

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TÜRK GEMİ İŞLETMELERİNDE GEMİ ENERJİ
VERİMLİLİĞİ UYGULAMALARININ
KARŞILAŞTIRMALI ANALİZLERİ

Kerim ZİYLAN

Ağustos, 2017

İZMİR

TÜRK GEMİ İŞLETMELERİNDE GEMİ ENERJİ VERİMLİLİĞİ UYGULAMALARININ KARŞILAŞTIRMALI ANALİZLERİ

Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi

Gemi Makineleri İşletme Mühendisliği Anabilim Dalı

Deniz Ulaştırma Sistemleri Mühendisliği Programı

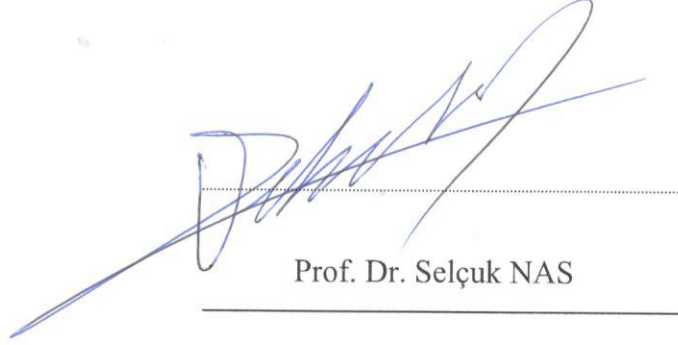
Kerim ZİYLAN

Ağustos, 2017

İZMİR

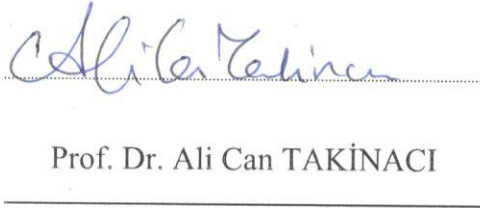
YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

KERİM ZİYLAN, tarafından PROF. DR. SELÇUK NAS yönetiminde hazırlanan “TÜRK GEMİ İŞLETMELERİNDE GEMİ ENERJİ VERİMLİLİĞİ UYGULAMALARININ KARŞILAŞTIRMALI ANALİZLERİ” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.



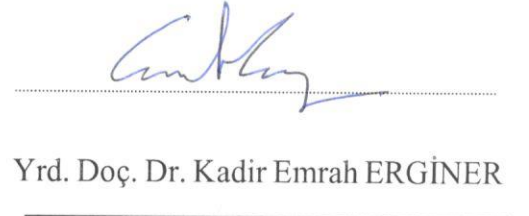
Prof. Dr. Selçuk NAS

Yönetici




Prof. Dr. Ali Can TAKİNACI

Jüri Üyesi



Yrd. Doç. Dr. Kadir Emrah ERGİNER

Jüri Üyesi



Prof. Dr. Emine İlknur CÖCEN

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Tez alıŐması sűresince birçok konuda yol gűsterici olduĐu için deĐerli hocam Sayın Prof. Dr. Selçuk NAS' a teŐekkűrlerimi sunmayı bir borç bilirim.

Uygulama için seçilen gemiye ait bilgileri temin etme sűrecinde, her tűrlű kolaylıĐı gűsteren Arkas Deniz Ticaret Filosu Genel Műdűrű Sayın Halil İbrahim KONTAYTEKİN' e teŐekkűr ederim.

Çekme deneyi yapılması konusunda yardımlarını esirgemeyen İstanbul Teknik Ŭniversitesi Gemi İnŐaatı ve Deniz Bilimleri Fakűltesi Dekanı Sayın Ahmet ERĐİN' e ve Ata Nutku Gemi Model Deney Laboratuvarı Sorumlusu Sayın Ali Can TAKİNACI' ya teŐekkűr ederim.

Kerim ZİYLAN

TÜRK GEMİ İŞLETMELERİNDE GEMİ ENERJİ VERİMLİLİĞİ UYGULAMALARININ KARŞILAŞTIRMALI ANALİZLERİ

ÖZ

Gemilerde enerji verimliliği 2000' li yılların başlangıcında önemli bir kavram haline gelmiştir. Hem gemi yakıtlarının bir işletmedeki maliyetlerin yüzde altmışını oluşturması hem de daha yeşil bir enerji kullanımı ihtiyacı olması sebebiyle, Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO) gemilerde enerji verimliliği ile ilgili son yıllarda yeni yaptırımlar uygulamaya başlamıştır. Bu yaptırımlar gemiler için teknik uygulamalar veya yönetimsel uygulamalar gibi farklı başlıklar altında farklı yöntemleri tavsiye etmekte/ zorunlu tutmaktadırlar. Teknik uygulamalar gemiler için daha çok maliyet ya da iş yükü oluşturabilen uygulamalar iken yönetimsel uygulamalar daha çok küçük değişikliklerle kazanım sağlayabilecek uygulamalar olarak sınıflandırılmaktadır. Bu çalışmada yönetimsel uygulamalar içerisinde trim optimizasyonu yöntemi araştırma konusu olarak seçilmiştir. Trim optimizasyonu ve gemi direnci hesabı için Arkas Deniz Ticaret Filosu bünyesinde bulunan gerçek bir gemiye ait veriler kullanılmıştır. Bu değerlendirmede Maxsurf ve Orca programlarında elde edilen bulgular, gemiden temin edilen programa dair bulgular ve İstanbul Teknik Üniversitesi Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri Fakültesi bünyesinde bulunan Ata Nutku Gemi Model Deney Laboratuvarında yapılan çekme deneyinde elde edilen bulguların karşılaştırılması yapılmıştır. Çalışma sonucunda çekme deneyi bulguları ile diğer bulguların birbirinden farklı olduğu gözlenmiştir. Öte yandan geminin, farklı trim koşullarında farklı direnç karakteristikleri gösterdiğini doğrulamıştır.

Anahtar kelimeler: Enerji verimliliği, trim optimizasyonu, gemi direnci, çekme deneyi, konteyner gemisi

A COMPARATIVE ANALYSIS OF SHIP ENERGY EFFICIENCY APPLICATIONS IN TURKISH SHIP MANAGEMENT COMPANIES

ABSTRACT

Energy efficiency in ships has become an important concept at the beginning of the 2000's. Ship fuels constitute sixty percent of the costs of a business and there is an increasing need for greener energy use. The International Maritime Organization (IMO) has begun implementing new regulations on ships in recent years for energy efficiency. These regulations recommend different methods under different headings such as technical applications or administrative applications for the vessels. While technical applications create more cost or workload for ships, administrative applications can achieve more with minor changes. In this study, trim optimization method was chosen as a research topic among administrative applications. To optimize trim and calculate ship resistance, a real ship belongs to Arkas Maritime Fleet is used. This assessment was made by comparing the results obtained from the Maxsurf and Orca programs, with the results of the program provided on board and the results of a towing tank experiment. The towing tank experiment was made at the Ata Nutku Ship Model Test Laboratory in the Istanbul Technical University Naval Architecture and Marine Engineering Faculty. As a consequence of the study, it was observed that the results of towing tank experiment and the others are different from each other. On the other hand, it confirms that the ship shows different resistance characteristics in different trim conditions.

Keywords: Energy efficiency, trim optimisation, ship resistance, towing tank experiment, container ship

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SINAV SONUÇ FORMU.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZ.....	iv
ABSTRACT.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	ix
TABLolar LİSTESİ.....	x
BÖLÜM BİR - GİRİŞ.....	1
BÖLÜM İKİ - GEMİLERDE ENERJİ VERİMLİLİĞİ İLE İLGİLİ LİTERATÜR TARAMASI.....	3
2.1 Enerji Verimliliği Dizayn İndeksi – EEDI.....	5
2.2 Gemi Enerji Verimliliği Yönetim Planı – SEEMP.....	7
2.2.1 Enerji Verimliliği Operasyonel İndikatörü – EEOI.....	8
2.3 Uluslararası Enerji Verimliliği Belgesi – IEEC.....	9
BÖLÜM ÜÇ - GEMİLERİN ENERJİ VERİMLİLİĞİNİ ETKİLEYEN UYGULAMALAR İLE İLGİLİ LİTERATÜR TARAMASI.....	10
3.1 Enerji Verimliliği ile İlgili Gemilerdeki Teknik Uygulamalar.....	11
3.1.1 Gemi Formu Tasarımı İle İlgili Durumlar.....	11
3.1.2 Daha Hafif Gemi İnşaatı.....	12
3.1.3 Gemi Ana ve Yardımcı Makinelerinin Tasarımı.....	13
3.1.4 Sevk Sistemi Tasarımı.....	13
3.1.5 Hava Yağlama Sistemlerinin Kullanılması.....	14

3.1.6	Dümen ve Rota Tutma Kontrol Sistemlerinin (Otomatik Pilotlar) Tasarımı.....	14
3.1.7	Pervane Tasarımı ve Pervaneye Gelen Akımlarla İlgili Hususlar....	15
3.1.8	Rüzgar Enerjisi ve Güneş Enerjisi ile Hibrit Sistem Tasarımı.....	16
3.2	Gemilerin Yönetimi İle İlgili Uygulamalar	17
3.2.1	Hava Durumuna Göre Rota Belirleme	18
3.2.2	Tam Zamanında Ulaşım	18
3.2.3	Geliştirilmiş Sefer Planlaması	19
3.2.4	Atık Isının Geri Kazanılması.....	19
3.2.5	Gemi ve Pervane Yüzeyi Bakımı	19
3.2.6	Gemi Personelinin Eğitimi	20
3.2.7	Hız Optimizasyonu.....	20
3.2.8	Gemi Triminin Optimizasyonu	21
BÖLÜM DÖRT - TRİM OPTİMİZASYONU METODOLOJİSİ VE BULGULAR		25
4.1	Gemiler için Direnç Kavramı, Bileşenleri ve Hesaplama Yöntemleri	25
4.1.1	Direnç Kavramının Bileşenleri.....	28
4.1.2	Direnç Tahmin ve Hesaplama Yöntemleri.....	34
4.1.2.1	Geleneksel ve Standart Seriler için Analiz Yöntemleri.....	35
4.1.2.2	Regresyon Temelli Yöntemler	36
4.1.2.3	Model Deneyleri.....	37
4.1.2.4	Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD/CFD)	41
4.2	Trim Optimizasyonu Uygulaması.....	41
4.3	Gemi Sanal Modelinin ve Deney Koşullarının Bilgisayar Ortamında Hazırlanması	44
4.3.1	Rhinoceros ile Gemi Modelinin Oluşturulması.....	44

4.3.2	Orca 3D ile Trimli Koşullarda Direnç Deneyinin Yapılması.....	47
4.3.3	Maxsurf ile Trimli Koşullarda Direnç Deneyinin Yapılması.....	48
4.4	Gemi Çekme Deneyinin Laboratuvar Ortamında Yapılması	49
4.5	Gemiden Alınan Programın İncelenmesi.....	55
4.6	Uygulama Sonuçları ve Tartışma	55
4.6.1	11,40m Draft İçin Optimum Trim Analizi	56
4.6.2	10,10m Draft İçin Optimum Trim Analizi	58
4.6.3	8,80m Draft İçin Optimum Trim Analizi	60
4.6.4	11,40m için Farklı Trim Koşullarında Direnç Hesabı Karşılaştırmaları	61
4.6.5	10,10m için Farklı Trim Koşullarında Direnç Hesabı Karşılaştırmaları	63
4.6.6	8,80m için Farklı Trim Koşullarında Direnç Hesabı Karşılaştırmaları	64
4.6.7	Gemi Programı ve Diğer Yöntemlerin Kıyaslanması	66
BÖLÜM BEŞ - SONUÇLAR		67
KAYNAKLAR		69
EK-1: KISALTMALAR		76
EK-2: VERİ KULLANIM İZİNİ BELGESİ.....		77

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Mevcut ECA ve SECA bölgeleri	4
Şekil 3.1 Windkite uygulamasına bir örnek.....	16
Şekil 3.2 Başa ve kıça trimli durumlar.....	21
Şekil 3.3 Trim ile yakıt tüketimi serpilme grafiği.....	23
Şekil 4.1 Froude tarafında bulunan gemi ve modele ait direnç eğrileri	27
Şekil 4.2 Gemi direncini oluşturan bileşenler	29
Şekil 4.3 ITTC ve ATTC sürtünme sabiti eğrilerinin karşılaştırılması.....	31
Şekil 4.4 Direnç hesap ve tahmini için kullanılan yöntemler	34
Şekil 4.5 Araştırmanın modeli	43
Şekil 4.6 Gemi endaze planı.....	45
Şekil 4.7 Rhinoceros 5 uygulamasında oluşturulmuş sanal gemi modeli.....	46
Şekil 4.8 Trim açısının hesaplanması için üretilen üçgen.....	47
Şekil 4.9 Maxsurf Modelleme ve Maxsurf Direnç modüllerinde gemi modeli	48
Şekil 4.10 Trim ve Deplasman koşulları belirlenen 1/58 ölçekli gemi modeli.....	50
Şekil 4.11 Ağırlıklar ve su terazisi ile deney koşullarının sağlanması.	51
Şekil 4.12 Gemi modelinin çekme arabası ile çekilmesi.	52
Şekil 4.13 Gemi için hazırlanmış trim-güç ilişkisini gösteren program arayüzü.....	55
Şekil 4.14 ITTC 78, Maxsurf Holtrop ve Orca Holtrop yöntemleriyle optimum trim incelemesi (a, b, c)	58
Şekil 4.15 ITTC 78, Maxsurf Holtrop ve Orca Holtrop yöntemleriyle optimum trim incelemesi (a, b, c)	59
Şekil 4.16 ITTC 78, Maxsurf Holtrop ve Orca Holtrop yöntemleriyle optimum trim incelemesi (a,b,c)	61
Şekil 4.17 11,40m draft için farklı trim koşullarında direnç hesabı karşılaştırması (a, b, c, d).....	62
Şekil 4.18 10,10m draft için farklı trim koşullarında direnç hesabı karşılaştırması (a, b, c, d).....	64
Şekil 4.19 8,80m draft için farklı trim koşullarında direnç hesabı karşılaştırması (a, b, c, d).....	66

TABLULAR LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 2.1 Enerji verimliliği tasarım indeksinin uygulandığı gemi tipleri.....	5
Tablo 2.2 EEDI sonucunu düşürebilecek teknolojik önlemler	6
Tablo 4.1 Gemiye ait başlıca özellikler.....	42
Tablo 4.2 Gemi ve model hidrostatik değerlerinin karşılaştırılması.....	47
Tablo 4.3 Model ile yapılan çekme deneyi sonucu.....	53
Tablo 4.4 Çekme deneyi sonucu ile model direnç sabitleri ve C_R hesabı.....	53
Tablo 4.5 Prohaska yöntemiyle form faktörü (1+k) hesabı	54
Tablo 4.6 Gerçek boyutlu gemi için direnç ekstrapolasyon hesabı	54
Tablo 4.7 Dizayn hızı için hesaplanan direnç sonuçlarının karşılaştırması.....	66

BÖLÜM BİR

GİRİŞ

Günümüzde enerji kavramının, enerji kaynaklarına olan bağılılığı göz önüne alındığında önümüze çıkan önemli kavramlardan iki tanesi verimlilik ve tasarruf olmaktadır. Türk Dil Kurumunun (2017) Güncel Türkçe Sözlüğünde bu kavramları arattığımızda, verim, elde edilen ürün, hizmet vb. ile onu elde etmek için harcanan iş arasındaki oran şeklinde ve tasarruf ise bir şeyi dikkatli ve idareli kullanmak şeklinde karşımıza çıkmaktadır. Böylelikle verimlilik kavramı ve tasarruf kavramı ince bir çizgiyle ayrılmaktadır. Bir odanın aydınlatması düşünüldüğünde, yerleştirilen ışık elemanın ihtiyacı olmadığıda söndürülmesi tasarruf, aynı elemanın odada maksimum aydınlatmayı sağlayacak yer ve şekilde konumlandırılması ise verimlilik olarak örneklendirilebilir. Gemilerde enerji verimliliği kavramını ele alındığında ise bu ayırmadan farklı olarak iki kavramı birlikte değerlendirilmekte, bir geminin ve sistemlerinin daha verimli kullanılarak yakıtta tasarrufa gidilmesinden bahsedilmektedir.

Genellikle ekonomik sebeplerle dünyanın farklı bölgelerinde üretilen bir ürünün dünya genelinde satışa çıkması günümüz gerçeklerindedir. Dünya ticaretinin her geçen gün daha da büyümesiyle birlikte farklı bölgelerde üretilen bu ürünlerin tüketileceği bölgelere iletilmesi üretimden sonraki ilk adım olarak değerlendirilebilir. Birleşmiş Milletler Ticaret ve Kalkınma Konferansı'nın 2009 yılı raporuna göre dünya ticaretindeki tüm büyümelere rağmen uluslararası sektörlerdeki taşımacılık faaliyetlerinin %80 den fazlası hala deniz yolu aracılığıyla yapılmaktadır.

Çalışma taşımacılık sektöründe büyük bir yere sahip olan, deniz ticaretinin ana elemanı gemilerin oluşturduğu maliyetlerin düşürülmesi amacıyla gemilerde enerji verimliliği uygulamaları üzerine durmayı amaçlamaktadır. Çalışmanın ikinci bölümünde literatürde rastlanan enerji verimliliği ile ilgili tüm gemilerde bulundurulması zorunluluğu olan bazı belge ve yaptırımlardan bahsedilmektedir. Ayrıca bu yaptırım ve belgelerde geçen, yapılması zorunlu tutulan ya da tavsiye edilen gemilerde enerji verimliliği uygulamalarıyla ilgili yöntemler üçüncü bölümde

aktarılmaktadır. Çalışmanın dördüncü bölümünde ise ikinci bölümde bahsedilen uygulamalardan biri (trim optimizasyonu) seçilmiş, konunun metodolojisi ve arka planı aktarılmıştır. Daha sonra seçilen uygulama için İstanbul Teknik Üniversitesi Gemi İnşaatı ve Denizcilik Fakültesi bünyesinde bulunan Ata Nutku Gemi Model Deney Laboratuvarında çekme deneyi yapılmıştır. Yapılan deneyin ve sektörde kullanılan iki yazılım ile çalışma konusu olarak seçilen gemiye ait bir trim yazılımının çıktıları aktarılmış ve karşılaştırılmıştır. Son bölümde ise kullanılan bu yöntemlerin birbirleriyle ilişkisi açıklanmaya, farklılıkları ortaya çıkarılmaya çalışılmıştır.



BÖLÜM İKİ

GEMİLERDE ENERJİ VERİMLİLİĞİ İLE İLGİLİ LİTERATÜR TARAMASI

Gemilerin enerji konusunda genellikle fosil yakıtları kullandığı bilindik bir gerçektir. Fosil yakıtlar ise yakımı sonrasında atmosfere farklı çeşitlerde gaz salımı yapmaktadır. Gemilerin çevreye karşı oluşturdukları salım ile ilgili olarak Ergin (b.t.) “Dünyadaki en büyük 15 konteyner gemisinin yaydığı salım değeri dünyadaki 760 milyon otomobilden yayılan salıma eşdeğerdir. 90000 kargo gemisinden yayılan salım sadece Amerika’da yılda 60000 ölüme ve 330 milyon dolar sağlık harcamasına neden olduğu belirlenmiştir.” bilgilerini aktarmaktadır. Bu bilgiler ışığında deniz ticaretinin taşımacılık sektörünün can damarlarından biri olmasına karşın çevresel sorunlara yol açtığı da görülmektedir.

Gemilere ait maliyetler, yaptıkları işlerin yüksek enerji ve iş gücü gerektirmesi sebebiyle yüksek değerlere ulaşabilmektedirler. Örneğin Ronen (2011) yakıt fiyatlarının tonunun 500\$ olduğu zamanlar için yaptığı bir hesabında, büyük bir konteyner gemisinin yakıt maliyetinin işletme giderlerinin %75’i civarında olduğunu söylemektedir. Golias ve arkadaşları (2009) ise okyanus aşırı taşıma yapan şirketlerin yakıt maliyetlerinin işletme giderlerinin %60’tan daha fazlasını teşkil ettiğini gördüklerinde acil tedbirler almaları gerektiğini fark ettiklerini ve apar topar 25 Knotluk seyir hızlarını daha ekonomik olan 20 Knotluk seyir hızı seviyesine çektiğini aktarıyorlar. Bu hız azalması kendi başına rakam olarak az gözükse de basit bir yaklaşımla seyir süresinin %25 artması anlamına gelmektedir.

Gemilerde enerji verimliliğinin hem çevresel hem ekonomik bir zorunluluk olduğunu düşündüğümüzde bu konuya dair yaptırımların olması da kaçınılmaz bir hal almaktadır. 1997 yılında Japonya’nın Kyoto kentinde gerçekleştirilen “Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Konferansı” (The United Nations Framework Conference on Climate Change) bu konudaki ilk adımların atıldığı konferanstır. Konferans ile “Kyoto Protokolü” Aralık 1997 de imzalanmış ancak yürürlüğe girmesi Şubat 2005 yılında olmuştur (Kyoto Protocol, b.t.). Bu protokol ile birlikte

Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO) gemilerle ilgili olarak atmosfere salımı gerçekleşen gazlar için düzenleme yapmakla sorumlu kılınmıştır. IMO ise atmosfere salınan SO_x ve NO_x gazlarının denetimi için MARPOL Ek VI (Ek 6)' yı devreye sokmuştur. Buna ek olarak 2008 yılında SO_x denetimli alanlar diyebileceğimiz "Sulphur Emissions Control Area" – "SECAs" isimli alanlar seçilmiştir. Bu alanlar Baltık Denizi, Kuzey Denizi ve İngiliz Kanalı çevresinden oluşmaktadır. NO_x denetimli alanlar içinde, 2010 yılında, tüm Amerika Birleşik Devletleri ile Kanada kıyıları "Emissions Control Area" – "ECA" olarak seçilmiştir (IMO, 2008). Bu bölgeler Şekil 2.1 üzerinde görülebilmektedir.



Şekil 2.1 Mevcut ECA ve SECA bölgeleri (DNV-GL, 2015)

Salım değerlerini sınırlandırma işlemi, enerji verimliliğiyle ilgili olduğu için IMO bünyesinde bulunan Deniz Çevresini Koruma Komitesi (MEPC) 'nin 62. oturumunda gemilerde enerji verimliliği konusuyula ilgili olarak MARPOL Ek VI'ya yeni bir bölüm eklenmiştir (Bölüm 4). Bu eklenen bölüm ile birlikte Enerji Verimliliği Dizayn İndeksi (Energy Efficiency Design Index – EEDI) ve Gemilerde Enerji Verimliliği Yönetim Planı (Ship Energy Efficiency Management Plan – SEEMP) kavramları hayatımıza girmiştir. IMO yeni gemiler için EEDI hesaplamasını, hem yeni hem de mevcut tüm gemiler için ise SEEMP belgesini 1 Ocak 2013 tarihi ile zorunlu kılmıştır (IMO, 2011b).

EEDI ve SEEMP uygulamalarının birlikte değerlendirilmesi ile birlikte dünya denizcilik filolarında 2020 yılında yıllık 50 milyar dolar ve 2030 yılına kadar da yıllık 200 milyar dolarlık bir yakıt tasarrufu elde edileceği ve bu değerlere göre de salım değerlerinde büyük bir kazanım gerçekleşeceği öngörülmektedir (IMO, 2011a).

2.1 Enerji Verimliliği Dizayn İndeksi – EEDI

Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO) bünyesinde bulunan Deniz Çevresini Koruma Komitesi'nin (MEPC) 2011 yılındaki 62. oturumunda MARPOL Ek VI 'ya Bölüm 4'ü eklemesiyle birlikte Enerji Verimliliği Dizayn İndeksi (Energy Efficiency Design Index-EEDI) kavramı hayatımıza girmiştir. EEDI kavramı, 400 GT (gros ton) ve üzeri, uluslararası sefer yapacak olan tüm yeni gemilerin olası karbondioksit (CO₂) salımlarının teorik olarak hesaplanmasını amaçlamaktadır. Tablo 2.1' de EEDI hesaplamasının hangi gemiler için yapılacağı ve bu gemilere ait özellikler gösterilmiştir. Tabloya baktığımızda sadece 12'den fazla yolcu taşıyan yolcu gemileri için zorunlu olduğu görülmektedir. Diğer gemi tiplerine ait özel durumlarda tabloda belirtilmiştir.

Tablo 2.1 Enerji verimliliği tasarım indeksinin uygulandığı gemi tipleri (Ergin S., b.t.; Akt: Yılmaz C., 2015)

Gemi Tipi	Özellik
Yolcu Gemisi	SOLAS Bölüm 1 Düzenleme 2'de tanımlandığı gibi 12'den fazla yolcu taşıyan gemiler.
Dökme Yük Gemileri	SOLAS Bölüm 9 Düzenleme 1'de tanımlandığı gibi dökme yük taşıyan genellikle tek güverteli kargo boşluklarının üst tarafında tankları olacak şekilde inşa edilmiş gemiler örneğin cevher gemileri.
Gaz Tankerleri	SOLAS Bölüm II-1 Düz. 3'de tanımlanan gaz tankerleri
Tanker	MARPOL Ek I Düzenleme 1'de tanımlanan petrol tankerleri veya Ek II Düzenleme 1'de tanımlanan kimyasal tankerler
Konteyner Gemisi	Ambarlarında ve güvertesinde konteyner taşımak üzere tasarlanmış gemiler
RO-RO Kargo Gemisi veya Araç Taşıyıcılar	Boş araba ve kamyon taşımak üzere tasarlanmış çok güverteli ro-ro kargo gemileri

Tablo 2.1 Devamı

RO-RO Kargo Gemisi Hacim Taşıyıcılar	Araç metre (lane meter) başına 4 Ton/m'den az taşımak üzere tasarlanmış ulaşım üniteleri taşıyan gemiler
RO-RO Kargo Gemisi Ağırlık Taşıyıcılar	Araç metre başına 4 Ton/m ve üzeri taşımak üzere tasarlanmış ulaşım üniteleri taşıyan gemiler
Genel Yük Gemileri	Çok güverteli veya tek güverteli, ana olarak genel yük taşımak üzere tasarlanmış gemiler.
RO-RO Yolcu Gemisi	SOLAS Bölüm II-1, Kısım A, Düzenleme 2.23'de tanımlanan yolcu gemileri

EEDI hesaplamasının yapılması 1 Ocak 2013 tarihi itibariyle zorunlu kılınmıştır. Hesaplamanın, gemi inşa edilmeden önce yaklaşık olarak yapılabilecek düzeyde olması ve zorunlu kılınması ile birlikte sektör, teknolojik gelişmeleri takip etmeye ve enerji verimliliği konusunda etkili önlemler almaya teşvik edilmiştir. IMO (2011a) EEDI düşürücü teknolojiler ile ilgili olarak Tablo 2.2'yi paylaşmaktadır. Tabloya bakıldığında görülen önlemler ikinci bölümde detaylı olarak anlatılmaktadır. Bu yöntemlerin önemli bir özelliği gemilerin teknik yapısıyla alakalı olmaları sebebiyle genel olarak gemilere inşaat aşamasında uygulanması gerekliliğidir.

Tablo 2.2 EEDI sonucunu düşürebilecek teknolojik önlemler (IMO, 2011a)

EEDI Düşürücü Önlemler	Düşünce
Gövde form ve boyutlarının optimizasyonu	Geminin enerji verimliliğini arttıracak şekilde ana boyutlarının ve tekne formlarının seçilmesi. Liman ve kanal sınırlamalarını dikkat edilerek.
Daha hafif gemi inşaatı	Daha hafif özellikli yeni malzemelerin kullanılması.
Gövde kaplaması	İleri teknoloji gövde kaplamaları ve boyaların kullanımı.
Gövde için hava yağlaması	Gemi direncinin düşürülmesi için gövdenin suyla temas eden yüzeylerine sürekli hava üflenerek gemi direncinin düşürülmesi.
Akış elemanlarının ve gövde-pervane ilişkisinin optimizasyonu	Pervane-gövde-dümen hattının gemi kış yapısındaki değişimlerle birlikte optimizasyonu.
Ters yönlü (contra tipi) dönen pervaneler.	Farklı yönlerde dönen çift pervane sisteminin kullanımı.
Makine veriminin artırılması	Daha uzun strok, elektronik enjeksiyon, değişken geometri turboşarjır, vs. kullanımı.

