T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BB2 JOUBERT DENİZALTISININ KIÇ GEOMETRİSİNİN SEVK PERFORMANSINA ETKİLERİNİN SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ

Alpay ACAR

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Programı

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Yasemin ARIKAN ÖZDEN

Ocak, 2022

T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BB2 JOUBERT DENİZALTISININ KIÇ GEOMETRİSİNİN SEVK PERFORMANSINA ETKİLERİNİN SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ

Alpay ACAR tarafından hazırlanan tez çalışması 18.01.2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Anabilim Dalı, Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Dr. Öğr. Üyesi Yasemin ARIKAN ÖZDEN
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

Jüri Üyeleri

Dr. Öğr. Üyesi Yasemin ARIKAN ÖZDEN, Danışman
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Prof. Dr. Fahri ÇELİK, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Doç. Dr. Ömer Kemal KINACI, Üye
İstanbul Teknik Üniversitesi _____

Danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Yasemin ARIKAN ÖZDEN sorumluluğunda tarafımca hazırlanan BB2 Joubert Denizaltısının Kıç Geometrisinin Sevk Performansına Etkilerinin Sayısal Olarak İncelenmesi başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Alpay ACAR

İmza

Bu çalışma, herhangi bir çalışma projesi ile desteklenmemiştir.

Mavi Vatana

ve

biricik anneme

TEŞEKKÜR

Türkiye'de mühendislik çeşitli sebepler ile ilk dört sanayi devrimini kaçırmıştır. Günümüzde ise başta savunma sanayisindeki milli projeler olmak üzere birçok alanda dünyadaki rakiplerini yakalamış ve bazı alanlarda daha ileri bir noktaya ulaşmıştır.

Bunların başlıcaları MİLGEM ve MİLDEN projeleridir. Bu çalışma, yakın zamanda ülkemizde inşa edilmesi planlanan MİLDEN projesini desteklemek ve denizaltılar alanında yapılan akademik çalışmaları zenginleştirmek için gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmada tecrübesiyle maddi ve manevi desteğini esirgemeyen Dr. Öğr. Üyesi Yasemin ARIKAN ÖZDEN'e teşekkürü bir borç bilirim. Ayrıca akışkanlar mekaniğindeki bilgi ve paylaşımları için değerli mesai arkadaşlarım Dr. Öğr. Üyesi Ali DOĞRUL, Dr. Öğr. Üyesi Onur USTA, Ar.Gör.Dr. Mustafa TAŞKIN ve Burak EYİLER'e maddi ve manevi desteklerinden dolayı teşekkür ederim. Son olarak kız arkadaşım Zehra Koç'a manevi destekleri için teşekkür ederim.

Ayrıca her zaman bana büyüklük yapan, bana gemi mühendisliğini ve tersaneyi öğreten eski müdürüm Ahmet ÜNVER'e teşekkür ederim.

Bu çalışma sürecinde kıç konik açısının BB2 geometrisi üzerindeki değişiminin nasıl olması gerektiği ile ilgili yol gösteren Dr. Münir Cansın Özden'e ve geometrinin modelenmesinde yardımlarını esirgemeyen değerli meslektaşım Azmi AK'a teşekkür ederim.

Alpay ACAR

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ ix

KISALTMA LİSTESİ xiv

ŞEKİL LİSTESİ xv

TABLO LİSTESİ xvii

ÖZET xviii

ABSTRACT xx

1 GİRİŞ 1

1.1 Literatür Özeti 2
1.2 Tezin Amacı 5
1.3 Hipotez 5
2 DENİZALTILARDA TEKNE FORMU VE PERVANE ETKİLEŞİMİ 7

2.1 Denizaltı Tekne Formu Pervane Etkileşimi 7
2.2 İz Katsayısı 7
2.3 İtme Azalması Katsayısı 7
2.4 Tekne Verimi 8
2.5 Bağıl Dönme Verimi 8
2.6 Sevk Verimi 8
3 DENİZALTILARDA PERFORMANS ANALİZ YÖNTEMLERİ 10

3.1 Performans Analiz Yöntemi 10
3.1.1 Model-Gerçek Direnç Analizi 10
3.1.2 Form Faktörü Değerinin Tahmini 12
3.1.3 Pervane Açık Su Analizi 13
3.1.4 Sevk Analizi 15
4 SAYISAL YÖNTEMLER 23

4.1 Kullanılan Sayısal Yöntemler 23
4.2 Sonlu Hacimler Yöntemi 23
4.2.1 Kütlenin Korunumu Kabulü 24

4.2.2 Momentumun Korunumu Kabulü 24

4.3 RANS Yöntemi 24

4.4 Kullanılan Çözücü Yöntemi 25

4.5 Kullanılan Çözüm Ayrıklaştırması Yöntemi 25

4.6 Çözüm Ağı Oluşturma Yöntemi 26

5 GEOMETRİLER 27

5.1 S7371R Pervane Geometrisi 28

5.2 BB2 Joubert Denizaltı Geometrisi 28

5.3 S7371R Pervaneli BB2 Joubert Denizaltı Geometrisi 30

5.4 Farklı Kıç Koniklik Açılı S7371R Pervaneli BB2 Joubert Denizaltı Geometrileri 30

6 S7371R PERVANE VE BB2 JOUBERT DENİZALTI GEOMETRİLERİNİN HESAPLAMALI AKIŞKANLAR DİNAMİĞİ İLE ÇÖZÜMÜ 36

6.1 Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Çözüm Yöntemi 36

6.2 S7371 Pervanesinin Açık Su Karakteristik Değerleri Analizlerinin Yapılması 37

6.2.1 Çözüm Yöntemi 37

6.2.2 Çözüm Sonuçları 40

6.3 BB2 Joubert Denizaltısının Direnç Analizlerinin Yapılması 41

6.3.1 Çözüm Yöntemi 41

6.3.2 Çözüm Sonuçları 45

6.4 S7371 Pervaneli BB2 Joubert Denizaltısının Sevk Analizlerinin Yapılması 46

6.4.1 Çözüm Yöntemi 46

6.4.2 Çözüm Sonuçları 48

6.5 Farklı Kıç Koniklik Açılı BB2 Joubert Denizaltı Geometrisinin Direnç Analizlerinin Yapılması 55

6.5.1 Çözüm Yöntemi 55

6.5.2 Çözüm Sonuçları 55

6.6 Farklı Kıç Koniklik Açılı BB2 Joubert Denizaltı Geometrisinin Idling Durumundaki Direnç Analizi 56

6.6.1 Çözüm Yöntemi 56

6.6.2 Çözüm Sonuçları 57

6.7 Farklı Kıç Koniklik Açılı BB2 Joubert Denizaltı Geometrisinin Sevk Analizlerinin Yapılması 57

6.7.1 Çözüm Yöntemi 57

6.7.2 Çözüm Sonuçları 57

7 SONUÇ VE ÖNERİLER 62

KAYNAKÇA 66

TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR 70

SİMGE LİSTESİ

a	Dirençteki artış
B	Genişlik
c	Pervane Kanadının Kord Uzunluğu
C_a	Düzeltme Katsayısı
C_{aa}	Pürüzlülük Katsayısı
C_b	Blok Katsayısı
C_{DM}	Model Ölçek Pervane Direnç Katsayısı
C_{DS}	Gerçek Ölçek Pervane Direnç Katsayısı
ΔC_D	Direnç Katsayısındaki Değişim
ΔC_F	Pürüzlülük Katsayısı
C_f	Yüzey Sürtünme Katsayısı
C_{FM}	Model Ölçek Sürtünme Direnci Katsayısı
C_{FS}	Gerçek Ölçek Sürtünme Direnci Katsayısı
C_R	Artık Direnç Katsayısı
C_{RM}	Model Ölçek Artık Direnç Katsayısı
C_{RS}	Gerçek Ölçek Artık Direnç Katsayısı
C_{TM}	Model Ölçek Toplam Direnç Katsayısı
C_{TS}	Gerçek Ölçek Toplam Direnç Katsayısı
C_{WM}	Model Ölçek Dalga Direnç Katsayısı
D	Pervane Çapı
D_M	Model Ölçek Pervane Çapı
D_S	Gerçek Ölçek Pervane Çapı
$D_{Submarine}$	Derinlik
D_{Sail}	Derinlik (Yelken Dahil)
F	Çekme kuvveti
F_D	Sürtünme Kuvveti Düzeltme Katsayısı
Fr	Froude Sayısı
$F_{T=0}$	Pervane Çalışmazken Ölçülen Direnç

g	Yerçekimi
H/D	Göbek Çap Oranı
J_M	Model Ölçek Pervane İlerleme Katsayısı
J_O	Açıksu Pervane İlerleme Katsayısı
J_S	Gerçek Ölçek Pervane İlerleme Katsayısı
k_M	Modeli Ölçek Form Faktörü
k_S	Tam Ölçek Form Faktörü
k_{Sf}	Yüzey Pürüzlülük Katsayısı
k_p	Kanat Pürüzlülüğü
K_T	Pervane İtme Katsayısı
K_{TM}	Model Ölçek Gemi Arkası Pervane İtme Katsayısı
K_{TO}	Açıksu Pervane İtme Katsayısı
K_{TP}	Gemi Arkası Pervane İtme Katsayısı
K_{TS}	Gerçek Ölçek Gemi Arkası Pervane İtme Katsayısı
ΔK_T	Gerçek-Model Ölçek Geçiş Pervane İtme Katsayısı Düzeltmesi
K_{QM}	Model Ölçek Gemi Arkası Pervane Tork Katsayısı
K_{QO}	Açıksu Pervane Tork Katsayısı
K_{QP}	Gemi Arkası Açıksu Pervane Tork Katsayısı
K_{QS}	Gerçek Ölçek Gemi Arkası Pervane Tork Katsayısı
ΔK_Q	Gerçek-Model Ölçek Geçiş Pervane Tork Katsayısı Düzeltmesi
L	Boy
L_M	Model Ölçek Boyu
L_S	Gerçek Ölçek Boyu
n_M	Model Ölçek Pervane Devri
N_P	Pervane Sayısı
n_S	Gerçek Ölçek Pervane Devri

P_D	Pervaneye Verilen Güç
P_E	Efektif Güç
P_T	İtme Güçü
P/D	Pervane Hatve Çapının Pervane Kanadına Oranı
Q_M	Model Ölçek Pervane Torku
Q_S	Gerçek Ölçek Pervane Torku
Re_{co}	Bölgesel Reynolds Sayısı
Re_M	Model Ölçek Reynolds Sayısı
Re_S	Gerçek Ölçek Reynolds Sayısı
R_{TM}	Model Ölçek Toplam Direnci
R_{TS}	Gerçek Ölçek Toplam Direnci
S	Islak Yüzey Alanı
S_M	Model Ölçek Islak Yüzey Alanı
S_S	Gerçek Ölçek Islak Yüzey Alanı
t	İtme Azalması
t*	Değişken Yüklü Sevk Deneyi Yöntemine Göre İtme Azalması
t**	Zaman
t_k	Pervane Kanat Kalınlığı
T	Pervane İtmesi
T*	Kendi Kendini İtme Noktasındaki Pervane İtmesi
T_M	Model Pervane İtmesi
T^*_M	Model Ölçek Gemi Arkası Pervane İtmesi
T_S	Gerçek Ölçek Gemi Arkası Pervane İtmesi
u	Akışkan Hız Terimi
u_τ	Sürtünme Hızı Terimi
u^+	Boyutsuz Hız Terimi

V	Gemi Hızı (gemiye gelen akışan hızı)
V_A	Pervane İlerleme Hızı
V_M	Model Ölçek Hızı
V_S	Gerçek Ölçek Hızı
w	İz Katsayısı (Taylor İz Katsayısı)
w_{TM}	Model Ölçek İz Katsayısı (Taylor İz Katsayısı)
w_{TS}	Gerçek Ölçek İz Katsayısı (Taylor İz Katsayısı)
y	Sınır Tabadaki Mesafe
y^+	Sınır Tabakadaki Boyutsuz Mesafe
Z	Pervane Kanat Sayısı
λ	Ölçek
∇	Deplasman Hacmi
η_B	Gemi Arkasındaki Pervane Verimi
η_D	Sevk Verimi
η_H	Tekne Verimi
η_o	Pervane Açık Su Verimi
η_P	Gerçek Ölçek Pervane Verimi
η_R	Bağıl Dönme Verimi
ρ_M	Model Ölçek Su Yoğunluğu
ρ_S	Gerçek Ölçek Su Yoğunluğu
$\mathcal{V}$	Kinematik Viskoziteyi
$\partial\rho$	Diferansiyel Yoğunluk Terimi
∇P	Diferansiyel Basınç Terimi
∂t	Diferansiyel Zaman Terimi
∇V	Diferansiyel Hız Terimi
ρg_{xyz}	Kütle Terimi

$\nabla(\mu\nabla V)$	Viskoz Terimi
$\nabla(\rho VV)$	Hareket Terimi
$\rho u_i u_j$	Reynold Gerilme Terimi
τ_ω	Teğetsel Gerilme Terimi
κ	Karman Sabiti

KISALTMA LİSTESİ

DARPA	Defence Advanced Research Projects Agency
DES	Detached-Eddy Simulation
DDES	Delayed Detached-Eddy Simulation
DNS	Direct Numerical Simulation
DSTO	Defence Science and Technology Organisation Australia
DTC	Duisburg Test Case Containership
HAD	Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği
INSEAN	İtalyan Ship Model Basin
IB	İmmersed Boundary
ITU	İstanbul Teknik Üniversitesi
ITTC	International Towing Tank CoConference
KCS	KRISO Container Ship
LES	Large Eddy Simulation
MARIN	Maritime Research Institute Netherlands
MİLDEN	Milli Denizaltı
MİLGEM	Milli Gemi
MRF	Moving Reference Frame
PRESTO	Pressure Staggering Option
QUICK	Quadratic Upwind Interpolation Scheme
RANS	Reynolds Averaged Navier-Stokes
RPM	Revolution Per Minute
SIMPLE	Semi-Implicit Method for Pressure Linked Equations
SST	Shear Stress Transport

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 3.1 Açık su pervane eğrisi [37] 15
Şekil 3.2 Kendi kendini itme noktasının belirlenmesi [24] 16
Şekil 3.3 Gerçek ölçeğin kendi kendini itme noktası kesişimi (ITTC 1978) 18
Şekil 3.4 Dalmış durumdaki denizaltıya etkiyen kuvvetler.....19
Şekil 3.5 Çekme kuvveti-İtme kuvveti [37] 20
Şekil 3.6 Gerçek ölçeğin kendi kendini itme noktası kesişimi (load varying) 22
Şekil 5.1 MARIN S7371R model pervanesi 28
Şekil 5.2 BB2 Joubert denizaltı formu 29
Şekil 5.3 S7371R Pervaneli BB2 Joubert denizaltı formu 30
Şekil 5.4 Kıç koniklik açısı tanımı [2].....31
Şekil 5.5 Kıç koniklik açısı tanımı [2].....31
Şekil 5.6 Denizaltı kıç koniklik açısı değişimi [3] 32
Şekil 5.7 BB2 Joubert denizaltısının kıç koniklik açısı.....32
Şekil 5.8 BB2 Joubert denizaltısının +5° arttırılmış kıç koniklik açısı 33
Şekil 5.9 BB2 Joubert denizaltısının +2.5° arttırılmış kıç koniklik açısı 33
Şekil 5.10 BB2 Joubert denizaltısının -2.5° azaltılmış kıç koniklik açısı 34
Şekil 5.11 BB2 Joubert denizaltısının -5° azaltılmış kıç koniklik açısı 34
Şekil 5.12 BB2 Joubert denizaltısının farklı kıç koniklik açılı durumları.....35
Şekil 6.1 S7371R pervanesi çözüm hacmi ve sınır koşulları 38
Şekil 6.2 S7371R pervane yüzeyi seyrek yoğunluk çözüm ağı.....39
Şekil 6.3 S7371 pervanesi kanat yüzeyi seyrek yoğunluk çözüm ağı 39
Şekil 6.4 S7371R pervanesi açıksu değeri ve sık çözüm ağı çözüm değerleri.....40
Şekil 6.5 BB2 denizaltı modeli çözüm hacmi sınır tanımları.....42
Şekil 6.6 BB2 denizaltı modeli baş taraf orta yoğunluk çözüm ağı 42
Şekil 6.7 BB2 denizaltı modeli yelken tarafı orta yoğunluk çözüm ağı.....43
Şekil 6.8 BB2 denizaltı modeli yelken yani kanat tarafı orta yoğunluk çözüm ağı ..43
Şekil 6.9 BB2 denizaltı modeli kıç dümen tarafı orta yoğunluk çözüm ağı.....44
Şekil 6.10 BB2 denizaltı modeli kıç taraf orta yoğunluk çözüm ağı.....44
Şekil 6.11 BB2 denizaltı modeli yüzeyinde hız değerleri 45
Şekil 6.12 BB2 Joubert denizaltısının farklı hızlarda direnç değerleri ve karşılaştırılması.....46

Şekil 6.13 Pervaneli denizaltı modeli çözüm hacmi sınır tanımları 47
Şekil 6.14 Pervane çevresi küçük hacim ağ görünümü 48
Şekil 6.15 Sevk noktasının belirlenmesi.....49
Şekil 6.16 Gerçek ölçek BB2 Joubert denizaltsının kendi kendini itme noktası.....49
Şekil 6.17 20° açısındaki pervaneli denizaltının çekme itme kuvveti eğrisi 51
Şekil 6.18 Gerçek ölçek BB2 Joubert denizaltsının kendi kendini itme noktası.....52
Şekil 6.19 Sevk noktasındaki itme değerinin litertür ile karşılaştırılması 53
Şekil 6.20 Sevk noktasındaki pervane itme katsayısının litertür ile karşılaştırılması 53
Şekil 6.21 Sevk noktasındaki pervane tork katsayısının litertür ile karşılaştırılması 54
Şekil 6.22 Sevk noktasındaki itme azalması değerinin litertür ile karşılaştırılması ..54
Şekil 6.23 Sevk noktasındaki pervane tork katsayısının litertür ile karşılaştırılması 55
Şekil 6.24 BB2 denizaltı modeli farklı kıç koniklik açılı direnç değerler eğrisi 56
Şekil 6.25 Farklı kıç koniklik açısında itme değerlerinin iki yöntemle karşılaştırılması 58
Şekil 6.26 Farklı kıç koniklik açısında pervane itme katsayılarının iki yöntemle karşılaştırılması 58
Şekil 6.27 Farklı kıç koniklik açısında pervane tork katsayılarının iki yöntemle karşılaştırılması 59
Şekil 6.28 Farklı kıç koniklik açısında itme azalması değerlerinin iki yöntemle karşılaştırılması 59
Şekil 6.29 Farklı kıç koniklik açısında devir sayılarının iki yöntemle karşılaştırılması 60
Şekil 6. 30 Farklı kıç koniklik açılarında bağıl dönme verimi karşılaştırılması.....60
Şekil 6. 31 Farklı kıç koniklik açılarında sevk verimi karşılaştırılması 61
Şekil 6. 32 Farklı kıç koniklik açılarında tekne verimi karşılaştırılması.....61
Şekil 7.1 Literatür farklı kıç koniklik açısı taylor iz katsayısı karşılaştırılması[5] ...64
Şekil 7.2 Literatür farklı kıç koniklik açısı itme azalması katsayısı karşılaştırılması[5] 65
Şekil 7.3 Literatür farklı kıç koniklik açısı tekne verimi karşılaştırılması[5] 66

TABLO LİSTESİ

Tablo 5.1 S7371R pervanesi ana boyutları 28
Tablo 5.2 BB2 Joubert denizaltısı ana boyutları 29
Tablo 5.2 BB2 Joubert denizaltısı ana boyutları (devamı) 29
Tablo 6.1 Çözümde kullanılan şemalar ve türbülans sınır şartları.....37
Tablo 6.2 S7371R pervanesi ağ yoğunlukları ve çalışma koşulları 38
Tablo 6.3 S7371R pervanesi farklı yoğunlukta çözüm değerleri.....40
Tablo 6.4 S7371R pervanesi analiz sonuçları hata oranları [42] 41
Tablo 6.5 BB2 Denizaltı modeli direnç analizi çözüm ağı bağımsızlaştırması 45
Tablo 6.6 Sevk noktası belirlemek için yapılan analiz sonuçları (ITTC 1978 için) .48
Tablo 6.7 ITTC 1978'e göre literatür değerlerinin karşılaştırılması [28].....50
Tablo 6.8 Sevk noktası belirlemek için yapılan analiz sonuçları (Load varying için) 50
Tablo 6.9 Load Varying'e göre literatür değerlerinin karşılaştırılması [28] 52
Tablo 6.10 BB2 Denizaltı modeli farklı kıç koniklik açılı direnç analizi 55
Tablo 6.11 BB2 Joubert denizaltısı idling durumu direnç değerleri 57

ÖZET

BB2 Joubert Denizaltısının Kıç Geometrisinin Sevk Performansına Etkilerinin Sayısal Olarak İncelenmesi

Alpay ACAR

Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Yasemin ARIKAN ÖZDEN

Denizaltıların sevk performansı ile ilgili açık literatürü oluşturan araştırmacılar, denizaltıların efektif iz katsayısı ve itme azalması değerlerinin kıç koniklik açısına göre değişiklik gösterdiği konusunda hem fikir olmakla beraber sevk veriminin ne yönde artış gösterdiği konusunda çelişmektedir. Bu durumun incelenmesi amacıyla, DARPA Suboff jenerik denizaltı formu ile çalışmalar yapılmıştır ancak bu geometrinin içbükey yapısından dolayı koniklik açısının etkisiyle ilgili kesin bir sonuca varılamamıştır. Bu nedenle daha gerçekçi bir denizaltı formu olan BB2 Joubert jenerik denizaltı modelinde de bu incelemenin tekrarlanmasına karar verilmiştir. Bu tezde geometrisi MARIN tarafından paylaşılan BB2 Joubert denizaltısının sabit deplasmanda kıç koniklik açıları değiştirilerek 4 adet yeni geometri türetilmiş ve yeni geometrilerin sevk performansları incelenmiştir.

ITTC 1978 Performans Tahmin Yöntemi ve Sadece Değişken Yüklemeli Sevk Deneyi Yöntemi olmak üzere iki ayrı yöntem kullanılarak model ölçeğindeki hesaplardan gerçek ölçeğe geçilmiştir. Literatür ile karşılaştırarak doğrulama çalışması gerçekleştirilmiştir. İlk yöntemde denizaltının ve pervanenin ayrı ayrı performanslarının tahmin edilmesi gerektiğinden; pervane açık su analizleri, direnç analizleri ve sevk analizleri gerçekleştirilmiştir. İkinci yöntem olarak özellikle pervane gövde etkileşiminin yoğun

olduğu denizaltı gibi araçlar için kullanımı önerilen Sadece Değişken Yüklemeli Sevk Deneyi Yöntemi kullanılmıştır. Bu ikinci yöntemde denizaltı modeli pervane ile birlikte kullanılarak analizler gerçekleştirildiğinden direnç ve pervane açık su verilerine ihtiyaç kalmamaktadır. Pervaneli denizaltı, sabit hızda farklı pervane yüklemelerinde çalıştırılmıştır. Aynı zamanda pervanenin boşta döndüğü ve sıfır itme ürettiği durum da incelenmiştir. İlk yöntem ile deney sonuçlarına göre pervane itmesi %3.8 hata oranı, devir sayısı %3.5 hata oranı ile elde edilirken ikinci yöntemle pervane itmesi %5.0 hata oranı ve devir sayısı %4.1 hata oranı ile elde edilmiştir.

Sevk analizlerinden kıç koniklik açısı arttıça Taylor iz katsayısının ve itme azalmasının arttığı tespit edilmiştir. Sevk veriminin kıç koniklik açısına bağlı olarak çok belirgin bir şekilde değişmediği görülmüştür. Tekne veriminin kıç koniklik açısı arttıkça arttığı ve trend olarak Burchil&Rydill'de sunulan değerlerle daha uyumlu olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Denizaltı, direnç, sevk, kendi kendini itme noktası, kıç koniklik açısı

ABSTRACT

Numerical Investigation of Tail Cone Geometry on The Propulsive Performance of The BB2 Joubert Submarine

Alpay ACAR

Department of Naval Architecture and Marine Engineering

Master of Degree Thesis

Supervisor: Dr.Yasemin Arıkan ÖZDEN

Researchers, who study the propulsion performance of submarines, agree that the effective wake coefficient and thrust deduction values of submarines vary according to the tail cone angle, but they disagree about how the propulsion efficiency increases. In order to evaluate this, studies were carried out with the DARPA Suboff generic submarine form, but due to the concave structure of this geometry, exact conclusion could not be reached. For this reason, it was decided to repeat this investigation using a more realistic submarine form; BB2 Joubert generic submarine. In this thesis, 4 geometries were derived by designing tail cone angles at constant displacement of BB2 Joubert submarine, whose geometry was shared by MARIN. Propulsion performances of new geometries were investigated.

By using two different methods, ITTC 1978 Performance Prediction Method and LoadVarying Propulsion Test Method Alone, the model scale was extrapolated to full scale. A validation study was carried out by comparing it with the literatüre. Since in the first method the performances of the submarine and the propeller has to be estimated separately; analyzes of propeller open water, resistance, and propulsion were carried out. The second method, LoadVarying Propulsion Test Method Alone is especially recommended to be used for cases where propeller-body interaction is intense. In this

second method, since the analysis is carried out only by the propelled submarine model, resistance and propeller open water data are not required. Submarine with propeller was operated at constant speed for different propeller loads. The idling propeller condition is also studied. With the first method, according to experimental results the propeller thrust was obtained with 3.8% error and propeller speed with 3.5% error, while with the second method, the propeller thrust was obtained with 5.0% error and propeller speed with 4.1% error.

From the propulsion analysis, it was determined that Taylor wake coefficient and the thrust deduction increases while the tail cone angle increased. It is observed that the propulsive efficiency is not very sensible to the tail cone angle but the hull efficiency increases with the increase of the tail cone angle and the results are nearer to the ones presented by Burchill&Rydill.

Keywords: Submarine, resistance, propulsion, self propulsion point, tail cone angle

1
GİRİŞ

Dairesel kesitli denizaltıların iz katsayısı, itme azalması ve sevk verimlerinin denizaltının kıç koniklik açısına bağlı olarak ifade edildiği görülmektedir. Açık literatüre sunulmuş, kaynaklardan iz ve itme azalmasının kıç koniklik açısına, pervane çapının maksimum gövde çapına ve gövde boyunun genişliğe oranı şeklinde parametrelere bağlı olarak tanımlandığı görülmektedir. Burcher ve Rydill, "Concepts in Submarine Design" adlı kitabında tekne verimini, kıç koniklik açısı ile pervane çapının gövde çapına oranı şeklinde ifade etmiştir. Kıç koniklik açısı arttıkça tekne veriminin lineer olarak arttığını göstermişlerdir [1]. Kormilitzin ve Khalizev ise "Theory of Submarine Design" kitabında tekne verimini gövde uzunluğunun gövde genişliğine oranının kıç konikliğe bağlı olarak değişimini göstermişlerdir. Bu kaynakta ise tekne veriminin kıç koniklik açısı arttıkça azaldığı gösterilmiştir [2]. Lee vd.'nin kıç koniklikle ilgili yaptıkları çalışmada kıç koniklik açısı arttıkça tekne veriminin arttığı ve 45 derece civarında maksimum olduğu gözlemlenmiştir [3]. MARIN tarafından 2005 yılında DARPA Suboff denizaltısı ile kıç koniklik açısının incelendiği bir çalışma ise açık literatüre sunulmamıştır [4]. 2017'de A. Özden tarafından yapılan doktora tezinde E1619 pervanesi ile sevk edilen DARPA Suboff denizaltısı farklı kıç koniklik açıları yönünden incelenmiş ve tekne verimi yönünden optimum bir kıç koniklik açısından söz edilebileceği, kıç koniklik açısı arttıkça itme azalması ve iz katsayısının değerinin azaldığı gösterilmiştir. Ancak DARPA Suboff denizaltısının kıç formunun iç bükey yapısından dolayı daha gerçekçi bir denizaltı formu üzerinde çalışmanın tekrarlanması tavsiye edilmiştir[5].

Denizaltılara ait form, pervane geometrileri ve performans değerleri genellikle askeri gizli bilgiler olduğundan denizaltılar alanında yapılacak akademik çalışmaların doğrulanabilmesi amacı ile Amerika Birleşik Devletleri'nde DARPA (Defence Advanced Research Projects Agency), DARPA Suboff projesini başlatmıştır. Proje kapsamında farklı konfigürasyonlarda jenerik denizaltı formları oluşturulmuş ve bu formların direnç ve manevra değerleri deneysel yöntemlerle elde edilerek açık literatüre sunulmuştur [6–

10]. Günümüzde birçok araştırmacı bu formları kullanarak denizaltılar alanında sayısal ve deneysel çalışmalarını doğrulayabilmektedir.

