

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

GEMİ İNŞAATI VE GEMİ MAKİNELERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**YUMRUBAŞIN BALIKÇI GEMİLERİNİN DİRENCİNE OLAN ETKİSİNİN
SİSTEMATİK OLARAK İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisi Dursun SARAL

**MAYIS 2016
TRABZON**



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GEMİ İNŞAATI VE GEMİ MAKİNELERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YUMRUBAŞIN BALIKÇI GEMİLERİNİN DİRENCİNE OLAN ETKİSİNİN
SİSTEMATİK OLARAK İNCELENMESİ

Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisi Dursun SARAL

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

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 02 / 05 / 2016

Tezin Savunma Tarihi : 23 / 05 / 2016

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Ercan KÖSE

İkinci Danışman : Doç. Dr. Muhsin AYDIN

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Anabilim Dalında
Dursun SARAL Tarafından Hazırlanan**

**YUMRUBAŞIN BALIKÇI GEMİLERİNİN DİRENCİNE OLAN ETKİSİNİN
SİSTEMATİK OLARAK İNCELENMESİ**

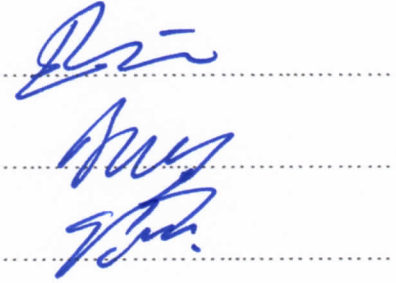
başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 03 / 05 / 2016 gün ve 1651 sayılı
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda
YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan : Prof. Dr. Ercan KÖSE

Üye : Doç. Dr. İsmail BAYER

Üye : Yrd. Doç. Dr. Emre PEŞMAN



**Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ
Enstitü Müdürü**

ÖNSÖZ

Günümüz Türkiye'sinde balıkçı gemilerine, bir bilimsel bilgi olmadığından dolayı deneme yanılma yoluyla yumrubaş uygulamaları yapılmaktadır ve yumrubaşların ne kadar etkin olduğu bilinmemektedir. Yapılan çalışmada İTÜ Balıkçı Gemileri Serisi teknelerine delta, nabla ve eliptik yumrubaş formları eklenerek HAD analizleri yapılmıştır. Böylece hangi tür yumrubaş tipinin hangi hız, gemi boyu ve tekne narinlik katsayısında daha etkin olduğu bulunmaya çalışılmıştır. Balıkçı gemilerinde yumrubaş uygulamalarına bilimsel alt yapı oluşturularak daha etkin yumrubaş tasarımlarının yapılması amaçlanmaktadır.

Her konuda maddi ve manevi desteğini esirgemeyerek bu tezin hayat bulmasını sağlayan Danışman Hocam Sayın Prof. Dr. Ercan KÖSE'ye, çalışmalarında baştan sona beni yalnız bırakmayarak tezin oluşmasını ve tamamlanmasını sağlayan YTÜ Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Bölümü öğretim üyesi İkinci Danışmanım Hocam Sayın Doç. Dr. Muhsin AYDIN'a sonsuz teşekkür ve saygılarımı sunarım.

Tezin yapılabilmesi için teknik destek altyapısının oluşturulmasını sağlayan Hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Emre PEŞMAN'a ve manevi desteklerini esirgemeyen hocalarım Sayın Doç. Dr. Murat ÖZKÖK'e, Sayın Yrd. Doç. Dr. İsmail ALTIN'a ve Sayın Yrd. Doç. Dr. Betül AYHAN SARAÇ'a çok teşekkür ederim.

Tez çalışması boyunca bilgi ve tecrübeleri ile bana yol gösteren Sayın Arş. Gör. Erhan AKSU'ya teşekkürü bir borç bilirim. Ayrıca katkılarından dolayı, Sayın Arş. Gör. Samet GÜRGEN'e, Sayın Arş. Gör. Bedir ÜNVER'e ve Sayın Arş. Gör. Deniz Can KOLUKISA'ya ve de tüm KTÜ Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Bölümü araştırma görevlilerine teşekkür ederim.

FAY-2014-91 SDBF Araştırma Altyapısını Geliştirme Projesi kapsamında yapılmış olan Gemi İnşaatı Araştırma ve Geliştirme Laboratuvarı teknik imkânlarını kullandığımdan dolayı birime teşekkür ederim.