Tablo 2.2 Devamı

Atık ısının geri kazanımı.	Ana ve yardımcı makinelerin egzoz gazlarından oluşan atık ısının geri kazanılması, elektrik enerjisine dönüştürülmesi.
LNG (doğalgaz) kullanımı	LNG'nin yakıt olarak kullanılması veya çift yakıtlı makinelerin kullanımı
Hibrit elektrik gücü ve sevk sistemlerinin kullanılması	Bazı gemilerde elektrikli hibrit güç sistemlerinin kullanımı daha verimi olabilir.
Yerleşik güç talebini azaltmak (yardımcı sistemler ve konaklama yükleri).	Konaklama için gereken elektrik ihtiyacının daha iyi yönetilerek gemi için enerji tasarrufuna gidilmesi (atık ısının geri dönüşümü ile karşılanması veya farklı bir ara yöntem bulunması)
Pompalar ve fanlar gibi elemanların değişken devirlerde çalıştırılabilmesi	Farklı devirlerde çalışabilen elektrik motorlarının kullanılması ilgili makinenin ihtiyaca göre çalışabilmesini sağlayarak enerji tüketimlerini azaltabilmektedir.
Rüzgar gücünün kullanılması (yelken, rüzgar motoru vs.).	Yelkenler, fletnner rotoru, gemi uçurtmaları gibi yeni teknolojilerin kullanımı.
Güneş enerjisi kullanımı	Fotovoltaik panel teknolojisinin kullanılması.
Yeni gemiler için tasarım hızının düşürülmesi	Daha düşük güçte makine kullanılarak tasarım hızının düşük tutulması.

EEDI hesaplaması yapıldığında “Ulaşılmış Enerji Verimliliği Dizayn İndeksi” (Ulaşılmış EEDI) değeri elde edilir. Bu değerın IMO tarafından belirlenmiş olan “Gerekli Enerji Verimliliği Dizayn İndeksi” (Gerekli EEDI) ile kıyaslanarak, bu değerden küçük veya eşit olması sağlanmalıdır (Beşikçi Bal, 2015; Türk Loydu, 2011).

2.2 Gemi Enerji Verimliliği Yönetim Planı – SEEMP

Gemi Enerji Verimliliği Yönetim Planı belgesi, uluslararası yolculuk yapan 400 GT ve üzeri, yeni yapılacak ve mevcut olanları ayırmaksızın her gemi için bulundurulması zorunlu olan bir belgedir. SEEMP belgesi ile bir geminin işletilmesi esnasında enerji verimliliğine dikkat edilip edilmediğini görülmesi amaçlanmıştır. Bu yüzden 1 Ocak 2013 tarihi itibarıyla yürürlüğe girmiş ve mevcut gemiler için yürürlüğe girdiği tarihten sonraki ilk sömürde kontrol edilmiştir (IMO, 2011b).

Gemiler için enerji verimliliğine dair uygulamaların farklılık göstermesi sonucunda gemi işletmelerinin her gemisi için ayrı ayrı ve özel SEEMP belgeleri hazırlamaları

gerekmektedir. Türk Loydu (2012) belgenin hazırlanma sürecini dört aşama olarak aktarmaktadır. Bunlar, “planlama (planning)”, “uygulama (implementation)”, “izleme (monitoring)” ve “öz değerlendirme ve gelişim (improvement)” şeklindedir.

Planlama aşaması, gemiye uygun önlemlerin tespit edileceği aşamadır. Uygulama aşaması bulunan yöntemlerin uygulandığı aşamadır. İzleme aşamasında ise uygulanan yöntemlerin sonuçlarının kayıt altında tutulması gerekmektedir. İzleme aşamasında elde edilen bilgiler öz değerlendirme ve gelişim aşamasında gözden geçirilerek sürekli iyileştirme yapılması teşvik edilmektedir. Bu aşamalar gemi için enerji verimliliğinin sürekli bir döngü ile geliştirilmesinde önemli bir rol sahibidirler (Türk Loydu, 2012).

SEEMP kavramını EEDI kavramından ayıran başlıca özellik sadece yeni gemiler için değil mevcut gemiler içinde uygulanabilir önlemlerle sağlanabilmesidir. Bu önlemler daha çok mevcut gemilerde uygulanması maliyet ve işçilik açısından daha zor teknolojik yenilikler yerine mevcut gemi koşullarının operasyonel olarak iyileştirmesini amaçlamaktadır (IMO, 2012).

2.2.1 Enerji Verimliliği Operasyonel İndikatörü – EEOI

Gemilerin enerji verimliliğinin sayısal olarak incelenebilmesi ve bu incelemenin uluslararası standartlara dayanılarak yapılması denizcilik sektöründe ortak bir dil ve paydada buluşulması adına önemli bir ihtiyaç haline gelmiştir. IMO bu yüzden gemilerin enerji verimliliğine dair sayısal bir gösterge olması ve uluslararası bir standart olması için Enerji Verimliliği Operasyonel İndikatörünü oluşturmuştur (Türk Loydu, 2012 ve IMO, 2009). EEOI ile SEEMP uygulamasının “izleme” aşamasında sayısal bir izleme aracı olarak kullanılması Türk Loydu (2012) tarafından tavsiye edilmektedir.

EEOI geminin yük veya yolcu taşınması şeklinde yaptığı iş ile bu iş sonucunda ortaya çıkan CO₂ salımı arasında hesaplanan sayısal bir göstergedir. Bu yüzden yaptığı işe göre birimi CO₂/ (ton*deniz mili), CO₂/ (TEU*deniz mili), CO₂/ (kişi sayısı*deniz mili) gibi gemi türüne veya geminin yaptığı hizmete göre değişebilmektedir.

2.3 Uluslararası Enerji Verimliliği Belgesi – IEEC

Gemilerin SEEMP ve EEDI ile ilgili kurallara uygunluğu tespit edildikten sonra gemilere verilen ve bu uygunluğu gösteren sertifikadır. Uluslararası Enerji Verimliliği Sertifikası, SEEMP ve EEDI gibi 400 GT ve üzeri uluslararası yolculuk yapacak gemiler için zorunludur ve gemilerde hazır bulundurulmalıdır. MARPOL 73/78 Ek VI 'da geçen şartların yerine getirildiğini doğrular. Sertifika bir kez alındı mı sona erme süresi yoktur. Sertifikanın geçerliliğini kaybedeceği durumlar ise şu şekildedir,

- Geminin servisten çekilmesi,
- Geminin büyük bir dönüşüm geçirmesi,
- Geminin bir başka devletin bayrağına devredilmesi.

Eğer ikinci veya üçüncü durum söz konusu ise IEEC sertifikasının tekrar yazılması veya yeni duruma göre düzenlenmesi gerekmektedir (Türk Loydu, 2013).

BÖLÜM ÜÇ

GEMİLERİN ENERJİ VERİMLİLİĞİNİ ETKİLEYEN UYGULAMALAR İLE İLGİLİ LİTERATÜR TARAMASI

Gemilerde enerjinin verimli kullanılması, tasarım ve inşaat aşamasından başlayarak geminin tüm faaliyet ömrü boyunca üzerinde durulan önemli bir konudur. Bu konu geminin tasarımı süresince alınan önlemler ile belli bir ölçüde sağlanabilmektedir. Tasarım sonrasında ise geminin tasarım şartlarına uygun şekil ve yöntemlerde operasyon hayatını sürdürmesi, yani kullanılması gerekmektedir.

Enerji verimliliği, yeşil enerji, IMO tarafından zorunlu kılınan Gemi Enerji Verimliliği Yönetim Planı (SEEMP) ve Enerji Verimliliği Dizayn İndeksi gibi kavramların ortak noktası, enerjinin tüketimi sırasında enerji kaybına yol açan durumlardan kurtularak enerji verimliliği sağlamayı amaçlamalarıdır. Gemilerde enerji verimliliği kavramı birçok etkene bağlıdır ve bu sebeple gemilerde uygulanabilen birçok yöntem vardır. Bu yöntemler gemi formunun tasarım aşamasından başlayıp geminin bakımlarına ve operasyon sürecine kadar her aşamada farklı farklı karşımıza çıkmaktadırlar. Her yöntemin maliyeti, uygulama süresi ve uygulanabilirliği birbirinden çok farklı değerlerde olabilmektedir. Türk Loydu (2012) 'nun enerji verimliliği konusunda değindiği ve tavsiye ettiği yöntemlere bakacak olursak,

- Tekne yüzeyi ve tahrik sistemi bakımı,
- Optimum hızda seyir ve tam zamanında ulaşım,
- Yenilebilir enerji kaynakları ile güç sisteminin desteklenmesi,
- Atık ısının geri kazanılması,
- Yakıt pili teknolojileri ve yakıtın kimyasal performansının artırılması,
- Geliştirilmiş sefer ve hava durumuna bağlı rota planlaması,
- Optimum pervane ve pervaneye gelen akımlarla ilgili hususlar,
- Dümen ve rota tutma kontrol sistemlerinin (otomatik pilotlar) optimum kullanımı,

- Enerji yönetimi için bilgisayar yazılımlarının kullanımı,
- Şaft gücü optimizasyonu,
- Balast optimizasyonu,
- Trim optimizasyonu gibi uygulamalar karşımıza çıkmaktadır. Bu yöntem ve uygulamalar genel olarak, yakıtın verimli kullanılmasını ve salım değerlerinin düşürülmesini amaçlamaktadır. Bu yöntemlerin bazıları teknik uygulamalar olurken bazıları ise bir geminin operasyonu (yönetimi) ile ilgilidir. Bu yüzden bu bölümde enerji verimliliği uygulamaları teknik uygulamalar ve yönetimsel uygulamalar olarak iki başlık altında değerlendirilmiştir.

3.1 Enerji Verimliliği ile İlgili Gemilerdeki Teknik Uygulamalar

Günümüzde mühendislik kavramının içerdiği bilimsel altyapının kuvvetlenmesi ile birlikte üretilen ürünlerde bu konuda değer kazanmaktadırlar. Gemi mühendisliği alanındaki bilgi birikimin artması ile birlikte gemilerin tasarımdan başlayan tüm karakteristik özellikleri de değişmektedir. Bu sayede gemilerde enerji verimliliğini sağlamak için birçok teknik uygulama geliştirilmiştir. IMO tarafından EEDI zorunlu tutulması da gemiler için enerji verimliliği anlamında teknik önlemlerin alınması sürecinde tetikleyici rolü üstlenmiştir. Bu başlık altında literatürde görülen farklı teknik uygulamaların gemilerde enerji verimliliği konusuna etkisi üzerine durulacaktır.

3.1.1 Gemi Formu Tasarımı İle İlgili Durumlar

Gemi tasarımı yapılırken ön tasarım aşamasından gemi teslimine kadar geçerli olan bir tasarım spirali (tasarım spirali) vardır. Spiralin ilk basamağı ise geminin ne amaçla üretileceği kavramının belirlenmesidir. Amaçların belirlenmesinde öncelik elbette müşteridir. Müşteri isteklerinin mühendislerin elinde biçimlenmeye başlaması için ön tasarım aşamasına geçilir. Eğer var ise benzer/aynı amaçlardaki yakın geçmişte inşaatı tamamlanmış gemi verileri bir havuzda toplanır. Havuzdaki verilerden, müşteri isteklerine uygun bir boy aralığı seçilir ve karakteristik özellikleri incelenir. En, boy, draft, ağırlık, boyutsuz katsayılar vb. gibi değerleri kabaca belirlenerek asıl tasarıma

geçilir. Günümüz şartlarındaki iyileşmeler ve teknolojinin ilerlemesi ile birlikte mühendislik kavramının gereğince üretilen her yeni gemi geçmiş yıllardaki emsallerinden daha yüksek performans sunmayı amaçlamaktadır. Bu yüzden, ön tasarım aşamasında oluşturulması gereken bilgi havuzuna seçilen gemilerin dikkatle seçilmesi önem arz etmektedir diyebiliriz. Xing ve arkadaşları (2013) gövde kaynaklı dalga üretimi için gemide üretilen enerjinin %17 sinin kullanıldığını belirtmişlerdir. Bu sebeple form tasarımı yapılırken geleneksel yöntemlerle birlikte modern çağın gövde tasarımı konusunda sunduğu olanaklardan faydalanmak enerji verimliliğini arttırabilir. Peri ve arkadaşları (2001) hesaplamalı akışkan dinamiği (CFD/HAD) yöntemi ve bilgisayar yazılımları ile gemi formu üzerinde yaptıkları bir çalışmada, tasarladıkları form üzerinde yapılabilecek düzenlemelerle dalga direncini %17 azaltabileceklerini bulmuşlardır.

Gemi formunun, amaçlanan kullanım koşullarında çevre şartları karşısında oluşturacağı direncin en az olacağı duruma göre tasarlanması, enerji verimliliği konusundaki ilk adım olarak sayılabilir. Xing ve arkadaşları (2013) gövde sürtünme direncinden kaynaklı olarak %55 lik bir enerji harcanmasının gerçekleştiğini söylemişlerdir. Peri ve arkadaşları (2001) hesaplamalı akışkan dinamiği yöntemiyle form üzerinde yaptıkları geliştirmeler sonucunda toplam direncin farklı hızlarda farklı seviyelerde düşürülebildiğini göstermişlerdir. Bu düşüş toplam gemi direnci üzerinden, belirli bir hız için en çok %5,2 olmakla birlikte farklı hızların ortalaması olarak %3,7 şeklindedir.

3.1.2 Daha Hafif Gemi İnşaatı

Teknoloji ve malzeme bilimindeki gelişmeler ile birlikte gemi inşa sektöründe kullanılabilir malzemelerde çeşitlenmektedir. Tarihin geçmiş sayfalarına bakıldığında gemi yapımı için sadece ahşap kullanılan dönemlerden, çelik, alüminyum ve kompozit malzemeler gibi farklı malzemelerin kullanıldığı bir döneme geçildiği görülmektedir. Malzeme bilimi sayesinde günümüzde hem yeni malzemeler gelişmekte hem de mevcut malzemelerin kullanım şekli geliştirilebilmektedir. Örneğin alüminyumun mevcut hali yerine köpük olarak kullanılabilir. Sığırtaç ve

arkadaşları (2012) yaptıkları bir çalışmada alüminyum köpüğünün (öz kütlesi 500 kg/m³) normal alüminyuma (öz kütlesi 2700 kg/m³) göre daha fazla çekme mukavemeti sağladığını keşfetmişlerdir. Bu çalışmanın uygulaması için seçilen geminin sadece çıplak gövde ağırlığı, yaz draftındaki toplam gemi ağırlığının %40'ına denk gelmektedir. Buradan yola çıkarak gemi tipine göre gerekli olan özellikleri sağlayan daha hafif bir yapı malzemesinin kullanılabilir olmasıyla, gemi tarafından taşınan yükün önemli ölçüde azalabileceği ve enerji verimliliğini büyük oranda etkileyebileceği yorumu rahatlıkla yapılabilecektir.

3.1.3 Gemi Ana ve Yardımcı Makinelerinin Tasarımı

Gemiler sipariş üzerine özel bir amaç için üretilen özel ürünlerdir. Gemilerin tasarım aşamasında kullanım koşullarına göre değerlendirilmesi gibi makine sisteminin de bu koşullara uygun olarak seçilmesi veya tasarlanması gerekmektedir. Kullanım koşullarına göre ne kadar güç ihtiyacı olacağı değerlendirilmeli ve bu değerlendirmeye göre bir ana makine seçilmesi gerekmektedir. Gemi makinelerinin verimli güç üretebildikleri bir aralık vardır. Gemi için gerekli gücün ön hesaplarının yapılarak bu aralıkta tutulması gerekmektedir. Aksi halde gemi makinesi ihtiyaç duyulan güce ulaşmak için veriminin düşük olduğu bir aralıkta çalışmak zorunda kalır ve buda enerji verimliliğinin düşmesine sebep olur.

Dizel deniz motorları çok yüksek bir termal verimliliğe sahiptir (~%50). Bu performans yalnızca ortalama yüzde 60 termal verimliliğe sahip yakıt hücresi teknolojisi ile aşılabılır. Bunun nedeni, ısı ve mekanik kaybın sistematik şekilde minimuma düşürülmesidir. Özellikle yeni nesil elektronik kontrollü makineler verimlilik kazanımları sağlayabilir (Türk Loydu, 2012).

3.1.4 Sevk Sistemi Tasarımı

Peşman ve arkadaşları (b.t.) Karadeniz balıkçı teknelerinin sevk sistemi tasarımı üzerine 50m boyunda ve 15m genişliğindeki bir gemi için yaptıkları çalışmalarında üç pervane ve üç motor ile bir sevk sistemi tasarlamışlardır. Yandaki makineleri 800 BG

gücünde ve ortadaki makine 1800 BG gücündedir. Geminin bu durumda hesaplamaları yapılmış ve yapılacak hız sadece ortadaki makinesi çalıştırıldığında 16,2 knot, sadece yanlardaki makineleri çalıştırıldığında 15,8 knot, tüm sistem birlikte çalıştırıldığında ise 17,2 knot olarak bulunmuştur. Uygulama sonuçlarına bakıldığında ise ortadaki makine ve pervaneden beklenen verimin alınmadığı ve maksimum 15 knot hıza ulaşılabilirdi ortaya çıkmıştır. Çalışmada görüldüğü üzere teori ile pratik sonuçlar birbirlerine uymayabilmektedir. Bu durum incelenmeden üçlü sistemle devam edilseydi ortadaki makine ve pervane geminin enerji verimliliğine sadece negatif etki eden bir yük olarak kalacaktı diyebiliriz. Bu sebeple geminin ihtiyacına ve tasarımına en uygun sevk sisteminin tasarlanması enerji verimliliği konusunda oldukça önemli bir etken diyebiliriz.

3.1.5 Hava Yağlama Sistemlerinin Kullanılması

Hava yağlama şeklinde belirtilen sistemler, gemi gövdesi ile gemi etrafında geminin hareketi sebebiyle enerjisini aktardığı çevre (sınır tabaka) arasında hava kabarcıkları üfleyerek bir çeşit yağlama yapan ve bu şekilde sınır tabakanın gemiye gösterdiği direnci azaltmaya yarayan bir teknolojidir. Bu konudaki çalışmalar 1900 lü yıllardan günümüze devam etmekte olup 30 knot gibi hızlarda seyir yapan kayıcı ve yarı kayıcı teknelerde %30-35 gibi değerlerde direnç azaltılmasını sağlayabilmişlerdir. Üstelik belirtilen koşullarda sistemin çalışması için ana makinede üretilen gücün sadece %3ü kullanılmıştır. Farklı bir örnekte ise gemi direnci üzerinde %2-10 arasında artışta görülmüştür (Gökçay, 2012).

3.1.6 Dümen ve Rota Tutma Kontrol Sistemlerinin (Otomatik Pilotlar) Tasarımı

Dümen ve rota tutma sistemleri ilk aşama olarak köprü üstünde güverte ekibinin daha etkin iş tutabilmesi için geliştirilmiş olmalarına rağmen, otomatik pilotların modernleşmesi ve teknolojik olarak gelişmesi ile birlikte kendi kendileri daha performanslı iş tutabilir hale gelmişlerdir. Navigasyon sisteminde dahil edilmesi ile birlikte önceden belirlenen rota çizgisi dijital olarak takip edilebilir olmuştur. Bu sayede normal koşullarda insan kaynaklı meydana gelen rotadan sapmalar otomatik

pilot sayesinde küçük dokunuşlarla giderilebilmektedir. Küçük hareketler ile rotanın sürekli takip edilebilmesi ise olası büyük manevralarla rotaya geri dönüş için harcanan enerjinin ya da dümen direnci kaynaklı enerji kayıplarının önüne geçilebilmesine olanak tanımıştır (Türk Loydu, 2012).

Her ne kadar teknolojinin ve bilgi birikiminin sürekli gelişmesine paralel olarak gelişme gösterecek de limanlarda ya da pilot istasyonlara yaklaşırken ve olumsuz hava koşullarında, acil durumlarda insan müdahalesine acil ihtiyaç duyulabilir. Bu sebeple sistemin sınırlarının iyi bilinmesi ona göre kullanımına dikkat edilmesi gerekebilmektedir.

3.1.7 Pervane Tasarımı ve Pervaneye Gelen Akımlarla İlgili Hususlar

Bertram ve arkadaşları (2010), makinede üretilen gücün yaklaşık olarak 2/3 'ünün pervaneler tarafından itme gücüne çevrilebildiğini aktarmışlardır. Bir geminin sevki için kullanılacak farklı avantajları ve dezavantajları olan birçok pervane çeşidi bulunmaktadır. Geminin asıl ihtiyacına en yakın olan pervane seçiminin yapılabilmesi enerji verimliliği konusunda bu yüzden önem sahibi olmaktadır.

Peşman ve arkadaşları (b.t.) yaptıkları bir çalışmada bir geminin kıçına yerleştirilen iskele, sancak ve merkezi 3 adet pervane ile bir geminin sevk hızının ekonomik olarak 17,2 knota çıkacağını hesaplamışlardır. Gemi seyire çıkartılıp test edildiğinde ise maksimum 15knot hız elde edebilmişlerdir. Bunun sebebi olarak merkezi pervaneden verim alamadıklarını belirtmişler ve hesaplama yapılırken pervaneler ile ilgili akımları hesaplamadıklarını belirtmişlerdir. Basit olarak düşünüldüğünde bir gemi için ayrı makinelerden tahrik edilen iki yerine üç pervane kullanılmasının avantaj sağlayacağı düşünülmektedir. Oysa pervanelere gelen akımlar ve pervanelerin birbirine etkisi dikkate alındığında sonuç bu basit düşünceden oldukça farklı olabilmektedir. Üç pervaneli sistemle başarılı olamayan ekip iki pervaneli sistem üzerine çalışmalarını sürdürmüş ve geminin ihtiyacını karşılamak üzere yeni pervaneler tasarlamışlardır. Gemi kıç yapısı ise yeni pervaneler için yetersiz kaldığından gemi formunun yenilenmesi gerektiği ortaya çıkmıştır.

3.1.8 Rüzgar Enerjisi ve Güneş Enerjisi ile Hibrit Sistem Tasarımı

Yelkenler ile rüzgar enerjisinin kullanımı geçmişten günümüze gemilerin sevki, spor amaçlı teknelerin sevki ve yatlar gibi ortamlarda karşımıza çıkmaktadırlar. Sektördeki enerji verimliliği konusuna verilen önem ve ayrıca IMO gibi kuruluşların bu konudaki yaptırımlarıyla beraber rüzgar enerjisi denizcilik sektöründe yeni kullanım şekillerine kavuşmuştur. Şekil 3.1 ile gösterilen “Windkite” uygulaması da bunlardan biridir. Leloup ve arkadaşları (2016) 50bin dedveyt tonluk bir tanker için 350 m² alanı olan bir uçurtma ile yaptıkları çalışmalarında 9,77 m/s hızındaki rüzgarda yakıt tüketimini %10 azalttığını, rüzgar hızının 15,68 m/s olduğu durumda ise bu tasarrufun %50 den daha yüksek değerlere ulaştığını keşfetmişlerdir.



Şekil 3.1 Windkite uygulamasına bir örnek (Skysails, 2017)

Lele ve Rao (2016) çalışmalarında rüzgar enerjisinden faydalanılan diğer yöntemler olarak fletner rotoru, farklı şekillerdeki geleneksel yelken sistemlerini, rüzgar türbinlerini ve uçan rüzgar türbinlerini göstermişlerdir. Fletner rotor ve geleneksel yelken sistemleri ile desteklenen bir gemi için karşılaştırma yapılan bir çalışma da geleneksel yelken ile desteklenen sistemlerin, fletner rotorun verimliliğinin daha yüksek olmasına rağmen, ekonomik ve yapısal basitliği sebebiyle daha faydalı olacağı belirtmiştir (Allenstrom, 2013; Akt: Lele ve Rao, 2016).

Rüzgar türbinleri ise yatay eksenli (HAWT) ve düşey eksenli (VAWT) olmak üzere iki farklı sistemde çalışmaktadır. Yatay eksenli rüzgar türbinleri sadece belirli bir yönden gelen rüzgarlarla çalışabilirken, düşey eksenli rüzgar türbinleri her açıdan

gelen rüzgarla çalışabilmektedirler (Lele ve Rao, 2016). Talluri ve arkadaşları (2016) düşey eksenli rüzgar türbinleri üzerine yaptıkları bir çalışmada rüzgar türbinlerinin performanslarının seyir rotasına ve çevre koşullarına bağlı olduğunu buna rağmen gaz türbini ile yapılan seyirde %14, dizel makine ile yapılan seyirde %16 yakıt tasarrufu elde ettiklerini belirtmişlerdir. Ayrıca yazar rotalarında güçlü rüzgarlar bulunmayan gemiler için ekonomik sebeplerle kullanımının uygun olmadığını da vurgulamıştır.

Uçan rüzgar türbinleri ise gökyüzünde farklı yüksekliklerde oluşması muhtemelen olan ve yüzeysel rüzgarlardan daha kuvvetli olan rüzgarlardan faydalanılması için geliştirilmiş bir sistemdir. Sistemin gemi baş bölgesine bağlanması ve üretilen elektriğin gemiye aktarılmasıyla, uçan rüzgar türbinleri gemilerin sevki için alternatif bir güç kaynağı olarak kullanılabilir. Gilje (2013) bu konuda yaptığı bir uygulamada üretilen elektriği doğrudan sevk için kullanmaya çalışmış ama seçilen geminin oluşturduğu direnci yenmede başarısız olmuştur. Sistem, üzerinde yapılacak çalışmalar ile ilerleyen zamanlarda belki hibrit sistemler ile belki de doğrudan güç kaynağı olarak kullanılabilir hale gelebilecektir.

Güneş enerjisi hem yenilebilir bir kaynak olması hem de herhangi bir salım yaymaması sebebiyle enerji sektöründe kendine yer bulmuş yenilenebilir bir enerji kaynağıdır. Güneşten gelen fotonlar enerjisini, fotovoltaik hücrelere aktararak elektrik enerjisi oluştururlar. Bu sebeple sistemde hareketli parçalar bulunmaz ve salım oluşmaz. Hücrede oluşan elektrik akımı düşük seviyelerde olduğu için birçok hücrenin birbirine bağlanması ile fotovoltaik paneller elde edilir. Gemilerde sevk sistemi için doğrudan enerji kaynağı olarak kullanımı için çok fazla alan gerektiğinden daha çok yardımcı güç ihtiyacı olarak kullanılabilir (Konur, 2016).

3.2 Gemilerin Yönetimi İle İlgili Uygulamalar

Gemiler ve denizcilik konusunda bilgi birikiminin artması ve teknolojinin katkısıyla bilim dünyasında farklı dallardaki ilerlemelerle birlikte gemilerde enerji verimliliği kavramını etkileyen birçok uygulamada gelişmiştir. Geminin çevresiyle olan ekonomik ilişkisinin oluşturacağı masrafları en az seviyede tutması için

mühendislik alanında çeşitli tedbirler alınabilmektedir. Örneğin, gemi hızının ekonomik seviyede tutulması, hız azaltılması için sefer zamanlamasının yapılması, gemi yüzeyinin ve sevk sistemi elemanlarının yüzeylerinin bakımının yapılarak oluşturacakları direnç değerlerinin azaltılması, gemi formunun en az direnç oluşturan trim koşullarında yözdürülmesi gibi birçok yöntem vardır. Bu bölümde bir geminin yönetimi ile ilgili enerji verimliliği uygulamaları üzerinde durulmuştur.

