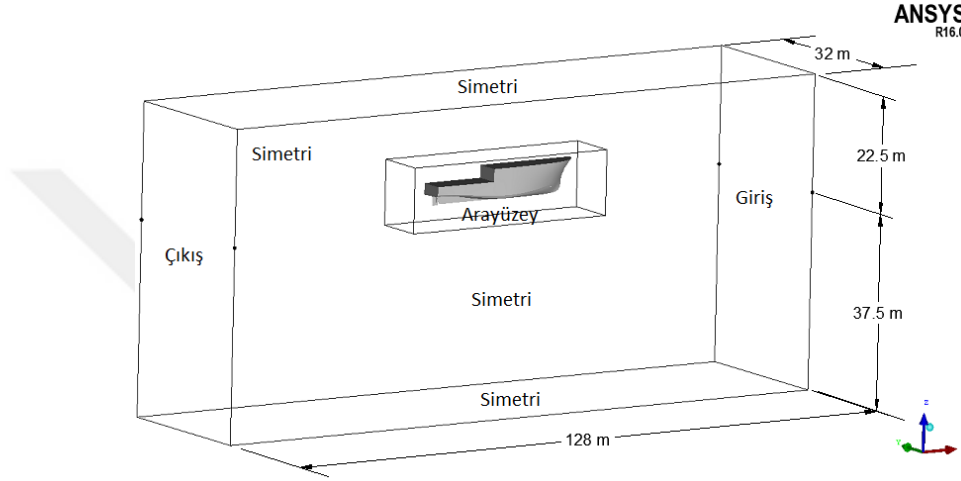


d

Şekil 2.13. Dümen yüzeyi üzerindeki basınç dağılımları
(a=3,07 m/s; b=3,78 m/s; c= 4,49 m/s; d=5,19 m/s)

2.4. Gemi Gövdesi ile Dümenin Birlikte Olduğu Durumun Tam Ölçekte Sayısal Analizi

Hesaplamalı akışkanlar dinamiği analizlerinde kullanılacak olan gemi gövdesinin dümen ile birlikte olduğu model, tam ölçekte ve simetrik çözüme uygun olacak şekilde hazırlanmıştır. Serbest su yüzeyi, su kesimine (2,5 m) denk olacak şekilde ayarlanmıştır. Akış alanı geometrisi ve sınır şartları şekil 2.14.'de gösterildiği gibidir.

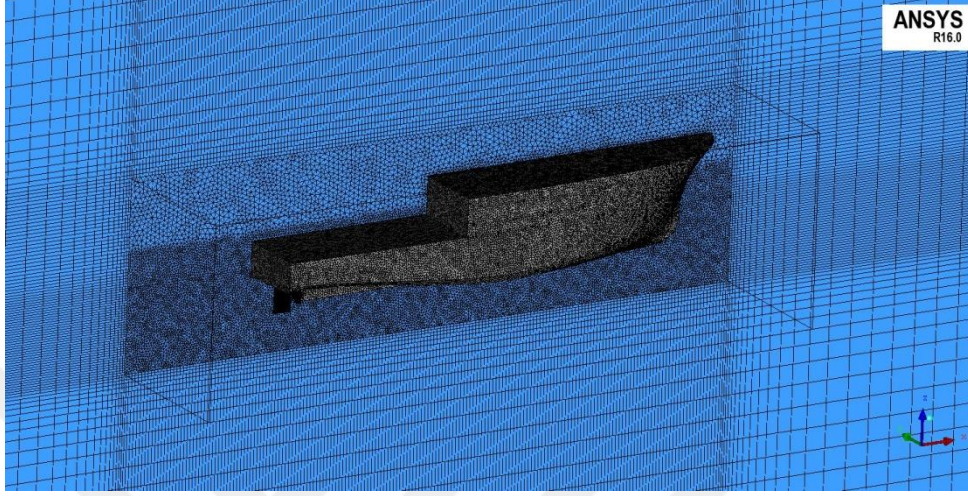


Şekil 2.14. Akış alanı geometrisi ve sınır şartları

Akış hacmine ait ağ yapısında yaklaşık 5.500.000 ağ elemanı bulunmaktadır. Düzgün altı yüzlü ve dört yüzlü olmak üzere iki tip ağ elemanı kullanılarak karma bir ağ yapısı hazırlanmıştır. Model üzerinde ve yakınındaki bölgelerde Şekil 2.15.'de görüldüğü gibi daha küçük eleman boyutları seçilerek, bu bölgelerde daha sık bir ağ yapısı oluşturulmuştur. Gemi yüzeyinde kullanılan ağ elemanlarının boyutları gemi boyunun %0,5'ini ve dümen yüzeyinde kullanılan ağ elemanlarının boyutları dümen boyunun 1%'ni geçmeyecek şekilde ayarlanmıştır.

Model üzerinde ve etrafında Ara yüzeyin sınırları içerisinde kalan akım haciminde üçgen/dört yüzlü ağ elemanları, dışarısında kalan akım hacminde ise dörtgen/düzgün altı yüzlü ağ elemanları kullanılmıştır. Ağ yapısındaki elemanlar farklı topolojiye sahip olduklarından bu bölgeleri eşleştirmek için Ara yüzey sınır koşulu kullanılmıştır. Böylelikle üçgen/dört yüzlü ağ elemanlarına sahip akış hacminden dörtgen/düzgün altı yüzlü ağ elemanlarına akış hacmine geçişte ara yüzey sınır koşulu kullanılarak eşleştirme yapılmıştır.

Model etrafında sınır tabakayı temsil etmesi için ince bir ağ yapısı hazırlanmıştır. Bu ağ yapısı 20 katmandan oluşmaktadır. İlk ağ katmanın uzunluğu dış akışlar için $y^+ \approx 20$ kabul edilerek belirlenmiştir. Üç boyutlu ağ yapısına ait bir görsel şekil 2.15'de verilmiştir.



Şekil 2.15. Üç boyutlu ağ yapısı

Serbest su yüzeyinin modellenmesi için, akışkan hacimleri yöntemi (volume of fluid) kullanarak çok fazlı çözüm yapılmıştır. Akışkan olarak 15 °C sıcaklığa sahip su ve hava kullanılmıştır. Analizler dört farklı ilerleme katsayısına denk gelen 3,07 m/s, 3,78 m/s, 4,49 m/s ve 5,19 m/s akışkan hızları ile gerçekleştirilmiştir. Bu analizlerin sonuçları gemi arkasında oluşan akım hatları, gemi yüzeyinde oluşan statik basınç ile su hacim oranı dağılımları ve gemi gövdesine etkileyen su dirençleri şeklinde verilmiştir.

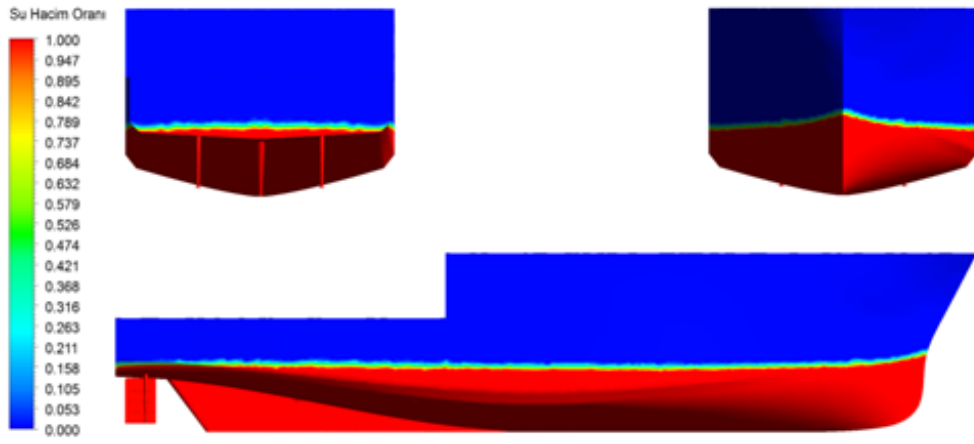
Pervane, dümen veya herhangi bir takıntı direncinin oluşmadığı durum için gemi gövdesinde oluşan toplam su direnci, dümenin dahil edildiği durumda oluşan direnç değerleri ile birlikte karşılaştırmalı olarak Tablo 2.4.' de verilmiştir. Bu Tablo incelendiğinde dümenin, toplam su direncini, yalın gemi gövdesine göre yaklaşık %8-10 oranında arttırdığı görülmektedir.