Denizaltı doğrulama çalışmalarında kullanılan daha birçok form bulunmaktadır. Son yıllarda akademik çalışmalarda özellikle BB2 Joubert denizaltı modelinin kullanımının yaygınlaştığı görülmektedir. Joubert denizaltısı ilk olarak Avustralya Savunma Bilimleri ve Teknolojileri Organizasyonu'nun (DSTO) sponsorluğunda Joubert'in gerçekleştirdiği çalışmalar ile geliştirilmiştir [11], [12]. DSTO, bu geometrinin ölçekli bir modeliyle [12] birçok rüzgar tüneli deneyi yapmış ve daha sonra ortak bir uluslararası uygulamada [13] denizaltı "BB1" adı altında kullanılmıştır. Geometriyi daha gerçekçi hale getirmek ve stabiliteyi arttırmak için MARIN (Maritime Research Institute Netherlands) tarafından yelken ve kuyruk düzlemlerinde değişiklikler yapılmış ve revize edilen geometri "BB2" olarak adlandırılmıştır [14]. BB2 geometrisi, MARIN tarafından 3 boyutlu geometri olarak kullanıma sunulmaktadır. [4], [11–15].

1.1 Literatür Özeti

Hesaplamalı akışkanlar dinamiği yöntemleri kullanılarak DARPA Suboff denizaltı formu ile yapılmış birçok çalışma bulunmaktadır. Sevk performansına yönelik çalışmalarda denizaltı modeli genellikle INSEAN [Italian Ship Model Basin] tarafından tasarlanan E1619 pervanesi [16] ile birlikte kullanılmıştır. Alin vd. [17] 2010'da doğrusal hareketteki DARPA Suboff denizaltısının etrafındaki akımı DES ve LES yöntemleri ile incelemişler ve yine 2010'da denizaltı-pervane etkileşimini LES yöntemine dayanan bir hesap metodolojisi ile hesaplamışlardır [18]. Liefvendahl&Troeng [19] denizaltı pervanesindeki çevrimsel pervane yükünü LES yöntemi ile incelemişlerdir. Daha sonra 2012'de Chase ve Carrica E1619 pervanesi ile sevk edilen DARPA Suboff jenerik modelini farklı çözüm ağı yoğunluklarında HAD Ship-Iowa V4.5 ile analizlerini gerçekleştirmişlerdir [20]. Çalışmalarında pervane açık su karakteristiklerini farklı ağ yoğunluklarında ve ilerleme sayılarında elde etmişler ve daha önce INSEAN tarafından sunulan deney sonuçları ile karşılaştırmışlardır. Ağ yoğunluğunun itme ve tork üzerindeki etkisinin zayıf ancak pervane gerisi iz üzerinde etkili olduğunu göstermişlerdir. Daha sonra tek bir ilerleme sayısında da RANS, DES, DDES ve türbülans modeli kullanmadan pervane açık su karakteristiklerini incelemişlerdir. RANS'ın izi dağıttığını ve türbülans modeli kullanmamanın ise pervane uçlarındaki girdapları fiziksel olarak kararsız bir hale

soktuğunu göstermişlerdir. Daha sonra pervaneli denizaltının sevk analizlerini gerçekleştirip sevk noktasını sunmuşlardır. Özden vd. [21] E1619 ile sevk edilen DARPA Suboff denizaltısının sevk noktasında ayrıklaştırılmış pervane ve nominal iz gerisinde tanımlanmış pervane olmak üzere iki durumda pervane kaynaklı gürültü tahminini gerçekleştirmişlerdir. Sezen vd. çalışmalarında E1619 pervaneli DARPA Suboff denizaltısının farklı hızlardaki sevk noktalarını aktüatör disk ve ayrıklaştırılmış pervane olmak üzere iki farklı yöntem ile hesaplamışlardır [22]. Kınacı vd. çalışmalarında DARPA Suboff, denizaltısı ile KCS ve DTC gemilerinin sevk analizlerini gerçekleştirmişlerdir [23]. E1619 pervanesi ile sevk edilen DARPA Suboff denizaltısına ait bir sevk deneyi sonucu bulunmadığından sayısal olarak elde edilen sonuçların deneysel veriler ile karşılaştırılması mümkün olmamıştır. Özden vd. E1619 pervanesi ile sevk edilen DARPA Suboff denizaltısına ait sevk noktasını İTÜ Ata Nutku Model Deneyi Laboratuvarı'nda gerçekleştirdikleri deneyler ile belirleyerek açık literatüre sunmuşlardır[24]. Milanov ve Efremov [25] DARPA Suboff denizaltısını, serbest yüzeyden üç farklı derinlikte hidrodinamik durumunu deneysel ve sayısal olarak incelemişlerdir. Doğrul vd. [26], E1619 pervaneli DARPA Suboff denizaltısının kendi kendini itme noktasının tahmini için actuator disk metodunu denemişlerdir. Çalışmada bu metodun deney ile gayet uyumlu olduğu görülmüştür. Posa ve Balaras [27], E1619 pervaneli ve pervanesiz DARPA Suboff denizaltısını LES yöntemi ile IB metodunu kullanarak analiz etmişlerdir. Bu çalışmada pervanenin kıç bölgede oluşturduğu akış etkileri incelenmiştir.

Denizaltı sevk performansı ve manevrası hesapları için yaygın bir şekilde kullanılan bir diğer jenerik form ise Joubert denizaltı formudur. BB2 Joubert denizaltısının sevk noktasını ve manevra karakteristiklerini Carrica vd. [28] çalışmalarında deneysel olarak ve üç farklı sayısal kod ile çözmüşlerdir. Takip modlu deney sistemi ile MARIN'de gerçekleştirilen deneyler satıha yakın ve dalmış durumda sevk deneylerini, dönme dairesi, zig zag manevra deneylerini, satıha çıkma ve crashback deneylerini kapsamaktadır. Sayısal çözümlerde kullanılan kodlar ReFRESCO, ReFRESCO/PROCAL ve REX paket yazılımlarıdır. RANS denklemleri ReFRESCO'da sıkıştırılamaz akışkan kabulü ile sonlu hacimler yöntemi ile ReFRESCO/PROCAL'da viskozitesiz akışkan kabulü ile aktuatör disk yaklaşımı ve sınır elemanlar yöntemi ile çözülmektedir. REX ise k- ε, k - ω türbülans modelleri ile hibrit RANS/LES modellerini DES, DDES formunda çözmektedir.

Deneylerden elde ettikleri verileri sayısal yöntemler kullanarak elde ettikleri sonuçlar ile karşılaştırmışlardır. Sevk karakteristikleri için sonuçları %5 sapma ile tahmin edebilmişlerdir. Carrica vd. [29] bir başka çalışmada BB2 denizaltısının satıha yakın seyir durumunda sakin ve dalgalı suda sevk noktasındaki performansını analiz etmişlerdir. Bu çalışmalarında, satıha yakın seyir durumunda form üzerine etki eden dalıp çıkma kuvveti ve baş kıç vurma moment değerleri -6.9m ile 40m dalış derinliklerinde, deniz durumu 2 ile 7 arasında incelenmiştir. Satıha yakın seyir durumunda dalıp çıkma ve baş kıç vurma momentlerinde belirgin artışlar görülmüş ve pervanenin ihtiyaç duyduğu itme kuvvetinin artarak sevk veriminin düştüğü tespit edilmiştir. Cho vd. [30] çalışmasında çapraz ve artı şeklindeki dümenin DARPA Suboff ve BB2 joubert denizaltılarının manevra kabiliyetini incelemişlerdir. BB2 Joubert denizaltısının artı şeklindeki dümeninin manevra kabiliyeti açışından iyi olduğu görülmüştür. Bu çalışmada BB2 Joubert denizaltısı için pervane açık su, direnç, kendi kendini itme noktası, statik drift, yatay ve dikey eksen hareket değerleri de elde edilmiştir. Kim vd. [31] BB2 Joubert denizaltısının kendi kendini itme noktasının akışkanlar mekaniği analizini, aktuatör disk yöntemi ile gerçekleştirmişlerdir. Elde ettikleri bu özellikleri kullanarak manevra analizlerini gerçekleştirip deney değerini doğrulamışlardır. Aydoğdu vd.[32] BB2 denizaltı formunu model ölçeğinde, farklı hız değerlerinde RANS ile, altıgen ağ ile yapılandırılmış çözüm hacminde çözmüştür.

Skejic ve Greve [33] DARPA ve BB2 denizaltılarını periskop derinliğinde iken sakin ve düzenli dalgalı durumlarda direncini incelemişlerdir. Sakin suya kıyasla dalgalı durumda her iki denizaltı için de direncin arttığı görülmüştür. BB2 denizaltısının formu itibari ile DARPA Suboff denizaltısına göre her iki durumda da daha az direnç oluşturduğunu göstermişlerdir.

Denizaltı kıç koniklik açılarının incelendiği sayısal çalışmalara bakılacak olursa Lee vd. [3] 3000 ton sınıfı denizaltını üç farklı kıç koniklik açısında dizayn etmiş ve iki farklı pervane ile sevk analizlerini gerçekleştirmişlerdir. Buradan uygun verimdeki pervane ve denizaltı formlarının manevra ve testlerini yürütmüşlerdir. 35°, 40° ve 45° kıç koniklik açısında yürütülen analizlerde, 45°'nin sevk verimi için en uygun açı olduğu tespit edilmiştir. Yaklaşık 40° civarının ise direnç analizlerine uygun olduğu görülmüştür. Özden [5] doktora çalışmsında DARPA Suboff denizaltısının kıç koniklik açısının sevk verimi üzerine etkisini incelemiştir. 16°, 18°, 20° ve 22° kıç koniklik açılarında gerçekleştirdiği analizinde 18°-20° kıç koniklik açısının sevk ve tekne veriminin en

yüksek olduğunu tespit etmiştir. 18°-20° kıç koniklik açısı arasında direnç analizinin değişmediği, 16°'de ise en düşük değeri aldığını sunmuştur. Kıç koniklik açısının sevk verimi üzerine etkisi ile ilgili Burcher&Rydill ile Kormilitsin&Khalizev tarafından açık literatüre sunulan değerlerin, sayısal ya da deneyesel yöntemlerin hangisi ile ve hangi denizaltı formları için elde edildiğine dair bilgiler mevcut değildir[1], [2].

Bir geminin sevk performansının sayısal yöntemler ile güvenilir ve doğru bir şekilde tahmin edilmesi günümüzde hala üzerinde çalışmalar yapılan bir araştırma konusudur. Bu çalışmanın amacı BB2 Joubert denizaltı formunun model ölçeğinde hesaplamalı akışkanlar dinamiği analizlerini yaparak tam ölçek için sevk performansının tahminlerinin yapılması ve daha önce literatürde verilmiş olan deneysel ve sayısal veriler ile karşılaştırılmasıdır. Ayrıca denizaltı sevk değerleri farklı kıç koniklik açıların tekrarlanmış ve kıç koniklik açısının sevk verimi üzerine etkisi incelenmiştir.

1.2 Tezin Amacı

Denizaltılarda kıç koniklik açısının, sevk verimini etkilediği bilinmektedir. "BB2 Joubert Denizaltısının Kıç Geometrisinin Sevk Performansına Etkilerinin Sayısal Olarak İncelenmesi" isimli bu çalışmadaki amaç gerçekçi bir denizaltı formu olan BB2 Joubert denizatlısını farklı kıç koniklik açılarında sayısal olarak incelemek ve model ölçeğinde elde edilen bu sonuçları gerçek ölçeğe taşıyarak literatür ile karşılaştırmasını yapmaktır. Bu çalışmada beş farklı kıç koniklik açısındaki model ve gerçek ölçekteki BB2 Joubert denizaltı için aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- Pervanesiz denizaltı direnç değerleri
- İtme azalması değerleri
- Sevk verim değerleri

1.3 Hipotez

Gemi ve denizaltı veriminde en önemli etkenlerden birisi tekne formudur. Gemi ve denizaltı sevk analizinde bu verime etki eden kriterlerden biri de itme azalmasıdır. İtme azalmasını etkileyen etken ise kıç formudur. Bu amaçla denizaltı kıç form açısı çeşitli derecelerde değiştirilerek, denizaltı direnci ve itme azalmasına etkisi incelenmiştir.

Açık literatürde kıç koniklik açısı konusunda çeşitli verilere ulaşmak mümkündür. Ancak bu verilerin sunduğu çelişkili değerler bu çalışmanın jenerik bir denizaltı formu üzerinde

yapılması gerekliliğini ortaya çıkarmıştır. Daha önce matematiksel formüller ile ifade edilen DARPA Suboff model denizaltısı üzerinde gerçekleştirilen çalışmada denizaltının kıç formunun iç bükey yapısından dolayı çalışmanın daha gerçekçi bir denizaltı modeli olan BB2 Joubert denizaltısında da incelenmesine karar verilmiştir. Bu yüzden mevcut çalışmada kıç formu gerçek bir denizaltı formuna benzeyen, daha karışık bir model olan BB2 Joubert formu kullanılmıştır. Çalışmanın bu anlamda literatüre orjinal bir katkı sağladığı ve gelecek çalışmalar için kullanılabileceği değerlendirilmektedir. Literatürdeki DARPA üzerinde yapılan çalışma referans alınarak BB2 Joubert kıç formu değiştirilmiştir.

Çalışmada ilk başta tam ölçek sevk performansının tahmini için hem ITTC 1978 performans tahmin yöntemi hem de sadece değişken yüklemeli sevk yöntemi kullanılarak model ölçeğinden tam ölçeğe geçiş hesapları yapılmıştır. Daha sonra kıç koniklik açısı değiştirilmiş form üzerinde itme azalması, iz katsayısı ve sevk verimi incelenmiştir. Böylece literatüre sunulmuş çelişkili değerleri anlamaya yönelik BB2 Joubert modeli kullanılarak elde edilen değerler sunulmuştur. Bu açıdan çalışmanın literatüre birkaç farklı açıdan orjinal bir katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

2
DENİZALTILARDA TEKNE FORMU VE PERVANE ETKİLEŞİMİ

2.1 Denizaltı Tekne Formu Pervane Etkileşimi

Bir pervane açık suda çalışırken oluşturduğu itme değeri ile bir gemi ya da denizaltı formu arkasında oluşturduğu itme değerinin birbirinden farklı olduğu literatürdeki bir çok çalışmada görülmektedir. Bunun sebebi pervaneye gelen akış açısı, açık su durumunda sıfır iken, denizaltı ya da gemi gerisindeki pervanede ise kıç form açısına bağlı olarak sıfırdan farklı olmasıdır. Sonuç olarak pervane itme değeri gelen akışkan açısına göre etkilenmektedir. Gelen akış açısı ise gemi ya da denizaltının kıç koniklik açısına bağlı olarak değişmektedir. Bu durum gemi ya da denizaltının kıç form açısının sevk analizlerinde önemli olduğunu göstermektedir.

Pervanenin itme değerini etkileyen kıç koniklik açısı, itme azalma katsayısı ve sevk verimini etkilemektedir[1–3]. Bu ifadeler aşağıda yer alan başlıklarda açıklanmaktadır.

2.2 İz Katsayısı

Gemi çevresindeki akışkan hızı ile, pervane dairesi yüzeyindeki ortalama akışkan hızı arasındaki fark ile bir iz oluşur. Bu farka iz katsayısı denir.

İz katsayısı (w),

$$w = \frac{V - V_A}{V} \tag{2.1}$$

Bu denklemde gemi gövde hızını (V), pervanenin ilerleme hızını (V_A) ve iz katsayını (w) ifade eder.

2.3 İtme Azalması Katsayısı

Pervane, önündeki su kütlesini alıp arkasına atarak çalışan bir iticidir. Bu işlem sürecinde pervane önünde alçak basınç (emme basıncı) ve pervane gerisinde yüksek basınç meydana gelir. Pervane önünde meydana gelen bu alçak basınç, gerisindeki yüksek basıncı bir miktar indirir. Bu indirgenmeye itme azalması denir.

İtme azalması (t),

$$t = \frac{T - R_T}{T} \tag{2.2}$$

Bu denklemde, pervane itmesi (T), geminin toplam gövde direnci (R_T) ve itme azalması (t) ile ifade edilir.

2.4 Tekne Verimi

Tekne verimi, efektif gücün (pervane çalışmadan tekneyi çekmek için gücün), itme gücüne (pervanenin oluşturduğu itme gücüne) oranına denir. Aşağıdaki formülde daha detaylı ifade edilmiştir.

Tekne verimi (η_H),

$$\eta_H = \frac{P_E}{P_T} = \frac{R_T V}{T V_A} = \frac{1 - t}{1 - w} \tag{2.3}$$

Bu denklemde efektif gücü (P_E) ve itme gücü (P_T) ile ifade edilmiştir.

2.5 Bağıl Dönme Verimi

Pervaneye gelen akış açısı açıksu analizlerinde doğrudan gelirken, gemi arkasında iken kıç açısına göre bu akış açısı değişmektedir. Bu iki durumda pervane verim değerleri farklı olmaktadır. Gemi kıçına takılı pervane ve açıksu pervane verimleri oranına bağıl dönme verimi denir.

Bağıl dönme verimi (η_R),

$$\eta_R = \frac{\eta_B}{\eta_O} = \frac{K_{QO}}{K_{QP}} \frac{K_{TP}}{K_{T0}} \tag{2.4}$$

Bu denklemde gemi kıçına takılı pervane verimi (η_B), açıksu pervane verimi (η_o), açıksu pervane tork katsayısı (K_{QO}), açıksu pervane itme katsayısı (K_{T0}), gemi kıçına takılı pervane tork katsayısı (K_{QP}) ve gemi kıçına takılı pervane itme katsayısı (K_{TP}) ile ifade edilmiştir.

2.6 Sevk Verimi

Efektif gücün, pervaneye verilen güce oranına ise genel sevk verimi denir.

Sevk verimi (η_D),

$$\eta_D = \frac{P_E}{P_D} = \eta_H \eta_O \eta_R \tag{2.5}$$

Bu denklemde pervaneye verilen güç (P_D) ile ifade edilmiştir.

Pervaneye verilen güç (P_D),

$$P_D = Q_S \, 2\pi \, \eta_P \tag{2.6}$$

Burada gerçek ölçek pervane torku (Q_S) ve gerçek ölçek pervane verimi (η_P) ile ifade edilmiştir.

Bu bölümdeki tanımlar ve formüllerin yazımında ITTC kılavuzları[34] ve Volker Bertram'ın Pratical Ship Hydrodunamics [35] kitabından yararlanılmıştır.

3
DENİZALTILARDA PERFORMANS ANALİZ YÖNTEMLERİ

3.1 Performans Analiz Yöntemi

Bu bölümde gemi, denizaltı gibi deniz araçlarının, model ölçeğinde yapılan deney veya analizlerinden gerçek ölçekteki performanslarının belirlenmesinde kullanılan ITTC 1978 güç tahmin yöntemi açıklanmıştır. ITTC 1978 ile güç tahmini için model direnç analizi, pervane açık su analizi ve sevk analiz değerlerine ihtiyaç duyulmaktadır.

3.1.1 Model-Gerçek Direnç Analizi

Geometrik olarak belirli bir ölçekte küçültülen gemi ya da denizaltı formu, bir kontrol hacmi içine konumlandırılır. Bu kontrol hacmine belirli yönlerden akış gönderilir ve kontrol hacmi içindeki model form üzerinde hesaplamalı akışkanlar dinamiği ile direnç analizi elde edilir.

Modelin toplam direnç katsayısı (C_{TM}) olmak üzere aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$C_{TM} = \frac{R_{TM}}{\frac{1}{2}\rho_M S_M V_M^2} \tag{3.1}$$

Bu denklemde toplam model direncini (R_{TM}), su yoğunluğunu (ρ_M), ıslak yüzey alanını (S_M) ve model üzerine gönderilen akışkan hızını (V_M) ifade eder.

Artık direnç katsayısı (C_R),

$$C_{RM} = C_{TM} - C_{FM}(1 + k_M) \tag{3.2}$$

Bu denklemde modelin toplam direnç katsayısını (C_{TM}), modelin sürtünme direnci katsayısını (C_{FM}) form faktörü katsayısını (1+k) ifade eder.

Modelin sürtünme direnç katsayısı (C_{FM}),

$$C_{FM} = \frac{0.075}{(\log_{10} Re_M - 2)^2} \tag{3.3}$$

Bu denklemde modelin sürtünme direnç katsayısı (C_{FM}), Reynold sayısı (Re) ile ifade edilir.

Reynold sayısı (Re),

$$Re_M = \frac{V_M L_M}{\mathcal{V}}, \qquad Re_S = \frac{V_S L_S}{\mathcal{V}} \tag{3.4}$$

Bu denklemde gemi hızını (V), gemi boyunu (L), kinematik viskoziteyi ($\mathcal{V}$) ifade eder.

Modelden gerçek ölçek denizaltı formuna geçilirken ITTC 1978'e göre model artık direnci, gerçek ölçek direncine, aynı Froude sayılarında (denklem 3.5), eşit olduğu kabulü yapılır. Ayrıca aynı Froude sayılarında, model ve gerçek denizaltı form faktörünün de eşit olduğu kabulü yapılarak modelden gerçek denizaltı için direnç hesaplanır.

$$C_{RM} = C_{RS,}\, k_M = k_S \tag{3.5}$$

Froude sayısı (Fr),

$$Fr = \frac{V_M}{\sqrt{g L_M}} = \frac{V_S}{\sqrt{g L_S}} \tag{3.6}$$

Bu denklemde Froude sayısını (Fr), denizaltı hızını (V), yerçekimini (g) ve denizaltı boyunu (L) ifade eder.

Bu işlemlerden sonra gerçek ölçek denizaltı direncini (R_{TS}) elde etmek için işlemler aşağıdaki sırayla tekrarlanır.

Gerçek ölçek denizaltının sürtünme direnci katsayısı (C_{FS}),

$$C_{FS} = \frac{0.075}{(\log_{10} Re_S - 2)^2} \tag{3.7}$$

Denklem 3.4'e göre hesaplanan gerçek ölçek denizaltının Reynold sayısı (Re_S) ile, gerçek ölçek denizaltının sürtünme direnci (C_{FS}) denklem 3.7'den hesaplanır.

Gerçek ölçek denizaltının toplam direnç katsayısı (C_{TS}),

$$C_{TS} = C_{RS} + C_{FS}(1 + k_S) + C_a + \Delta C_F \tag{3.8}$$

Buradaki (ΔC_F) pürüzlülük katsayısını, (C_a) düzeltme katsayısını ifade eder.

Düzeltme katsayısı (C_a),

$$C_a = (5{,}68 - 0{,}6 \log Re) x 10^{-3} \tag{3.9}$$

Pürüzlülük katsayısı (ΔC_F),

$$\Delta C_F = 0{,}044x \left[\left(\frac{k_{Sf}}{L_S} \right)^{\frac{1}{3}} - 10xRe^{-\frac{1}{3}} \right] + 0{,}000125 \tag{3.10}$$

Burada (k_{Sf}) yüzey pürüzlülük katsayısını ifade eder ve 150x10^{-6} olarak alınır.

Denklem 3.2'den elde edilen modelin artık direnç katsayısı (C_{RM}), denklem 3.5'ten dolayı gerçek ölçek denizaltının artık direnç katsayısına (C_{RS}) eşittir. Buradan elde edilen gerçek ölçek denizaltı artık direnç katsayısı (C_{RS}), denklem 3.7'den elde edilen gerçek ölçek denizaltının sürtünme direnci katsayısı (C_{FS}) ile form faktörü (k_S) ile denklem 3.8'deki işlemler uygulandığında gerçek ölçek denizaltı toplam direnç katsayısı (C_{TS}) elde edilir. Buradaki form faktörü model (k_M) ve gerçek (k_S) ölçek denizaltı için denklem 3.5'ten dolayı eşit olduğu kabulü yapılır.

Gerçek ölçek denizaltı direnci (R_{TS}),

$$R_{TS} = C_{TS} \frac{1}{2} \rho_S S_S V_S^2 \tag{3.11}$$

Denklem 3.8'den elde edilen gerçek ölçek direnç katsayısı (C_{TS}), deniz suyu yoğunluğu (ρ_S), gerçek ölçek denizaltı yüzey alanı (S_S), ve gerçek ölçek denizaltı hızı (V_S), denklem 3.11'deki işlemler uygulandığında gerçek ölçek denizaltının toplam direnci (R_{TS}) elde edilmiş olur. Bu işlemler ITTC 1978 [36], [34] tavsiyesi üzerine kullanılmıştır.

3.1.2 Form Faktörü Değerinin Tahmini

Form faktörü, denizaltı model ölçek direnç değerinin gerçek ölçeğe geçilmesinde kullanılan denizaltı geometrik formuna bağlı bir katsayıdır. Bu katsayının tahmini için farklı yöntemler mevcuttur. ITTC [36] çalışmasında Prohaska yöntemini tavsiye etmektedir. Bu yönteme göre

Prohaskanın form faktörü denklemi,

$$C_{TM} = (1 + k_M) C_{FM} + C_{WM} \tag{3.12}$$

Viskoz direnci katsayısı (C_{FM}) form faktörü $(1 + k_M)$ ve dalga direnci katsayısının (C_{WM}) denklem 3.12'deki işlemlerde uygulanması ile toplam direnç katsayısı (C_{TM}) elde edilir. ITTC düşük hızlar için (0.1 < Fr < 0.2), dalga direnci katsayısını fr^4 olarak alınabileğini tavsiye etmektedir. Ayrıca düşük Froude sayılarında dalga direnci ihmal edilmektedir.

Bu tez çalışmasında düşük Froude sayı aralığında olunması ve çalışmanın dalga oluşturmayacak derinlikte denizaltı formu için yapılması sebebi ile dalga direnci katsayısı ihmal edilerek from faktörü hesaplanmıştır.

Bu çalışma için form faktörü denklemi,

$$k_M = \frac{C_{TM}}{C_{FM}} - 1 \tag{3.13}$$

Bu denklemde görüldüğü gibi form faktörü toplam direnç katsayısının, viskoz direnç katsayısına oranı ile elde edilmektedir. Form faktörü Reynolds sayısından bağımsız olmasının sebebi boyuttan da bağımsız olmasıdır. Bu nedenle model ve gerçek ölçek geometriklerin form faktörleri eşit kabul edilir.

$$k_M = k_S \tag{3.14}$$

Form faktörünün Reynolds sayısından bağımsız bir değişken olması sebebi ile model ölçek form faktörü (k_M) ve gerçek ölçek form faktörü (k_S) eşittir.

3.1.3 Pervane Açık Su Analizi

Pervane açık su analizinin amacı, pervane açık su eğrilerini elde edip literatürdeki deney sonuçları ile karşılaştırmaktır. Bu analizde pervane kontrol hacmine sabit bir akış verilir ve pervane devri değiştirilerek pervanenin ilerleme katsayısına (J_O) göre pervanenin takıntısız, açık su durumundaki itme katsayısı (K_{TO}), tork katsayısını (K_{QO}) ve pervane verimi (η_O) hesaplanır. Bu analiz ölçek model ya da gerçek pervane ile yapılabilir. Bu çalışmada ölçek model pervanede analiz gerçekleştirilmiştir. Pervane açık su eğrisi ile pervanenin verimi ya da analiz edilmeyen değerleri de elde edilebilir.

İlerleme katsayısı (J_0),

$$J_0 = \frac{V_M}{n_M D_M} \tag{3.15}$$

Bu denklemde (V_M), model ölçekteki pervaneye verilen akış hızı, (n_M), model ölçekteki pervane devri, (D_M) model ölçekteki pervane çapıdır.

İtme katsayısı (K_{TO}),

$$K_{TO} = \frac{T_M}{\rho_M n_M^2 D_M^4} \tag{3.16}$$

Bu denklemde (T_M), pervane modeli analizinden elde edilen itme değeri, (ρ_M) model analizindeki akışkan yoğunluğudur.

Tork katsayısı (K_{QO}),

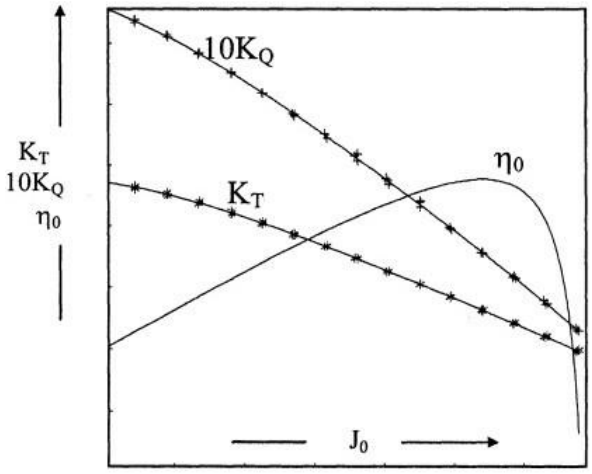
$$K_{QO} = \frac{Q_M}{\rho_M n_M^2 D_M^5} \tag{3.17}$$

Bu denklemde (Q_M), model analizinden elde edilen tork değeridir.

Pervane verimi (η_0),

$$\eta_0 = \frac{J_0 K_{TO}}{2\pi K_{QO}} \tag{3.18}$$

Pervane verimi, itme katsayısı ve tork katsayısıları farklı devirlerde elde edilir. Sonrasında ilerleme katsayısına göre Şekil 3.1'deki gibi açık su eğrisi diyagramı elde edilir.