3.2.1 Hava Durumuna Göre Rota Belirleme

Havacılık konusundaki bilgi birikiminin her geçen gün artmakta ve hava durumu tahminleri haftalık ölçeklerde yapılabilmektedir. Hava durumu tahminlerinin haftalar öncesinde yapılabilmesi sayesinde bir gemi seferi için rota, zaman ve hız gibi değişkenlerin üzerinde sağlıklı oynamalar yapılabilmektedir. Böylece gemi seferleri süresince olumsuz hava koşullarından kaçılabilir.

Sefer rotası belirlenirken hava durumu raporlarının aktif olarak takip edilmesi gerekmektedir. Rota üzerindeki rüzgar, dalga ve akıntı karakteristiklerinin incelenmesi, bu etkenlerin seferin konforunu arttıracak ve gemi için oluşacak direnci düşürmeye yönelik şekilde kullanılmaya çalışılmalıdır. İlgili güncel bilgiler ışığında rota ve sefer planlaması yapılması enerji verimliliğine %10 katkı sağlayabilmektedir (Talay, Deniz ve Durmuşoğlu, 2014).

3.2.2 Tam Zamanında Ulaşım

Sefer sırasında uğranacak limanlarla erken iletişime geçilmesi, geminin karakteristiklerine uygun demirleme yeri ve ekipmanın tesis edilmesinde kolaylık sağlayabilir. Gerekli önlemlerin alınarak anlaşma yapılan zamana riayet edilmesi işlemlerin olması gerektiği hızda yapılmasını sağlayabilir ve gereksiz bekleme sürelerine geçebilir (TL, 2012). Bu şekilde hem zamanın hem de enerji ve diğer kaynakların gereksiz tüketilmesi önlenmiş olur.

3.2.3 Geliştirilmiş Sefer Planlaması

Rota seçimi, yolculukların özenle planlanması ve ulaşım zamanı ile ilgili optimizasyonlara gidilmesi zaman alabilen kapsamlı bir uygulamadır (TL, 2012). İlgili lojistik, planlama, charter parti (charter party) sözleşmeleri ve diğer kısıtları dikkate alarak hareket edilmesi gerekmektedir (Bal, 2015).

3.2.4 Atık Isının Geri Kazanılması

Gemilerde ana makinenin yapısı gereği ürettiği enerjinin yüksek bir kısmının soğutma sistemi ve egzoz sistemi ile dışarı kaçtığı bilindik bir durumdur. Wu ve arkadaşları (2011) ana makinede üretilen enerjinin yaklaşık %40'ının işe dönüştüğü geri kalan %60'lık kısmın ise soğutma ve egzoz sistemleri gibi ortamlar aracılığıyla atık ısıya dönüştüğünü söylemektedirler. Günümüzde atık ısı, süper şarjörler, atık ısı kazanları ve tatlı su üretim sisteminde ısı kaynağı olarak atık ısının kazanılması gibi yöntemlerle geri kazanılmaya çalışılmaktadır. Yanma sisteminin termal veriminin artırılarak atık ısı kaybının en üst düzeyde önlenmesi, atık ısı yine de oluşuyorsa bu ısının en yüksek verimle yeniden kullanılması enerji verimliliğine yüksek oranda katkı sağlayabilecektir.

3.2.5 Gemi ve Pervane Yüzeyi Bakımı

Pervane ve tekne yüzeylerinin deniz içerisinde ortak olarak bulunmaları, deniz kaynaklı kirlenmeye birlikte maruz kalmalarına sebep olmaktadır. Bu sebeple tekne yüzeyi bakımı ve pervane yüzeyi bakımı literatürde çoğunlukla birlikte anılmış ve değerlendirilmiştir. Yüzey pürüzlülüğü 65 µm civarında ise çok iyi, 150 µm civarında ise standart, 200 µm ve üstü şeklinde ise standart dışı olarak değerlendirilmektedir (Bertram ve ark., 2010).

Herring (1980) ABD uçak gemilerinden USS Ranger'ın katıldığı 16 aylık bir seferde, geminin kullanıldığı 18 knot hız için yapılan ölçümlerde geçen zaman sonrasında %14'lük bir güç ihtiyacı artışı olduğunu görmüşlerdir.

Korkut ve Atlar (2012) literatürdeki çalışmalarda pervane yüzeyinin gemi yüzeyine oranla çok küçük olması sebebiyle pervanelerin kirliliği ve yüzey pürüzlülüğünün yapılan hesaplamalarda göz ardı edilebildiğini belirtmektedirler. Oysa pervanenin gemiye göre küçük boyutlu olması aynı zamanda bakımının daha kolay olması anlamına da gelebilmektedir. Bir tanker pervanesi için iki farklı boya ile yapılan bir araştırmada pervanelerden birinin %6 daha verimli çalıştığı görülmüştür (Atlar ve ark., 2002). Bu bağlamda bakımı gemiye göre daha kolay ve masrafsız olan pervanenin bakımının yapılması bu verimin kazanılması, göz ardı edilerek kaybedilmesinden daha makul bir seçenek olabilecektir.

3.2.6 Gemi Personelinin Eğitimi

Bu bölümde bahsedilen yöntemler gerek planlama gerek uygulama bakımından daha çok insan faktörüne bağlı olduğu için bahsedilen her bir kazanım gemi personelinden doğrudan etkilenmektedir. Gemi için enerji verimliliğinin öneminin personele aktarılması ve bu uygulamalara katılımın doğru bilgiyle teşvik edilmesi doğal olarak büyük önem arz etmektedir.

3.2.7 Hız Optimizasyonu

Geminin sefer planlamasının dikkatle yapılarak geminin ekonomik seyir hızında tutulması oldukça önemli bir etkidir. Örneğin gemi hızının %20 oranında düşürülmesi yakıt tüketimini %50 oranında azaltabilmektedir (Shuo Wuo ve arkadaşları,2011).

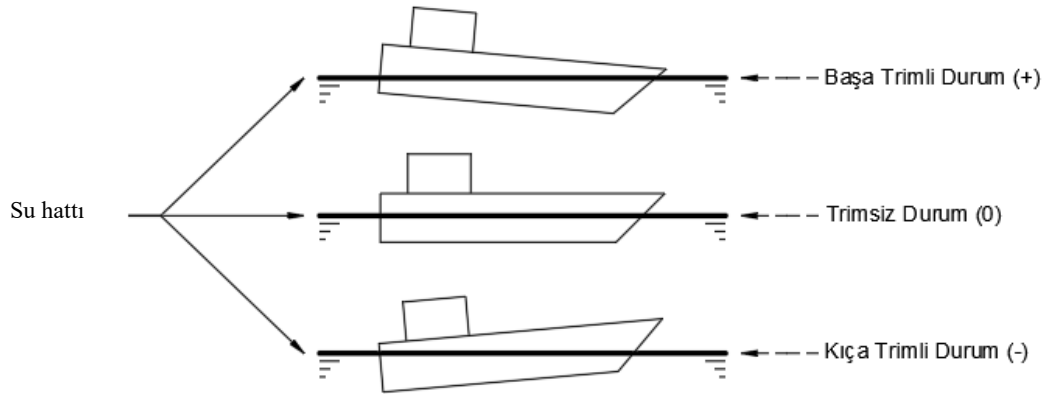
Corbett ve arkadaşlarının (2009) diğer bir çalışmasında 8000 TEU luk bir konteyner gemisinde 23 knot yerine 26 knot ile seyir yapıldığında günlük 80 ton daha fazla yakıt tüketimi gerçekleştiğini aktarmışlardır.

Bu görüşlere farklı bir açıdan yaklaşan Psaraftis ve Kontovas (2013) ise hız azaltmanın farklı götürüleri olduğunu, sefer süresinin uzamasının ekonomik ve çevresel açıdan işletmeye maliyetler getireceğini savunmuşlardır. Konu ile ilgili

yapılan bir deneyde bir dökme yük gemisi için %10, %20 ve %30 oranlarında hızın düşürüldüğü üç farklı senaryo çalıştırılmış ve bu uygulama sonucunda yakıt tasarrufu elde edilmesine rağmen charter parti sözleşmesi sebebiyle maliyetlerin arttığı görülmüştür (Chang ve Chang, 2013).

3.2.8 Gemi Triminin Optimizasyonu

Trim kavramı, literatürde hem açı olarak hem de mesafe olarak iki farklı şekilde tanımlanmaktadır. Açı ile değerlendirilirse gemi boyuna ekseninin yatayla yaptığı açıya trim açısı denir. Mesafe üzerine değerlendirilirse gemi baş ve kıçının trimsiz koşuldaki gemi yatay eksenine olan düşey uzaklıkları toplamına trim denmektedir. Geminin kıça trimli hali için eksi (-) ve başa trimli hali için artı (+) notasyonu kullanılmıştır. Kıça ve başa trimli durumlar ile trimsiz gemi durumu Şekil 3.2’de gösterilmiştir.



Şekil 3.2 Başa ve kıça trimli durumlar

Trim kavramının gemilerdeki etkisi, gemi trimi değiştirildiğinde geminin suya giriş açısının da değişmesidir. Bu değişiklikte beraber yumrubaşın batan hacmi de değişmektedir. Böylece yumrubaşın etkisi trim durumuna göre azalabilmekte veya artabilmektedir. Ayrıca trim koşullarındaki değişiklik ile gemi batan hacminin formu da değiştiğinden, yüzen hacmin maruz kaldığı hidrodinamik direnç kuvvetleri de değişmektedir. Trim optimizasyonunda amaç, gemi formunun ve varsa yumrubaşın suya giriş açısının ve batan hacmin formunun, gemi için en düşük direnç değerlerine

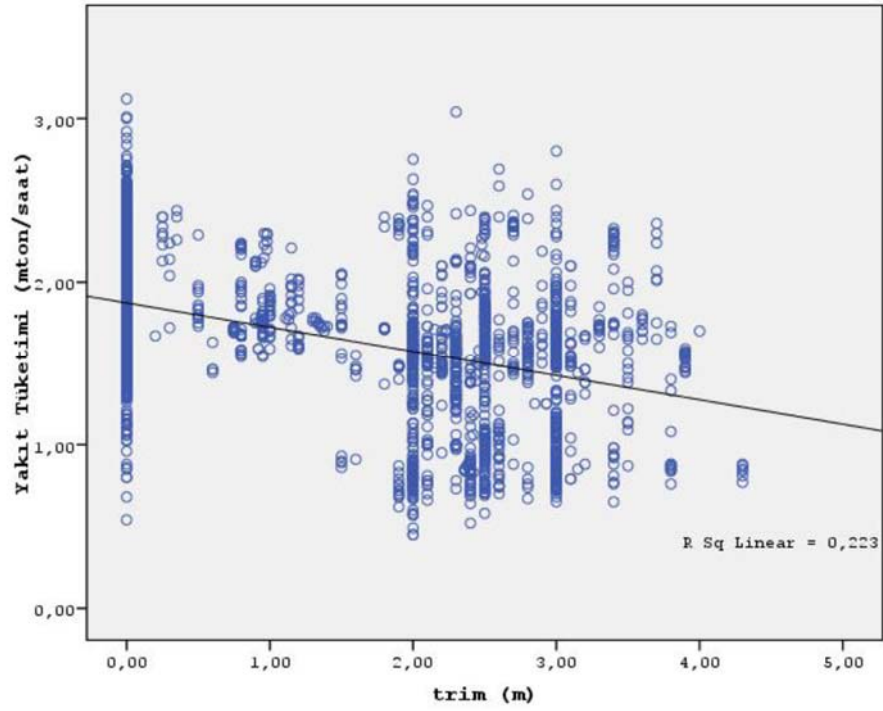
sahip olacak şekilde tutulması ve hidrodinamik direnç değerlerinin düşürülmesidir. Gemi direncini düşürülmesi de gemide enerji verimliliği, yakıt tasarrufu ve hatta salım değerlerinin düşürülmesi manasına gelmektedir. Gemi için basit balast hareketleri ya da yükleme planındaki küçük farklılıklarla ulaşılabilen trim koşullarındaki küçük değişiklikler gemi direncini düşürüp, %15 gibi yüksek bir değerde yakıt tasarrufu sağlayabilmektedir (Hansen ve Freund, 2010).

Larsen ve arkadaşları (2012) tarafından trim optimizasyonu konusunda, farklı yöntemlerle hesaplama yapan iki farklı hesaplamalı akışkanlar dinamiği programının (CFD/computational fluid dynamics programı) sonuçlarını çekme deneyinin sonuçlarıyla karşılaştırmak üzere tek bir draft için testler yürüttüğünü görmekteyiz. Bu çalışmada, belirlenen draft için CFD programlarından birinin çekme deneyinin sonuçlarıyla paralellik gösterdiği diğerinin ise farklı sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Ayrıca dalga direnci ile trim kavramı arasında büyük bir bağ olduğu ortaya çıkmıştır.

Diğer bir çalışma geminin seyir verilerini (log datasını) inceleyerek optimum trim koşullarını bulmaya odaklanmıştır. Çalışma uygun trim koşullarında seyir yapılması halinde, aynı yakıt tüketimiyle seyir hızının arttırılabileceğini veya aynı hızda kalınarak ana makine yakıt tüketiminin azaltılabileceği sonucuna varmıştır (Perera ve arkadaşları, 2015).

MOERI konteyner gemi modelinin (KCS) trimsiz koşul için yapılan diğer bir CFD yaklaşımının sonuçları ile deneysel olarak elde edilen veriler karşılaştırılmış ve trimsiz koşul için uygun sonuçlar alındığı gözlenmiştir. Bu noktadan hareketle trimli durumlar araştırılmış ve belirtilen gemi modeli için başa trim halinde seyirde bulunmanın gemi direncini arttırdığı sonucuna varılmıştır (Sherbaz ve Duan, 2014).

Şekil 3.3 de 7 adet kardeş, tanker tipi gemiden alınan bilgilerin incelenmesi ile elde edilmiş bir trim-yakıt tüketimi grafiği görülmektedir. Şekil incelendiğinde bahsedilen gemi için yakıt tüketimi ve trim arasında ters orantı olduğu yani trim arttıkça yakıt tüketiminin azaldığı görülmektedir (Beşikçi, 2015).



Şekil 3.3 Trim ile yakıt tüketimi serpilme grafiği (Beşikçi, 2015)

Genel olarak literatürdeki çalışmalara baktığımızda bazı gemiler için trimin olduğu durumlarda gemi direncinin düştüğü bazı durumlarda ise trimsiz durumlarda direncin en düşük seviyede olduğu gözlenmiştir. Bu bilgiler ışığında farklı gemiler için trim durumunun değişmesi gemi direncini arttırabilmekte veya azaltabilmektedir. Bu nedenle trim durumu ve direnç ilişkisinin araştırılması, gemiler için enerji verimliliği konusunda önem sahibi bir konu olduğu görülmektedir. Literatüre baktığımızda gemilerde enerji ve direnç kavramları üzerine çalışmalar yapan kişilerin trim optimizasyonunun önemine dikkat çektiği de görülmektedir (Larsen ve arkadaşları, 2012; Reichel ve arkadaşları, 2014; Hansen ve Freund, 2010; Sherbaz ve Duan, 2014; Perera, Mo ve Kristjansson, 2015; Hansen ve Honchkirch, 2013; Reinus, 2014; Wortley, 2013). Ayrıca literatürdeki çalışmalar incelendiğinde maliyeti yüksek olan gerçek deney ortamının bilgisayar programlarıyla modellenerek sanal deney ortamlarında yapılmaya çalışıldığı gözlenmektedir. Çalışma da bu düşünce sisteminin paralelinde seyir etmekte ve bu çalışmaların ulusal olarak akademik yönüne katkı sağlaması amaçlanmaktadır.

Literatür çalışmalarının numerik hesaplamalar ile desteklenen hesaplamalı akışkanlar dinamiği(CFD) programları diye bilinen Ansys (Fluent), Star-CCM+ gibi bazı programlar üzerine yoğunlaştığı görülmektedir. Trim optimizasyonu konusunda, regresyon temelli direnç tahminlemesi yöntemlerine dayalı hesaplamalar içeren Maxsurf ve Orca 3D gibi programların ve bu konuda yapılan çalışmaların karşılaştırmalı analizleri hakkında yeterli bilgi bulunmamaktadır. Bu sebeple bu çalışmada;

- Orca 3d (Holtrop)
- Maxsurf (Holtrop)
- Gemide kullanılan trim/güç yazılımı
- Model deney havuz verileri karşılaştırılmaya çalışılacaktır. Çalışma sonucunda sektörde ve akademik ortamlarda kullanılagelen Maxsurf ve Orca 3D programlarının hem trimli hem de trimsiz koşullardaki direnç tahminlemelerinin deney havuzu verilerine bakarak doğruluğunun hangi düzeyde olduğu ortaya çıkarılacaktır.

BÖLÜM DÖRT

TRİM OPTİMİZASYONU METODOLOJİSİ VE BULGULAR

Gemilerde enerji verimliliği uygulamaları ile ilgili bu tez çalışmasında ilgili yöntemler arasından kolay uygulanabilirliğiyle birlikte yüksek verimler vadetmesi sebebiyle trim optimizasyonu üzerinde durulmuştur. Trim optimizasyonunda ana amaç gemi formunun en düşük direnci oluşturacak şekilde yüzdürülmesidir. Bu yüzden trim optimizasyonu uygulamasından önce direnç kavramının açıklanması gerekmiştir.

4.1 Gemiler için Direnç Kavramı, Bileşenleri ve Hesaplama Yöntemleri

Gemi direnci, enerji verimliliği ile ilgili birçok çalışmada azaltılması gereken bir değer olarak bahsedilmektedir. Buna rağmen gemi direnci nedir sorusu genel olarak açıklanmadan geçilmektedir. Literatüre baktığımızda direnç kavramı nedir sorusuna verilen cevaplardan biri şu şekildedir;

Belirli bir hızda hareket eden bir geminin, hareketine karşı akışkan tarafından çeşitli şekillerde gösterilen karşı kuvvete “direnç” denir. Direnç her zaman gemi hareketlerinin eksenine paralel olarak etki eden akışkan kuvvetinin bileşenine eşit olur. Genellikle aerodinamikte ve su altındaki cisimler hidrodinamiğinde bu kuvvet sürüklenme adı altında kullanılmasına rağmen gemi hidrodinamiğinde direnç olarak adlandırılır (Güner, 2007, sy. 1).

Direnç kavramı gemiler için tarih boyunca merak edilen bir konu olmakla birlikte 19.yy a kadar direnç kavramına dair çok fazla bilgi bulunmuyordu. Buharlı gemilerin güç ihtiyaçlarının tahmin edilebilmesi için yapılan çekme deneyi sonuçları genellikle ya yanlış yorumlanıyor ya da sonuçları olması gerekenden farklı çıkıyordu. 1860 yılında direnç konusunun öncüsü olarak bilinen William Froude, bağlı bulunduğu birliğin direnç değerlerini ölçmek için ilgili gemilerin gerçek boyutta çekme deneylerine sokulması fikrine çok fazla maliyet açacağı ve her form için böyle bir işe kalkışmanın uygun olmayacağını belirttiği bir raporuyla karşı çıkmıştır. Daha sonra model test sonuçlarına anlam kazandırabileceği inancı üzerine çalışmalarına

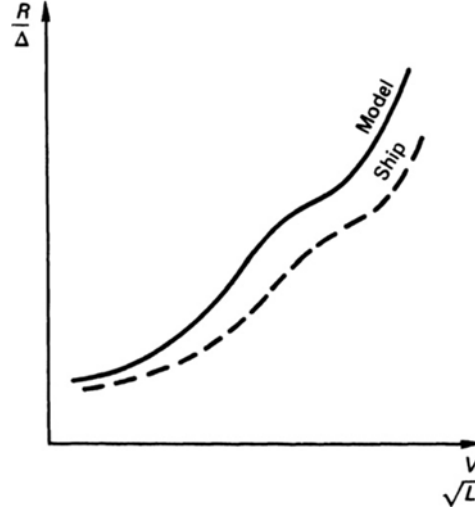
yoğunlaşmıştır. Bu amaçla River Dart nehrinde 2 farklı gemi modelinin 3 farklı boyuttaki modellerini teste sokmuştur. Bu testler sonucunda bir gemi için direnç kavramının iki bileşenden oluştuğunu ve bu bileşenlerin modellerin ölçekleriyle ilgili bazı kurallara uyduğunu ortaya çıkarmıştır. Bu bileşenler sürtünme ve dalga yapma dirençleridir. Bu bulgularıyla birlikte çekme deneyi için tarihteki ilk deney tankının yapılmasını sağlamış ve çalışmalarını burada sürdürmüştür. Daha sonraları ikinci bir çekme deneyi laboratuvarı kurulmuş ve bu yeni laboratuvarda alınan sonuçlarla birinci laboratuvarda yapılan çalışmalardan alınan sonuçlar arasında fark olduğu görülmüştür. Bu farkı gidermek için ilk tanktan ikinci deney tankına bir miktar su taşınarak bir nevi yeni deney tankı vaftiz edilmeye çalışılmıştır. Bu sırada suyun taşındığı kabın içinde küçük canlılar olduğu görülmüş ve farkın bu suyun yoğunluğuyla alakalı olduğu keşfedilmiştir. Böylelikle deney havuzlarındaki suyun koşullarının düzenli olarak takip edilmesinin ilk adımları atılmıştır (Brown, 1983; Akt: Carlton, 2012).

William Froude, çalışmalarında geometrik olarak benzer formdaki gemi modellerinin farklı hızlarda olsalar bile benzer dalga sistemleri oluşturduğunu fark etmiştir. Dahası, daha küçük modellerin aynı dalga modelini elde etmek için daha büyük olan modellere göre daha yavaş hızlarda çalıştırılması gerektiğini bulmuştur. Çalışmaları sonucunda farklı boyutlardaki modellerin aynı dalga modelini oluşturması için gerekli olan hız oranının şu şekilde bulmuştur,

$$\frac{V_1}{V_2} = \sqrt{\frac{L_1}{L_2}} \quad (4.1)$$

Burada $\frac{L_1}{L_2}$ oranı ölçek olarak kabul edilerek literatürde λ işareti ile ifade edilmektedir.

Froude çalışmalarına devam ettiği sırada ürettiği direnç eğrilerini gemi ve model için karşılaştırmak istemiş bu yüzden direnç değeri deplasmana, hız değeri boyun kareköküne bölünerek farklı ölçeklerdeki sonuçları karşılaştırabileceği bir koşul hazırlamıştır (Carlton, 2012). Şekil 4.1'e bakıldığında modele ait direnç eğrisiyle gemiye ait direnç eğrisinin benzer olduğunu ama modele ait değerlerin sürekli daha fazla çıktığını görmüştür.



Şekil 4.1 Froude tarafında bulunan gemi ve modele ait direnç eğrileri (Carlton, 2012)

Bu konudaki çalışmalar sonucunda dalga yapma direncinin (R_W) Denklem 4.1'in yorumlanmasıyla elde edilen V/\sqrt{L} ile ölçeklenmesi gerektiği, diğer bileşenin ise ölçeklenmemesi gerektiğini keşfetmiştir. Bu diğer bileşen ise aslen suyun gemi gövdesi etrafındaki akışından kaynaklanan, ayrıca hava akışına da bağlılık gösteren viskoz etkiler tarafından oluşan sürtünme direnci (R_F) olduğunu ifade etmiştir. Froude bu çalışmaları sonucunda gemi direncini ikiye ayırmış ve bu bileşenlerin ayrı ayrı değerlendirilebilmesine olanak tanımıştır. Çalışmasının devamında ise sürtünme direncinin hesaplanarak elde edilebileceği ve ölçülen toplam direnç ile arasındaki farkın alınarak dalga yapma direncinin belirlenebileceğini göstermiştir (Denklem 4.2). Bu yaklaşım Froude yaklaşımı olarak adlandırılmıştır (Carlton, 2012).

$$R_W = R_T - R_F \quad (4.2)$$

Froude R_F olarak gösterilen sürtünmeye bağlı direnç kavramının geminin ıslak alanı ile ilişkili olduğunu düşünerek farklı boylardaki tahtalar üzerinde deneyler gerçekleştirmiştir. Bu deneylerin amacı sürtünme direncinin hesaplanabileceği bir formül elde etmektir ve sonuçta sürtünme direncinin temellerini aktaran ampirik bir formül elde etti (4.3).

$$R_F = f \cdot S \cdot V^n \quad (4.3)$$

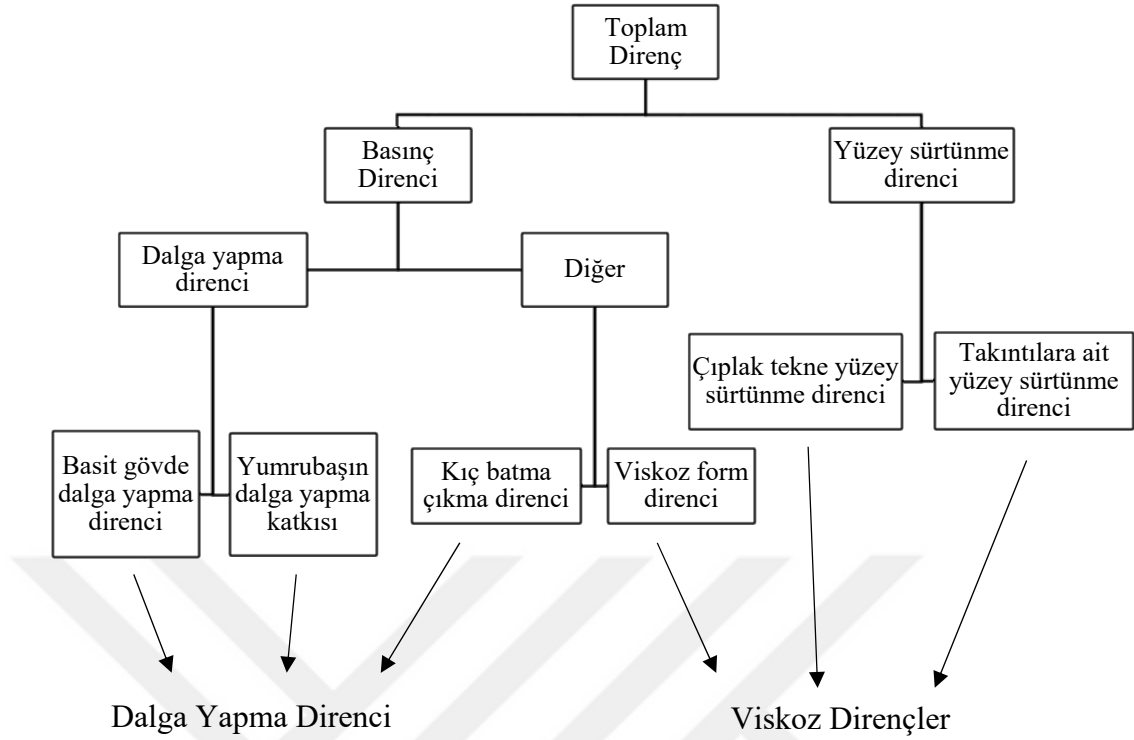
Burada f model boyu arttıkça azalan ve pürüzlülüğü arttıkça artan bir katsayı, S ıslak yüzey alanı, V hız ve hız üzerindeki “ n ” indisi zamanının gemi yüzeyine göre belirlenmiş bir sabittir (1.825). Çekme deneyleri üzerine çalışmalarına devam eden Froude Denklem 4.1’ deki bağıntısını geliştirerek bugün Froude Sayısı olarak bildiğimiz hıza, yerçekimi ivmesine ve su hattı boyuna bağlı bir boyutsuz katsayıyı bizlere sunmuştur.

$$F_n = \frac{V}{\sqrt{g.L}} \quad (4.4)$$

Burada V hız, g yer çekimi ivmesi, L gemi su hattı boyunu temsil etmektedir. Bu değerlerin birimleri Froude sayısını boyutsuz kılacak şekilde uygun seçilmelidir.

