

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

GEMİ İNŞAATI VE GEMİ MAKİNELERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**YÜKSEK HIZLI TEKNELERDE GÖVDE KİÇ KANATLARININ
HİDRODİNAMİK ANALİZİ**

DOKTORA TEZİ

UĞURSAL DEMİR

**MART 2021
TRABZON**



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GEMİ İNŞAATI VE GEMİ MAKİNELERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK HIZLI TEKNELERDE GÖVDE KIÇ KANATLARININ
HİDRODİNAMİK ANALİZİ

UĞURSAL DEMİR

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
DOKTOR (GEMİ İNŞAATI VE GEMİ MAKİNELERİ MÜHENDİSLİĞİ)
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 27 / 05 / 2021

Tezin Savunma Tarihi : 30 / 03 / 2021

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Ercan KÖSE

Trabzon 2021

ÖNSÖZ

Gerçekleştirdiğim bu çalışmanın, “Gövde Kanatlarının Hidrodinamik Analizi” başlığı altında belirlendiği zamana kadar teorik olarak bir çok eksikliği görerek aşmaya çalışarak ilerledim. Hatalar, eksikler tabii ki kaçınılmaz olarak karşılaştığım sorunların bir kaçıydı. Gerek bilgisayar destekli programların hızlı gelişimi, gerekse paket programlar için çözülebilecek problemlerin hızlı artışı artık birçok analizi farklı yöntemlerle değerlendirme imkânları sağlamıştır. Benim ele aldığım bu tez kapsamındaki ‘Yüksek Hızlı Teknelerde Gövde Kıç Kanatlarının Hidrodinamik Analizi’ konusunun artık yerini dinamik sistemlere bırakarak gelişeceğini öngörmekteyim. Çünkü sürdürülebilirlik açısından bu artık zorunluluktur. Özellikle bu çalışmayı sonlandırdığım zaman dilimin de yaklaşık bir yıldır tüm dünyayı etkisine alan Kovid-19 pandemisinin olumsuz etkisini yaşamış bir araştırmacı olarak; bu tez çalışmasının ilerleyen zamanlarda yapacağım ve diğer araştırmacılar tarafından yapılacak olan diğer çalışmalara bir temel fikir oluşturacağı kanaatindeyim.

Hazırlamış olduğum doktora tezinde tüm iyi niyetleriyle yardımlarını esirgemeyen en başta tez danışmanım değerli hocam Prof. Dr. Ercan KÖSE’ye, destekleri ve yardımlarını esirgemeyen Prof. Dr. Burhan ÇUHADAROĞLU, Dr. Öğr. Üyesi Emre PEŞMAN’a saygılarımı sunarım. Tez çalışmam süresince desteklerinden dolayı KTÜ Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Bölümü öğretim üyelerine, Deniz Bilimleri Fakültesi’nin tüm araştırma görevlilerine ve üniversite öğrenimimde emeği geçen tüm hocalarıma, eğitimim süresince değerli bilgileri ile ufkumu genişletmiş olan tüm öğretmenlerime ve bu günlere gelmemde en büyük emeğe sahip olan aileme teşekkürlerimi sunarım.

Uğursal DEMİR

Trabzon 2021

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Doktora Tezi olarak sunduğum “Yüksek Hızlı Teknelerde Gövde Kıç Kanatlarının Hidrodinamik Analizi” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Ercan KÖSE’nin sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, 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. 30/03/2021

Uğursal DEMİR

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ.....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	VII
SUMMARY	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	IX
TABLolar DİZİNİ.....	XII
SEMBOLLER DİZİNİ	XIV
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş	1
1.2. Kapsam	2
1.3. Kayıcı Tekneler	4
1.4. Hesaplamalı Akışkanlar Mekaniği ve Gemi İnşaatı	6
1.5. Matematiksel Alt Yapı.....	8
1.5.1. Gemi Direnci ve Temel Denklemler	8
1.5.2. Akışkan Hareketi İçin Yönetici Denklemler	11
1.5.3. Türbülans Modeli	14
1.5.4. Çok Fazlı Akışta Yönetici Denklemler	17
1.6. Gövde Kırık Kanatlarının Çalışma Prensipleri.....	19
1.7. Kanat (Hidrofil) Kesiti	21
1.8. Literatürdeki Çalışmalar	23
1.9. Tezin Amacı	30
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR, BULGULAR VE İRDELEME	31
2.1. Doğrulama Çalışması	31
2.1.1. Bir Hızlı Deplasman Teknesi İçin Validasyon Çalışması	31
2.1.2. Ağ Modeli.....	34
2.1.3. Validasyon Çalışmasının Sonuçları.....	37
2.2. Kayıcı Tekne ve Gövde Kanat Formlarının Direnç Simülasyonları	39
2.1.1. Form-A İçin Uygulamalar	41
2.1.1.1. Fiziksel Model	43

2.1.1.2.	Ağ Model.....	44
2.1.1.3.	Form-A Tipi Kayıcı Tekne Analiz Sonuçları	47
2.1.1.4.	Gövde Kıç Kanat Eklenmiş Form-A Tipi Kayıcı Tekne Analiz Sonuçları.....	51
2.1.1.5.	Form-A Tipi Kayıcı Tekne İçin Optimize Edilmiş Gövde Kıç Kanadı ile Yapılan Analiz Sonuçları	56
2.1.2.	Form-B İçin Uygulamalar	60
2.1.2.1.	Fiziksel Model	63
2.1.2.2.	Ağ Model.....	63
2.1.2.3.	Form-B Tipi Kayıcı Tekne Analiz Sonuçları	65
2.1.2.4.	Gövde Kıç Kanat Eklenmiş Form-B Tipi Kayıcı Tekne Analiz Sonuçları	69
2.1.2.5.	Gövde Kıç Kanat Eklenmiş Form-B Tipi Kayıcı Tekne Analiz Sonuçları.....	70
3.	BULGULAR VE İRDELEME.....	74
4.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER	77
5.	KAYNAKLAR.....	79
ÖZGEÇMİŞ		

Doktora Tezi

ÖZET

YÜKSEK HIZLI TEKNELERDE GÖVDE KİÇ KANATLARININ HİDRODİNAMİK ANALİZİ

Uğursal DEMİR

Karadeniz Teknik Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ercan KÖSE

2021, 78 Sayfa

Gövde kıç kanatlarının hidrodinamik analizinin, özellikle yat ve gezinti tekneleri için uygulamaları ile birlikte yüksek hızlı teknelerde bu sistemlerin kullanımının ilk adımı olarak bu tez çalışmasının gerçekleştirilmesi özellikle Gemi Mühendisliğinin eğlenceli çalışma konularıdır. Bu bağlamda teknenin su altı gövdesine iskele-sancak yönlerden eklenen kanatların akışı düzeltici ve doğrultucu moment oluşturduğu zaten bilinmektedir. Bu noktadan çıkışla uygun tipolojideki teknelere eklenen gövde kıç kanatların özellikle iz bölgesinde dalga oluşumunu azalttığı, belirli bir hızdan sonrada ürettiği kaldırma kuvveti ile hem trimi düzelttiği hem de tekneye ek bir itme kuvveti oluşturabildiği gerek deneysel olarak gerekse analizlerle belirlenmiştir. Bu hidrodinamik analizlerin, gerçekleştirilmesi için ‘Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD)’ yöntemlerinden yararlanılmıştır. Analizlerde benzer akış problemlerinde olduğu gibi üç boyutlu olarak modeller tasarlanmış ve analizleri koşturulmuştur. Bu tez kapsamında, belirlenen Form-A ve Form-B tekne tipolojilerine sadece tekne formu ve kanat eklenmiş hallerdeki tekne formları için yapılan analizler karşılaştırılmalı sunulmuştur. Gerekli düzeltmeler irdelene ve öneriler bölümde paylaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Yüksek Hızlı Tekneler, Sürdürülebilirlik, Gövde Kanatları Analizi, Hidrodinamik, Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği.

PhD. Thesis
SUMMARY

HYDRODYNAMIC ANALYSIS OF HULL VANE IN HIGH SPEED BOATS

Uğursal DEMİR

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Naval Architecture and Naval Engineering
Supervisor: : Prof. Dr. Ercan KÖSE
2021, 78 Pages

The application of hydrodynamic analysis of hull vane, especially for yachts and recreational boats, as well as the first step of the use of these systems in high speed boats, is an entertaining study topic, especially Naval Architecture. In this context, it is already known that the hull vane attached to the underwater hull of the boat from the port-starboard directions create flow correcting and rectifying moments. It has been determined both experimentally and numerically that the hull vane attached to the boats of the appropriate typology with the exit from this point reduce the wave formation especially in the wave zone, both straighten the trim and create an additional thrust force to the boat with the buoyancy force it generates after a certain speed. "Computational Fluid Dynamics (HAD)" methods were used to perform these hydrodynamic analysis. As in similar flow problems, models in three dimensions were designed and analyzed. Within the scope of this thesis, only the hull form and hull forms with vane added to the determined Form-A and Form-B hull typologies are presented comparatively. Necessary corrections, conclusions and suggestions are given.

Key Words : High Speed Boats, Sustainability, Hull Vane Analysis, Hydrodynamics, Computational Fluid Dynamics.

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.1.	Dünya'daki yat siparişlerinin uzunluğunun ilk üç ülkeye göre değişimi.....	3
Şekil 1.2.	“V” formdaki bir kayıcı teknenin gövde görünüşü	4
Şekil 1.3.	Kayıcı bir tekne için direnç eğrisi ve hız bölgeleri	5
Şekil 1.4.	Serbest yüzey yakalama: Kontrol hacmi içerisinde suyun hacimsel gösterimi.....	18
Şekil 1.5.	Gövde Kıç Kanadının Temel Çalışma Prensiplerinin Şematik Gösterimi	20
Şekil 1.6.	a) Kanat kesitlerinin kaldırma kuvveti ve sürüklenme kuvveti üzerindeki biçimsel etkisi ve kuvvet-polar diyagramı.....	22
Şekil 1.7.	America's Cup'ta gövde kanadı eklenmiş bir yelkenli yat	24
Şekil 1.8.	42m M/Y Alive gövde kıç kanat uygulaması.....	25
Şekil 1.9.	Servisteki motoryat için gövde kanatlı ve gövde kanatsız olarak ölçülen güç değerleri	25
Şekil 1.10.	108 metre'lik offshore gemi modelinin gövde kanadı monte edilmemiş ve edilmiş haldeki uygulamaları.....	27
Şekil 1.11.	HAD analizlerinden elde edilen toplam direnç değişimlerinin yüzdesel ifade edilmesi.....	28
Şekil 1.12.	Belirli bir formun üç farklı geometride ölçülen trim değerleri	29
Şekil 2.1.	Hızlı deplasman tipolojisindeki motor yatın görünüşü	32
Şekil 2.2.	Gövde kıç kanat eklenmiş tekne formu görünüşü	33
Şekil 2.3.	Analiz yapılacak hacimlerin görünüşü	36
Şekil 2.4.	Modellerin ağ yapılarının profil görünüşleri	36
Şekil 2.5.	(a, c) kanat eklenmemiş model; (b, d) kanat eklenmiş model olmak üzere: (a, b) hacim fraksiyonu ve (c, d) +z pozisyonundaki skaler ekranlarının görüntüleri	38
Şekil 2.6.	Kanatlı ve kanat eklenmiş model için direnç grafiği	39

Şekil 2.7. Form-A tipi kayıcı teknenin üç farklı düzlemdeki kesitlere göre ölçülen kalkıntı açılarının gösterimi ($\beta_1=20.57^0$, $\beta_2=24.71^0$, $\beta_3=53.9^0$).....	41
Şekil 2.8. Form-A tipi kayıcı teknenin görünüşü	42
Şekil 2.9. Form-A Kütle merkezinin yeri	43
Şekil 2.10. Analiz yapılacak hacimlerin görünüşü	46
Şekil 2.11. Ağ yapısının üst görünüşü	47
Şekil 2.12. Ağ yapısının profil görünüşü.....	47
Şekil 2.13. Form A tipi kayıcı tip tekne için farklı froude hızlarındaki hacim fraksiyonu skaler ekran görüntüleri	49
Şekil 2.14. Form A tipi kayıcı tip tekne için farklı froude hızlarındaki; z pozisyonunda skaler ekranlarının görüntüleri.....	50
Şekil 2.15. Gövde kık kanadı eklenmiş 3 boyutlu Form A modelinin görünüşleri	51
Şekil 2.16. Kık bölgesindeki kanadın hücum açısı ve derinliği.....	52
Şekil 2.17. Gövde kık kanat eklenmiş Form A'daki hacim fraksiyonu skaler ekranları....	53
Şekil 2.18. Kanat eklenmiş Form A tipi kayıcı tip tekne için farklı Froude hızlarındaki; z pozisyonunda ekran görüntüleri	54
Şekil 2.19. Form A tipi sadece tekne ve tekne ile kanat eklenmiş halinin Froude hızlarına göre direnç değişimi grafiği.....	55
Şekil 2.20. Optimize edilmiş kık bölgesindeki kanadın kord uzunluğu, hücum açısı ve derinliğinin gösterimi.....	56
Şekil 2.21. Optimize edilmiş gövde kık kanat eklenmiş Form A'daki hacim fraksiyonu skaler ekranları.....	58
Şekil 2.22. Optimize kanat eklenmiş Form A tipi kayıcı tip tekne için farklı froude hızlarındaki; z pozisyonunda ekran görüntüleri	59
Şekil 2.23. Form-B tipi kayıcı teknenin üç farklı düzlemdeki kesitlere göre ölçülen kalkıntı açılarının gösterimi ($\beta_3 = 17.9^0$, $\beta_2 = 21.1^0$, $\beta_1 = 56.6^0$).....	60
Şekil 2.24. Form-B tipi kayıcı teknenin görünüşü	61
Şekil 2.25. Form-A Kütle merkezinin yeri	62
Şekil 2.26. Analiz yapılacak hacimlerin görünüşü	64
Şekil 2.27. Ağ yapısının üst görünüşü	65
Şekil 2.28. Ağ yapısının profil görünüşü.....	65

Şekil 2.29. Form B için hacim fraksiyonu skaler ekranları	67
Şekil 2.30. Form B tipi kayıcı tip tekne için farklı froude hızlarındaki; z pozisyonunda skaler ekran görüntüleri	68
Şekil 2.31. Form B tipi için kış bölgesindeki kanadın kord uzunluğu, hücum açısı ve derinliğinin gösterimi.....	69
Şekil 2.32. Gövde kış kanadı eklenmiş 3 boyutlu Form A modelinin görünüşleri	70
Şekil 2.33. Gövde kış kanat eklenmiş Form B'deki hacim fraksiyonu skaler ekran görüntüleri.....	72
Şekil 2.34. Kanat eklenmiş Form B tipi kayıcı tip tekne için farklı Froude hızlarındaki z pozisyonunda skaler ekran görüntüleri.	73
Şekil 3.1. Form A teknesinin sadece gövde ile optimal gövde kış kanat eklenmiş gövdesinin hıza göre karşılaştırılmalı direnç ve trim grafikleri.....	74
Şekil 3.2. Form B teknesinin sadece gövde ile gövde kış kanat eklenmiş gövdesinin hıza göre karşılaştırılmalı direnç ve trim grafikleri.....	75
Şekil 3.3. Form A teknesinin kanatsız ve kanat eklenmiş gövdesinin hız-güç grafiği.....	76
Şekil 3.4. Form B teknesinin kanatsız ve kanat eklenmiş gövdesinin hız-güç grafiği.....	76

TABLolar DİZİNİ

Sayfa No

Tablo 2.1. Modeller ve gerçek motor yat için temel özellikler tablosu.....	32
Tablo 2.2. Form-A modeli için kütle değerleri.....	33
Tablo 2.3. Ağ yapısının temel özellikler tablosu.....	35
Tablo 2.4. Fiziksel Hacim Sınırları	36
Tablo 2.5. Kanat eklenmemiş model için analiz sonuçları.....	37
Tablo 2.6. Kanat eklenmiş model için analiz sonuçları.....	37
Tablo 2.7. Form-A tipi kayıcı tekne temel özellikleri	42
Tablo 2.8. Form-A modeli için kütle değerleri.....	43
Tablo 2.9. Ağ yapısının temel özellikler tablosu.....	46
Tablo 2.10. Fiziksel hacim sınırları.....	47
Tablo 2.11. Sadece Form A için analiz sonuçları.....	48
Tablo 2.12. Gövde kık kanatlı Form-A için analiz sonuçları	52
Tablo 2.13. Optimize edilen gövde kık kanatlı Form-A için analiz sonuçları.....	57
Tablo 2.14. Form-B tipi kayıcı tekne temel özellikleri	61
Tablo 2.15. Form-B modeli için kütle değerleri.....	62
Tablo 2.16. Ağ yapısının temel özellikler tablosu.....	64
Tablo 2.17. Fiziksel hacim sınırları.....	64
Tablo 2.18. Form B tekne için analiz sonuçları.....	66
Tablo 2.19. Gövde kık kanat eklenmiş Form B tekne için analiz sonuçları	71

SEMBOLLER DİZİNİ

C_D	: Sürüklenme katsayısı
CFL	: Courant-Friedrichs-Lewy yakınsama koşulu değişkeni
C_L	: Kaldırma katsayısı
F_D	: Sürüklenme kuvveti
F_L	: Kaldırma kuvveti
g	: Yerçekimi ivmesi
HAD	: Hesaplama akışkanlar dinamiği
i	: Fonksiyon değeri hesaplanan parçacıkların indisi
VOF	: Akışkan hacimleri yöntemi
j	: hesaplanan parçacıkların indisi
L	: Tekne boyu, model boyu
RANS	: Reynolds Ortalamalı Navier-Stokes denklemleri
DOF	: Serbestlik derecesi
m	: Kütle
Pr	: Prandtl sayısı
P	: Basınç
Re	: Reynolds sayısı
S	: Gövde kuvvetleri toplamı
u	: Hız vektörü büyüklüğü
U	: Akışkan içerisindeki modelin hızı
$\mathbf{u}$	: Akışkan hızı
w	: Türbülans difüzyon oranı
ϵ	: Türbülans kinetik enerjisi
δ	: Dirac delta fonksiyonu
ρ	: yoğunluk değeri
μ	: Dinamik viskozite
ν	: Kinematik viskozite
∇	: Gradyan operatörü
ρ	: Yoğunluk

σ	: Yoğunluk düzeltmesi ortalama katsayısı
ΔV	: Birim parçacık hacmi
Δx	: Çözüm ağındaki akışkan hareketi yönündeki hücre boyutu
Φ	: Sistem kontrol hacmi
y^+	: Duvardan uzaklığı ifade eden boyutsuz bir terim
α	: Viskozite terimi katsayısı
t	: Zaman değişkeni
Δt	: Zaman adımı



1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Gemi mühendisliği disiplininde ele alınan gövde kış kanatlarının hidrodinamik analizi; geminin hız-direnç beklentisine göre kurgulanan, tekne formunun optimizasyonu ile birlikte yürütülmesi gereken bir mühendislik problemidir. Dizayn aşamasındaki bir geminin temel form özelliklerinin ve direnç-sevk karakteristiğinin belirlenmesinde hesaplamalı akışkanlar dinamiği yöntemleri ciddi katkı sağlamaktadır.

Bir geminin bir akışkan ile etkileşimi, fiziksel hacim içerisinde kurgulanan matematiksel model yardımıyla, hesaplamalı akışkanlar dinamiği yöntemleri kullanılarak sayısal olarak çözülebilmektedir. Bu çalışma kapsamında bir adım öteye giderek, teknenin direnç kuvvetini azaltmaya yönelik çalışmalarla birlikte trim açısının düzeltilmesi için gerekli simülasyonların yapılarak sevk için güç gereksinimlerinin azaltılması amaçlanmıştır. Deniz taşıtında hızı en üst düzeye çıkarma arzusu, farklı makine donanımların ve akış düzenleyici elemanların tasarımıyla daha da cazip haline gelen bir gemi mühendisliği problemi olmuştur.

1800'lerin ikinci çeyreği itibariyle mühendis William Froude, yaptığı model testleriyle, tam ölçekli gemilerin davranışını tahmin formülasyonunu oluşturan ilk kişidir. Bu yeni boyutsuz parametre veya Froude sayısı (F_r), geminin hızı (V) 'nın; yerçekimi kuvveti (g), ile geminin uzunluğunun (L) çarpımının, kareköküne bölünmesiyle elde edilir. Bu ifade denklem (1.1)'de verilmiştir (URL-1, 2021).

$$F_r = \frac{V}{\sqrt{g.L}} \quad (1.1)$$

Kayıcı teknelerin 19. yüzyılın sonlarından itibaren özellikle gezinti, spor amaçlı olarak kullanımı artmıştır. 20. yüzyılın ortalarında gelindiğinde ise tasarım ve hız beklentisine göre yarış, ulaşım ve askeri alanlarda kullanımı için prototip üretimleri ve imalat adedi artmıştır. 1990'lı yıllarda yatların zengin objesi olarak görüldüğü düşünce artık kırılmaya başlamış, yeni imalat yöntemlerinin geliştirilmesiyle 2000'li yıllara gelindiğinde üretim katlanarak artmaya devam etmiştir (Figueiredo, 2018) .

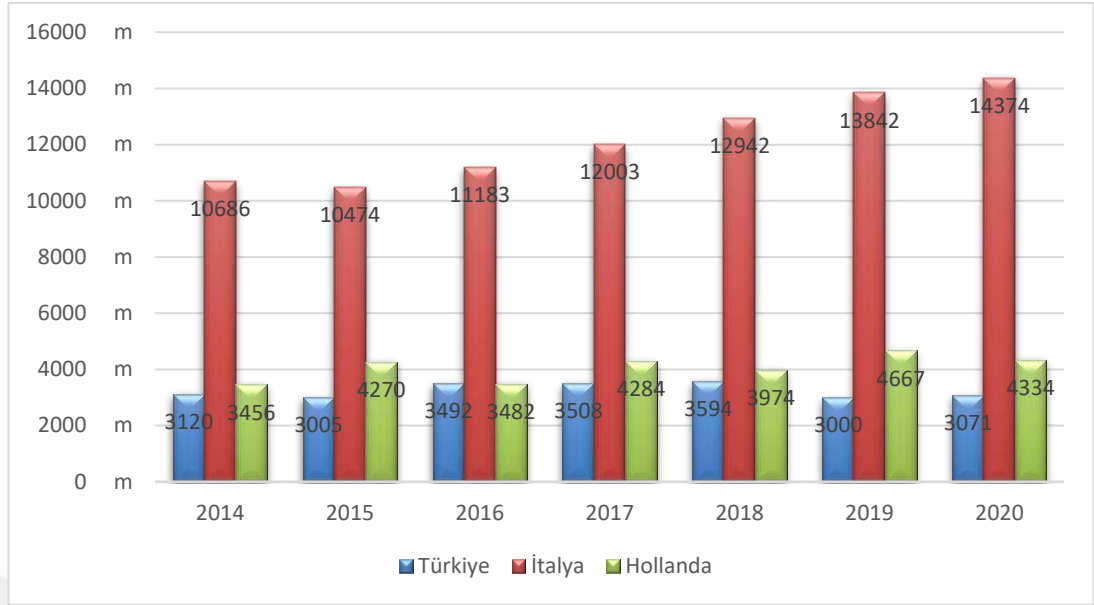
1.2. Kapsam

Dünya’da gezi tekneleri üretimi son dönemlerde Türkiye’nin bu alandaki sipariş-teslim grafiğiyle paralellik göstermektedir. 2020 yılında 24 metre ve üzerindeki yat siparişindeki toplam teslim edilen boylara bakıldığında; toplam 14374 metre ile İtalya başı çekmektedir. İkinci olan Hollanda 4334 metre, üçüncü olan Türkiye’de ise 3071 metre yat siparişi teslim etmiştir. Bu konuyla ilgili ayrıntılı grafik, Şekil 1.1’de verilmiştir (URL-3, 2017 ve URL-4, 2018). Katma değeri yüksek olan yat imalat sektöründeki teslim boyunun arttırılması, ekonomik gelişimle birlikte istihdam edilen personel sayısının artmasını sağlayacaktır.

Yat imalatında “Daha fazla sipariş alınabilir mi? Daha fazla üretim yapılabilir mi?” sorularına cevap arayan üretici firmalar, bünyesinde çalıştırdıkları tasarımcı ekipleriyle de yeni siparişleri takip etmektedirler (URL-5, 2018 ve URL-6, 2018). Mevcut şartlarda yat üretimi sektöründe tasarım olarak dışa bağımlılık fazla olduğu için; özellikle sürdürülebilir mühendislik çözümlerinin, sürdürülebilir tasarımlarla birleştirildiği noktada yaratılacak ivmeyle sektörel olarak Dünya’daki örnekleriyle yarışabilecek duruma gelmesi olasıdır. Sürdürülebilir mühendislik çözümleri bağlamında ise önümüzdeki yıllarda enerji gereksinimi artacak ve enerjinin daha verimli kullanılması adına çalışmalar hızlanacaktır. Bununla birlikte son yıllarda petrol kökenli yakıtların yanmasıyla açığa çıkan karbon emisyonunu azaltmak için ise birçok çalışma ve anlaşmalar yapılmaktadır. Bu bağlamda özellikle yat sektöründe hem ana makine gücünü verimli kullanabilmek hem de dizel yakıtların kullanılmasıyla açığa çıkan karbon emisyonunu azaltabilmek için, çevreci tasarımlara ihtiyaç vardır (Larsson, L. ve Eliasson, R. E, 2000).

Bu tasarımların mühendislik çözümleriyle uygulanabilir hale getirilmesi ve seri üretim aşamasına geçilmesini sağlamak, bu çalışmanın amaçlarından biridir.

Yeşil teknolojilerin geliştirildiği ve bununla birlikte sürdürülebilir tasarımların ilgi gördüğü, dikkat çektiği zamanlardayız. Gemi ve yat üretimi alanında tekne formunda yapılan optimizasyonlarla, toplam direncin azaltılıp yakıt tüketiminin azaltılması, daha az güçle istenilen hızlarda seyir yapabilmesi başlıklarında, gemi mühendisleri her yıl yeni yöntemler ve teknolojiler geliştirmektedir. Bu tez kapsamında Türkiye’deki yat imalatı sektöründe yeni uygulama alanı yaratılması, enerji verimliliği sağlanması, sürdürülebilir tasarım ile sürdürülebilir mühendisliğe katkı sağlayacak bir doktora tezi oluşturulması amaç edinilmiştir.



Şekil 1.1. Dünya’da sipariş edilen toplam yatların boylarının toplamının ilk üç ülkeye göre değişimi (URL-3, 2017 ve URL-4, 2018).

Yat üretiminde sürdürülebilir mühendislik çözümlerinin sağlanması; bunu yaparken de Türkiye’nin Dünya yat imalatı sektörün de ilk sıralara yerleşmesi sonucunda, hem katma değeri yüksek olan bu ürünün ihracatıyla ekonomik gelişim sağlanabilecek hem de mühendislik çözümlerinin olgunlaşabileceği, yatırımcılara güven veren bir ortam yaratacaktır. Yat siparişleri sadece ülkedeki ucuz iş gücü ile değil, aynı zamanda yapılan işçiliğin Dünya standartlarına çıkarılması ve yeni teknolojilerin entegre edilmesiyle bu güven ortamını sürekli kılacaktır.

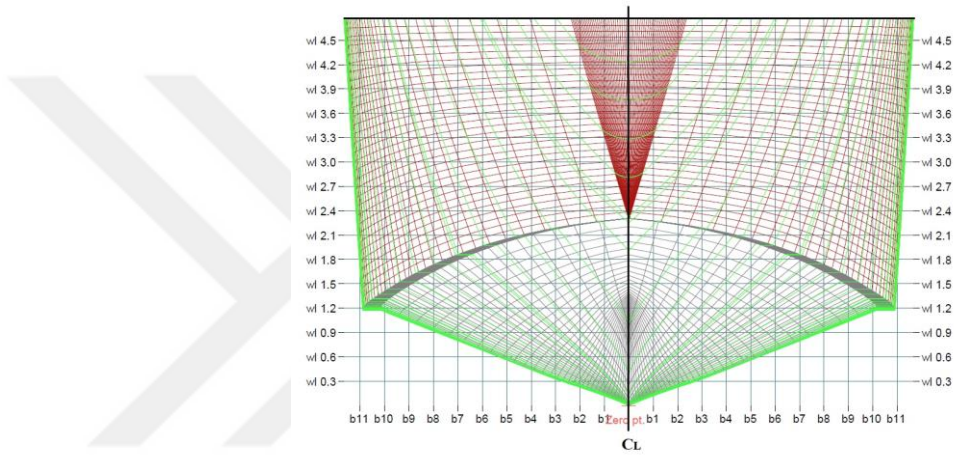
Yeni teknolojiler ile ilgili akademik çalışmaları aynı zamanda gemi ve yat inşaatı sanayisine taşınması büyük bir yükümlülüktür. Bu amaçla tüm çalışmalar için çalıştay, kongre gibi etkinliklerle genç mühendis ve araştırmacılarda farkındalık yaratılması mümkündür.

Gövde kık kanatları: -HullVane ®- Pieter Gerrit Van Oossanen tarafından uluslararası olarak patenti alınmış bir üründür (IPN: WO 2016/010423 A1) ve Hollanda menşeli “Van-Oossanen Naval Architects B.V” şirketi bünyesinde, 50 metre ve üzeri boylardaki deplasman ve yarı deplasman tipolojisindeki büyük teknelerde kullanılmaktadır (Wipo, 2016).

Bu tez çalışmasında ise kayıcı tip tekneler için gövde kık kanatlarının hidrodinamik analizleri bilgisayar ortamında simülasyonlarla gerçekleştirilmiştir.

1.3. Kayıcı Tekneler

Bazı özel yayınlarda yüksek hızlı kayıcı tekneler, hızı 30 knots ve üzerinde olan tek gövdeli veya katamaran olan gemiler olarak tanımlanmaktadır. Ancak hidrodinamik alanındaki bir dizi çalışmanın sonucunda uzmanlar, yüksek süratli kayıcı tekneyi Froude sayısı (Fr) > 0.4 olan tekneler olarak tanımlamaktadırlar (Faltinsen, 2005). Froude sayısı denklem (1.1)'de tanımlanan haliyle gemi uzunluğunun hızıyla oranını veren boyutsuz bir sayıdır.



Şekil 1.2. “V” formdaki bir kayıcı teknenin gövde görünüşü

Şekil 1.2’de görüldüğü gibi deplasman ya da yarı deplasman tipolojisindeki gemilerin aksine, kayıcı teknelerde su hattının altında kalan deplasman hacmi aynı boydaki gemilere göre daha az olmaktadır.