Tablo 2.4.Suyun oluşturduğu direnç kuvvetleri

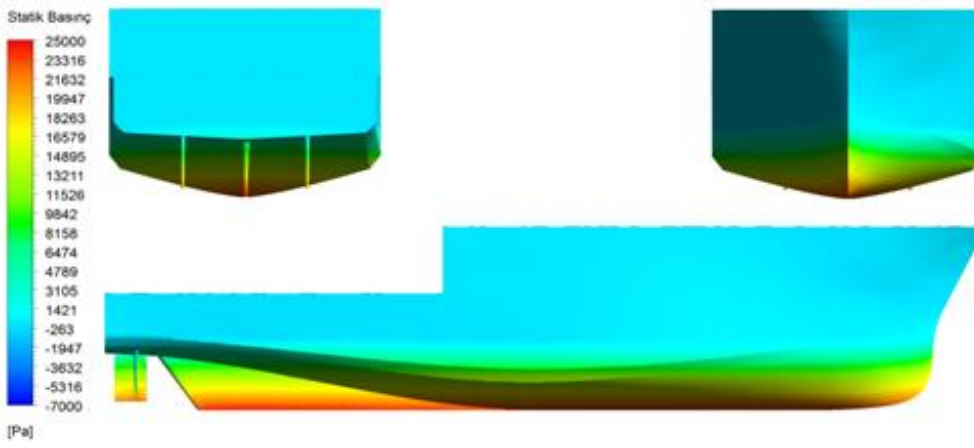
Hız (m/s)	Gemi gövdesi (N)	Gemi gövdesi+Dümen (N)
3.07	8938.68	9830.2996
3.78	12052.44	13344.0984
4.49	21737.4	23664.0666
5.19	34944.2	37558.438

Gemi yüzeyindeki statik basınç dağılımları incelendiğinde, statik basınç benzer şekilde derinliğin artmasıyla artış göstermektedir (Şekil 2.16.b-2.19.b). Ayrıca dümenin gemi kıçında basıncı arttırıcı bir etki yaptığı gözlemlenmiştir. Gemi yüzeyindeki ıslak alan incelediğinde ise baş dalgasının geminin seyir hızı ile doğru orantılı olarak arttığı görülmektedir (Şekil 2.16.a-2.19.a). Bu durum geminin dalga direncini arttırmasından dolayı geminin su direncini de arttırmaktadır.

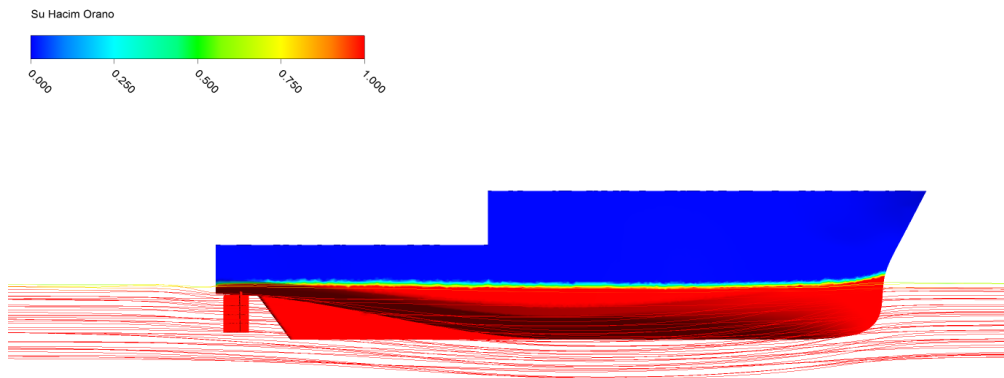
Türbülanslı ve düzensiz akışlar pervane veriminin düşmesine sebep olur. Dümenlerin pervane arkasında bulunması da bölgedeki akımı etkiler. Uygun dizayn edilen pervaneler sayesinde, bu bölgedeki akış düzenlenerek pervane verimi arttırılabilir. Ancak farklı karakteristiklere sahip gemilerin dümen ile olan etkileşimleri birbirinden farklılık gösterir. Dümenin gemi gövdesi ile olan etkileşimi incelendiğinde her hızda akım çizgilerinin dümensiz duruma göre daha düzenli olduğu görülmüştür. Bu durum pervane performansı açısından olumludur.