4.1.1 Direnç Kavramının Bileşenleri

Direnç kavramı üzerine yapılan çalışmaların devam etmesi ile birlikte temelde sürtünme ve dalga yapma direnci şeklinde ikiye ayırdığımız bileşenleri oluşturan diğer etkenlerde bulunmuştur. Carlton (2012) sakin su için bu bileşenleri Şekil 4.2 ile göstermiştir ve bunlara ek olarak gerçek gemi için havaya bağlı dirençlerin de oluşacağını belirtmiştir. Gemilerin hareketi süresince oluşan direnç kavramının genel olarak gemi tarafından denize aktarılan enerji ile geminin yüzeyinin pürüzlülüğüne bağlı olarak oluşan sürtünmeden kaynaklandığı aktarılmıştır. Ayrıca gemi ve hareketi süresince oluşan kuvvetler sistemi bir bütün içerisinde birbiri ile ilişkili olması sebebiyle değerlendirme yapılırken bu durumu göz önünde tutmamız gerektiğini de belirtmiştir.



Şekil 4.2 Gemi direncini oluşturan bileşenler (Carlton, 2012)

Dalga Yapma Direnci (R_w): Gemi hareketi süresince etrafında negatif ve pozitif basınç bölgeleri oluşturur. Yer çekimi kuvvetinin bu basınç bölgeleri ile birlikte çalışması sonucu dalga çukurları ve tepeleri oluşur. Bu dalgaların oluşması için gereken enerji gemiye direnç olarak etki eder.

Viskoz Dirençler (R_v): Gemi, hareketi boyunca etkileşimde bulunduğu akışkanın (su ve hava) viskozitesi sebebiyle bir dirence maruz kalır. Suyun viskozite etkisi havaya göre daha fazla olduğundan suyun viskoz etkisine daha çok önem verilmektedir. Gemi hareketi süresince beraberinde su moleküllerini de götürür. Bu su parçacıkları ise geminin su altı gövdesine yapışır ve gemi ile birlikte hareket ederler. Bu hareket halindeki su parçacıklarının hızı gemi hızına eşittir. Gemi gövdesinden uzaklaştığımızda serbest haldeki suya ulaşırız. İşte bu gemi ile aynı hıza sahip, gemiye yapışık, su ile serbest haldeki su bölgesi arasında kalan ve geminin hareketinden etkilenen bölgeye sınır tabaka (boundary layer) denir. Gemi hareketi süresince en çok enerjiyi bu sınır tabaka içerisindeki akışkana aktarmaktadır. Konu ile ilgili çalışmalara baktığımızda viskoz direnç değeri toplam gemi direncinin, düşük Froude sayılarında

($F_n < 0.30-0.35$; düşük gemi hızları) %85'ine ve yüksek Froude sayılarında ise ($F_n > 0.35-0.40$; nispeten yüksek gemi hızları) %50'sine kadar çıkabilmektedir (Bal ve Güner, 2011).

Yüzey Sürtünme Direnci: Çıplak tekne tarafından oluşturulan sürtünme direnci(R_F) ile gemiye ait yalpa omurgası gibi takıntılardan oluşan dirençlerin (R_A) toplamı şeklinde oluşan sürtünme direncidir. Sürtünmeye bağlı dirençler römorkör gibi küçük gemi tipleri için toplam gemi direncinin %28'ini oluştururken, süper tankerler gibi büyük gemilerde bu oran %90'ı bulmaktadır (Barrass, 2004).

Buradan yola çıkarak Şekil 4.2'deki yaklaşıma göre toplam direnci şu şekilde formülle gösterebiliriz;

$$R_T = R_W + R_V \quad (4.5)$$

Literatüre baktığımızda direnç kavramının bileşenlerinin geminin sürtünme direnci (R_F) ve artık direnç (R_R) olarak ikiye ayrıldığını da görmekteyiz. Buradaki artık direnç kavramı viskoz basınç direnci ile dalga yapma direncinin toplamı şeklinde belirtilmiştir (Baykal ve Dikili, 2002). Burada basınç kuvveti ve sürtünme kuvveti olarak bahsedilen kuvvetler geminin viskoz bir akışkan içerisinde ilerlemesi sebebiyle oluşur. Gemi ilerlerken, viskozite sebebiyle yüzeye teğet olan sürtünme kuvvetleri ile geminin etrafında oluşan yüzeye dik olan basınç kuvvetleri etki eder. Bu durumda toplam direnci farklı olarak şu şekilde de gösterebiliriz;

$$R_T = R_F + R_R \quad (4.6)$$

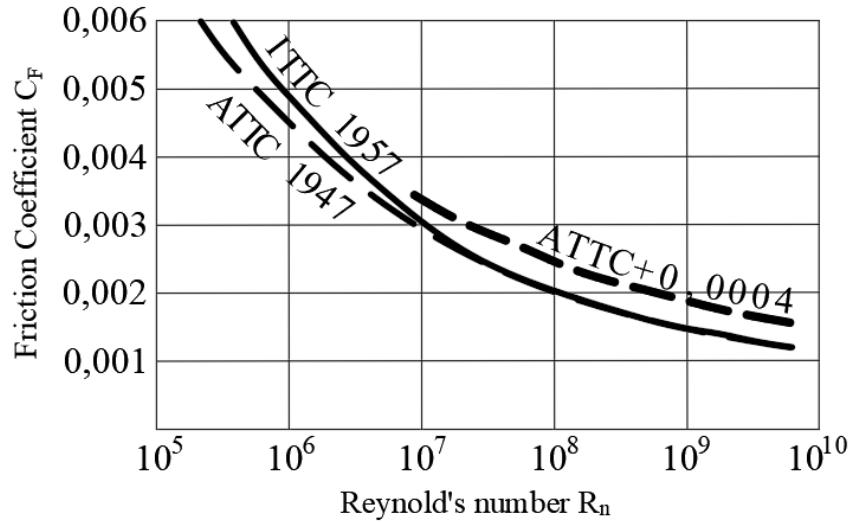
Froude tahtalar ile yaptığı çalışmalar sonucunda bir yüzeye etkiyen sürtünme kuvvetini bir sürtünme sabiti olan C_F ile ifade etmeye çalışmıştır. Froude' un çalışmalarında bir gemi yerine tahtaların ıslak alanı üzerinden gitmek şeklindeki basitleştirme çalışması birtakım hatalar içerdiği için üzerinde birçok düzeltme yapılmıştır. Schoenherr bu konudaki çalışmaları sonrasında Schoenherr eğrisi olarak

bilinen ve C_F sürtünme sabitini Reynold sayısının bir fonksiyonu olarak formül 4.7 ile göstermiş ve eğrisini çizmiştir.

$$\frac{0,242}{\sqrt{C_F}} = \log(R_n \cdot C_F) \quad (4.7)$$

1947 yılında Amerikan Çekme Tankı Konferansında (ATTC- American Towing Tank Conference) bu denkliğin yeni gemilerin gövde yüzeyleriyle ilişkilendirilebilmesi için Schoenherr eğrisine 0,0004 değerinde bir tolerans payı eklenmiştir. Daha sonraları bu eğrinin uygulamalarında sorunlar çıkmış ve bu sorunların yeni gemilerin yüzeylerindeki kaynak izleri sebebiyle olduğu fark edilmiştir. Böylelikle 1957 yılında Uluslararası Çekme Tankı Komitesi (ITTC- International Towing Tank Committee) tarafından bu eğri tekrar güncellenmiş ve 1957 ITTC eğrisi olarak adlandırılmıştır. Eğriye ait denklik 4.7 ile gösterilmiş olup ITTC 1957, ATTC 1947 ve ATTC+0,0004 eğrilerinin karşılaştırılması Şekil 4.3 ile gösterilmiştir.

$$C_F = \frac{0,075}{(\log_{10} R_n - 2,0)^2} \quad (4.8)$$



Şekil 4.3 ITTC (1957) ve ATTC (1947) sürtünme sabiti eğrilerinin karşılaştırılması (Carlton, 2012)

ITTC veya ATTC eğrilerinin kullanılması ile elde edilen sürtünme direnci R_F değerlendirilirken, bulunan değer gemiye ait sürtünme direncinin kesin bir büyüklüğü olmadığını, sadece hesaplama süreci için bir aracı olduğu bilinmelidir. Sonuç olarak, herhangi bir sürtünme eğrisi verilerine dayanan bir Froude yaklaşımı kullanılırken, hesaplama prosedürüne bir korelasyon farkı getirilmesi gerekmiştir. Bu faktör C_A şeklinde gösterilir ve şu şekilde formüle edilir;

$$C_A = C_{T(\text{ölçülen})} - C_{T(\text{tahmin edilen})} \quad (4.9)$$

C_T , C_F , C_W ve C_A şeklinde belirtilen bütün bu katsayılar boyutsuz katsayılar ve sırasıyla toplam, sürtünme, dalga yapma ve korelasyon direnç katsayıları olarak adlandırılırlar (Carlton, 2012). Bu katsayılara ulaşmak için Denklem 4.5 ile verilen

$$R_T = R_W + R_V \quad (4.5)$$

eşitliğindeki bileşenler

$$\frac{1}{2}\rho V^2 S, \quad \frac{1}{2}\rho V^2 L^2 \quad \text{ya da} \quad \frac{1}{2}\rho V^2 \nabla^{2/3} \quad (4.10)$$

ρ : suyun yoğunluğu

V : geminin hızı

S : Geminin ıslak alanı

L : Gemi su hattı boyu

∇ : Gemi deplasmanını ifade etmektedir.

denkliklerinden uygun olanı ile sadeleştirilirler. Böylelikle bahsedilen boyutsuz direnç katsayıları elde edilmiş olur.

Froude' un tahtalar üzerindeki çalışmalarından sonra Hughes tahtalar ve dubalar ile birlikte çalışmaları tekrarlamış ve Denklik 4.8 ile gösterilen ITTC 1957 eğri denklemini Denklem 4.11 deki haline getirmiştir. Buna rağmen günümüzde hala ITTC 1957'nin eğri denklemi kullanılmaktadır.

$$C_F = \frac{0,066}{(\log_{10} R_n - 2,03)^2} \quad (4.11)$$

Sonuç olarak toplam direnç sabiti C_T şu şekilde ifade edilmiştir,

$$C_T = C_V + C_W \quad (4.12)$$

Burada

$$C_V = C_F + C_{Form} \quad (4.13)$$

olduğundan C_T son olarak şu şekilde gösterilebilir,

$$C_T = C_F + C_{Form} + C_W \quad (4.14)$$

C_{Form} : Viskoz basınç kuvveti sebebiyle gemi formunun uğradığı basınç kaynaklı viskoz form direnç sabiti.

Hughes bu denkleğin üzerine gemilerin düşük Froude değerlerinde (düşük hızlarda) dalga yapma etkisinin sıfıra yakın olacağı için göz ardı edilebileceğini belirtmiş ve elde ettiği direnç eğrilerindeki benzerlikten yola çıkarak Denklem 4.13 ile birlikte;

$$C_V/C_F = \text{viskoz direnç/sürtünme direnci}$$

$$(C_F + C_{Form})/C_F = (\text{sürtünme direnci} + \text{viskoz form direnci}) / \text{sürtünme direnci}$$

$$1 + C_{Form}/C_F = 1 + \text{viskoz form direnci/sürtünme direnci}$$

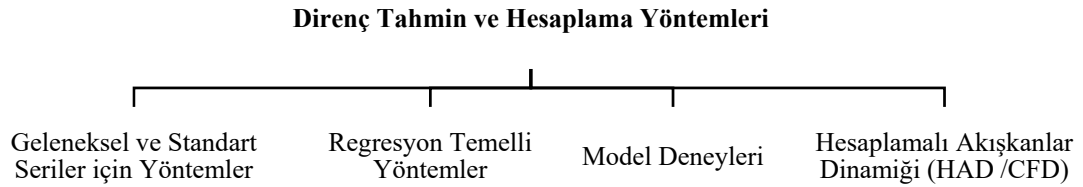
denkliğine ulaşmış ve buradaki C_{Form}/C_F kısmına “k” sabitini atamıştır. Bu aşamadan sonra elde edilen bu $(1+k)$ formülasyonu form faktörü olarak adlandırılmıştır. Form faktörü hızdan ve gemi ölçeğinden bağımsız bir değişken olarak karşımıza çıkmaktadır. Günümüzde hesaplanması için genel olarak ITTC tarafından da önerilen

Prohaska Metodu olarak adlandırılan düşük Froude değerlerinde hesaplanmaktadır. Gemi modeli için, $0,12 < F_n < 0,20$ aralığında koordinat sistemi için x eksenini $\frac{F_n^4}{C_{FM}}$ ve y eksenini $\frac{C_{TM}}{C_{FM}}$ olacak şekilde çizilen doğru parçasının eğimi “a” olmak üzere Denklem 4.15 ile hesaplanır ve ortalaması alınarak $(1+k)$ form katsayısı bulunmuş olur. Bulunan form katsayısının gemi modeli ve gerçek boyutlu gemi için ortak olduğu kabul edilir (ITTC, 2008).

$$1 + k = \frac{C_{TM}}{C_{FM}} - a \frac{F_n^4}{C_{FM}} \quad (4.15)$$

4.1.2 Direnç Tahmin ve Hesaplama Yöntemleri

Direnç tahmini konusunda denizcilik tarihiyle birlikte biriken bilgi birikiminden, günümüz teknolojisi ile elde edilen hesaplamalı akışkanlar dinamiği yöntemleriyle çalışan bilgisayar programlarına kadar birçok yöntem geliştirilmiş ve kullanılmıştır. Bu yöntemleri Carlton (2012) dört ana başlık altında toplamıştır ve bunlar Şekil 4.4 ile gösterilmiştir.



Şekil 4.4 Direnç hesap ve tahmini için kullanılan yöntemler (Carlton, 2012)

Model testleri ve hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) yöntemleri gemi modelini üç boyutlu olarak değerlendirmektedirler. Diğer yöntemler ise gemi gövdesinin yapısını değerlendirmek istediklerinde forma ait bazı büyüklükleri göz önüne almaktadırlar. Gemi için en, boy, draft, deplasman gibi bilindik büyüklükler ve bunların yanı sıra yüzme merkezinin boyuna yeri, hacim merkezinin yeri, blok katsayısı, prizmatik katsayı gibi büyüklükler birlikte değerlendirilerek denizcilik alanının

geçmişine büyük anlamlar kazandırmışlardır. Günümüzde ise gemi formları değişmiş olup yumrubaş ve özel pervane montaj alanları ile tasarlanmaktadır. Bu yeni ve kompleks tasarımlı gemiler için daha detaylı ve kesin verilerin kullanılması, yeni gemi formlarının temsili için büyük önem kazanmıştır. Bu yüzden model testleri geçmişten günümüze gemi formunu en net biçimde anlatan yöntem olmasıyla birlikte, hesaplamalı akışkanlar dinamiği ve bilgisayar ikilisi de gün geçtikçe önem kazanmaktadır.

4.1.2.1 Geleneksel ve Standart Seriler için Analiz Yöntemleri

Bu yöntemler çeşitli bilim adamlarının yaptıkları deneyler üzerinden geliştirdikleri teorik hesaplamaları içermektedir. Taylor, Ayre, Lap, Auf'm Keller, Harvald şeklinde adlandırılan birçok çeşidi vardır (Carlton, 2012).

Amiral Taylor, 1910 yılında yaptığı 80 adet model deneyinin sonuçlarını genişlik/draft (B/T), hız / gemi boyunun karekökü (V/\sqrt{L}), deplasman / gemi boyu (∇/L) gibi etkenlere göre sınıflandırmıştır. Daha sonra bu belirlediği etkenlere göre C_R (artık direnç) hesaplamaları üzerine çalışmasını yönlendirmiştir. Direnç analizi yaptığı gemi için B/T değerine uygun 3 farklı sonuç arasından interpolasyon ile kendi gemisine ait C_R hesaplatmakta ve C_F ise gemi ıslak alanı, Reynold numarası ve gemi yüzey pürüzlülüğü dikkate alınarak hesaplanmaktadır. Sonuç olarak bulunan C_T sabiti Denklem 4.16 de yerine koyularak gemi için ihtiyaç duyulan efektif beygir gücünün (EHP), istenilen V/\sqrt{L} aralığında tahmin edilmesi sağlanmıştır.

$$EHP = A.C_T.V_S^3 \quad (4.16)$$

A: Islak alan

V_S : Gemi Hızı

Ayre metodu ise 1927 yılında yine kömür gemileri üzerinde yapılmış olan model deneylerinin sonuçlarından geliştirilmiştir. Ayre çalışmaları sonucunda C_2 diye bir sabit geliştirerek gerekli EHP hesabını Denklem 4.17 ile göstermiştir.

$$EHP = \frac{\Delta^{0,64} V_S^3}{C_2} \quad (4.17)$$

Geliştirilen bu yeni yöntem ile 30m boyutlarındaki gemiler için artık direncinin ve sürtünme direncinin ayrı ayrı bulunmasına gerek kalmamıştır. Başlangıçta C_2 katsayısı için blok katsayının bilinmesi yeterli olmasına karşın daha sonralar gemiyi ifade eden diğer büyüklüklerinde içerdiği düzeltmeler yapılmıştır.

Auf'm Keller yöntemi Lap tarafından yapılan çalışmayı geliştirmek için yapılmıştır. Tek pervaneli geniş gemiler için 107 tane model deneyi yapılmış ve daha önceki çalışmalar gibi deney sonuçları sınıflandırılmıştır. Sınıflandırmalar geminin yüzen hacim merkezi ve prizmatik katsayısına göre yapılmıştır. Hesabı yapılacak gemi için hız, prizmatik katsayı ve boya bağlı bir tabloda özel bir artık direnç katsayısı elde edilmektedir.

Harvald metodu ise asıl amacı pervane için gerekli gücü hesaplamak olmasına karşın, gemilerin direnç karakteristiklerini deplasman, gemi hızı, blok katsayısı ve boy/deplasman oranına bağlı olarak hesaplanabilir kılmaya çalışmıştır. Çalışma sonucunda 0,55-0,85 arasında 0,05 artımlarla blok katsayılarına göre güç ihtiyacının okunabileceği yedi grafik elde etmiştir. Bu dört büyüklük ise doğal olarak gemi formunu ifade etmekte yetersiz kalmıştır.

Yıllar içerisinde gemi formlarının sayısız şekilde değişmesi sınırsız ve dağınık bir bilgi birikimini beraberinde getirmiştir. Bu dağınık bilgiler zaman içerisinde belirli kişiler tarafından kümelenmiş ve Seri-60 gibi belli form serileri oluşturulmuştur. Son yıllarda ITTC tarafından yapılan çalışmalar ile dünya çapında çekme deneyi yapılan laboratuvarlardan bilgiler toplanmakta bu şekilde uniform bir bilgi tabanı oluşturulmaya çalışılmaktadır.

4.1.2.2 Regresyon Temelli Yöntemler

İstatistik alanında kullanılan regresyon analizine dayanan ilk çalışmalar 1970 lerde J.R. Scott tarafından yapılmıştır. Daha sonra ise bu konudaki çalışmalarıyla

günümüzde yaygın olarak ismi anılan kişilerden biri J. Holtrop olarak karşımıza çıkmaktadır. En son olarak 334 model deneyinin sonuçları üzerinde yaptığı regresyon analizi ile gemi direncini şu şekilde formüle etmiştir:

$$R_T = R_F (1+k) + R_{APP} + R_W + R_B + R_{TR} + R_A \quad (4.18)$$

R_T : Toplam direnç

R_F : Sürtünme direnci

R_{APP} : Takıntı direnci

R_W : Dalga yapma direnci

R_B : Yumrubaşın oluşturduğu direnç

R_{TR} : Kış batıp çıkma direnci

R_A : Model-gemi düzeltme direnci (Correlation resistance)

Bu denklikte R_F sürtünme direnci, ITTC 1957 yöntemine göre hesaplanmaktadır. Diğer bileşenler ise Holtrop tarafından tavsiye edilen birçok yaklaşım ve değerlendirme ile ayrı ayrı detaylı olarak hesaplanmaktadır. Holtrop bu konudaki çalışmalarını daha sonraları G.G.J. Mennen ile devam ettirmiştir. Bu yüzden geliştirilen yöntem Holtrop-Mennen olarak da bilinmektedir.

Regresyon temelli diğer yöntemler için Andersen/Guldhammer metodu (Andersen ve Guldhammer, 1986), Fung metodu (Fung, 1991), Van Oortmerssen metodu (Oortmerssen, 1971), Digernes ve Chena metodu, Jin, Su ve Tan metodu (Jin ve diğ., 1980), Calisal metodu (Calisal ve McGreer, 1993), FAO (UN) metodu (Hayes ve Engval, 1969) vb. gibi birçok yöntem örnek olarak verilebilir.

4.1.2.3 Model Deneyleri

Gemiler ile ilgili direnç çalışmaları model deneyleri üzerine başlamıştır. Direnç analizi yapılacak olan geminin geometrik olarak benzer diye tabir edilen λ ölçeğine göre üç boyutlu küçültülmüş hali (gemi modeli) üretilir. Daha sonra bu model özel bir deney havuzunda sakin suda çekilerek direnç değeri elde edilir. Bu koşullarda modele

ait toplam direnç R_T ikiye ayrılır. Bunlar sürtünme direnci R_F ve artık direnç R_R dir (Froude, 1872). Bu bölümde belirtilen değerlerin modele ait olduğunu belirtmek için “M” alt indisi, gemiye ait olduğunu belirtmek için ise “S” alt indisi kullanılacaktır.

$$R_{T_M} = R_{F_M} + R_{R_M} \quad (4.19)$$

$$R_{T_M} = \frac{1}{2} C_{T_M} \rho_M S_M V_M^2 \quad (4.20)$$

Denklem 4.19, Denklem 4.20 göz önünde bulundurularak boyutsuzlaştırıldığında Denklem 4.21 elde edilir.

$$C_{T_M} = C_{F_M}(R_{n_M}) + C_{R_M}(F_{n_M}) \quad (4.21)$$

R_n Reynold sayısı ve F_n Froude sayısı olmakla birlikte şu şekilde hesaplanırlar;

$$R_n = \frac{V \cdot L}{\nu} \quad (4.22)$$

$$F_n = \frac{V}{\sqrt{g \cdot L}} \quad (4.4)$$

V: Gemi hızı

L: Gemi Boyu

ν : Geminin içinde hareket ettiği akışkanın viskozitesi.

g: Yerçekimi ivmesi

Gemi ve model arasındaki dinamik benzerliğin sağlanması ve direnç tahmininin sağlıklı yapılabilmesi için ikisi arasında Froude ve Reynold sayılarının eşitlenmesi gerekmektedir. Pratikte ise Reynold sayısı eşitlenemeyeceğinden eksik dinamik benzerlik oluşturulur ve sadece Froude sayıları eşitlenir. Bu benzerlik Denklem 4.23 ile gösterilmiştir.

$$F_{n_M} = F_{n_S} \quad (4.23)$$

Denklem 4.23 Denklem 4.4 dahil edilerek yorumlanırsa deney yapılacak model ve gemi hızları arasındaki ilişki şu şekilde olur;

$$V_M = \frac{V_S}{\sqrt{\lambda}} \quad (4.24)$$

Burada λ benzerlik oranı, ölçek gibi isimlendirmeler aldığı ve L_S / L_M olarak hesaplandığı hatırlanmalıdır.

Denklem 4.21 e dönersek C_F sürtünme katsayısı daha önceki bölümlerde anlatılan ITTC 1957 formülü (Denklem 4.8) ile hesaplanmaktadır. R_T değerinin boyutsuzlaştırılması ile elde edildiği için C_T değeri de bilindiğinden Denklem 4.20 de yerlerine koyulur ve C_R değeri elde edilmiş olur.

$$C_F = \frac{0,075}{(\log_{10} R_n - 2,0)^2} \quad (4.8)$$

C_R değeri gemi ve model için eşit olduğundan Denklem 4.8 değeri de gemi için çalıştırılarak gemiye ait C_F de bulunmuş olur. Gemi modeli için bulunan C_R sabitiyle gerçek boyutlu gemiye ait C_R sabiti Froude benzerliği sebebiyle eşit olduğu için aynı zamanda gemiye ait artık direnç katsayısı da bulunmuş olur.

Buraya kadar hesaplanan direnç katsayılarının gerçek gemi için ekstrapolasyonu yapılması konusunda ITTC tarafından 1957 yılında sunulan hesaplama yöntemi 1978 yılında yine ITTC tarafından güncellenmiştir. ITTC 1957 olarak bilinen ekstrapolasyon yönteminde direnç katsayıları Denklem 4.25 ile gösterilmiştir.

$$C_{T_S} = C_{F_S} + C_{R_M} + C_A \quad (4.25)$$

Burada C_A şeklinde gösterilen tolerans katsayısı, gemi model yüzeyinin tamamen pürüzsüz şekilde imal edilebilmesine karşın gerçek gemi ölçeğinde bunun mümkün olmamasından kaynaklanan bir düzeltme katsayısıdır.

ITTC 1978 yılında yaptığı düzenleme ile Denklem 4.25 ile gösterilen toplam direnç sabitinin bulunması için kullanılan denkliği Denklem 4.26 da gösterildiği şekilde güncellemiştir.

$$C_{T_S} = (1 + k) C_{F_S} + C_{R_M} + C_A + C_{AA} \quad (4.26)$$

ITTC 1978'i 1957'den ayıran en önemli düzenleme sürtünme direncinin form katsayısıyla artırılması ve hava direncine karşılık gelen C_{AA} sabitinin eklenmesidir. C_A sabitinin hesabı için Denklem 4.27 kullanılır ve burada belirtilen k_s pürüzlülük sabiti bilinmiyorsa 150 μm alınabilir. C_{AA} sabiti ise Denklem 4.28 ile hesaplanır.

$$C_A = [105(\frac{k_s}{L_{WL}})^{1/3} - 0,64]10^{-3} \quad (4.27)$$

$$C_{AA} = 0,001 \frac{A_T}{S} \quad (4.28)$$

Burada A_T su hattı üzerindeki geminin baştan gelen doğrusal rüzgarla temas ettiği alanı, S ise ıslak yüzey alanını ifade etmektedir.

Mevcut durumda gemi modeli için bulunan C_R değeri ve Denklem 4.8 ile hesaplanan C_{F_S} değeri, Denklem 4.27 ve Denklem 4.28 ile hesaplanan C_A ve C_{AA} sabitleri ve Denklem 4.26 da yerine koyularak gemi için toplam direnç sabiti C_{T_S} bulunmuş olur. Denklem 4.20 gerçek boyuttaki için gemi için tekrar yazılıp (Denklem 4.29) bulunan C_{T_S} sabiti bu denklikte yerine yazılırsa gerçek gemi boyunda direnç N (Newton) biriminde elde edilmiş olur. Buraya kadar yapılan hesaplamalarda C_X şeklindeki sabitler, Reynold ve Froude sayıları boyutsuz oldukları için bu durumu sağlayacak şekilde birimlere dikkat edilmesi gerekmektedir.

$$R_{T_S} = \frac{1}{2} C_{T_S} \rho_S S_S V_S^2 \quad (4.29)$$

4.1.2.4 Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD/CFD)

Bilgisayarların işlem gücünün sürekli olarak artması direnç hesabı gibi akışkan ile ilgili hesaplarda kullanılmak üzere yeni bir yöntemin gelişmesine olanak tanımıştır. Hesaplamalı akışkanlar dinamiği bir akışı ve akışın etrafında hareket ettiği cismi matematik olarak modellemekte ve böylelikle cisim-akış ilişkisini çözmektedir. Konumuzla ilgili olarak yorumlarsak üç boyutlu gemi ve etrafındaki akış modellenerek gemi ile akışkan arasındaki ilişkileri hesaplayabilmekteyiz. Bu ilişki oldukça fazla sayıda işlem gerektirdiği için güçlü bilgisayarları gerektirmektedir. Günümüzde birçok firma tarafından geliştirilen CFD tabanlı programlar ile son kullanıcılar da bu yöntemi kullanabilmektedirler.