Şekil 3.1 Açık su pervane eğrisi [37]

3.1.4 Sevk Analizi

Bir denizaltı ya da gemi geometrisinin direnci pervaneli ya da pervanesiz durumda farklıdır. Çünkü pervaneli durumdaki geometride, pervane önünde vakum meydana gelmekte ve pervane itmesi azalmaktadır. Bu durum göz önüne alındığında performans tahminini doğru yapabilmek için geometrinin pervaneli olarak analiz edilmesi gerekmektedir. Pervaneli geometri ile yapılan bu analize sevk analizi denir.

Sevk analizi sayısal ve deneysel olarak yapılabilmektedir.

Sevk analizinde kullanılan üç yöntem vardır:

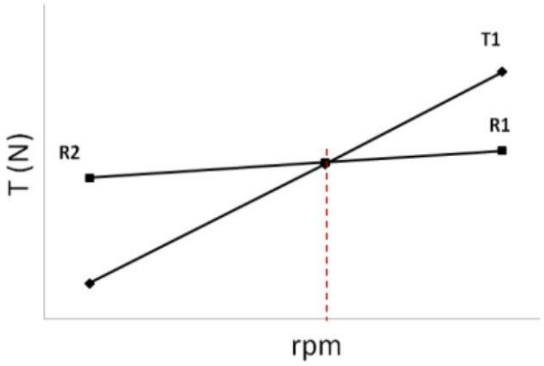
- Değişken yüklü (Sabit hızlı) sevk deneyi yöntemi
- Sabit yüklü sevk deneyi yöntemi
- Karışık yüklemeli sevk deneyi yöntemi

Bu çalışma sayısal olarak ve değişken yüklü (Sabit hızlı) sevk deneyi prensibine göre gerçekleştirilmiştir.

3.1.4.1 Değişken Yüklemeli (Sabit Hızlı) Sevk Analizi Yöntemi

Değişken yüklemeli (Sabit Hızlı) sevk analiz yöntemi deney düzeneğinde uygulanırken, pervaneli gemi veya denizaltı geometrisi sabit bir hızda çekilir. Bu çekme esnasında pervane devri sistematik olarak değiştirilir. Pervanenin denizaltıyı kendi kendine itme anındaki pervane devri belirlenmeye çalışılır.

Bu çalışmada değişken yüklemeli sevk analiz yöntemi, sayısal analizde uygulanmıştır. Pervaneli denizaltı geometrisine, sabit bir hızda akış girişi verilmiş ve pervane iki farklı devirde çalıştırılmıştır. Bu iki durum için elde edilen denizaltı direnç ve pervane itme değerleri Şekil 3.2'de görüldüğü gibi kesiştirilerek, itmenin dirence eşit olduğu nokta elde edilmiştir. Bu noktanın x eksenindeki karşılığı kendi kendini itme noktası denir.



Şekil 3.2 Kendi kendini itme noktasının belirlenmesi [24]

- **Tam Ölçekte Sevk Noktasının Sadece ITTC 1978 Performans Yöntemine Göre Tahmini**

ITTC 1978 güç tahmin yöntemi [38] gemi ve denizaltıların güç tahmininde yaygınlıkla kullanılan bir güç tahmin yöntemidir. ITTC 1978 Yöntemi model ölçeğindeki sevk verilerinden, gerçek ölçekteki denizaltının değerleri aşağıdaki gibi hesaplamaktadır.

Gerçek ölçek pervane karakteristikleri aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

Gerçek ölçek pervane itme katsayısı (K_{TS}) ve tork katsayısı (K_{QS});

$$K_{TS} = K_{TM} - \Delta K_T \tag{3.19}$$

$$K_{QS} = K_{QM} - \Delta K_Q \tag{3.20}$$

Bu denklemde (K_{TM}) ve (K_{QM}) model ölçekteki denizaltı modelininin kendi kendini itme noktasındaki pervane itme ve pervane tork katsayısı değerleridir. Buradaki (ΔK_T) ve (ΔK_Q) modelden gerçek ölçeğe geçişteki değişimi ifade etmektedir.

İtme katsayısı (ΔK_T) ve tork katsayısındaki (ΔK_Q) değişim;

$$\Delta K_T = -\Delta C_D 0.3 \frac{P}{D}\frac{cZ}{D} \tag{3.21}$$

$$\Delta K_Q = \Delta C_D 0.25 \frac{cZ}{D} \tag{3.22}$$

Bu denklemdeki (P/D) pervane hatve çapının pervane kanadına oranı, (c) pervane kanadının kord uzunluğunu, (Z) pervane kanat sayısı, (D) pervane çapını, (ΔC_D) direnç katsayısındaki değişimi ifade etmektedir.

Direnç katsayısındaki değişim (ΔC_D);

$$\Delta C_D = C_{DM} - C_{DS} \tag{3.23}$$

Bu denklemdeki (C_{DM}) model ölçekteki direnç katsayısı, (C_{DS}) gerçek ölçekteki direnç katsayısını ifade etmektedir.

Model (C_{DM}) ve gerçek (C_{DS}) ölçek direnç katsayısı;

$$C_{DM} = 2\left(1 + 2\frac{t_k}{c}\right)\left[\frac{0.044}{Re_{co}{}^{1/6}} - \frac{5}{Re_{co}{}^{2/3}}\right] \tag{3.24}$$

$$C_{DS} = 2\left(1 + 2\frac{t_k}{c}\right)\left[1.89 + 1.62.log\frac{c}{k_p}\right]^{-2.5} \tag{3.25}$$

Bu denklemdeki (t_k) pervane kanat kalınlığı, (Re_{co}) bölgesel reynold katsayısını, (k_p) kanat pürüzlülüğünü ifade etmektedir. Buradaki kanat pürüzlülüğü (k_p), 30x10^6 m olarak alınmıştır.

Gerçek ölçek sevk devri ve itmesi aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

Gerçek ölçek pervane devri (n_S);

$$n_S = \frac{(1 - w_{TS})}{J_S}\frac{V_S}{D_S} \tag{3.26}$$

Bu denklemde (D_S) gerçek ölçek pervane çapı, (V_S) gerçek ölçek denizaltı hızı, (w_{TS}) gerçek ölçek denizaltı iz katsayısı, (J_S) gerçek ölçek pervane ilerleme katsayısını ifade eder. Bu (J_S) gerçek ölçek pervane ilerleme katsayısı Şekil 3.3'ten okunur. Buradaki (w_{TS}) gerçek ölçek denizaltı iz katsayısı aşağıdaki şekilde hesaplanır.

Gerçek ölçek denizaltı iz katsayısı (w_{TS});

$$w_{TS} = (t + 0{,}04) + (w_{TM} - t - 0{,}04)\,\frac{(1 + k)C_{FS} + C_{aa}}{(1 + k)C_{FM}}\frac{V_S}{D_S} \tag{3.27}$$

Bu denklemdeki (t) modelin itme azalmasını, (w_{TM}) modelin iz katsayısını, (C_{FS}) gerçek ölçek denizaltının sürtünme direnç katsayısını, (C_{FM}) model ölçek denizaltının direnç katsayısını, (C_{aa}) pürüzlülük katsayısını ifade eder.

Gerçek ölçek pervane itmesi (T_S);

$$T_S = \left(\frac{K_T}{J^2}\right)J_S^2\rho_S D_S^4 n_S^2 \tag{3.28}$$

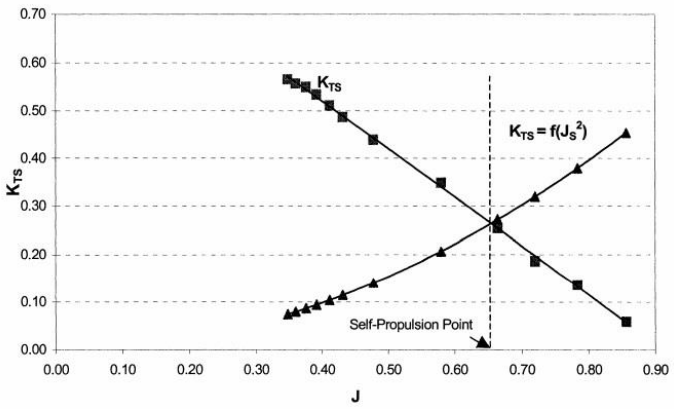
Bu denklemde (J_S) aşağıdaki çizdirilen Şekil 3.3'ten $K_{TS} - K_{TS}(J_S^2)'$nin kesişiminden okunur. Buradaki (J_S) ve $K_{TS}(J_S^2)$ aşağıda görüldüğü gibi hesaplanır.

$$J_S = J_M \left(\frac{1 - w_{TM}}{1 - w_{TS}}\right) \tag{3.29}$$

Burada (J_M) modelin ilerleme katsayısıdır.

$$K_{TS} = \frac{1}{N_P}\frac{S_S}{2D_S^2}\frac{C_{TS}}{(1-t)(1-w_{TS})^2}J_S^2 \tag{3.30}$$

Burada (N_P) pervane sayısını, (S_S) gerçek ölçek denizaltı yüzey alanını, (C_{TS}) gerçek ölçek toplam direnç katsayısını ifade etmektedir. Gerçek ölçek açıksu pervane itmesi katsayısı eğrisi üzerine, denklem 3.30'daki $K_{TS}(J_S^2)$ gerçek ölçek denizaltı arkası pervane itme eğrisinin çizdirilmesinin kesişiminden gerçek ölçek pervane ilerlemesi (J_{TS}) elde edilir.

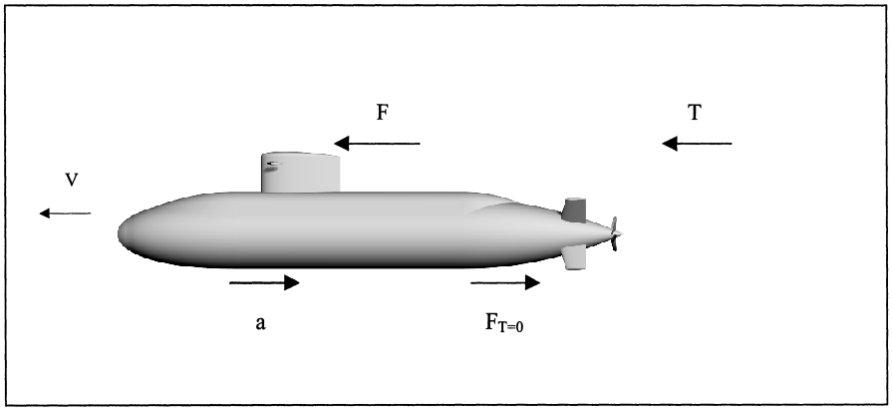


Şekil 3.3 Gerçek ölçeğin kendi kendini itme noktası kesişimi (ITTC 1978)

- **Tam Ölçekte Sevk Noktasının Sadece Değişken Yüklemeli Sevk Deneyi Yöntemine Göre Tahmini**

ITTC 1978 güç tahmin yöntemi [38] gemi ve denizaltıların güç tahmininde yaygınlıkla kullanılan bir güç tahmin yöntemidir. ITTC 1978 Yöntemi özellikle pervane gövde etkileşiminin zayıf olduğu durumlarda daha iyi tahminlerde bulunmaktadır. Podlu pervane, nozullü pervane gibi etkileşimin arttığı durumlarda tahminlerde hatalara sebep olabilmektedir. Bu eksikliklerin giderilmesi için, Kracht [39] ve Schmiechen [40], yalnızca bir deney setine dayanan değişken yüklemeli sevk deneyi yöntemini önermiştir. Ayrı ayrı pervane açık su deneyi, direnç deneyi ve sevk deneyine ihtiyaç duyan ITTC

1978 Yöntemi'nin aksine değişken yüklemeli sevk deneyi yönteminde sadece pervaneli denizaltının farklı pervane yüklemelerinde yapılan sevk deneyleri verileri kullanılır. Gövde pervane etkileşiminin ölçümü itme azalması katsayısı ile yapılmaktadır. 0.1'den küçük değerler gövde pervane etkileşiminin düşük olduğunu gösterirken, 0.3 civarındaki değerler güçlü gövde pervane etkileşimini gösterir [37].

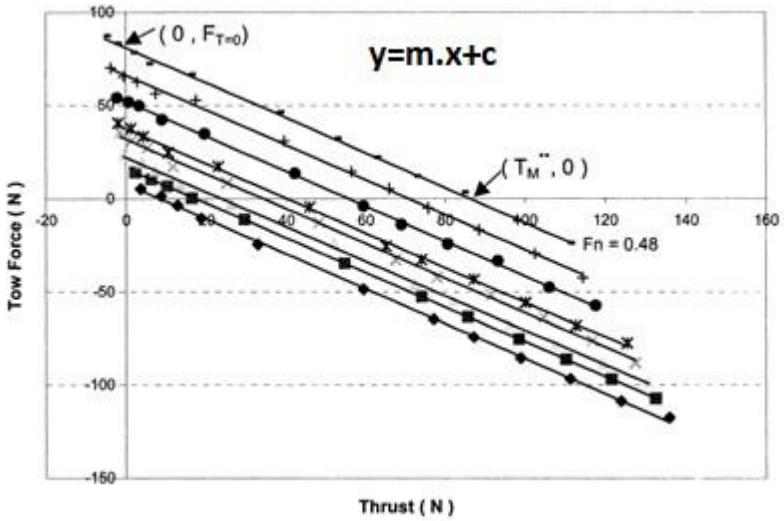


Şekil 3.4 Dalmış durumdaki denizaltıya etkiyen kuvvetler

Değişken yüklemeli sevk deneyi yöntemine göre yapılan güç tahmininde kullanılan ve dalmış durumda bir denizaltının üzerine etkiyen kuvvetler Şekil 3.4'te gösterilmektedir. Burada (V_M) hızında ilerlemekte olan bir denizaltı için (T) itmeyi, (F) çekme kuvvetini, ($F_{T=0}$) pervane çalışmazken ölçülen direnci ve (a) direnç artışını ifade etmektedir.

$$F = -(1 - t^*)T + F_{T=0} \tag{3.31}$$

Denklem 3.31'deki değerler aynı hızda farklı devirlerde elde edilip Şekil 3.5'te Çekme kuvveti-İtme kuvveti grafiği olarak oluşturulmaktadır.



Şekil 3.5 Çekme kuvveti-İtme kuvveti [37]

Buradaki itme azalması,

$$F = -(1 - t^*)T + F_{T=0} = y = m.x + c \tag{3.32}$$

$$c = F_{T=0}\,; m = (1 - t) \tag{3.33}$$

olarak noktalardan geçen doğrunun formülüne eşit kabul edilir. Buradan,

$$-(1 - t) = \frac{F_{T=0}}{T^*} = \frac{dF}{dT} \tag{3.34}$$

İtme azalması elde edilir. Buradaki (T^*) kendi kendini itme noktasındaki itmeyi ifade etmektedir. Denklem 3.32'den görüldüğü gibi itme azalması ITTC 1978 yönteminden farklı bir yöntemle elde edilmektedir. ITTC 1978 yöntemine göre itme azalmasını hesaplayabilmek için direnç ve sevk analizlerine ihtiyaç duymaktadır. Değişken yüklemeli sevk deneyi yönteminde ise birkaç farklı yüklemedeki sevk analizleri yeterli olmaktadır.

Sevk noktasındaki model ölçek denizaltı itmesi (T_M^*);

$$T_M^* = \frac{F_{T=0} - F_D}{(1 - t)} \tag{3.35}$$

Buradaki (F_D) sürtünme kuvveti düzeltme katsayısını ifade eder.

Sürtünme kuvveti düzeltme katsayısı (F_D);

$$F_D = \frac{1}{2}\rho S_M V_M^2\big((1 + k)(C_{FM} - C_{FS}) - C_{aa}\big) \tag{3.36}$$

Bu denklemde (ρ) akışkan yoğunluğunu, (S_M) model ölçek denizaltı yüzey alanını, (V_M) model ölçek denizaltı çekme hızını, (C_{FS}) gerçek ölçek denizaltının sürtünme direnç katsayısını, (C_{FM}) model ölçek denizaltının direnç katsayısını, (C_{aa}) pürüzlülük katsayısını ifade eder.

Sevk noktasındaki gerçek ölçek denizaltının itmesi (T_S);

$$T_S = T_M^* \lambda^3 \frac{\rho_S}{\rho_M} \tag{3.37}$$

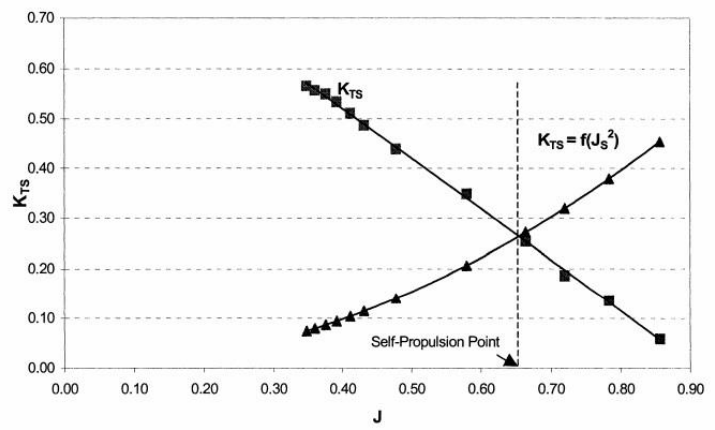
olarak hesaplanır. Bu denklemde (ρ_M) model ölçek akışkan yoğunluğunu, (ρ_S) gerçek ölçek akışkan yoğunluğunu, (λ) gerçek denizaltının model denizaltıya küçültme oranını ifade eder. Gerçek ölçek denizaltının sevk ve pervane karakteristikleri model ölçeğinden elde edilen verilere göre değişken yüklemeli sevk deneyi yöntemine göre aşağıdaki gibi hesaplanır.

Gerçek ölçek pervane itme katsayısı (K_{TS}) ve tork katsayısı (K_{QS});

$$K_{TS} = K_{TM} - \Delta K_T \tag{3.38}$$

$$K_{QS} = K_{QM} - \Delta K_Q \tag{3.39}$$

Buradaki (ΔK_T) ve (ΔK_Q) denklem 3.21-3.25 arası işlemler tekrarlanarak hesaplanır. Burada kullanılan (K_{TM}) ve (K_{QM}) ITTC 1978'den farklı olarak değişken yüklemeli durumdaki model pervane itme ve tork katsayılarıdır. Ayrıca denklem 3.27 ve 3.29 ile fark yükleme durumlarındaki (J_S) hesaplanır. Buradan Şekil 3.6'da görüldüğü gibi (K_{TS}), ($K_{TS}(J^2)$) ve (K_{QS})'in farklı yükleme durumlardaki eğrileri çizdirilir. Buradan (K_{TS}) ve ($K_{TS}(J^2)$) kesişiminden kendi kendini itme noktasındaki (K_{TS}) pervane itme katsayısı okunur. Şekil 3.6'da görüldüğü gibi bu kesişim noktasından geçen dikeyin kesişiminden (K_{QS}) pervane tork katsayısı okunur.



Şekil 3.6 Gerçek ölçeğin kendi kendini itme noktası kesişimi (load varying)

4
SAYISAL YÖNTEMLER

4.1 Kullanılan Sayısal Yöntemler

Bu bölümde S7371R pervanesi ile sevk edilen BB2 Joubert denizaltısının analizinde kullanılan çözüm yöntemleri açıklanmıştır. Akışkanlar mekaniğinde, akışkan hareketini hesaplamak için birçok yöntem bulunmaktadır. Geçmişten günümüze bilgisayar teknolojisinin de gelişmesi ile sayısal yöntemler akış alanlarını hesaplamada birçok yöntem sunmaktadır.

İlk dönemlerde, akışkan sıkıştırılamaz, çevrintisiz ve viskozitesiz kabulü yapılarak potansiyel akış yöntemiyle çözülmeye çalışılmıştır. İlerleyen dönemlerde potansiyel yönteme dayalı kanat elemanı yöntemi ile iki boyutlu geometriler hesaplanabilmekteydi. Sonraları geliştirilen ve üç boyutlu hesaplamalara imkan veren panel yöntemi kullanılmaya başlanmıştır. Bu yöntemde geometri kaynak, kuyu, dipol şeklinde üç boyutta tanımlanarak potansiyel tabanlı hesaplamalar yapılmıştır. Tüm bu yöntemler, potansiyel tabanlı yani viskos olmayan ve çevrintisiz akışkan kabulu yaparak çözüme ulaşmaktadır. Akışkanın çevrintili durumu hesaplamak için panel yöntem üzerinden çözüm yapan vortex yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntem çevrintili durum için panel üzerinden hesaplamalar yapılmasına izin vermiştir. Günümüz bilgisayar teknolojisi ve matematik bilgisi ile akışkanların hareketleri oldukça hassas bir şekilde hesaplanabilmektedir. Günümüzde akışkan hareketleri sonlu elemanlar, sonlu farklar ve sonlu hacimler yöntemleri ile hesaplanabilmektedir. Akışkanlar mekaniğinde özellikle sonlu hacimler yöntemi tercih edilmektedir. Bu çalışmada sonlu hacimler yöntemi kullanılmıştır.

4.2 Sonlu Hacimler Yöntemi

Bu yöntemde üç boyutlu akış bölgesi, küçük sonlu hacimlere bölünmektedir. Sonrasında her sonlu hacim üzerinde akışkan denklemi çözülmektedir. Sonlu hacimler yönteminde kullanılan akışkan denklemi kütlenin korunumu ve momentumun korunumu kabulüne göre hesaplanır. Bu denklemde akışkanın çevrintili ve viskoz durumlarını da hesapladığı

için denklem çözülmesi zor bir hal almaktadır. Bu durumda RANS, LES ve DNS gibi yaklaşımlar kullanılmaktadır. DNS yaklaşımında akışkan denklemi hiç bir model kullanılmadan direkt çözülür. LES yaklaşımında akışkan denklemi akışkanların konum ortalamalarına göre çözülmektedir. RANS yaklaşımında ise akışkan denklemi akışkanların zaman ortalamalarına göre çözülmektedir. RANS yöntemi hesap süresi olarak en verimli çözüm yöntemidir. Türbülans hesaplarında kapatılması gereken matematiksel açıklar mevcuttur. Ticari açıdan en yaygın kullanılan hesap yöntemidir. Bu çalışmada RANS yaklaşımı kullanılmıştır.

4.2.1 Kütlenin Korunumu Kabulü

Kütlenin korunumu denklemi, birim kontrol hacmindeki akışkan kütlesinin korunumu yani sürekliliğini ifade eder.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla\left(\rho \vec{V}\right) = 0 \tag{4.1}$$

Bu denklemde ρ yoğunluğu, t zamanı V hız vektörünü ifade etmektedir. Bu denklem zamana bağlı (kararsız akışkan) ya da zamandan bağımsız (kararlı akışkan) şekilde çözülebilmektedir. Bu çalışmada kararlı akış kabul edilmiştir.

4.2.2 Momentumun Korunumu Kabulü

Newtonun birinci hareket yasasına göre bir cisim üzerindeki net kuvvet sıfır ise cisim hareket durumunu (duruyorsa durmaya devam eder, hareket ediyorsa sabit hızlı hareket eder) korur. İkinci hareket yasasına göre ise cisme etki eden net kuvvet, cismin kütlesinin ve ivmesinin çarpımına eşittir. Buradan hareketle momentumun korunumu yani hareket denklemi aşağıdaki gibi yazılır:

$$\nabla\left(\vec{\mu}\nabla\vec{V}\right) - \nabla P + \rho g_{xyz} = \frac{\partial \rho \vec{V}}{\partial t} + \nabla\left(\rho \vec{V}\vec{V}\right) \tag{4.2}$$

Burada ∇P basınç terimini, ρg_{xyz} kütle terimini, $\nabla\left(\vec{\mu}\nabla\vec{V}\right)$ viskoz terimini ve $\nabla\left(\rho\vec{V}\vec{V}\right)$ hareket terimini ifade eder. Bu denklem diğer adıyla yani Navier-Stokes denklemi olarak bilinir.

4.3 RANS Yöntemi

Momentumun korunumundan elde edilen Navier-Stokes denklemi çözümü için çeşitli yaklaşımlar uygulanmıştır. Bunlardan bir tanesi olan RANS yaklaşımında, hız terimi zaman ortalamalı çözen bir sayısal yöntem uygulanır. Navier-Stokes denklemi zaman ortalamalı yaklaşımla aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$-\frac{\partial \mathrm{P}}{\partial x_i}+\frac{\partial\left(\mu\frac{\partial u_i}{\partial x_j}+\frac{\partial u_j}{\partial x_i}-\overline{\rho u_i' u_j'}\right)}{\partial x_j}=\rho\frac{\partial u_i}{\partial t}+\rho u_j\frac{\partial u_i}{\partial u_j} \tag{4.3}$$

Bu denklemde $\overline{\rho u_i' u_j'}$ terimi Reynold gerilmesini ifade eder. Bu denklemin çözülebilmesi için bu gerilmenin çözülmesi gerekmektedir. Bu gerilmenin çözümü için iki model vardır. Bunlar k-Ɛ ve k-ω modelleridir. Bu çalışmada, türbülanslı akışlarda uygun olmasından dolayı, k-ω'den geliştirilmiş olan k-ω SST modeli kullanılmıştır.

4.4 Kullanılan Çözücü Yöntemi

Momentumun korunumundan elde edilen Navier-Stokes denklemini çözebilmek için iki çeşit çözücü yöntemi vadır. Bunlar basınç tabanlı ve yoğunluk tabanlı çözücü yöntemleridir.

Basınç tabanlı çözücü yönteminde yoğunluk tabanlının aksine, basınç birinci değiken olarak alınır. Basınç tabanlı çözücü yöntemi düşük hızdan yüksek hıza, sıkıştırılabilir akışkanlardan sıkıştırılamaz akışkanlara kadar geniş bir kullanım alanına sahiptir. Bu nedenle bu çalışmada basınç tabanlı çözücü yöntemi seçilmiştir.

4.5 Kullanılan Çözüm Ayrıklaştırması Yöntemi

Momentumun korunumundan gelen akışkanlar mekaniği yönetici denklemi çözülmesi zor, karışık bir durumdadır. Bu denklemin her bir kontrol hacminde çözülebilmesi için bu denklemin basit matematiksel forma getirilmesine ayrılaştırma denir. Bu ayrıklaştırma, denklemin kontrol hacimleri ile sayısal olarak entegre edilerek, her bir çözüm değerini bir sonraki kontrol hacmine aktarılır.

Ansys Fluent bu işlemi ileri yönlü (upwind) olarak yapmaktadır. Denklemi ise hızlı (quick), birinci derece (first order) ve ikinci derece (second order) olarak çözebilmektedir. Bu çalışmada ileri yönlü (upwind) birinci derece (first order) ve ikinci derece (second order) çözüm şemaları kullanılmıştır.

4.6 Çözüm Ağı Oluşturma Yöntemi

Akışkanlar mekaniği problemi çözümlerinde, çözüm bölgesi bir kontrol hacime alınır ve içerisi küçük hücrelere bölünür. Bu bölmelendirme yapılırken, akışkanın linerliğinin bozulduğu ya da türbülansın olacağı bölgelerde akışı daha doğru hesaplayabilmek için uygun hücre büyüklüklerinin oluşturulması gerekmektedir. Bu bölgeler akışın hızına bağlı olarak cisim yüzey bölgeleridir. Akışkanın hızına bağlı olarak, sınır tabakanın uygun hücre büyüklükleri ile örülmesi gerekmektedir. Sınır yüzeyinden başlayacak mesafe yani sınır tabaka aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$u^+ = \frac{u}{u_\tau}, y^+ = \frac{yu_\tau}{\mathcal{V}} \tag{4.4}$$

Bu denklemde u_τ sürtünme hızını, y sınırdan olan mesafeyi, $\mathcal{V}$ viskoziteyi ve u akışkan hızını ifade etmektedir. Akışkanın boyutsuz hızını u^+, sınır tabakadaki boyutsuz mesafesi ise y^+ ile ifade edilmektedir.

$$u_\tau = \sqrt{\frac{\tau_\omega}{\rho}} \tag{4.5}$$

Bu denklemde ise ρ yoğunluğu, τ_ω teğetsel gerilmeyi ifade etmektedir.

$$\tau_\omega = \frac{1}{2} C_f \rho U_\infty^2 \tag{4.6}$$

Burada C_f yüzey sürtünme katsayısıdır.

$$C_f = 0{,}0576 Re_d^{-\frac{1}{2}} \tag{4.7}$$

Burada Re Reynold sayısıdır.

Yukarıdaki işlemlerin yapılıp u değerini bulmak için y^+ değerinin akışkan özelliklerine göre uygun olarak seçilip u^+ değerinin hesaplanması gerekmektedir. Sınır tabaka öncellikle iç ve dış tabaka olarak ikiye ayrılır. İç tabaka kendi içinde viskoz katman, buffer katman ve log-law katman olarak üçe ayrılır. Akışkanın özelliğine göre uygun y^+ seçilir ve bulunduğu aralığa göre sınır tabaka kalınlığı hesaplanır.