a

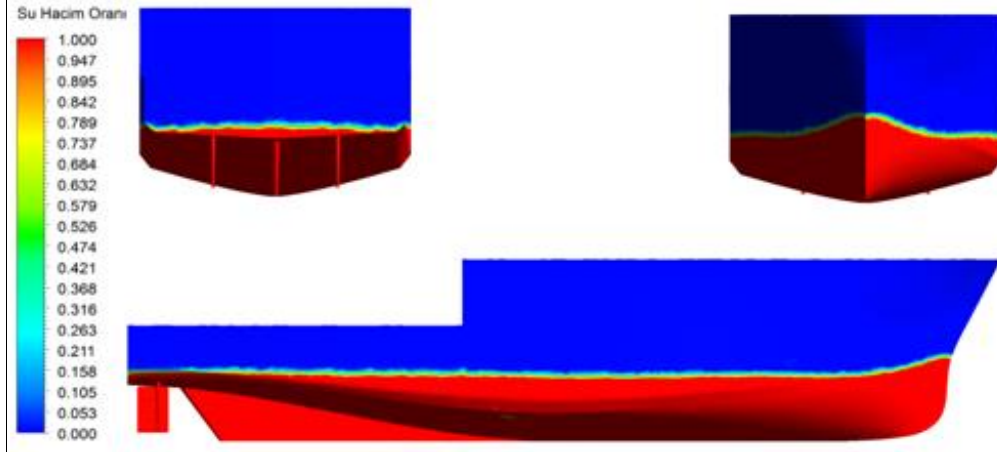


b

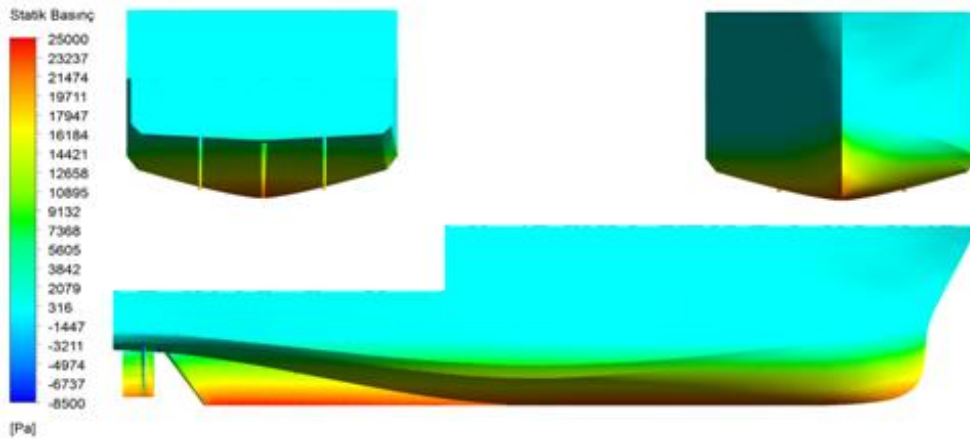


c

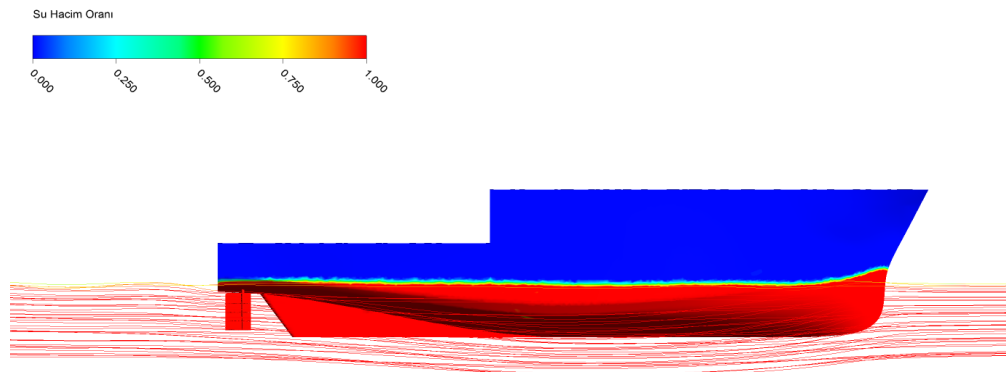
Şekil 2.16 $V=3,07$ m/s için su hacim oranı (a), statik basınç (b) ve su hacim oranını ile renklendirilmiş akım çizgileri (c)



a

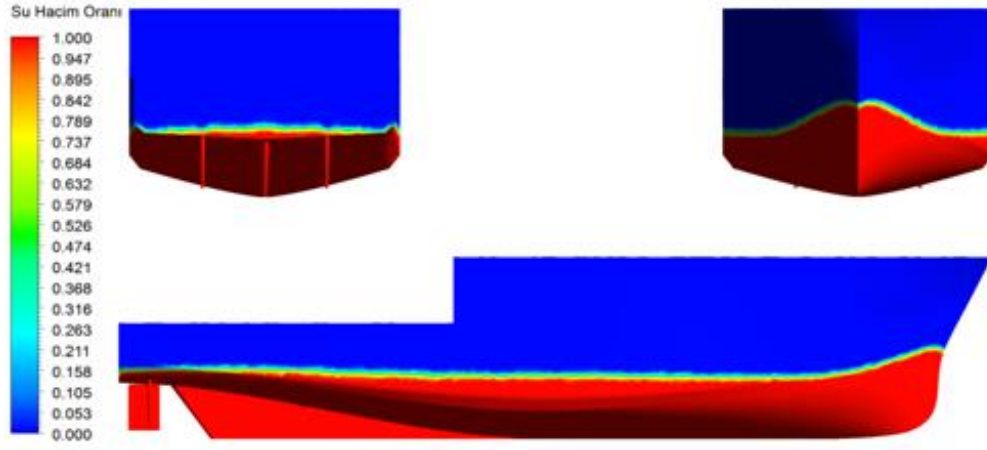


b

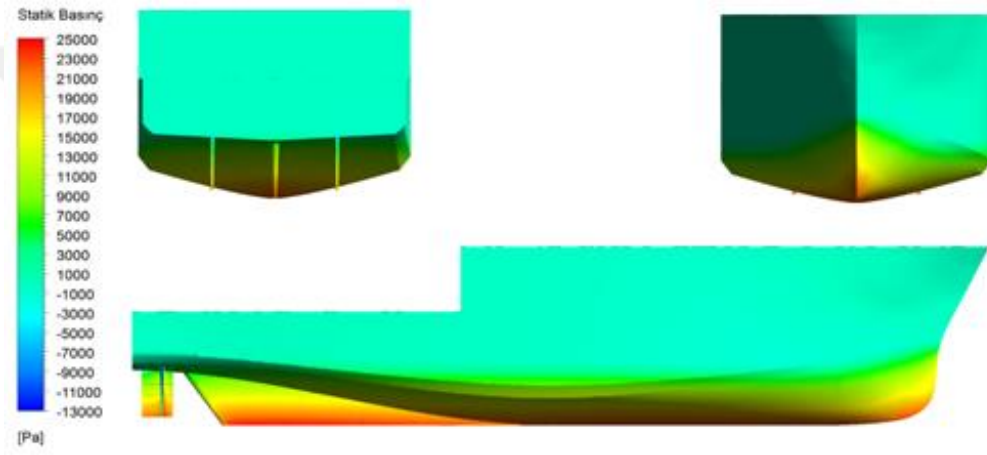


c

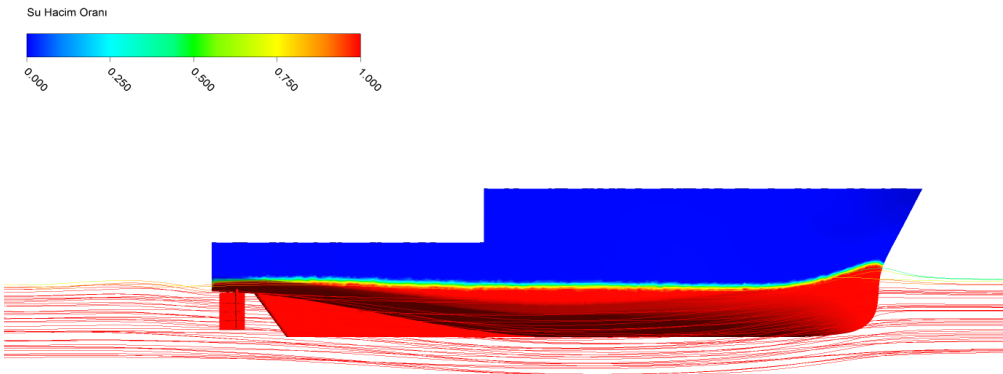
Şekil 2.17. $V=3,78$ m/s için su hacim oranı (a), statik basınç (b) ve su hacim oranını ile renklendirilmiş akım çizgileri (c)