CFD ile bir analiz yapılmak istenildiğinde göz önüne alınması gereken ana unsurların her biri yüksek öneme sahip olup bunlar, koşulları oluşturan kişi, bilimsel bilgi, bilgisayar yazılımı, bilgisayar donanımı ve sonuçları yorumlayan kişi olarak sıralanabilir (Kuzmin, b.t.). Elde edilecek sonuç ise bütün bu unsurların yeteneklerine ayrı ayrı bağlıdır.

4.2 Trim Optimizasyonu Uygulaması

Trim optimizasyonu yapılması için çalışılacak bir gemi ihtiyacı doğduğundan ARKAS Deniz Ticaret Filosu(DTF) Genel Müdürlüğü ile irtibata geçilmiş ve piyasada halen çalışmakta olan bir gemiye ait veriler Ek-2 ile verilmiş olan 07.03.2016 tarihli resmi yazı ile alınmıştır. Gemi M/V Vivien A isimli bir konteyner gemisidir. Gemiye ait ana karakteristikler Tablo 4.1 de verilmiştir. Ayrıca şirket ile daha sonradan yapılan görüşmelerde gemiye ait trimli durumlar arasında geminin güç ihtiyacının karşılaştırılarak gösterildiği bir program temin edilmiştir.

Şirket yetkilileri ve geminin yükleme rehberlerinden (loading manual) faydalanılarak, geminin yoğun olarak kullanıldığı yükleme şartları öğrenilmiş ve gemi için deney koşulları belirlenmiştir. Gemi genel olarak tam yüklü veya tam yüklüye yakın yükleme koşullarında sefer yapmaktadır. Yükünü bıraktıktan sonra ise başka bir

limandan yük almak için balastlı koşulda gittiği öğrenilmiştir. Bu yüzden tam yüklü durum için geminin yaz draftı (11,40m), tam yüklüye yakın durum için tasarım draftı (10,10m) ve bu durumlara aritmetik benzerlikteki bir balastlı durum (8,80m) seçilmiştir. Bu deney koşulları 3 farklı deplasman hali için 4 farklı trim durumunu içermektedir. Bu durumlar;

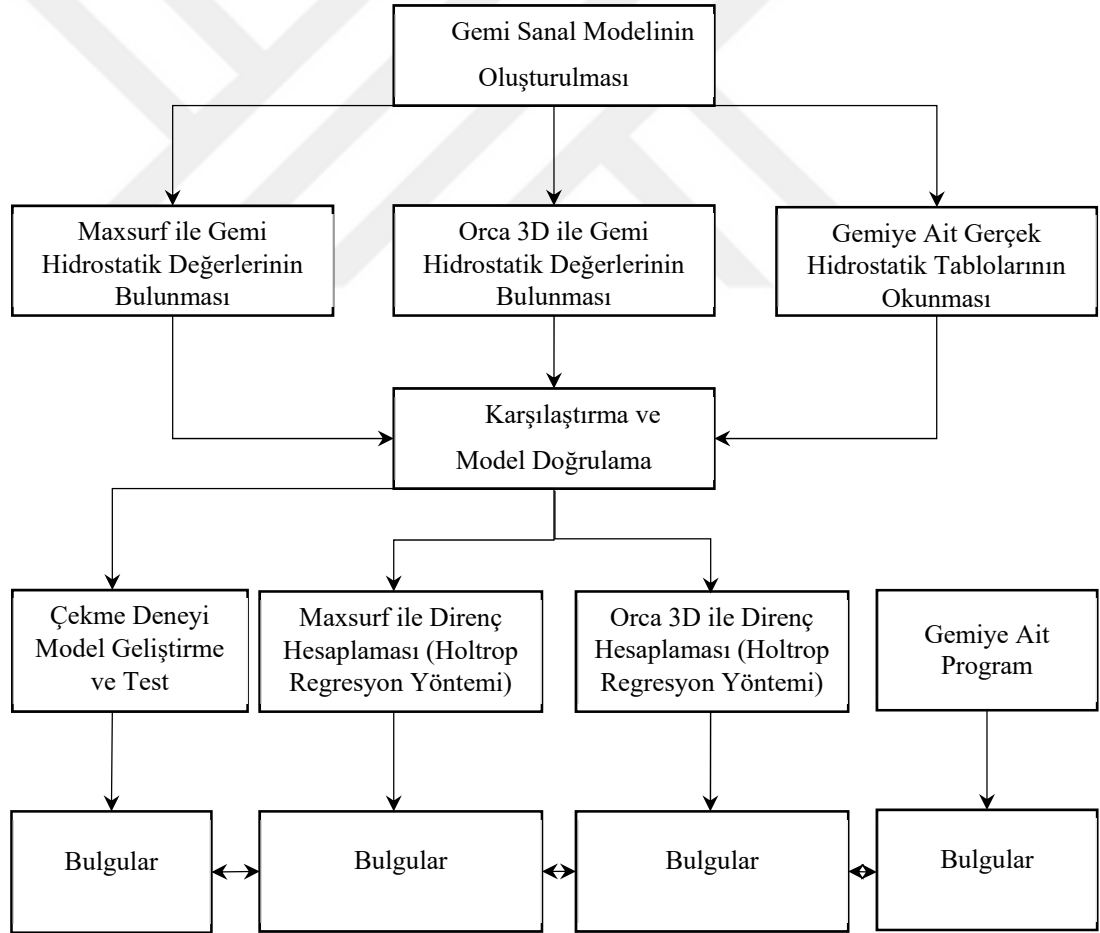
- K1ça 2 metre (-2m),
- K1ça 1 metre (-1m),
- Trimsiz durum (0m)
- Başa 1 metre (+1) şeklindedir.

Tablo 4.1 Gemiye ait başlıca özellikler

Tam boy	LOA	210,54 m
Dikmeler arası boy	LPP	198,74 m
Genişlik (Kalıp)	B	29,80 m
Derinlik (Kalıp)	D	16,40 m
Dizayn Draftı (Kalıp)	T	10,10 m
Yaz Draftı (Kalıp)	T _{MAX}	11,40 m
Deadweight	DWT	34973
Konteyner Kapasitesi	TEU	2478 TEU
Servis Hızı	V _S	22,1 knot
Bayrak		Türkiye
Çıplak Tekne (Lightship) verisi;		
Ağırlık	M	10740 t
Ağırlık Merkezinin Boyuna Yeri	L _{CG}	81,10 m
Ağırlık Merkezinin Enine Yeri	T _{CG}	0,04 m
Ağırlık Merkezinin Düşeydeki Yeri	V _{CG}	12,25 m

Yükleme koşulları draft olarak belirlendikten sonra bu draftların ağırlık olarak karşılığı (deplasman değerleri) gemiye ait alınan veriler içerisindeki gemi hidrostatik tablolarından ve yükleme rehberlerinden bulunmuştur. Bulunan bu değerler, seçilen yükleme durumlarını temsil etmektedir. Daha sonra ise her bir yükleme durumu için yukarıda sıralanan trim koşullarında deneyler yapılmıştır.

Gemiye dair alınan teknik veriler ışığında söz konusu geminin bilgisayar ortamında modellenmesi yapılmıştır. Oluşturulan gemi modeli ve seçilen deney koşulları hem laboratuvar ortamında çekme deneylerine hem de bilgisayar ortamında sanal deneylere tabi tutularak farklı trim-deplasman değerlerindeki hidrodinamik direnç değerlerine ulaşılmıştır. Çekme deneyi için İstanbul Teknik Üniversitesi, Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri Fakültesi, Ata Nutku Gemi Model Deney Havuzu ile birlikte çalışılmıştır. Bilgisayar ortamında ise Maxsurf ve Orca 3d programlarının içerisinde bulunan regresyon temelli yöntemler ile direnç tahminlemesi yapılmıştır. Bu çalışmada amaç hem bilgisayar ortamında sanal olarak hem de laboratuvar ortamında gerçek olarak yapılan deney sonuçlarının ve şirketten temin edilen programın sonuçlarının karşılaştırılması olacaktır. Araştırmanın modeli Şekil 4.5 ile gösterilmiştir.



Şekil 4.5 Araştırmanın modeli

4.3 Gemi Sanal Modelinin ve Deneysel Koşullarının Bilgisayar Ortamında Hazırlanması

Teknolojinin ilerlemesi ve denizcilik alanındaki bilgi birikiminin sürekli gelişmesi ile birlikte bilgisayar ortamında denizcilik alanında kullanılabilecek yazılımlar çoğalmaktadır. Bu yazılımlar gündelik hayatta kâğıt kalem ile günler sürebilecek her adımında hata yapma olasılığı olan birtakım eylemleri bilgisayar başında birkaç dakika veya saat içerisinde yapılabilmesine olanak tanımaktalar. Yine bu yazılımlar sayesinde maliyeti oldukça yüksek deney ve uygulamalar bilgisayar başında çözebilmektedir. Rhinoceros ve Maxsurf gibi yazılımlarda bu bağlamda denizcilik sektöründe karşımıza çıkan yazılımlardır.

Rhinoceros, sektördeki yat ve gemi tasarımı uygulamalarında en çok karşımıza çıkan 3 boyutlu CAD (computer aided design) yazılımlarından biridir. Programın kendine has bir arayüzü olmasıyla birlikte farklı sektörlere özel kullanım şekilleri ve bu kullanım şekillerini destekleyen eklentileri/plug-inleri vardır. Uygulamada gemi sanal modeli Rhinoceros programında modellendi. Orca 3D isimli denizcilik sektörüne özel eklentisi ile de gemi formuna ait direnç karakteristikleri incelenmiştir. Bu konu ilerleyen bölümlerde detaylı olarak açıklanacaktır.

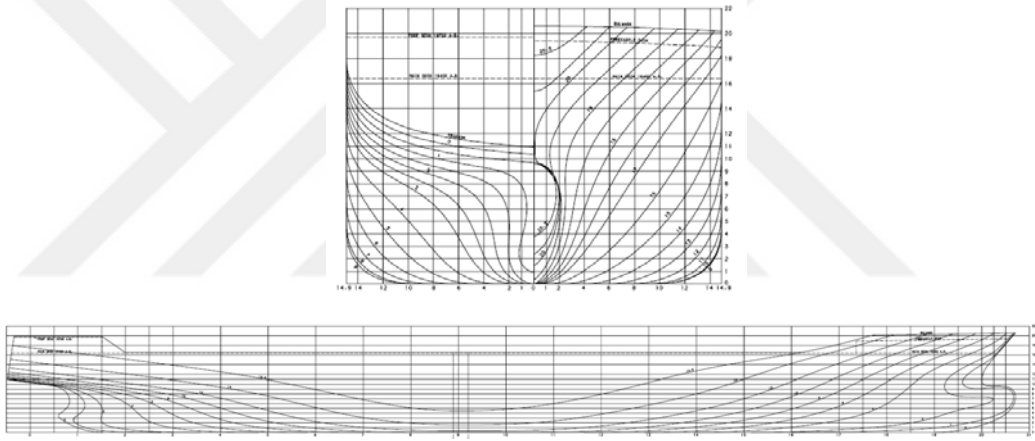
Maxsurf programı ise denizcilik sektöründe kullanılan bilindik ve kullanımı oldukça kolay olan programlardandır. Programın farklı modülleri ile bir geminin tasarımı yapıp, direnç tahmini, stabilite vb. gibi birtakım hesaplamaları yapılmaktadır. Program doğrudan denizcilik sektörüne hizmet etmesi için yazılmış olduğundan istenilen uygulamalar için seçenekleri kendi bünyesinde barındırmaktadır.

4.3.1 Rhinoceros ile Gemi Modelinin Oluşturulması

Bilgisayar ortamında gemiler ile ilgili deneylerin yapılması günümüzde revaçta olan bir metottur. Bunun için öncelikle gemiye ait endaze planı veya ofset tablosundan gemi sanal modelinin oluşturulması gerekmektedir. Bu konuda birçok program olmakla birlikte bu çalışmada Rhinoceros programı kullanılmıştır.

Gemiye ait bilgiler şirketler arasında kağıtlar üzerinde basılı olarak ya da dijital ortamda basıma hazır olarak pdf dosyaları (dijital ortamda kullanılan bir belge türünün dosya uzantısı) ile aktarılmaktadır. Bu bilgilerden bizim için öncelik taşıyanlardan biri gemi endaze planı denilen gemiye ait ön/arka, üst ve yan görünüşlere ait teknik resim dosyasıdır. Şekil 4.6 ile gösterilen endaze planında ilgili görünüşlerde geminin postaları, su hatları, batok hatları ve diyagonal denilen eğrileri bulunur. Bu dosyada bulunan eğriler ile gemi formuna ait hesaplamalar ya da günümüz koşullarında tasarım programları ile geminin 3 boyutlu formu çizilebilmektedir. Bu uygulama için gemi endaze planı incelenmiş olup,

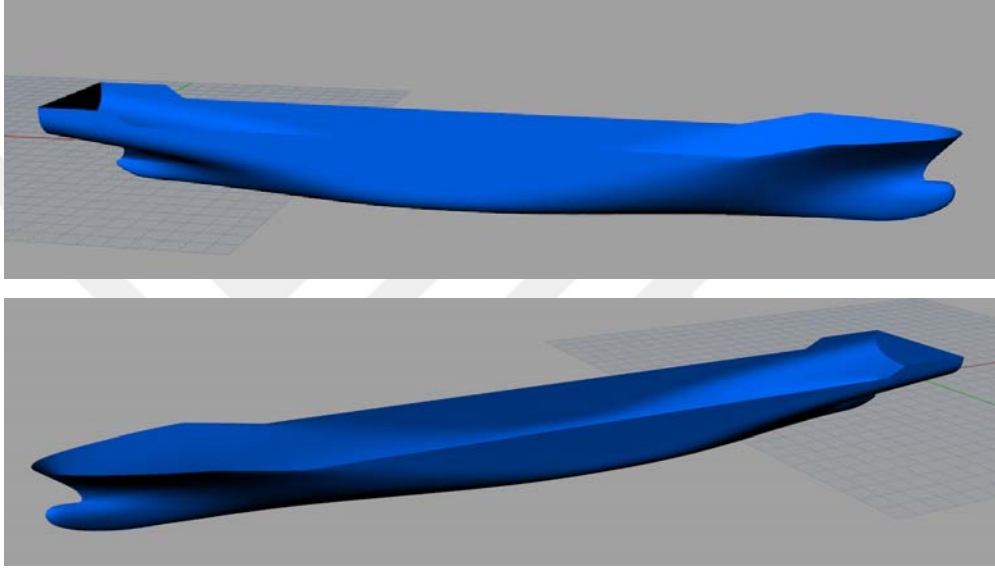
- Geminin yumrubaşı olduğu,
- Gemi formunun simetrik olduğu bilgilerine ulaşılmıştır.



Şekil 4.6 Gemi endaze planı

Gemi formunun simetrik olduğu belirlendikten sonra formun oluşturulması sürecinde gemi yarı formu üzerine çalışılmıştır. Bu durum, uygulamada kolaylık sağlamaktadır. İhtiyaç halinde, gemi formu simetri merkezinden ayna görüntüsü ile birleştirilip tam gemi formu elde edilebilmektedir. İlgili formun endaze planı pdf dosyası olduğundan, çizim programında üretilebilmesi için gemiye ait endaze planının Rhinoceros programında çalışabileceğimiz bir dosya türüne çevrilmesi ihtiyacı doğmuştur. Bunun için endaze planı, farklı bir CAD programı olan AUTOCAD yazılımının pdf dosya uzantısı okuyabilme özelliğiyle Rhinoceros programına uygun bir formatta kaydedilmiştir. Kaydedilen endaze planındaki eğriler gemi dış yüzeyini sınırlayan bir ağ şeklini alması için gemi formuna uygun hale getirilmiştir. Örneğin

baş/kıç görünüşündeki en kesit postaları gemi boyunda postaların konumuna uygun olarak yerleştirilmiştir. Gemi formunun diğer programlarda analiz edilebilmesi için çizgi biçimli eğrilerden oluşan ağ yapı, programda işlenebilecek şekilde sadeleştirilmiştir. Bu sadeleştirme işlemi programın yeteneği doğrultusunda yapılmakta ve daha sonra ağ yapı yüzeylere dönüştürülmektedir. Bu işlem sonucunda gemi yarım formu sanal ortamda 3 boyutlu olarak elde edilmiştir. Şekil 4.7 de elde edilen gemi formunun farklı açılardan görüntüleri program içerisinde gösterilmiştir.



Şekil 4.7 Rhinoceros 5 uygulamasında oluşturulmuş sanal gemi modeli

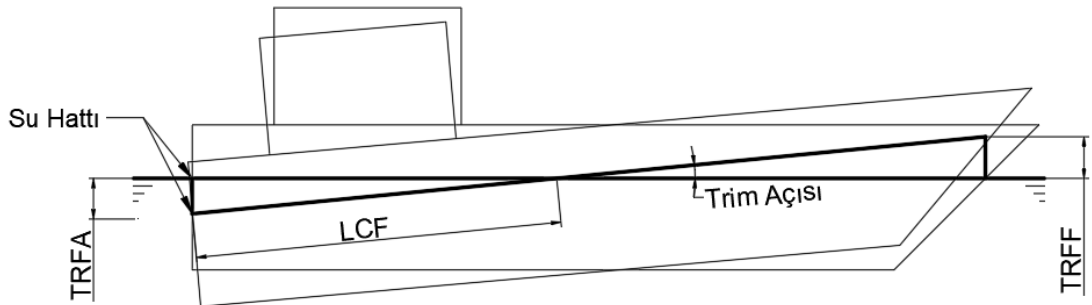
Oluşturulan model gemi endaze planından üretilmiş olmasına rağmen hidrostatik değerlerinin gerçek gemi ile kıyaslanarak modelin geçerliliğinin kontrol edilmesi gerekmektedir. Tablo 4.2 de deney için seçilen draftlarda, deplasman ve LCF (yüzme merkezinin boyuna yeri) verileri Maxsurf ve Orca 3D programlarında ayrı ayrı hesaplatılmış ve gerçek gemi verileri ile kıyaslanmıştır. Bu kıyaslamalar sonucunda gerçek gemi verileriyle sanal gemi verilerinin birbirine çok yakın olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 4.2 Gemi ve model hidrostatik değerlerinin karşılaştırılması

Deplasman(ton)							
T (m)	Gerçek Gemi (t)	Maxsurf (t)	Maxsurf Hata (t)	Maxsurf HATA Oranı	Orca 3D (t)	Orca Hata (t)	ORCA HATA Oranı
11,40	45569,100	45444,000	125,100	0,00275	45499,926	69,174	0,00152
10,10	38968,300	38855,000	113,300	0,00291	38908,150	60,150	0,00154
8,80	32813,400	32720,000	93,400	0,00285	32766,007	47,393	0,00144
LCF (metre)							
11,40	89,42	89,413	0,007	0,00008	89,470	-0,050	-0,00056
10,10	92,97	93,076	-0,106	-0,00114	93,122	-0,152	-0,00163
8,80	96,67	96,735	-0,065	-0,00067	96,791	-0,121	-0,00125

4.3.2 Orca 3D ile Trimli Koşullarda Direnç Deneyinin Yapılması

Hazırlanmış olan gemi formunun Orca 3D eklentisi ile birlikte çalışabilmesi için eklentinin istediği şekilde yarım gemi formuna ait yüzeyler eklentiye tanıtılmış ve bu yüzeylerin gemi yarı formu olduğu program seçeneklerinden seçilmiştir. Orca 3D eklentisinde direnç tahmini yapılırken geminin mevcut koşulları draft ve trim derecesi ile programa aktarılmıştır. Daha önce belirlenen trim koşullarının derece karşılığı, baş ve kıç trim farkları ile gemi yüzme merkezi boyu (LCF) tarafından oluşturulan ve Şekil 4.8 ile gösterilen sanal üçgende hesaplanmıştır.



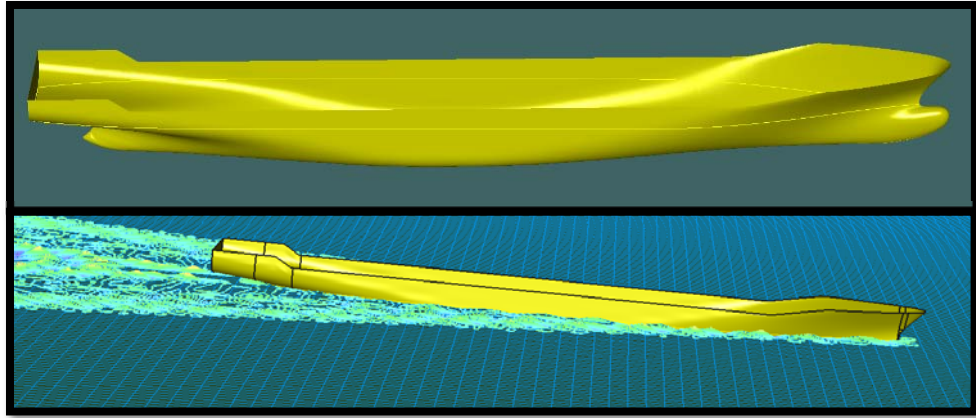
Şekil 4.8 Trim açısının hesaplanması için üretilen üçgen

Şekilde belirtilen TRFF ve TRFA kavramları, sırasıyla baş ve kıç trim mesafelerini belirtmektedir. Bu kavramlar her bir deplasmanda her bir trimli durum için gemiye ait hidrostatik tablolardan alınmıştır. Trim açısının derece olarak hesabı ise 4.30 numaralı trigonometrik denklemlerle yapılmıştır. Trim açılarının hesaplanmasıyla birlikte program belirlenen her bir draft için deneye sokulmuş ve hidrodinamik direnç deneyleri program aracılığıyla yapılmıştır. Program hidrodinamik direnç değerlerini tahminlerken Holtrop isimli regresyon temelli yöntem üzerine çalışmaktadır.

$$\text{Trim Açısı} = [\text{ArcSin}(\text{TRFA}/\text{LCF})] \times 180/\pi \quad (4.30)$$

4.3.3 Maxsurf ile Trimli Koşullarda Direnç Deneyinin Yapılması

Maxsurf denizcilik alanında kullanılan bir program olup endüstri standartlarında direnç tahminlemesi yapabilmektedir (Maxsurf, 2016). Tasarlanmış bir gemi modeli ya da kendi tasarım modülü içerisinde tasarladığımız bir gemi üzerinde birçok hesap yapılabilmektedir. Çalışmamız için kullanılan gemi tasarımı Rhinoceros programında modellendikten sonra program içerisine aktarılmıştır. Şekil 4.9 da geminin Maxsurf programı içerisindeki hali görülmektedir.



Şekil 4.9 Maxsurf Modelleme ve Maxsurf Direnç modüllerinde gemi modeli

Program denizcilik sektöründe stabilite ve direnç tahminlemesi için kullanılmakta olup direnç tahmini için regresyon temelli birçok yöntem barındırmaktadır. Bunlar farklı çalışmalarla kayıcı, yarı kayıcı, deplasman, yat gibi farklı tipteki gemiler için geliştirilmiş regresyon temelli direnç tahminlemesi yöntemleridir. Programın ait

olduğu Şirket bu yöntemlerin hangilerinin hangi tip gemiler için kullanılabileceğini Şu Şekilde açıklamıŐtır;

- Savitsky kayıcı ve yarı kayıcı,
- Lahtiharju ve Blount & Fox kayıcı tekneler,
- Holtrop ve Compton deplasman tipi tekneler,
- Fung ve Series 60 normal gemiler,
- van Oortmerssen römorkörler gibi form doluluğu yüksek tekneler için,
- Delft yatlar ve yelkenliler için.
- Ayrıca potansiyel akış yaklaŐımını kullanan CFD (hesaplmalı akışkanlar dinamiği) tekniğiyle ince gövdeler için, Slender-body yönteminde doğrudan direnç analizi yapılabilir (Maxsurf, 2016).

Bu açıklamalar ile birlikte Maxsurf programın direnç modülünün ait kılavuzu incelendiğinde Compton yönteminin daha çok sahil güvenlik gibi daha kuk boyutlardaki gemiler için olduğu görülmüştür. Bu sebeple çalışma için seçilen deplasman tipi gemi için belirtilen yöntemlerden Holtrop regresyon temelli yöntemi değerlendirmeye tabi tutulmuŐtur.

Maxsurf programı her ne kadar direnç tahminlemesi için kullanılsa da içerisinde trimli hallerde direnç tahminlemesi yapılabilecek bir modül bulunmamaktadır. Bu sebeple belirlenen deney koşullarında, Rhinoceros programında her bir deplasman ve trim koŐulu için sanal modeller oluşturulmuştur. Bu oluşturulan trimli sanal modeller, Maxsurf programının Resistance (direnç) modülünde direnç deneylerine sokulmuŐtur.

4.4 Gemi ekme Deneyinin Laboratuvar Ortamında Yapılması

Literatüre bakıldığında laboratuvarlarda yapılan çekme deneylerinin direnç hesabında doğruluğu en yüksek yöntem olduğu anlaŐılmaktadır (Larsen ve arkadaşları, 2012; Reichel ve arkadaşları, 2014; Hansen ve Freund, 2010; Sherbaz ve Duan, 2014; Perera, Mo ve Kristjansson, 2015; Hansen ve Honchkirch, 2013; Reinus, 2014; Wortley, 2013; Carlton, 2012). Bu sebeple bilgisayar ortamında elde edilen verilerle kıyaslanmak üzere bir laboratuvar ortamında geminin deneylerinin yapılması ihtiyaı

doğmaktadır. Konu ile ilgili ülkemizdeki tek laboratuvar olan İTÜ Ata Nutku Gemi Model Deney Laboratuvarı ile irtibata geçilmiştir. İTÜ Ata Nutku Gemi Model Deney Laboratuvarı “International Towing Tank Procedures” test standartlarına sahiptir (İTÜ, b.t.). Bu standartlar gemilerin hidrodinamik performans tahminleri konusunda IMO tarafından yetkilendirilen International Towing Tank Committee tarafından kontrol edilmektedir (ITTC, b.t.).

Laboratuvar gemi modelinin oluşturulması için kendi ahşap atölyesine sahiptir. Bu atölyede gemi modeli daha önce çizilen endaze planına göre 1/58 ölçekte üretilmiştir. İlgili model oluşturulduktan sonra daha önce belirlenen trim ve yükleme koşullarına göre model üzerine bu koşulları belirten çizgiler çizilmiştir. Şekil 4.10 da hazırlanmış olan model görülmektedir.



Şekil 4.10 Trim ve Deplasman koşulları belirlenen 1/58 ölçekli gemi modeli (Kişisel arşiv, 2017)

Yükleme koşullarının gerçek gemi için olan deplasman, baş ve kıç trim farkları (TRFF, TRFA) gemi model ölçeğinde tekrar hesaplanmıştır. Modelin çıplak ağırlığı tartılmış 92,30 kg gelmiştir. Hesaplanan deplasmanlardan bu ağırlık çıkartılmış ve model üzerine eklenmesi gereken ağırlık miktarları bulunmuştur. Deplasmandan kalan ağırlık farkını tamamlamak için model üzerine farklı büyüklüklerdeki ağırlıklar

konulmuştur. Daha sonra bu ağırlıklar gemi enine ve boyuna hareket ettirilerek daha önce çizilen çizgilerin su yüzeyiyle çakışması yetkili personelin gözle kontrolü ile sağlanmıştır. Bu aşamada Orca 3D programı için hesaplanan trim açıları, derece ölçülerini gösterebilen bir su terazisiyle de kontrol edilmiştir (Şekil 4.11).