Viskoz katmanda $0 \leq y^+ \leq 5$ aralığı için u^+ aşağıdaki gibi elde edilir.

$$u^+ = y^+ \tag{4.8}$$

Buffer katmanda $5 \leq y^+ \leq 30$ aralığı için henüz tanımlanmış bir çözüm yoktur.

Log-law katmanda $30 \leq y^+ \leq 300$ aralığı için u^+ aşağıdaki gibi elde edilir.

$$u^+ = \frac{1}{\kappa} \ln y^+ + B \tag{4.9}$$

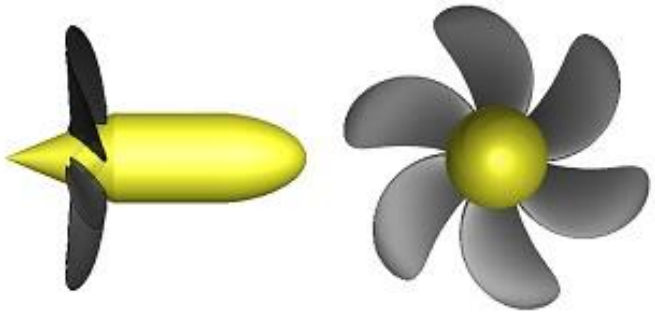
Buradaki κ değeri karman sabiti genellikle 0.41, B sabiti ise genellikle 5.2 olarak alınır.

5
GEOMETRİLER

Bu bölümde, tez çalışmasında kullanılan denizaltı geometrisi ve pervane geometrisi tanıtılmıştır. Ayrıca BB2 Joubert denizaltı kıç formu kıç koniklik açısı üzerindeki değişiklikler ile ilgili bilgiler mevcuttur.

5.1 S7371R Pervane Geometrisi

S7371R pervanesi MARIN [4] (Maritime Research Netherlands) tarafından dizayn edilmiştir. S7371R pervanesi, kanat eğikliği yüksek, 6 kanatlı bir denizaltı pervanesidir (Şekil 5.1). Pervanenin açık su karakteristik deneyleri MARIN tarafından yürütülmüştür. S7371R pervanesinin ana boyutları Tablo 5.1 de gösterilmiştir.



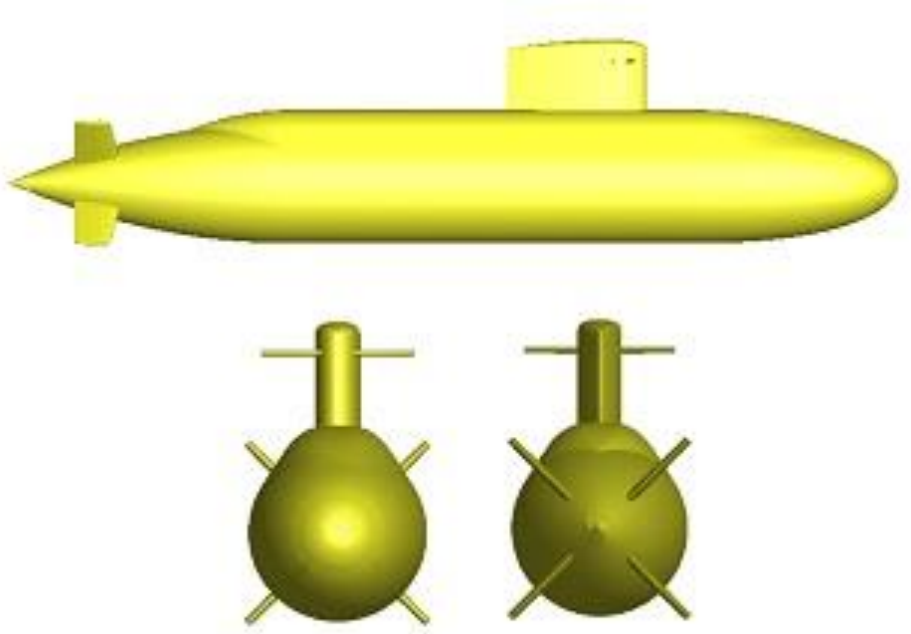
Şekil 5.1 MARIN S7371R model pervanesi

Tablo 5.1 S7371R pervanesi ana boyutları

Pervane Kanat Sayısı	Z	6
Çap (m)	D	5
Göbek Çap Oranı	H/D	0.2056
0.75R'de Kord Uzunluğu (m)	$C_{0.75}$	1.464

5.2 BB2 Joubert Denizaltı Geometrisi

BB2 Joubert denizaltı modeli MARIN tarafından paylaşılan SSK sınıfı, Joubert tipi, gerçeğe yakın bir denizaltı formudur (Şekil 5.2). BB2 Joubert gerçekte mevcut değildir. MARIN tarafından M9466 model numarası ile 18.348 oranında küçültülerek, BB2 Joubert'in modeli üretilmiş ve deney çalışmaları yürütülmüştür. Tablo 5.2'de denizaltı ana boyutları verilmiştir. Bu çalışmada da aynı ölçek oranı kullanılarak sayısal hesaplamaları gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5.2 BB2 Joubert denizaltı formu

Tablo 5.2 BB2 Joubert denizaltısı ana boyutları

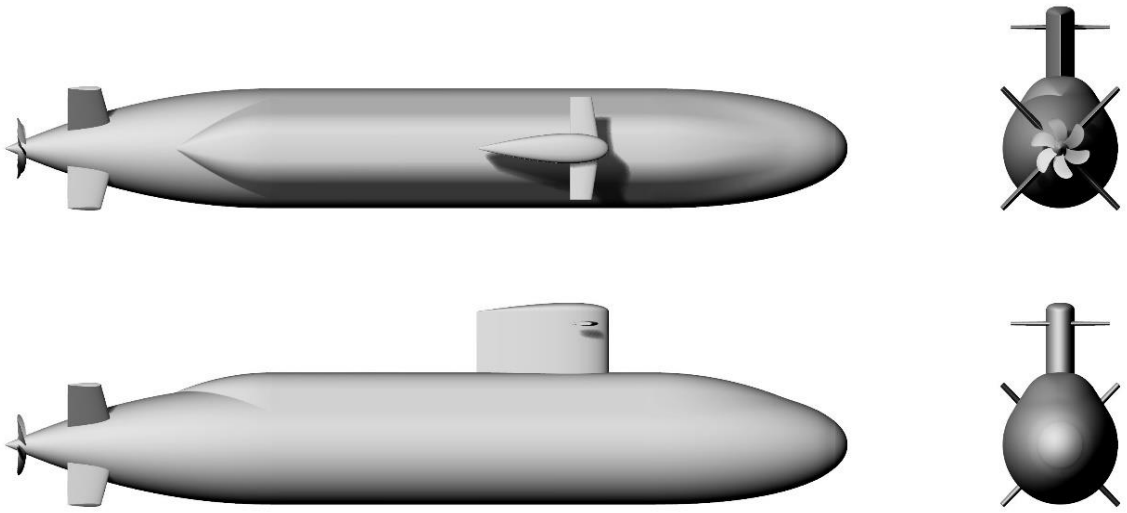
λ : 18.348		Gerçek Denizaltı	Model Denizaltı
Boy	L	70.2 m	3.826 m
Genişlik	B	9.6 m	0.5235 m
Derinlik	$D_{denizaltı}$	10.6 m	0.5781 m
Derinlik (Yelken dahil)	D_{yelken}	16.2 m	0.8835 m

Tablo 5.3 BB2 Joubert denizaltısı ana boyutları (devamı)

Blok Katsayısı	C_b	0.85	0.85
Deplasman Hacmi	∇	4358.2 m^3	0.7056 m^3
Islak Alan	S	2146.4 m^2	6.3756 m^2

5.3 S7371R Pervaneli BB2 Joubert Denizaltı Geometrisi

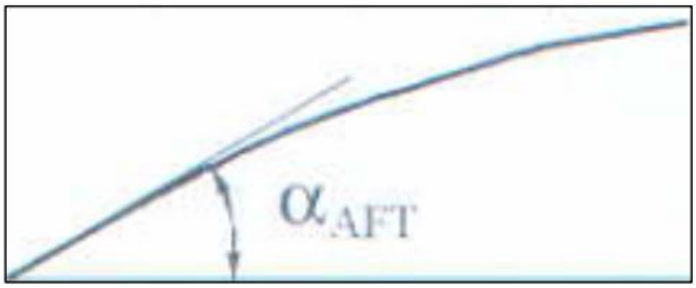
MARIN tarafından, BB2 Joubert denizaltısına takılan S7371R pervaneli, 18.348 oranı ile ölçeklenmiş modeli inşa edilmiştir. Pervaneli denizaltı modelinin sevk ve manevra deneyleri yürütülmüş ve açık literatürde MARIN tarafından paylaşılmıştır. S7371R pervaneli BB2 Joubert denizaltısının görüntüsü aşağıda verilmiştir (Şekil 5.3). Bu çalışmada da aynı ölçek oranında ve aynı pervane konumundaki sevk analizi gerçekleştirilmiştir. Pervane açıksu ve pervanesiz denizaltı analizinde de aynı ölçek oranları kullanılarak sayısal hesaplamaları yapılmıştır.



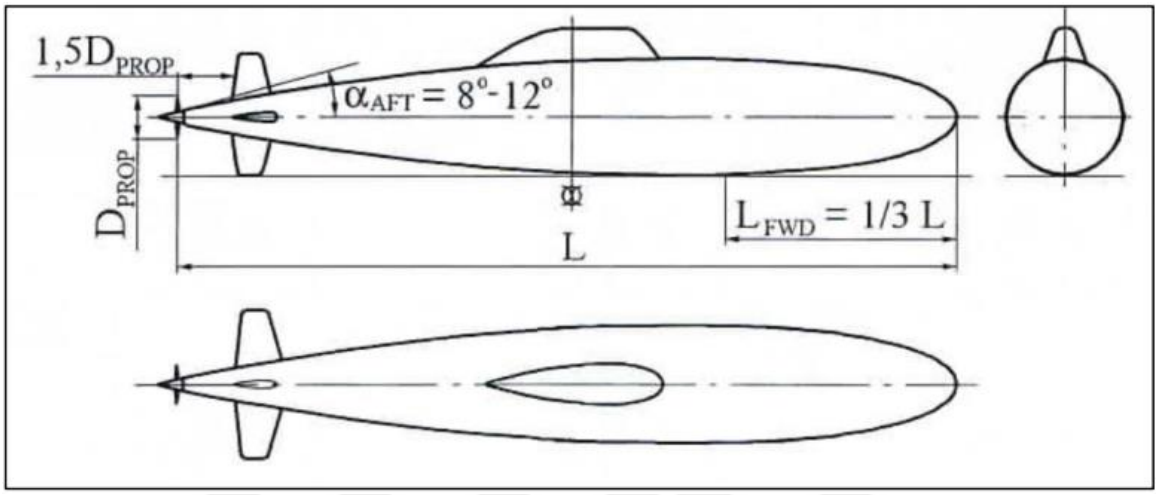
Şekil 5.3 S7371R Pervaneli BB2 Joubert denizaltı formu

5.4 Farklı Kıç Koniklik Açılı S7371R Pervaneli BB2 Joubert Denizaltı Geometrileri

Kıç koniklik açısı, pervane başlagıcından kıç konik forma çizilen değetin x ekseni ile yaptığı açıya denir. Kormilitsin ve Khalizev [2], kıç konik açısı için aşağıdaki Şekil 5.4 ve Şekil 5.5'teki gibi tanımlamışlardır. Bu çalışmada da kıç koniklik açısı bu tanıma göre ölçülmüş ve uygun açı değişiklikleri yapılmıştır.

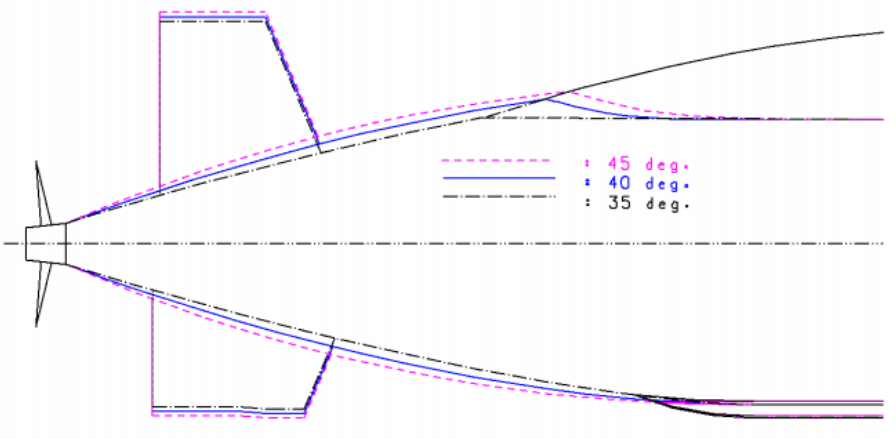


Şekil 5.4 Kıç koniklik açısı tanımı [2]



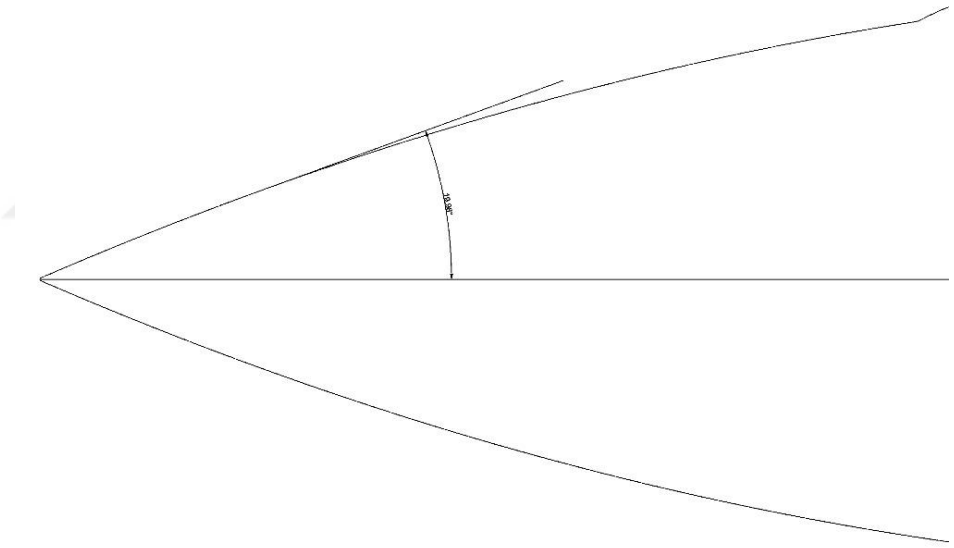
Şekil 5.5 Kıç koniklik açısı tanımı [2]

Won Lee ve diğerleri [3] çalışmalarında bir denizaltının üç farklı durumdaki kıç koniklik açısını incelemişlerdir. Won Lee ve diğerlerinin çalışmasında, Kormilitsin ve Khalizev'in kıç koniklik tanımına uyan bir tanımda denizaltı kıç koniklik açısı tanımlanmış ve üç farklı kıç koniklik açılı kıç formu tasarlamıştır (Şekil 5.6). Bu tez çalışmasında Won Lee ve diğerlerinin çalışmasındaki kıç koniklik açısı değiştirme tanımı referans alınarak, BB2 Joubert denizaltısının kıç konik açıları artırılarak ya da azaltılarak tasarlanmıştır.



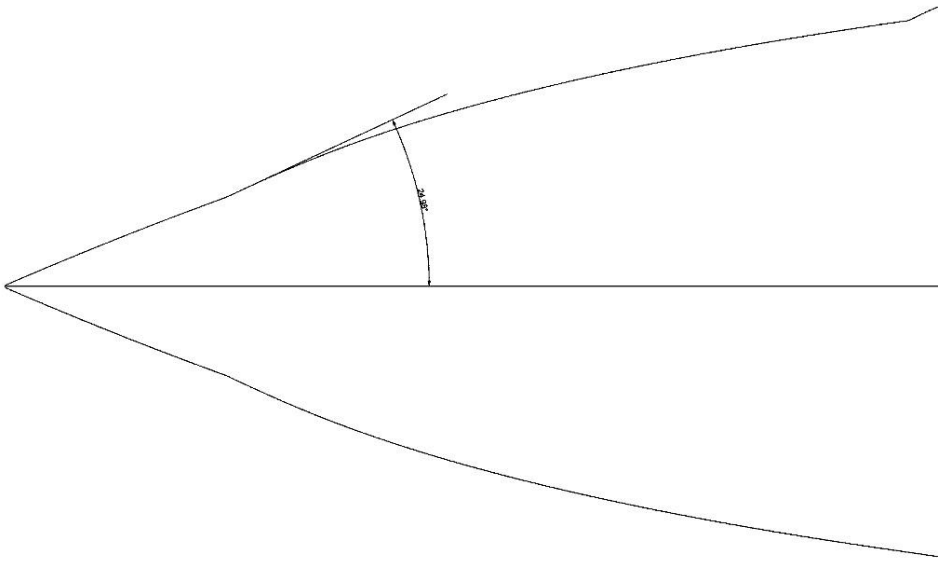
Şekil 5.6 Denizaltı kıç koniklik açısı değişimi [3]

MARIN tarafından tasarlanan BB2 Joubert denizaltı formunun kıç koniklik açısı, Kormilitsin ve Khalizev kıç koniklik açısı tanıma göre Şekil 5.7 deki gibi ölçülmüştür. Buradan BB2 Joubert denizaltısının kıç koniklik açısı 19.98 derece olarak belirlenmiştir.

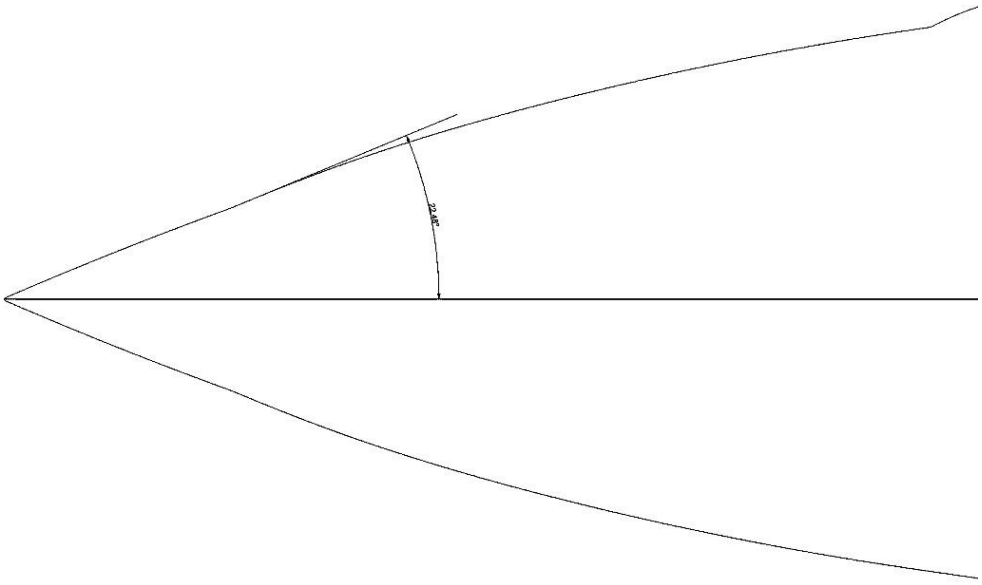


Şekil 5.7 BB2 Joubert denizaltısının kıç koniklik açısı

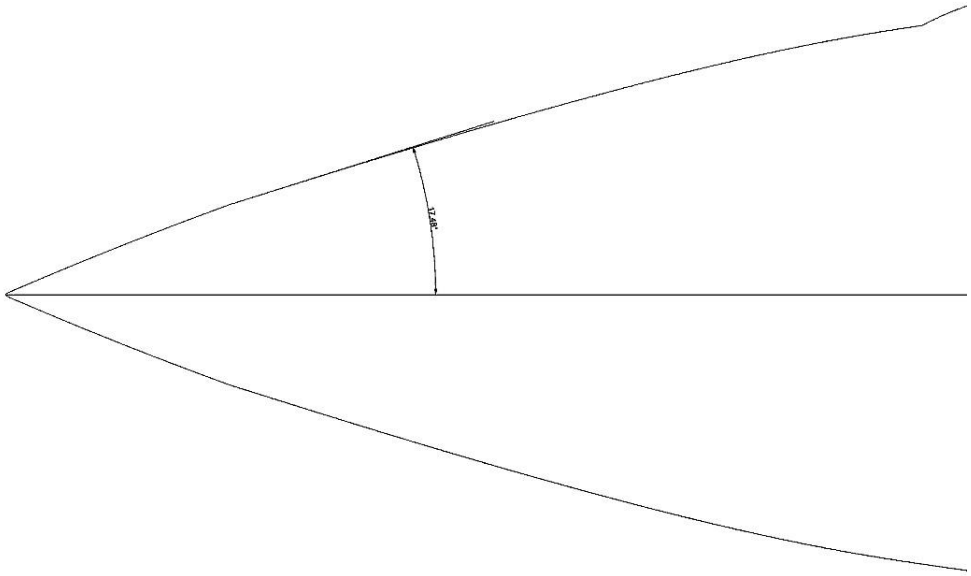
Won Lee ve diğerlerinin çalışmasıdaki Şekil 5.6'daki görsel referans alınarak ve form sabit tutularak yeniden tasarlanmıştır. MARIN tarafından paylaşılan kıç koniklik açısı aşağı ve yukarı yönde 2.5 derece değiştirilerek aşağıdaki gibi tasarlanmıştır:



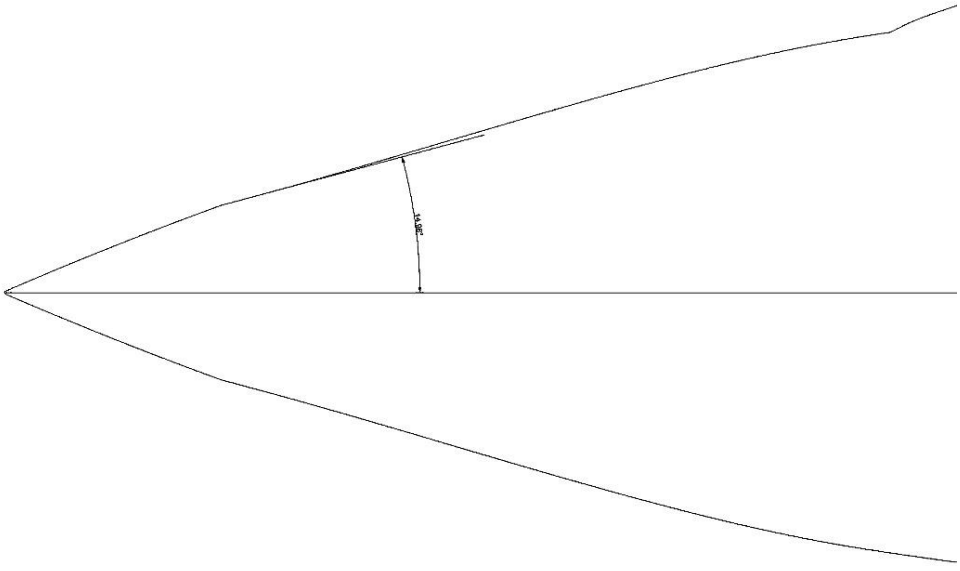
Şekil 5.8 BB2 Joubert denizaltısının +5° arttırılmış kıç koniklik açısı



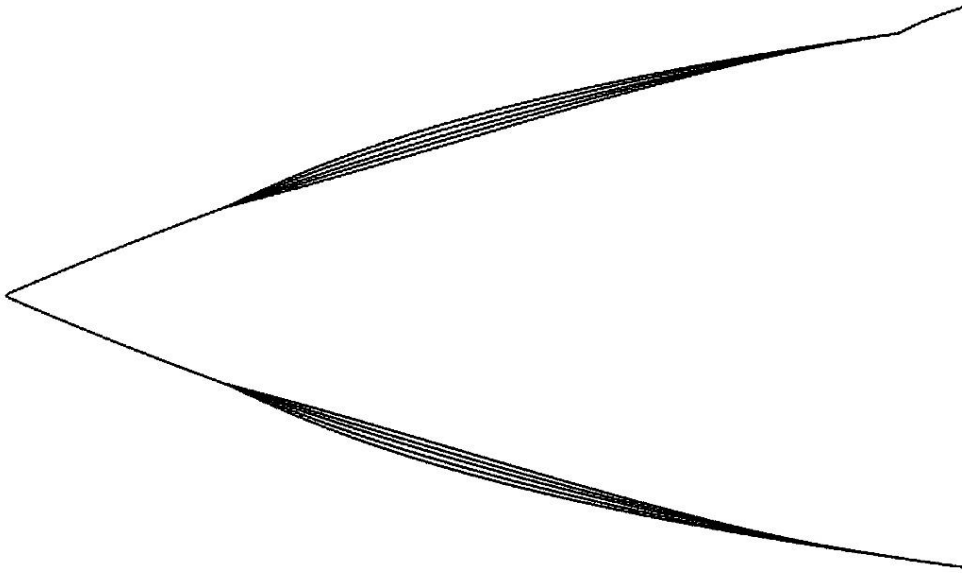
Şekil 5.9 BB2 Joubert denizaltısının +2.5° arttırılmış kıç koniklik açısı



Şekil 5.10 BB2 Joubert denizaltısının -2.5° azaltılmış kıç koniklik açısı



Şekil 5.11 BB2 Joubert denizaltısının -5° azaltılmış kıç koniklik açısı



Şekil 5.12 BB2 Joubert denizaltısının farklı kıç koniklik açılı durumları

BB2 Joubert denizaltı kıç formu sabit tutularak, beş farklı açı değerinde yeniden tasarlanmış ve sayısal analizlerde bu formlar kullanılmıştır. Beş farklı kıç konik açısındaki BB2 Joubert denizaltısının kıç form profil görüntüsü Şekil 5.12'de gösterilmiştir.

6
S7371R PERVANE VE BB2 JOUBERT DENİZALTI GEOMETRİLERİNİN HESAPLAMALI AKIŞKANLAR DİNAMİĞİ İLE ÇÖZÜMÜ

Bu bölümde S7371R pervanesi ve BB2 Joubert denizaltısı model ölçeğinde hesaplamalı akışkanlar dinamiği analizleri gerçekleştirilmiştir. Model ölçeğindeki S7371R pervanesi farklı ilerleme katsayısı değerlerinde açıksuda çalıştırılmış ve açık literatürdeki değerler doğrulanmıştır. Model ölçeğindeki pervanesiz denizaltı analizleri ortaya konmuş ve direnç değerleri elde edilmiştir. Ayrıca denizaltı formunun kıç koniklik açısı değiştirilmiş ve şartlar aynı tutularak kıç koniklik açısının direnç üzerindeki etkisi incelenmiştir.

Pervaneli denizaltı analizleri yürütülmüş ve literatüdeki itme indirgenmesi, pervane devri ve itmesi doğrulanmıştır. Denizaltı modelinin kıç koniklik açısı değiştirilmiş ve şartlar aynı tutularak kıç koniklik açısının sevk değerleri üzerindeki etkisi incelenmiştir.

6.1 Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Çözüm Yöntemi

Bu çalışmada hesaplamalı akışkanlar dinamiği çözümleri Ansys Fluent ile yürütülmüştür. Çözüm ağ oluşturulması ise Pointwise yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Model üzerinde yapılandırılmamış ya da yapılandırılmış diagnolize edilmiş ağ örgüsü oluşturulmuştur. Boyutsuz uzaklık y+=50 olacak şekilde sınır tabaka değeri hesaplanmış ve model yüzeyinden çözüm hacmi sınır yüzeyine tetrahedral yapıda, sınırdan 1.3 oranı ile büyüyen hücreler T-REX ile örülmüştür. Pervane ve denizaltı modelinde ağ bağımsızlığı için literatürde sıkça kullanılan $\sqrt[3]{2}$ değeri tercih edilmiştir. Ağ bağımsızlığı için sadece model yüzeyindeki ağ aralıkları değiştirilmiş ve ITTC tavsiyesi üzerine pervane modeli ve denizaltı modeli üç farklı ağ yoğunluğunda analiz edilmiştir [41]. Pervane ve denizaltı için uygun ağ yoğunluğu burada tespit edilerek pervaneli denizaltı ve kıç konikliği değiştirilmiş denizaltında bu yoğunluklar kullanılarak analizler yürütülmüştür.

Hesaplamalı akışkanlar dinamiği analizlerinde türbülanslı akışlar için uygun SST ve k-w türbülans modeli tercih edilmiştir. Çözüm için zamandan bağımsız akışlar için uygun SIMPLE şeması tercih edilmiştir. Ayrıca Green-Gauss Nod Based ayrıklaştırması,

PRESTO metodu tercih edilmiştir. Çözümde kullanılan diğer şart ve değerler Tablo 6.1'de paylaşılmıştır.