Hayatım boyunca maddi ve manevi yardımlarını esirgemeyerek beni bu günlere getiren aileme ve kısıtlı zamanımızda beni sabırla bekleyerek yanımda olan sevgili nişanlım Merve CEVAHİROĞLU'na sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Dursun SARAL
Trabzon 2016

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Yumrubaşın Balıkçı Gemilerinin Direncine Olan Etkisinin Sistemik Olarak İncelenmesi” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Ercan KÖSE'nin sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 23/05/2016

Dursun SARAL

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ.....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	VIII
SUMMARY	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ	X
TABLolar DİZİNİ.....	XIII
SEMBOLLER DİZİNİ	XV
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş	1
1.2. Kapsam	2
1.3. Ülkemiz Balıkçı Gemileri.....	3
1.4. İTÜ Balıkçı Gemileri Serisi.....	6
1.5. Yumrubaş	18
1.5.1. Yumrubaş Üzerine Yapılan Çalışmalar	19
1.5.2. Yumrubaş Formları	20
1.5.2.1. Delta (Δ) Tipli Yumrubaşlar	21
1.5.2.2. Nabla (∇) Tipli Yumrubaşlar	22
1.5.2.3. Dairesel-Eliptik (O) Tipli Yumrubaşlar	22
1.6. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği	23
1.6.1. HAD Çalışmalarının Tarihçesi	24
1.6.2. Gemi İnşaatında HAD Uygulamaları	25
1.6.3. HAD Çalışmalarının Matematiksel Alt Yapısı.....	26
1.6.3.1. Akışkan Hareketinin Temel Denklemleri.....	26
1.6.3.1.1. Reynolds Transport Teoremi	26
1.6.3.1.2. Kütleinin Korunumu Denklemi	26
1.6.3.1.3. Momentumun Korunumu Denklemi	27
1.6.3.1.4. Navier-Stokes Denklemleri	28
1.6.3.1.5. Herhangi Bir Büyüklüğün Adveksiyon-Difüzyon Denklemi.....	29

1.6.3.2.	Türbülans ve Türbülans Modelleri	30
1.6.3.3.	Serbest Su Yüzeyinin Modellenmesi.....	32
1.7.	Gemi Direnci	33
1.7.1.	Model Deneyleeri Kullanarak Direnç Analizinin Yapılması	37
1.7.1.1.	Froude Yöntemi ile Gemi Direncinin Hesabı.....	37
1.7.1.2.	Hughes Yöntemi ile Gemi Direncinin Hesabı.....	39
1.7.2.	HAD Yöntemi Kullanılarak Direnç Analizinin Yapılması	42
1.8.	Literatürde Benzer Çalışmalar	43
1.9.	Amaç.....	46
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	48
2.1.	Gemi Dirençlerinin Frodue ve Hughes Yöntemi ile Hesaplanması	48
2.2.	Formların Oluşturulması ve Yumrubaş Formlarının Eklenmesi	50
2.2.1.	Delta Yumrubaşlı Formlar.....	52
2.2.2.	Nabla Yumrubaşlı Formlar	53
2.2.3.	Eliptik Yumrubaşlı Formlar	54
2.3.	Analiz Dosyalarının Hazırlanması.....	54
2.3.1.	Formların Düzenlenmesi ve Programa Dâhil Edilmesi.....	54
2.3.2.	Hesaplama Hacminin (Domain) Belirlenmesi.....	56
2.3.3.	Sınır Şartlarının Belirlenmesi	57
2.3.4.	Ağ (Mesh) Yapısının Oluşturulması	58
2.3.5.	Fiziksel Modellerinin Belirlenmesi	63
2.3.6.	Başlangıç Koşullarının Girilmesi	64
2.3.7.	Çözücünün (Solver) Özellikleri.....	64
2.3.8.	Analizlerin Sonuçlandırılması ve Değerlendirilmesi	65
3.	BULGULAR	67
3.1.	Deney Sonuçları ile HAD Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	67
3.1.1.	148/3 Kodlu Geminin HAD Sonuçlarının Değerlendirilmesi	68
3.1.2.	148/4 Kodlu Geminin HAD Sonuçlarının Değerlendirilmesi	72
3.1.3.	148/8 Kodlu Geminin HAD Sonuçlarının Değerlendirilmesi	76
3.1.4.	148/9 Kodlu Geminin HAD Sonuçlarının Değerlendirilmesi	80
3.2.	Yumrubaşsız ve Yumrubaşlı Gemilerin HAD Sonuçlarının Karşılaştırılması..	84
3.2.1.	148/3 Kodlu Gemilerin HAD Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	84