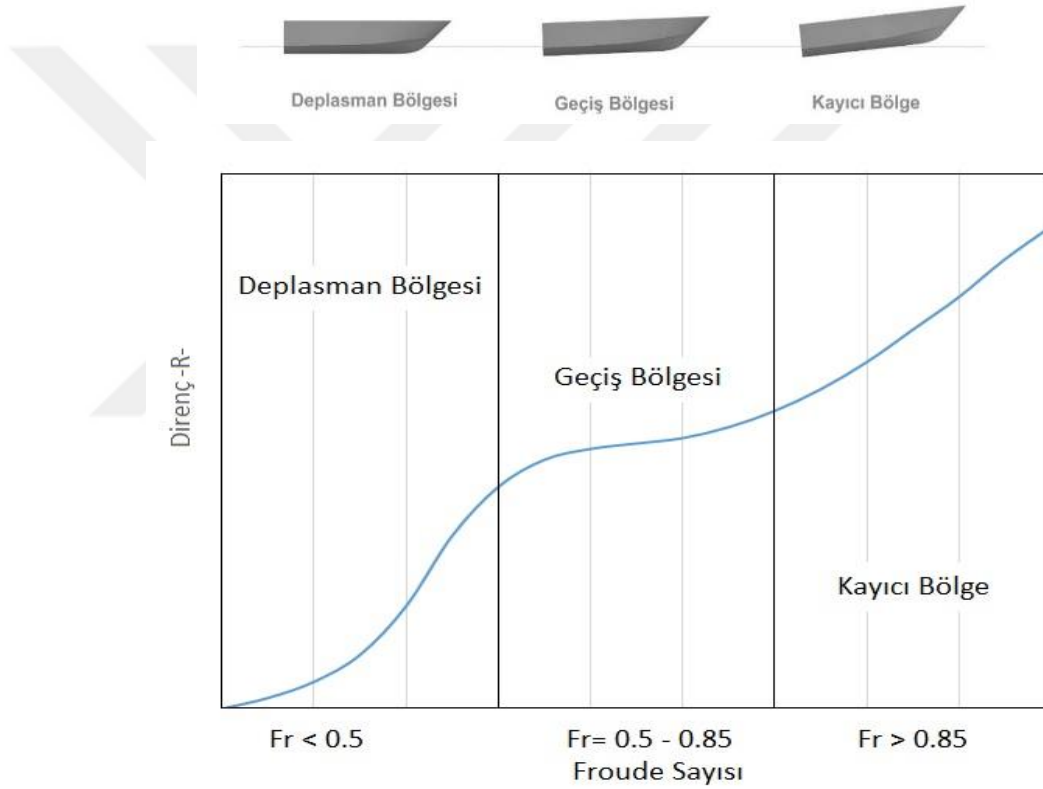
“V” formdaki kayıcı teknelerin çok farklı formlarda istenilen amaca göre, hız beklentilerini karşılayabilmesinde form üzerinde yapılacak optimizasyonlar, HAD analizleri yöntemiyle tahmini olarak çözülebilir.

Son zamanlarda yapılan çalışmalar (Avala, 2017; Crosby, 2019; Faison, 2014; Linde, 2017; Uithof vd., 2016) kullanılan bilgisayar işlem gücüyle birleşince, bu analizler artık dizayn aşamasında ve devamında üç boyutlu modeller üzerinden kontrol amaçlı istenilen verileri oluşturmaktadır. Kullanılan paket programlar için akış problemin tanıtılması, fiziki sınır şartlarının belirlenmesiyle birlikte, direnç analizleri gibi hareket ve manevra analizleri de koşturulabilmektedir.

Mühendislik tasarımı süreçlerini inceleyebilmek için genel itibariyle hız bölgeleri tanımlanmıştır. Bu bölgeler yardımıyla istenilen geçiş bölgelerinde istenilen optimizasyonların yapılması standartta bağlanmıştır.

Bahsi geçen bu bölgeler şunlardır:

- Deplasman Bölgesi,
- Geçiş Bölgesi (Yarı Deplasman Bölgesi),
- Kayıcı Bölge'dir.



Şekil 1.3. Kayıcı bir tekne için direnç eğrisi ve hız bölgeleri (Marshall, 2002).

Şekil 1.3'te viskoz akış içerisinde düşük hızlardaki hareketi tanımlamada deplasman bölgesi tanımı kullanılır. Düşük hız bölgesinin olduğu bu alanda Froude sayısı (Fr) < 0.5 'tir. Hız artışı devam ettiğinde yarı deplasman ya da geçiş bölgesine girilmiş olur (Yousefi, 2015).

Burada Froude sayısı, $Fr > 0.5$ 'tir. Hız artışıyla yeterli bir kaldırma kuvveti olamayacağından tekne baş kısmında trim artışı olmaya başlayacaktır. Bu bölgede Fr

<0.85 olana kadar bu şekilde sürer. Hidrodinamik kuvvetlerin deplasman ağırlığını karşılayabilecek hız alanına geçiş için $Fr > 0.85$ olmalıdır. Bu bölge ise kayıcı bölge olarak adlandırılır. Tekne artık kayıcı rejimdedir. Buradaki performans ağırlık, yüzme merkezlerine ve çene bölgesine bağlıdır. Islak alan azaldığı için de sürtünme direnci azalacaktır (Marshall, 2002 ve Faltinsen, 2005).

1.4. Hesaplamalı Akışkanlar Mekaniği ve Gemi İnşaatı

Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD), akışkan problemlerinin çözümü için sayısal analiz ve veri yapılarını kullanan bir akışkanlar mekaniği dalıdır. Bilgisayarlar, akışkan probleminin, tanımlanan sınır koşulları altında, akış hareketinin gerçekleşeceği tanımlı yüzeyler üzerinden etkileşimini simüle etmek için gerekli hesaplamaları yapabilecek ticari paket programlarının kullanılmasını destekleyici elamanlardır. Ansys Fluent, Star-CCM+, FlowMaster, OpenFOAM, Flow3D, Numeca gibi paket programlar, transonik veya türbülanslı akışlar gibi karmaşık akış problemlerinin doğruluğunu ve hızını artıran yazılım imkanı sağlamaktadır. Bu tarz simülasyonların ilk doğrulaması deney ve deneysel cihazlar kullanılarak gerçekleştirilir.

HAD, gemi inşaatı, hava ve uzay araştırmaları, otomotiv sektörlerinde etkin bir şekilde aerodinamik ve hidrodinamik analizlerde kullanılmaktadır. Ayrıca çevre mühendisliği, endüstriyel sistem tasarımı ve analizi, biyolojik mühendislik, ısı transferi, yanma dahil olmak üzere birçok analiz ve mühendislik problemlerinde de kullanılmaktadır. Gemi inşaatı sektöründe, form optimizasyonu, formun akış içerisinde yaptığı dalga sisteminin tespiti, gemi direnci, pervane tasarımı, yelken etrafındaki akışın analizi, kayıcı tekneler üzerindeki dinamik kuvvetlerin hesabı, boru devrelerindeki akışlar ve egzoz gazlarının simülasyonlarında da kullanılmaktadır.

Nümerik olarak çözümlenen akışkan problemlerinde Navier-Stokes denklemlerinin sınır koşulu olarak serbest su yüzeyi etkisi, ilk olarak Harlow ve Welch (1965) tarafından kullanılmıştır. Sonrasında gemi etrafındaki viskoz akış için yapılan hesaplamalar ve değişik çözüm metotlarının karşılaştırılması sonucunda en etkin çözüm yollarını gösteren araştırmacıların çalışmaları devam etmiştir. 1993'te Iowa'da, 1996'da Trondheim'de ve 1998'de Osaka'da yapılan konferanslarda viskoz akış konusunda çalışan araştırmacılar RANS (Reynolds-averaged Navier-Stokes equations) denklemleri ve çok sayıdaki

türbülans modellerini, farklı grid yapılarında, gemi kıç ve izinde çözerek önermişlerdir (Özdemir, 2007).

Barlas (1999), gemi etrafındaki sınır tabakayı incelemiştir. Bu çalışmada, viskozitenin gemi etrafındaki sınır tabakada ve arkasındaki iz bölgesinde etkisinin çok fazla olduğundan sınır tabaka içerisindeki sürtünme kuvvetlerinin, gemi için önemli bir viskoz direnç oluşturduğunu, ticari gemilerin seyir hızları dikkate alındığında, bunun geminin toplam direnci üzerinde önemli rol oynadığını, ortaya koymuştur.

2005 yılından itibaren hesaplamalı ve deneysel olarak irdelenen hidrodinamik sistem örneklerinin çeşitliliği hızlı bir şekilde artmıştır. Geliştirilen yeni yöntemler üzerinden özellikle kod yazımı aşamasında bu gelişimler halen sürmektedir. Yüksek hızlı teknelerle ilgili yapılan kongre, sempozyumlarda geleceğe ışık tutacak aşağıda özetlenen çalışmalar ortaya çıkmıştır.

Özdemir (2007), Gemi etrafındaki akış serbest su yüzeyi yöntemiyle inceleyerek deneysel sonuçları karşılaştırmıştır. Mehdiyev (2009), Yüksek süratli kayıcı bir teknenin HAD yöntemi ile form optimizasyonlarını gerçekleştirmiştir. Faison (2014), Massachusetts Teknoloji Enstitüsünde gerçekleştirildiği çalışmalar sonucunda; yüksek süratli bir kayıcı teknenin step ve surface piercing hydrofoil'lerinin tasarımını gerçekleştirmiş ve hız-direnç tahminlerini HAD analizleri yöntemleriyle irdelemiştir. Avala (2017), Hızlı deplasman formuna sahip gemiye kık kanatlar ekleyerek direnç karakteristiklerini yine HAD analizleri yöntemiyle incelemiş ve sonuçları sunmuştur. Crosby (2019), gerçekleştirdiği bir lisansüstü çalışmada yüksek hızlı bir teknenin performans incelenmesi HAD analizleri yöntemiyle gerçekleştirmiştir. Bu çalışmayı da yüksek lisans tezi olarak Michigan Üniversitesinde sunmuştur.

HAD analizlerinde, akış probleminin çözümünde mevcut diferansiyel denklemler üzerinden, fiziksel geometri ve belirlenen akış tipine uygun bir yöntemle sonuca ulaşabilmek için üç temel yöntem vardır. Bunlardan ilki yapısal analizlerde etkin olarak kullanılan Sonlu Elamanlar Yöntemidir (FEM, Finite Element Method). İkinci bir yöntem ise, akış alanını tamamen ayrıklaştıran, ancak ayrıklaştırma hatalarının kütle ve momentum denklemlerini sağlamayabildiği Sonlu Farklar Yöntemidir (FDM, Finite Difference Method).

Son olarak bu tez kapsamında yapılan çalışmalarda kullanılan Sonlu Hacimler Yöntemi'dir (FVM, Finite Volume Method).

Bu yöntemler genel itibariyle problemi tanımlarken kullanılan diferansiyel denklemlerin cebirsel halde çözümünü mümkün kılar. Sonlu Farklar Yöntemi diferansiyel formdaki denklemlerin çözümüne uygunken, Sonlu Hacimler Yöntemi integral formdaki denklemlere uygulanır. Böylece çözüm alanı daha küçük sonlu hacimlere bölünerek her eleman için ayrı integrasyon yapılır ve hesaplama gerçekleştirilir (Yurtseven, 2019).

1.5. Matematiksel Alt Yapı

1.5.1. Gemi Direnci ve Temel Denklemler

Gemi direnci, sakin suda gemiyi istenilen hızda çekebilmek için gerekli kuvvet olarak tanımlanmaktadır. İki temel bileşeni vardır. Bunlardan viskoz direnç, suyun viskozitesinden kaynaklanan enerji kayıplarını ifade ederken kullanılan direnç bileşenidir. Diğer de gemi etrafındaki dalga sistemi oluşturan kayıp enerjiyi ifade eden dalga direnci bileşenidir.

Bir gemi akışkan içerisinde hareket ederken, formun ıslak yüzeyinde meydana gelen teğetsel gerilmelerin hareket yönünde toplanmasıyla sürtünme direnci katsayısı, C_F hesaplanabilir. ITTC 1978 yöntemine göre; boyutsuz toplam direnç katsayısı, C_T denklem (1.2)'de ifade edilmiştir.

$$C_T = C_F(1 + k) + C_W + C_A + C_{AA} \quad (1.2)$$

Buradaki k , üç boyutlu etkileri ifade ederken kullanılan form faktörü olarak $(1+k)$ olarak gösterilmiştir. C_W , dalga direnci katsayısını, C_A , uyum katsayısını ve C_{AA} , hava direnci katsayısı olarak ifade edilmektedir. ITTC 1957 yöntemine göre C_F denklem (1.3) göre ifade edilmiştir.

$$C_F = \frac{0.0075}{(\log_{10} Rn - 2)^2} \quad (1.3)$$

Benzer şekilde, toplam direnç R_T , su yoğunluğu ρ , gemi ıslak alanı S ve gemi hızı V olmak üzere; toplam direnç katsayısı C_T denklem (1.4)'te verilmiştir.

$$C_T = \frac{R_T}{\frac{1}{2}\rho SV^2} \quad (1.4)$$

Dalga direnç bileşeni R_W olmak üzere, dalga direnç katsayısı ise denklem (1.5)'te verilmiştir.

$$C_W = \frac{R_W}{\frac{1}{2}\rho SV^2} \quad (1.5)$$

C_A , uyum katsayısı ise denklem (1.6)'te verilmiştir.

$$C_A = (5,68 - 0,6 \log Re)10^3 \quad (1.6)$$

A_T , su hattı üzerindeki toplam alan olmak üzere; C_{AA} , hava direnç katsayısı denklemi (1.7)'da verilmiştir.

$$C_{AA} = \frac{A_T}{1000S} \quad (1.7)$$

Aynı formatta; kayıcı tekne formu üzerinden elde edilecek kaldırma kuvveti ' $\vec{L}_f$ ', ve kaldırma kuvveti katsayısı ' C_L ' denklem (1.8)'te verilmiştir.

$$C_L = \frac{\vec{L}_f}{0,5\rho\lambda b^2V^2} \quad ; \quad \lambda = \frac{L_m}{b} \quad (1.8)$$

Denklem (1.8)'te ifade edilen eşitlik için, gemi su hattı boyunun L_m , gemi genişliğine b , bölünmesiyle elde edilen karakteristik bir boyutsuz ' λ ' sayısı ifade edilmiştir.

Ancak teorik olarak kaldırma kuvvetini belirlemek için, iki bileşene daha ihtiyaç vardır. Birinci bileşen hidrodinamik kuvvetin oluşturduğu basınçtır; ikinci bileşen ise bu basıncın ürettiği hidrostatik kaldırma kuvvetidir. Özetle, kayıcı tip teknelerin kayıcı rejime geçtiklerinde formlarına etki eden kaldırma kuvveti için Savitsky'nin sunduğu

formül ile hidrostatik kaldırma ve toplam kaldırmanın arasındaki ilişkiyi karşılaştırılmalı olarak denklem (1.9)'da ifade edilmiştir.

$$C_{L0} = \tau_{\theta}^{1.1} \left(0.012\sqrt{\lambda} + \frac{0.0055\lambda^{2.5}}{C_S^2} \right) \frac{L_f}{0.5\rho\lambda b^2 V^2} ; \quad C_S = \frac{V}{\sqrt{gb}} \quad (1.9)$$

Denklem (1.9)'ta ifade edilen form kaldırma kuvveti katsayısı C_{L0} , dinamik trim açısıyla τ_{θ} , hız katsayısının C_S ilişkisi verilmiştir (Savitsky, 1964 ve Ghadimi, 2014).

Denklem (1.9)'dan hareketle, kalkıntı açısıyla (β) ile tekne formuna etki eden kaldırma kuvveti katsayısının ilişkisi sade bir şekilde ifade etmek gerekirse:

$$C_{L\beta} = C_{L0} - 0.0065\beta C_{L0}^{0.6} \quad (1.10)$$

Diğer bir yönetici denklem; dalga boyunun kinematik viskozite (ν) ile ilişkini belirlemek olacaktır. Gemi boyu (L) ve akışkan hızının (V) çarpımının kinematik viskoziteye bölünmesiyle Reynolds Sayısı (Re) elde edilir. Tıpkı denklem (1.1)'de ifade edilen Froude sayısı gibi Reynolds sayısı da boyutsuz bir sayıdır. Özellikle atalet kuvvetlerinin oranını belirlenmede viskoz kuvvetlerin etkisini ifade etmekte gerekli olan denklem şu şekilde verilmiştir:

$$Re = \frac{LV}{\nu} \quad (1.11)$$

Hızın, dalga boyu (L_W) ve geminin hızı (V_S)'nın gemi boyu (L) ile ilişkisi denklem (1.12)'de verilmiştir.

$$V_S = 1.34\sqrt{L} \quad (1.12)$$

Araştırmacılar daha kullanışlı bir hız katsayısı belirlerken ve kayıcı tip tekneleri direnç tahminlerini kıyaslarken, hacimsel Froude sayısı $F_r V$ ve tekne genişliğine bağlı boyutsuz bir hız katsayısı C_{VB} tanımlamışlardır.

Buradan, hız tahminlerinde kullanacak kayıcı teknenin hidrodinamik karakteristiği belirlenmiş oldu. ∇ , deplasman hacmi olmak üzere bu eşitlik denklem (1.13)'te verilmiştir (Savitsky, 1964 ve Yılmaz T.,2009).

$$F_r V = \frac{V}{\sqrt{g \nabla^{\frac{1}{3}}}} ; C_{VB} = \frac{V}{\sqrt{g B}} \quad (1.13)$$

Kayıcı teknelerinin hidrodinamik açıdan incelenmesi, fiziksel ölçekli modellerin veya prototip versiyonların hız tahmin, direnç analiz çalışmaları halen sürmektedir. Bu analizlerde doğal olarak gerçek gemilere kıyasla yanlışlıklar vardır, bu yanlışlıkların olması da kaçınılmazdır. Meselâ, model deneylerinde, test ekipmanının kalibrasyonuna bağlı olarak ölçümlerle ilgili yapılan hataların olmasıdır.

Bir başka örnek olarak sıcak-soğuk geçişlerinden ya da taşımadan kaynaklı olarak model üzerinde meydana gelebilecek çatlamlar gibi. Bu tarz kusurlar/hatalar, bir araştırmacının karşılaşılabileceği sorunlardan sadece birkaçıdır.

Bu noktadan hareketle özellikle son yıllarda uygulama alanı hızla artan hesaplamalı akışkanlar dinamiği paket programları gelişerek; hem maddi olarak kayıpları azaltmış hem de zaman kaybını en aza indirerek, daha çok analizlerin irdelenmesini imkân sağlamıştır.

Bu bilgisayar destekli hesaplamalar özellikle akış içerisindeki fiziksel modelinin sabit yada değişken hızlardaki akışkan içerisinde ürettiği enerji ile ilgili olarak; dalga yapma yeteneği, türbülans oluştururken tüketilen enerjiyi hesaplanabilmektedir. Tezin kapsadığı hidrodinamik analizler için kullanılan Star ccm+ öğrenci lisanslı paket programın dilinde ifade edilmesi gereken en önemli konu da akışkan problemlerini çözümleyebilmek için kullanılan ‘Navier-Stokes denklemleri’ ve ‘Reynolds’ operatörlerini açıklamak gerekmektedir. Daha ayrıntılı açıklamalar için Ansys-Fluent ve Star ccm+ programlarının yayınlanan kılavuzları incelenebilir (CD-Adapco, 2014 ve URL-2, 2019).

1.5.2. Akışkan Hareketi İçin Yönetici Denklemler

Bu çalışma kapsamında öğrenci lisansı ile kullanılan Star ccm+ paket programı, akışkan problemlerinin çözümünde; ‘*Reynolds Averaged Navier-Stokes Equations*’ (RANS) denklemleri kullanılmaktadır. Bu kütle korunumu denklemini tanımlamadan önce Reynolds transport teoreminden bahsetmek gerekir.

Bir akışkan probleminde; akışkan özelliğinin zamanla değişim hızı ile belli bir kontrol hacmi için tanımlanan akışkanın zamanla değişim hızı arasındaki matematiksel ifade Reynolds Transport Teoremi (RTT) olarak tanımlanabilir. Bir sistem için sabit bir durumdaki kontrol hacminde bu teoremin ifadesi denklem (1.14)'de verilmiştir (Saral, 2016).

$$\frac{\partial \Phi_{sistem}}{\partial t} + \vec{\nabla} \cdot (\rho \vec{V}) = \int_V \frac{\partial}{\partial t} (\rho \phi) \cdot dV + \int_A (\rho \phi) \cdot d\vec{V} \cdot n dA \quad (1.14)$$

Bu aşamada ' $\Phi_{sistem} = m$ ' dersek ve diverjans teoremi uygularsak denklem (1.15) ifadesini elde edebiliriz.

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

Köşeli parantezin sıfır olmasıyla kütle korunumu denklemi (1.16)'da, bu denklemin kartezyen koordinatlardaki ifadesi de denklem (1.17)'de verilmiştir.

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

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} (\rho \bar{u}) + \frac{\partial}{\partial y} (\rho \bar{v}) + \frac{\partial}{\partial z} (\rho \bar{w}) = 0 \quad (1.17)$$

Momentum korunumu denklemi için RTT'de ' $\Phi_{sistem} = m\vec{V}$ ' için kontrol hacmi için kütle korunumu denkleminin uygulanmasıyla denklem (1.18) ifadesi ortaya çıkar.

$$\int_v \left[\frac{\partial}{\partial t} (\rho V) + \vec{\nabla} \cdot (\rho \vec{V} \vec{V}) - \rho \vec{g} - \vec{\nabla} \cdot \sigma_{ij} \right] \cdot dV = 0 \quad (1.18)$$

Bu denklemde köşeli parantezin sıfır olmasıyla sağlanır ve doğrusal momentum korunumu denklem (1.19)'da verilmiştir (Saral, 2016).

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \vec{V}) + \vec{\nabla} \cdot (\rho \vec{V} \vec{V}) - \rho \vec{g} - \vec{\nabla} \cdot \sigma_{ij} = 0 \quad (1.19)$$

Reynold gerilme tensörü ' $\sigma_{ij} = T_t$ ' ; birim tensörü **I** olarak tanımlandıktan sonra bu noktada başka bir bilinmeyen olarak Reynold gerilme tensörü T_t :

$$T_t \equiv -\rho \overline{v'v'} A = -\rho \begin{bmatrix} \overline{u'u} & \overline{u'v} & \overline{u'w} \\ \overline{u'v} & \overline{v'v} & \overline{v'w} \\ \overline{u'w} & \overline{v'w} & \overline{w'w} \end{bmatrix} \quad (1.20)$$

T_t tensörün çözümü için ortalama akış ortamının modellenmesinde bir girdap viskozitesi yaklaşımı yapmak gerekir. Türbülans girdap viskozitesi μ_t , için Boussinesq yaklaşımı şu şekilde ifade edilmiştir.

$$T_t = 2\mu_t \mathbf{S} - \frac{2}{3}(\mu_t \nabla \cdot \vec{V} + \rho k) \mathbf{I} ; \quad \mathbf{S} = \frac{1}{2}(\nabla \cdot \vec{V}) \quad (1.21)$$

Burada k , türbülans kinetik enerjisi olarak; **S**, deformasyon tensörü olarak ifade edilir.

Orijinal Navier-Stokes denklemlerindeki ifade ile sıkıştırılamaz ve sabit bir viskozitesi olan akış içindeki denklemi;

$$\rho \frac{D\vec{V}}{Dt} = -\vec{\nabla} \cdot \bar{P} + \rho \cdot \vec{g} + \mu \cdot \nabla^2 \cdot \vec{V} \quad (1.22)$$

Viskoz gerilmeler; x, y ve z yönlerindeki hız gradyanlarıyla ilişkisi üzerinden Navier-Stokes denklemlerinin gelişmesini sağlayacaktır. Kartezyen koordinatlarda son denklemler;

$$\rho \left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right) = -\frac{\partial p}{\partial x} + \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) + \rho g_x \quad (1.23)$$

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

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

(1.23), (1.24) ve (1.25) denklemlerinde ifade edilmiştir (Hoffman, 2000 ve CD-Adapco, 2014).

1.5.3. Türbülans Modeli

Türbülans, akışkan akışının bir özelliğidir ve mühendislik problemlerinin nerdeyse hepsi türbülanslıdır. Üç boyutlu girdap, çalkantı ve düzensizlik bu akışla karakterizedir. HAD analizlerinin gemi inşaatı uygulamalarında iki denklemlilik modellerden:

$k - \varepsilon$ türbülans modelleri olarak standard $k - \varepsilon$ model, gerçekleştirilebilir $k - \varepsilon$ model'dir.

$k - \omega$ modelleri ise Wilcox's $k - \omega$ model, Wilcox's modifiye edilmiş $k - \omega$ model ve SST (Shear-Stress Transport) $k - \omega$ model'dir.

İki denklemlilik doğrusal girdap viskozite modelleri, gemi hidrodinamik simülasyonlarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Tüm doğrusal girdap viskozite modelleri Boussinesq varsayımına (Boussinesq, 1877) dayanmaktadır.

Yaygın olarak kullanılan gerçekleştirilebilir $k - \varepsilon$ türbülans modeli için, Reynold ayrışımı tekniğinden yararlanılarak anlık hızlar ve basınç değişimleri için elde edilecek değerler; denklem (1.23), (1.24) ve (1.25)'de yerine yerleştirilir. Son aşamada RANS denklemi:

$$\begin{aligned} \bar{u} \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{u}}{\partial y} + \bar{w} \frac{\partial \bar{u}}{\partial z} \\ = - \frac{1}{\rho} \frac{dp}{dx} + \nu \left(\frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial z^2} \right) - \left(\frac{\partial^2 \bar{u}^2}{\partial x^2} + \frac{\partial \bar{u} \bar{v}}{\partial y} + \frac{\partial \bar{u} \bar{w}}{\partial z} \right) \end{aligned} \quad (1.26)$$

şeklinde ifade edilir.

Denklem (1.26)'de görülen RANS denklemi akış özelliklerini ve Reynolds gerilmelerini içeren, bir çok bilinmeyen değer içermektedir. Mevcut bilgisayar programı ise genel olarak, ortalama akış için bu denklem sistemlerini çözecektir. Bu noktadan hareketle paket program aşağıda tanımlanan değerleri çözüme ekler. Çözüme ulaşmada RANS güçlü bir araç olmasına rağmen, istenen sonuçları tek başına elde edemez. Gerçeklenebilir $k - \varepsilon$ türbülans modeline ek taşıma değeri olarak türbülans viskozitesi eklenir.

Standart $k-\varepsilon$ modeli Denklemin de: Türbülans kinetik enerjisi k , türbülans viskozitesi μ_t , ve dissipasyon oranı ε 'dir. Bu model, iki adet taşıma denkleminin çözümünü ve türbülans viskozitesinin hesabını içerir.

Kaldırma kuvvetleri etkisi ihmal edildiğinde, türbülans viskozitesi denklem (1.27)'te verilmiştir (Launder ve Spalding, 1974). Taşıma denklemleri ise sırasıyla (1.28) ve (1.29)'da verilmiştir.

$$\mu_t = C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (1.27)$$

$$\rho \frac{Dk}{Dt} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + P_{k+} G_b - \rho \varepsilon \quad ; \quad \left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) = \Gamma_k \quad (1.28)$$

$$\rho \frac{D\varepsilon}{Dt} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + C_{1\varepsilon} \left(\frac{\varepsilon}{k} \right) P_k - C_{2\varepsilon} \rho \left(\frac{\varepsilon^2}{k} \right) - R ;$$

$$\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) = \Gamma_\varepsilon \quad (1.29)$$

$k - \varepsilon$ türbülans modelindeki türbülans taşınım denklemlerinin verildiği bu noktada bir ekleme yaparak bazı sabitleri açıklamak gerekir. Bu amaçla denklem (1.28) ve (1.29)'da ifade edilen taşınım denklemlerindeki:

- $\sigma_k, \sigma_\varepsilon$; Prandtl sayıları,
- $C_{\varepsilon 1}, C_{\varepsilon 2}, C_{\varepsilon 3}$ ise ampirik sabitleri,
- P_k , Boussinesq yaklaşımıyla üretilen türbülans kinetik enerjisini,
- G_k , üretilen türbülansı,
- G_b , üretilen kaldırma kuvvetini ifade etmektedir.

$$G_k = \mu_t S^2 - \frac{2}{3} \rho k \nabla \cdot \vec{V} - \frac{2}{3} \mu_t (\nabla \cdot \vec{V})^2 \quad (1.30)$$

$$G_b = \beta \frac{\mu_t}{P_{rt}} (\Delta \tilde{T} \cdot g); \quad \beta = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial \tilde{T}} \quad (1.31)$$

β , yutulma genleşme katsayısını, P_{rt} , türbülans Prandtl numarasını (0,85-duvarda); $\tilde{T}$, sıcaklık gradyenini ifade etmektedir. Bütün bu denklemlerdeki diğer ampirik sabitler:

$C_{\varepsilon 1} = 1.44$, $C_{\varepsilon 2} = 1.91$, $C_{\varepsilon 3} = 1.01$ ve tanımlanan buradaki türbülans modeli için Prandtl sayıları $\sigma_k = 1$, $\sigma_\varepsilon = 1.3$ dir.

$k-\varepsilon$ türbülans modelinden sonra özellikle çok grid noktasına ihtiyaç duyacak $k-\omega$ türbülans modellerini ifade etmek gerekir.

$k-\omega$ modelleri; Shear-Stress Transport) türbülans modeli olarak, türbülanslı kopma gerilmelerini hesaplar. Ters basınç gradyenleri altındaki ayrılma miktarını yüksek kesinlikte tahmin eder. Düşük Reynolds sayılı akışlarda bu model $k-\varepsilon$ modelinde gereken kompleks ‘*lineer olmayan sönüm*’ fonksiyonuna ihtiyaç duymaz. Bu yüzden daha kesin ve sağlam sonuçlar elde edilir. $k-\omega$ modeli türbülans viskozitesinin; türbülans kinetik enerji ‘ k ’ ve türbülans frekansı ile bağlantılı kabul eder. Viskozite denklem (1.32)’de ifade edilmiştir (Mete, 2007).

$$\mu_t = \frac{\rho k}{\omega} \quad (1.32)$$

Standart $k-\varepsilon$ and $k-\omega$ modelleri geliştirilerek, SST $k-\omega$ türbülans modeli ortaya çıkmıştır. Karmaşık akış problemleri için gemi hidrodinamiği alanında kullanılan bu model, profesyonel seviyede bir türbülans modelidir. Bu aşamada, bu tez kapsamında SST $k-\omega$ türbülans modeli kullanılmıştır. k ve ω ifadeleri sırasıyla :

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \nabla(k\rho u) = \nabla(\Gamma_k \nabla k) + G_k - Y_k + S_k; \quad \Gamma_k = \left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k}\right) \quad (1.33)$$

$$\frac{\partial(\rho \omega)}{\partial t} + \nabla(\omega \rho u) = \nabla(\Gamma_\omega \nabla \omega) + G_\omega - Y_\omega + D_\omega + S_\omega; \quad \Gamma_\omega = \left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\omega}\right) \quad (1.34)$$

Denklem (1.33) ve (1.34)'teki taşınım denklemlerinde ifade edilen; S_k ve S_w kullanıcı kaynaklı terimlerdir. G_k , hız gradyanlarının ürettiği türbülans kinetik enerjisini; G_w özel kayıp oranı olarak ifade etmektedir ($w \cong \frac{\varepsilon}{k}$).

$$\begin{aligned} G_k &= \mu_t S^2 - \frac{2}{3} \nabla \vec{V} (\rho k + \mu_t \cdot \nabla \vec{V}) ; \\ G_w &= -\rho \gamma \left[\left(\frac{2}{3} (\nabla \vec{V})^2 - S^2 \right) + \frac{2}{3} w \cdot \nabla \vec{V} \right] \end{aligned} \quad (1.35)$$

Hacimsel oran katsayısı γ ile birlikte k ve ω 'nin ürettiği etkin yayılma ifadeleri; Γ_k ve Γ_w , olmak üzere, σ_k ve σ_w türbülans Prandtl numaralarını göstermektedir.