Tablo 6.1 Çözümde kullanılan şemalar ve türbülans sınır şartları

	S7371R Pervanesi	BB2 Joubert	Pervaneli BB2 Joubert
Basınç ayrıklaştırması	Standart	İkinci mertebe	İkinci mertebe
Momentum denklemleri	QUICK	İkinci mertebe	İkinci mertebe
Türbülans kinetik enerjisi	QUICK	İkinci mertebe	QUICK
Spesifik yayılma oranı	QUICK	İkinci mertebe	QUICK
Türbülans Yoğunluğu	2	2	2
Türbülans viskozite oranı	5	5	5

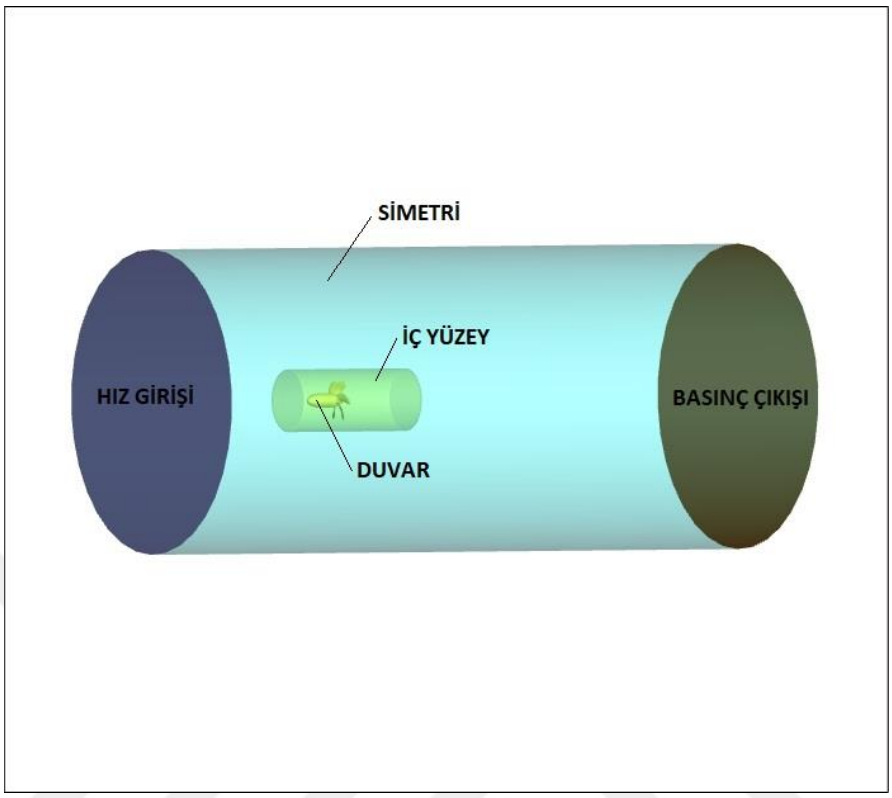
6.2 S7371 Pervanesinin Açık Su Karakteristik Değerleri Analizlerinin Yapılması

6.2.1 Çözüm Yöntemi

S7371R pervanesi model ölçeğinde analiz yapılmıştır. Bu analiz için pervane modeli, 16.5xD uzunluğunda, 7.3xD çapında bir silindir içerisine, akışkan giriş yüzeyinden 5.5xD gerisine Şekil 6.1'de görüldüğü gibi yerleştirilmiştir. Ayrıca pervaneye dönme hareketi verebilmek için pervane çevresine 3.3xD uzunluğunda, 1.5xD çapında daha küçük bir silindir, akışkan giriş yüzeyinden 1.3xD geriye Şekil 6.1'de görüldüğü gibi yerleştirilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi pervane yüzeyi kaydırmaz duvar, küçük silindir yüzeyleri interface, büyük silindir çevresi simetri, büyük silindire akışkanın girdiği yüzey hız giriş ve büyük silindirden akışın çıktığı yüzey basınç çıkışı olarak tanımlanmıştır.

Bu çalışmada pervane devri, 900 rpm olarak sabit tutulmuş ve pervaneye gelen akış hızı değiştirilerek analizler yürütülmüştür. Ponterelli ve diğerlerinin [42] çalışmasındaki ilerleme hızı değerleri üzerinde analizler gerçekleştirilmiştir. Ağ bağımsızlığı için $\sqrt[3]{2}$

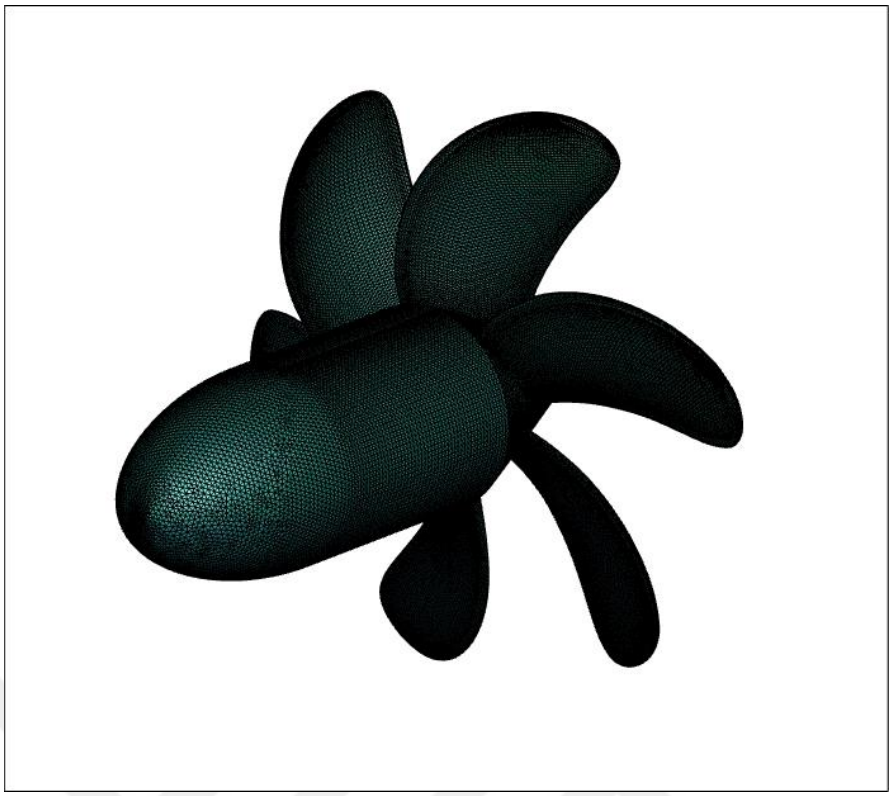
oranı tercih edilmiş ve üç farklı ağ yoğunluğunda analizler çalıştırılmıştır. Seçilen hız, ilerleme hızı, ağ yoğunluk hücre sayıları Tablo 6.2'de gösterilmiştir.



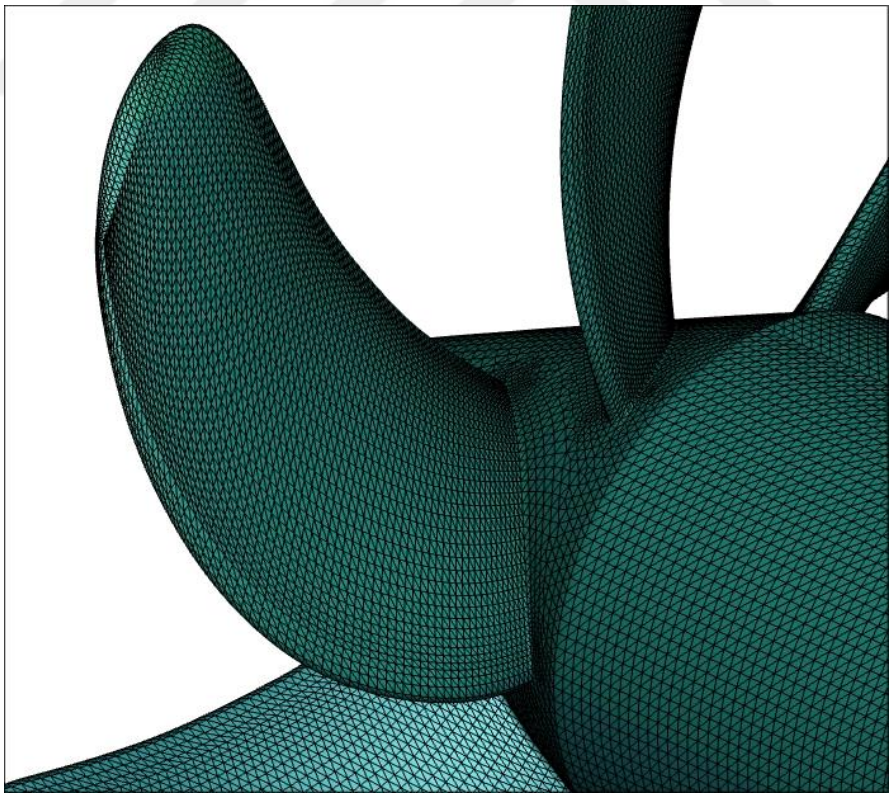
Şekil 6.1 S7371R pervanesi çözüm hacmi ve sınır koşulları

Tablo 6.2 S7371R pervanesi ağ yoğunlukları ve çalışma koşulları

	Küçük Silindir Hücre Sayısı	Büyük Silindir Hücre Sayısı	İlerleme Katsayısı	Devir	Akış Hızı
Seyrek Ağ Yoğunluğu	2.32 x10^6	0.14 x10^6	0.3	900	1.2285
Orta Ağ Yoğunluğu	3.5 x10^6	0.28 x10^6	0.5	900	2.0475
Sık Ağ Yoğunluğu	8.3 x10^6	0.82 x10^6	0.7	900	2.8665



Şekil 6.2 S7371R pervane yüzeyi seyrek yoğunluk çözüm ağı



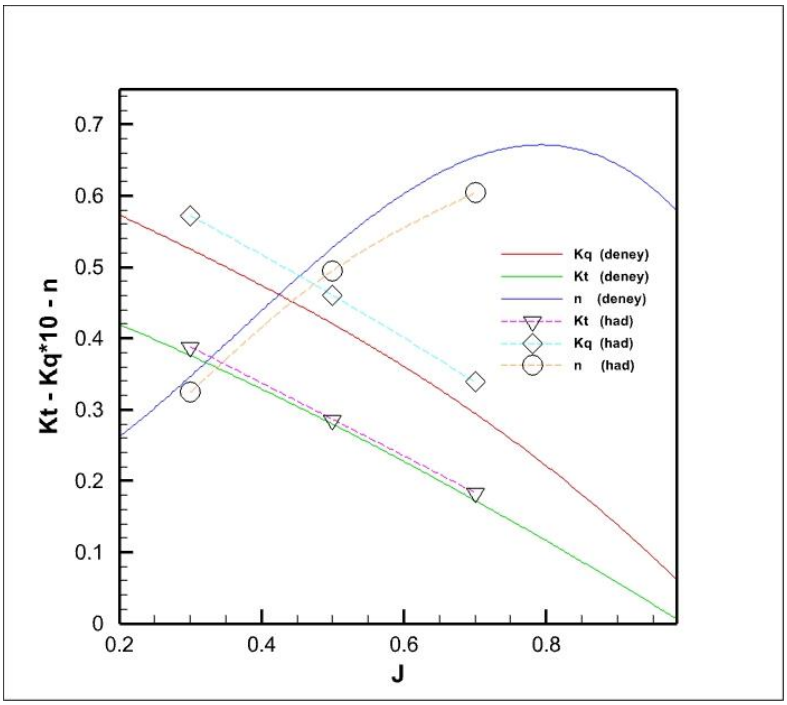
Şekil 6.3 S7371 pervanesi kanat yüzeyi seyrek yoğunluk çözüm ağı

6.2.2 Çözüm Sonuçları

Üç farklı çözüm ağı yoğunluğunda yürütülen analizler sonucunda Tablo 6.3'teki değerler elde edilmiştir. Sonuçlar deney değerleri ile karşılaştırılmış ve Tablo 6.4'teki değerler elde edilmiştir. Tablo 6.4'te de görüleceği gibi J=0.3 ilerleme katsayısı için sık yoğunlukta %3, orta yoğunluk için %5-6 ve seyrek yoğunluk %3-7 hata oranları ile K_T ve K_Q değerleri hesaplanmıştır. Sonuçların deney ile iyi bir uyum içinde olduğu görülmektedir. Bu ağ yoğunluklarından sık ağ yoğunuğu, denizaltı kendi kendini itme noktası hesaplarında kullanılmıştır.

Tablo 6.3 S7371R pervanesi farklı yoğunlukta çözüm değerleri

	J	T	Q	K_T	K_Q
SIK MESH	0.3	484.2003	19.4745	0.3881	0.0572
	0.5	357.1672	15.6855	0.2863	0.0461
	0.7	228.8911	11.5288	0.1835	0.0339
ORTA MESH	0.3	493.9186	20.0468	0.3959	0.0589
	0.5	366.7533	16.2397	0.2940	0.0477
	0.7	239.7365	12.1115	0.1922	0.0356
SEYREK MESH	0.3	481.5771	20.2625	0.3860	0.0595
	0.5	360.2788	16.5280	0.2888	0.0485
	0.7	231.7521	12.4150	0.1858	0.0365



Şekil 6.4 S7371R pervanesi açıksu değeri ve sık çözüm ağı çözüm değerleri

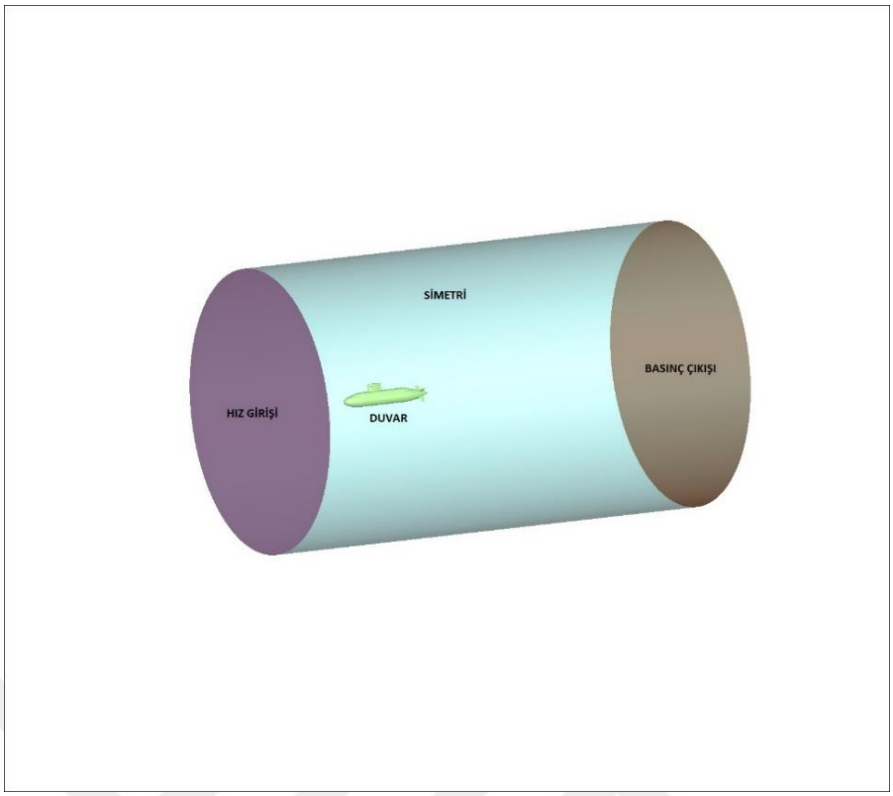
Tablo 6.4 S7371R pervanesi analiz sonuçları hata oranları [42]

Hata Değerleri	J	K_T (%)	K_Q (%)
SIK MESH	0.3	3.7474	3.4783
	0.5	2.4262	9.5942
	0.7	5.7533	14.772
ORTA MESH	0.3	5.8297	6.5191
	0.5	5.1753	13.4660
	0.7	10.764	20.5736
SEYREK MESH	0.3	3.1854	7.6653
	0.5	3.3185	15.4803
	0.7	7.0751	23.5945

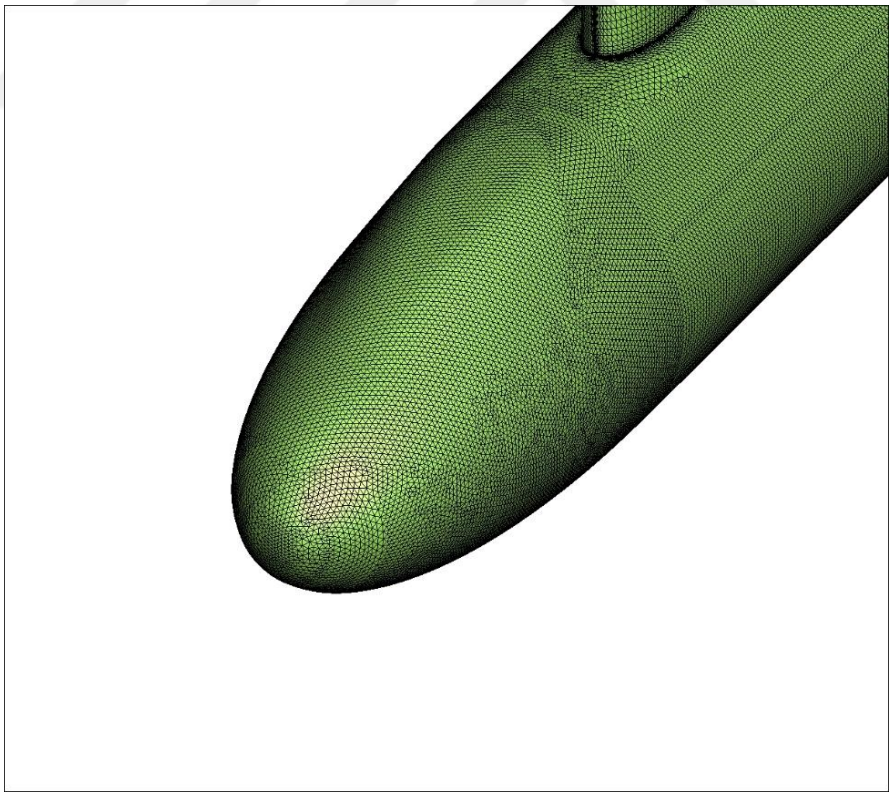
6.3 BB2 Joubert Denizaltısının Direnç Analizlerinin Yapılması

6.3.1 Çözüm Yöntemi

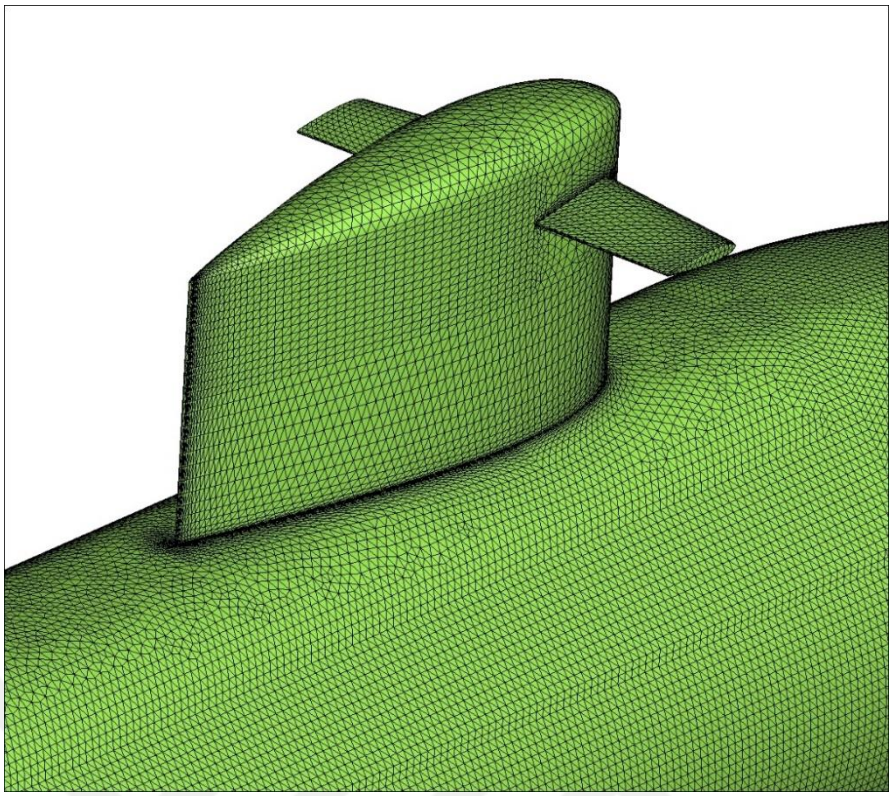
BB2 Joubert denizaltı modelinin analizi yapılırken model, 5xL uzunluğunda, 3xL çapında bir silindir içerisine, akışkan giriş yüzeyinden 1xL gerisine Şekil 6.5'te görüldüğü gibi yerleştirilmiştir. Şekil 6.5'te görüldüğü gibi denizaltı yüzeyi kaydırmaz duvar, silindirin dış yüzeyi simetri olarak tanımlanmıştır. Ayrıca silindirde akışkanın giriş yüzeyi hız girişi, akışkanın çıkış yüzeyi basınç çıkışı olarak tanımlanmıştır. Uzunluk olarak denizaltı boyu seçilerek Reynold sayısı, $4{,}56 \times 10^6$ olarak hesaplanmıştır. Ayrıca y+ değeri 50 alınarak sınır tabaka değeri 1,09432 olarak hesaplanmıştır.



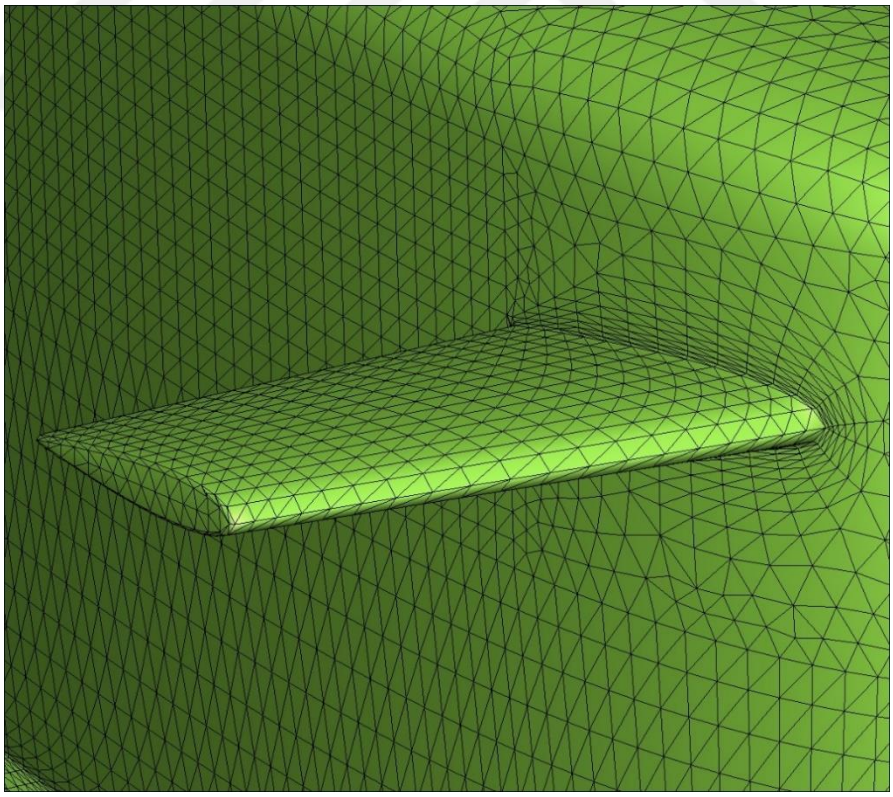
Şekil 6.5 BB2 denizaltı modeli çözüm hacmi sınır tanımları



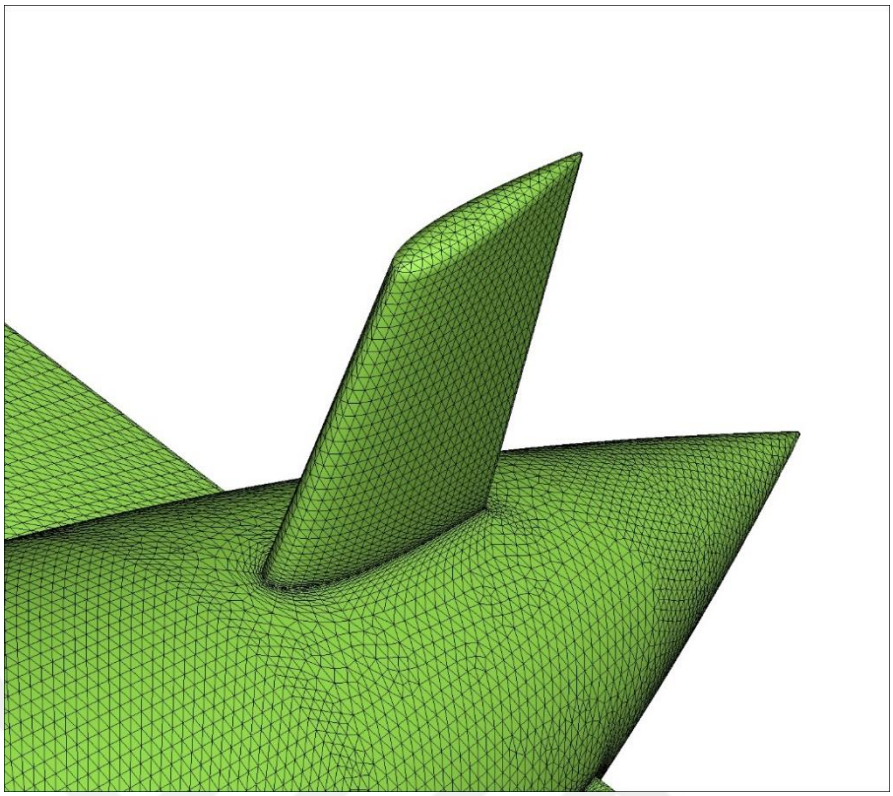
Şekil 6.6 BB2 denizaltı modeli baş taraf orta yoğunluk çözüm ağı



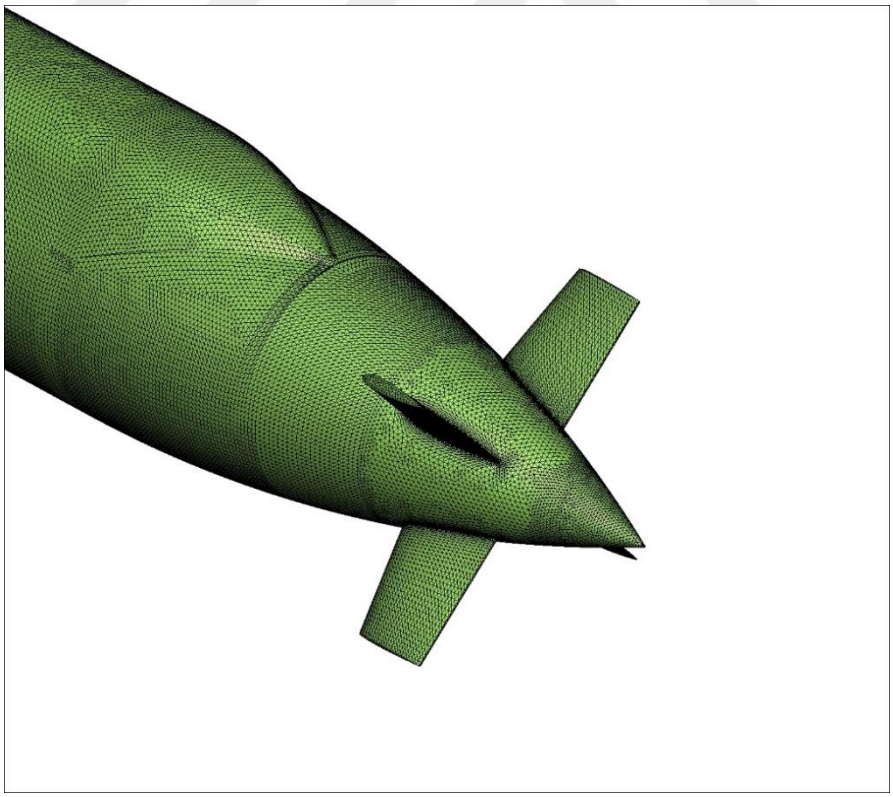
Şekil 6.7 BB2 denizaltı modeli yelken tarafı orta yoğunluk çözüm ağı