a

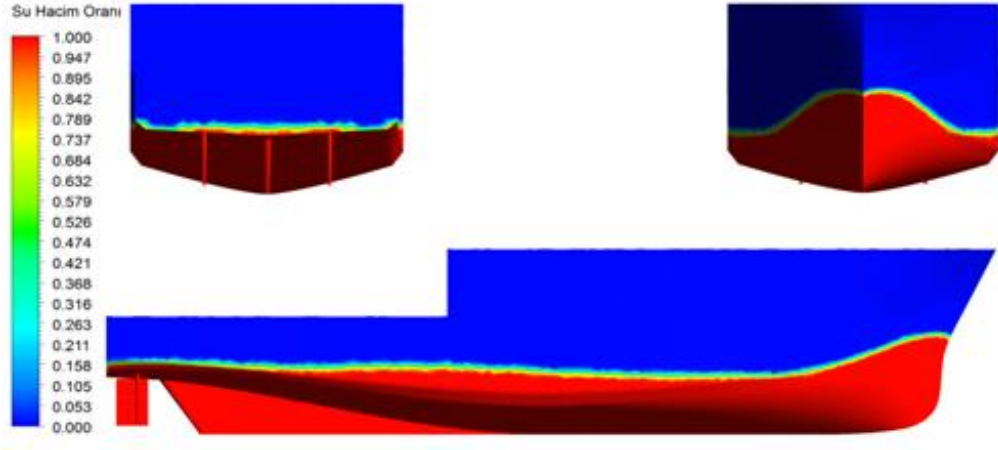


b

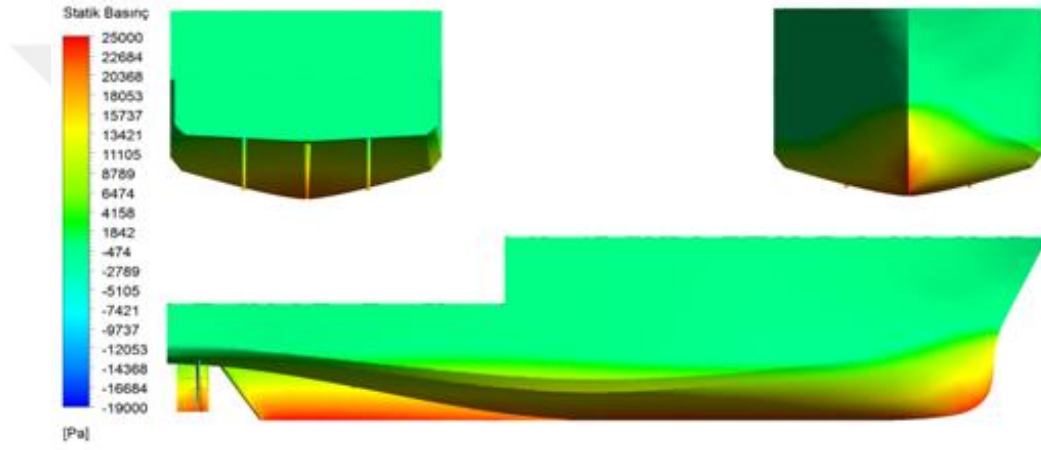


c

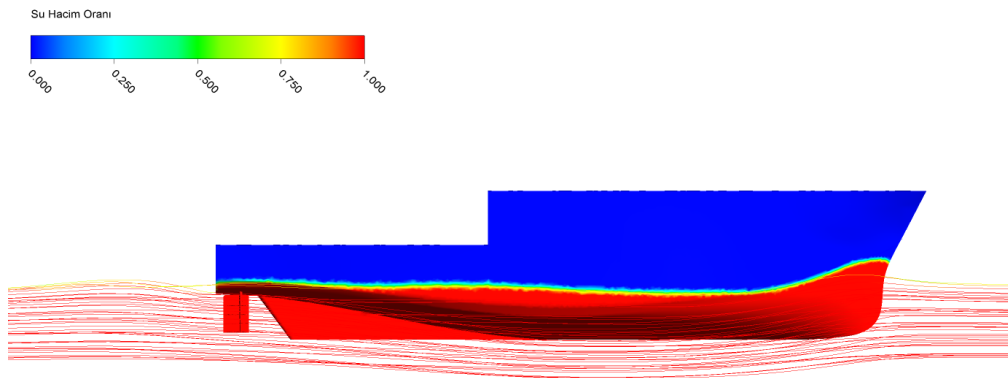
Şekil 2.18. $V=4,49$ m/s için su hacim oranı (a), statik basınç (b) ve su hacim oranını ile renklendirilmiş akım çizgileri (c)



a



b

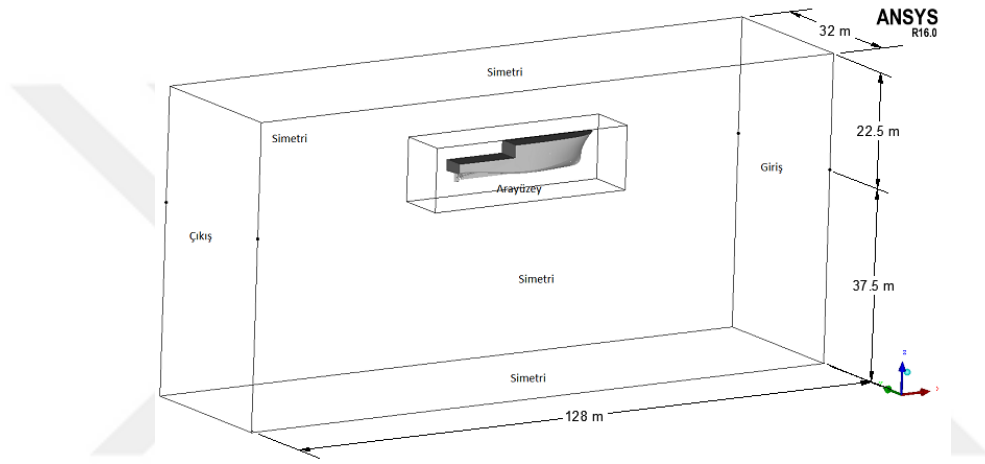


c

Şekil 2.19. $V=5,19$ m/s için su hacim oranı (a), statik basınç (b) ve su hacim oranını ile renklendirilmiş akım çizgileri (c)

2.5. Gemi Gövdesi, Dümen ve Pervanenin Birlikte Olduğu Durumun Tam Ölçekte Sayısal Analizi

Hesaplamalı akışkanlar dinamiği analizlerinde kullanılacak olan gemi gövdesi dümen ve pervanenin birlikte olduğu model, tam ölçekte ve simetrik çözüme uygun olacak şekilde hazırlanmıştır. Serbest su yüzeyi, su kesimine (2,5 m) eşit olacak şekilde ayarlanmıştır. Akış alanı geometrisinin boyutları ve kullanılan sınır şartları şekil 2.20'de gösterildiği gibidir.

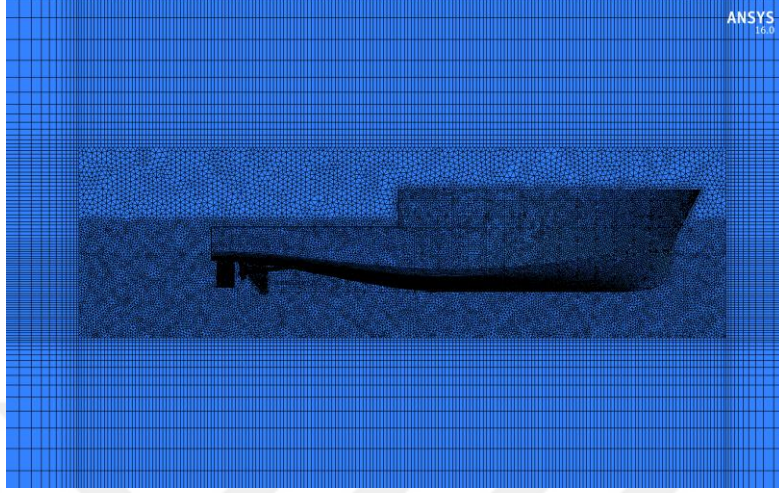


Şekil 2.20. Akış alanı geometrisi ve sınır şartları

Akış hacmine ait ağ yapısında yaklaşık 6.500.000 ağ elemanı bulunmaktadır. Düzgün altı yüzlü ve dört yüzlü olmak üzere iki tip ağ elemanı kullanılarak karma bir ağ yapısı hazırlanmıştır. Model üzerinde ve yakınındaki bölgelerde Şekil 2.21.'de görüldüğü gibi daha küçük eleman boyutları seçilerek, bu bölgelerde daha sık bir ağ yapısı oluşturulmuştur. Gemi yüzeyinde kullanılan ağ elemanlarının boyutları gemi boyunun %0,5'ini, dümen yüzeyinde kullanılan ağ elemanlarının boyutları dümen boyunun 1%'ni ve pervane yüzeyinde kullanılan ağ elemanlarının boyutları pervane çapının 1,5%'unu aşmayacak boyutlarda kullanılmıştır.

Model etrafında sınır tabakayı temsil etmesi için ince bir ağ yapısı hazırlanmıştır. Bu ağ yapısı 20 katmandan oluşmaktadır. İlk ağ katmanın uzunluğu dış akışlar için $y^+ \approx 20$ kabul edilerek belirlenmiştir. Üç boyutlu ağ yapısına ait görsel şekil 2.21'de verilmiştir.

Serbest su yüzeyinin modellenmesi için, akışkan hacimleri yöntemi (volume of fluid) kullanarak çok fazlı çözüm yapılmıştır. Akışkan olarak 15 °C sıcaklığa sahip su ve hava kullanılmıştır.