Benzer şekilde β^* ve β yutulma genişlemesinin katsayıları olmak üzere; türbülans yutulma oranını ifade eden Y_k ve Y_w ifadelerinin denklemleri aşağıda verilmiştir (URL-2, 2019 ve CD-Adapco, 2014).

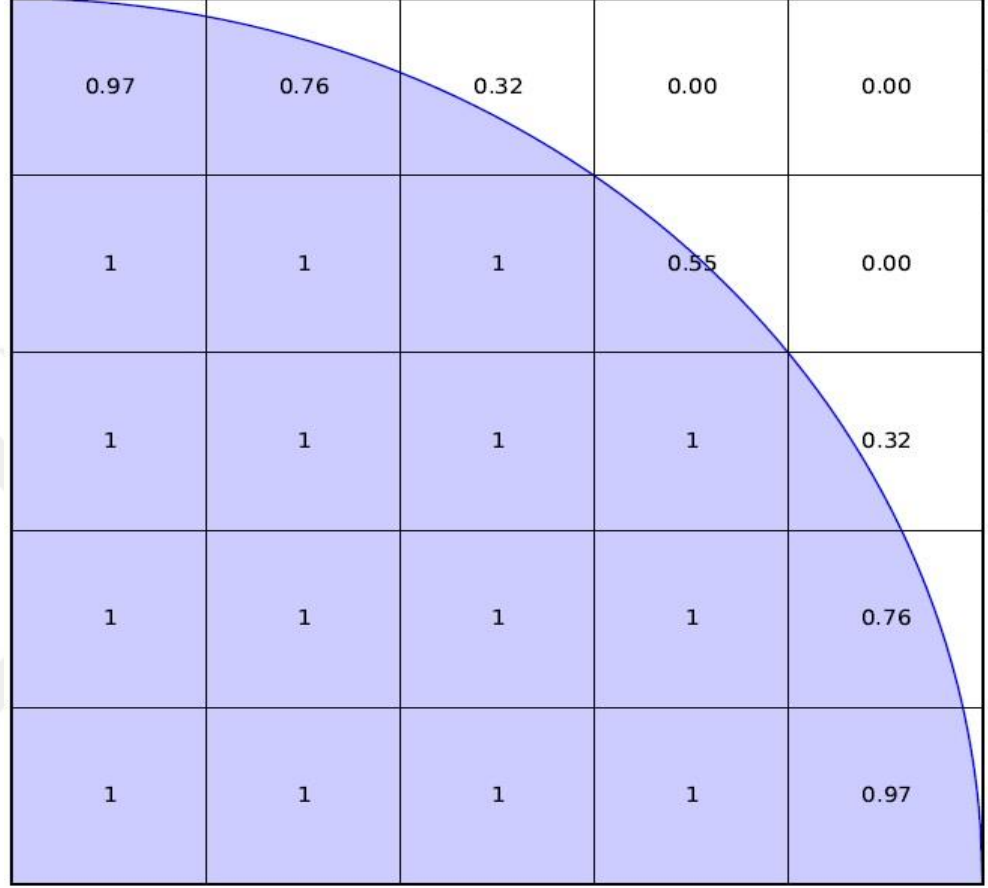
$$Y_k = \rho \beta^* k w ; Y_w = \rho \beta w^2 \quad (1.36)$$

Bütün bu denklemler sonucunda SST $k - w$ türbülans modeli için ampirik sabitler: $\sigma_k = 0.5$, $\sigma_w = 0.5$ ve $\beta = 0.071$, $\beta^* = 0.0905$, $\gamma = 0.55$ olarak belirlenmiştir.

1.5.4. Çok Fazlı Akışta Yönetici Denklemler

Bilgisayar destekli gerçekleştirilen HAD analizlerinde kullanılan, sınırları belirli bir fiziksel hacim içerisinde sabit noktaları temsil etmek için eş yüzeyler kullanılmıştır. Bunun asıl nedeni akışkan içerisinde hareket edecek gemi formu için hem hava hem de su için de sınırları belirleyebilmektir. Bu noktada RANS denklemleriyle serbest su yüzeyini modelleyebilmek amacıyla; serbest yüzey yakalama metodu kullanılarak serbest yüzeyin çözüm ağındaki konumu hesaplanır. Günümüzde bu yöntemin en gelişmiş basamağı olarak akış hacmi yöntemi (VOF) kullanılmaktadır. VOF metodu hesaplanacak hücrede her bir akışkanın hacimsel oranı (α) üzerinden taşıma denklemini kullanır. Kullanılan iki akışkan hava ve su olmak üzere su tüm hücreyi kapladığı zaman $\alpha=1$, hava kapladığı zaman $\alpha=0$ olarak tanımlanır. Serbest su yüzeyi tanımlanan sistem içinde ise

sınırlar $0 < \alpha < 1$ olarak tanımlanır. Genel itibariyle serbest yüzey $\alpha=0,5$ olarak tanımlanmıştır. Bu durum şekil 1.4'te gösterilmiştir (Linde, 2017).



Şekil 1.4. Serbest yüzey yakalama: Kontrol hacmi içerisinde suyun hacimsel gösterimi (Linde, 2017).

Sıkıştırılamaz akış için α oranı ile taşıma denklemi aşağıda verilmiştir.

$$\frac{\partial \alpha}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} (\alpha u_j) = 0 \quad (1.37)$$

VOF metodunda her iki akışkan için geçerli iki fazlı Navier-Stokes denklemlerini tanımlamak gerekir. Burada çözüm ağında yer alan her bir hücrenin kendi hacminde

tanımlanan akışkanların birbirine oranını ifade ederken; hacimsel oran $\bar{\gamma}$, yoğunluk ρ ve viskozite ν değerleri denklem (1.38)'de verilmiştir.

$$\rho = \bar{\gamma}\rho_1 + (1 - \bar{\gamma})\rho_2 \quad ; \quad \nu = \bar{\gamma}\nu_1 + (1 - \bar{\gamma})\nu_2 \quad (1.38)$$

$$\frac{\partial U_i}{\partial t} + U_j \frac{\partial U_i}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x_i} + \nu \frac{\partial^2 U_i}{\partial x_i^2} + g + S \quad (1.39)$$

Denklem (1.39)'da yüzey gerilim kuvvetlerinin eklenmesiyle momentum değişimi ifade etmektedir. Sonuç olarak VOF yönteminde nihai denklem (1.40)'da verilmiştir (URL-2, 2019 ve CD-Adapco, 2014).

$$\frac{\partial \bar{\gamma}}{\partial t} + U_i \frac{\partial \bar{\gamma}}{\partial x_i} = 0 \quad (1.40)$$

1.6. Gövde Kıç Kanatlarının Çalışma Prensibi

Çalışma kapsamında ilk olarak 25 metre tam boyunda bir kayıcı tip tekne için; V kesit tipolojisinde olacak şekilde Form A tipi tekne dizayn edilmiştir. Gövde kıç kanatları özel olarak trim düzeltmesi ve toplam direnç azaltmak amacıyla tasarlanmış bir sistemdir. Bu bağlamda hem ıslak yüzey alanı hem de atalet momenti hesapları için tekne formuna uygun bir model seçilmelidir. Tahmini yöntemlerle konumu belirlenecek ancak analizler sonucunda nihai yeri kesinleştirilecek kanatlar için ' $\lambda = 3.87$ ' benzerlik oranında bir model seçilmiştir. Hidrodinamik açıdan kanat çalışma prensibi şematik olarak sunulmuştur. Bu çalışma prensibi üzerinden basınç ve kuvvet ayrımına göre deneysel sonuçlara dayanan kanat formları grafiklerde sunulmuştur.

Bu noktada kaldırma kuvveti ile birlikte direnç düşüşünü sağlayacak optimal bir kanat kesiti belirlenmiştir. Bu kesite göre kanat tasarımı gerçekleştirilmiştir.

Teknenin dalga yapma etkisinin, açık deniz deki iz bölgesinin ve kıç dalgasında harcanan kinetik enerji değerinin tahmin edilebilmesi; verimli bir şekilde tekrar tekneye iletilmesi çalışma hedefleri arasındadır.

C_L , direnç katsayısı ve C_D ise kaldırma kuvveti katsayısı olmak üzere kaldırma kuvveti ve sürüklenme kuvvetlerinin eşitlikleri, denklem (1.42) ve (1.43)'te verilmiştir.

Trim açısı, θ olarak tanımlandığında, gövde kanadının ürettiği bileşke itme kuvveti arasındaki bağıntı denklem (1.44)'te verilmiştir.

$$\vec{F}_{x,HV} = \sin(\beta + \theta + \alpha) \cdot \vec{L}_{HV} - \cos(\beta + \theta + \alpha) \cdot \vec{D}_{HV} \quad (1.44)$$

Özellikle yüksek hızlarda z -yönündeki dinamik kuvvetlerin bileşkesi trimi daha fazla etkilemektedir. Bu hızlarda trim miktarı teknenin toplam direnci üzerinde büyük bir etkiye sahip olacaktır. Bu etki diğer alternatif trim düzeltici sistemlerle (wedge, flab, trim tab... gibi) optimize edilmektedir. Bu prensibe benzer şekilde gövde kık kanadının; hareketin başlamasıyla birlikte x -yönündeki ürettiği ' $\vec{F}_{x,HV}$ ' kuvvetiyle, akış yönünde oluşan sürtünme kuvveti olan ' $\vec{D}_{HV}$ ' kuvvetinin, gövde kık kanadın z -yönünde ürettiği kaldırma kuvveti ' $\vec{F}_{z,HV}$ ' ile oluşturdukları bileşke kuvveti ' $\vec{L}_{HV}$ ' olarak tanımlanmaktadır. Bu noktada denge denklemi (1.45)'da verilmiştir.

$$\vec{F}_{z,HV} = \cos(\beta + \theta + \alpha) \cdot \vec{L}_{HV} + \sin(\beta + \theta + \alpha) \cdot \vec{D}_{HV} \quad (1.45)$$

Akış hızının artmasıyla, gövde kık kanadının üst yüzeyinde bir düşük basınç bölgesi oluşacaktır. Bu düşük basınç bölgesinin kık dalgası ile etkileşimi sonucunda, önemli ölçüde daha düşük dalga profilleri ortaya çıkacaktır.

Sonuç olarak teknenin iz bölgesindeki dalga oluşumunun sakinliği gözle görülebilir bir durumda olacaktır. Bunun sonucunda dalga yapma enerjisi azalır, ayrıca kık güvertede daha az gürültü ve düşey ivmelenme sağlanmış olur. Bu etkiler gemi ve yatlarda olumlu etkiler olarak tanımlanmaktadır.

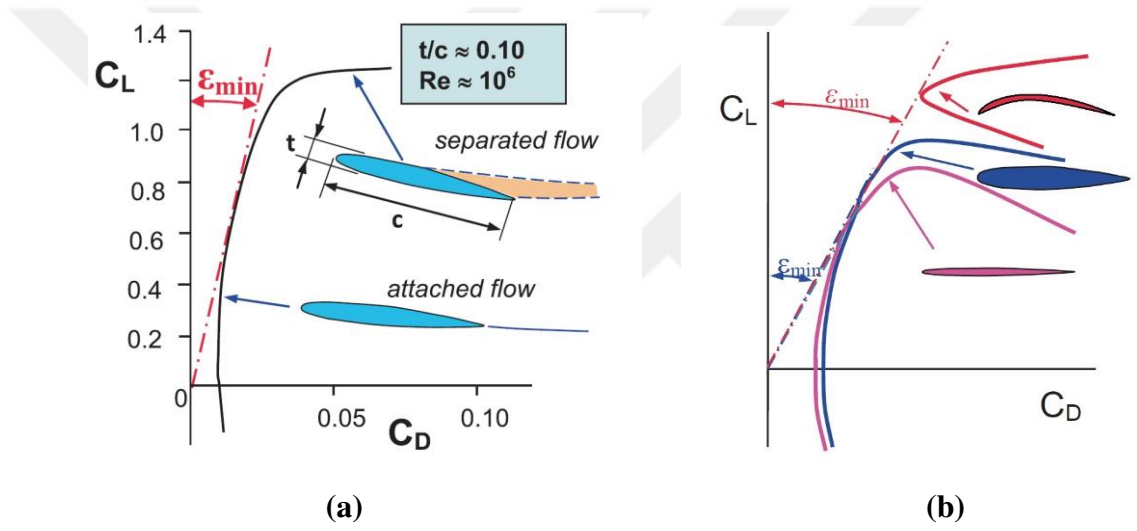
Trim azaltılmasının teknenin performansı üzerinde olumlu bir etkisi olacaktır. Aynı zamanda trim azaltılması; kanat üzerindeki su akışının, atak açısını da etkiler. Denklem (1.46)'da bunun, gövde kık kanadı tarafından üretilen itme kuvveti üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu görülebilir (Uithof vd., 2019).

$$\delta\theta = \frac{\text{trim momenti}}{\text{belli derecedeki doğrultucu moment}} \approx \frac{F_z \cdot l_{wl}}{GM_L \cdot \Delta \cdot g \cdot \sin(1^\circ)} \quad (1.46)$$

1.7. Kanat (Hidrofil) Kesiti

Bir kanat (hidrofil) kesitinin ürettiği kaldırma ve sürtünme kuvveti arasındaki ilişkinin atak açısıyla değişimini gösteren bir grafik Şekil 1.6'da sunulmuştur. Prandtl ve Tietjens; Marchai; Abbott ve Von Doenhoff tarafından sunulan çalışmaların içerikleriyle üretilen grafikte ε sürtünme açısı değişkeni olarak tanımlanmıştır (Slooff, 2015).

Bu değişkenin sürtünme kuvveti katsayısı ' C_D ' ile kaldırma kuvveti katsayısı ' C_L ' arasındaki ilişkiyi ifade etmektedir ($\varepsilon = \frac{C_D}{C_L}$).



Şekil 1.6. a) Kanat kesitlerinin kaldırma kuvveti ve sürüklenme kuvveti üzerindeki biçimsel etkisinin ifadesi b) Hidrofil kesiti için kaldırma kuvveti ile sürtünme kuvvetinin değişimini gösteren kuvvet-polar diyagramı; kalınlık/kord [t/c] oranı 0,10 (Slooff, 2015).

- a) Grafiğinde ifade edilen, karakteristik olarak en yüksek kaldırma kuvvetine sahip narin bir forma sahip kanatlar, yüksek Re sayılarında havacılık alanında kullanılan kanat kesitleridir. Orta bölümde, nispeten daha kalın bir kesitte ise düşük hızlarda daha yüksek bir dirence sahip olan kanatlar, hem havacılık alanında hem denizcilik alanında kullanılan kesitlerdir. Alt bölümdeki kanatlar düşük kaldırma ve direnç oluşturan daha çok akış düzeltici ortamlar için kullanılan bir kesittir.
- b) Ara kesit formda oluşacak; ayırık akış alanına geçmeden $\max \alpha = 1,4^\circ$ olacak bir kanat tercihi, kritik $Re: 5 \times 10^5$ sayısının altında olacak ($\approx 1.4 \times 10^5$) şekilde kanat kesiti tercih edilmiş ve yapılan çalışmalar bölümünde sunulmuştur.

1.8. Literatürdeki Çalışmalar

İkinci Dünya Savaşı'nın bitiminden itibaren dünyada, ABD'nin başı çektiği bir batı blokuna karşı Sovyetler Birliği'nin liderliğinde bir doğu bloku oluşmuştu. Bu iki blok arasında siyasi ve askeri olarak 1947'den 1991'e kadar süren bir gerginlik dönemi yaşanmıştı. Soğuk Savaş olarak adlandırılan bu dönemde özellikle teknolojik olarak birçok çalışmanın yapılması hızlanmıştı. Rekabet ortamı gelişerek sürmekteydi. Özellikle bu dönemde yapılmış ama sonradan makale, kitap, arşiv belgeleri olarak sunulmuş; hidrofıl savaş gemiler üzerine bir çok çalışmalar yapılmıştı. Yine bu dönemlerde yüzey etkili gemiler (Surface effect ship-SES) ve çok gövdeli gemiler üzerinde birçok çalışma gerçekleştirilmiştir. Kanatlı gemiler (Wing in Ground-WIG) yine bu dönemde ilk olarak hızlı kargo taşımasında kullanılmıştır. Bu dönemde kısa sürede, istenilen servis şartlarını sağlayabilmek için çeşitli gemilerin teknolojik gelişimi hızla artmıştır. Kanat kesitlerinin tasarımları, deneyleri ve portatif üretimleri yine bu dönemlerde hızla artmıştır. 1990'lara gelindiğinde; kanatların su içindeki akışı düzenleyici, direnç azaltıcı tasarımları üzerine akademik olarak birçok çalışma gerçekleştirilmiştir. Direncin azaltılarak sevk için gerekli enerjinin azaltılması konusunda daha farklı alanlarda yapılmış çalışmalar mevcuttur. Özellikle 1990'lı yıllarda yat ve gezinti teknelerinin bir üst sınıfın objesinin olduğu anlayış yıkılmaya başlandığında bu araştırmalarda çeşitlilik göstermiş; farklı modellerde hidrofıl tekne ve kanat tasarımları yapılmıştır.

Kayıcı tipteki teknelerin direncinin azaltılması konusunda 1992 yılında bir katamaran formun kış kısmına eklenen gövde kış kanatları trimi düzeltilmiş ve toplam direnci azaltılmıştır. Ancak, Beaufort 4 ve üzeri şiddetindeki havalarda bu kanatların toplam direnci arttırdığı gözlemlenmiştir (Uithof vd., 2015).

Bu kanatlar için daha sonraki zamanlarda, iş ve destek gemileri için kullanılmasında çalışmalar başlamıştır. 2002 yılında "Hull Vane" konseptinin patentini almış ve bu konsept ile yakıt tüketiminin %20 ye kadar azaltıldığı bu oranın yatlarda da %5- %10 arasında olabileceği Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) analizleri yöntemleriyle bilgisayar ortamında simüle edilmiştir. Bu şekildeki uygulama farklı tip gemilerde farklı sonuçlar vermiştir. Yine aynı yöntemlerle analizler sonucunda cevher gemilerinde ve ham petrol taşıyan gemilerde direnci arttırdığı kaydedilirken, Ro-Ro gemilerinde direnci azalttığı belirlenmiştir (Uithof vd., 2016).

Uygulama alanı olarak gövde kık kanatları 2003 yılında ilk kez Le Defi Areva isimli yelkenli yatta kullanılmıştır. America's Cup yarışlarında kullanılan bu yatta direncin azaldığı ve 0.8–1.7 knots arası hız artışı sağlandığı ölçülmüştür. Ancak bu gövde kık kanatları “America's Cup Yacht Class” kurallarının; “rigid hull rulers” kısmında onay alamamıştır. Gövde kık kanatları bu tarihten sonra America's Cup Sailing'te kullanılmamıştır (Uithof vd., 2019).



Şekil 1.7. America's Cup'ta gövde kanadı eklenmiş bir yelkenli yat (Uithof vd., 2019).

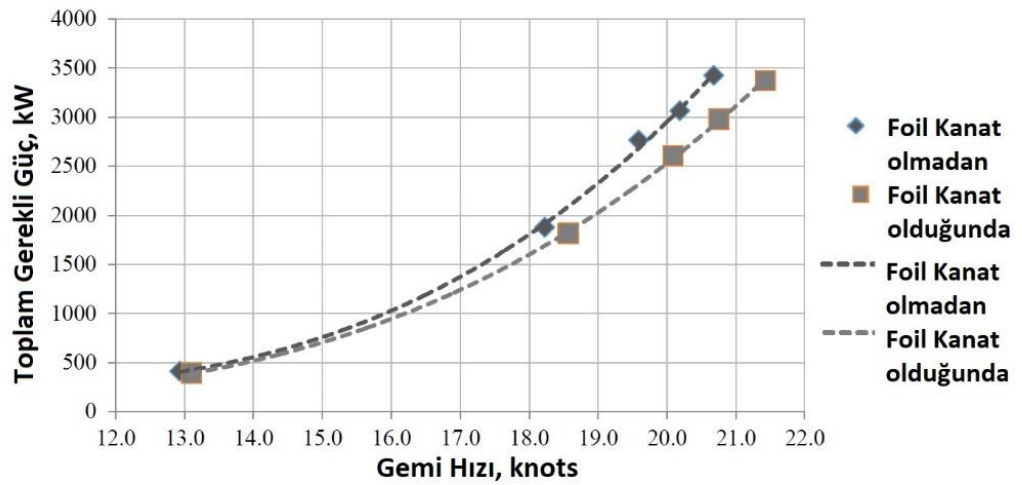
2014 yılında Hollanda menşeli Heesen Yatçılık 55 metrelik ve 42 metrelik motor yatlarda gövde kanatları kullanmıştır. Sevk için gerekli ana makine gücü %18 oranında azaltılmıştır. 42 metrelik motoryatta ise yaklaşık olarak ana makine gücü %15 azaltılmıştır.

Alive isimli motoryatın toplam direncinin azaltılması, firmanın 16V motor yerine 12V motorları tercih etmesini sağlamıştır. Gemide kurulu gücün 2600 kW'dan 2160 kW'a düşürülmesiyle, kanatlar için ilk yatırım maliyetinin önemli bir bölümü karşılanmıştır.



Şekil 1.8. 42 m M/Y Alive gövde kık kanat uygulaması (Uithof vd., 2016).

Bu hızlı deplasman tipolojisindeki yatlarda uygulanan gövde kanatlarından, 55 metre'lik gerçek geminin üzerinden ölçülen değerleri şekilde gösterilmiştir.



Şekil 1.9. Servisteki motoryat için gövde kanatlı ve gövde kanatsız olarak ölçülen güç değerleri (Uithof vd., 2016).

Dr. Niels Moerke'ye göre, gövde kanatları gövdeye çok yakın monte edilirse, gemi iz bölgesi uzayabilir ve bu durum kanadın oluşturduğu kaldırma kuvvetini azaltabilir. Ayrıca, gövde kanadının serbest su yüzeyine yakın olan üst bölgesindeki alçak basınç bölgesinin gövdeye etkisiyle ek basınç direnci oluşur. Bunun sonucunda tekne gövde ve gövde kık kanadının kombinasyonunun direnci artar.

HAD analizleri yapıldıktan sonra, tekne gövde kık kanadının teknenin arkasına yerleştirilmesi durumunda; basınç etkisinin düşürülmesiyle, gövde kanadının ürettiği itme kuvvetinde hafif bir azalma olduğu saptanmıştır (Figueiredo, 2018).

Tekne gövde kık kanadının konumlandırılmasındaki bir başka değerlendirme de, kanat kord konumuna göre doğru hücum/atak açısıdır. En büyük hücum açısı, akışın yönüne göre en dik kısmına yerleştirilerek elde edilebilir. Ancak, yüksek hızlarda, bu konumun gövdenin çok uzağında olduğu tespit edilmiştir.

Kanadın bu optimal konumu dalga boyuna ve dolayısıyla gemi hızıyla direkt bağlantılıdır. Teknenin kayıcı bölgede, gövdesi tarafından üretilen kaldırma kuvveti ve kanat tarafından üretilen kaldırma kuvvetinin; serbest su yüzey etkisi göz önünde alındığında, tekne gövdesine nispeten yakın bir yere yerleştirilebilir. Ancak bu sonucunda da daha yüksek bir atak açısı elde edilecektir. Bu amaçla, dört ayrı benchmark modeli üzerinden hareketle iki modelde kık kanadının konumu ve iki modelde ise trim düzelticilerin konumunun kıyaslanması üzerine gerçekleştirilmiştir. HAD analizi yöntemiyle elde edilen direnç sonuçlarına göre; gövde kanatlarının eklenmesi, toplam dirençte önemli bir azalma olduğu ispatlanmıştır (Hagemeister vd., 2015).

Başka bir “Hull vane® konsept” çalışmasında, gövde kık kanatlarının verimliliği gösterilmiştir. 108 metrelik bir iş teknesi için; 17 knots için % 3.3, 21 knots içinse % 19'luk bir güç gereksiniminde azalma hesaplanmıştır. Hem gövde kık kanatlarıyla hem de gövde kık kanatları olmadan 17,5 knot hızında 2 metre ve 4 metrelik düzenli baş dalgalarında gerçekleştirilen deneylerde en çok güç ihtiyacının olduğu hızda (17.5 knots), toplam direnç %15.3 oranında azaltılmıştır. Bunun yanı sıra daha fazla operasyonel faydalar da sağlanmıştır. Şöyle ki; helikopter güvertesindeki düşey ivmelenme miktarı azaltılmıştır (yaklaşık olarak -%13 azaltılmıştır). Ayrıca hesaplamalarla mevcut yakıt tanklarıyla geminin 15 knots'luk servis hızında toplam menzili; 5.000 deniz mili milinden, 5.850 deniz miline çıkacağı belirlenmiştir (Bouckaert vd., 2015).

Yine başka bir benzer çalışmada; deneyler ve analizler iki konteyner gemisi için gerçekleştirilmiştir. 137 metrelik ve 167 metrelik konteyner gemileri için gerçekleştirilen model deneylerinde yüksek Froude hızlarında, gövde kık kanadının; 0.2'den 0.7'ye kadar olan Froude hızları için modellerin toplam dirençlerinde düşüşler gerçekleşmiştir. Sevk için gerekli makine gücü sakin suda %10,2 - %10.9 aralığında; dalgalı denizde ise yaklaşık %11 oranında azalmıştır. 108 metrelik destek gemisi içinde benzer sonuçlarla birlikte, iz bölgesinde dalga oluşumu minimuma indirgenmiştir (Bouckaert vd, 2018).



Şekil 1.10. 108 m offshore gemi modelinin gövde kanadı monte edilmemiş ve edilmiş haldeki uygulamaları (Bouckaert vd., 2018).

Hareketlerdeki azalmanın avantajı, dalgalara bağlı ilave direncin azalmasıdır, bu da teknelerinin Beaufort 4 ve üzeri şiddetindeki havalarda daha etkili, konforlu seyir yapabilmesini sağlar. Hareketler azaldıkça, çeşitli deniz durumlarında gemideki konfor, emniyet ve çalışma aralığı artar.

Yüksek hızlı deplasman tipli tekneler için gövde kanatlarının direnç karakteristiği üzerine yapılan çalışmalarda; önemli sonuçlar ortaya çıkmıştır. Trim ayarlama sistemleri, kık kanatlar, kık bölgesi için geliştirilmiş kademeli blok ve kanatçıklar, trim ve yalpa dengeleyici sistemler; bir geminin genel direncini belli miktarlarda azaltabildiği kanıtlanmıştı. Benzer şekilde HAD analizleriyle, simülasyonlar yapılmış ve toplam direnci % 15'e kadar azaltılabileceği tespit edilmiştir. Ayrıca benzer uygulamalar yapılan tüm modellerin, gerçek boylardaki gemilere göre; test hızlarıyla birlikte toplam geminin direncinde meydana gelen değişimler yüzde ifade ile Şekil 1.10'da verilmiştir (Uithof vd., 2016).

Gemi Tipi	Test Hızı	ΔR_T
47m motor yat	7.7 kn / Fn 0.20	+9.6%
	13 kn / Fn 0.34	-21.2%
	23.3kn / Fn 0.60	-3.3%
169m konteyner gemisi	17 kn / Fn 0.21	-10.1%
	21 kn / Fn 0.27	-15.5%
152m konteyner gemisi	15.5 kn / Fn 0.21	+1.2%
179m ro-ro gemisi	18 kn / Fn 0.22	-2.7%
176m dökme yük gemisi	17 kn / Fn 0.21	+6.6%
285m konteyner gemisi	20 kn / Fn 0.19	+3.7%
	22 kn / Fn 0.21	-0.7%
	24 kn / Fn 0.23	-6.4%
64m motor yat	15.9 kn / Fn 0.33	-26.5%
350m konteyner gemisi	24 kn / Fn 0.21	-7.2%
55m platform tedarik gemisi	20 kn / Fn 0.46	-6.5%
142m Fırkateyn	18 kn / Fn 0.25	-6.7%
	24 kn / Fn 0.33	-7.5%
	30 kn / Fn 0.41	-6.2%
126m yolcu gemisi	15 kn / Fn 0.22	-9.6%
33m balıkçı gemisi	11 kn / Fn 0.31	+1.3%

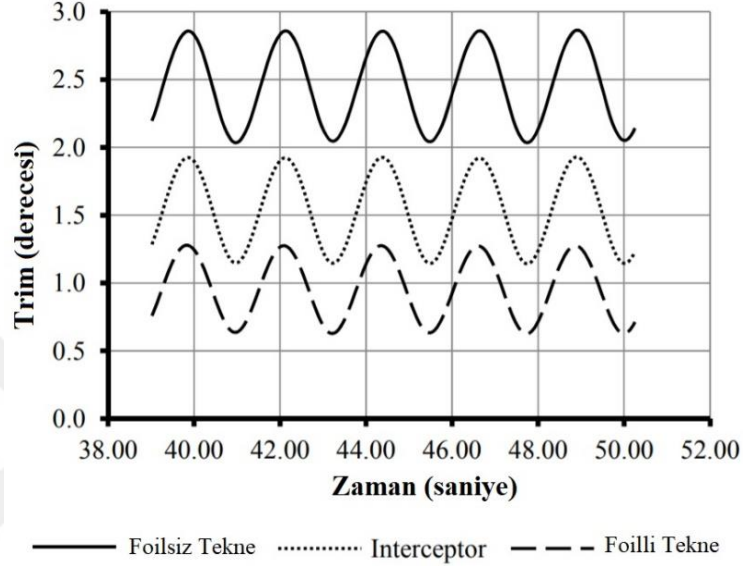
Şekil 1.11. HAD analizlerinden elde edilen toplam direnç değişimlerinin yüzdesel ifade edilmesi (Uithof vd., 2016).

İkinci bir olumlu kazanım olarak kıç bölgesinde dalga oluşumundan kaybedilen enerjiyi geri kazanmak için yapılan başka bir çalışmada, trim açısının azaldığı ölçülmüştür. Trim düzeltici bir sistem olarahtan kullanımı amaçlanarak hızlı deplasman tipolojisindeki bir gemi için diğer trim düzeltici sistemlerde; kıç kanatlar, kıç bölgesi için geliştirilmiş kademeli blok ve kanatçıkların kullanıldığı bu çalışmada sonuçlar irdelenmiş ve bir tartışma sunulmuştur. Yine bu çalışmada gövde kıç kanatlarının konumu üzerinde belli başlı çıkarımlar sağlanarak ilerleyen zamanlarda yapılacak farklı çalışmaların temeli oluşturulmuştur.