Şekil 6.8 BB2 denizaltı modeli yelken yani kanat tarafı orta yoğunluk çözüm ağı



Şekil 6.9 BB2 denizaltı modeli kıç dümen tarafı orta yoğunluk çözüm ağı



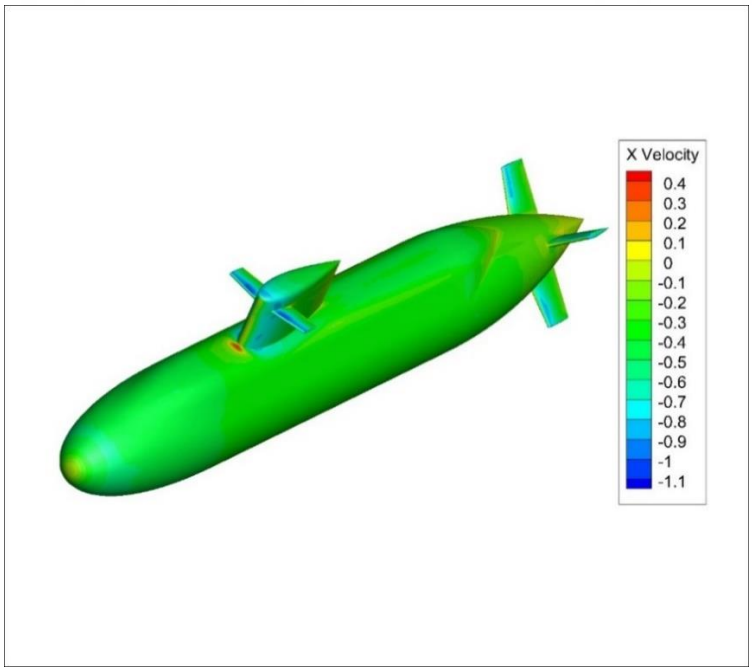
Şekil 6.10 BB2 denizaltı modeli kıç taraf orta yoğunluk çözüm ağı

6.3.2 Çözüm Sonuçları

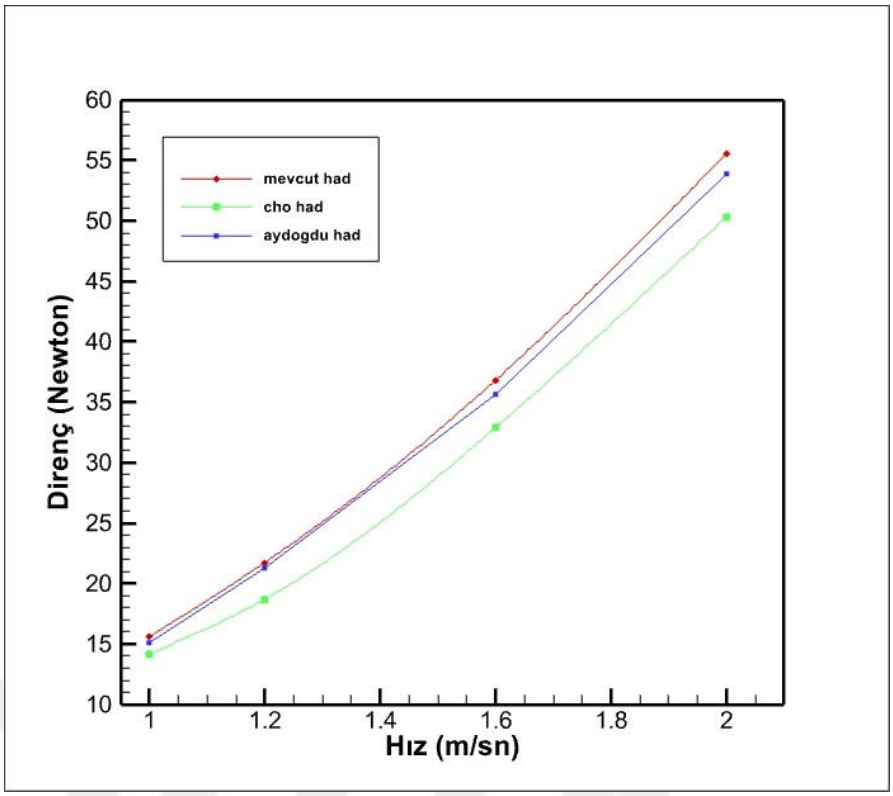
BB2 Joubert denizaltı modeli hesaplamalı akışkanlar mekaniği ile Ansys Fluent üzerinde direnç analizi yapılmıştır. Literatürde deneysel sonuç olmaması sebebi ile sonuçlar karşılaştırılamamıştır. Sık, orta ve seyrek ağ yoğunluklarında gerçekleştirilen analizden çıkan sonuçları Tablo 6.5'te gösterilmiştir. Sonuçların yakın olmasıyla ağ yoğunluk bağımsızlığı sağlanmıştır. Orta ağ yoğunluğu seçilerek Bölüm 3'te anlatılan ITTC yöntemi ile model ölçekten gerçek ölçeğe geçilmiş ve sonuç Tablo 6. 5'te verilmiştir. Ayrıca orta yoğunluğu farklı hızlarda çalıştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar Cho vd. [30] ve Aydoğdu vd. [32] analiz sonuçları ile karşılaştırılarak sonuçlar Şekil 6.12'de gösterilmiştir.

Tablo 6.5 BB2 Denizaltı modeli direnç analizi çözüm ağı bağımsızlaştırması

Hız 1.2 m/s	Hacim Hücre Sayısı	Model Ölçek HAD Analiz Değerleri (Newton)	ITTC 1978 ile Gerçek Ölçek Geçiş Değerleri (Newton)
Seyrek Ağ Yoğunluğu	5.7x106	22.103	87947.905
Orta Ağ Yoğunluğu	11.2x106	21.676	86580.999
Sık Ağ Yoğunluğu	22.0x106	21.581	86276.888



Şekil 6.11 BB2 denizaltı modeli yüzeyinde hız değerleri



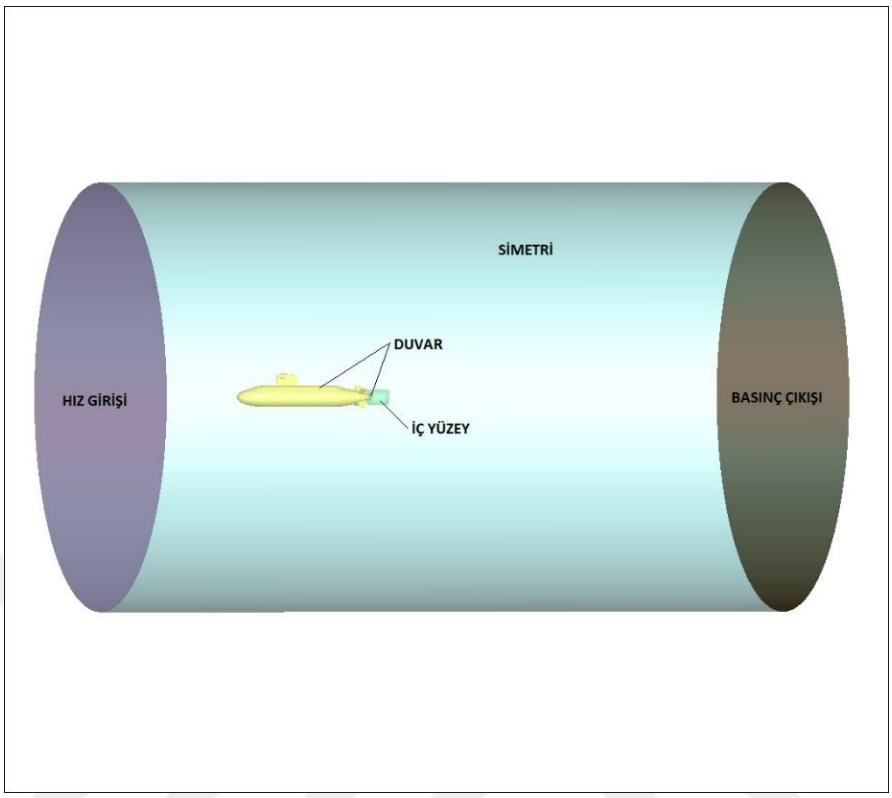
Şekil 6.12 BB2 Joubert denizaltısının farklı hızlarda direnç değerleri ve karşılaştırılması

6.4 S7371 Pervaneli BB2 Joubert Denizaltısının Sevk Analizlerinin Yapılması

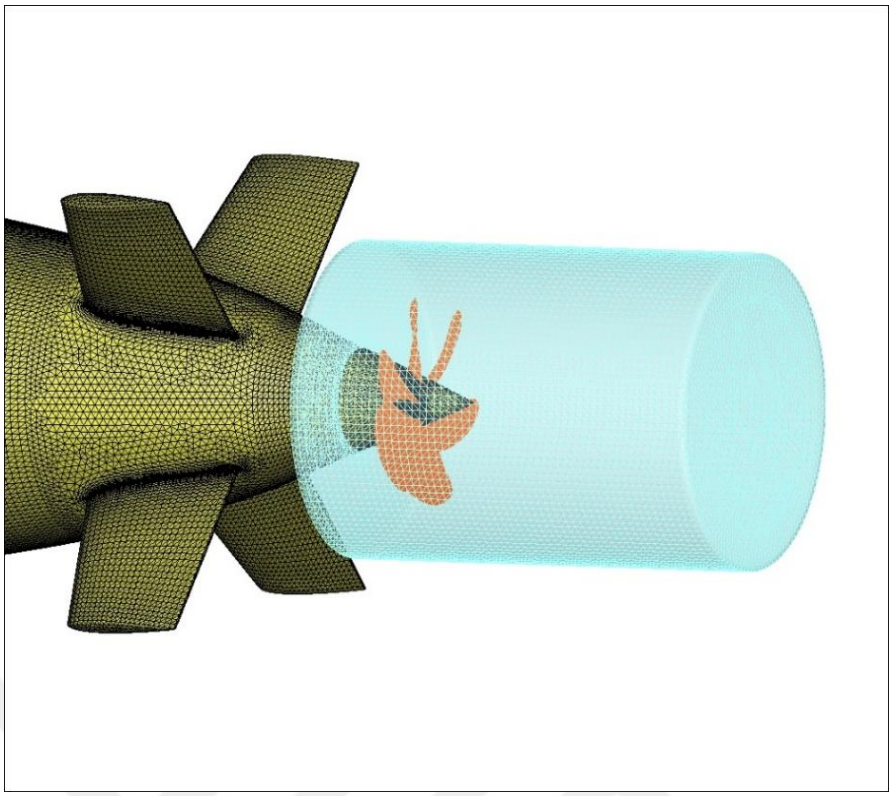
6.4.1 Çözüm Yöntemi

Pervaneli denizaltı modelinin sevk noktasının belirlemesinde değişken yüklemeli sevk deneyi yöntemi kullanılmıştır. Bu yönteme göre denizaltı hızı sabit tutularak pervane devri değiştirilmiştir. Bu analizlerde daha önce pervane ve denizaltı çözüm ağından bağımsızlaştırma yönteminde belirlenen ağ yoğunlukları kullanılmış ve pervaneli denizaltı modeli çözüm ağı oluşturulmuştur. Pervaneli denizaltı modelinin analizi yapılırken pervane, 2xD uzunluğunda, 1,5xD çapında bir küçük silindir içerisine Şekil 6.12'de görüldüğü gibi yerleştirilmiştir. Pervaneli denizaltı modeli ise, 5xL uzunluğunda, 3xL çapında bir büyük silindir içerisine, akışkan giriş yüzeyinden 1xL gerisine Şekil 6.12'de görüldüğü gibi yerleştirilmiştir. Ayrıca büyük silindirde akışkanın giriş yüzeyi hız girişi, akışkanın çıkış yüzeyi basınç çıkışı, küçük silindir yüzeyi iç yüzey, denizaltı ve pervane yüzeyleri ise duvar olarak tanımlanmıştır. Pervaneli denizaltına gelen akış hızı 1,2 m/s olarak belirlenmiş ve pervane çevresindeki küçük hacime MRF yöntemi ile 190,

250, 270, 300 ve 370 devir/dakika ile dönme hareketi verilmiştir. Buradan elde edilen sevk noktasındaki itme ve tork değerlerinden iz katsayısı ve itme azalması hesaplanmıştır.



Şekil 6.13 Pervaneli denizaltı modeli çözüm hacmi sınır tanımları



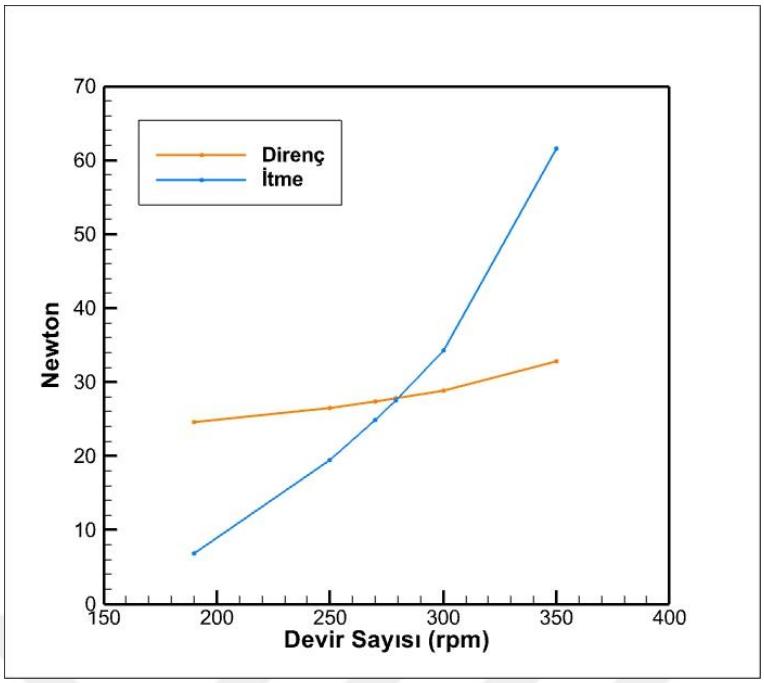
Şekil 6.14 Pervane çevresi küçük hacim ağ görünümü

6.4.2 Çözüm Sonuçları

Bu çalışmada sevk noktasını belirlemek için değişken yüklemeli sevk yöntemi uygulanmıştır. Model ölçekteki pervaneli denizaltıya 1.2 m/s akış hızı verilmiştir. Tablo 6.6'daki devirlerde pervane çalıştırılmıştır. Pervane itmesi ve denizaltı direnç değerleri kesişiminden sevk noktasındaki pervane devri elde edilmiştir.

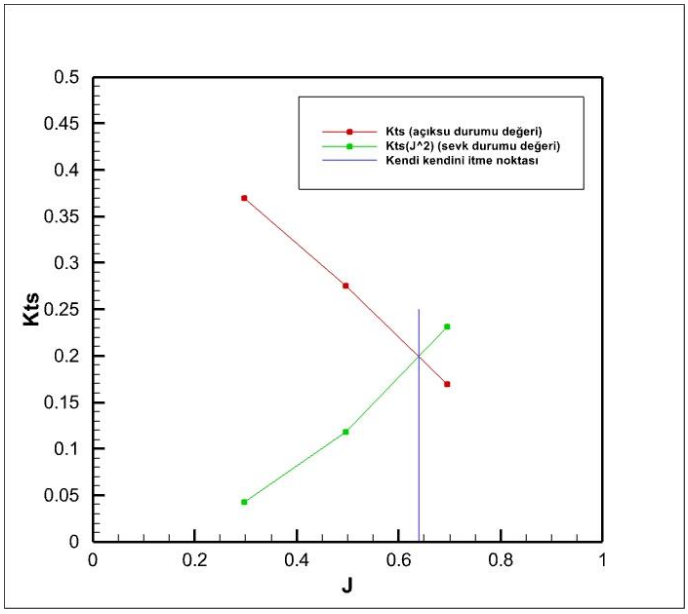
Tablo 6.6 Sevk noktası belirlemek için yapılan analiz sonuçları (ITTC 1978 için)

n (rpm)	190	250	270	279	300	370
T(N)=	6.7923	19.4907	24.8793	27.5714	34.2976	61.5652
R(N)=	24.5341	26.4908	27.3389	27.7512	28.8438	32.7838



Şekil 6.15 Sevk noktasının belirlenmesi

Şekil 6.15'te görülen kesişimden model ölçeğin sevk noktası 279 rpm olarak elde edilmiştir. Bu noktada çalıştırılan analiz sonuçları Tablo 6.6'da görülmektedir. Farklı yükleme durumundaki değerler kullanılarak sevk durumu için $K_{TS}(J^2)$ eğrisi çizdirilmiş ve Şekil 6.16'da görüldüğü gibi S7371R açıksu pervane eğrisi üzerindeki K_{TS} ile kesişim değeri okunmuştur.



Şekil 6.16 Gerçek ölçek BB2 Joubert denizaltsının kendi kendini itme noktası

Buradan elde edilen sonuçlar ITTC 1978 yöntemine göre model ölçekten gerçek ölçeğe geçilmiş ve elde edilen sonuçlar literatürdeki sonuçlar ile Tablo 6.7'de karşılaştırılmıştır.

Tablo 6.7 ITTC 1978'e göre literatür değerlerinin karşılaştırılması [28]

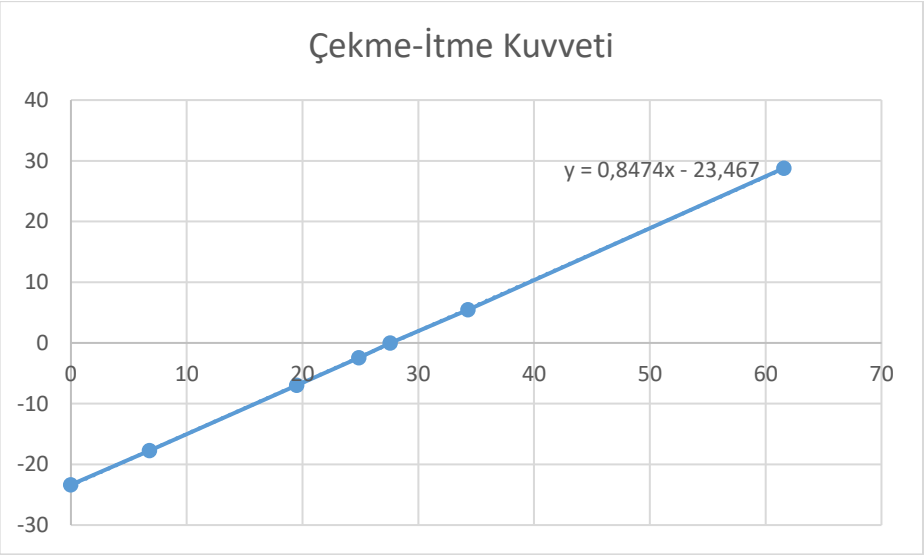
	ITTC 1978	DENEY	HAD 1	HAD 2	HAD 3	DENEY HATA (%)	HAD1 HATA (%)	HAD2 HATA (%)	HAD3 HATA (%)
Ts	155,383	161,5	154,4	157,2	156,3	3,8	0,6	1,2	0,6
Kt	0,236	0,228	0,234	0,219	0,215	3,3	0,7	7,6	9,6
10*Kq	0,400	0,369	0,387	0,366	0,37	8,5	3,5	9,4	8,2
(1-t)	0,680	n/a	0,776	0,765	n/a	n/a	12,4	11,1	n/a
n (rpm)	60,880	63,1	61	63,5	64,2	3,5	0,2	4,1	5,2

Ayrıca değişken yüklemeli sevk deneyi yöntemine göre farklı yükleme durumundaki Tablo 6.8'deki değerler. Şekil 6.17'deki gibi çizdirilmiş ve çizginin eğiminden itme azalması değeri elde edilmiştir.

Tablo 6.8 Sevk noktası belirlemek için yapılan analiz sonuçları (Load varying için)

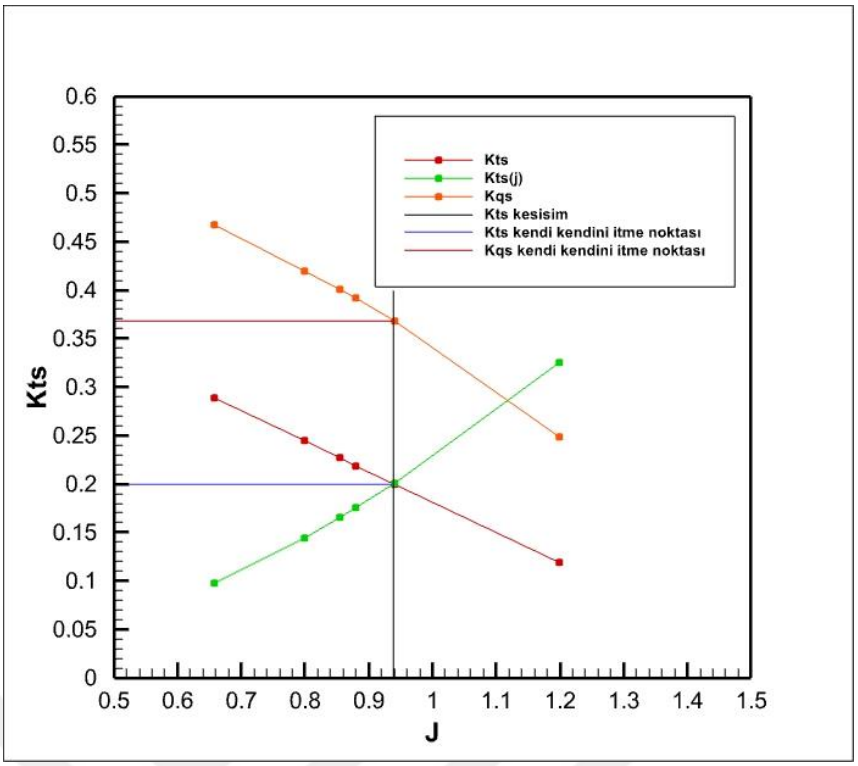
n (rpm)	idling durumu	190	250	270	300	370
T(N)=	0	6.7923	19.4907	24.8793	34.2976	61.5652
R(N)=	23.3579	24.5341	26.4908	27.3389	28.8438	32.7838

Tablo 6.8'deki idling durumu pervaneli denizaltının pervane itmesi sıfır olacak şekilde pervaneye devir verilmiştir. Yani itme kuvvet vermeyecek şekilde serbest dönmeye bırakılmıştır.



Şekil 6.17 20° açısındaki pervaneli denizaltının çekme itme kuvveti eğrisi

Ayrıca Tablo 6.8'deki farklı yükleme durumundaki değerler kullanılarak sevk durumu için $K_{TS}(J^2)$ eğrisi çizdirilmiş ve Şekil 6.18'de görüldüğü gibi farklı yükleme durumunda çizdirilen K_{TS} ve K_{QS} eğrileri ile bunların kesişimleri okunmuştur. Bu kesişimler gerçek ölçekteki denizaltının sevk noktasındaki K_{TS} ve K_{QS} değerlerini ifade etmektedir. Buradan değişken yüklemeli sevk deneyi yöntemine göre model ölçekten gerçek ölçeğe geçilmiş ve elde edilen sonuçlar literatürdeki sonuçlar ile Tablo 6.9'da karşılaştırılmıştır.

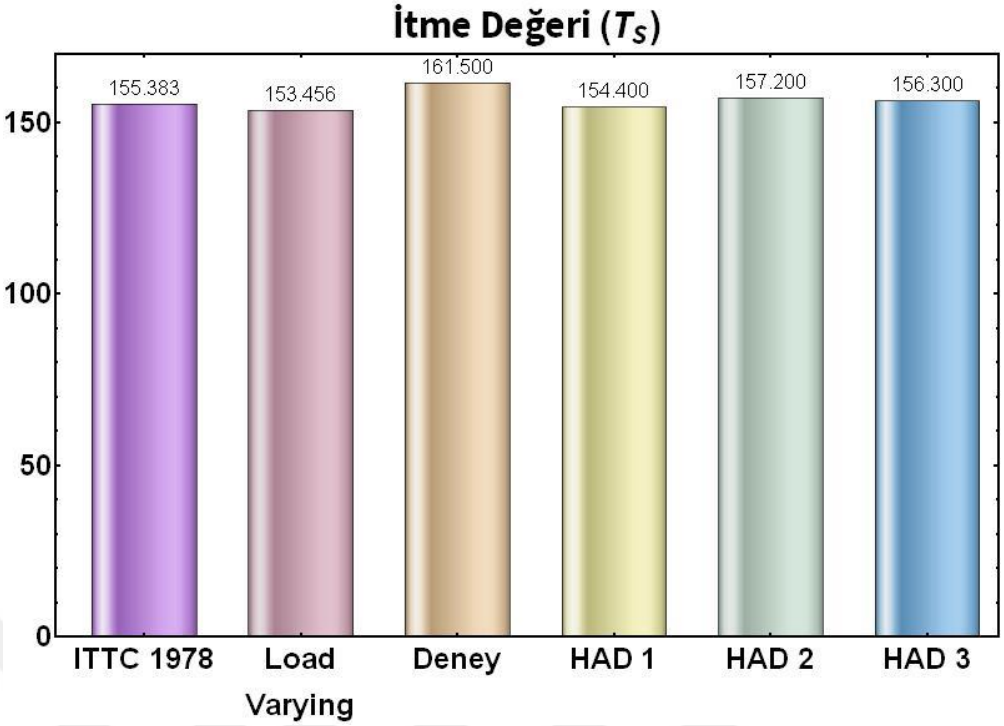


Şekil 6.18 Gerçek ölçek BB2 Joubert denizaltsının kendi kendini itme noktası

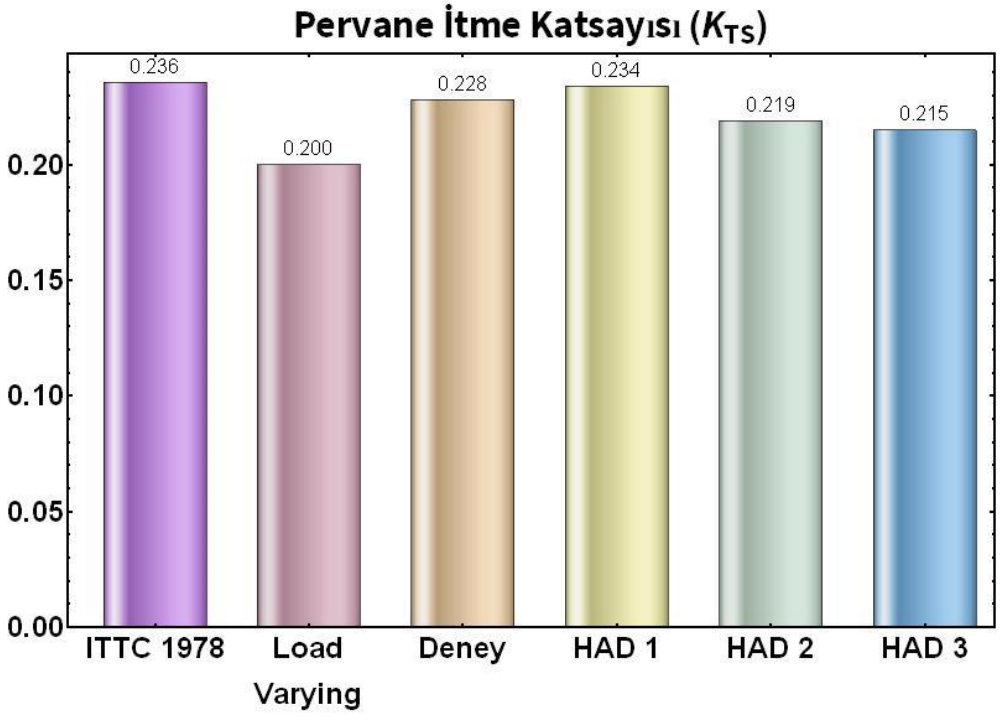
Tablo 6.9 Load Varying'e göre literatür değerlerinin karşılaştırılması [28]

	LOAD VARYING	DENEY	HAD 1	HAD 2	HAD 3	DENEY HATA (%)	HAD1 HATA (%)	HAD2 HATA (%)	HAD3 HATA (%)
Ts	153,456	161,5	154,4	157,2	156,3	5,0	0,6	2,4	1,8
Kt	0,200	0,228	0,234	0,219	0,215	12,3	14,5	8,7	7,0
10*Kq	0,368	0,369	0,387	0,366	0,37	0,4	5,0	0,5	0,6
(1-t)	0,847	n/a	0,776	0,765	n/a	n/a	9,2	10,8	n/a
n (rpm)	65,693	63,1	61	63,5	64,2	4,1	7,7	3,5	2,3

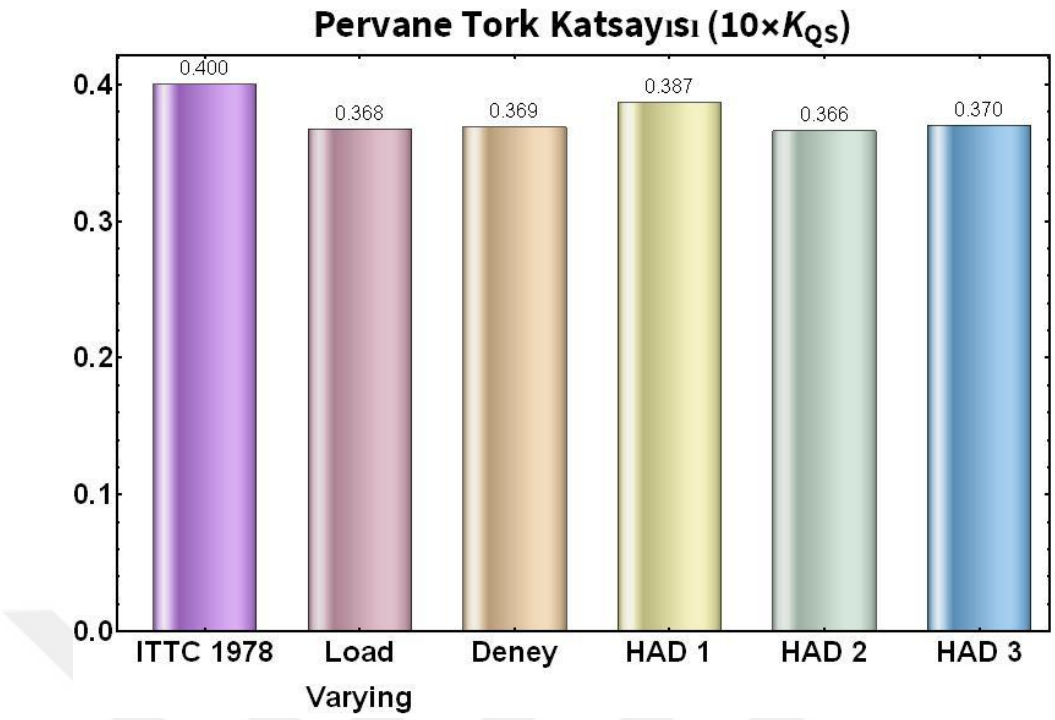
Tablo 6.7 ve Tablo 6.9'daki değerler incelendiğinde değişken yüklemeli sevk deneyi yöntemi (load varying) ve ITTC 1978 yönteminin sevk analizlerinde modelden gerçek ölçeğe geçişte uygun olduğu görülmüştür. Deney değerleri ile karşılaştırıldığında gerçek ölçek itme değeri, pervane itme katsayısı ve pervane devri tahmininde ITTC 1978, pervane tork katsayısında ise değişken yüklemeli sevk deneyi yönteminin daha uygun olduğu görülmüştür. Literatürdeki HAD değerleri ile karşılaştırıldığında itme azalmasının tahmininde değişken yüklemeli sevk deneyi yönteminin (load varying) daha yakın değerler elde ettiği görülmüştür.