Şekil 4.11 Ağırlıklar ve su terazisi ile deney koşullarının sağlanması (Kişisel arşiv, 2017)

Bu aşamadan sonra gemi modeli Şekil 4.12 de görüldüğü gibi çekme arabası ile çekilmektedir. Çekme işlemindeki gemi modelinin, 0,6m/s ile 1,70m/s hızları arasında 7 farklı hız değerinde direnç değerleri ölçülmektedir. Belirtilen hız basamakları, laboratuvar personeli tarafından arabanın hızı belli aralıklarda sabitlenerek sağlanmıştır. Araba hızı sabitlendiğinde direnç ölçümünü başlatıp durduran diğer personelle iletişime geçilerek kayıtlar alınmıştır. Bu ölçüm gemi modelinin ortasına takılan dikey alüminyum profile bağlı dinamometre ile doğrudan bilgisayara aktarılarak yapılmaktadır.



Şekil 4.12 Gemi modelinin çekme arabası ile çekilmesi (Kişisel arşiv, 2017)

Bu işlemler sonunda elde edilen veriler, aynı yükte sadece trim koşullarının değiştirilmesinin geminin direnç faktörüne olan etkisini gemi modeli ölçeğinde göstermektedir. Elde edilen bu verilerin gerçek boyutta gemi ölçeğine göre tekrar hesaplanması gerekmektedir. Bu hesaplar Uluslararası Çekme Laboratuvarları Komitesi' nin (ITTC - International Towing Tank Comittee) önerdiği ve daha önceki bölümde anlatılan ITTC 1978 (ITTC 78) hesaplama yöntemine göre yapılmıştır. Örnek bir hesaplamanın gösterilmesi sebebiyle Tablo 4.3 ile model testten elde edilen ham veriler ve Tablo 4.4 ile model gemi için direnç sabitlerinin hesaplanmış hali verilmiştir. Tablo 4.5 ile Prohaska metodunda, ITTC tarafından önerildiği şekilde $(0,12 < F_n < 0,20)$ form katsayısı $(1+k)$ hesabı verilmiştir. Tablo 4.6 ile de direnç ekstrapolasyonu yapılmış, geminin gerçek boyutlarında gerçekleşen direncin hesabı ve gemiye ait direnç sabitlerinin hesaplanmış hali gösterilmiştir.

Tablo 4.3 Model ile yapılan çekme deneyi bulguları

Yaz Draftı-Trimsiz Koşul					
DATA NO	Hız m/s	Hız knot	Fn	RT _M (kg)	RT _M (N)
trimsiz_001	0,325	4,81	0,055	0,1026	1,01
trimsiz_002	0,400	5,92	0,068	0,118	1,16
trimsiz_003	0,560	8,29	0,095	0,236	2,31
trimsiz_004	0,710	10,51	0,121	0,362	3,54
trimsiz_005	0,915	13,55	0,156	0,512	5,02
trimsiz_006	1,120	16,58	0,191	0,7419	7,27
trimsiz_009	1,210	17,91	0,206	0,8443	8,27
trimsiz_007	1,300	19,25	0,222	0,9767	9,57
trimsiz_010	1,425	21,10	0,243	1,1870	11,63
trimsiz_008	1,500	22,21	0,256	1,3740	13,47
trimsiz_011	1,670	24,72	0,285	1,9260	18,87

Tablo 4.4 Çekme deneyi sonucu ile model direnç sabitleri ve C_R hesabı

Model (M)								
Fn	L _{WL}	T (Sıcaklık)	ρ _M	S _M	CT _M	R _{nM}	CF _M	CR
0,055	3,509	15	1,000	2,431	0,0078	1001229,4	0,0047	0,00121
0,068	3,509	15	1,000	2,431	0,0060	1232282,3	0,0045	0,00036
0,095	3,509	15	1,000	2,431	0,0061	1725195,2	0,0042	0,00015
0,121	3,509	15	1,000	2,431	0,0058	2187301,1	0,0040	0,00016
0,156	3,509	15	1,000	2,431	0,0049	2818845,7	0,0038	0,00042
0,191	3,509	15	1,000	2,431	0,0048	3450390,4	0,0036	0,00038
0,206	3,509	15	1,000	2,431	0,0047	3727653,9	0,0036	0,00042
0,222	3,509	15	1,000	2,431	0,0047	4004917,4	0,0035	0,00034
0,243	3,509	15	1,000	2,431	0,0047	4390005,7	0,0035	0,00020
0,256	3,509	15	1,000	2,431	0,0049	4621058,6	0,0034	0,00005
0,285	3,509	15	1,000	2,431	0,0056	5144778,6	0,0034	0,00080

Tablolarda geçen alt indislerde M model gemiyi, S gerçek ölçekteki gemiyi temsil etmektedir. Diğer kısaltmalar ise şu şekildedir.

Fn: Froude sayısını

L_{WL}: Su hattı boyu

ρ: Su yoğunluğu

CT, CF, CR, CA, CAA: Direnç sabitleri

RT: Toplam direnç

S: Islak alan

Tablo 4.5 Prohaska yöntemiyle form faktörü (1+k) hesabı

1+k / Form Faktörü Hesabı					
Fn	Fn4/CF_M	CT_M/CF_M	Eğim	1+k	1+k Ortalama
0,055	0,002009108	1,671415851	-0,269689085	1,671957686	1,412756097
0,068	0,00482027	1,331365157	-0,269689085	1,332665131	1,412756097
0,095	0,019864144	1,449327933	-0,269689085	1,454685076	1,412756097
0,121	0,053855311	1,452181172	-0,269689085	1,466705362	1,412756097
0,156	0,156189668	1,302819189	-0,269689085	1,344941838	1,412756097
0,191	0,36459427	1,309426503	-0,269689085	1,407753599	1,412756097
0,206	0,504058191	1,295684598	-0,269689085	1,43162359	1,412756097
0,222	0,680789184	1,316278458	-0,269689085	1,49987987	1,412756097
0,243	0,999978665	1,354522801	-0,269689085	1,624206132	1,412756097
0,256	1,239521833	1,428655153	-0,269689085	1,762940663	1,412756097
0,285	1,942646069	1,648106197	-0,269689085	2,172016638	1,412756097

Tablo 4.6 Gerçek boyutlu gemi için direnç ekstrapolasyon hesabı

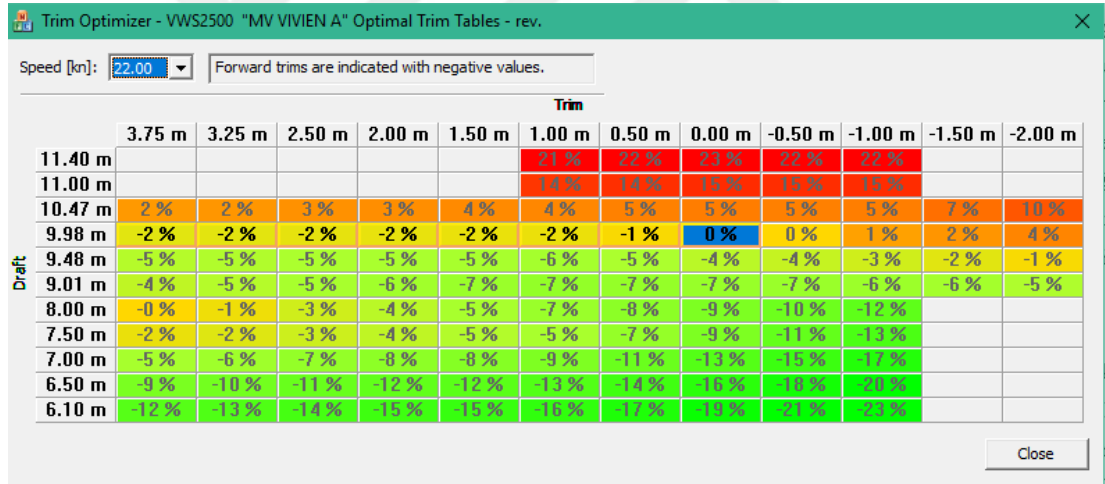
Gemi (S)									
Fn	L_{WL}	ρ_s	S_s	R_{ns}	CF_s	CA	CAA	CT_s	RT_s (N)
0,055	203,5	1,025	8176,788358	55656386,5	0,0023	0,000308	0,00011	0,0048	241562,4
0,068	203,5	1,025	8176,788358	68500167,9	0,0022	0,000308	0,00011	0,0032	239280,9
0,095	203,5	1,025	8176,788358	95900235,1	0,0021	0,000308	0,00011	0,0035	523426,2
0,121	203,5	1,025	8176,788358	121587798,1	0,0020	0,000308	0,00011	0,0034	818697,6
0,156	203,5	1,025	8176,788358	156694134,2	0,0020	0,000308	0,00011	0,0028	1093048,6
0,191	203,5	1,025	8176,788358	191800470,2	0,0019	0,000308	0,00011	0,0027	1616006,6
0,206	203,5	1,025	8176,788358	207213008,0	0,0019	0,000308	0,00011	0,0027	1836173,5
0,222	203,5	1,025	8176,788358	222625545,8	0,0019	0,000308	0,00011	0,0027	2161454,9
0,243	203,5	1,025	8176,788358	244031848,3	0,0018	0,000308	0,00011	0,0028	2698981,3
0,256	203,5	1,025	8176,788358	256875629,8	0,0018	0,000308	0,00011	0,0031	3245056,1
0,285	203,5	1,025	8176,788358	285988201,2	0,0018	0,000308	0,00011	0,0038	4948898,9

Deney koşulları olarak belirtilen 3 farklı deplasman ve 4 farklı trim koşulunda su hattı boyu (L_{WL}), su yoğunluğu (ρ), ıslak alan (S), hava takıntısı sabiti (C_{AA}) gibi büyüklüklerin model ve/veya gemi için değişiklik gösterdiği tespit edilmiştir. Bu değişiklikler hesaplamalara dahil edilmiştir. Örneğin deplasmana bağlı olarak yaz draftından (11,40m) tasarım draftına (10,10m) geçildiğinde, geminin draftlar arası yükseklik farkı kadarı hava direnci için kullanılan alana dahil edilmiştir. Her bir deney koşulunda gemi ve modele ait ıslak alan (S) ve su hattı boyu (L_{WL}) gibi değerlerde

azalmakta veya artmaktadır. Bu sebeple tüm bu deney koşulları için bahsi geçen büyüklüklerdeki değişiklikler dikkate alınmıştır.

4.5 Gemiden Alınan Programın İncelenmesi

Şirkete yapılan görüşmelerin süresince şirket yetkilileri ellerinde gemi için bir program bulunduğunu ve trim ile alakalı olduğunu söylemişlerdir. Alınan programa dair ekran görüntüsü Şekil 4.13 ile verilmiştir. Programın nasıl hazırlandığı veya kim tarafından hazırlandığı öğrenilememiştir. Program, birlikte gelen kullanım kılavuzunda yazdığına göre seçilen hız, draft ve trim koşulundaki güç ihtiyacı farklılıklarını yüzdesel olarak göstermektedir. Şekil 4.13 incelendiğinde kırmızıya doğru giden renklerdeki durumlar daha fazla güç ihtiyacına sebep olacak koşulları, yeşile doğru giden renkler ise daha az güç ihtiyacı olacak koşulları göstermektedir.



Trim Optimizer - VWS2500 "MV VIVIEN A" Optimal Trim Tables - rev.

Speed [kn]: 22.00 Forward trims are indicated with negative values.

	Trim											
	3.75 m	3.25 m	2.50 m	2.00 m	1.50 m	1.00 m	0.50 m	0.00 m	-0.50 m	-1.00 m	-1.50 m	-2.00 m
11.40 m						21 %	21 %	21 %	21 %	21 %		
11.00 m						14 %	14 %	15 %	15 %	16 %		
10.47 m	2 %	2 %	3 %	3 %	4 %	4 %	5 %	5 %	5 %	5 %	7 %	10 %
9.98 m	-2 %	-2 %	-2 %	-2 %	-2 %	-2 %	-1 %	0 %	0 %	1 %	2 %	4 %
9.48 m	-5 %	-5 %	-5 %	-5 %	-5 %	-6 %	-5 %	-4 %	-4 %	-3 %	-2 %	-1 %
9.01 m	-4 %	-5 %	-5 %	-6 %	-7 %	-7 %	-7 %	-7 %	-7 %	-6 %	-6 %	-5 %
8.00 m	-0 %	-1 %	-3 %	-4 %	-5 %	-7 %	-8 %	-9 %	-10 %	-12 %		
7.50 m	-2 %	-2 %	-3 %	-4 %	-5 %	-5 %	-7 %	-9 %	-11 %	-13 %		
7.00 m	-5 %	-6 %	-7 %	-8 %	-8 %	-9 %	-11 %	-13 %	-15 %	-17 %		
6.50 m	-9 %	-10 %	-11 %	-12 %	-12 %	-13 %	-14 %	-16 %	-18 %	-20 %		
6.10 m	-12 %	-13 %	-14 %	-15 %	-15 %	-16 %	-17 %	-19 %	-21 %	-23 %		

Close

Şekil 4.13 Gemi için hazırlanmış trim-güç ilişkisini gösteren program arayüzü

Her ne kadar programın kaynağı ve neye dayanarak çalıştığı bilinmese de çalışma içerisinde diğer yöntemler ile birlikte karşılaştırılması uygun bulunmuştur.

4.6 Uygulama Sonuçları ve Tartışma

Uygulama için seçilen deplasman koşulları trimsiz koşullarda karşılıkları olan draft değerleriyle temsil edilecek olup bunlar 11,40m yaz draftı, 10,10m tasarım draftı ve

8,80m balastlı hal şeklindeki yükleme koşullarıdır. Bu koşullara ek olarak trim koşulları kıça eksi (-) olacak şekilde belirtilmiş olmak üzere -2m, -1m, 0m ve 1m olarak belirtilecektir. İTÜ de yapılan çekme deneyi ITTC 78 yöntemi ile ekstrapolasyona uğratıldığı için ITTC 78 olarak belirtilecektir. ITTC 78 yönteminin sonuçları hesaplandığı gibi verilmiş, bir eğriye dönüşmesi için işlem yapılmamıştır. Orca 3D ile Holtrop yöntemine göre yapılan direnç analizi Orca Holtrop Direnç ismiyle belirtilecektir. Maxsurf ile Holtrop yöntemi yapılan direnç analizi ise Maxsurf Holtrop Direnç ismiyle belirtilecektir. Gemiden alınan program ise Gemi Programı ismiyle belirtilecektir.

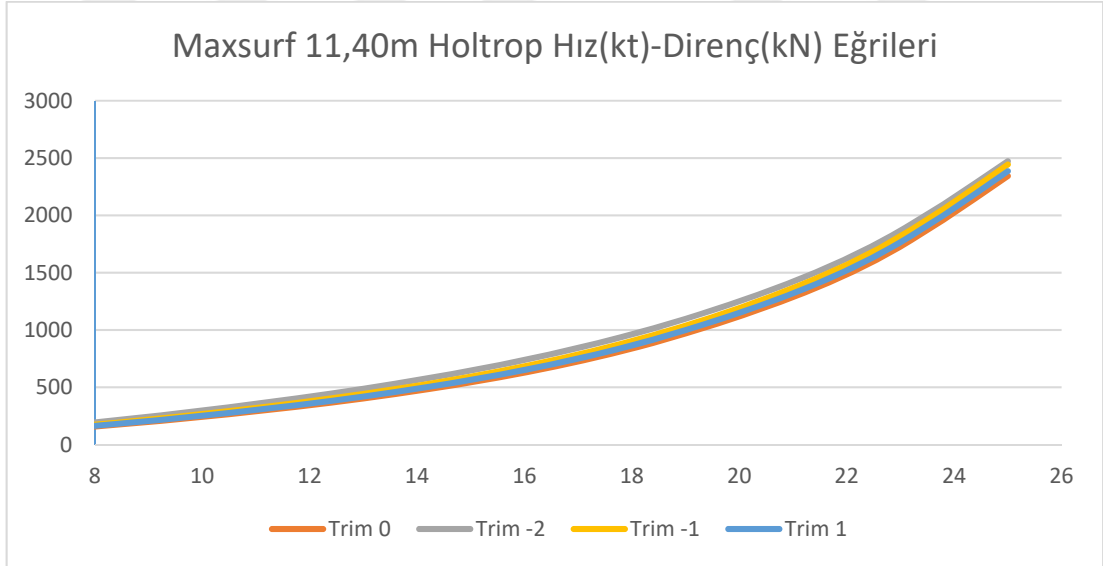
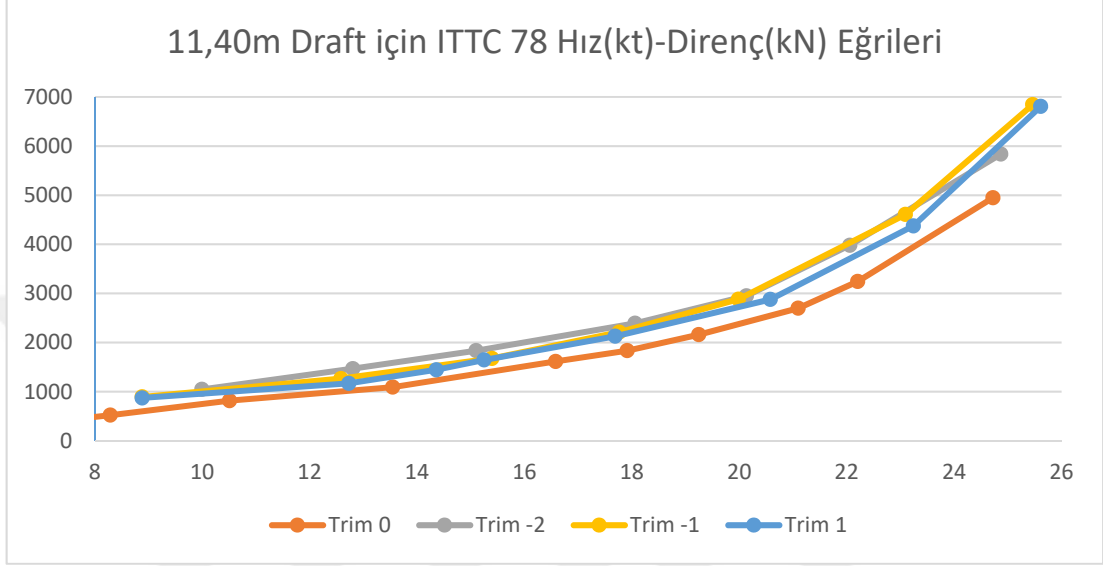
Maxsurf ve Orca programları Holtrop isimli regresyon temelli direnç analiz yöntemi ile direnç tahminlemesi yapmaktadırlar. ITTC 78 yöntemi ise direnç analizini çekme deneyi sonuçlarının ekstrapolasyonu ile yapmakta olup, daha önce bahsedilen direnç hesaplama yöntemleri arasında doğruluğu en yüksek olan direnç tahmin yöntemi olarak kabul edilmektedir. Yine de ITTC bu yöntemin, henüz hesaplama sürecine dahil olan etmenlerin tam olarak temsil edilememesi sorunsalı nedeniyle, alınan sonuçlarının doğruluğunun yüzde yüz kabul edilemeyeceğini belirtmektedir.

Gemiden alınan programa dair sonuçlar bahsedilen diğer yöntemlerle sayısal olarak karşılaştırmaya uygun olmadığı için bu başlık altında değinilmemiştir. Program ile ilgili sonuçlar son bölümde aktarılmış ve karşılaştırma yapılmıştır.

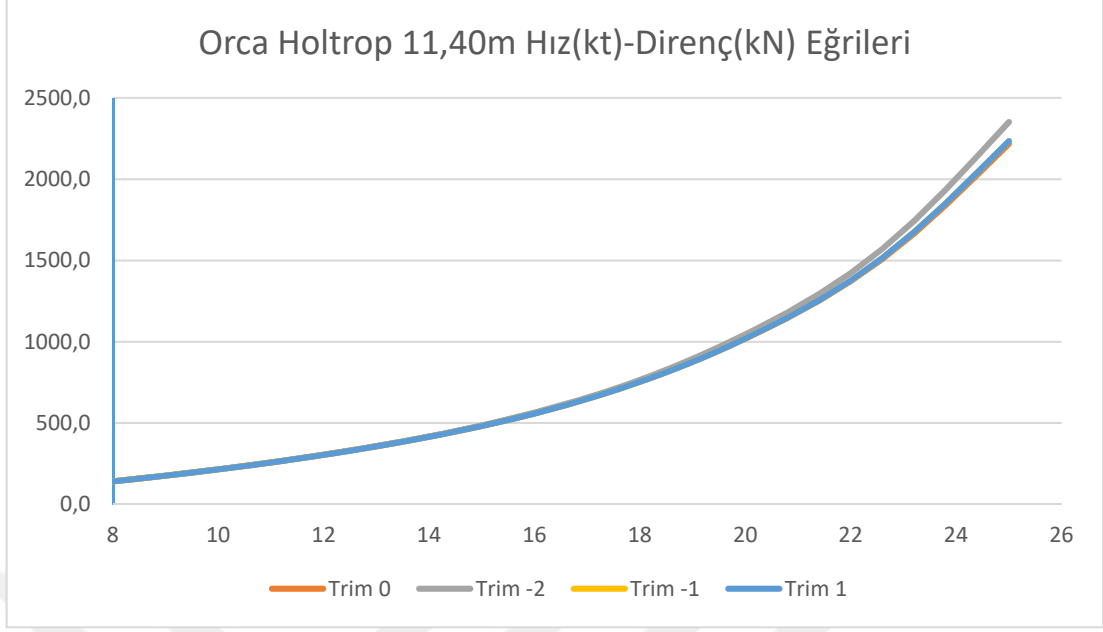
4.6.1 11,40m Draft İçin Optimum Trim Analizi

ITTC 78, Maxsurf Holtrop ve Orca Holtrop programlarında 11,40m yaz draftı için trim koşullarına karşılık gelen direnç eğrileri incelendiğinde, ITTC 78 ve Maxsurf 'te trimsiz koşulda direnç değerinin tüm hızlarda en düşük olduğu görülmektedir. Orca programında ise eğrilerde neredeyse hiç ayrılma olmadığı lakin 21-25 knot hızları arasında trimsiz koşulun fark edilmesi zor olsa da daha az direnç gösterdiği görülmektedir. Eğriler arasında dirençlerin en düşüğe sıralanmasında Maxsurf programın ITTC 78 yöntemiyle tutarlı sonuçlar verdiği görülmektedir. Buna rağmen eğrilerin sayısal büyüklüklerini incelediğimizde Maxsurf ve Orca

programlarının maksimum hızda 2500kN değerlerinde ve birbirine oldukça yakın sonuçlar verdiği, ITTC 78 yönteminin ise 5000-7000kN arasında sayısal olarak oldukça farklı direnç değerleri verdiği görülmüştür. Şekil 4.14 (a, b, c) bahsedilen sonuçlara ait grafiği içermektedir.



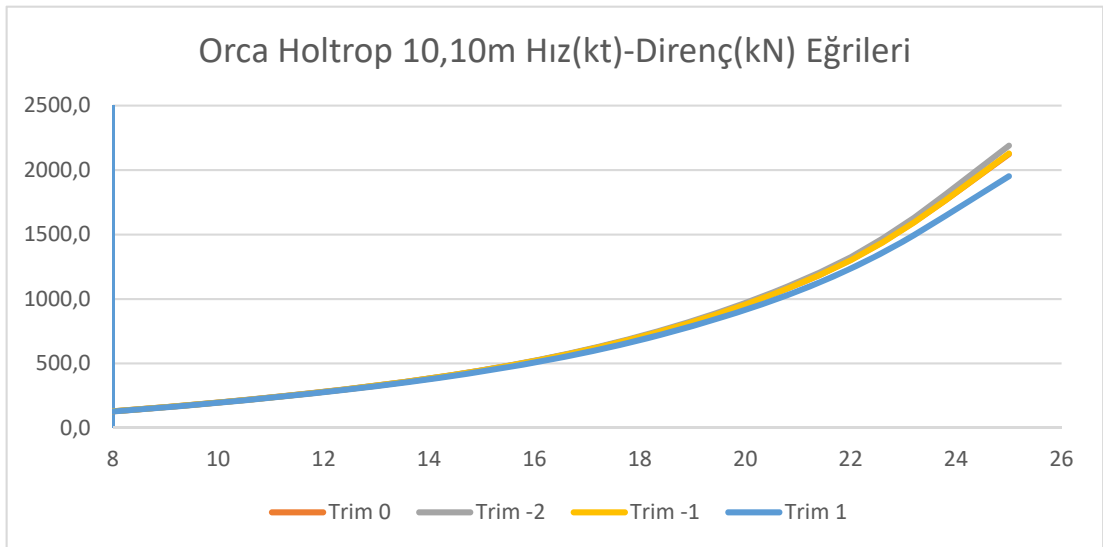
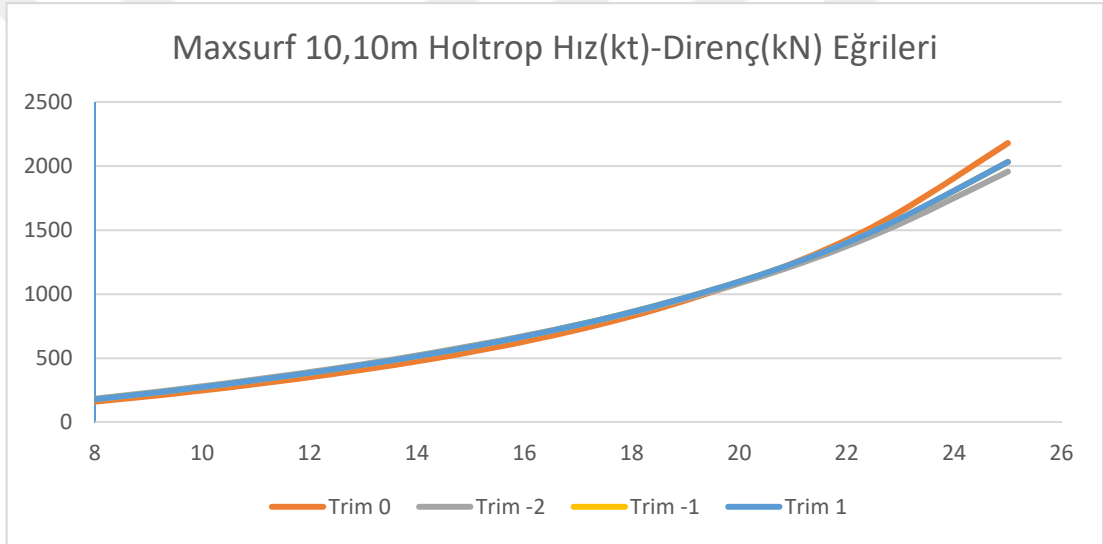
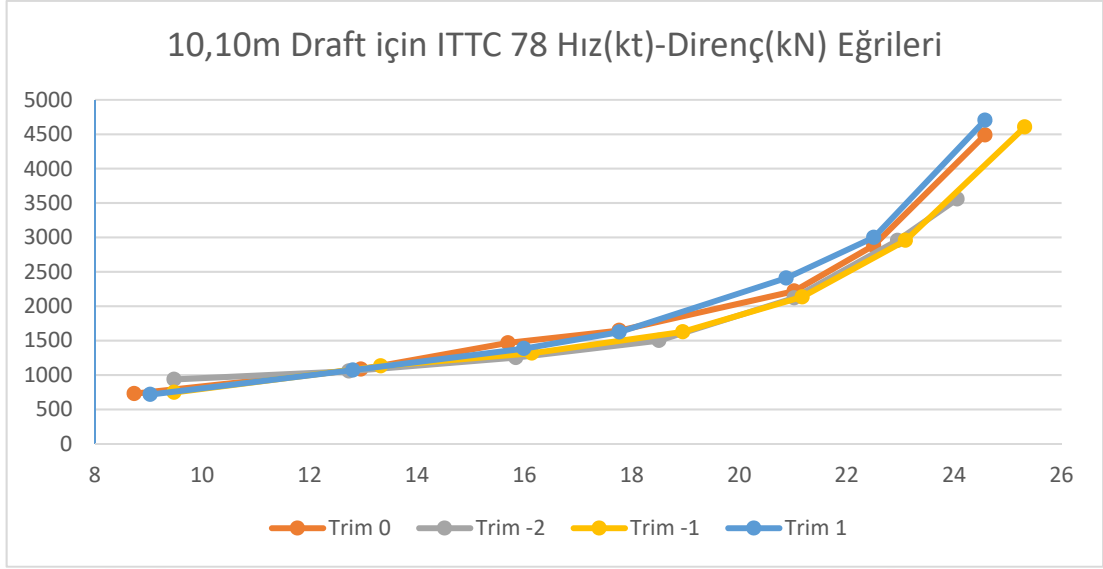
Şekil 4.14 ITTC 78, Maxsurf Holtrop ve Orca Holtrop yöntemleriyle optimum trim incelemesi (a, b, c)