Özellikle hareketli, dinamik sistemlerin tekne gövdesinde olabileceği ve bunların sevk hızına göre kullanılabilceği, konumunun bu hızlara göre belirlenebileceği sonuçlar arasında verilmiştir. Ancak hâlihazırda ilk yatırım maliyetini karşılanabilmesi konusunda bir çalışma yapılmamıştır. Bu optimizasyon yönteminin şimdilik bu aşamada kullanılabilmesi açısından bir durağanlık yaratmıştır, denilebilir.

Şekil 1.11’de verilen grafikte HAD analizleri yapılarak elde edilen trim derecesinin zamanla değişimi gösterilmiştir. Dalga boyu 50 metre, dalga yüksekliği 1 metre olarak belirlenmiştir. Çalışma kapsamında önce sadece tekne analizi yapılmış; trim değerleri

belirlenmiştir. İkinci olarak bir ‘*interseptör çifti*’ kullanarak yine trim değerleri ölçülmüştür. Üçüncü olarak tekne gövdesinin kık kısmına bir kanat eklenerek; $Fn 0.6$ hızında trim değerleri ölçülmüştür. Son olarak bunlar aynı grafikte sunulmuştur (Uithof vd., 2016).



Şekil 1.12. Üç farklı form için ölçülen trim değerleri (Uithof vd., 2016).

1.9. Tezin Amacı

Teknenin gövde kanatları kık bölgeden ayrılan dalga akışından enerji toplayabilir. Toplanan enerji ve kanatlar tarafından üretilen kaldırma kuvveti ile hareket yönünde bir bileşke kuvvete dönüştürülebilir. Kanadın kendi direncinin, bu ileri bileşke kuvvetine göre daha az olduğu durumlarda tekne trimi düzeltilebilir. Aynı zamanda kık tarafta kanatların topladığı enerjiden dolayı iz bölgesinde oluşan dalga oluşumu azalır. Sonuç olarak teknenin dalga direnci azaltılmış olur. Direncin azalmasıyla da sevk için gerekli güç ihtiyacı azalır, dolayısıyla da yakıt tüketimi de azaltılmış olur.

Kayıcı tip -V Form- tekneleri minimum yakıt tüketimi ile daha yüksek hızlara ulaşılabilmeyi amaçlanarak tasarlanır. Bu teknelerin mühendislik tasarımı aşamasındaki toplam direnci hesaplayarak gerekli güç, hız beklentileri karşılamak ve gerekli form optimizasyonlarını tamamlamak için paket bilgisayar programlarından

yararlanılmaktadır. HAD analizleri yöntemleriyle irdelenecek olan kanat tasarımları farklı açılarda, farklı hızlarda iz bölgesindeki dalga oluşumu bilgisayar ortamında analiz edilecek ve sonuçlar irdelenecektir. Bu analizler sonucunda model deneyleri gerçekleştirilmektedir. Akım görüntüleme deneyleri, direnç deneyleri tekne formunun belirlenmesinde ön kontrol sağlamaktadır. Ancak bu tarz deneyler hem pahalı hem de zaman gerektirir.

HAD analizleri yöntemleriyle viskoz akış ortamında sınırları belli bir hacimde, matematiksel modeli oluşturulan analizin problemi tanımlayan denklemleriyle çözümlemesiyle analizler gerçekleştirilir. Bu analizler farklı hızlarda koşuturulurken hem daha pratik olarak form düzenlenebilir, hem de zaman kazanılır. Bu aşamada bu paket programlar yardımıyla akış düzenleyici form optimizasyonları yapılırken, gerekli durumlarda trim derecesinde düzeltilecek optimizasyonlarla konfor artırıcı işlemler gerçekleştirilebilir. Bu bağlamda gövde kanatları baş-kıç vurma hareketlerini de yumuşatacağından artan konfor hissiyatı yolcu ve mürettebatlar için olumlu etki yaratacaktır. Buradan hareketle trim hareketinin teknede toplam direnci üzerindeki etkisinden yararlanılması amaçlanmıştır. Bu tez kapsamında kayıcı formdaki bir tekne modelinin belirlenen hızlarda, ilk olarak gövde kıç kanatsız olacak şekilde sade form analizleri yapılacak ve sonuçlar irdelenmiştir. Sonrasında ise farklı konumlardaki gövde kanatlarının model analizleri belirlenen kanat kesitleri üzerinden yine aynı kayıcı tekne formuna eklenerek deneneceği analizler gerçekleştirilmiştir. Analizlerin üzerinden olası sonuçlar irdelenmiş, öğrenci lisanslı Star ccm+ paket programı yardımıyla analizler gerçekleştirilip; uygun koşullarda trim düzeltilmesi ve toplam dirençlerindeki düşüşlerin ne kadar olabileceği hesaplanacak ve sonuçlar sunulacaktır.

Bütün bu çalışmalara iki farklı tipoloji üzerinden sonuçlar karşılaştırılacak; parametrik olarak bir dizi analiz sonuçları irdelenecektir. Bu yolla gövde kıç kanatlarının uygun tekne formları için analizleri karşılaştırılıp literatürdeki bu başlığa katkı sunulacaktır. Yine bu sonuçların olası sonuçları üzerinden ilerde yapılacak olan çalışmalara referans olunacağı hedeflenmiştir. Çünkü artık yeşil/sürdürülebilir teknolojiler için çok farklı çalışmalar halen sürmektedir. Sevk sistemlerinin verimlerinin artırılması yada bu sistemlerin kayıplarının azaltılması çalışmalarının yanında tekne formlarında yapılacak optimizasyonlarla, tekne toplam direncin azaltılması çalışmalarına katkı sunulacaktır. Sonuç olarak bu çalışmada; sürdürülebilir mühendislik çözümlerine bir katkı sunacaktır.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR, BULGULAR VE İRDELEME

2.1. Doğrulama Çalışması

HAD simülasyon sonuçları kaçınılmaz olarak içinde hataları barındırır. Hata δ , analiz sonucu ile deney sonucu arasındaki farktır. Belirsizlik U , hatanın aralığı olarak tanımlanır. Analiz sonuçlarındaki hata ve belirsizlikler, modelleme ve nümerik olarak ikiye ayrılır.

- Modelleme kaynaklı olanlar: fiziksel probleme (geometri, matematiksel denklemler, sınır şartları, türbülans modelleri) bağlıdır.
- Nümerik kaynaklı olanlar ise: matematiksel denklemlerin çözümüyle (tamamlanmamış ağ yakınsaması, kütle, momentum ve enerji dönüşümü denklemlerinin sağlanmaması, süreklilik denkleminin sağlanmaması, bilgisayarın nümerik yuvarlama yapması gibi) ilgilidir.

Simülasyon hatası δ_S , nümerik hata δ_{SN} ve modelleme hatalarının δ_{SM} toplamıdır (Gökçe ve Kınacı, 2015).

$$\delta_S = \delta_{SN} + \delta_{SM} \quad (2.1)$$

Uluslararası Çekme Tankları Konferansı (ITTC) tarafından geliştirilen doğrulama ve onaylama prosedürleri, sayısal hataların ve belirsizliklerin tahmin edilmesi için düzeltme faktörleri veya güvenlik faktörü yaklaşımlarını kapsamaktadır. Bu yaklaşımların temelinde ise temel olarak deney ile simülasyonlar arasında %10'luk sınırlı güvenlik faktörü önerilmektedir. (ITTC, 2017).

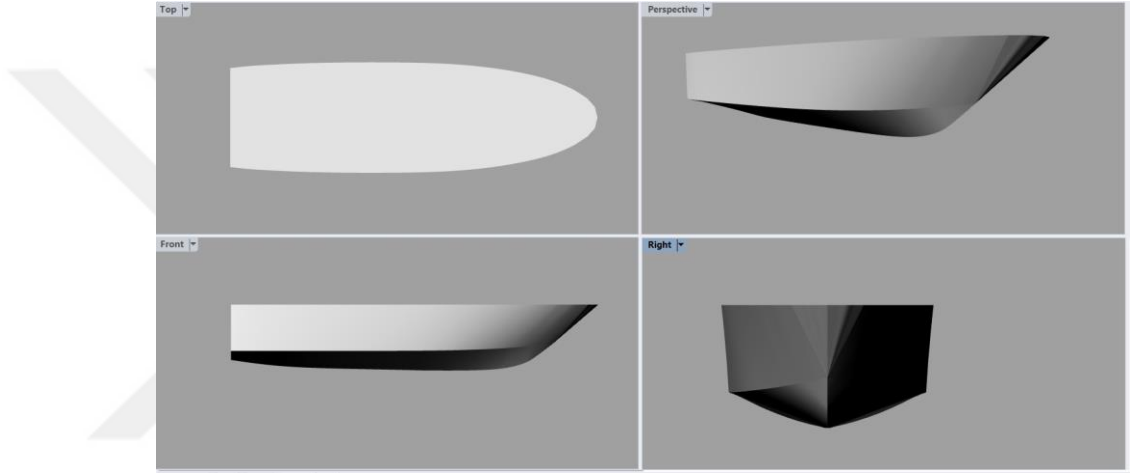
2.1.1. Bir Hızlı Deplasman Teknesi İçin Validasyon Çalışması

Yüksek hızlı teknelerin analizlerinden önce model deneyleri yapılmış bir hızlı deplasman tipolojisindeki 42 m motor yatın değerleri kullanılarak bir validasyon çalışması gerçekleştirilmiştir.

Motor yatın gövde kık kanat eklenerek ölçülen toplan direnç değerleri aşağıda verilmiştir.

- $F_n=0.20$, $\Delta R_T = +9.6\%$
- $F_n=0.34$, $\Delta R_T = -21.2\%$
- $F_n=0.60$, $\Delta R_T = -3.3\%$

Bu verilen değerler üzerinden gerçekleştirilen validasyon çalışması için; üç boyutlu model tasarımı öğrenci lisansıyla kullanılan Rhinoceros programı üzerinden gerçekleştirilmiştir.

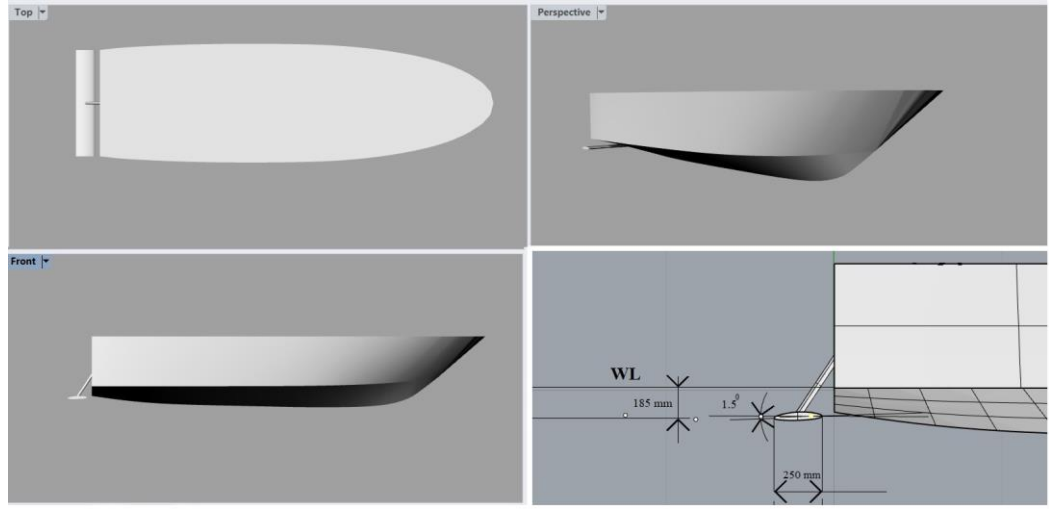


Şekil 2.1. Hızlı deplasman tipolojisindeki motor yatın görünüşü

Kıyaslamalı olarak önce gövde kık kanat eklenememiş karina için analizler sonrasında kanat eklenmiş karina ile ilgili sonuçları irdelenecektir. Bu aşamada üç boyutlu olarak belirlenen model ve gerçek motor yat için temel özellikler tablo 2.1’de verilmiştir. Kanat eklenmiş karina formunun ve kanat konumunun yeri şekil 2.2’de verilmiştir. Kanat kesiti olarak ‘Eppler E874’ hidrofıl kesiti kullanılmıştır.

Tablo 2.1. Modeller ve gerçek motor yat için temel özellikler tablosu

	Kanatsız model	Kanat eklenmiş model ($\lambda=6.83$)	Motor yat
LOA	6.212 m	6.474 m	42.4 m
LWL	5.097 m	5.357 m	36.6 m
BOA	1.809 m	1.809 m	8.90 m
BWL	1.669 m	1.669 m	8.16 m
T	0.33 m	0.33 m	2.56 m
Δ	0.1091 t	0.1137 t	404 t



Şekil 2.2. Gövde kık kanat eklenmiş tekne formu görünüşü

Kanat konumu olarak derinlik 185 mm, genişlik olarak 250 mm ve hücum açısı 1.5° olarak belirlenmiştir. HAD analizlerinin tutarlık ve kabul edilebilirlik açısından teknelerin temel özelliklerinden sonra atalet momentlerinin belirlenmesi temel koşuldur. Kanatsız ve kanat eklenmiş iki model için ölçülen kütle merkezlerinin konumu ve hesaplanan atalet momentleri tablo 2.2.'de verilmiştir. Bu noktadan hareketle doğru fiziksel modelin HAD analizleri için kullanılması, ağ yapısının oluşturulması ve sınır koşullarının belirlenmesi aşamasına geçilmektedir.

Tablo 2.2. Form-A modeli için kütle değerleri

	Kanatsız model			Kanat eklenmiş model ($\lambda=6.83$)		
Kütle (t)	0.1091			0.1137		
Kütle Merkezi (m)	x	y	z	x	y	z
	2.272	0	-0.109	2.234	0	-0.108
Atalet Momentleri (kg.m ²)	I_{xx}	I_{yy}	I_{zz}	I_{xx}	I_{yy}	I_{zz}
	274	1589	1666	277	1690	1832
Off Diagonal (kg.m ²)	I_{xy}	I_{xz}	I_{yz}	I_{xy}	I_{xz}	I_{yz}
	0	246	0	0	254	0

2.1.2. Ağ Modeli

Her iki model için analizler, “Implicit Unsteady” olarak Eulerian çok fazlı fizik modeli için analiz koşturulmuştur. Burada Implicit Unsteady çözüm kullanılmasının temel nedenlerinden biri fiziksel modelin akışın hızına göre konumu belirlemektir. Implicit hesaplamalarda yakınsama için gerekli koşullardan biri ‘CFD; Courant–Friedrichs–Lewy’ koşuludur. CFL koşulu, CFL numarası (C_{max}) üzerinde bir koşuldur. Gemi hızı (U), gemi boyu (L) arasındaki ilişki Δt zaman adımı olmak üzere aşağıda verilmiştir.

$$\frac{|\bar{u}|\Delta t}{\Delta x} < C_{max} ; \Delta x: \text{Akış yönündeki lineer hücre boyu} \quad (2.2)$$

- $1 < C_{max}$; Implicit çözümlerde,
- Δt ; $0.01 L/U$ Oranından kesinlikle daha küçük olacak şekilde kıstaslar belirlenmiştir (ITTC, 2014).

Zaman adımı ifadesi türbülans modelinin karmaşıklığına bağlı olarak standart direnç hesaplamalarında ‘ Δt ’ zaman aralığı olarak ise;

$$\Delta t = 0.005 \sim 0.01 L/U ; \quad (2.3)$$

Reynolds stress türbülans modellerinde bu aralık;

$$\Delta t = 0.001 \sim 0.002 L/U \quad (2.4)$$

olacak şekilde tanımlanmaktadır (ITTC, 2011).

Bu noktada 0.005 zaman adımı başına 10 iterasyon ile analizin çözüm basamakları sınırlandırılmıştır. VOF modeli ile Navier-Stokes denklemlerinden yararlanarak problem çözümleri gerçekleştirmektedir. Çok fazlı akış modeli içinde uygun bir yöntemdir. Bu çalışma kapsamında zamanla yoğunluğu değişmeyen akış modelleri kullanılmıştır.

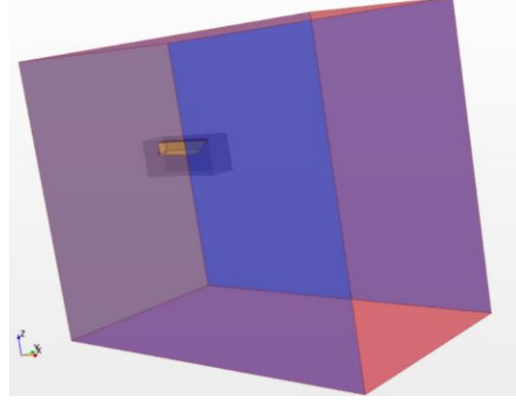
Simülasyonlarda türbülans olacağı için türbülans modeli kullanılmıştır. Ayrıca, kullanılan düz dalgalar; VOF dalgaları olarak tanımlanmaktadır. Tekne hareketin tanımlanması içinse DFBI hareketi 2 serbestlik derecesi olarak, ‘Z-motion, Y-Rotation’ olarak tanımlanmıştır.

Implicit analizlerde ağ çözümü için diğer tüm analizlerde olduğu gibi, zaman adımına ve elaman sayısı artırımı doğrudan bağlıdır. Geminin etrafından bağımsız olarak bu hacim için giriş (velocity inlet), çıkış (pressure outlet) ve bir dış sınır (wall side), üst (top_wall), dip (bottom_wall) sınır koşulları tanımlanmalıdır. Bu sınırlar gemiden yeterince uzağa yerleştirilmelidir. Bu uzaklıklar tablo 2.3’de fiziksel hacim sınırları olarak sunulmuştur. Akış bu hacim sınırları içinde kurgulanır. Sınır şartları, belirlenen standartlar için tanımlı (damping/no damping) fonksiyonlar kullanılır. Unsteady yöntemler genellikle bir sönümleme gerektirir. Dalga yansımaları önlemek için dip ve üst bölge sınırları ise ‘ $3 - 5L_{pp}$; ($L_{pp} = model\ boyu$)’ oranıyla model yerleştirilmelidir (CD-Adapco, 2014; ITTC, 2011 ve 2014).

Çalışma kapsamında ağ modeli olarak; “Surface remesher, trimmed cell mesher, prism layer mesher ve automatic surface repair” kullanılmıştır. Temel özellikler ise tablo 2.3’te, fiziksel hacim sınırları’da tablo 2.4’te verilmiştir.

Tablo 2.3. Ağ yapısının temel özellikler tablosu

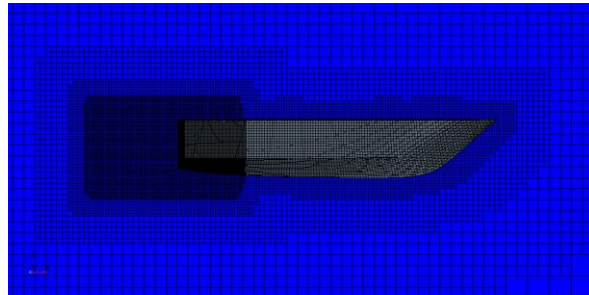
	Kanatsız gövde için ağ yapısı	Kanat eklenmiş gövde için ağ yapısı
Temel Boy (m)	0.04	0.04
Yüzey Büyüme Oranı	1.3	1.3
Prizma Tabakasının Toplam Kalınlığı (%)	0.5	0.5
Otomatik Düzeltme Yüzdesi (%)	1	1
Kontrol Hacmi 1 (%)	6.125	3.065
Sınır tabaka sayısı	8	8
Hücre sayısı	4207445	7577472
Zaman adımı	0.005	0.005
		



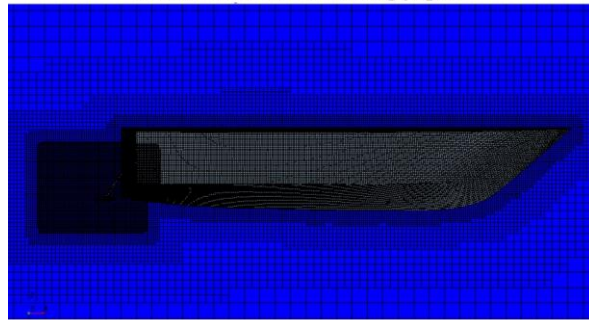
Şekil 2.3. Analiz yapılacak hacimlerin görünüşü

Tablo 2.4. Fiziksel Hacim Sınırları

	Dış	İç	Tekne Konumuna göre (Tekne Boyu=L)					
			Baştan	Kıçtan	Dipten	Güverteden	iskeleden	sancaktan
X_Uzunluk (m)	60	8	3L	7L				
Y_En (m)	40	4					3L	3L
Z_Yükseklik (m)	30	5			3L	2L		



Kanat eklenmiş modelin ağ yapısı



Kanat eklenmiş modelin mesh ekranı

Şekil 2.4. Modellerin ağ yapılarının profil görünüşleri

2.1.3. Validasyon Çalışmasının Sonuçları

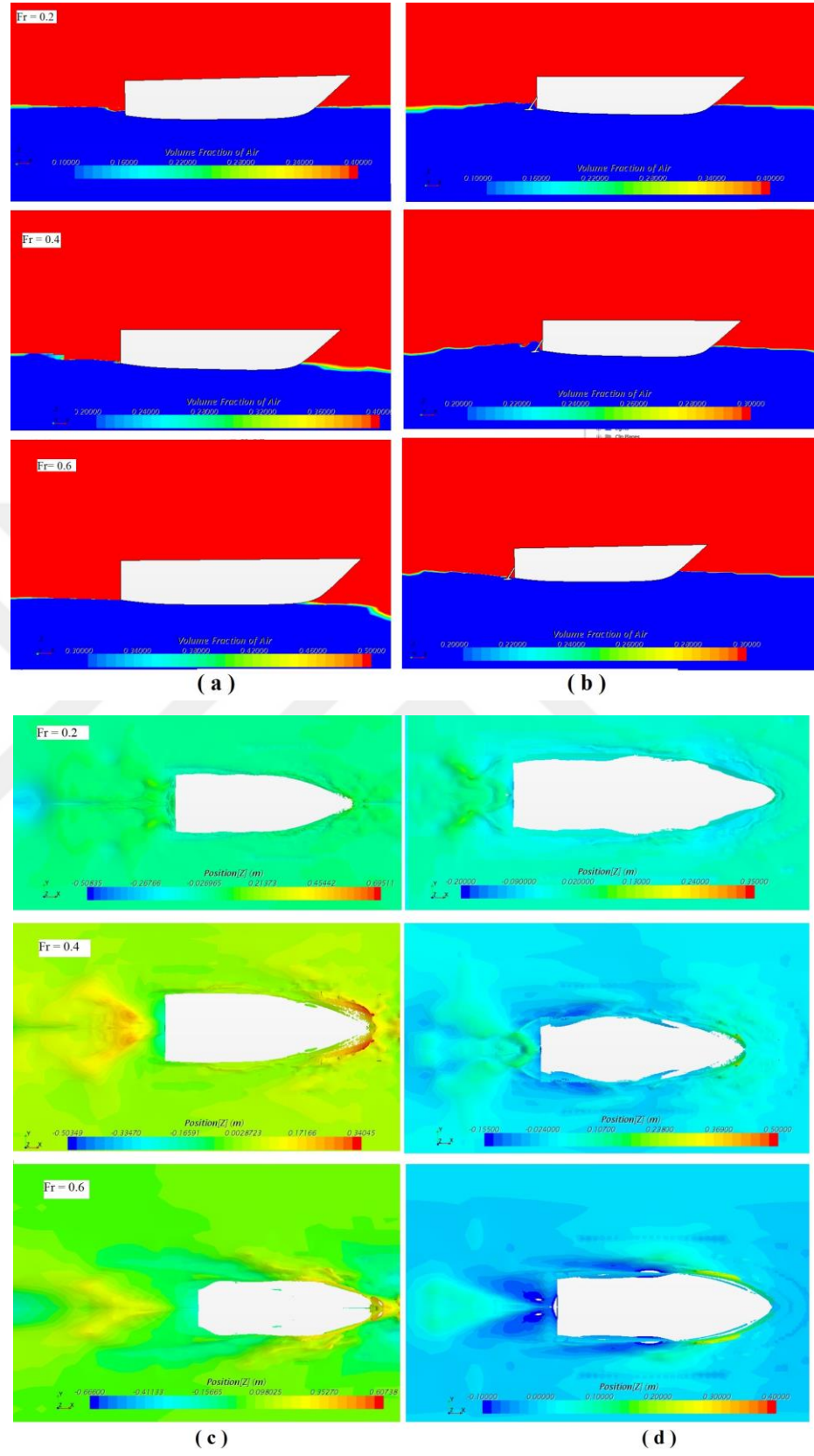
Validasyon çalışması için kanatsız ve kanat eklenmiş modellerin ağ yapılarının oluşturulmasıyla birlikte farklı hızlardaki direnç tahmin analizleri gerçekleştirilmiştir. Belirlenen Froude sayılarında yapılan analizler sonucunda elde edilen tüm değerler tablo 2.5 ve tablo 2.6’da sunulmuştur. Form A tipi kayıcı tip tekne için farklı Froude hızlarındaki ‘hacim fraksiyonu’ skaler ekran görüntüleride şekil 2.5’de sunulmuştur.

Tablo 2.5. Kanat eklenmemiş model için analiz sonuçları

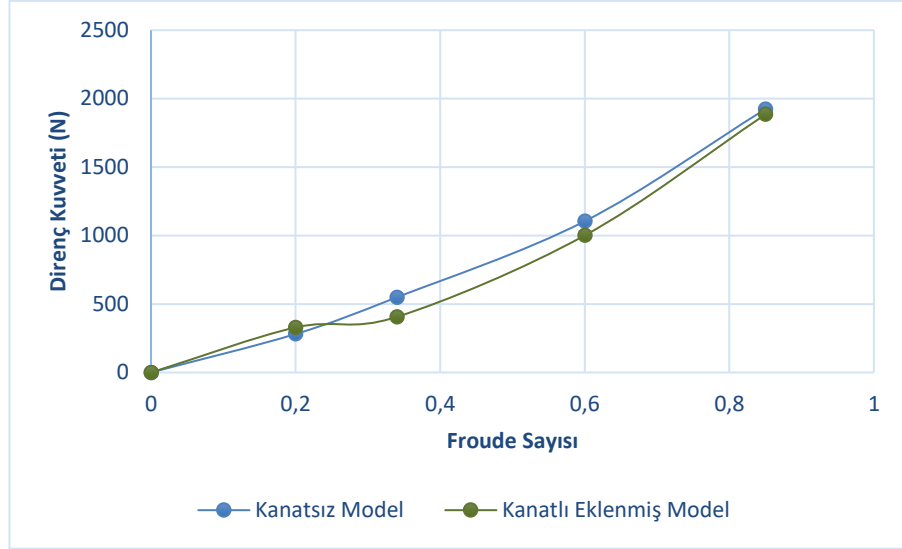
Hız (m/s)	Froude Sayısı	Toplam Direnç (N)	Direnç Katsayısı	Trim Açısı (derece)	Paralel Batma (m)
0	0	0	0	0	0
1,414	0,2	281,864	0,0366	0,178	0,017
2,402	0,34	549.872	0,02547	0,302	0,021
4,252	0,60	1105,569	0,0264	0,374	0,033
6,010	0,85	1924,55	0,01485	0,451	0,0042

Tablo 2.6. Kanat eklenmiş model için analiz sonuçları

Hız (m/s)	Froude Sayısı	Toplam Direnç (N)	Direnç Katsayısı	Trim Açısı (derece)	Paralel Batma (m)
0	0	0	0	0	0
1,414	0,2	329,193	0,0480	0,165	0,0013
2,402	0,34	406,973	0,0223	0,289	0,0018
4,252	0,60	1001,689	0,0168	0,3989	0,0020
6,010	0,85	1885,355	0,0137	0,4105	0,0026



Şekil 2.5. (a, c) kanat eklenmemiş model; (b, d) kanat eklenmiş model olmak üzere: (a, b) hacim fraksiyonu ve (c, d) +z pozisyonundaki skaler ekranlarının görüntüleri



Şekil 2.6. Kanatsız ve kanat eklenmiş model için direnç grafiği

Hızlı deplasman tipoloji için yapılan validasyon çalışmasında, kanatsız ve kanat eklenmiş modeller arasında aşağıda özetlenen direnç farkları ölçülmüştür.

- $F_n=0.20$, $\Delta R_T = +14.8\%$
- $F_n=0.34$, $\Delta R_T = -26.69\%$
- $F_n=0.60$, $\Delta R_T = -9.1\%$

Burada gerçek model üzerinden ölçülen direnç değerleriyle simülasyonlardan ölçülen direnç değerleri arasındaki farklar, yaklaşık olarak %6'lık bir fazlalıkla hesaplanmıştır. Farkların ayrıntısı aşağıda verilmiştir.

- $F_n=0.20$, $\Delta R_T = +5.2\%$ (fark)
- $F_n=0.34$, $\Delta R_T = -5.49\%$ (fark)
- $F_n=0.60$, $\Delta R_T = -5.8\%$ (fark)

2.2. Kayıcı Tekne ve Gövde Kanat Formlarının Direnç Simülasyonları

Bu tez çalışması kapsamında iki farklı kayıcı tip tekne formu üzerinde HAD analizleri gerçekleştirilmiştir. İlk olarak sadece tekne formlarının analizleri koşturulmuştur. Sonra ki, aşamalarda ise teknelerin kış bölgelerine eklenen kanatlar yardımıyla trim, direnç değerleri hesaplanarak, sonuçlar irdelenmiştir. Sonuçlar üzerinden kanatların formu, konumu tekrar belirlenerek analizler gerçekleştirilmiştir.

Toplam direnç değeri dalga yapma direnci, viskoz direnç ve hava direncini içermektedir. Gövde kık kanatlarının akışkan içerisinde belli hızlarda meydana getirdiği basınç bölgeleri üzerinden duvar kayma gerilmeleri değerleri irdelenerek nihai kanat formları üzerinden teknelere en uygun kanat formları belirlenmiştir.