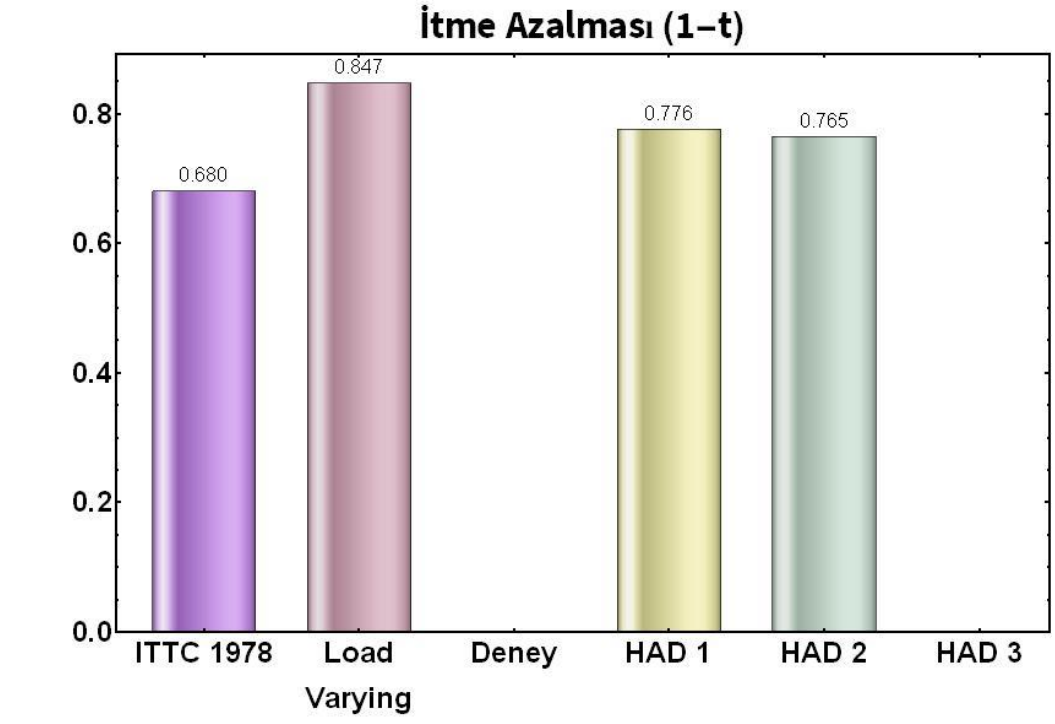
Şekil 6.19 Sevk noktasındaki itme değerinin litertür ile karşılaştırılması



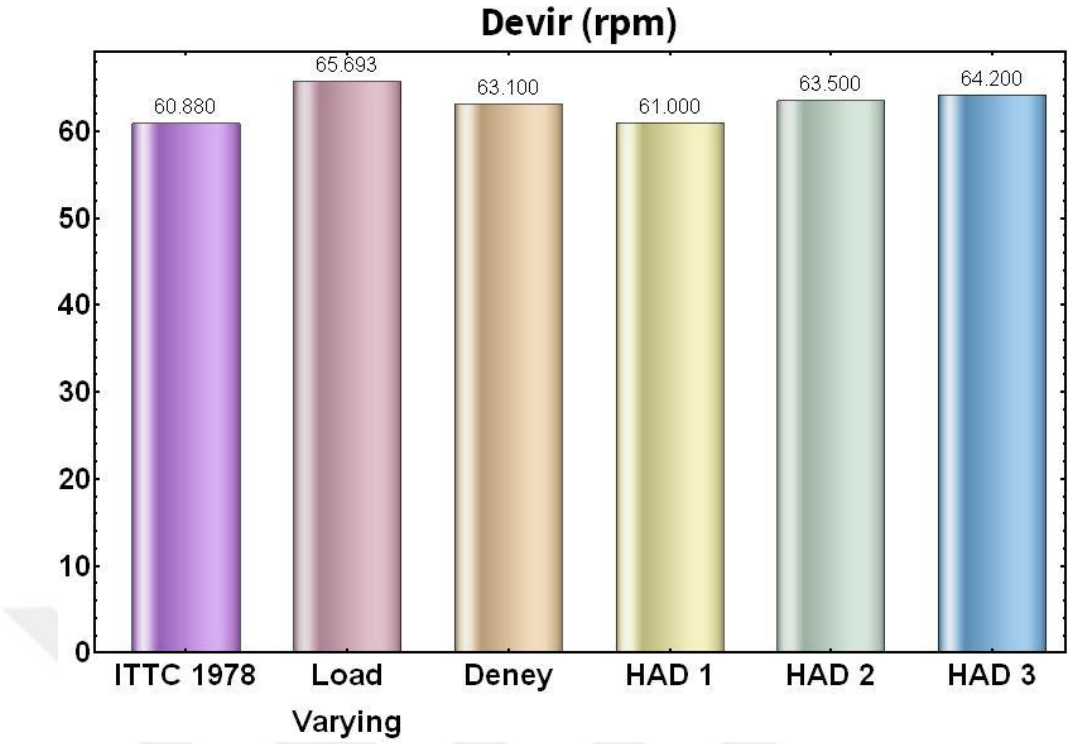
Şekil 6.20 Sevk noktasındaki pervane itme katsayısının litertür ile karşılaştırılması



Şekil 6.21 Sevk noktasındaki pervane tork katsayısının litertür ile karşılaştırılması



Şekil 6.22 Sevk noktasındaki itme azalması değerinin litertür ile karşılaştırılması



Şekil 6.23 Sevk noktasındaki pervane tork katsayısının litertür ile karşılaştırılması

Yukarıdaki şekillerde görüldüğü gibi itme azalması hariç diğer değerler literatürdeki değerlere göre iki yöntemde de yakın değerler olarak hesaplanmıştır.

6.5 Farklı Kıç Koniklik Açılı BB2 Joubert Denizaltı Geometrisinin Direnç Analizlerinin Yapılması

6.5.1 Çözüm Yöntemi

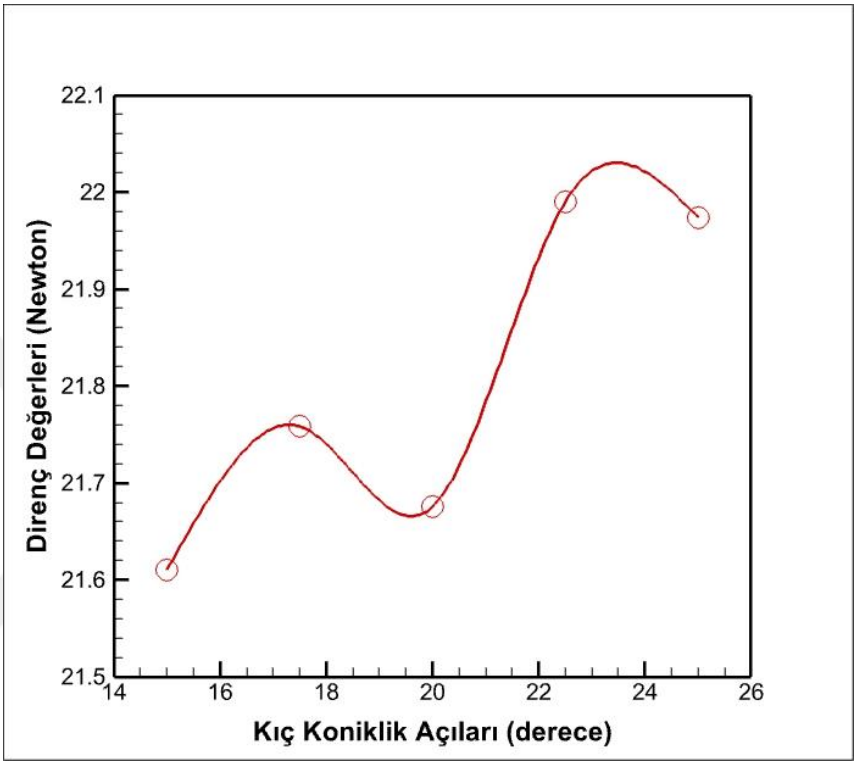
Pervaneli denizaltı modelinin kıç formu, Şekil 5.12'de görüldüğü gibi +5, +2.5, -2.5 ve -5 derece olacak şekilde değiştirilerek tasarlanmıştır. Tasarlanan dört farklı kıç formlu denizaltı modellerinin, direnç analizindeki sınır şartları ve başlangıç koşulları sabit tutularak analizler tekrarlanmıştır.

6.5.2 Çözüm Sonuçları

Kıç koniklik açısı değiştirilen modeller orta ağ yoğunluğu ile çözüm ağı oluşturulmuş ve 1.2 m/s hızında analiz edilmiştir. Kıç koniklik açısının direnç üzerine etkisi incelenen bu analizlerin sonuçları Tablo 6.6'de paylaşılmıştır. Ayrıca kıç koniklik açısı direnç eğrisi Şekil 6.14'te gösterilmiştir.

Tablo 6.10 BB2 Denizaltı modeli farklı kıç koniklik açılı direnç analizi

Kıç Konik Açısı	Direnç (N)	Islak Alan (m^2)	Deplasman (m^3)
25°	21,9741	6,3942	0,7086
22,5°	21,9901	6,3851	0,7072
20°	21,6755	6,3747	0,7055
17,5°	21,7584	6,3680	0,7044
15°	21,6102	6,3597	0,7030



Şekil 6.24 BB2 denizaltı modeli farklı kıç koniklik açılı direnç değerler eğrisi

6.6 Farklı Kıç Koniklik Açılı BB2 Joubert Denizaltı Geometrisinin Idling Durumundaki Direnç Analizi

6.6.1 Çözüm Yöntemi

Pervaneli denizaltı modeli kıç formu, Şekil 5.12'de görüldüğü gibi +5, +2.5, -2.5 ve -5 derece olacak şekilde değiştirilerek tasarlanmıştır. Pervaneli durumda tasarlanmış olan farklı kıç koniklik formundaki bu denizaltı modelleri sevk analizindeki sınır şartları ve başlangıç koşulları sabit tutularak analizler tekrarlanmıştır. Bu çalışmada pervane idling durumunda, yani serbest dönmeye bırakılmıştır. Deneyde kullanılan bu yöntemde çekilen denizaltı çevresindeki akış ile pervane serbest olarak dönmektedir. Bu analizde de

pervane itmesi sıfır olacak şekilde, pervaneye küçük devirler verilerek sevkli duruma benzer analiz gerçekleştirilmiştir.

6.6.2 Çözüm Sonuçları

Kıç koniklik açısı değiştirilen pervaneli modeller 1.2 m/s hızında analiz edilmiştir. Idling durumunda çalıştırılan bu analizler sonuçları Tablo 6. 11'de paylaşılmıştır.

Tablo 6.11 BB2 Joubert denizaltısı idling durumu direnç değerleri

Kıç Konik Açısı	Idling Durumu Direnç Değerleri (N)
25°	23,2834
22,5°	23,1551
20°	23,3579
17,5°	23,1192
15°	22,8543

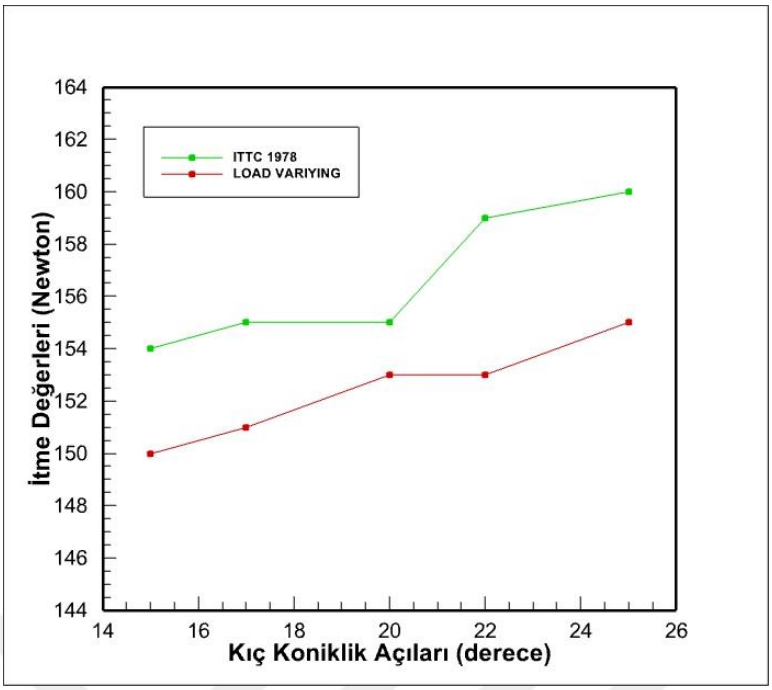
6.7 Farklı Kıç Koniklik Açılı BB2 Joubert Denizaltı Geometrisinin Sevk Analizlerinin Yapılması

6.7.1 Çözüm Yöntemi

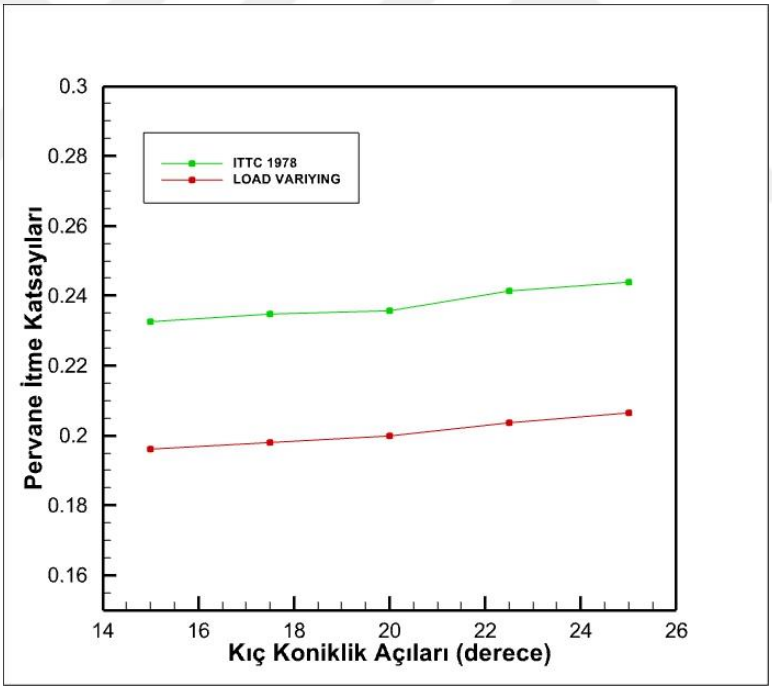
Pervaneli denizaltı modeli kıç formu, Şekil 5.12'de görüldüğü gibi +5, +2.5, -2.5 ve -5 derece olacak şekilde değiştirilerek tasarlanmıştır. Tasarlanan 4 farklı kıç formlu denizaltı modellerinin, sevk analizindeki sınır şartları ve başlangıç koşulları sabit tutularak analizler tekrarlanmıştır.

6.7.2 Çözüm Sonuçları

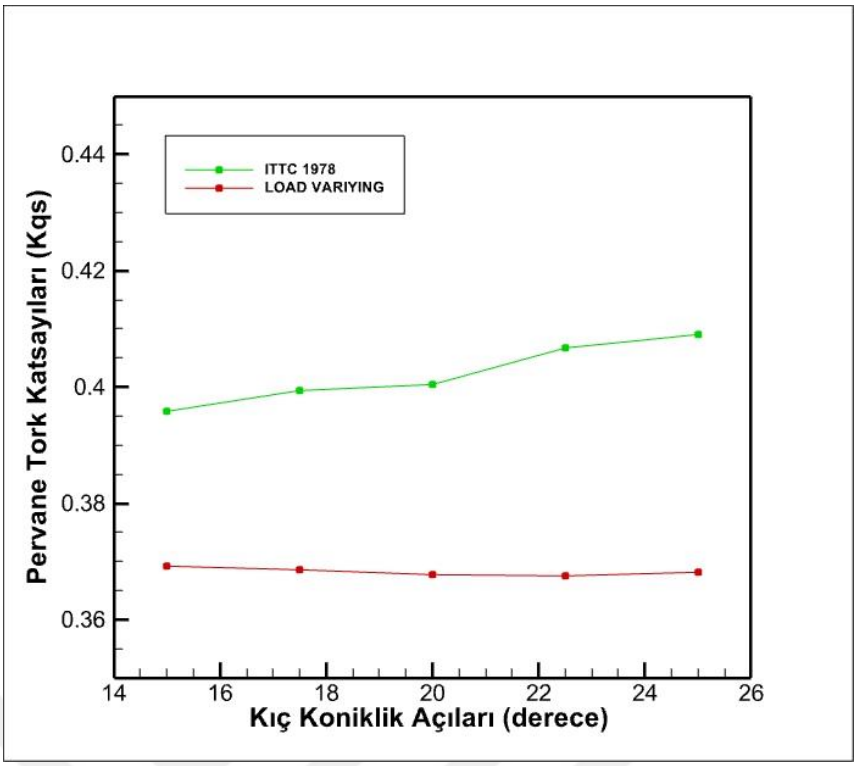
Farklı kıç koniklik açılarında sevk analizleri yürütülmüştür. Her kıç koniklik açısında pervane itme değeri, pervane itme katsayısı, pervane tork katsayısı, itme azalması ve pervane devri değişken yüklemeli sevk deneyi yöntemine göre (load varying) ve ITTC 1978 yöntemine göre hesaplanmıştır. İki yönteme göre ve her kıç koniklik açısına göre hesaplanan bu değerler Şekil 6.25, Şekil 6.26, Şekil 6.27, Şekil 6.28 ve Şekil 6.29'da karşılaştırılmıştır. Bu şekillerde iki yöntemin uyum içinde olduğu görülmektedir. Ayrıca kıç koniklik açısının sevk değerleri üzerine etkisi olduğu değerlendirilmektedir. Şekil 6.30'da ise farklı açılardaki tekne, bağıl dönme ve sevk verimleri karşılaştırılmıştır.



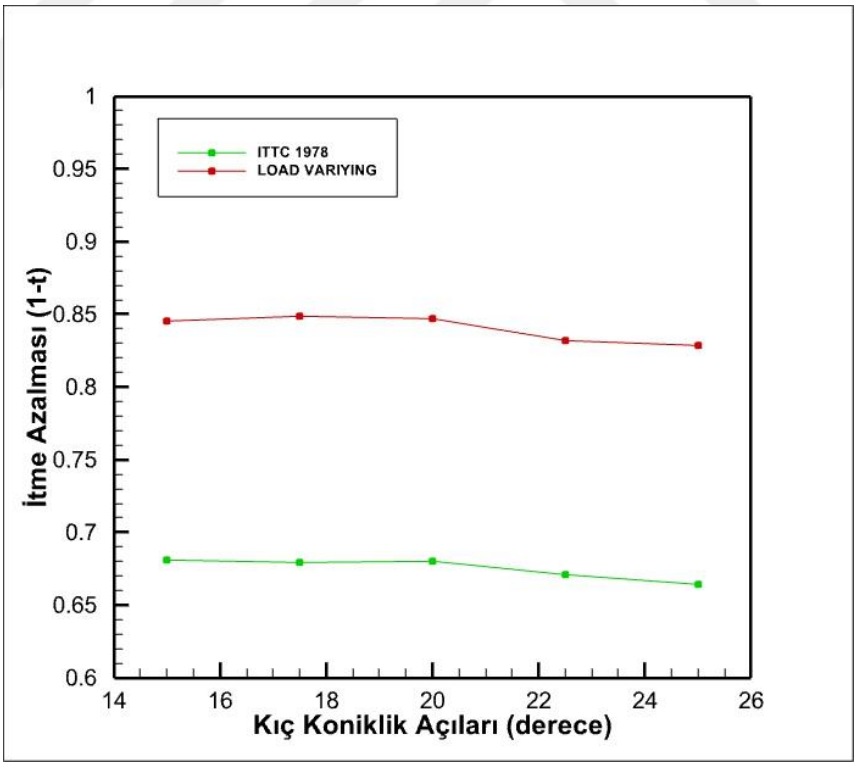
Şekil 6.25 Farklı kıç koniklik açısında itme değerlerinin iki yöntemle karşılaştırılması



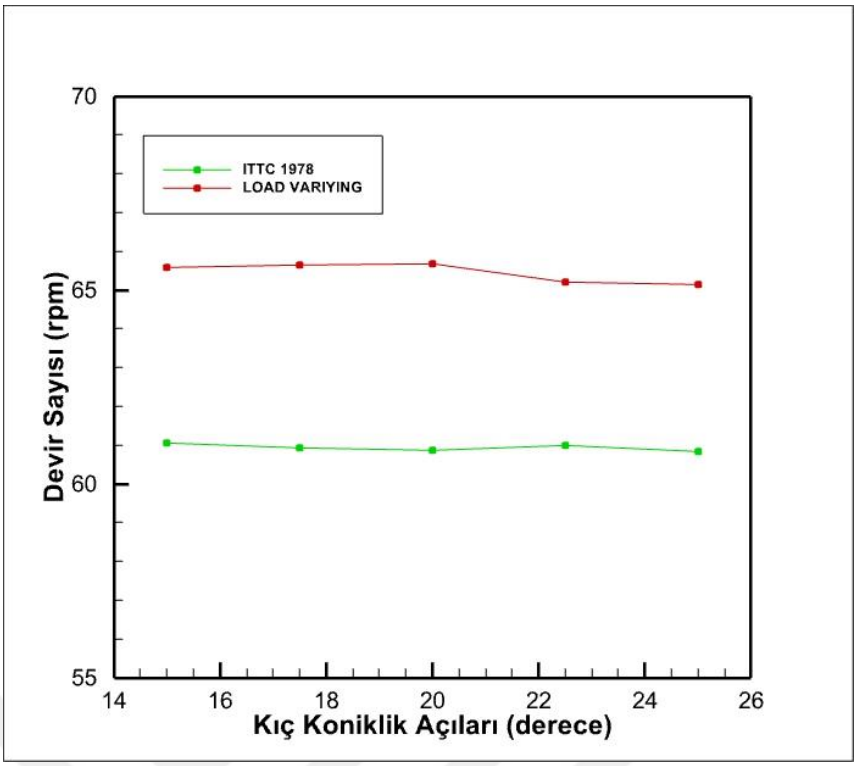
Şekil 6.26 Farklı kıç koniklik açısında pervane itme katsayılarının iki yöntemle karşılaştırılması



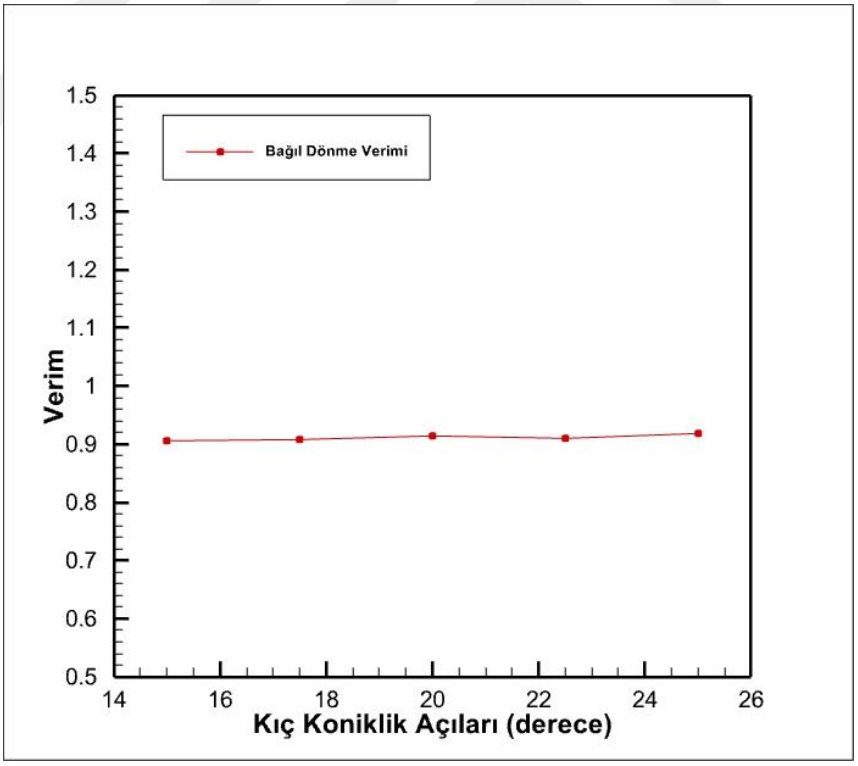
Şekil 6.27 Farklı kıç koniklik açısında pervane tork katsayılarının iki yöntemle karşılaştırılması



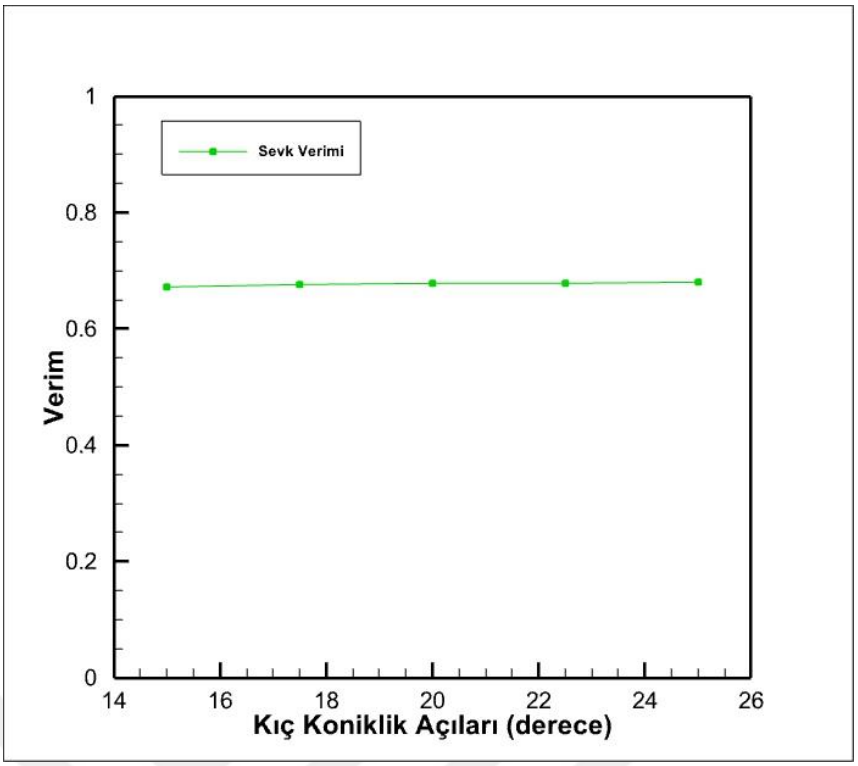
Şekil 6.28 Farklı kıç koniklik açısında itme azalması değerlerinin iki yöntemle karşılaştırılması



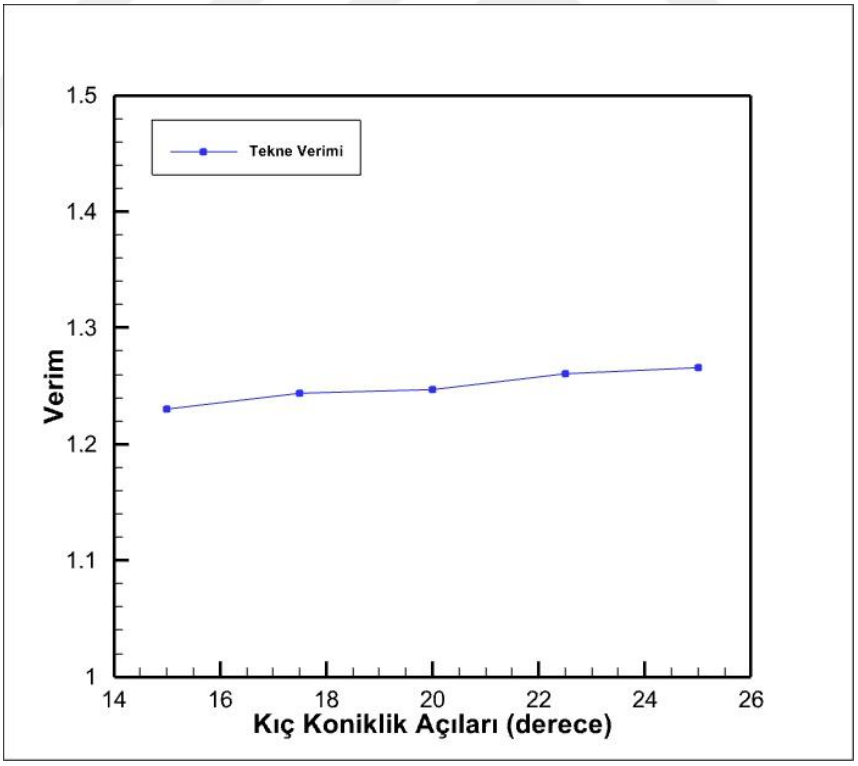
Şekil 6.29 Farklı kıç koniklik açısında devir sayılarının iki yöntemle karşılaştırılması



Şekil 6. 30 Farklı kıç koniklik açılarında bağıl dönme verimi karşılaştırılması



Şekil 6. 31 Farklı kıç koniklik açılarında sevk verimi karşılaştırılması



Şekil 6. 32 Farklı kıç koniklik açılarında tekne verimi karşılaştırılması

7
SONUÇ VE ÖNERİLER

Çalışma kapsamında BB2 Joubert denizaltı modeli ve MARIN S7371R denizaltı pervanesi kullanılarak model denizaltının sevk noktası HAD yöntemleri ile belirlenmiş ve iki farklı yöntem ile; ITTC 1978 ve sadece değişken yüklemeli sevk deneyi yöntemi ile tam ölçeğe geçiş yapılmıştır. Hesaplarda sonlu hacimler yöntemini kullanan Ansys Fluent programı kullanılmıştır. Çözüm ağı pointwise programı ile oluşturulmuştur.