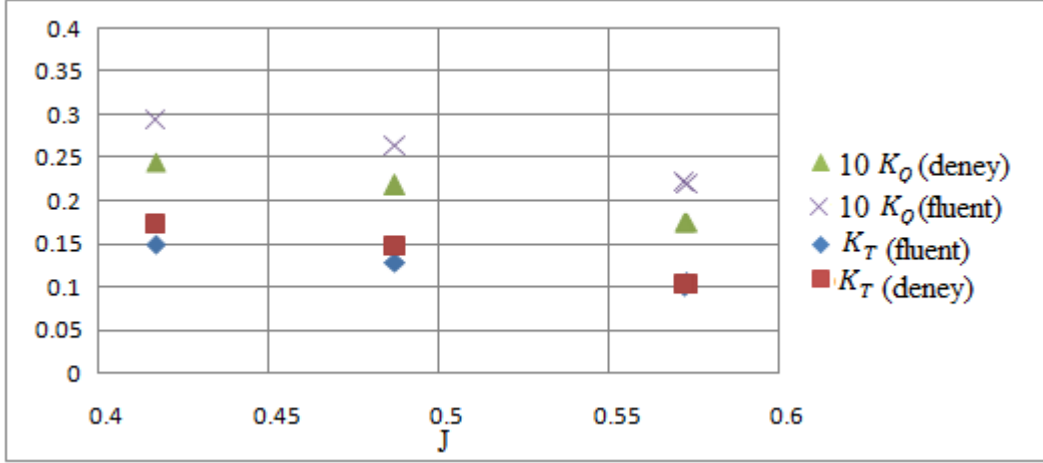


Şekil 2.21. Üç boyutlu ağ yapısı

Analizlerde, pervane hareketini temsil edebilmek için, pervanenin etrafında belirli bir hacim, ara yüz sınır koşulu kullanılarak ayrılmıştır. Ara yüzeyin sınırları içerisinde kalan bu hacme, Fluent üzerinden hareketli ağ yapısı yöntemi (moving mesh metod) uygulanmıştır.

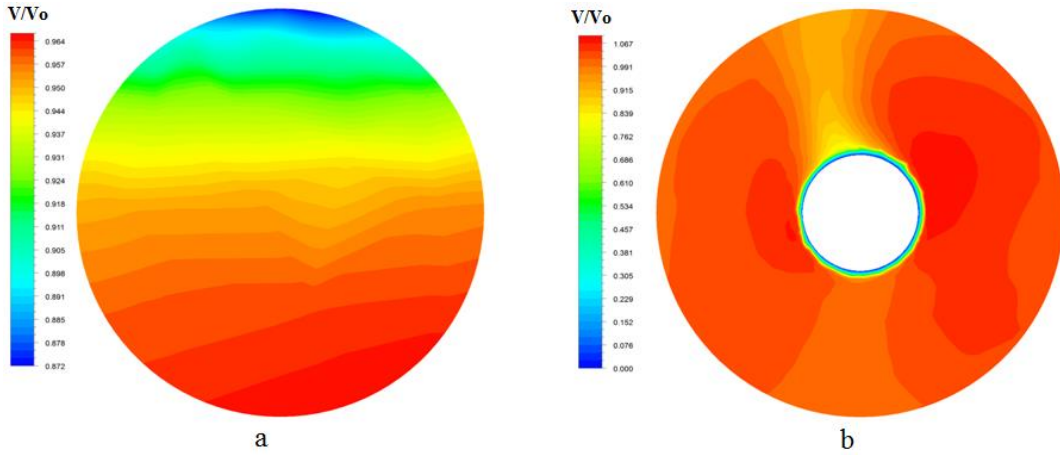
Analizler dört farklı ilerleme katsayısına denk gelen 3,07 m/s, 3,78 m/s, 4,49 m/s, 5,19 m/s akışkan hızları için gerçekleştirilmiştir. Pervanenin bu hızlara denk gelen dakikadaki devir sayıları, sırasıyla 247 d/d, 305 d/d, 425 d/d ve 574 d/d'dır. Bu analizlerin sonuçları gemi arkasında oluşan akım hatları, pervane yüzeyi üzerindeki basınç dağılımı, pervaneye gelen akım izi, gemi yüzeyinde oluşan statik basınç ve su hacim oranı dağılımları olarak verilmiştir.

Gemi yüzeyindeki statik basınç dağılımları incelendiğinde, statik basınç benzer şekilde derinliğin artmasıyla artış göstermektedir (Şekil 2.24.b-2.27.b). Dümenin varlığı gemi kıçında basıncı arttırmaktadır. Gemi yüzeyindeki ıslak alan incelediğinde ise baş dalgasının geminin seyir hızı ile doğru orantılı olarak arttığı görülmektedir (Şekil 2.24.a-2.27.a). Bu durum geminin dalga direncini arttırmasından dolayı geminin su direncini de arttırmaktadır. Şekil 2.28'de verilen pervane yüzeyi üzerindeki statik basınç dağılımları, ikinci durumdaki basınç dağılımlarıyla karşılaştırıldığında dümen varlığının pervane yüzeyi üzerindeki basıncı arttırdığı görülmüştür.

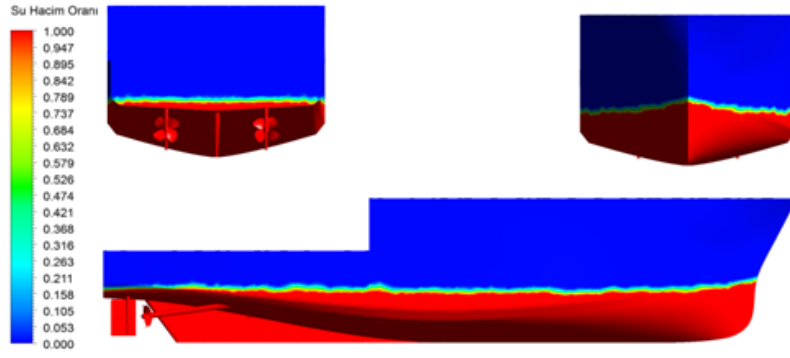


Şekil 2.22. İtme ve tork katsayısının ilerleme katsayısına göre olan değişimleri

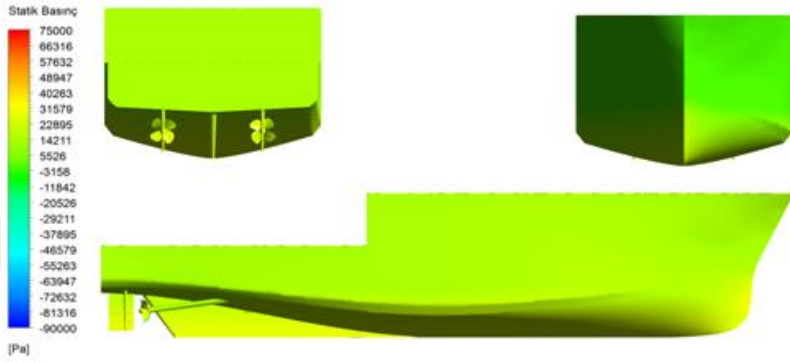
Pervane için gerçekleştirilen açık su testlerinden elde edilen sonuçlar, bu pervanelerin gemilerdeki performansını tam olarak yansıtamaz. Farklı karakteristiklere sahip gemilerin pervane ile olan etkileşimleri birbirinden farklılık gösterir. Bu etkileri inceleyebilmek ve pervane performansını belirleyebilmek için geminin bir bütün olarak çalıştırılması gerekir. Bu etkilerin daha iyi anlayabilmek için pervaneye ait itme ve tork katsayıları incelenmiştir. Açık su deneylerine ait ve Fluent analizlerinden elde edilen itme ve tork katsayılarının ilerleme katsayısına göre olan değişimleri şekil 2.22.'deki grafikte karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Bu grafiğe bakıldığında, pervanenin ilerleme katsayısı azaldığında itme katsayısında düşme, tork katsayısında ise artma meydana gelmiştir. Pervane, dümen ve gemi gövde formu arasındaki etkileşimi daha iyi anlayabilmek için birinci ve beşinci durumda pervane bölgesine gelen akım hızları şekil 2.23.'dan görülebilir.