Tekne formlarının yüksek hızlarda;

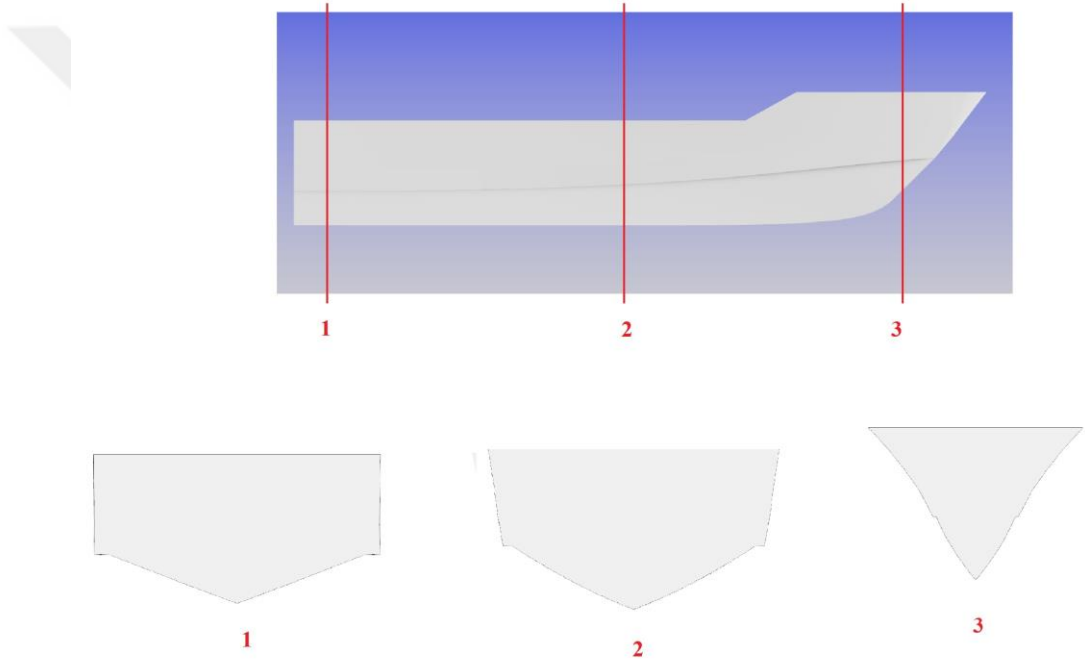
- Optimize edilen HAD modeli üzerinden, geliştirilen yüksek hızlı kayıcı tekne formları,
- Bu formlar üzerinden, HAD analizinde; ağ(mesh) doğrulama çalışması,
- Doğrulanmış ağ yapısı üzerinden yapılan direnç analizleri,
- Son olarak ta yüksek hızlarda trim açılarını iyileştirecek ve kanatlar üzerinden üretilecek bileşke kuvvetle direnç kuvveti azaltma çalışmaları bu tezin temel hatlarını oluşturmaktadır.

Analizlerde tutarlılık oluşturmak amacıyla deplasman ağırlığı korunmuştur. Gövde kık kanat eklenen tekne formlarının ise atalet moment değerleri tekrar hesaplanarak analizlere dahil edilmiştir. Yapılan analizler sonucunda temel direnç eğrileri hesaplanmıştır. Benzer şekilde trim değerlerinin ölçülmesi gerçekleştirilmiştir. Hesaplanan değerler hem sadece form değerleri üzerinden hem de gövde kık kanatları eklenerek hesaplanmıştır. Aynı grafiksel görsellerde bu değerler karşılaştırılarak sunulmuştur. Elde edilen bulgular yardımıyla öncelikle gövde kanatları üzerinden bir takım optimizasyonlar gerçekleştirilmiştir. Doğallığında özellikle baş formdaki serpinti etkisini yatıştırmak içinde form optimizasyonları gerçekleştirilmiştir.

Yapılan optimizasyonlar sonucunda elde edilen olası nihai kanat formları, konumları ve tekne formları üzerinden irdemeler gerçekleştirilmiştir. Yapılan irdemeler nihayetinde bu çalışma kapsamındaki son bölümde bu kanatlar üzerinden ve de bu kanatların kullanıldığı iki farklı kayıcı tekne tipi formları üzerinden önerilerde bulunulmuştur. Bu çalışmaların kullanılan iki farklı form tip Form-A, Form-B olarak ifade edilmektedir. İlk aşamalar da her iki form için sadece form direnç analizleri sunulmuştur.

2.1.1. Form-A İçin Uygulamalar

Analizleri planlanan kayıcı tip Form-A tipi teknenin kalkıntı açılarının(β) gösterimi Şekil 1’de verilmiştir. Burada kıta, mastori’de ve baştaki kalkıntı açılarının gösterimi üzerinden form teşhir işlemi gerçekleştirilmiştir. Formun kayıcı tip tekne formuna uygunluğu ve gerekli yüzey, alan ve hacim analizleri için Rhinoceros ve Maxsurf bilgisayar destekli paket programlardan yararlanılmıştır. Öğrenci lisansı olarak kullanılarak belirlenen genel form gösterimi ve sayısal değerler sunulmuştur.

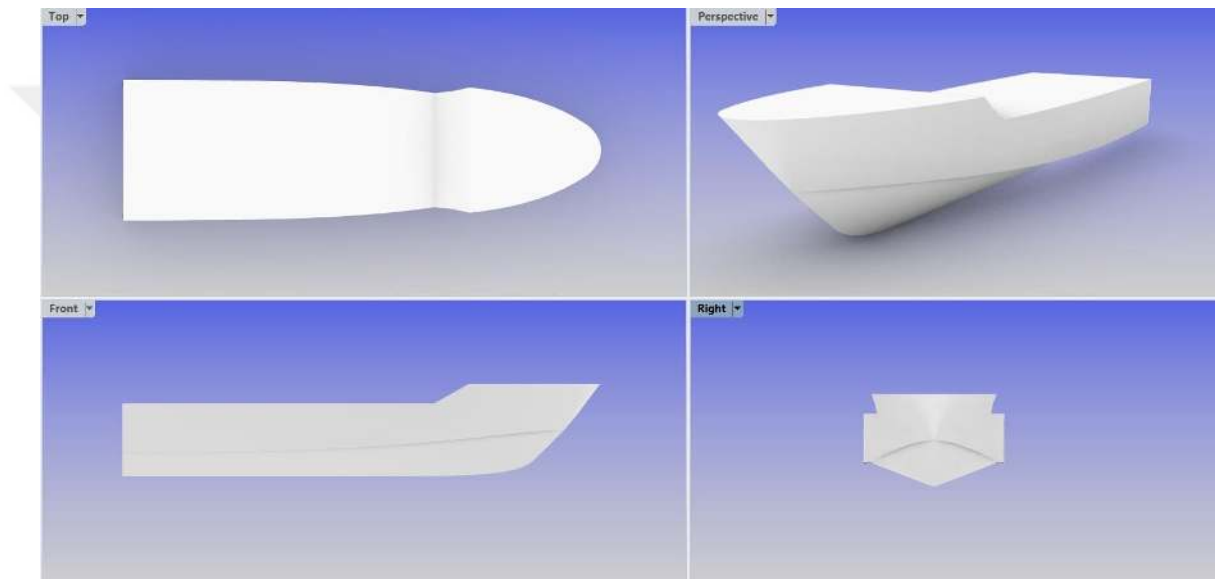


Şekil 2.7. Form-A tipi kayıcı teknenin üç farklı düzlemdeki kesitlere göre llen kalkıntı açılarının gösterimi ($\beta_1=20.57^\circ$, $\beta_2=24.71^\circ$, $\beta_3=53.9^\circ$)

HAD analizlerinin tutarlık ve kabul edilebilirlik açısından ilk olarak atalet momentlerinin, kütle ve hacim merkezlerinin konumu, temel boyutların belirlenmesi en temel koşuldur. Bu noktadan hareketle doğru fiziksel modelin HAD analizleri için kullanılması, ağ yapısının oluşturulması ve sınır koşullarının belirlenmesi aşamasına geçilmektedir.

Analizlerin ağ yapısında oturtulması amacıyla; akışın oluşacağı bölgenin sınır koşullarının doğru belirlenmesi gerekir. Bu amaçla gerçek tekne yerine belirli ölçekte küçültülmüş modelin kullanılması hem zaman açısından hem de daha çok analizi ve ağ oluşumunu pratik şekilde yapabilmeye imkan sağlayacaktır. Ayrıca eş zamanlı olarak HAD analiz denklemlerinin çözüm aşaması için kullanacak ağ yapısını optimize etmeye imkan sağlanmış olacaktır. Bu aşamada kullanılacak model için karmaşık yüzeylerden ziyade ham model kullanılması analiz koşturma/hesaplama süresini azaltacaktır.

Bu amaçla belirlenen modelin gösterimi şekil.2.8.'de ve tablo 2.7.'de verilmiştir.



Şekil 2.8. Form-A tipi kayıcı teknenin görünüşü

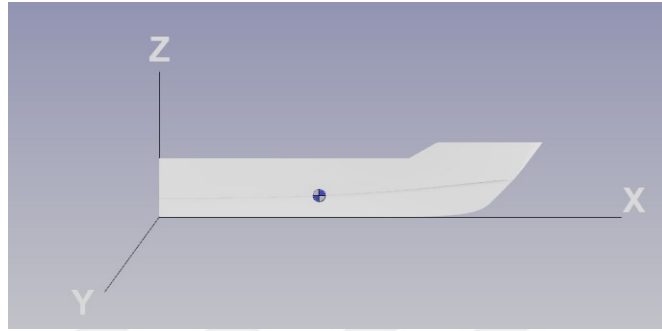
Tablo 2.7. Form-A tipi kayıcı tekne temel özellikleri

LOA	6,46 m
LWL	5,85 m
BOA	1,83 m
T	0,35 m
Δ	1,204 kg

Form-A tipi kayıcı tekne formu $\lambda=3,87$ benzerlik oranına sahip bir motor yat karinası baz alınarak tasarlanmıştır. Genel itibariyle tur ve gezinti için kullanılan bu tarz

motor yatların istenilen zamanlarda beklenen hız performanslarına uygun olarak bir de konfor amaçlı trim düzeltilmesi beklenmektedir.

Teknik olarak düşey ivmelenme değeri bir motor yat için temel olarak istenen bir konfor kistasıdır. Hesaplamalar için daha çok gerekli kütleli değerlere ihtiyaç vardır. Bu kütleli değerler ise Tablo 2.8.'de verilmiştir.



Şekil 2.9. Form-A Kütle merkezinin yeri

Tablo 2.8. Form-A modeli için kütle değerleri

Kütle (kg)	1204		
	x	y	z
Kütle Merkezi (m)	2.35	0	0.15
	I_{xx}	I_{yy}	I_{zz}
Atalet Momentleri (kg.m ²)	530	5180	5250
	I_{xy}	I_{xz}	I_{yz}
Off Diagonal (kg.m ²)	0	310	0

2.1.1.1. Fiziksel Model

Üç boyutlu bir modelin, “Implicit Unsteady” olarak Eulerian çok fazlı fizik modeli için analiz koşturulmuştur. Burada Implicit Unsteady çözüm kullanılmasının temel nedenlerinden biri fiziksel modelin akışın hızına göre konumu belirlemektir. Bu durum zamana bağlı olmadan belirlenmesi esas alınmıştır. Bu çok fazlı akışlar içinde hem hava hem de su ile etkileşimi belirleyen serbest yüzeyin tanımlanmasında nispeten hızlı bir çözüme ulaşmada kolaylık sağlayacaktır.

Implicit hesaplamalarda yakınsama için gerekli koşullardan biri ‘CFD; Courant–Friedrichs–Lewy’ koşuludur. CFL koşulu, CFL numarası (C_{max}) üzerinde bir koşuldur. Δt zaman adımı olmak üzere:

$$\frac{|\bar{u}|\Delta t}{\Delta x} < C_{max} ; \Delta x: \text{Akış yönündeki lineer hücre boyu} \quad (2.1)$$

- $C_{max} < 1$; Explicit çözümlerde,
- $1 < C_{max}$; Implicit çözümlerde,
- Δt ; $0.01 L/U$ Oranından kesinlikle daha küçük olacak şekilde kıstaslar belirlenmiştir (ITTC, 2014).

Bu noktada 0.005 zaman adımı başına 10 iterasyon ile analizin çözüm basamakları sınırlandırılmıştır. Bu sınırlar ağ modeli başlığında daha ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

VOF modeli ile Navier-Stokes denklemlerinden yararlanarak problem çözümleri gerçekleştirmektedir. Çok fazlı akış modeli içinde uygun bir yöntemdir. Bu çalışma kapsamında zamanla yoğunluğu değişmeyen akış modelleri kullanılmıştır.

Simülasyonlarda türbülans olacağı için türbülans modeli kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan k- ϵ ve k- ω modelleri birbirinden çok farklı modellerdir. Ayrıca, kullanılan düz dalgalar; VOF dalgaları olarak tanımlanmaktadır. Tekne hareketin tanımlanması içinse DFBI hareketi 2 serbestlik derecesi için kullanılmıştır. Bu denklemlerde : “Z-motion, Y-Rotation” olarak tanımlanmıştır.

2.1.1.2. Ağ Modeli

Implicit analizlerde ağ çözümü için diğer tüm analizlerde olduğu gibi, zaman adımına ve elaman sayısı artırımı doğrudan bağlıdır. Genel anlamda bir gemi viskoz akış hesaplamaları için üç sabit sınıra sahiptir: gemi yüzeyi, simetri düzlemi ve (durgun) serbest su yüzeyi. Ayrıca, üç ek sınırın kapalı bir fiziksel hacime sahip olmak için tanımlanabilir. Geminin etrafından bağımsız olarak bu hacim için giriş (velocity inlet), çıkış (pressure outlet) ve bir dış sınır (wall side), üst (top_wall), dip (bottom_wall) sınır koşulları tanımlanmalıdır. Bu sınırlar gemiden yeterince uzağa yerleştirilmelidir.

Bu uzaklıklar tablo’da fiziksel hacim sınırları olarak sunulmuştur. Akış bu hacim sınırları içinde kurgulanır. Sınır şartları, belirlenen standartlar için tanımlı (damping/no damping) fonksiyonlar kullanılır. Unsteady yöntemler genellikle bir sönümleme gerektirir.

Dalga yansımaları önlemek için dip ve üst bölge sınırları ise ‘ $3 - 5L_{pp}$; ($L_{pp} = model\ boyu$)’ oranıyla model yerleştirilmelidir (CD-Adapco, 2014; ITTC, 2011 ve 2014).

Tahminlerde serbest yüzey dalga boyu ve yüksekliği için logaritmik duvar fonksiyonlarını tanımlarken, y^+ duvardan olan uzaklığı ifade eden boyutsuz bir parametre olmak üzere:

- Viskoz katmanda $y^+ \leq 1$,
- Türbülanslı katmanda $30 < y^+ < 100$ sınırlarında tanımlanmaktadır.
- Reynold sayısı yardımıyla sürtünme kuvveti katsayısı arasındaki bağlantıyı ifade eden denklemler:

$$y/L_{pp} = y^+ / (Re \sqrt{\frac{C_f}{2}}) ; \quad C_f = 0,075 / (\log_{10} Re - 2)^2 \quad (2.2)$$

şeklinde ifade edilmektedir (ITTC, 2011).

Zaman adımı ifadesi türbülans modelinin karmaşıklığına bağlı olarak standart direnç hesaplamalarında ‘ Δt ’ zaman aralığı olarak ise;

$$\Delta t = 0.005 \sim 0,01 L/U ; \quad U: \text{gemi hızı} \quad (2.3)$$

Reynolds stress türbülans modellerinde bu aralık;

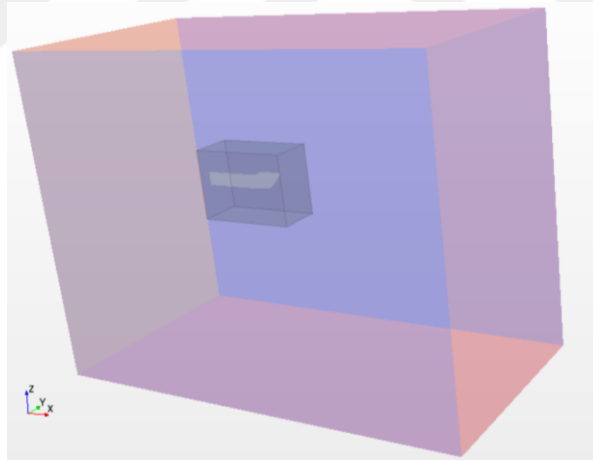
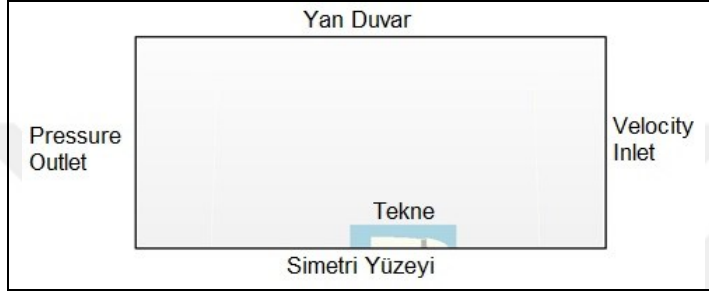
$$\Delta t = 0.001 \sim 0,002 L/U \quad (2.4)$$

olacak şekilde tanımlanmaktadır (ITTC, 2011).

Çalışma kapsamında ağ modeli olarak; “Surface remesher, trimmed cell mesher, prism layer mesher ve automatic surface repair” kullanılmıştır. Temel özellikler ise tablo 2.9.’da verilmiştir. Fiziksel hacim sınırları ise Tablo 2.10’de sunulmuştur.

Tablo 2.9. Ağ yapısının temel özellikler tablosu

	Ağ 1	Ağ 2	Ağ 3
Temel Boy (m)	0.04	0.04	0.04
Hedef Yüzey Boyu (m)	15	15	15
Yüzey Büyüme Oranı	1.3	1.3	1.3
Prizma Tabakasının Toplam Kalınlığı (%)	0.5	0.5	0.5
Otomatik Düzeltme Yüzdesi (%)	1	1	1
Kontrol Hacmi 1 (%)	12.5	6.125	3.0625
Kontrol Hacmi 2 (%)	12.5	6.125	3.0625
Hücre sayısı	2880815	5201562	7542783
Zaman adımı	0.007	0.005	0.035



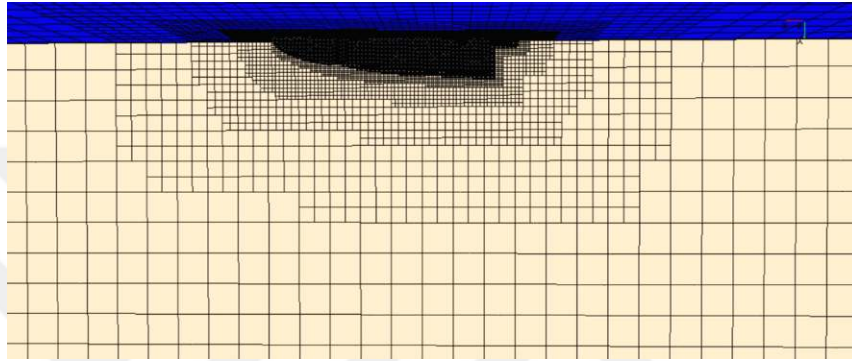
Şekil 2.10. Analiz yapılacak hacimlerin görünüşü

Tablo 2.10. Fiziksel Hacim Sınırları

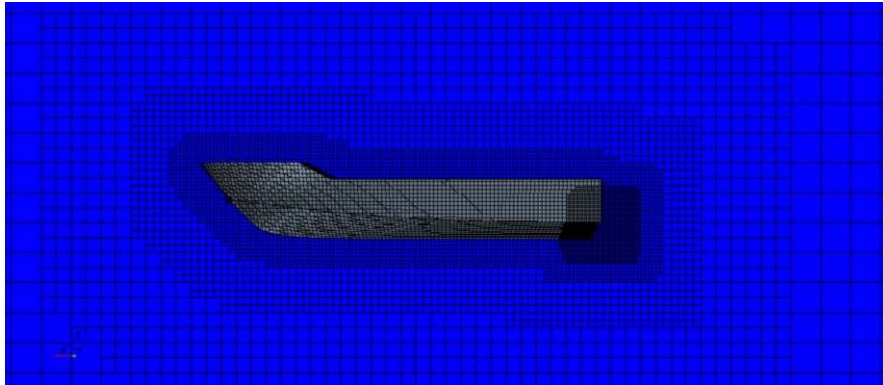
Eksenlere göre sınırlar (m); Dış İç			Tekne Konumuna göre (Tekne Boyu=L)					
			Baştan	Kıçtan	Dipten	Güverteden	iskeleden	sancaktan
X_boy	60	8	3L	7L				
Y_en	40	4					3L	3L
Z_yükseklik	30	5			3L	2L		

Belirlenen hacimler için de analiz yapabilmek amacıyla bir ağ yapısına ihtiyaç vardır. Tekne geometrisinin düzgün bir şekilde ağ yapısında oluşturabilmek amacıyla yapılan denemelerden sonra özellikle baş formadaki iç bükümlük ve çene hattının su hattı boyunca takibi yapıldı.

Geometrik olarak ağ yapısının tam olarak işlenilmesi işlemi tamamlanarak nihai ağ(mesh) modeli oluşturuldu. Bu model şekil 2.11. ve şekil 2.12.'de verilmiştir.



Şekil 2.11. Ağ yapısının üst görünüşü



Şekil 2.12. Ağ yapısının profil görünüşü

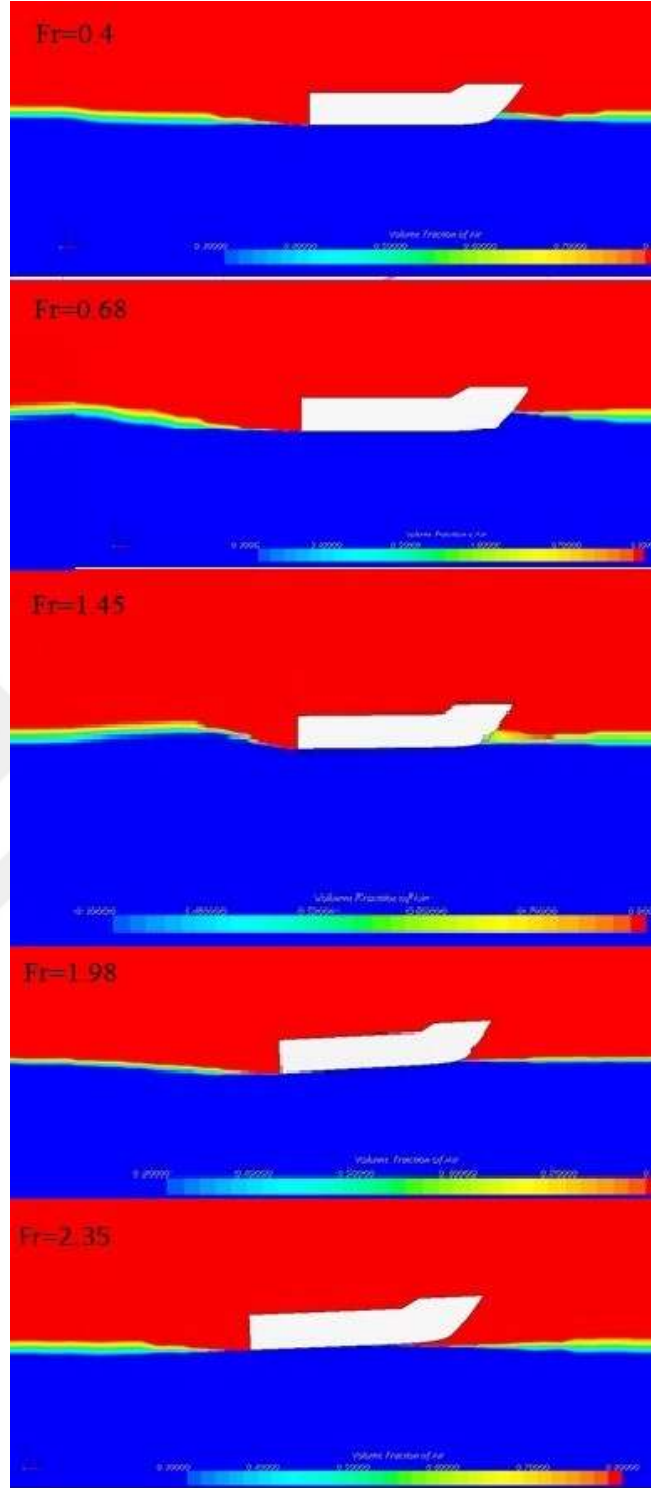
2.1.1.3. Form-A Tipi Kayıcı Tekne Analiz Sonuçları

Nihai ağ yapısının oluşturulmasıyla birlikte 7 farklı hızda direnç tahmin analizleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca analizler sonucunda tahmini trim değerleri de belirlen-

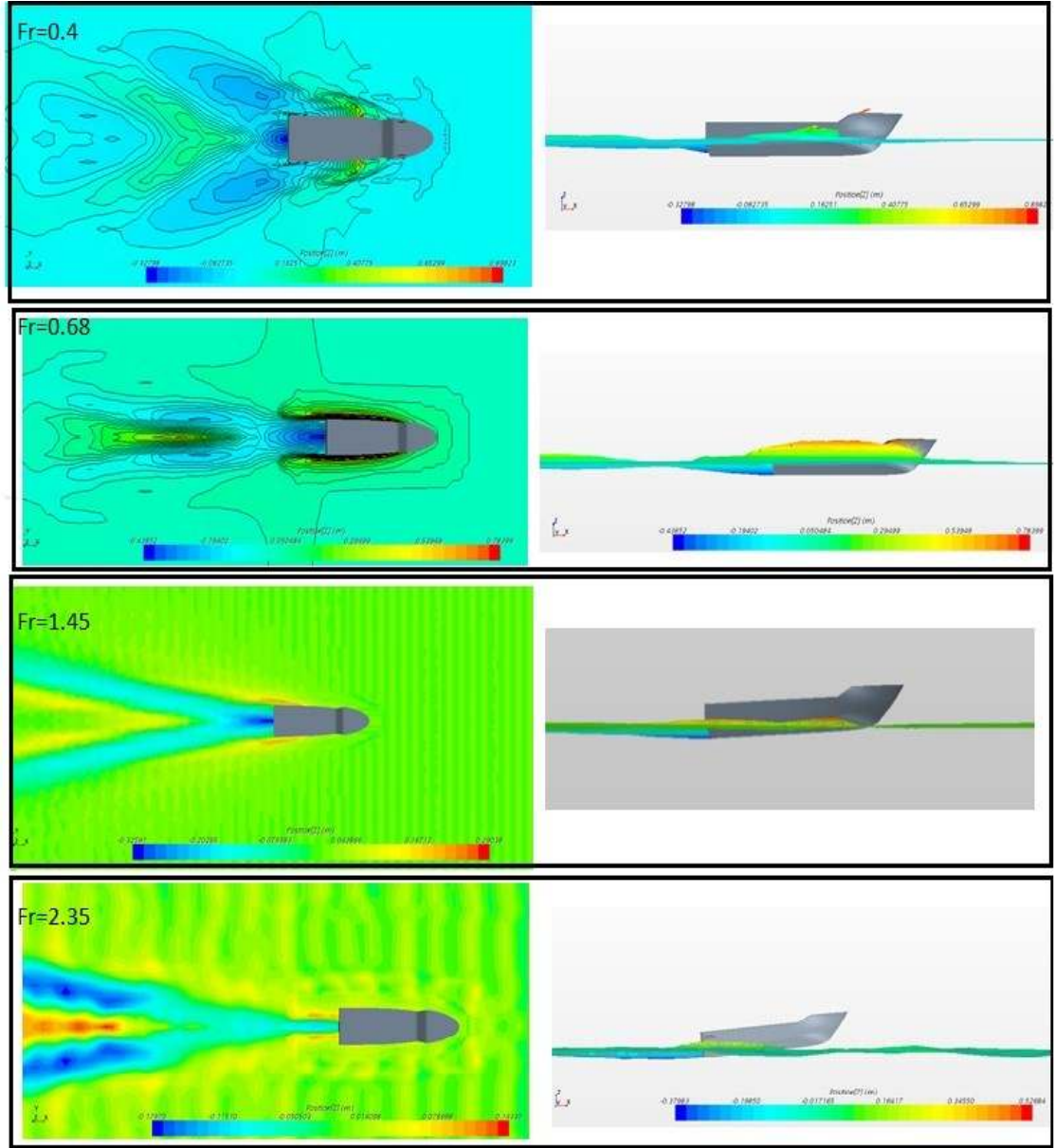
miştir. Belirlenen Froude sayılarında yapılan analizler sonucunda elde edilen tüm değerler tablo 2.11.'de sunulmuştur. Form A tipi kayıcı tip tekne için farklı Froude hızlarındaki “hacim fraksiyonu” ekran görüntüleride şekil 2.13'te verilmiştir.

Tablo 2.11. Sadece Form A için analiz sonuçları

Hız (m/s)	Froude Sayısı	Toplam Direç (N)	Direnç Katsayısı	Trim Açısı (derece)	Paralel Batma (m)
0	0	0	0	0	0
3,03	0,4	688,536	0,0481	0,3738	0,0567
5,178	0,68	853,018	0,0468	1,0282	0,1563
7,954	1,05	1312,854	0,0264	2,7275	0,1894
10,841	1,45	1278,455	0,0226	3,3849	0,2726
12,45	1,64	1105,332	0,0219	4,6869	0,3845
15,11	1,98	979,026	0,0192	5,3546	0,5112
18,109	2,35	571,173	0,0166	5,9645	0,6707



Şekil 2.13. Form A tipi kayıcı tip tekne için Froude hızlarındaki hacim fraksiyonu skaler ekran görüntüleri



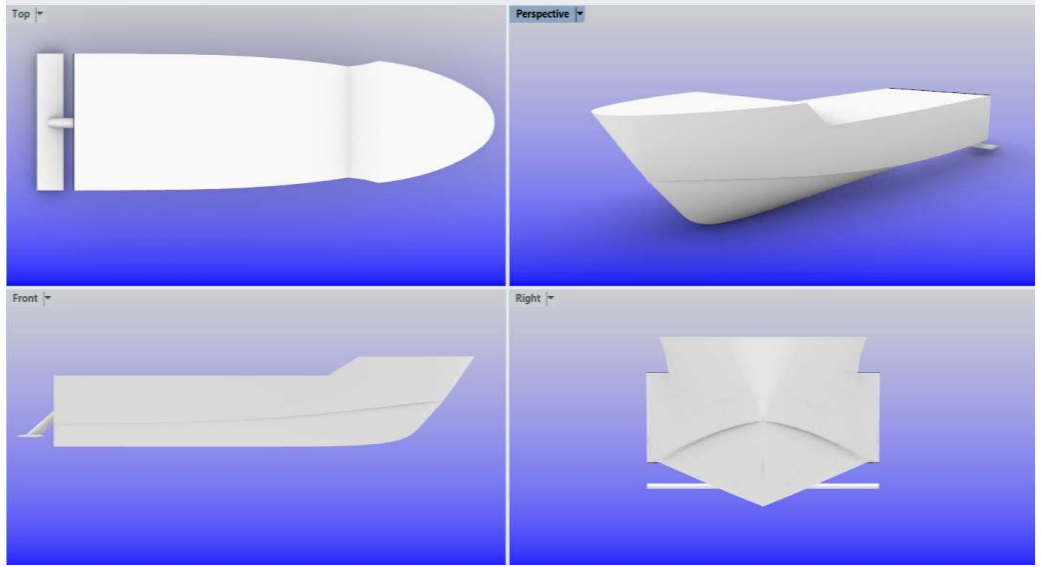
Şekil 2.14. Form A tipi kayıcı tip tekne için farklı Froude hızlarındaki; z pozisyonunda skaler ekranlarının görüntüleri

Teknenin hızı arttıkça, gövdenin su yüzeyine göre konumu değişeceği için simülasyonlarda farklı Froude sayılarında tekne hareketleri gözlemlenmiştir. Düşük hızlarda tekne su yüzeyine nerdeyse paralel kaldı. Yaklaşık olarak $Fr=0.4$ 'te bu durum bozulmaya başlamıştır. Tekne gövdesi sudan çıkmaya başladığı bu hızdan sonraki adım artık kayıcı rejim bölgesidir. Bunlar şekil 2.14'te gösterildiği teknenin kayıcı rejime geçtiği $Fr=0.85$ sayısında, trim değerleri artmış ve düşey ivmelenmeyle birlikte başvurma hareketine başlamıştır. Bu durum kısmen şekil 2.14'te görülmektedir. Yüksek

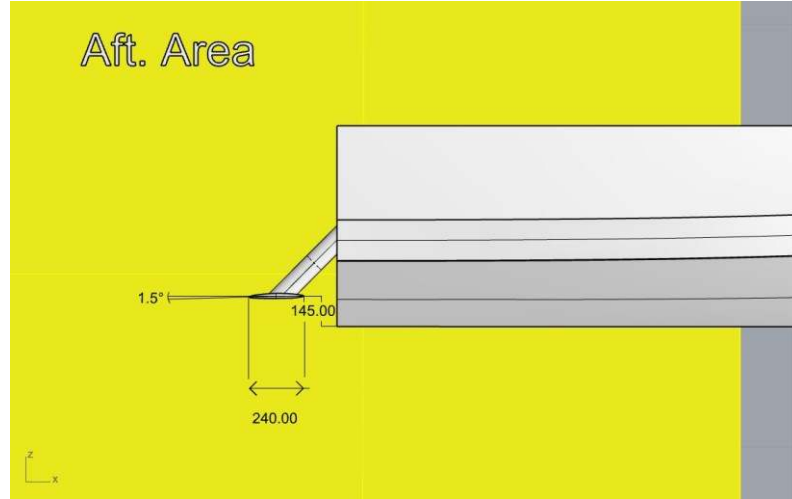
hızlarda ise artık baş havada ve kayıcı rejimde hareket başlamış. Tekne gövdesinin yaklaşık 1/3 ıslak alanı olacak şekilde hareket devam etmiştir. Bu hızlarda artık trim değeri nerdeyse sabit kalmıştır.