Şekil 4.14 Devamı

4.6.2 10,10m Draft İçin Optimum Trim Analizi

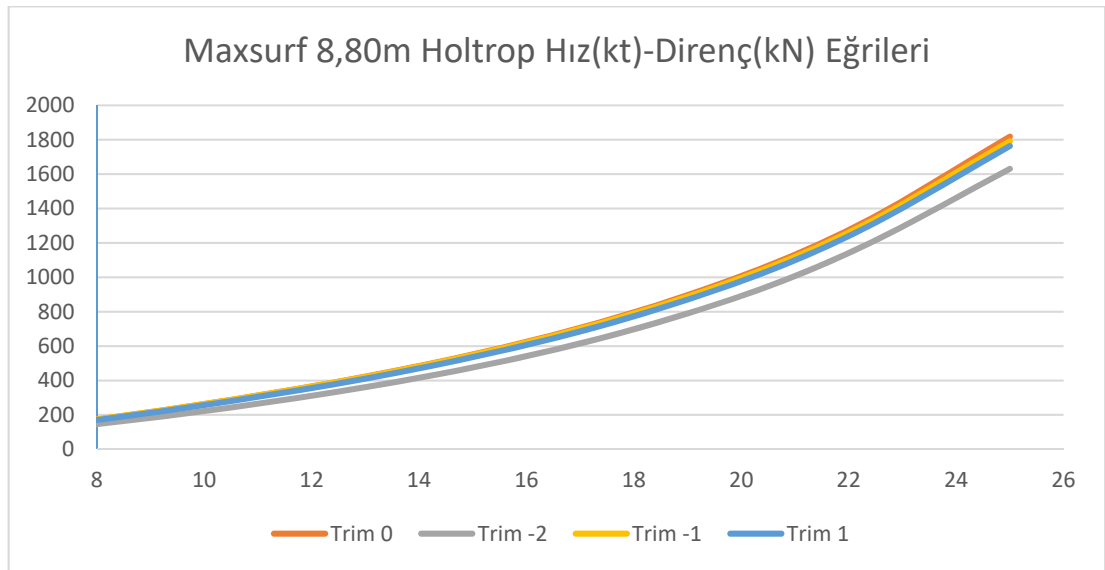
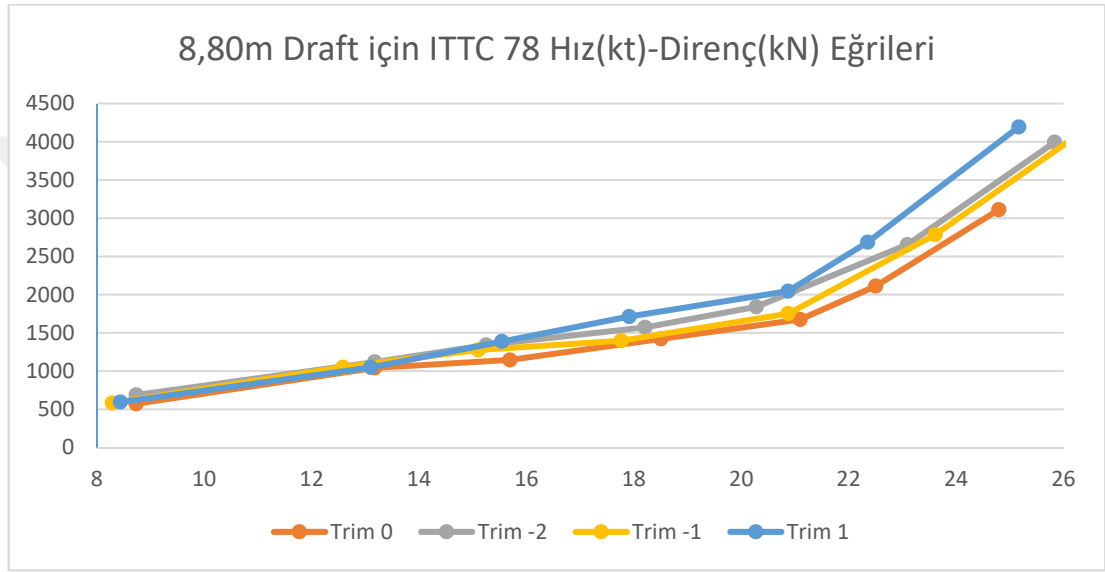
Şekil 4.15 ile belirtilen grafikler incelendiğinde en az direnç için ITTC 78 grafiğinde farklı hızlarda farklı trim koşullarının hafif öne geçtiği görülmüştür. Maxsurf programında ayrılmanın az olmasına rağmen grafik okunduğunda 21knota kadar trimsiz durumda, 21-25knot arasında ise -2 metre trim ile en az direnç göstermektedir. Orca programı ise bütün hızlarda +1m trimli durumun en az direnç getirdiğini göstermektedir. Orca ve ITTC 78 yöntemi 13knota kadar ortak sonuç vermekte sonrasında farklılaşmaktadırlar. ITTC 78 yöntemine göre 13knota kadar başa trimli gitmek sonrasında ise kıç trimli gitmek avantajlı olarak görülmektedir. Grafikler sayısal olarak incelendiğinde ITTC 78 yöntemi maksimum hızda yaklaşık 4500kN direnç değeri göstermekte iken, Maxsurf ve Orca programları birbirleriyle neredeyse aynı sonucu vermektedir.



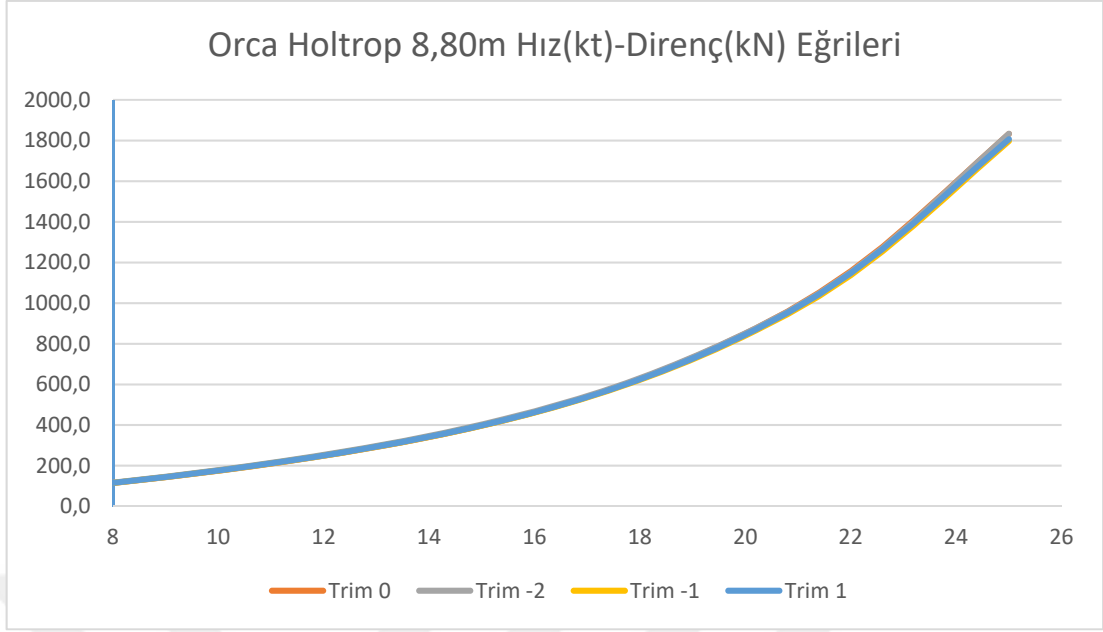
Şekil 4.15 ITTC 78, Maxsurf Holtrop ve Orca Holtrop yöntemleriyle optimum trim incelemesi (a, b, c)

4.6.3 8,80m Draft İçin Optimum Trim Analizi

Grafikler incelendiğinde (Şekil 4.16) ITTC 78 yöntemi için bütün hızlarda trimsiz koşulda en az direncin sağlandığını görülmektedir. Maxsurf programında ise -2m trim durumunun en az direnç sağladığı görülmektedir. Orca programında ise eğrilerde neredeyse hiçbir ayrışma olmamıştır. Sayısal olarak bakıldığında ise -1m trim durumunun en az direnç oluşturduğu görülmektedir.



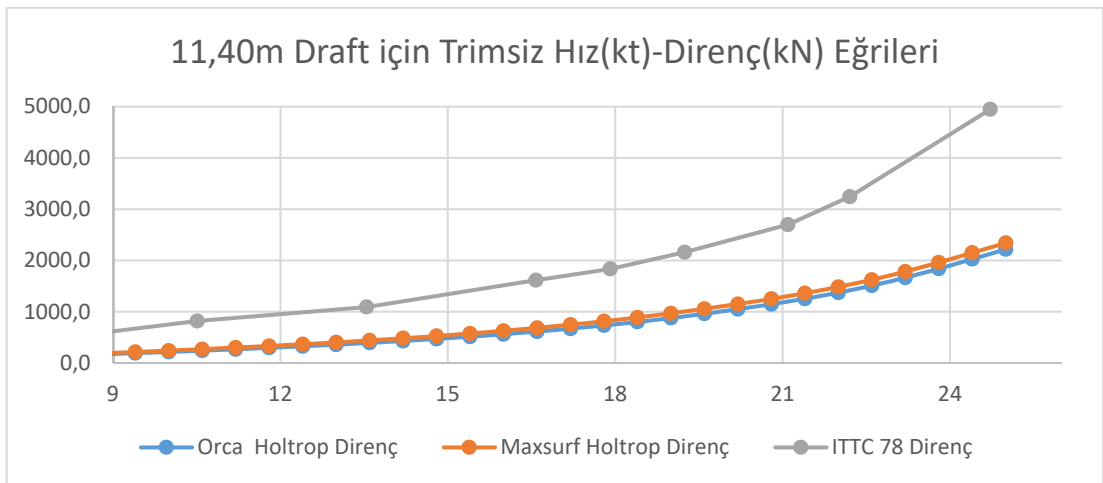
Şekil 4.16 ITTC 78, Maxsurf Holtrop ve Orca Holtrop yöntemleriyle optimum trim incelemesi (a, b, c)



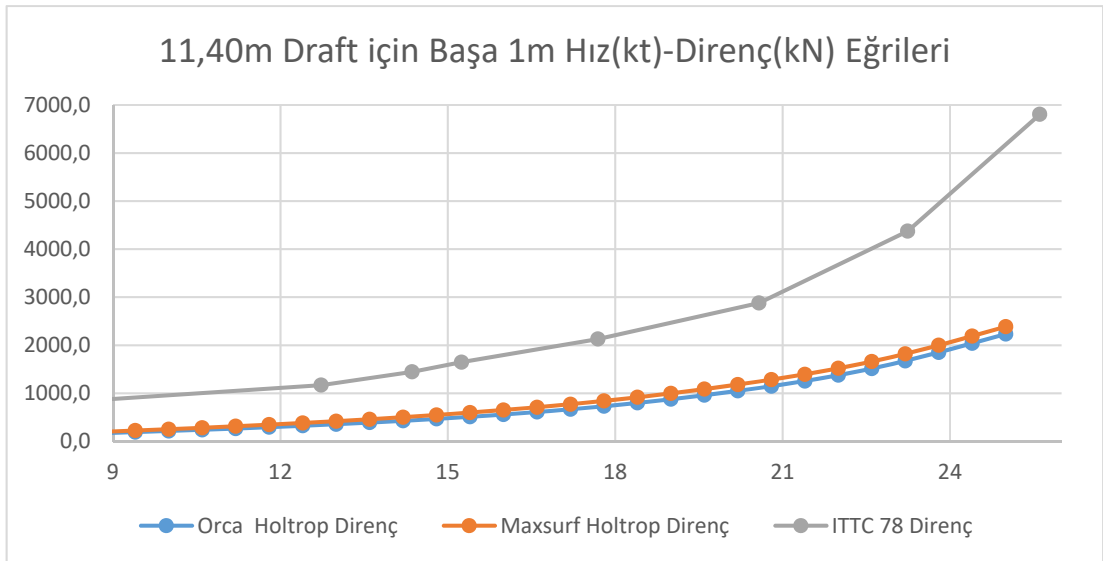
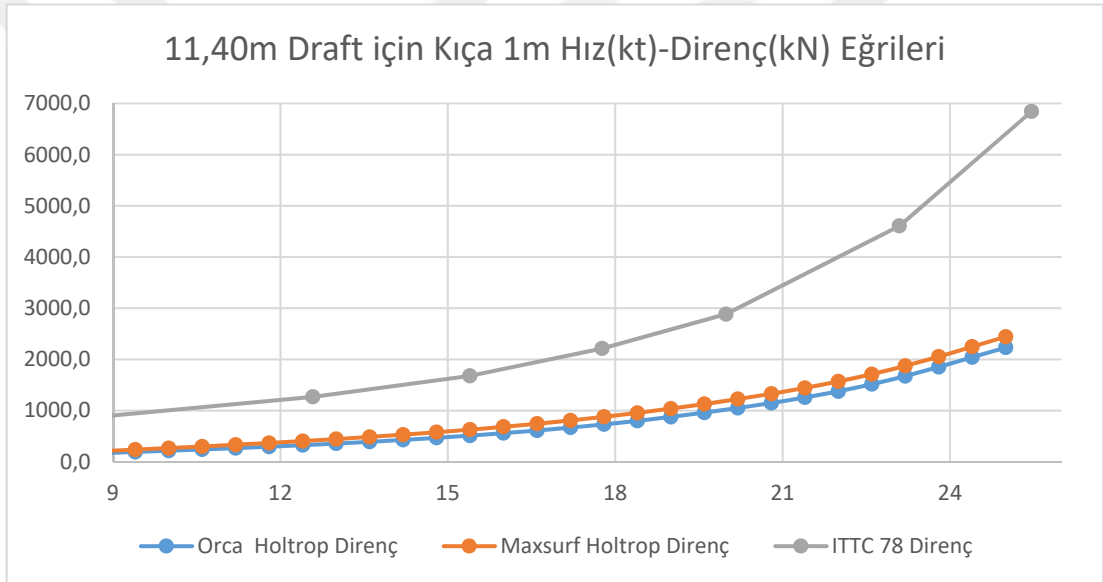
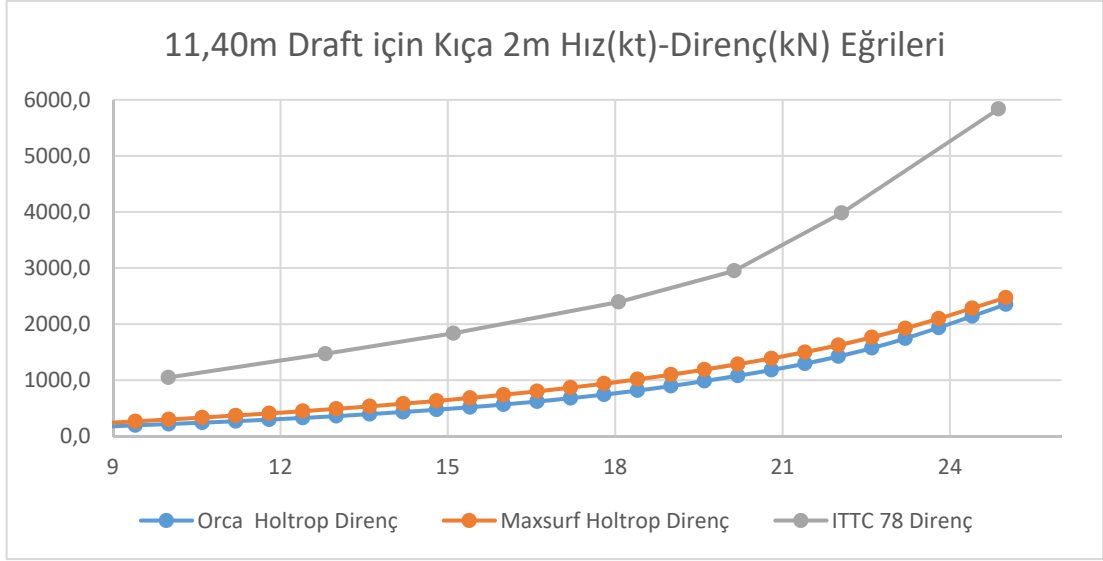
Şekil 4.16 Devamı

4.6.4 11,40m için Farklı Trim Koşullarında Direnç Hesabı Karşılaştırmaları

Şekil 4.17 ile 11,40 m yaz draftı ve farklı trim koşullarındaki direnç değerleri ITTC 78, Maxsurf Holtrop Direnç ve Orca Holtrop Direnç yöntemleri için verilmiştir. Grafikler incelendiğinde Maxsurf tarafından elde edilen sonuçların Orca ile elde edilen sonuçlardan çok az bir farkla daha fazla olduğu oysa ITTC 78 yöntemiyle aralarında oldukça büyük bir fark olduğu görülmektedir.



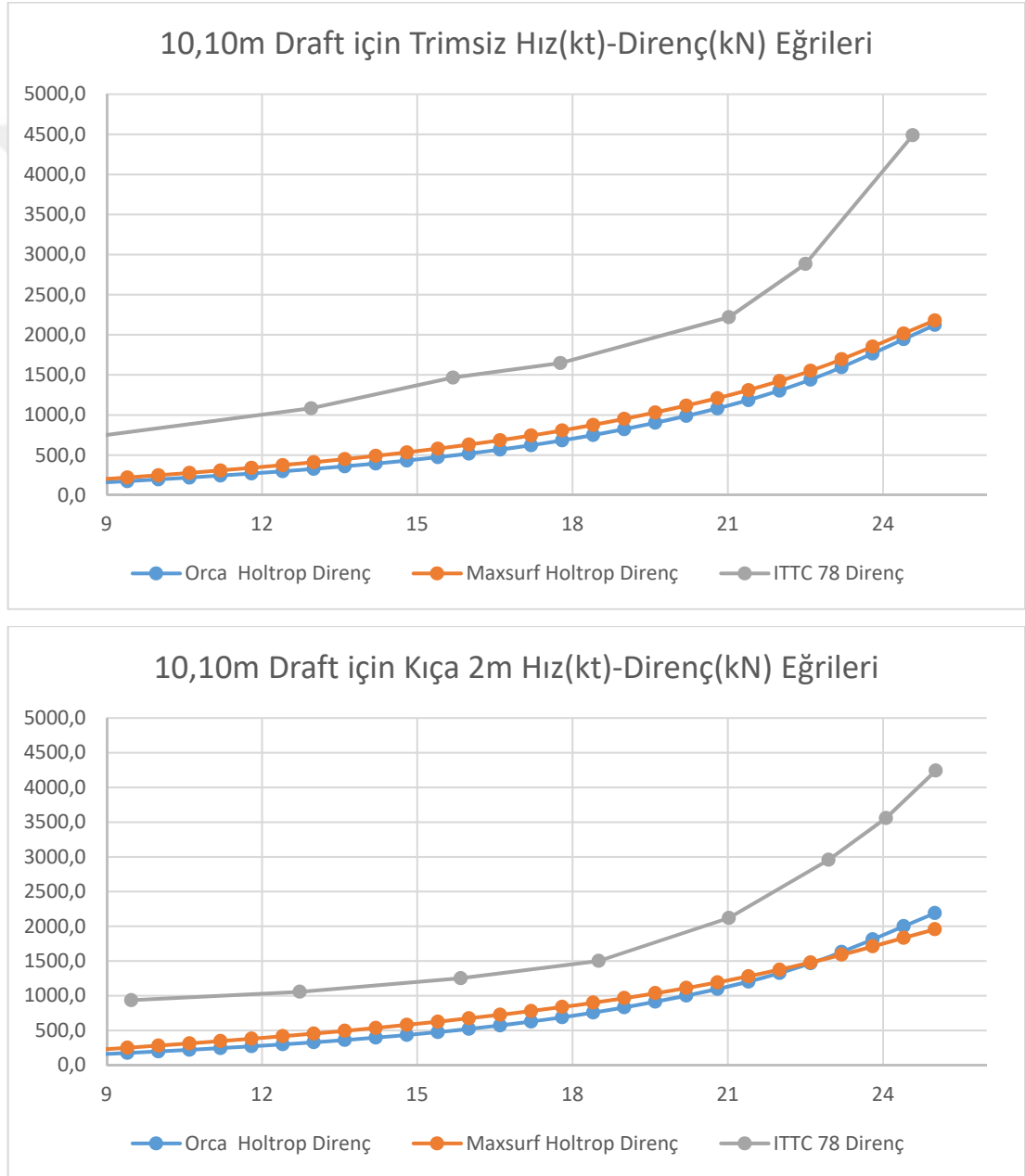
Şekil 4.17 11,40m draft için farklı trim koşullarında direnç hesabı karşılaştırması (a, b, c, d)



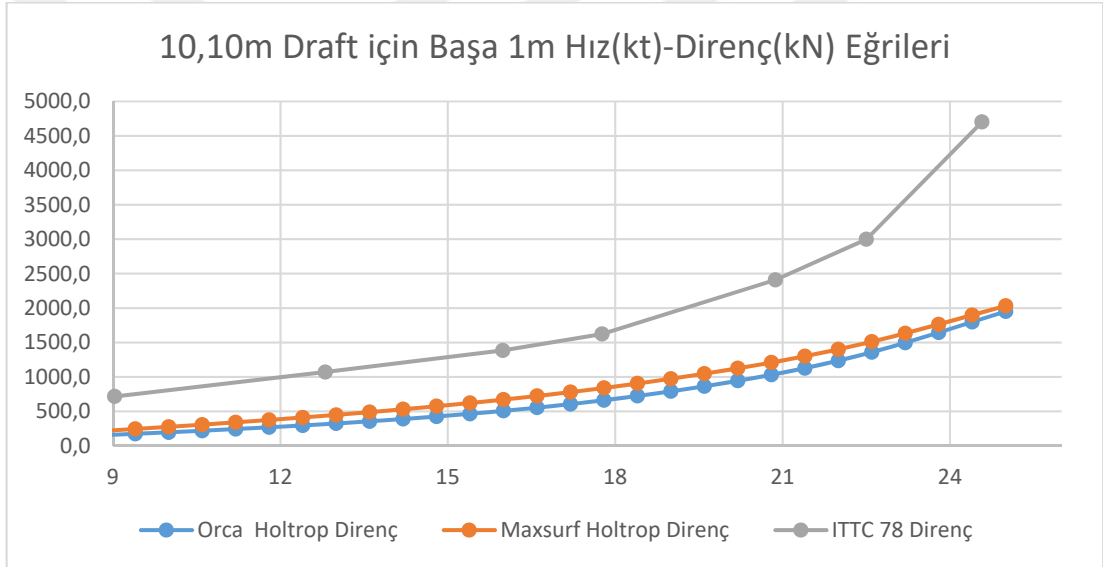
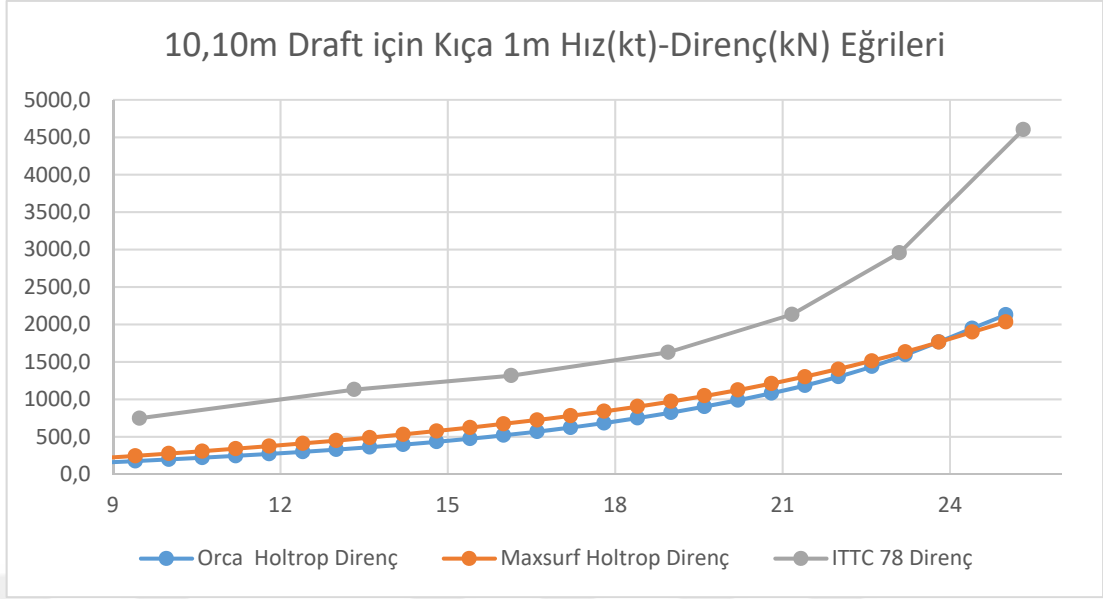
Şekil 4.17 Devamı

4.6.5 10,10m için Farklı Trim Koşullarında Direnç Hesabı Karşılaştırmaları

Şekil 4.18 ile 10,10 m tasarım draftı ve farklı trim koşullarındaki direnç değerleri ITTC 78, Maxsurf Holtrop Direnç ve Orca Holtrop Direnç yöntemleri için verilmiştir. Grafikler incelendiğinde Maxsurf tarafından elde edilen sonuçların Orca ile elde edilen sonuçlardan çok az bir farkla daha fazla olduğu oysa ITTC 78 yöntemiyle aralarında oldukça büyük bir fark olduğu görülmektedir.