ITTC 1978 yönteminde sevk noktasının tahmini için pervane, denizaltı ve pervaneli denizaltının ayrı ayrı hesaplarının yapılması gerekmektedir. Bundan dolayı ilk başta pervane açık su karakteristiklerinin tahmini gerçekleştirilmiştir. Bunun için S7371R pervanesi üç farklı çözüm ağında üç farklı pervane ilerleme katsayısı için pervane itmesi, pervane torku ve verimi yönünden incelenmiştir. Sayısal sonuçlar MARIN tarafından paylaşılan deney verileri ile doğrulanmıştır. İlerleme hızı 0.3'te sık ağ yoğunluğunda pervane itme katsayısı %3.8, tork katsayısı %3.48 ve verim % 2.2 sapma ile tahmin edilmiştir.

İkinci aşamada BB2 Joubert Denizaltısı direnç yönünden incelenmiştir. Dört farklı hız için direnç değerleri hesaplanmıştır. Denizaltı direnci ile ilgili deneysel bir veri bulunmadığından literatüre sunulan hesaplamalı akışkanlar dinamiği yöntemleri ile karşılaştırılmıştır. Farklı hızlarda yapılan analizlerde %2-%3 sapma ile HAD hesaplarıyla uyumlu olduğu görülmüştür.

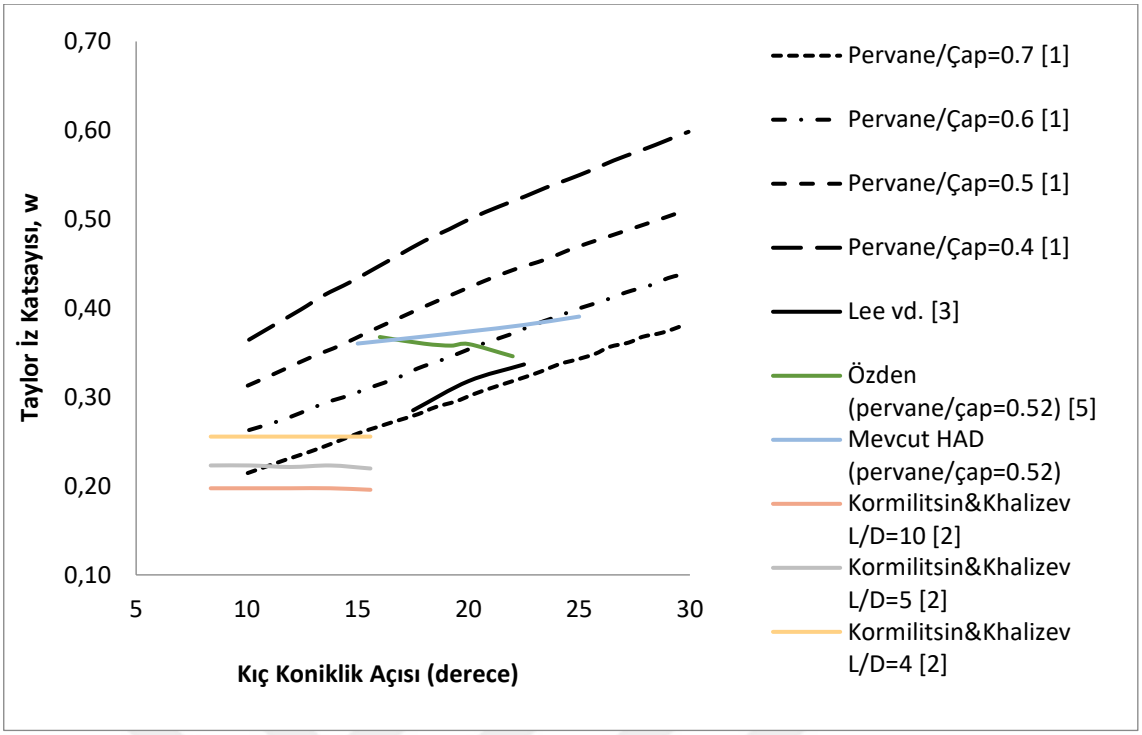
Pervaneli denizaltının sevk hesapları değişken yüklemeli sevk deneyi yöntemine uygun olarak pervanenin farklı yüklemelerine denk gelecek şekilde sabit hızda 6 farklı devir değeri için gerçekleştirilmiştir. Bu değerlerde pervane itmesi ve denizaltı direnci değerleri okunmuştur. Bu veriler kullanılarak model ölçeğinden tam ölçeğe geçiş gerçekleştirilmiştir. Tam ölçeğe geçiş amacı ile iki farklı yöntem kullanılmıştır. Bunlardan birincisi tam ölçeğe geçiş için yaygın bir şekilde kullanılan ITTC 1978 yöntemidir. Diğeri yüksek pervane gövde etkileşimi olan durumlarda kullanımı tavsiye edilen sadece değişken yüklemeli sevk deneyi yöntemidir. ITTC 1978 yöntemi pervane açık su karakteristikleri, direnç ve pervaneli denizaltı modeli ile gerçekleştirilen sevk

hesaplarına ihtiyaç duyarken, sadece değişken yüklemeli sevk deneyi yönteminde sadece pervaneli denizaltı modeli ile hesaplamalar gerçekleştirilmektedir. İki yöntem ile elde edilen sonuçlar literatürde verilen deneysel veri sonuçları ile karşılaştırılmıştır. ITTC 1978 yöntemi T_S yönünden %3.8, K_T yönünden %3.3 sapma ile tahmin ettiği görülmüştür. Değişken yüklemeli sevk deneyi yönteminde ise T_S tahmini %5, K_T tahmini %12.3 sapma ile tahmin edilmiştir. Her iki yöntemin de tam ölçeğe geçiş için etkili bir yöntem olabileceği değerlendirilmektedir. Ancak paylaşılan deney değerlerinde itme azalması bulunmadığından, literatürdeki sayısal çalışma sonuçları ile yapılan karşılaştırmada ITTC 1978'e göre itme azalması farkının %12.4 ve değişken yüklemeli sevk deneyi yöntemine göre itme azalması farkının %9.2 mertebesinde olduğu görülmektedir. Bu bakımdan iki yöntem karşılaştırıldığında değişken yüklemeli sevk deneyi yöntemi, ITTC 1978 yöntemine göre T_S yönünde %0.05, K_T yönünden%3.6 sapma olduğu gözlemlenmektedir.

Çalışmanın ikinci kısmında yukarıda açıklanan yöntemler kullanılarak farklı kıç koniklik açılarında türetilen BB2 Joubert denizaltıları S7371R pervanesi ile sevk yönünden incelenmiştir. Bunun için ilk önce BB2 Joubert denizaltısı sabit deplasman şartında kıç koniklik açısı değiştirilerek dört farklı koniklik açısına sahip geometriler tasarlanmıştır. Bu geometrilerin de HAD yöntemi ile direnç değerleri ve S7371R pervanesi ile sevk noktaları tespit edilmiştir.

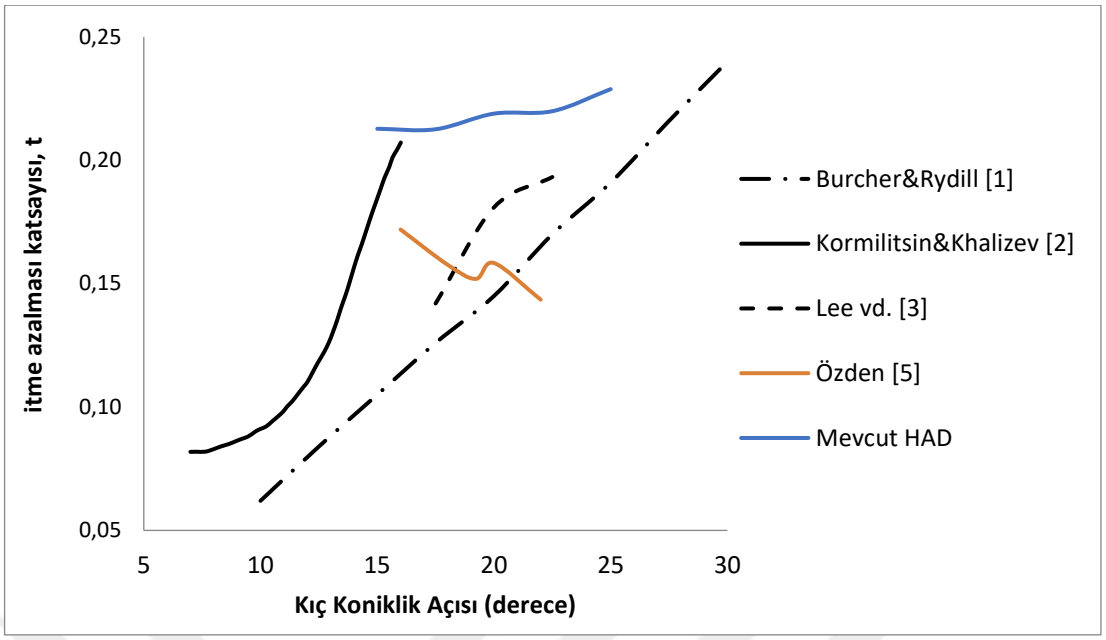
Denizaltılarda kıç koniklik açısının tekne verimi üzerine etkisi ile ilgili daha önce açık literatürde paylaşılan değerler karşılaştırıldığında Kormilitsin ve Khalizev'de [2] tekne veriminin arttığı, Burcher ve Rydill'de [1] ise azaldığı görülmektedir. Özden [5] çalışmasında DARPA Suboff için farklı koniklik açılarında kıç koniklik açısı arttıkça tekne veriminin arttığı görülmüştür. DARPA Suboff kıç formunun iç bükey yapısından dolayı daha gerçekçi bir denizaltı formu üzerinde çalışmaların devam ettirilmesi tavsiye edilmiştir.

Mevcut çalışmada elde edilen sonuçlardan denizaltının tekne verimini etkileyen optimum kıç koniklik açısının BB2 Joubert geometrisi için 19-20° değerlerinde olduğu görülmektedir. S7371R pervaneli BB2 Joubert denizaltısı sevk analizinde kıç koniklik açısı artmasıyla itme azalması, iz katsayısı ve tekne verimi değerlerinde bir artma olduğu gözlemlenmektedir. Genel olarak tüm şekillerde 17° ve 22° civarında bir artış görülmektedir. Mertebe olarak en yüksek artış eğrisi itme azalmasında görülmektedir.



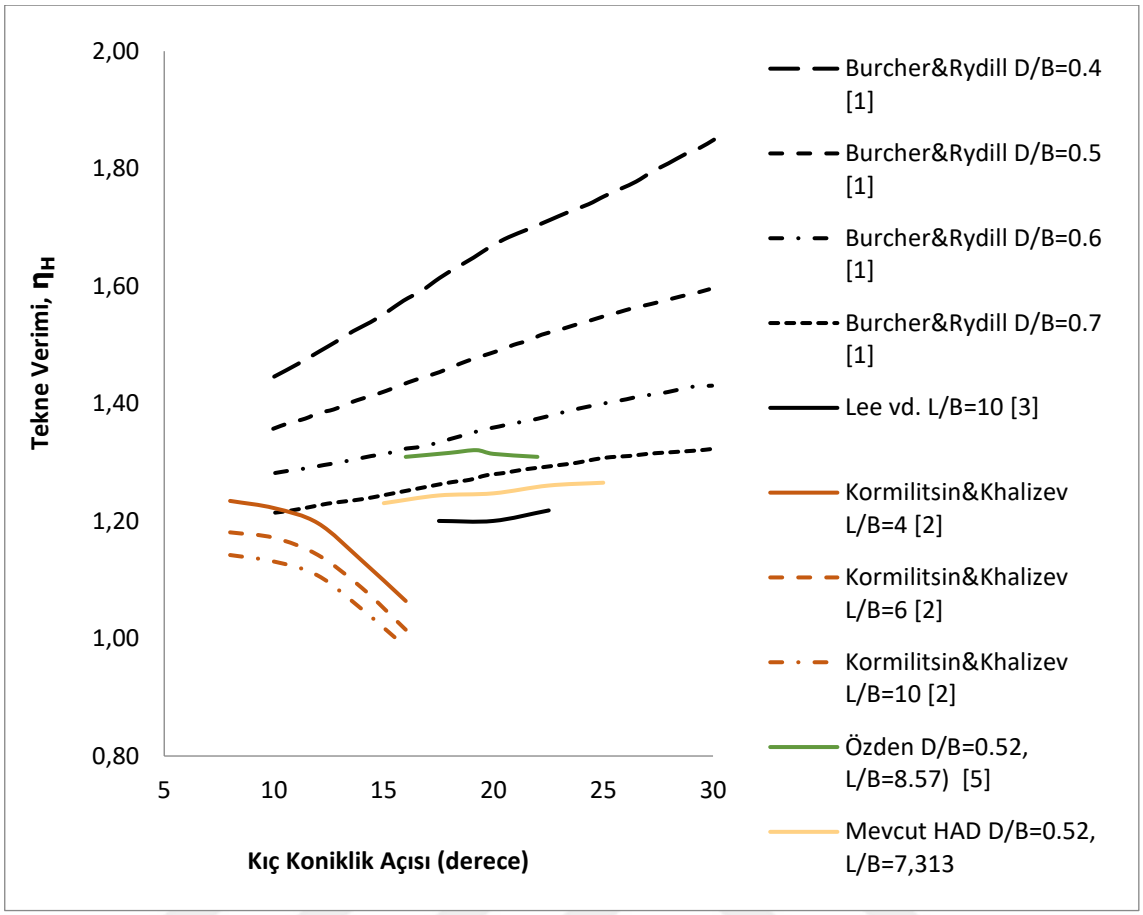
Şekil 7.1 Literatür farklı kıç koniklik açısı taylor iz katsayısı karşılaştırılması[5]

Açık literatürde paylaşılan kıç koniklik açısının taylor iz katsayısı üzerine etkisini gösteren değerler Şekil 7.1'de gösterilmiştir. Burada görüldüğü gibi Burcher ve Rydill [1] pervane çapının denizaltı çapına olan farklı oranlarında, farklı denizaltı kıç koniklik açılarını incelemiştir. Genel olarak şekil yorumlandığında Burcher ve Rydill [1] ve Lee vd.'nin [3] çalışmasında kıç koniklik açısı arttıkça taylor iz katsayısında sert bir artma görülmektedir. Fakat Özden [5] çalışmasında ise kıç koniklik açısı arttıkça taylor iz katsayısında azalma görülmektedir. Bu çalışmada ise kıç koniklik açısı arttıkça taylor iz katsayısında hafif artış görülmektedir. Fakat mertebe olarak Burcher ve Rydill [1] ve Lee vd.'nin [3] mertebesinden düşüktür. Kormilitsin ve Khalizev'nin [2] çalışmasında ise açı arttıkça taylor iz katsayısı sabit kalmaktadır.



Şekil 7.2 Literatür farklı kıç koniklik açısı itme azalması katsayısı karşılaştırılması[5]

Açık literatürde paylaşılan kıç koniklik açısının itme azalması üzerine etkisini gösteren değerler Şekil 7.2'de gösterilmiştir. Burada görüldüğü gibi Burcher ve Rydill'in çalışmasında [1], denizaltı kıç koniklik açısı arttıkça itme azalması doğrusal olarak artmaktadır. Kormilitsin ve Khalizev'nin [2] çalışmasında ise kıç koniklik açısı arttıkça itme azalması parabolik olarak artmaktadır. Lee vd'nin [3] çalışmasında ise kıç koniklik açısı arttıkça itme azalması genel olarak artmaktadır. Özden [5] çalışmasında ise kıç koniklik açısı arttıkça itme azalması genel olarak azalmaktadır. Fakat 20° civarında küçük bir artış vardır. Bu çalışmada ise kıç koniklik açısı itme azalması genel olarak artmaktadır ve 17° ve 22° civarında hafif artışlar mevcuttur.



Şekil 7.3 Literatür farklı kıç koniklik açısı tekne verimi karşılaştırılması[5]

Açık literatürde paylaşılan kıç koniklik açısının tekne verimi üzerine etkisini gösteren değerler Şekil 7.3'te gösterilmiştir. Şekil 7.3'e bakıldığında Burcher ve Rydill'nin [1] çalışmasında, denizaltı kıç koniklik açısı arttıkça tekne veriminde doğrusal bir artış görülmektedir. Kormilitsin ve Khalizev'nin [2] çalışmasında ise kıç koniklik açısı arttıkça tekne verimi parabolik olarak azalmaktadır. Lee vd'nin [3] çalışmasında ise kıç koniklik açısı arttıkça tekne veriminde genel olarak hafif bir artış görülmektedir. Özden'in [5] çalışmasında ise kıç koniklik açısı arttıkça tekne verimi genel olarak sabit kalmaktadır. Fakat 20° civarında küçük bir artış görülmektedir. Bu çalışmada ise kıç koniklik açısı arttıkça tekne verimi genel olarak artmaktadır. Şekil 7.3'e bakıldığında 17° ve 22° civarında tekne veriminde hafif artışlar olduğu görülmektedir.

KAYNAKÇA

[1] R. L. Burcher R., *Concepts in Submarine Design, Cambridge University Press*. 1994.

[2] Y. N. Kormilitsin and O. A. Khalizev, "Theory of Submarine Design." p. 334, 2001.

[3] S. W. Lee, Y. S. Hwang, M. C. Ryu, I. H. Kim, and M. S. Sin, "A Development of 3000-ton Class Submarine and the Study on its Hydrodynamic Performances," *Proc. Int. Offshore Polar Eng. Conf.*, vol. 5, pp. 2613–2618, 2003.

[4] B. Overpelt, B. Nienhuis, and B. Anderson, "Free Running Manoeuvring Model Tests On A Modern Generic SSK Class Submarine (BB2)," *Pacific Int. Marit. Conf.*, 2015.

[5] Y. A. ÖZDEN, "Denizaltı Kıç Formunun Sayısal ve Deneysel Olarak İncelenmesi," Yıldız Teknik Üniversitesi, 2017.

[6] M. S. Groves, N.C., Huang T.T., ve Chang, "Geometric Characteristics of DARPA Suboff Models," David Taylor Research Center, Ship Hydromechanics Department, 1989.

[7] N. C. Huang, T. T.; Liu, H. L.; Groves, "Experiments of the DARPA Suboff Program," 1989.

[8] B. L. Cook, "Resistance for DARPA SUBOFF as represented by Model 5470," 1990. doi: DTRC/SHD-1298-07.

[9] R. F. Roddy, "Investigation of the Stability and Control Characteristics of Several Configurations of the DARPA Suboff Model (DTRC 5470) from Captive-Model Experiments," 1990.

[10] H. ve H. T. Liu, "Summary of DARPA Suboff experimental program data," 1998.

[11] P. . N. Joubert, "Some Aspects of Submarine Design Part 1," *Aust. Def. Sci. Technol. Organ.*, 2004.

[12] P. N. Joubert, "Some Aspects of Submarine Design Part 2," *Aust. Def. Sci. Technol. Organ.*, 2006.

[13] H. Quick and B. Woodyatt, "Experimental Testing of a Generic Submarine Model in the DSTO Low Speed Tunnel," p. 40, 2014.

[14] S. I. Toxopeus, "SHWG Collaborative Exercise: BB1," 2013.

[15] M. Toxopeus, S.I. Quadvlieg, F. ve Kerkvliet, "SHWG Collaborative Exercise: Part 6: Generic Submarine Hydrodynamics BB2, MARIN İnformal document," 2017.

[16] F. Di Felice, M. Felli, M. Liefvendahl, and U. Svennberg, "Numerical and experimental analysis of the wake behavior of a generic submarine propeller," *Symp. Mar. Propulsors*, no. June, p. 7, 2009.

[17] T. Alin, N., Bensow, R., Fureby, C. ve Huuva, "Current Capabilities of DES and LES for Submarines at Straight Course," *J. Sh. Res.*, vol. 54, pp. 184–196, 2010.

[18] C. Alin, C., Chapius, M., Fureby, C., Liefvendahl, M., Svennberg, U. ve Troeng, "A Numerical Study of Submarine Propeller- Hull Interactions," *28th Symp. Nav. Hydrodyn.*, 2010.

[19] C. Liefvendahl, M., Troeng, "Computation of Cycle-to-cycle Variation ib Blade Load for a

Submarine Propeller using LES," *Second Int. Symp. Mar. Propulsors*, 2011.

[20] N. Chase and P. M. Carrica, "Submarine propeller computations and application to self-propulsion of DARPA Suboff," *Ocean Eng.*, vol. 60, no. 1, pp. 68–80, 2013, doi: 10.1016/j.oceaneng.2012.12.029.

[21] M. C. Özden, A. Y. Gürkan, Y. A. Özden, T. G. Canyurt, and E. Korkut, "Underwater radiated noise prediction for a submarine propeller in different flow conditions," *Ocean Eng.*, vol. 126, no. June, pp. 488–500, 2016, doi: 10.1016/j.oceaneng.2016.06.012.

[22] S. Sezen, A. Dogrul, C. Delen, and S. Bal, "Investigation of self-propulsion of DARPA Suboff by RANS method," *Ocean Eng.*, vol. 150, no. July 2017, pp. 258–271, 2018, doi: 10.1016/j.oceaneng.2017.12.051.

[23] O. K. Kinaci, M. K. Gokce, A. D. Alkan, and A. Kukner, "On self-propulsion assessment of marine vehicles," *Brodogradnja*, vol. 69, no. 4, pp. 29–51, 2018, doi: 10.21278/brod69403.

[24] Y. A. Özden, M. Cansın Özden, E. Demir, and S. Kurdoğlu, "Experimental and Numerical Investigation of DARPA Suboff Submarine Propelled with INSEAN E1619 Propeller for Self-Propulsion," *J. Sh. Res.*, no. August, 2019, doi: 10.5957/josr.09180084.

[25] D. V. Efremov and E. M. Milanov, "Hydrodynamics of DARPA SUBOFF submarine at shallowly immersion conditions," *TransNav*, vol. 13, no. 2, pp. 337–342, 2019, doi: 10.12716/1001.13.02.09.

[26] A. Dogrul, S. Sezen, C. Delen, and S. Bal, "Self-propulsion simulation of darpa suboff," *Marit. Transp. Harvest. Sea Resour.*, vol. 1, pp. 503–511, 2016.

[27] A. Posa and E. Balaras, "Large-Eddy Simulations of a notional submarine in towed and self-propelled configurations," *Comput. Fluids*, vol. 165, pp. 116–126, 2018, doi: 10.1016/j.compfluid.2018.01.013.

[28] P. M. Carrica, M. Kerkvliet, F. Quadvlieg, and J. E. Martin, "CFD Simulations and Experiments of a Maneuvering Generic Submarine and Prognosis for Simulation of Near Surface Operation," *31st Symp. Nav. Hydrodyn. (ONR), Monterey, CA*, no. September, pp. 11–16, 2016, [Online]. Available: http://www.marin.nl/web/Publications/Publication-items/CFD-Simulations-and-Experiments-of-a-Maneuvering-Generic-Submarine-and-Prognosis-for-Simulation-of-Near-Surface-Operation.htm.

[29] P. M. Carrica, Y. Kim, and J. E. Martin, "Near-surface self propulsion of a generic submarine in calm water and waves," *Ocean Eng.*, vol. 183, no. May, pp. 87–105, 2019, doi: 10.1016/j.oceaneng.2019.04.082.

[30] Y. J. Cho, W. Seok, K. H. Cheon, and S. H. Rhee, "Maneuvering simulation of an X-plane submarine using computational fluid dynamics," *Int. J. Nav. Archit. Ocean Eng.*, vol. 12, pp. 843–855, 2020, doi: 10.1016/j.ijnaoe.2020.10.001.

[31] H. Kim, D. Ranmuthugala, Z. Q. Leong, and C. Chin, "Six-DOF simulations of an underwater

vehicle undergoing straight line and steady turning manoeuvres," *Ocean Eng.*, vol. 150, no. October 2017, pp. 102–112, 2018, doi: 10.1016/j.oceaneng.2017.12.048.

[32] B. Aydogdu, A. Dogrul, and F. Cakici, "Resistance Analyses of Joubert BB2 Benchmark," pp. 1–10.

[33] S. Daum, M. Greve, and R. Skejic, "On the added resistance of underwater vehicles in close proximity to regular waves," *RINA, R. Inst. Nav. Archit. - Warsh. 2017 Nav. Submar. UUV''s*, no. June, 2017.

[34] ITTC, "Propulsion/Bollard Pull Test," no. 7.5-02-03–011, 2011.

[35] V. Bertram, "Introduction," *Pract. Sh. Hydrodyn.*, pp. 1–39, 2012, doi: 10.1016/b978-0-08-097150-6.10001-6.

[36] ITTC, "Resistance Test," no. 7.5-02-02–01, 2011.

[37] R.Thomas, *Performance Evaluation of The Propulsion System For The Autonomous Underwater Vehicle "C-Scout."* Newfoundland, Canada, 2003.

[38] ITTC, "1978 ITTC Performance Prediction Method," no. 7.5-02-03–014, 2017.

[39] A. M. Kracht, "Load Variation Tests Improve the Reliability of Ship Power Predictions Based on Model Test Results," *Schiffstechnik 38,* 1991.

[40] M. Schmiechen, "Wake and Thrust Deduction from Quasisteady Ship Model Propulsion Tests Alone," no. 1100/87, 1987.

[41] ITTC, "Practical Guidelines for Ship Self-Propulsion CFD," no. 7.5-03-03–01, pp. 1–10, 2014.

[42] M. Pontarelli, J. E. Martin, and P. M. Carrica, "Dynamic Instabilities in Propeller Crashback," *Proc. Fifth Int. Symp. Mar. Propulsors*, vol. 1, no. June, 2017, [Online]. Available: http://www.marinepropulsors.com/proceedings/2017/MB4-2.pdf.

TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

Konferans Bildirileri

1. A.Acar ve Y.Ö. Arıkan "BB2 Joubert Denizaltı Formunun Sevk Noktasının Sayısal Olarak İncelenmesi" Gemi ve Deniz Teknoloji Dergisi, Aralık 2021

2. -

Kitaplar

1. -

2. -

Projeler

1. -

2. -

Ödüller

1. -

2. -