2.1.1.4. Gövde Kıç Kanat Eklenmiş Form-A Tipi Kayıcı Tekne Analiz Sonuçları

Benzer şekilde ağ yapısının oluşturulmasıyla birlikte 7 farklı hızda direnç tahmin analizleri gerçekleştirilen gövde kıç kanat eklenmiş formun üç boyutlu gösterimi şekil’de verilmiştir. Kanat eklendikten sonraki tam boy 6,92 metre’ye; su hattı boyu 6,285 metre’ye ve deplasman ağırlığı 1,304 kg çıkmıştır. Ayrıca modele eklenen kanat içi hücum açısı $1,5^\circ$ ve uzunluğu ise 145 mm olarak ölçülmüştür. Kanat kesiti olarak ‘y-clark’ hidrofil kesiti kullanılmıştır. Kanat için kullanılan bu kesit için kord uzunluğu 394 mm olarak belirlenmiştir. İlgili ayrıntılar ise şekil 2.16’da verilmiştir.



Şekil 2.15. Gövde kıç kanadı eklenmiş 3 boyutlu Form A modelinin görüşleri

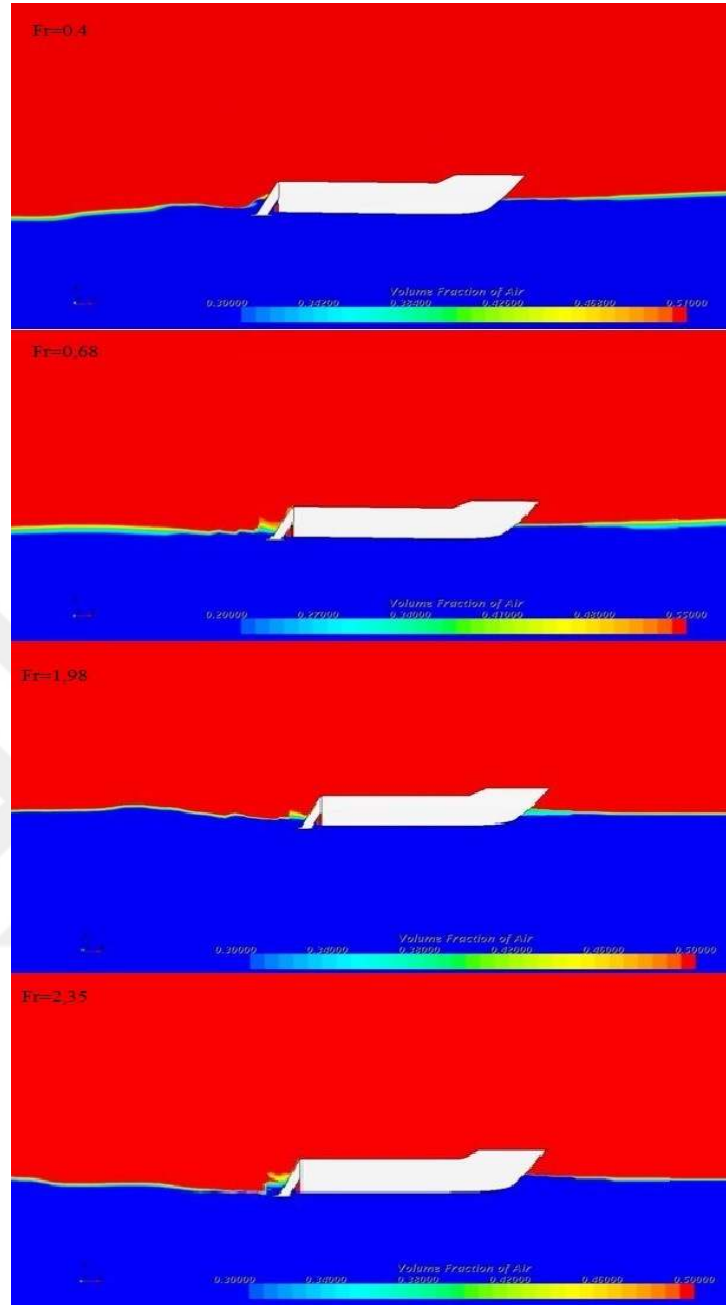


Şekil 2.16. Kıç bölgesindeki kanadın hücum açısı ve derinliği

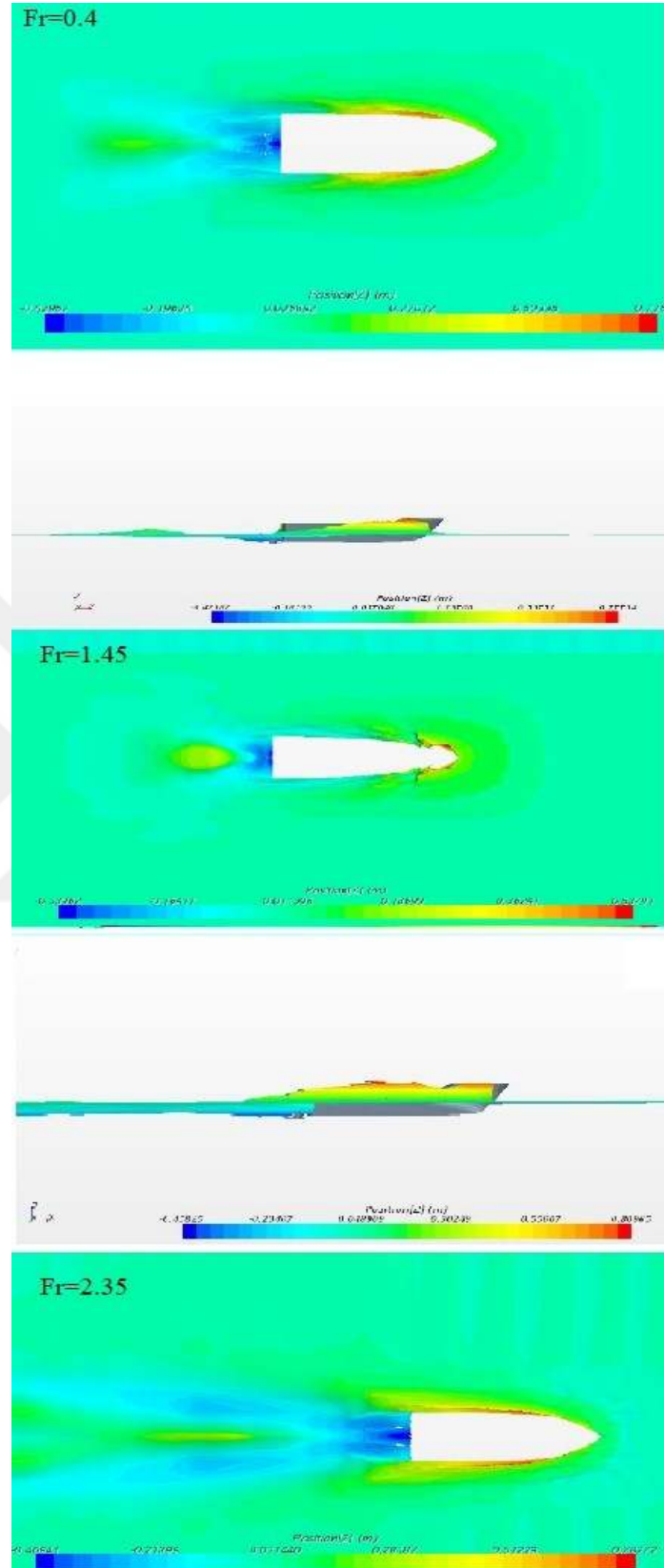
Son olarak analizler sonucunda tahmini trim değerleri de belirlenmiştir. Belirlenen Froude sayılarında yapılan analizler sonucunda elde edilen tüm değerler tablo 2.12’de sunulmuştur.

Tablo 2.12. Gövde kıç kanatlı Form-A için analiz sonuçları

Hız (m/s)	Froude Sayısı	Toplam Direç (N)	Direnç Katsayısı	Trim Açısı (derece)	Paralel Batma (m)
0	0	0	0	0	0
3.03	0.4	816.33	0,0201	3.4369	-0.20854
5.178	0.68	1107.589	0,07708	2.9858	-0.10963
7.954	1.05	1338.42	0,03617	2.3058	0.05284
10.841	1.45	2415.1	0,03516	2.10925	0.05326
12.45	1.64	2783.3	0,03069	2.01098	0.05481
15.11	1.98	3179.0	0,0238	2.3546	0.05911
18.109	2.35	3412.903	0,0178	2.0645	0.06102



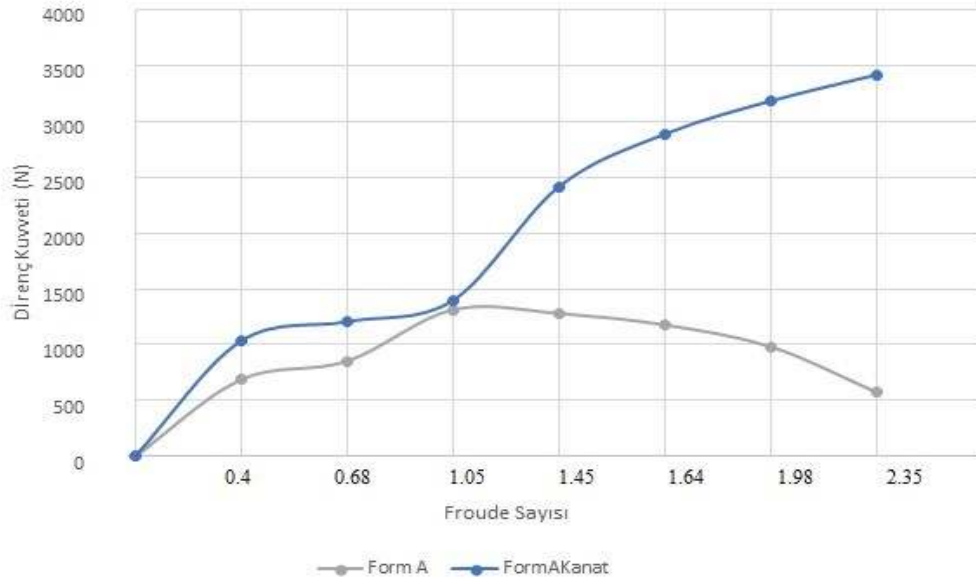
Şekil 2.17. Gövde kıç kanat eklenmiş Form A'daki hacim fraksiyonu skaler ekranları



Şekil 2.18. Kanat eklenmiş Form A tipi kayıcı tip tekne için farklı Froude hızlarındaki; z pozisyonunda ekran görüntüleri

Yapılan analizler sonucu Form-A tipi kayıcı tip teknenin ilk etapta sadece tekne formunun analizleri yapılmıştır. 2. Etapt analizlerin koşturulması sonucunda ise kayıcı rejime geçilinen $Fr=0.65-1$ aralığındaki hızda Form A tipi tekne kayıcı rejime geçememiştir. Bununla birlikte direnç kuvveti artışı olmuştur. Bunun temel nedeni kık kanadın ürettiğı fazla kaldırma kuvveti nedeniyle baş kısmın suya batmasıdır. Bu kanat kesiti için bu form tipi elverişli değıldir. Bununla birlikte iz bölgesindeki dalga oluşumu sakinlemiştir. Bu noktadan hareketle hem kaldırma kuvvetini ortalama alacak aynı zamanda direnç kuvvetinin optimize edilmesine sağılayacak daha ince bir hidrofoil kesiti seçilmesi uygun olacaktır.

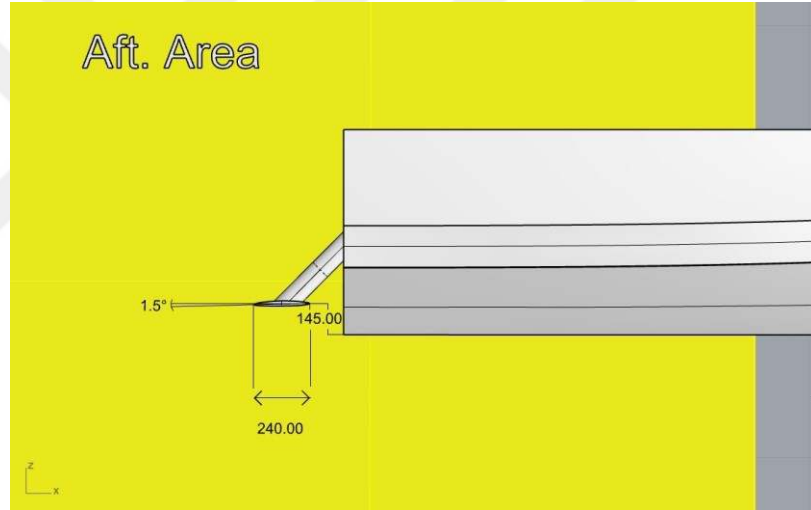
Karşılaştırılmal olarak direnç kuvvetlerinin froude sayısına göre değışimi şekil 2.19’da gösterilmiştir. Kayıcı bölge olarak $Fr=0,68-1$ aralığı baz alınmıştır.



şekil 2.19. Form A tipi sadece tekne ve tekne ile kanat eklenmiş halinin Froude hızlarına göre direnç değışimi grafiğı

2.1.1.5. Form-A Tipi Kayıcı Tekne İçin Optimize Edilmiş Gövde K ç Kanadı ile Yapılan Analiz Sonuçları

Benzer şekilde a  yapısının oluşturulmasıyla birlikte 7 farklı hızda direnç tahmin analizleri gerçekleştirilen gövde k   kanat eklenmiş formun; Kanat eklendikten sonraki tam boyu 6,72 m'ye; su hattı boyu 6,08 m'ye ve deplasman ağırlığı 1,288 kg çıkmıştır. Ayrıca modele eklenen kanat içi hücum açısı $1,5^\circ$ ve derinlik boyu ise 145 mm olarak     lm  t r. Kanat kesiti olarak 'Eppler E874' hidrofil kesiti kullanılmıştır. Kanat için kullanılan bu kesit için kord uzunluğu 224 mm olarak belirlenmiştir. Bütün bu yapılar  ekil 2.20'de belirtilmiştir.



Şekil 2.20. Optimize edilmiş k   bölgesindeki kanadın kord uzunluğu, hücum açısı ve derinliğinin gösterimi

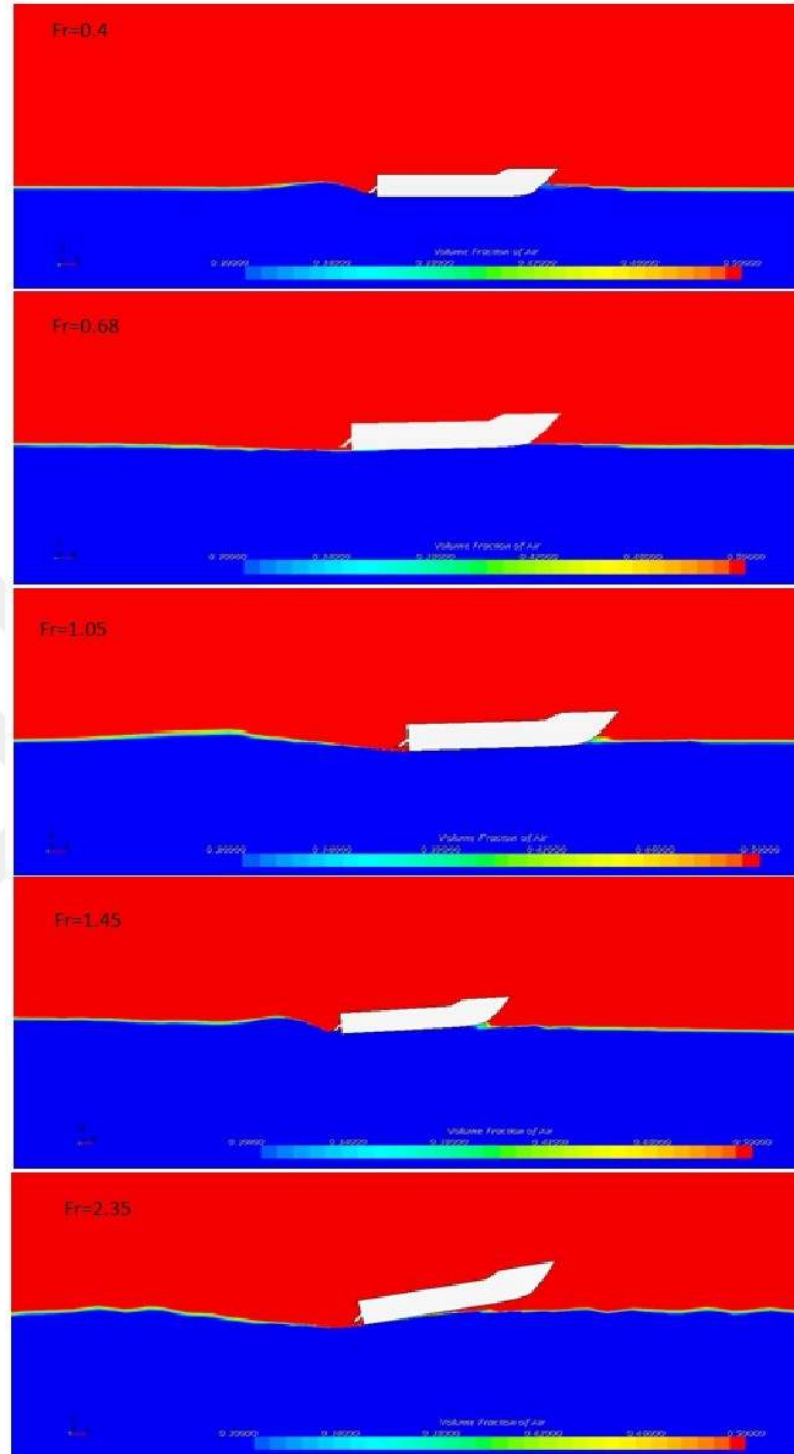
Optimize edilen gövde k   kanadının kord uzunluğu yeniden belirlenmiştir. Belirlenen bu kanat kesiti için bu form a tipi elde edilen verilere dayanarak daha verimli olacaktır. Bu analizlerde iz bölgesindeki dalga oluşumunun azaldığı g r nm  t r. Ancak bu çalışma kapsamındaki amacımız hem kaldırma kuvvetini hem de direnç kuvvetini optimal seviyelerde tutabilmektir.

Bu noktadan hareketle hem kaldırma kuvvetini ortalama alacak aynı zamanda direnç kuvvetinin optimize edilmesine sağlayacak daha ince bir hidrofil kesiti seçilerek kord uzunluğu azaltılmıştır. Kanat modelindeki keskin kenarlar radyal etki verilerek düzeltilmiştir. Özellikle duvar kayma gerilmeleri değerlerinin azaltılması amaçlanmıştır.

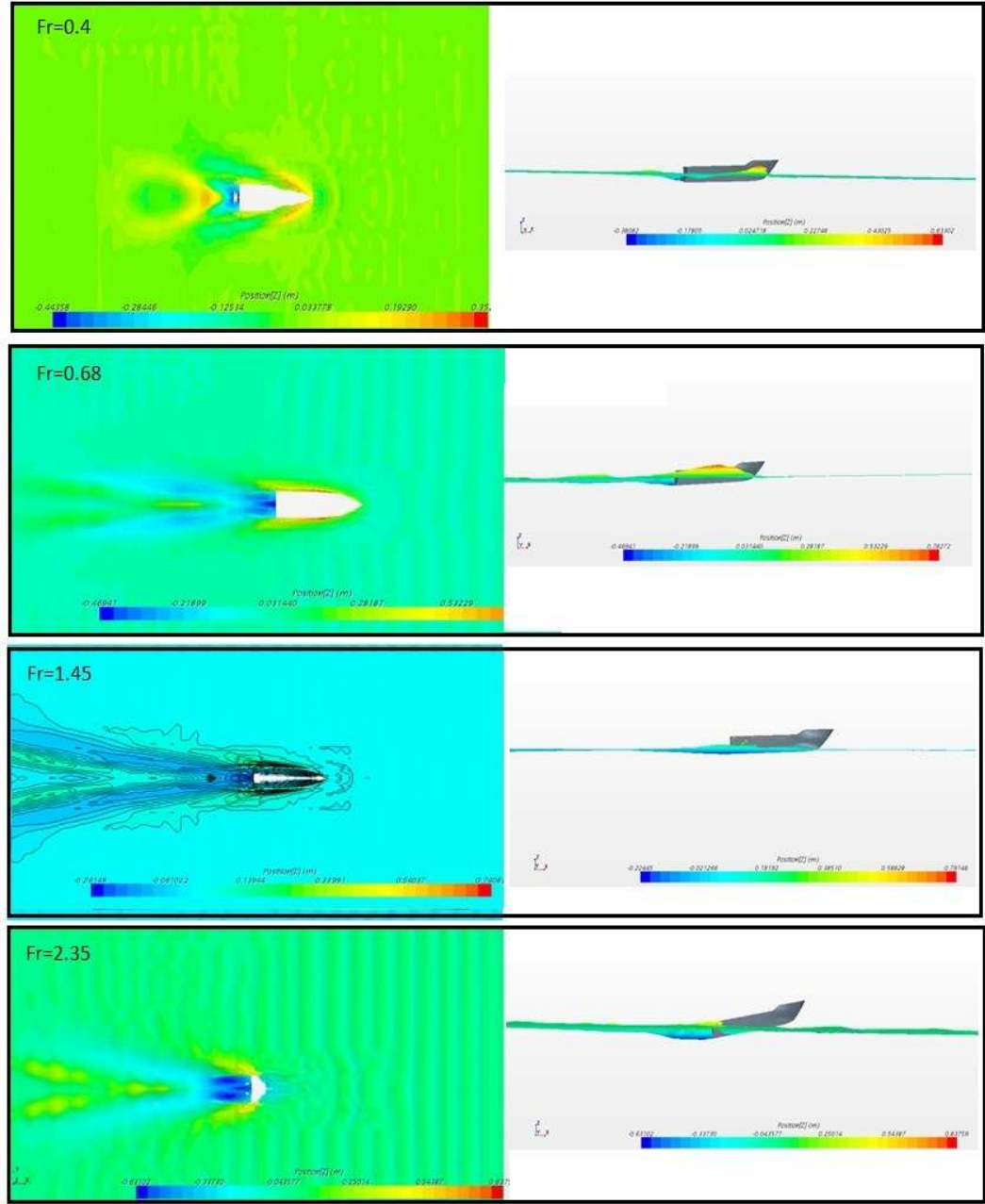
İncelenen ilk çalışmalarda tekne gövdesinin kış bölgesine yakın su altında konumlandırılan bu kanatların, analizler kapsamında belirlenen kanat konumları ise önceki çalışmalardan yola çıkılarak hesaplanmıştır. Hesaplanan konumda ‘form a’ modeline eklenmiştir. Optimize edilen formda farklı Froude hızlarında gerçekleştirilen analizler sonucunda trim değerleri de belirlenmiştir. Belirlenen Froude sayılarında yapılan analizler sonucunda elde edilen tüm değerler tablo 2.13.’te sunulmuştur.

Tablo 2.13. Optimize edilen gövde kış kanatlı Form-A için analiz sonuçları

Hız (m/s)	Froude Sayısı	Toplam Direç (N)	Direnç Katsayısı	Trim Açısı (derece)	Paralel Batma (m)
0	0	0	0	0	0
3,03	0,4	583,917	0,01141	0,321	0,09871
5,178	0,68	861,79	0,05701	0,83	0,00113
7,954	1,05	1338,42	0,036755	1,072	0,142
10,841	1,45	1817,12	0,027424	1,8938	0,260
12,45	1,64	1549,704	0,017725	2,2191	0,258
15,11	1,98	1147,691	0,00891	2,1127	0,288
18,109	2,35	981,779	0,0053	2,0317	0,291



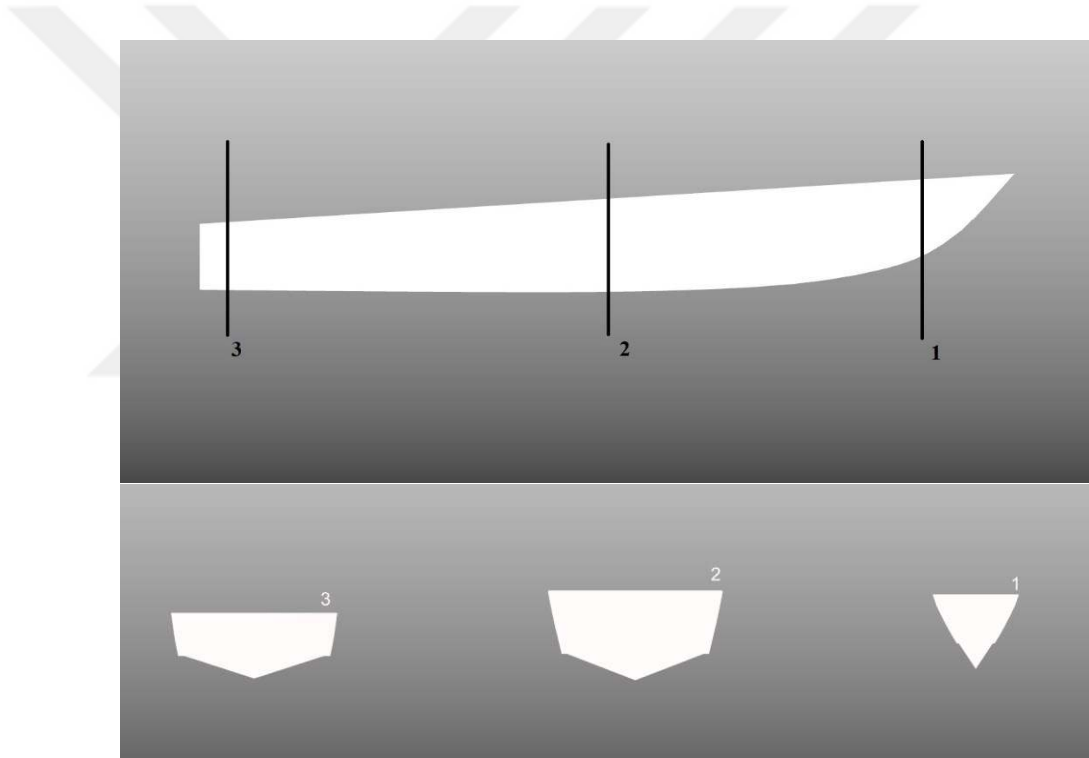
Şekil 2.21. Optimize edilmiş gövde kış kanat eklenmiş Form A'daki hacim fraksiyonu skaler ekranları



Şekil 2.22. Optimize kanat eklenmiş Form A tipi kayıcı tip tekne için farklı Froude hızlarındaki; z pozisyonunda ekran görüntüleri

2.1.2. Form-B İçin Uygulamalar

Analizleri planlanan kayıcı tip Form-B tipi yüksek hızlı teknenin kalkıntı açılarının (β) gösterimi ekil’de verilmiştir. Burada kıta, mastori’de ve baştaki kalkıntı açılarının gösterimi üzerinden form teşhir işlemi gerçekleştirilmiştir. Formun kayıcı tip tekne formuna uygunluğu ve gerekli yüzey, alan ve hacim analizleri için Rhinoceros ve Maxsurf bilgisayar destekli paket programlardan yararlanılmıştır. Öğrenci lisansı olarak kullanılarak belirlenen genel form gösterimi ve sayısal değerleri ekil 2.23’te sunulmuştur.