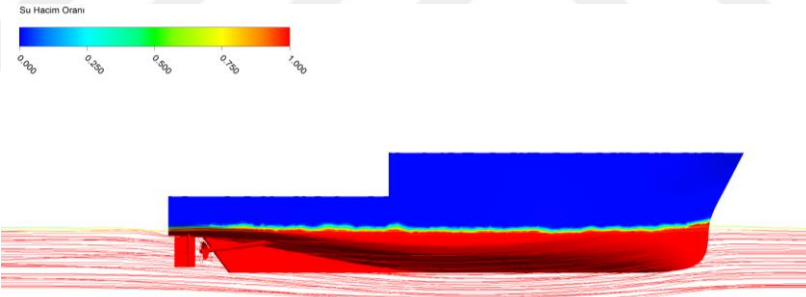
Şekil 2.23. Pervaneye gelen akım izleri: (a) Gemi gövdesi analizi, (b) Gemi gövdesi-dümen-pervane analizi



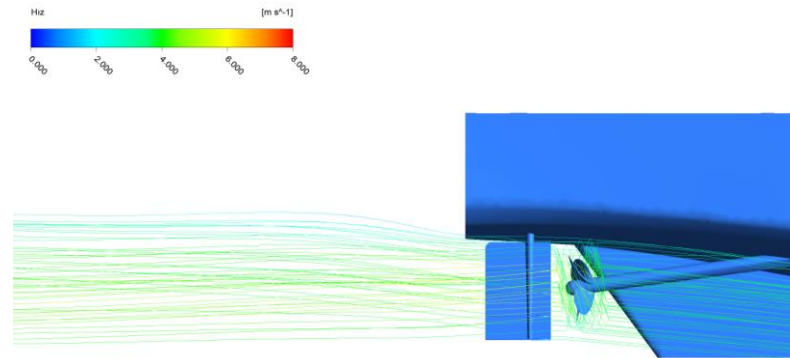
a



b

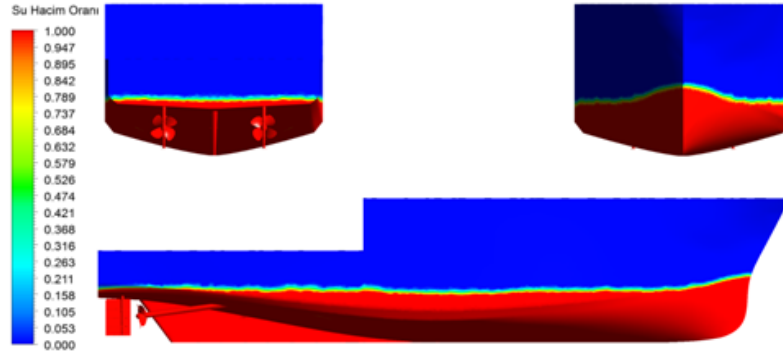


c

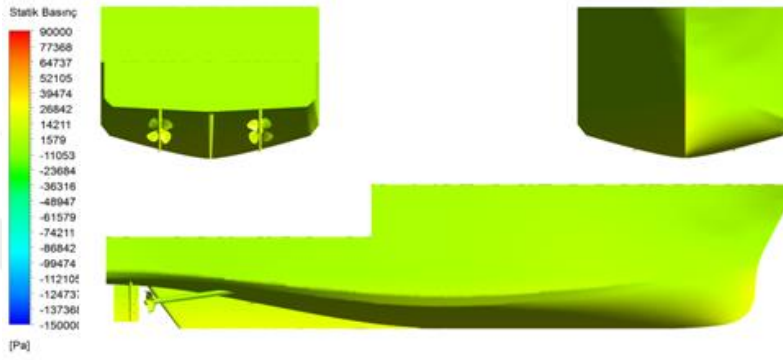


d

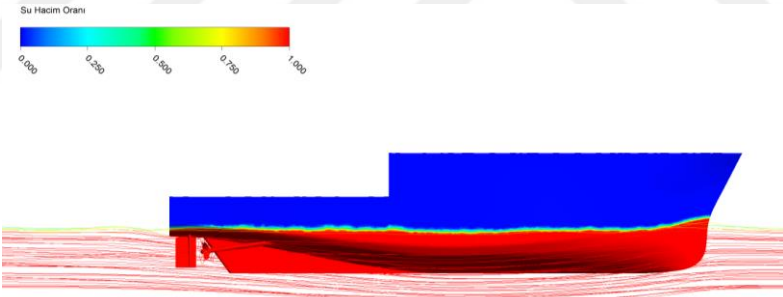
Şekil 2.24. $V=3,07$ m/s için su hacim oranı (a), statik basınç (b), su hacim oranı ile renklendirilmiş akım çizgileri (c) ve kıç bölgesinde hız ile renklendirilmiş akım çizgileri



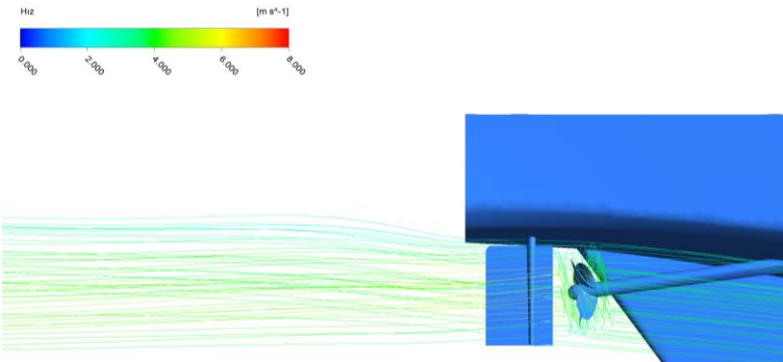
a



b

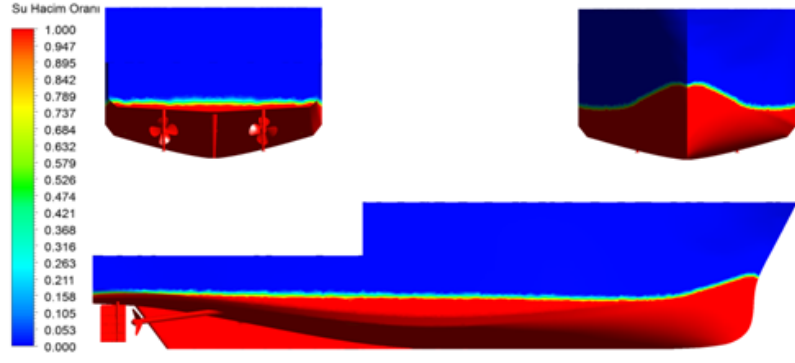


c

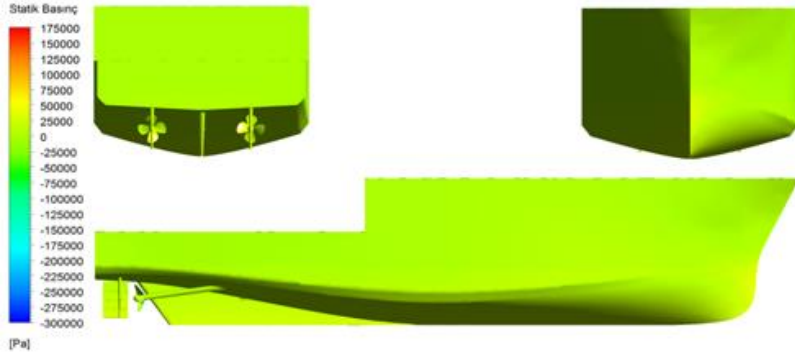


d

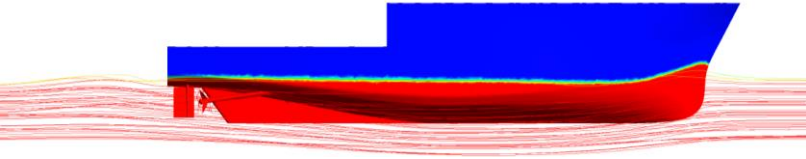
Şekil 2.25. $V=3,78$ m/s için su hacim oranı (a), statik basınç (b), su hacim oranı ile renklendirilmiş akım çizgileri (c) ve kış bölgesinde hız ile renklendirilmiş akım çizgileri