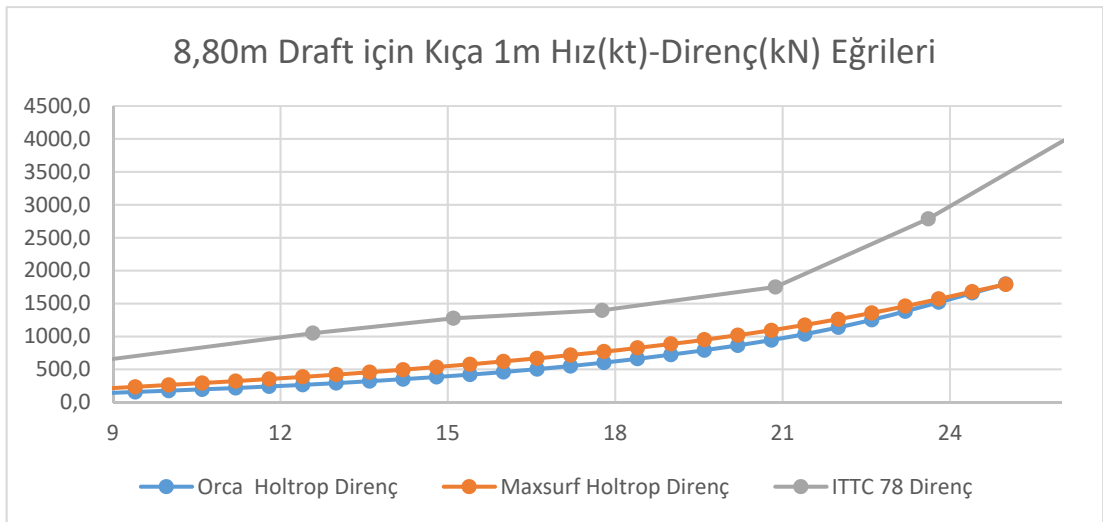
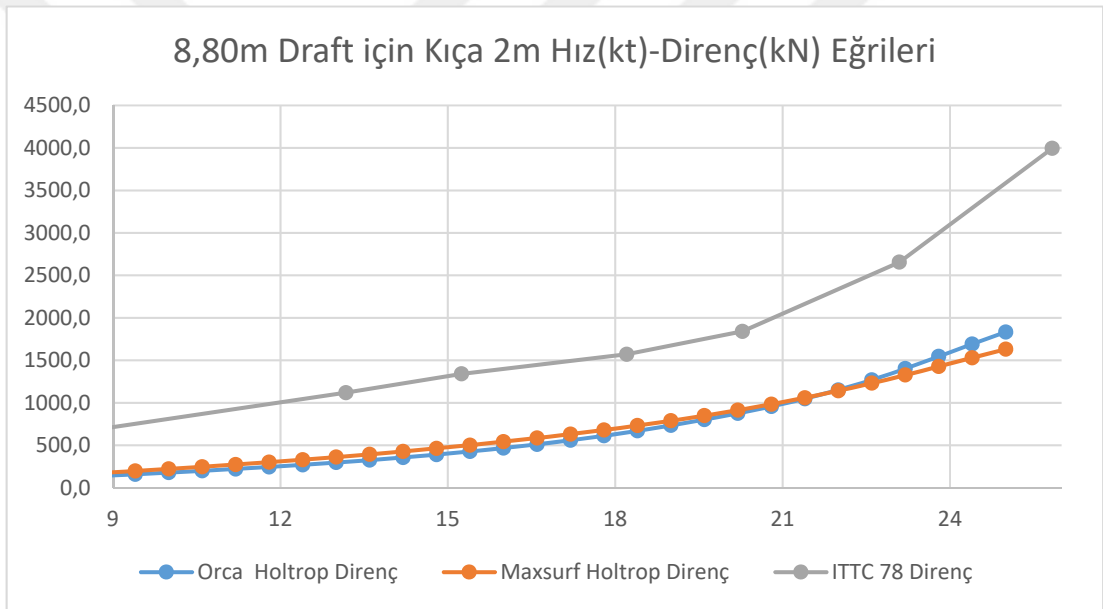
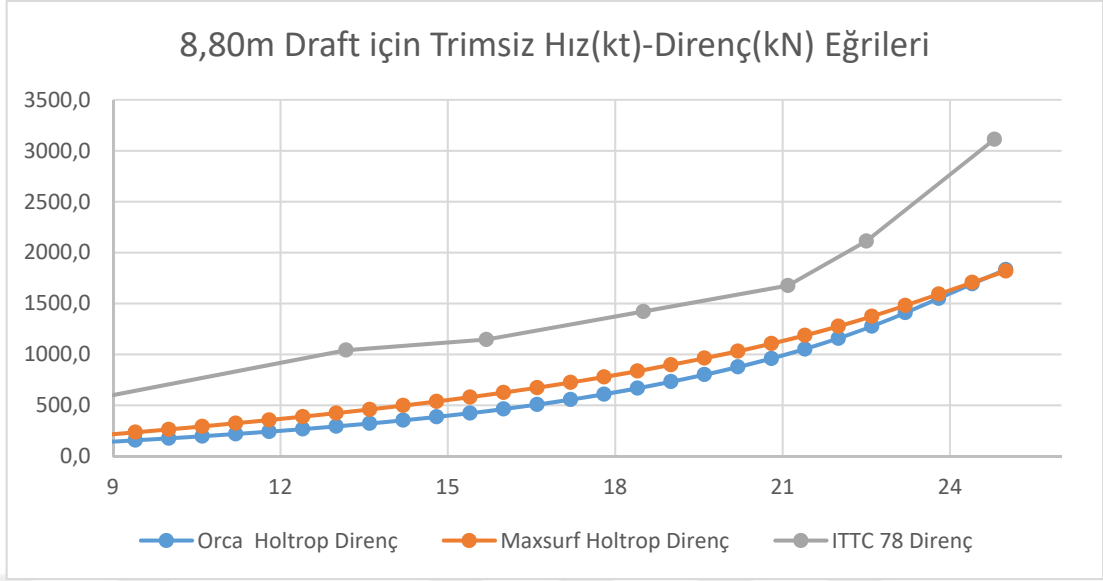
Şekil 4.18 10,10m draft için farklı trim koşullarında direnç hesabı karşılaştırması (a, b, c, d)



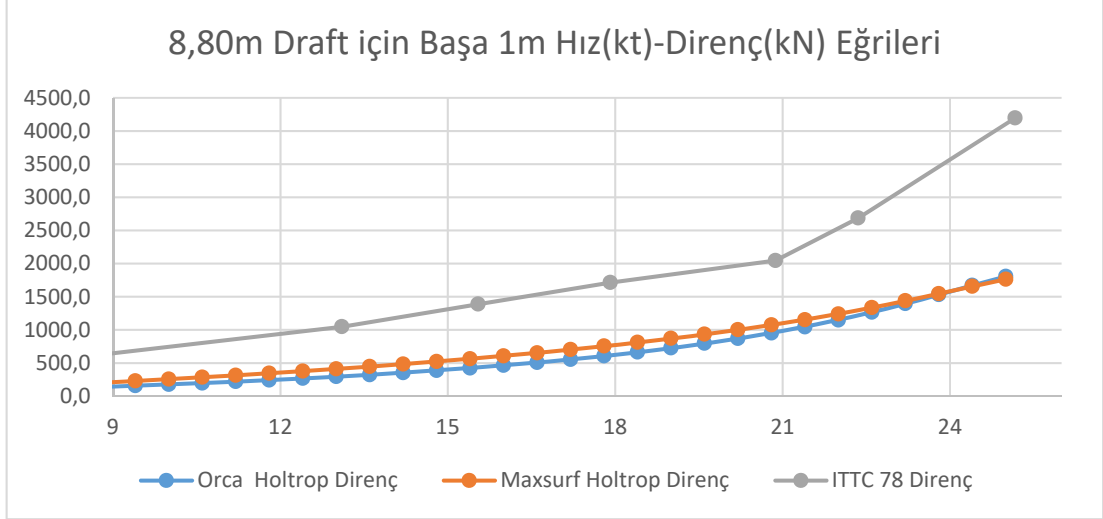
Şekil 4.18 Devamı

4.6.6 8,80m için Farklı Trim Koşullarında Direnç Hesabı Karşılaştırmaları

Şekil 4.19 ile 8,80 m balastlı draft ve farklı trim koşullarındaki direnç değerleri ITTC 78, Maxsurf Holtrop Direnç ve Orca Holtrop Direnç yöntemleri için verilmiştir. Grafikler incelendiğinde Maxsurf tarafından elde edilen sonuçların Orca ile elde edilen sonuçlardan çok az bir farkla daha fazla olduğu oysa ITTC 78 yöntemiyle aralarında oldukça büyük bir fark olduğu görülmektedir.



Şekil 4.19 8,80m draft için farklı trim koşullarında direnç hesabı karşılaştırması (a, b, c, d)



Şekil 4.19 Devamı

4.6.7 Gemi Programı ve Diğer Yöntemlerin Kıyaslanması

Geminin 22,1 Knot olan tasarım hızı için hesaplanan direnç değerleri Tablo 4.7 de gösterilmiştir. Gemi programı sütunundaki değerler en az dirençten en çok dirence olacak şekilde 1,2,3,4 şeklinde belirtilmiş ve program arayüzünde verilmeyen değer için çizgi (-) kullanılmıştır. Eğer değerler eşitse bu program arayüzünde de eşit olduğu anlamına gelmektedir. Tablo incelendiğinde programın sonuçlarının ITTC 78 yöntemine göre tutarsız olduğu gözlenmektedir. Program sonuçlarındaki farklı trim koşullarındaki değişim %1 seviyelerinde iken ITTC 78 yöntemine göre daha fazladır.

Tablo 4.7 Dizayn hızı için hesaplanan direnç sonuçlarının karşılaştırması

11,40m	ITTC 78 (kN)	Maxsurf (kN)	Orca 3D (kN)	Gemi Programı
Kıça 2m	4009,312	1623,048	1422,654	-
Kıça 1m	4057,164	1568,266	1376,778	2
Trimsiz/0	3193,012	1484,683	1372,273	1
Baş 1m	3733,822	1520,141	1376,784	1
10,10m				
ITTC 78 (kN)	Maxsurf (kN)	Orca 3D (kN)	Gemi Programı	
Kıça 2m	2588,662	1373,387	1325,182	1
Kıça 1m	2532,131	1301,501	1400,762	2
Trimsiz/0	2703,752	1423,146	1304,198	3
Baş 1m	2853,000	1400,802	1235,887	4
8,80				
ITTC 78 (kN)	Maxsurf (kN)	Orca 3D (kN)	Gemi Programı	
Kıça 2m	2367,662	1141,084	1151,633	2
Kıça 1m	2215,861	1260,843	1137,851	1
Trimsiz/0	1987,573	1275,275	1156,799	2
Baş 1m	2576,488	1239,852	1147,920	2

BÖLÜM BEŞ

SONUÇLAR

Trim kavramının ve trim optimizasyonunun gemilerde enerji verimliliği kavramı ile olan ilişkisini araştırmak için bir geminin direnç karakteristikleri ortaya konmaya çalışılmıştır. Çalışmada çekme deneyi, Maxsurf ve Orca 3d yazılımları ile regresyon temelli yaklaşımlar ve gemiden alınan trim ile ilgili bir program karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda geminin daha düşük direnç değerleri oluşturduğu durumlar seçilen yöntemler içerisinde karşılaştırılarak değerlendirilmeye çalışılmıştır. Orca 3d ve Maxsurf yazılımları içerisinde aynı regresyon temelli yöntem ile alınan sonuçlar kıyaslandığında, sonuçların sayısal olarak bir uyum içerisinde olduğu buna rağmen Maxsurf uygulaması farklı trim durumlarında farklı direnç değerleri verebilirken Orca 3d programının direnç eğrilerinde farklı trim durumlarında neredeyse ayrışma olmadığı tespit edilmiştir. Çekme deneyi sonuçlarının ITTC 78 yöntemiyle extrapolasyonu yapıldığında geminin 11,40m yaz draftında ve 8,80m balastlı durumunda geminin trimsiz yüzmesinin daha az direnç oluşturduğu görülmüştür.

Trim koşullarına ait direnç değişimi Tablo 4.7 üzerinden ITTC 78 yönteminin sonuçlarına göre incelendiğinde 11,40m yaz draftı koşulunda ve tasarım hızında (22,1 kt) görülen direnç değerlerinin 3190 kN ile 4100 kN değerleri arasında değiştiği görülmüştür. Bu değişim %28,53 değerinde bir direnç artışı anlamına gelebilmektedir. 10,10m tasarım draftı ve tasarım hızındaki direnç değişimi ise yaklaşık 2530 kN – 2855 kN değerleri arasında olduğu görülmektedir. Bu değişim ise %12,85 değerinde bir direnç artışı anlamına gelebilmektedir. 8,80m balastlı durumda geminin belirtilen trim durumlarında yüzebileceği kabulü ile tasarım hızında direnç değişimine bakıldığında 1985 kN – 2580 kN (%29,98) arasında olduğu görülmektedir. Hesaplanan direnç değerleri ile gemi enerji verimliliği arasında lineer bir ilişki olduğu için bu koşullara dikkat edilmesi geminin enerji verimliliği için büyük bir önem ifade edeceği düşünülmektedir.

Hem Tablo 4.7 hem de bir önceki bölümde verilen grafikler incelendiğinde Maxsurf ve Orca programları ile elde edilen sonuçların, geçerliliği daha yüksek olarak kabul

edilen ITTC 78 yöntemine göre 2-3 kat daha az direnç değerleri verdiği görölmektedir. Buradan yapılabilecek yorumla bu programların sonuçlarının bu gemi ve deney koşullarında yetersiz olduğu gözlenmiştir. Gemiye ait programın ise yine ITTC 78 yöntemine göre uyumsuz sonuçlar verdiği gözlenmiştir.

Bir önceki bölümde verilen farklı trim ve yükleme koşullarındaki direnç eğrileri incelendiğinde tasarım hızı olarak belirtilen 22,1 Knot hızının olduğu bölgelerde toplam direnç eğrisinin hızla yükselmeye başladığı tespit edilmiştir. Bu sebeple geminin hızını düşürerek daha ekonomik ve enerji verimliliği daha yüksek bir bölgede seyir yapmasının enerji verimliliğine olumlu etki edeceği düşünölmektedir.

Çalışma için kullanılan geminin, hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD/CFD) yöntemi üzerine kurulmuş farklı yazılımlar ile direnç analizlerinin yapılması planlanmaktadır. Elde edilen sonuçlar ile birlikte ilerleyen zamanlarda yapılacak olan farklı çalışma sonuçlarının bir araya toplanması, gemilerde direnç tahminlemesi konusunda hem numerik hem de regresyon analizine dayalı yöntemleri kullanan farklı bilgisayar yazılımlarının kıyaslandığı bir bilgi havuzu ve/veya yayın yapılması hedeflenmektedir.

KAYNAKLAR

- Bal, Ş, & Güner, M. (2011). *Gemi mühendisliği el kitabı* (2. Baskı, Bölüm 4) (Ed. T. Yılmaz). İstanbul: TMMOB Gemi Mühendisleri Odası.
- Barrass, C.B., (2004). Types of ship resistance, *Ship Design and Performance for Masters and Mates* (54-62), Oxford: Butterworth-Heinemann.
- Baykal, R. ve Dikili, A. C. (2002). *Gemilerin direnci ve makina gücü*. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Matbaası.
- Bertram V, Höppner V, Fach K., (2010). Intelligent engineering options for highly fuel-efficient fishing vessels, *First International Symposium on Fishing Vessel Energy Efficiency E-Fishing*, Vigo, Spain.
- Beşikçi, E. B., (2015). *Gemi sefer yönetiminde enerji verimliliğinin optimizasyonu*, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul
- Brown, D. K. (1983). *A Century of Naval Construction: The History of the Royal Corps of Naval Constructors 1883-1983*. Conway Maritime Press.
- Carlton, J.S., (2012). Ship Resistance and Propulsion, *Marine Propellers and Propulsion* (299-332) (3. Baskı, Bölüm 12), Oxford: Butterworth-Heinemann.
- Chang, C.C. ve Chang, C.H., (2013). Energy conservation for international dry bulk carriers via vessel speed reduction. *Energy Policy*, 59, 710–715.
- Corbett, J. J., Wang, H., ve Winebrake, J. J. (2009). The effectiveness and costs of speed reductions on emissions from international shipping. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 14(8), 593-598.

Çelik, F., (b.t.). *Gemilerde direnç, direnç bileşenleri ve model deneyleri ile ilgili ders notları*, 7 Haziran 2017,

<http://www.yildiz.edu.tr/~fcelik/dersler/gemidirenci/PDF/3.%20Gemi%20Direncinin%20Bilesenleri.pdf>

Dnv-Gl, (2015). *IMO NOx Tier III requirements to take effect on January 1st 2016*. 24 Nisan 2017, <https://www.dnvgl.com/news/imo-nox-tier-iii-requirements-to-take-effect-on-january-1st-2016-51970>

Ergin, S., (b.t.). *Gemilerde enerji verimliliği*, 31 Nisan 2017, <http://gigm.itu.edu.tr/wp-content/uploads/projeSERGIN.pdf>

Gilje, K.M., (2013). *Airbourne wind turbines for ship propulsion*, Master Thesis, Norwegian University of Science and Technology, Trondheim.

Golias, M.M., Saharidis, G.K., Boile, M., Theofanis, S. ve Ierapetritou, M.G., (2009). The berth allocation problem: optimizing vessel arrival time. *Maritime Economics and Logistics*, 11, 358–377.

Guner, M., (2007). *Gemi direnci ve sevki ders notları*, 7 Haziran 2017, <http://www.yildiz.edu.tr/~guner/dersnotu/2.pdf>

Hansen, H., Freund, M., (2010). Assistance tools for operational fuel efficiency, *9th International Conference on Computer and IT Applications in the Maritime Industries, COMPIT 2010*, Gubbio, Italy.

Hansen, H., ve Hochkirch, K., (2013). Lean ECO-Assistant production for trim optimisation, *11th International Conference on Computer and IT Applications in the Maritime Industries, COMPIT 2013*, Cortona, Italy.

Helvacı, Ş., (b.t.). *Gemi direnci ders notları*, 7 Haziran 2017, <http://akademi.itu.edu.tr/helvacı/DosyaGetir/54874/DERS8%20direnc.pdf>

Herring, F.S., (1980). Effectiveness of Waterborne Cleaning of Aircraft Carriers, S.N.A.M.E. *Shipboard Energy Conservation Symposium*, Session III-C, 243-249.

International Maritime Organization (IMO), (2008). *Revised MARPOL Annex VI*, MEPC 58/23/Add.1, ANNEX 13.

International Maritime Organization (IMO), (2009). *Guidelines for the voluntary use of the ship energy efficiency operational indicator (EEOI)*.

International Maritime Organization (IMO), (2011a). Technical and operational measures to improve the energy efficiency of international shipping and assessment of their effect on future emissions, 15 Nisan 2017, <http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Documents/COP%2017/Submissions/Final%20SBSTA%20EEDI%20SEEMP%20COP17.pdf>

International Maritime Organization (IMO), (2011b). *Marine Environment Protection Committee (MEPC) – 62nd session*, 31 Mayıs 2017, <http://www.imo.org/en/MediaCentre/meetingsummaries/mepc/pages/mepc-62nd-session.aspx>.

International Maritime Organization (IMO), (2012). *Guidelines for the development of a ship energy efficiency management plan (SEEMP)*. 15 Mayıs 2017, [http://www.imo.org/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/Marine-Environment-Protection-Committee-\(MEPC\)/Documents/MEPC.213\(63\).pdf](http://www.imo.org/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/Marine-Environment-Protection-Committee-(MEPC)/Documents/MEPC.213(63).pdf)

International Towing Tank Committee – ITTC, (b.t.). 8 Aralık 2016, <http://www.ittc.info/>

İTÜ Laboratuvarları – Direnç deneyleri ve analizi, (b.t.). 11 Mayıs 2017, <http://itulabs.itu.edu.tr/Test.aspx?id=0154315e-687c-4392-aa78-8dc2ad896078>

Konur, O. (2016). *Güneş enerjili teknelerde enerji verimliliğini artırma teknikleri*. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.

Korkut, E. ve Atlar, M. (2012). An experimental investigation of the effect of foul release coating application on performance, noise and cavitation characteristics of marine propellers. *Ocean Engineering*, 41, pp.1-12.

Kuzmin, D., (b.t.). *Introduction to cfd*, 21 Haziran 2017, <http://www.mathematik.uni-dortmund.de/~kuzmin/cfdintro/lecture1.pdf>

Kyoto Protocol, (b.t.). *The United Nations Framework Conference on Climate Change*, 28 Şubat 2017, https://unfccc.int/kyoto_protocol/items/2830.php

Larsen, N. L., Simonsen, C. D., Nielsen, C. K., ve Holm, C. R. (2012). Understanding the physics of trim. *9th annual Green Ship Technology (GST) conference*, Copenhagen.

Lele, A., ve Rao, K. V. S. (2016). Ship propulsion strategies by using wind energy. *Emerging Technological Trends (ICETT), International Conference on* (1-6). IEEE.

Leloup R., Roncin K., Behrel M., Bles G., Leroux J.-B., Jochum C., Parlier Y., (2016). A continuous and analytical modeling for kites as auxiliary propulsion devoted to merchant ships, including fuel saving estimation, *Renewable Energy*, 86, 483-496.

MAXSURF Naval architecture applications for all types of vessels, (2016). 22 Mayıs 2017, <https://www.bentley.com/~/~asset/14/12337.ashx>

MAXSURF Resistance wake and power prediction, (b.t.). 08 Haziran 2016 <http://www.maxsurf.net/resistance.html>.

- Perera, L. P., Mo, B., ve Kristjansson L. A., (2015). Identification of optimal trim configurations to improve energy efficiency in ships, *10th IFAC Conference on Manoeuvring and Control of Marine Craft MCMC 2015*, Copenhagen.
- Peri, D., Rossetti, M., ve Campana, E. F., (2001). Design optimization of ship hulls via CFD techniques, *Journal of Ship Research*, 45, 140–149.
- Peşman, E., Durgun, O., ve Ölmez H., (b.t.). Karadeniz balıkçı teknelerinde sevk sistemi tasarımı, 27 Mayıs 2017, <http://web.itu.edu.tr/~pesman/Gemimo2.pdf>.
- Psaraftis, H.N. ve Kontovas, C.A., (2013). Overview Paper Speed models for energy-efficient maritime transportation: A taxonomy and survey. *Transportation Research Part C*, 26, 331–351.
- Reichel, M., Minchev, A., ve Larsen, N. L., (2014). Trim optimisation – Theory and practice, *International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, 8, 387 – 392.
- Reinius, L., (2014). *Trim optimization of reefer vessels*, Master of science thesis, Stockholm, Sweden.
- Ronen, D., (2011). The effect of oil price on containership speed and fleet size. *Journal of the Operational Research Society*, 62, 211–216.
- Sherbaz, S., ve Duan, W., (2014). Ship trim optimization: Assessment of influence of trim on resistance of MOERI container ship, *the Scientific World Journal*, 2014.
- Skysails, (2017). Skysails propulsion for cargo ships, 12 Haziran 2017, http://www.skysails.info/uploads/pics/Keyvisual_BBC_blau_21.png

- Talluri, L., Nalianda, D. K., Kyprianidis, K. G., Nikolaidis, T., ve Pilidis, P., (2016). Techno economic and environmental assessment of wind assisted marine propulsion systems, *Ocean Engineering*, 121, 301–311
- Türk Loydu, (2011). *Summary Report-MEPC 62*, 07 Haziran 2017, <http://www.turkloydu.org/pdf-files/imo-toplanti-raporlari/MEPC62.pdf>
- Türk Loydu, (2012). *Gemi enerji verimliliği yönetim planının (seemp) geliştirilmesine yönelik 2012 yılı kılavuzları*. <http://www.turkloydu.org/pdf-files/bayrak-devleti-hizmetleri/SEEMP-K%C4%B1lavuz.pdf>
- Türk Loydu, (2013). *Survey and certification rules on energy efficiency of ships (Marpol 73/78 Annex VI, Chapter 4)*, <http://www.turkloydu.org/pdf-files/turkloydu-kurallari/ek-kurallar/survey-and-certification-rules-on-energy-efficiency-of-ships.pdf>
- Türk Dil Kurumu Güncel Türkçe Sözlük, (b.t.). 16 Şubat 2017, http://www.tdk.gov.tr/index.php?option=com_gts&arama=gts&guid=TDK.GTS.56c388bfc4da82.63180922
- United Nations Conference on Trade and Development (UNCTAD), (2009). Report of multi-year expert meeting on its first session. *United Nations Conference on Trade and Development*. Geneva.
- Wortley, S., (2013). *CFD analysis of container ship sinkage, trim and resistance*, Mechanical Engineering Project Report, Department of Mechanical Engineering, Curtin University.
- Wu, S., Cheng, Y. T., ve Ma, Q. (2011). Discussion on ship energy-saving in low carbon economy. *Procedia Engineering*, 15, 5259-5262.

Xing, S., Xinping, Y., Bing, W. ve Xin, S., (2013). Analysis of the operational energy efficiency for inland river ships, *Transportation Research Part D*, 22, 34–39.

Yılmaz, C., (2015). *Türk bayraklı gemilerin enerji verimliliğinin incelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.



EK-1: KISALTMALAR

3D	: 3 Dimensional (3 Boyutlu)
ATTC	: American Towing Tank Conference (Amerikan Çekme Tankı Konferansı)
CAD	: Computer-Aided Design (Bilgisayar Destekli Tasarım)
CFD	: Computational Fluid Dynamics (Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği)
ECA	: Emission Control Area (Salım Kontrol Alanı)
EEDI	: Energy Efficiency Design Index (Enerji Verimliliği Tasarım İndeksi)
EEOI	: Energy Efficiency Operational Index (Enerji Verimliliği Operasyonel İndeksi)
HAD	: Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği
IMO	: International Maritime Organization (Uluslararası Denizcilik Örgütü)
ITTC	: International Towing Tank Conference (Uluslararası Çekme Tankı Konferansı)
İTÜ	: İstanbul Teknik Üniversitesi
LNG	: Liquefied Natural Gas (Sıvılaştırılmış Doğal Gaz)
MEPC	: Marine Environment Protection Committee (Deniz Çevresi Koruma Komitesi)
SECA	: Sulphur Emission Control Area (Sülfür Salım Kontrol Alanı)
SEEMP	: Ship Energy Efficiency Management Plan (Gemi Enerji Verimliliği Yönetim Planı)
SOLAS	: Safety Of Life At Sea (Denizde Can Güvenliği Uluslararası Sözleşmesi)
TDK	: Türk Dil Kurumu
TEU	: Twenty-foot Equivalent Unit (20 Fit Konteyner Eşdeğer Birimi)
TL	: Türk Loydu
UNCTAD	: United Nations Conference on Trade and Development (Birleşmiş Milletler Ticaret ve Kalkınma Konferansı)

EK-2: VERİ KULLANIM İZİN BELGESİ



07.03.2016

Sayın Doç. Dr. Selçuk NAS'ın dikkatine,

Danışmanlığını yapmış olduğunuz Arş. Gör. Kerim ZIYLAN' ın, TÜBİTAK destekli, "Türk Gemi İşletmelerinde Gemi Enerji Verimliği Uygulamalarının Karşılaştırmalı Analizleri" başlıklı yüksek lisans tezi kapsamında filomuz gemilerine ait hidrostatik verilerin kullanılması, araştırılması ve saha çalışmaları ile ilgili olarak iki yıl süre ile izin verdiğimizizi bildirir çalışmalarınızda başarılar dileriz.

Arkas Denizcilik ve Nakliyat A.Ş.


A. İBRAHİM KONTAYTEKİN


Haluk İRİBAŞ

İZMİR Liman Caddesi Arkas Binası No: 38 Alsancak 35230 İzmir
Tel: (0232) 477 77 77 Faks: (0232) 411 00 00 e-posta: arkasizm@arkas.com.tr www.arkasdenizcilik.com.tr

İSTANBUL Tel: (0212) 318 00 00 Faks: (0212) 212 69 10 e-posta: arkasib@arkas.com.tr **MERSİN** Tel: (0324) 241 14 14 Faks: (0324) 241 14 15 e-posta: arkasmer@arkas.com.tr
BURSA Tel: (0224) 270 77 77 Faks: (0224) 270 77 78 e-posta: arkasbu@arkas.com.tr **DENİZLİ** Tel: (0258) 265 93 99 Faks: (0258) 241 97 93 e-posta: arkasdn@arkas.com.tr
ANTALYA Tel: (0242) 248 47 37 Faks: (0242) 241 47 00 e-posta: arkasant@arkas.com.tr **SAMSUN** Tel: (0362) 431 46 92 Faks: (0362) 431 46 93 e-posta: arkasam@arkas.com.tr
TRABZON Tel: (0462) 326 90 95 Faks: (0462) 326 08 47 e-posta: arkasttr@arkas.com.tr