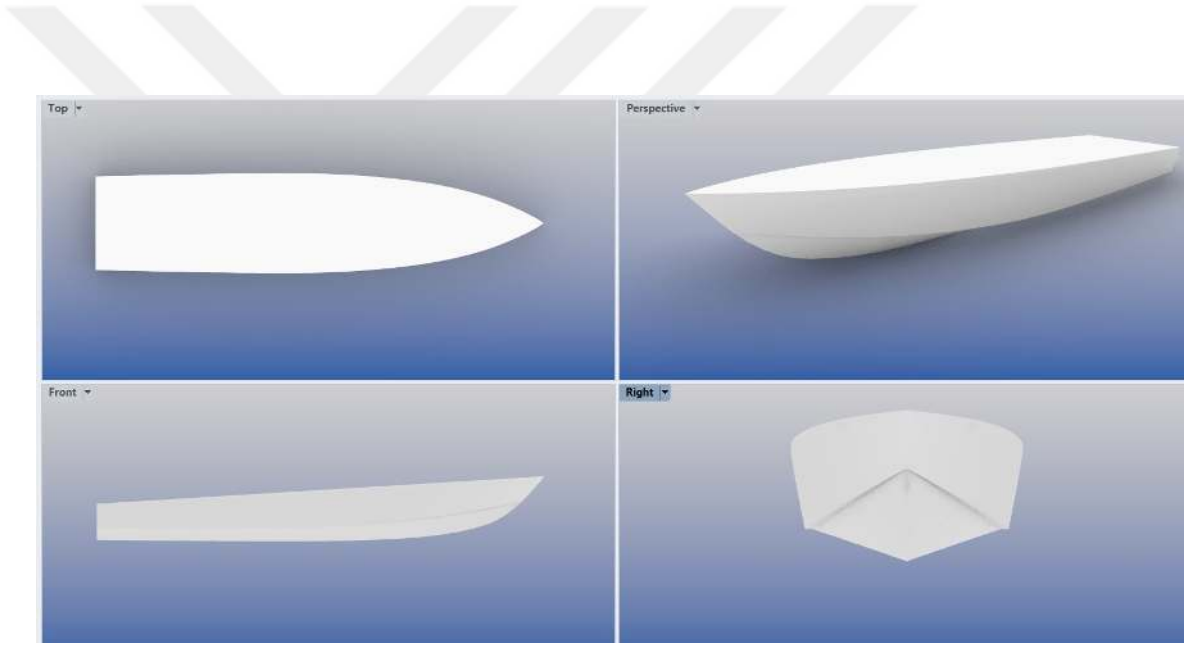


Şekil 2.23. Form-B tipi kayıcı teknenin üç farklı düzlemdeki kesitlere göre ölçülen kalkıntı açılarının gösterimi ($\beta_3 = 17.9^\circ$, $\beta_2 = 21.1^\circ$, $\beta_1 = 56.6^\circ$)

HAD analizlerinin tutarlı ve kabul edilebilirliği açısından ilk olarak atalet momentlerinin, kütle ve hacim merkezlerinin konumu, temel boyutların belirlenmesi en temel koşul olduğundan bahsedilmişti.

Bu amaçtan hareketle doğru fiziksel modelin HAD analizleri için kullanılması, ağ yapısının oluşturulması ve sınır koşullarının belirlenmesi aşamasına geçilmektedir. Analizlerin ağ yapısında oturtulması amacıyla; akışın oluşacağı bölgenin sınır koşullarının doğru belirlenmesi gerekir. Bu amaçla gerçek tekne yerine belirli ölçekte küçültülmüş modelin kullanılması hem zaman açısından hem de daha çok analizi ve ağ oluşumunu pratik şekilde yapabilmeye imkan sağlayacaktır. Ayrıca eş zamanlı olarak HAD analiz denklemlerinin çözüm aşaması için kullanacak ağ yapısını optimize etmesine imkan sağlanmış olacaktır. Analizler için kullanılacak model için kompleks yüzeylerden ziyade ham model kullanılması analiz koşturma/hesaplama süresini azaltacaktır.

Form-B modelinin gösterimi şekil 2.24’de ve tablo 2.14’te verilmiştir.

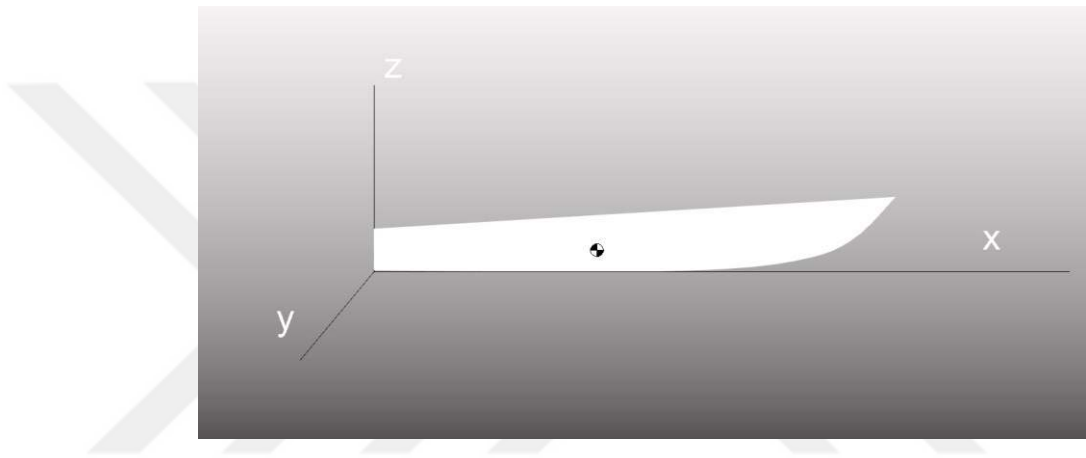


Şekil 2.24. Form-B tipi kayıcı teknenin görünüşü

Tablo 2.14. Form-B tipi kayıcı tekne temel özellikleri

LOA	6,06 m
LWL	5,206 m
BOA	1,34 m
T	0,21 m
Δ	554 kg

Form-B tipi kayıcı tekne formu $\lambda=2,155$ benzerlik oranına sahip bir yüksek hızlı yat karinesi baz alınarak tasarlanmıştır. Genel itibariyle yarışmalarda ya da özel üretim olarak tek tip kullanılan bu tarz yatların istenilen zamanlarda beklenen yüksek hız performanslarına uygun olarak bir de hız beklentisiyle bağlantılı olarak trim düzeltilmesi beklenmektedir. Teknik olarak hız beklentisi bu tarz yatlar için en temel olarak istenen bir dizayn kistasıdır. Hesaplamalar için daha çok gerekli kütleli değerlere ihtiyaç vardır. Bu kütleli değerler ise şekil 2.25. ve Tablo 2.15'te verilmiştir.



Şekil 2.25. Form-A kütle merkezinin yeri

Tablo 2.15. Form-B modeli için kütle değerleri

Kütle (kg)	554		
	x	y	z
Kütle Merkezi (m)	2.055	0	0.149
	I_{xx}	I_{yy}	I_{zz}
Atalet Momentleri (kg.m ²)	62.95	691.6	718.22
	I_{xy}	I_{xz}	I_{yz}
Off Diagonal (kg.m ²)	0	185	0

2.1.2.1. Fiziksel Model

Üç boyutlu bir form-b modelinin, “Implicit Unsteady” olarak Eulerian çok fazlı fizik modeli için analiz koşturulmuştur. Burada Implicit Unsteady çözüm kullanılmasının temel nedeni; modelin akışın hızına göre modelin konumunu belirlemektir. Bu durum zamana bağlı olmadan belirlenmesi esas alınmıştır. Bu çok fazlı akışlar içinde hem hava hem de su ile etkileşimi belirleyen serbest yüzeyin tanımlanmasında nispeten hızlı bir çözüme ulaşmada kolaylık sağlayacaktır. 0.005 zaman adımı başına 10 iterasyon ile analizin çözüm basamakları sınırlandırılmıştır.

VOF modeli ile Navier-Stokes denklemlerinden yararlanarak problem çözümleri gerçekleştirilmektedir. Çok fazlı akış modeli içinde uygun bir yöntemdir. Bu çalışma kapsamında zamanla yoğunluğu değişmeyen akış modelleri kullanılmıştır. Simülasyonlarda türbülans olacağı için türbülans modeli kullanılmıştır. Kullanılan k- ϵ ve k- ω modelleri birbirinden çok farklı modellerdir. k- ϵ modeli aslında internal akışlar problemlerinde kullanılması uygun olmakla birlikte nümerik olarak daha rahat bir modeldir. k- ω modeli ise ters basınç gradyeni oluşan problemlerde ve çok daha fazla grid noktasına ihtiyaç duyan bir model’dir.

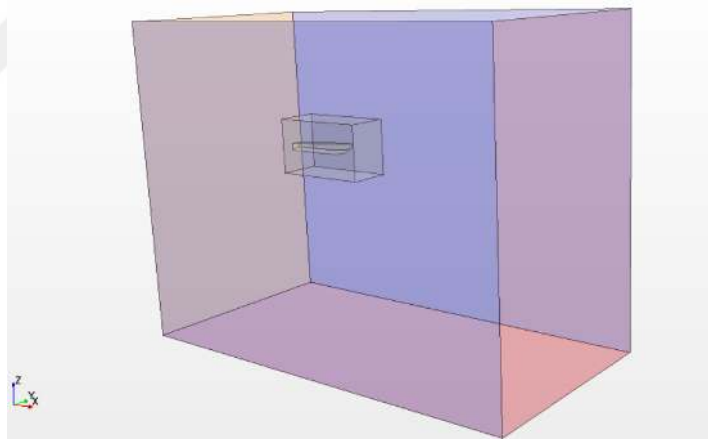
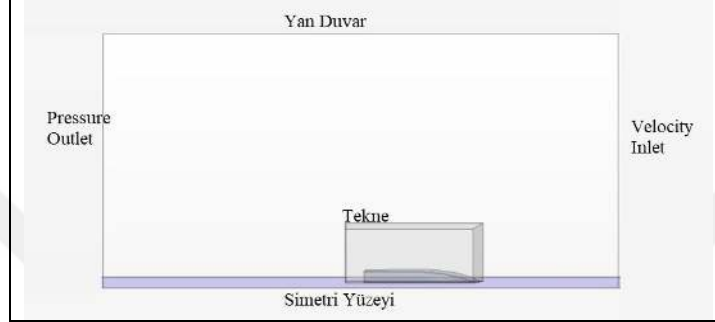
Simülasyonlarda kullanılan düz dalgalar, VOF dalgaları olarak tanımlanmaktadır. Tekne hareketin tanımlanması içinse DFBI hareketi 2 serbestlik derecesi için kullanıldı. Bu denklemlerde : ‘Z-motion, Y-Rotation’ olarak tanımlandı.

2.1.2.2. Ağ Modeli

Çalışma kapsamında ağ modeli olarak; ‘Surface remesher, trimmed cell mesher, prism layer meşher ve automatic surface repair’ kullanılmıştır. Temel özellikler ise tablo 2.16’da, hacim görünüşleri şekil 2.26’da ve son olarak hacimsel görünüşlerin sınır tablosu; tablo 2.17’de verilmiştir.

Tablo 2.16. Ağ yapısının temel özellikler tablosu

	Mesh 1	Mesh 2
Temel Boy (m)	0.04	0.04
Hedef Yüzey Boyu (m)	15	15
Yüzey Büyüme Oranı	1.3	1.3
Prizma Tabakasının Toplam Kalınlığı (%)	0.5	0.5
Otomatik Düzeltme Yüzdesi (%)	1	1
Kontrol Hacmi 1 (%)	6.125	3.0625
Kontrol Hacmi 2 (%)	6.125	3.0625
Hücre sayısı	5916032	7854371

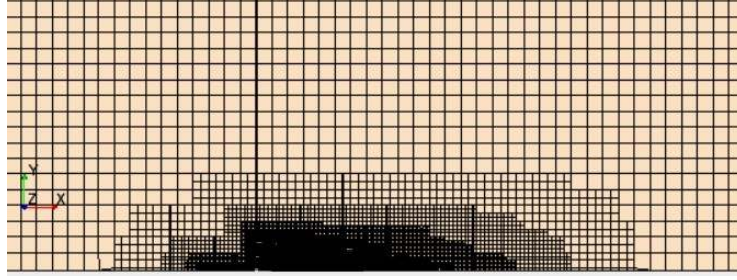


Şekil 2.26. Analiz yapılacak hacimlerin görünüşü

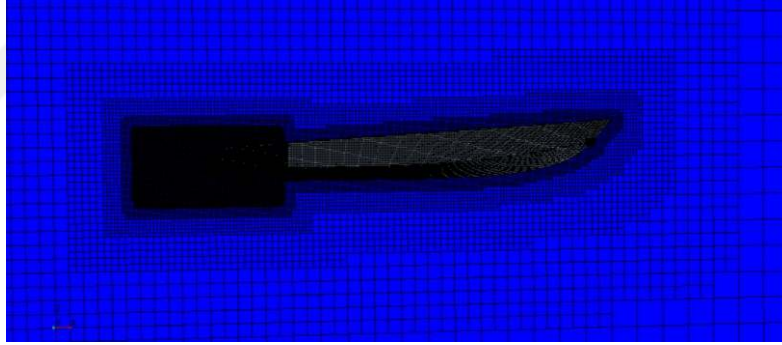
Tablo 2.17. Fiziksel hacim sınırları.

				Tekne Konumuna göre (Tekne Boyu=L)				
	Dış	İç	Baştan	Kıçtan	Dipten	Güverteden	iskeleden	sancaktan
X_Uzunluk (m)	60	8	3L	7L				
Y_En (m)	40	4					3L	3L
Z_Yükseklik (m)	30	5			3L	2L		

Belirtilen hacim sınırları üzerinden ağ yapısının oluşturulmasıyla birlikte ilgili tüm analizler için belirlenen ağ dosyası üretilmiştir. Ağ dosyası için üst ve profil görüşleri şekil 2.27 ve şekil 2.28’de verilmiştir.



Şekil 2.27. Ağ yapısının üst görünüşü



Şekil 2.28. Ağ yapısının profil görünüşü

2.1.2.3. Form-B Tipi Kayıcı Tekne Analiz Sonuçları

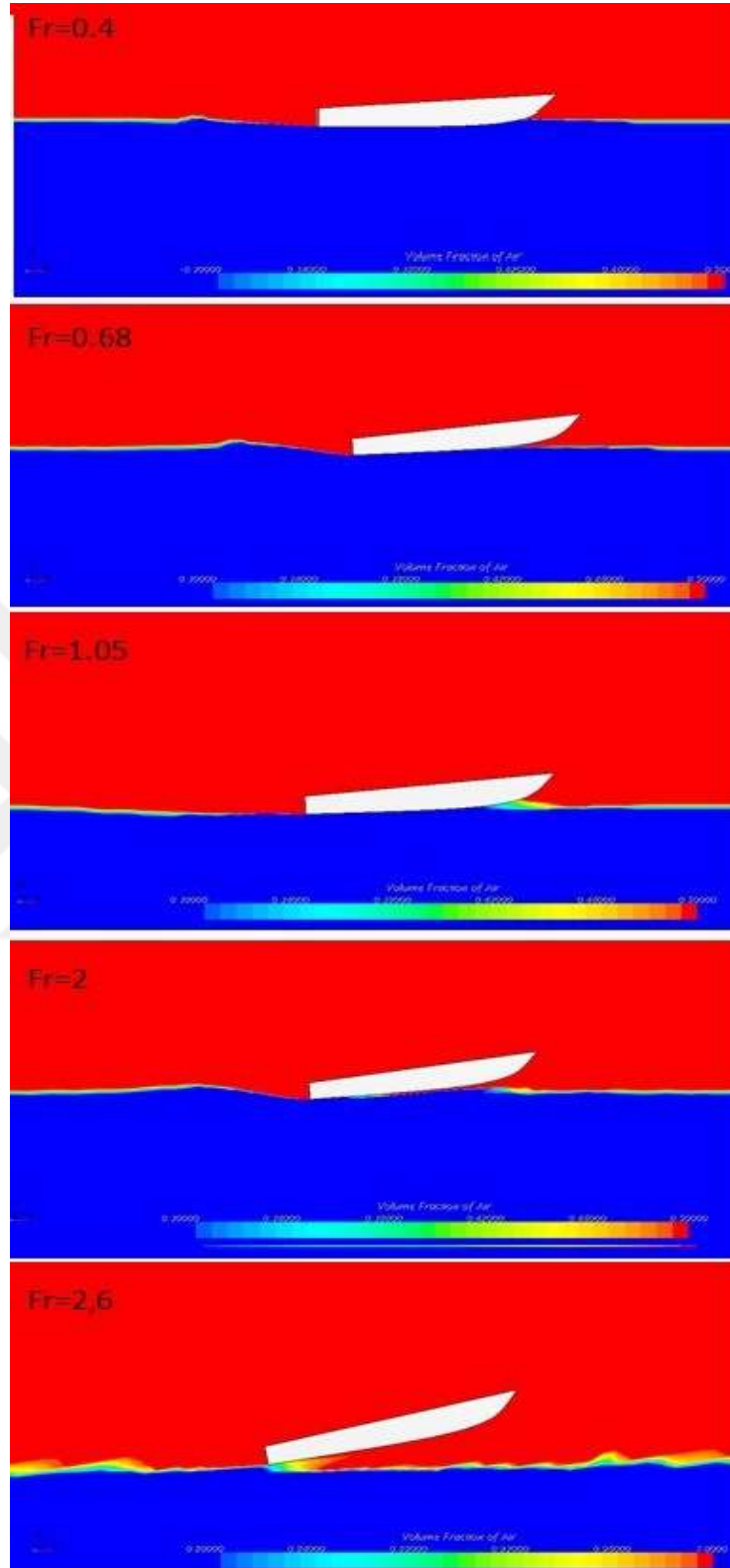
Form B tipi kayıcı tip tekne için ağ yapısının oluşturulmasıyla birlikte 7 farklı hızda direnç tahmin analizleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca analizler sonucunda tahmini trim değerleri de belirlenmiştir. Belirlenen Froude sayılarında yapılan analizler sonucunda elde edilen tüm değerler tablo 2.18’de sunulmuştur. Yapılan analizler tıpkı form a tipi teknede olduğu gibi ilk önce sadece tekne gövdesi üzerinden gerekli direnç ve trim değerlerini görebilmemizi sağlamıştır. Daha sonra ise bu gövdenin kış bölgesine kanat

eklenip akış hareketi gerçekleştirilecek ve sonuçlar kıyaslamalı olarak grafikler üzerinden irdelenecektir.

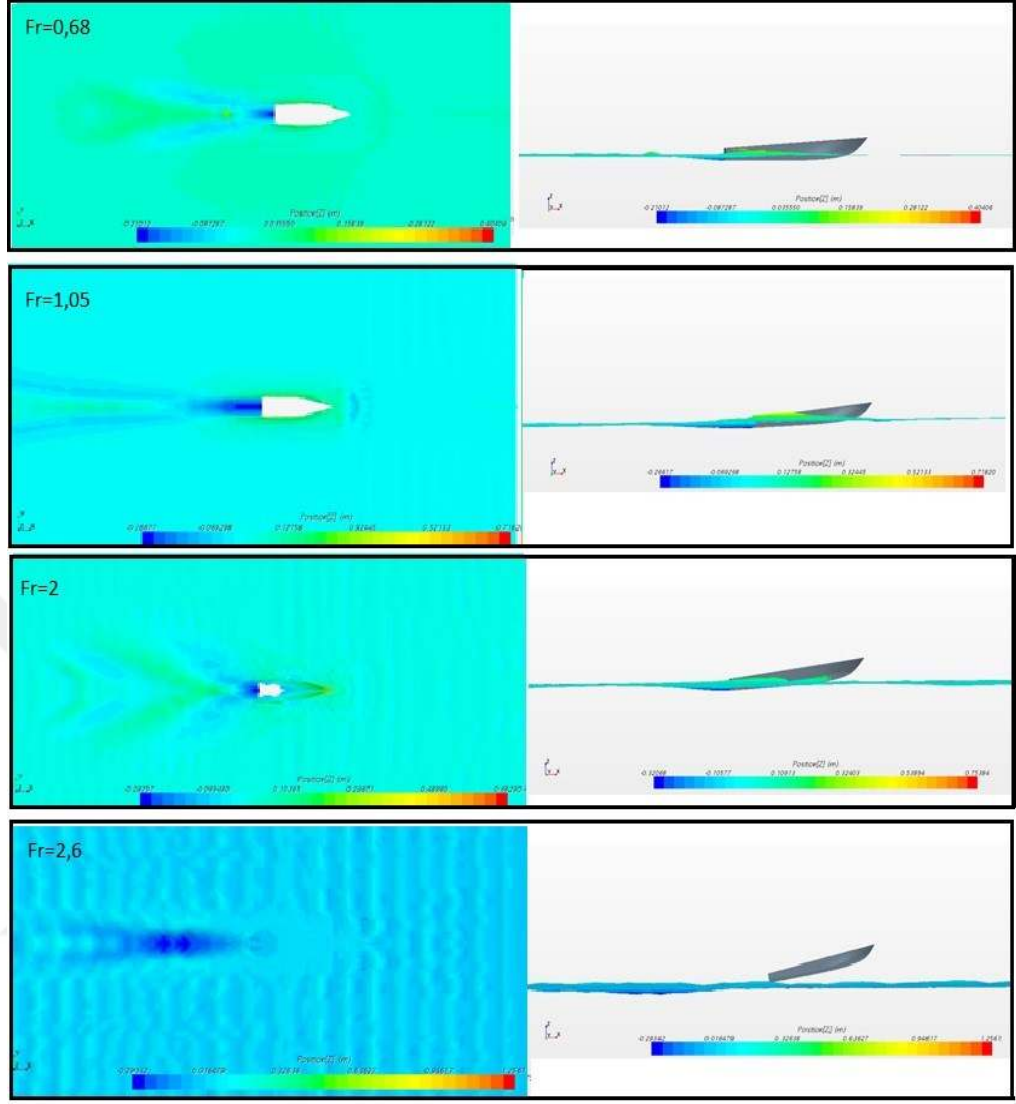
Burada seçilen formların analizleri ilk kısımdaki form a içinde aynı şekilde karşılaştırılmalı olarak sonuçlar ve öneriler bölümünde verilecektir.

Tablo 2.18. Form B tekne için analiz sonuçları

Hız (m/s)	Froude Sayısı	Toplam Direç (N)	Direnç Katsayısı	Trim Açısı (derece)	Paralel Batma (m)
0	0	0	0	0	0
3,068	0,4	305,189	0,0232	0,381	0,0356
5,178	0,68	415,008	0,0315	1,864	0,0604
7,954	1,05	711,231	0,0458	2,954	0,0479
11,178	1,45	658,316	0,0180	4,43	0,0315
15,34	2	533,133	0,0092	5,012	0,4952
18,41	2,4	505,857	0,0061	7,12	0,6214
20,08	2,6	488,5	0,0049	8,24	0,7818



Şekil 2.29. Form B için hacim fraksiyonu skaler ekranları



Şekil 2.30. Form B tipi kayıcı tip tekne için; z pozisyonunda skaler ekran görüntüleri

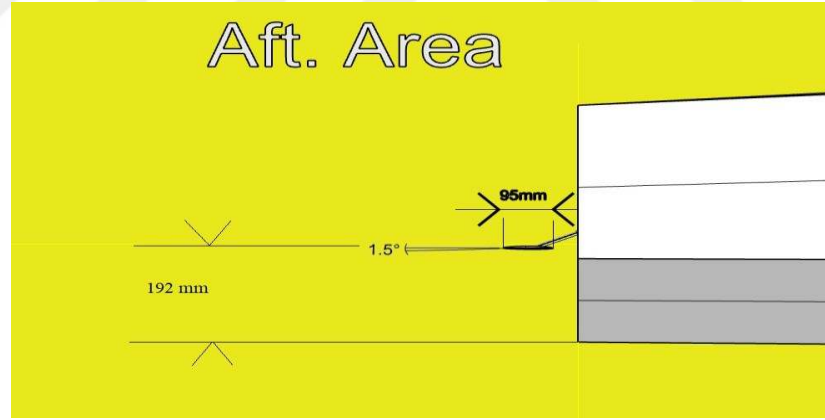
Form B tipi Teknenin hızı arttıkça, gövdenin su yüzeyine göre konumu form A tipine göre çok daha fazla değişeceği için simülasyonlarda farklı Froude sayılarında tekne hareketleri gözlemlenmiştir. Düşük hızlarda tekne su yüzeyine göre, $\frac{1}{2}$ oranda ıslak alan oranıyla kayıcı bölgeye geçmeye çalışmıştır.

+z pozisyonun çıktıları daha belirleyici olmuştur. Yaklaşık olarak $Fr=0.7$ hızında kayıcı rejimde artık tekne gövdesinin yaklaşık $\frac{1}{4}$ oranında ıslak alan olarak ölçülmüştür. Trim değerleri artmış $Fr=1$ hızında artık kayıcı rejim bölgesine geçmiştir. Tekne artık $\frac{1}{4}$ ıslak gövde alanıyla bu hareketi gerçekleştirmiştir. Nihayet $Fr=2$ hızında gövdenin ıslak

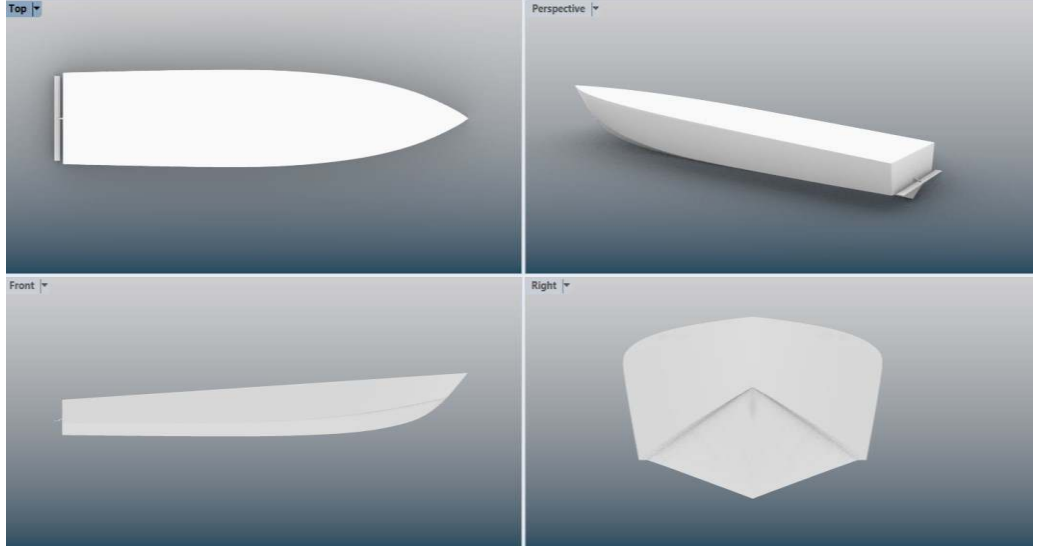
alanı 1/5 oranında olduğu ölçülmüştür. Trim artık en yüksek değerlerindedir. Yüksek hızlarda bu tip tipolojiler için bu olağan bir harekettir.

2.1.2.4. Gövde Kıç Kanat Eklenmiş Form-B Tipi Kayıcı Tekne Analiz Sonuçları

Ağ yapısının oluşturulmasıyla birlikte 7 farklı hızda direnç tahmin analizleri gerçekleştirilen gövde kıç kanat eklenmiş form B tipi teknenin; Kanat eklendikten sonraki tam boyu 6,135 m'ye; su hattı boyu 5.351 m'ye ve deplasman ağırlığı 589 kg ölçülmüştür. Ayrıca modele eklenen kanat için hücum açısı $1,5^\circ$ ve derinlik 192 mm olarak ölçülmüştür. Kanat kesiti olarak 'Eppler E874' hidrofil kesiti kullanılmıştır. Kanat için kullanılan bu kesit için kord uzunluğu 95 mm olarak belirlenmiştir. İlgili bu gövde kıç kanadı ise tam bir model olarak şekil 2.31'de belirtilmiştir.



Şekil 2.31. Form B tipi için kıç bölgesindeki kanadın kord uzunluğu, hücum açısı ve derinliğinin gösterimi



Şekil 2.32. Gövde kış kanadı eklenmiş üç boyutlu Form B modelinin görünüşleri

2.1.2.5. Gövde Kış Kanat Eklenmiş Form-B Tipi Kayıcı Tekne Analiz

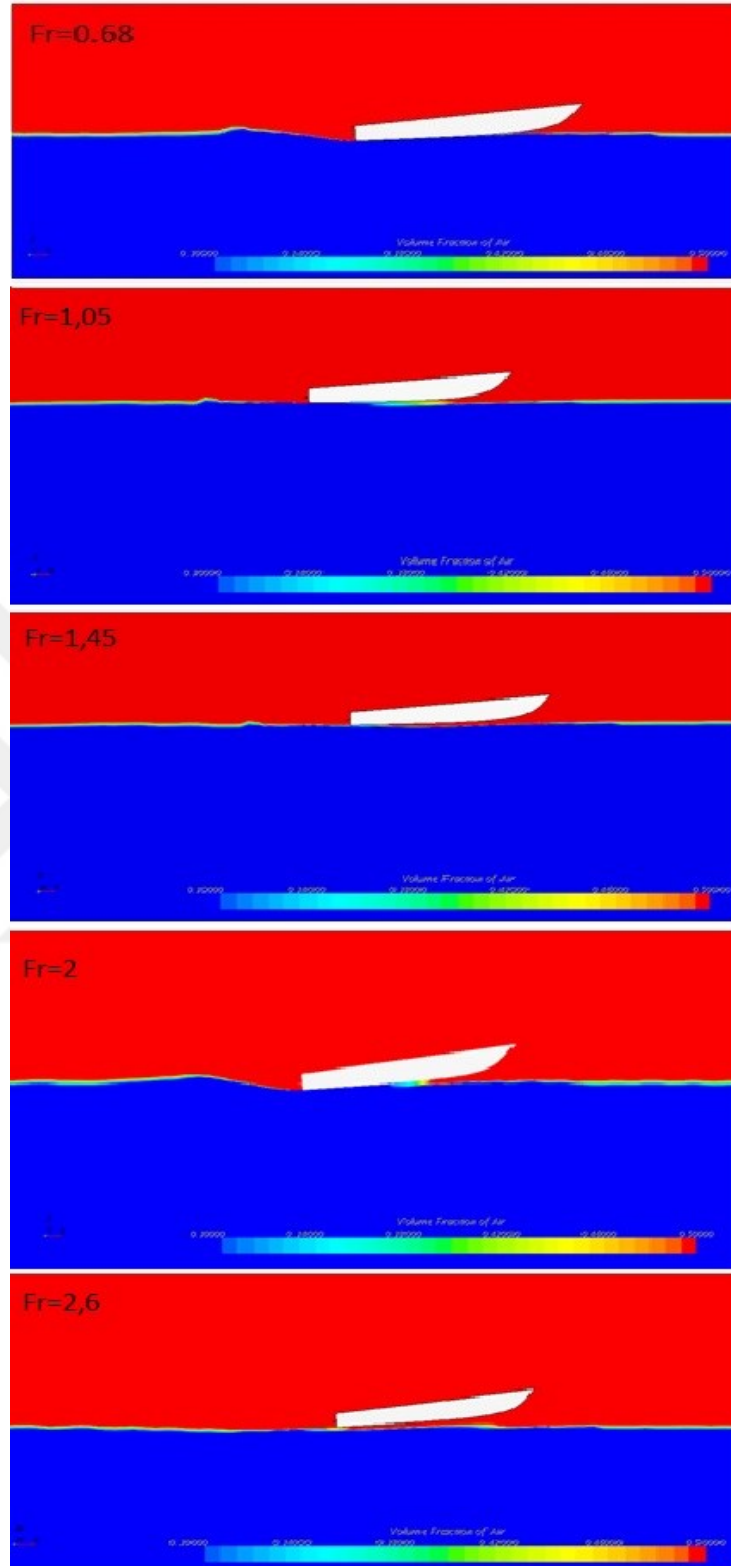
Sonuçları

Form B tipi kayıcı tip tekne için ağ yapısının oluşturulmasıyla birlikte 7 farklı hızda direnç tahmin analizleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca analizler sonucunda tahmini trim değerleri de belirlenmiştir. Belirlenen Froude sayılarında yapılan analizler sonucunda elde edilen tüm değerler tablo 2.19’da sunulmuştur. Yapılan analizler aynı form a tipi teknede olduğu gibi ilk önce sadece tekne gövdesi üzerinden direnç ve trim değerlerini görebilmemizi sağlayacaktır. Daha sonra ise bu gövdenin kış bölgesine kanat eklenip akış hareketi gerçekleştirilecek ve sonuçlar kıyaslamalı olarak grafikler üzerinden irdelenecektir.