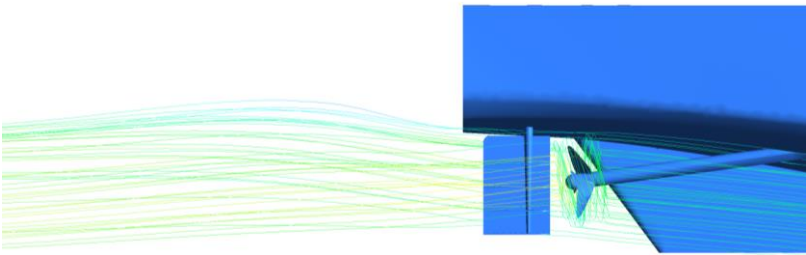
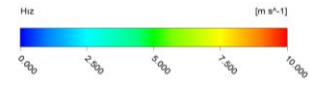
a



b

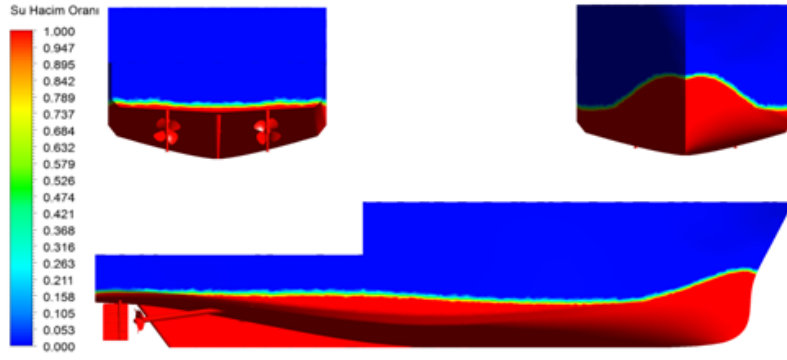


c

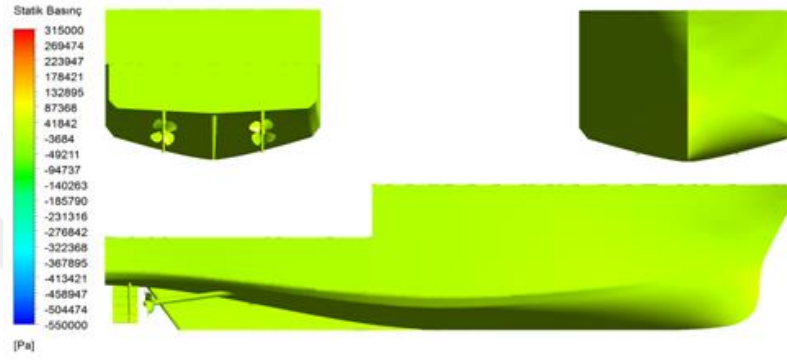


d

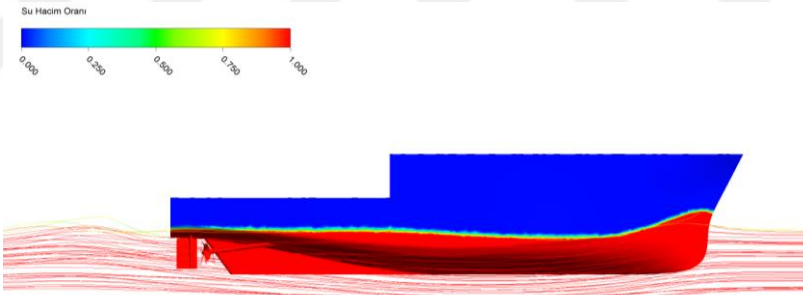
Şekil 2.26. $V=4,49$ m/s için su hacim oranı (a), statik basınç (b), su hacim oranı ile renklendirilmiş akım çizgileri (c) ve kış bölgesinde hız ile renklendirilmiş akım çizgileri



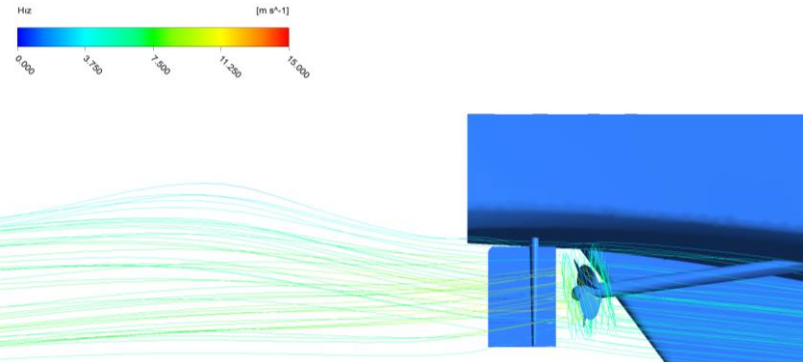
a



b

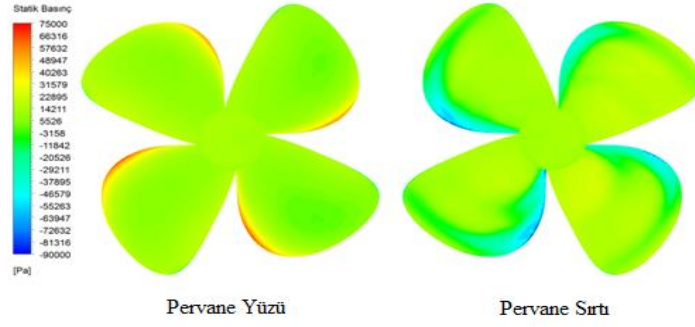


c

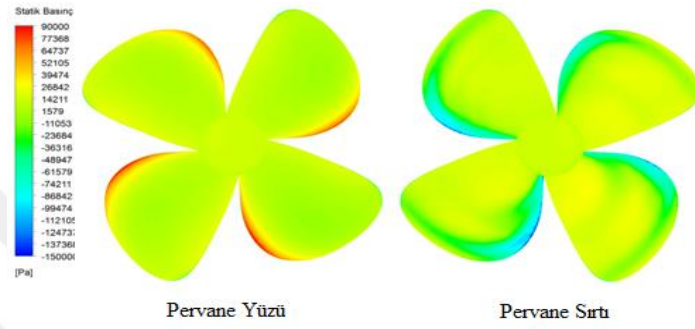


d

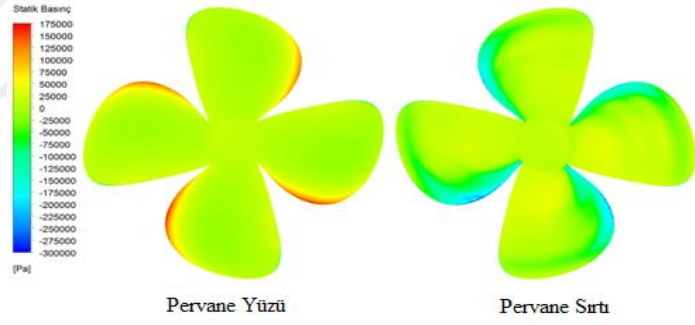
Şekil 2.27. $V=5,19$ m/s için su hacim oranı (a), statik basınç (b), su hacim oranı ile renklendirilmiş akım çizgileri (c) ve kıç bölgesinde hız ile renklendirilmiş akım çizgileri



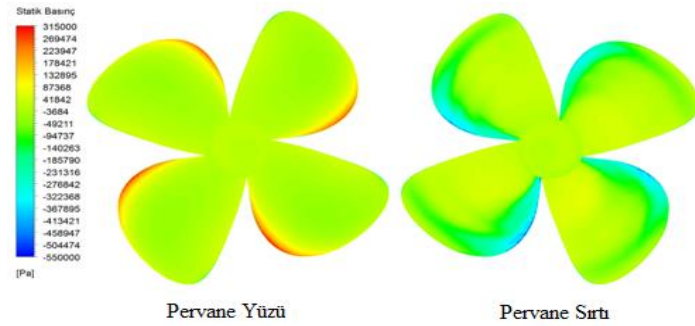
a



b



c



d

Şekil 2.28. Pervane yüzeyi üzerindeki basınç dağılımı: 3,07 m/s (a), 3,78 m/s (b), 4,49 m/s (c), 5,19 m/s (d)

3. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında gemi gövde formu, dümen ve pervane etkileşimini inceleyebilmek için, yakın kıyusal seferler gerçekleştirmek amacı ile navigasyon ve bilimsel çalışmalar için tasarlanmış olan KTU DENAR-1 adlı bilimsel araştırma gemisinin hesaplamalı akışkanlar dinamiği ile tam ölçekte analizleri yapılmıştır.

Gövde formu, pervane ve dümen arasındaki etkileşimi belirlemek için öncelikle bu parçalar yalın halde incelenmiştir. Daha sonra dümen ile gemi gövdesi ve dümen, pervane ve gemi gövdesi bir bütün halinde çalıştırılarak sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Pervaneler, gemilerin kış bölgesinde türbülanslı ve düzensiz akışa maruz kalırlar. Gemi gövdesinin formu gemi kışında oluşan ve pervaneye gelen su akışını önemli ölçüde etkilemektedir. Bu nedenle açık su testlerinden elde edilen sonuçlar, bu pervanelerin gemilerdeki performansını tam olarak yansıtamaz. Sonuçlar incelendiğinde dümenin gemi kışında basıncı arttırıcı bir etki yaptığı gözlemlenmiştir. Ayrıca dümenin, toplam su direncini, yalın gemi gövdesine göre yaklaşık %8-10 oranında arttırdığı görülmüştür. Pervane performansları incelendiğinde ise açık su testlerinden elde edilen sonuçların gemide kullanılmasıyla elde edilen sonuçlardan farklı olduğu tespit edilmiştir. Pervanenin ilerleme katsayısı azaldığında, açık su verilerinde elde edilen değerden daha düşük itme katsayısı elde edilmektedir. Buna karşın tork katsayısında artma meydana gelmektedir.

Pervane performansının tüm sistemin bir bütün halinde çalıştırılmadan elde edilmesi olumsuz sonuçlar verebilmektedir. Ortaya çıkabilecek sevk sorunlarının operasyon maliyetlerine büyük etkisi olacağından hesaplamalı akışkanlar dinamiği ile yapılacak analizler sayesinde bu tarz sorunların önüne geçilebilir. Bu çalışma daha da ileri götürülerek, altı serbestlik derecesinin pervane performansına olan etkileri hesaplamalı akışkanlar dinamiği ile çalışılabilir. Bir başka çalışma konusu ise HAD analizleri ile pervaneye gelen akımı düzenleyerek verim artışı sağlayan uygulamalar geliştirmek olabilir.

4. KAYNAKLAR

1. Carlton, J., Marine Propellers and Propulsion, Second Edition, Elsevier Ltd., Great Britain, 2007.
2. Shen, Y.T., Remmers, K.D. ve Jiang, C.W., Effects of ship hull and propeller on rudder cavitation, Journal of Ship Research, 41,3 (1997) 172-180.
3. Simonsen, C.D., Rudder, Propeller and Hull Interaction by RANS, PhD thesis, Technical University of Denmark, Department of Naval Architecture and Offshore Engineering, Denmark, 2000.
4. Natarajan, S., Computational modeling of rudder cavitation and propeller/rudder interaction, M S in Engineering, University of Texas at Austin, 2003.
5. Lee, Y.-G.Y., Jin-Won; Kang, Bong-Han; Pak, Kyung-Ryeong, A Numerical Study on the Flow around a Rudder behind Low Speed Full Ship, Journal of Ship and Ocean Technology, 12,2 (2008) 41-52.
6. Felli, M., Roberto, C. ve Guj, G., Experimental analysis of the flow field around a propeller-rudder configuration, Experiments in Fluids, 46,1 (2009) 147-164.
7. Wang, X., Wu, M. ve Ying, R.R., Numerical Calculation of Hydrodynamic Interference Coefficients between Hull, Rudder and Propeller, Manufacturing Engineering and Automation II, Pts 1-3, 591-593 (2012) 1949-1953.
8. Kınacı, Ö.K., Gemi Formu, Dümen Ve Pervane Etkileşiminin Sayısal İncelenmesi, PhD, İstanbul Technical University, Institute of Science and Technology, 2013.
9. Win, Y.N., Computation of the Propeller-Hull and Propeller-Hull-Rudder Interaction Using Simple Body-Force Distribution Model, PhD, Osaka University, Graduate School of Engineering, 2014.
10. Lei He, S.A.K., Numerical simulation of unsteady propeller/rudder interaction, International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering, 9,6 (2017) 677-692.
11. https://en.wikipedia.org/wiki/Research_vessel, Research vessel, 20/10/2017.
12. http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Gemi%20Pervane%20Donan%C4%B1m%C4%B1.pdf, Gemi Pervane Donanımı, 23/10/2017.
13. Justin E.KERWIN, J.B.H., The Principles of Naval Architecture Series: Propulsion, Gemi Sevki, S. Ekinci, The Society of Naval Architects and Marine Engineers, United States of America, 2010.

14. Shih, T.H., Liou, W.W., Shabbir, A., Yang, Z.G. ve Zhu, J., A New Kappa-Epsilon Eddy Viscosity Model for High Reynolds-Number Turbulent Flows, Computers & Fluids, 24,3 (1995) 227-238.
15. https://en.wikipedia.org/wiki/Reynoldsaveraged_Navier%E2%80%93Stokes_equations, 20/10/2017.
16. Özdoğan, M., Sungur, B., Namlı, L., Topaloğlu, B. ve Durmuş, A., Farklı En-Boy Oranlarına Sahip Binaların Etrafındaki Akışın Sayısal Çözümünde Türbülans Modellerinin Etkisinin Karşılaştırmalı Araştırılması, CBÜ Fen Bilimleri Dergisi, 12,3 (20p) 585-595.
17. Bernitsas, M.M., Ray, D., Kinley, P., K_T , K_Q and Efficiency Curves for the Wageningen B-Series Propellers, 1981, Michigan.



ÖZGEÇMİŞ

1993 yılında İstanbul'da doğdu. Lise öğrenimini Beşiktaş Atatürk Anadolu Lisesi'nde tamamladı. 20011 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Sürmene Deniz Bilimleri Fakültesi Gemi İnşaatı Mühendisliği Bölümü'nü kazandı. 2015 Haziran ayında Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisi olarak mezun oldu. 2015–2016 Eğitim ve Öğretim Güz Yarıyılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimine başladı. 2015 Kasım ayından itibaren Karadeniz Teknik Üniversitesi Sürmene Deniz Bilimleri Fakültesi Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak görev yapmaktadır. İyi seviyede İngilizce bilmektedir.