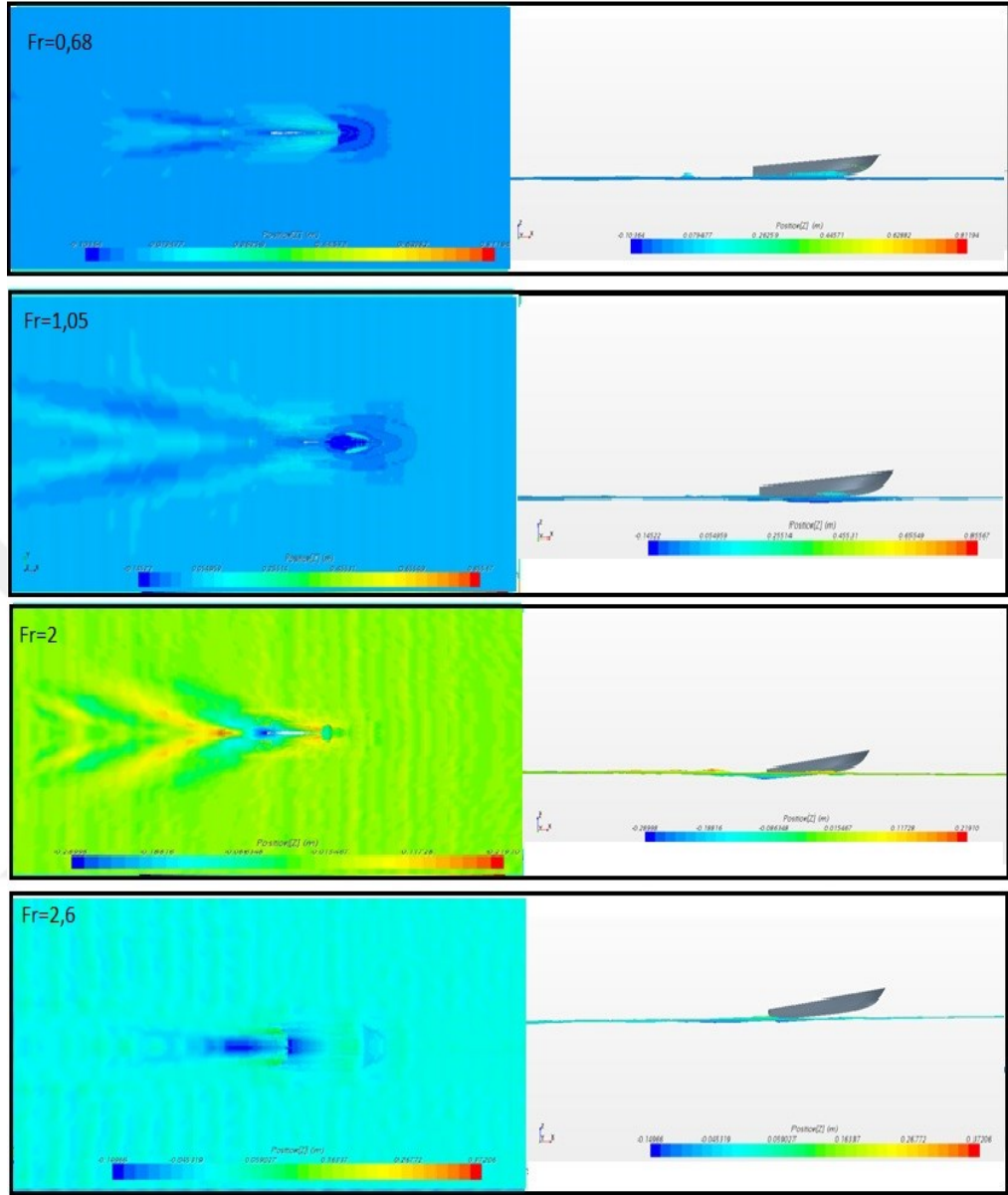
Burada seçilen formların analizleri ilk kısımdaki form a içinde aynı şekilde karşılaştırılmalı olarak sonuçlar ve öneriler bölümünde verilecektir.

Tablo 2.19. Gövde kık kanat eklenmiş Form B tekne için analiz sonuçları

Hız (m/s)	Froude Sayısı	Toplam Direç (N)	Direnç Katsayısı	Trim Açısı (derece)	Paralel Batma (m)
0	0	0	0	0	0
3,068	0,4	324,341	0,0245	0,81	0,04567
5,178	0,68	517,268	0,0784	1,59	0,08992
7,954	1,05	570,412	0,0369	2,72	0,09796
11,178	1,45	610,987	0,0195	3,36	0,12127
15,34	2	505,133	0,00977	3,39	0,14104
18,41	2,4	488,150	0,00581	3,42	0,19847
20,08	2,6	441,591	0,00454	3,48	0,23334



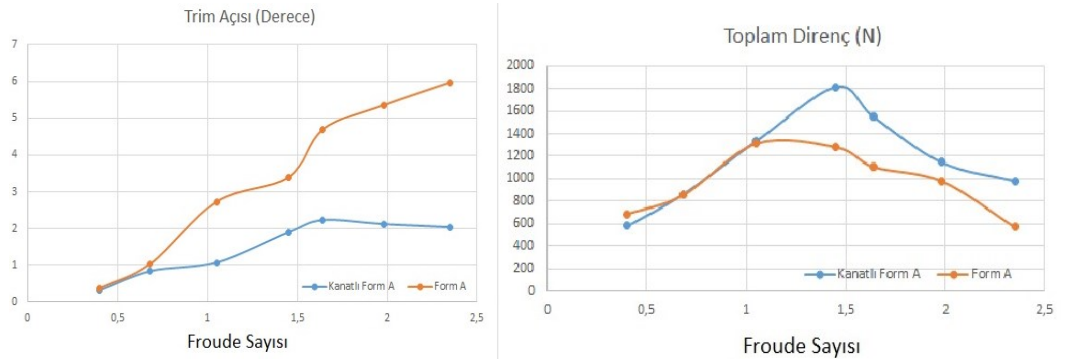
Şekil 2.33. Gövde kış kanat eklenmiş Form B'deki hacim fraksiyonu skaler ekran görüntüleri



Şekil 2.34. Kanat eklenmiş Form B tipi kayıcı tip tekne için farklı Froude hızlarındaki z pozisyonunda skaler ekran görüntüleri

3. BULGULAR VE İRDELEME

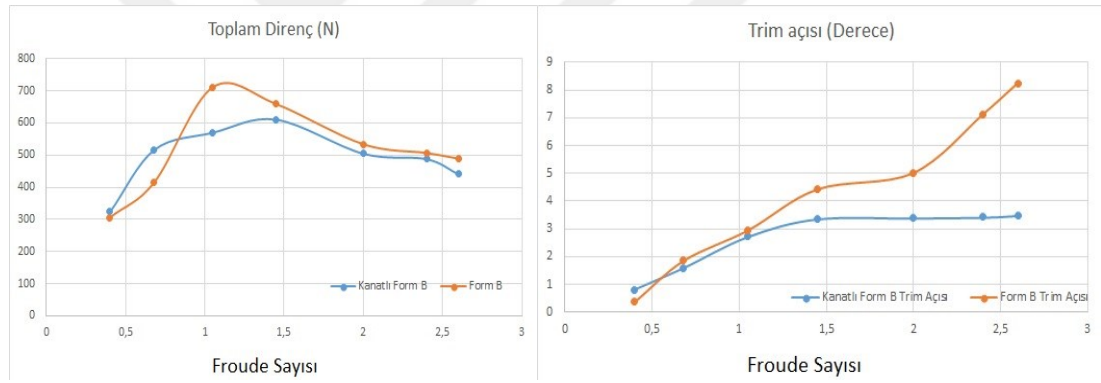
Form A tipi tekne modelinde gerçekleştirilen analizlerinden yola çıkılarak aslında tipolojinin farklı genel karakterini yansıtan direnç sonuçları ve trim açısı değerleri şekil 3.1’de verilmiştir. 7 Farklı hızda gerçekleştirilen simülasyonlar sonucunda ise karşılaştırma yapabilmek için hem sadece teknenin hem de kanat gövde kış kanat eklenmiş teknenin direnç analizleri gerçekleştirilmiştir. Burada ilk adım olarak kullanılan kanat modelinin kord uzunluğu hem de kaldırma kuvveti ürettiği hızlarda ($2 > Fr > 0,85$) beklenenden daha fazla olduğu görülmüştür. Bu hızlarda normal olarak kayıcı rejime geçmesi gereken teknede bu durum gerçekleşmemiş, dinamik kuvvetlerin deplasman ağırlığını karşılayıp direnç kuvvetinin azalmasının beklendiği durumun aksine tekne hız arttıkça suya gömülmüştür. Bu istenilen bir durum olmamakla birlikte, yapılan optimizasyonlarla gövde kış kanat kesiti değiştirilmiştir. Nispeten daha az kaldırma kuvveti üretmesi beklenen bir kesit kullanılmıştır. Ayrıca kord uzunluğu azaltılmıştır. 2. durumdaki simülasyonlarda ise beklentiler karşılanmıştır. Trim oranı azalmıştır. Ancak direnç konusunda istenilen azalma gerçekleşmemiştir. Bu tip tekne tipolojisi için gövde kış kanatlarının kullanışlı olmadığı belirlenmiştir. Bu tipolojideki tekneler için dinamik sistemler olarak bu kanatların kullanılması özellikle teknenin denizci kabiliyetini iyileştirecektir.



Şekil 3.1. Form A teknesinin sadece gövde ile optimal gövde kış kanat eklenmiş gövdesinin hıza göre karşılaştırmalı direnç ve trim grafikleri

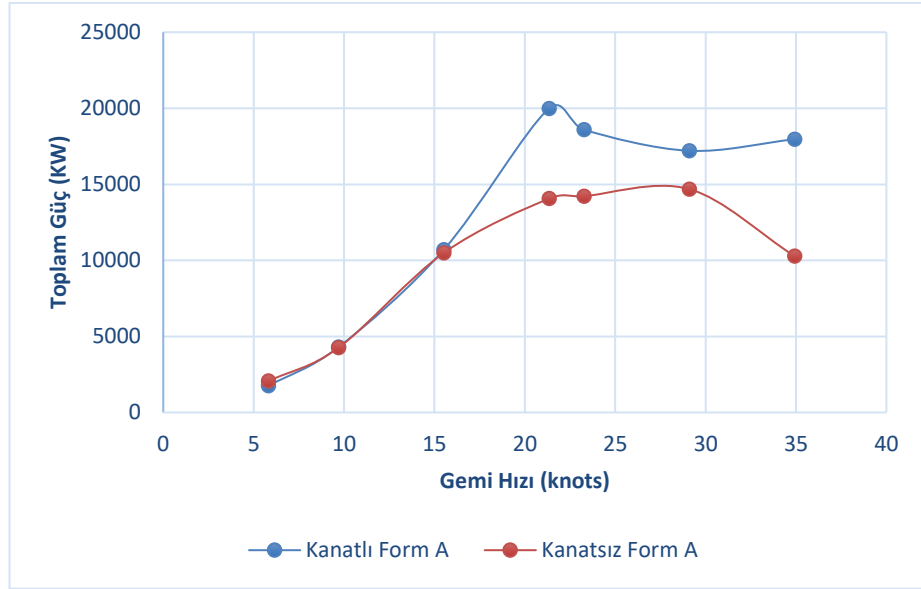
İkinci uygulama olarak Form B tipi kayıcı tekne tipolojisi için gerçekleştirilen simülasyonlara geçilmiştir. Form B tekne için direnç ve trim değerleri ölçülmüş ve şekil 3.2.'de verilmiştir.

Bu aşamada yapılan simülasyonlarda ilk olarak sadece tekne ile gerçekleştirilmiş beklenen trim ve direnç değerleri üzerinden form tipolojisiyle paralel olacak sonuçlar çıkarılmıştır. Bu tipoloji için yine aynı kanat kesiti üzerinden bir gövde kış kanat üretilmiş ve tekneye eklenmiştir. Bu aşamada ise form b tipinde hem trim düzeltilmiş hem de direnç azalması ölçülmüştür. Tekne özellikle kayıcı rejime geçtiği hızlarda ($Fr=0.6$) kanatların oluşturduğu efektif su hattı boyu sayesinde trim optimize edilmiştir. Bu modeller için özellikle yüksek hızlardaki baş kaldırma hali optimal seviyelere çekilmiştir. Bu tipoloji için bu kanatlar uygun olarak tasarlanmıştır.

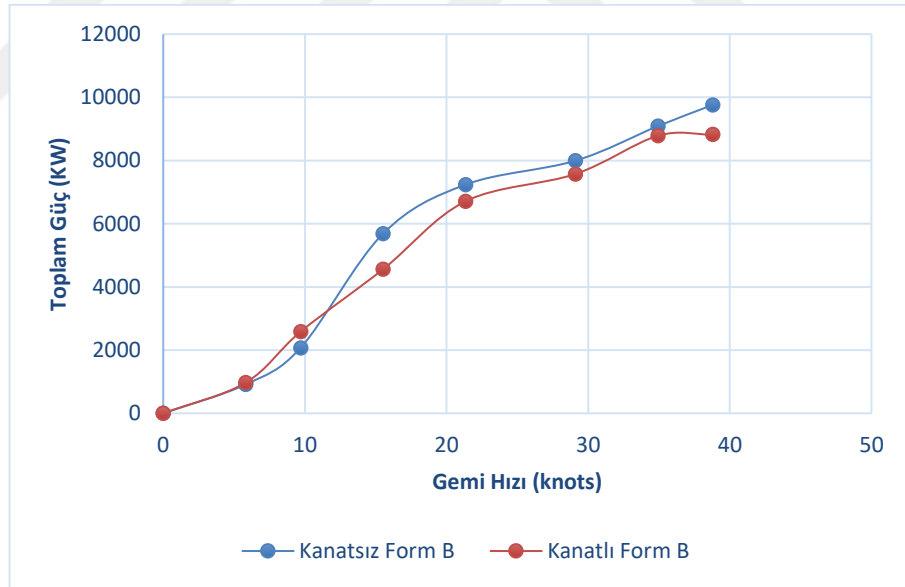


Şekil 3.2. Form B teknesinin sadece gövde ile gövde kış kanat eklenmiş gövdesinin hıza göre karşılaştırmalı direnç ve trim grafikleri

Bu aşamada kıyaslamalı olarak Form A ve Form B tipi kayıcı teknelerinin kullanılması hem çalışmanın farklı formlar için çeşitliliğini arttırmış hem de ileride yapılması planlanan olası projelere bir ön çalışma olmuştur.



Şekil 3.3. Form A teknesinin kanatsız ve kanat eklenmiş gövdesinin hız-güç grafiği



Şekil 3.4. Form B teknesinin kanatsız ve kanat eklenmiş gövdesinin hız-güç grafiği

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Kayıcı tekneler, geleneksel deplasmanlı gövdelerden çok daha yüksek hızlara ulaşabilir. Bu durum kayıcı rejime geçildikten sonra ortaya çıkan hidrodinamik kuvvetlerin deplasman ağırlığını karşılamasıyla mümkün olmaktadır. Hidrodinamik kuvvet ise; kayıcı rejimde tekne su içindeki hareketi başladıktan sonra kaldırma kuvveti oluşur. Yüksek hızlarda tekne gövdesi tamamen suyun dışına çıkararak hareket devam etmektedir. Bu durumda ıslak yüzey alanı en düşük seviyede olduğu içinde sürtünme kuvveti minimum seviyelere gerilemektedir. Bu durumda viskoz direnç, dalga yapma direnci ve hava direnci temel direnç bileşenleridir.

- Viskoz direnç; Suda hareketin başlamasıyla basınç farkından kaynaklı oluşan kayma gerilmesiyle,
- Dalga yapma direnci; Tekne gövdesinin su ile teması sırasında dalga oluşturmak için harcadığı enerji olarak,
- Hava direnci ise; Tekne gövdesinin su üstünde maruz kaldığı havadan kaynaklanmaktadır.

Tekne gövdesi etrafındaki akışı etkileyen tekne tipolojisinin birden fazla karakteristik özelliği vardır. Bunlar kalkıntı açısı, omurga hattı, baş form narinliği ve serpinti raylarıdır. İlk etapta daha çok model deneyinde serpinti raylarının olması beklenen bir kıstastır. Bu raylar gövdeye birleşik olarak boyuna konumlandırılmış raylardır. Akışı düzenleyip, kaldırma kuvvetinin artırılması için kullanılmaktadır. Omurga hattı ve baş form narinliği hem direnç açısından hem de denizci özellikleri iyileştiren karakteristiklerdir.

Kullanılan paket program kapsamında akışı tanımlamada ve analiz koşturmada sonlu hacimler yöntemiyle birlikte RANS denklemlerinin yardımıyla problemler çözülmüştür. Çok fazlı akışlar tanımlanmış, fiziksel sınır şartları belirlenmiştir. Ağ yapısı oluşturulduktan başlangıç aşmasında belirlenen hızlarda analizler koşturulmuştur.

Simülasyonlarda, hız arttıkça belirlenen Form A ve Form B tipi kayıcı teknelerin su yüzeyine göre konumu doğal olarak değişmiş. Trim açıları artmış ve hidrodinamik kuvvetler ortaya çıkmıştır. Gövde sudan ayrılıp paralel konuma geldiğinde sürtünme çok daha azalmıştır. Gövde tekrar suya girdiğinde ise sürüklenme kuvveti artmıştır.

Form A üzerinde optimize edilen kık kanatla birlikte toplam direnç miktarı artışı ortalama %19 oranda artmıştır. Bununla birlikte trim açısı ortalama olarak %34 oranında azalmıştır. Bu pek istenmeyen bir durum olarak görülür. Çünkü nihayetinde birinci amacımız direnç azalmasını sağlamaktır. Öte yandan bu kanatlar efektif su hattını arttırdığı için tekneye denizcilik özelliği kazandırmıştır. Bu da trim açısını düşürmüştür. Bu durumda sistem yolcu ve mürettebatın konforu için uygulanabilir bir donanım olarak görülebilir. İlk etapta bu sistemler diğer alternatif optimizasyon teknikleri gibi elektrik tüketmediği için öne çıkabilecek birer donanım olduğu söylenebilir.

Form B üzerinden gerçekleştirilen optimizasyonlarda ise direnç kuvveti azalmıştır. Direnç kuvvetinde ortalama olarak %9.2 oranında azalmıştır. Trim açısı ise ortalama olarak %41 oranında azaltılmıştır. Beklentilerin bu form üzerinden karşılandığı bu kanat kesiti için beklenen direnç ve trim açısı azalmalarının olduğu ölçülmüştür.

Gövde performansını iyileştirebilmek için yine de bir çok optimizasyon gereklidir. Özellikle tüm formlar için performans kriterlerinin model deneyleriyle paralel olarak irdelenip yeni çalışmalara ilerleme alanı yaratılmalıdır. Tekne gövdesinin gövde kanatlarıyla birlikte verimliliğini arttırarak yakıt ekonomisini iyileştirilmesi çalışmaları gelecekteki çalışmaların konusu olarak görülmektedir. Farklı tipolojilerin incelenmesi, gövde optimizasyonlarının farklı kanat kombinasyonlarıyla denenmesi sonraki çalışmalar için değerli bilgiler üretmesi açısından önemlidir.

Bir deney çalışması için yapılan model tekne üzerinde farklı konumlarda kanat eklenerek olası tüm sonuçlar irdelenebilir. Eklenecek bu kanat tek bir konum için sabit olmaktansa, ayarlanabilir bir metal/kompozit malzemeden bir düzenek için kurgulanabilir. Bu düzenek teknenin kık bölgesine sabitlenir. İstenilen kanat derinliğinde ve akış hücum açısına göre kanat sabitlenir. Böylece tek bir model için birden fazla kanat kesiti ve kanat konumları için bir dizi deney gerçekleştirilmesi mümkün olacaktır.

5. KAYNAKLAR

1. Avala, V. K., CFD Analysis of Resistance Characteristics of High-Speed Displacement Hull Forms fitted with Hull Vane, Master's Thesis, at Florida Institute of Technology in Ocean Engineering, Melbourne, Florida, 2017.
2. Andrews, I., Avala, V. K. ve Sahoo, P. K. ve Ramakrishnan, S., Resistance Characteristics For High-Speed Hull Forms with Vanes, The 13th International Conference on Fast Sea Transportation (FAST), Washington, 1-6, 2015.
3. Bouckaert, B., Uithof, K., Van Oossanen, P. G., Moerke, N., Nienhuis, B., ve Van Bergen, J., A Life-Cycle Cost Analysis of the Application of a Hull Vane® to an Offshore Patrol Vessel, 13th International Conference on Fast Sea Transportation (FAST 2015), Washington, 629-643, 2015.
4. Bouckaert, B., Uithof, K. ve Moerke, N., Hull Vane® on 108m Holland-Class OPVs: Effects on Fuel Consumption and Seakeeping.
<https://www.hullvane.com/wp-content/uploads/2017/01/MAST-2016-Paper-Hull-Vane-on-108-m-Holland-Class-OPV-effects-on-fuel-consumption-and-seakeeping-1.pdf> 09 Mart 2018.
5. CD-Adapco, 2014. User Guide, Star-CCM+ Version 10.02, CD-adapco.
6. Crosby, M. J., A CFD Study on the Performance of High Speed Planing Hulls, Master's Thesis, For the Degree of Master of Science in Mechanical Engineering, Grand Valley State University, Michigan, USA, 2019.
7. Faltinsen, O., Hydrodynamics of High-Speed Marine Vehicles, Cambridge University Press, 1-3, New York, 2005.
8. Hagemeister, N., Uithof, K., Bouckaert B. ve Mikelic, A., Hull vane versus lengthening, A comparison between four alternatives for a 61m OPV, 14th Conference on fast sea transportation & innovative materials for maritime, Fransa, 19-29, 2017.
9. Harlow, F.H. and Welch, J.E., Numerical Calculation of Time-Dependent Viscous Incompressible Flow of Fluid with Free Surface, The Physics of Fluids, Volume 8, University of California, New Mexio, 3 Eylül 1965.
10. Uithof, K., Bouckaert, B., Van Oossanen, P. G. ve Moerke, N., A Cost-Benefit Analysis of Hull Vane Application on Motor Yachts, 24th International HISWA Symposium on Yacht Design and Yacht Construction, Amsterdam, 14-15 Kasım, 2016.

11. Uithof, K., Bouckaert, B., Van Oossanen, P. G. ve Moerke, N., The effects of the hull vane on ship motions of ferries and ropax vessels, The Royal Institution of Naval Architect, Design & Operation of Ferries & Ro-Pax Vessels, Londra, 25-26 Mayıs 2016.
12. Uithof, K., Van Oossanen, P., Moerke, N., Van Oossanen, P. G. ve Zaaijer, K. S., An update on the development of the hull vane:
<https://www.hullvane.com/wp-content/uploads/2015/01/AN-UPDATE-ON-THE-DEVELOPMENT-OF-THE-HULL-VANE-vFixed.pdf> 11 Aralık 2019.
13. Uithof, K., Van Oossanen, P. G. ve Bergsma, F., The feasibility and performance of a trimaran yacht concept equipped with a hull vane, The Royal Institution of Naval Architects, Design & Construction of Super & Mega Yachts.
<http://www.oossanen.nl/beheer/wp-content/uploads/2015/05/RINA-DCSMY-2015-PapervRevised.pdf> , İtalya, 13-14 Mayıs 2015.
14. Uithof, K., Hagemester, N., Bouckaert, B., Van Oossanen, P. G. ve Moerke, N., A Systematic Comparison of the Influence of the Hull Vane®, Interceptors, Trim Wedges, and Ballasting on the Performance of the 50 m AMECRC Series #13 Patrol Vessel, International Naval Engineering Conference, İngiltere, 123-130, 2016.
15. URL-1, https://en.wikipedia.org/wiki/Froude_number, Wikipedia, Froude number, 11 Ocak 2021
16. URL-2,
http://www.southampton.ac.uk/~nwb/lectures/GoodPracticeCFD/Articles/Turbulence_Notes_Fluent-v6.3.06.pdf, Ansys, Introductory FLUENT Notes. 21 Kasım 2019.
17. URL-3, Deniz Ticareti, İMEAK DTO ŞUBAT SAYISI, Rakamlarla denizcilik SEKTÖRÜ VE İSTATİSTİKLER Eki:
http://www.denizticaretodasi.org.tr/Shared%20Documents/Deniz%20Ticareti%20Dergisi/mart_ek_2017.pdf, s.6, İstanbul, 2017.
18. URL-4, <http://www.turkdeniz.com/%22Yat-sektoru-yillik-1-3-Milyar-Dolar-ihracatyapiyor%22-4449> , Gemi ve Yat Hizmetleri İhracatçıları Birliği Başkanı Seven C.; Yat sektörü yıllık 1.3 Milyar Dolar ihracat yapıyor, 10 Ocak 2018.
19. URL-5, www.boatinternational.com, Boat International, Global Order Book 2017, 05 Şubat 2018.
20. URL-6, <http://www.euronewsport.com/Arsiv.aspx?Mkl=405>, Euro newsport, Türkiye Yat İmalatının Altın Çağını Yaşıyor, 21 Kasım 2018.
21. Larsson, L. ve Eliasson, R. E., The Principles of Yacht Design, Adlard Coles Nautical, Second edition, 1-9, London, 2000.

22. Launder, B. E. ve Spalding, D. B., The Numerical Computation of Turbulent Flows, Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, 3, North-Holland Publishing Company, 269-289, London, 1974.
23. Özdemir, Y. H., Gemi Etrafındaki Akışın Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Yöntemi Kullanılarak İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Y.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2007.
24. Mehdiyev, N., Yüksek süratli kayıcı bir teknenin hesaplamalı akışkanlar dinamiği yöntemi ile form optimizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Y.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2009.
25. Proceedings of 21st Symposium of Naval Hydrodynamics, Trondheim, Norway, 1997.
26. Yurtseven, A., Yüzey Üzerindeki Makro Yapıların Hidrodinamik Açısından İncelenmesi, Doktora Tezi, Y.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2019.
27. Faison L. A., Design of a High Speed Planing Hull with a Cambered Step and Surface Piercing Hydrofoils, Master's Thesis, Massachusetts Institute of Technology, USA, 2014.
28. ITTC 1978, Performance Prediction Method.
<https://www.ittc.info/media/8017/75-02-03-014.pdf>. 15 Ocak 2021.
29. ITTC, High Speed Marine Vehicles Resistance Test.
<https://www.ittc.info/media/8063/75-02-05-01.pdf>. 15 Ocak 2021.
30. ITTC 2011, Practical Guidelines for Ship CFD Applications, 26.th The International Towing Tank Conference Specialist Committee on CFD in Marine Hydrodynamics.
<https://itc.info/media/1357/75-03-02-03.pdf>, 15 Şubat 2021.
31. ITTC 2014, Practical Guidelines for Ship CFD Applications, 27.th The International Towing Tank Conference Specialist Committee on CFD in Marine Hydrodynamics.
<https://itc.info/media/4196/75-03-02-03.pdf>, 15 Şubat 2021.
32. ITTC 2017, Recommended Procedures and Guidelines, 28.th The International Towing Tank Conference, Resistance Committee of 28th ITTC.
<https://www.ittc.info/media/8153/75-03-01-01.pdf>, 14 Mayıs 2021.
33. Linde, F., 3D modelling of ship resistance in restricted waterways and application to an inland eco-driving prototype, Mécanique Avancée, PhD Thesis, Université de Technologie de Compiègne, France, 2017.
34. Marshall, R., All About Powerboats: Understanding Design and Performance, International Marine/Ragged Mountain Press, 1st edition, USA, 2002.
35. Mete, C., Helikopter Rotor Performansının Sayısal Analizi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2007.

36. Savitsky, D., Hydrodynamic Design of Planing Hulls, Marine Technology and SNAME News, 1, 04 (1964) 71–95.
37. Saral, D., Yumrubaşın Balıkçı Gemilerinin Direncine Olan Etkisinin Sistematik Olarak İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2016.
38. Yousefi, R., Shafaghat, R. ve Shakeri, M., Hydrodynamic Analysis Techniques for high-speed planing hulls, Applied Ocean Research, 42, (2015) 105–113.
39. Ghadimi, P., Sasan, T. ve Dashtimanesh, A., A Mathematical Scheme for Calculation of Lift of Planing Crafts with Large Mean Wetted Length and a Comparative Study of Effective Parameters, Universal Journal of Fluid Mechanics, 2, (2014) 35-54.
40. Gökçe, M. K. ve Kınacı, Ö. K., Gemi mühendisliği problemlerinin sayısal çözümü için belirsizlik ve hata analizi, Gemi ve Deniz Teknolojisi Dergisi, 203, (2015) 119-125.
41. Slooff, J. W., The Aero-and Hydromechanics of Keel Yachts, Springer International Publishing, 124-131, Switzerland, 2015.
42. Yılmaz, T., Gemi Mühendisliği El Kitabı, TMMOB Gemi Mühendisleri Odası Yayınları, 4.1-4.9, 4.22-4.24, İstanbul, 2009.
43. Hoffman, K. A. ve Chiang, S., T., Computational Fluid Dynamics, Volume III, Engineering Education System, 1-7, 53-69, USA 2000.
44. Figueiredo, L. M., The Yacht of 2030, Yüksek Lisans Tezi, in Marine Technology, the Delft University of Technology, Hollanda, 2018.
45. WIPO, WO 2016/010423 A1, Vessel comprising an aft foil oriented to provide a forwardly directed component of lift force, World Intellectual Property Organization-International Bureau, Geneva, 2016.

ÖZGEÇMİŞ

Uğursal Demir lise öğrenimi Trabzon Fatih Lisesinde tamamladı. 2005 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Gemi İnşaatı Mühendisliği Bölümünü kazandı. 2009 yılında mezun oldu. 2010-2011 Eğitim ve Öğretim Bahar yarıyılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimine başladı. 2013-2014 Eğitim ve Öğretim Bahar yarıyılında yüksek lisans derecesini tamamladı. 2016 yılında yine aynı Anabilim Dalında Doktora eğitimine başladı. 2016 yılı Mart ayında Maltepe Üniversitesi Gemi ve Yat Tasarımı Bölümde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaya başladı. İleri seviyede İngilizce, Orta seviyede İspanyolca bilmektedir.