3.2.2.	148/4 Kodlu Gemilerin HAD Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	90
3.2.3.	148/8 Kodlu Gemilerin HAD Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	95
3.2.4.	148/9 Kodlu Gemilerin HAD Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	100
4.	İRDELEME.....	105
5.	SONUÇLAR.....	107
6.	ÖNERİLER	109
7.	KAYNAKLAR.....	110
8.	EKLER	115

ÖZGEÇMİŞ



ÖZET

YUMRUBAŞIN BALIKÇI GEMİLERİNİN DİRENCİNE OLAN ETKİSİNİN
SİSTEMATİK OLARAK İNCELENMESİ

Dursun SARAL

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü

Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Ercan KÖSE
2016, 114 Sayfa, 20 Ek Sayfa

Türk balıkçı tekneleri, direnç ve sevk yönünden önemli sayılabilecek yetersizlikler içinde bulunmaktadır. Bundan dolayı normalde gerekenden daha güçlü makineler ile donatılmaktadırlar. Ancak tekne formlarının elverişsizliği nedeni ile istenilen hıza ulaşamamaktadır. Elde bilimsel bir veri olmadığından dolayı balıkçı teknelerine gelişigüzel, deneme yanılma yoluyla yumrubaş eklemeleri yapılmakta ama yine de istenilen sürata erişilememektedir.

Sunulan çalışmada, balıkçı gemileri için en uygun yumrubaşın tespit edilebilmesi amacıyla, İTÜ Balıkçı Gemileri Serisi tekne formlarından 148/3, 148/4, 148/8 ve 148/9 kodlu balıkçı gemilerine Delta (Δ), Nabla (∇) ve Eliptik (O) kesitli yumrubaşlar eklenmiştir. İlk önce, belirlenen F_n değerlerinde 4 ana formun HAD analizleri Gerçeklenebilir $k-\varepsilon$ Modeli ve VOF metodu kullanılarak yapılmıştır. HAD analizlerinden elde edilen toplam direnç değerleri ile deney sonuçlarından Froude ve Hughes yöntemleriyle elde edilen toplam direnç sonuçları karşılaştırılarak birbirleriyle uyumlulukları kontrol edilmiştir. Böylece, deney verileri olmayan yumrubaşlı tekne formlarının HAD analizlerinde kullanılacak yöntem ve referans değerler belirlenmiştir. Sonra, oluşturulan yumrubaşlı formların HAD analizleri yapılarak elde edilen sürtünme direnci, basınç direnci ve toplam direnç değerleri, yumrubaşsız formlarinkilerle karşılaştırılmıştır.

Elde edilen sonuçlar C_B , L/B oranı ve yumrubaş tiplerine göre karşılaştırıldığında, eliptik tipi yumrubaşın balıkçı gemileri için en uygun yumrubaş olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Balıkçı gemileri, yumrubaş, hesaplamalı akışkanlar dinamiği, direnç

Master Thesis

SUMMARY

A SYSTEMATIC INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF VARIOUS BULBOUS
BOWS ON RESISTANCE OF FISHING BOATS

Dursun SARAL

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Naval Architecture and Naval Engineering
Supervisor: Prof. Dr. Ercan KÖSE
2016, 114 Pages, 20 Pages Appendix

Turkish fishing vessels have handicaps which may be considered significant in terms of resistance and propulsion. Therefore they are equipped with more powerful engines than normally required. Yet, they could not reach the desired speed due to the inadequate hull forms. Since there is not enough scientific data, there are applications of superficial bulb installations on fishing vessels which could not improve the situation.

In this study, Delta (Δ), Nabla (∇) and Elliptical (O) shaped bulbs are implemented to ITU Fishing Boats Series hull forms of 148/3, 148/4, 148/8 and 148/9 in order to determine the most appropriate bulbous bow for fishing vessels. Initially, in defined F_n values, CFD analyses on four main forms are performed by using Realizable $k - \varepsilon$ Model and VOF method. The total resistance values obtained by the CFD analyses and by the existing experiment results via Froude and Hughes methods are compared and examined. Thus, the methods and reference values of CFD analyses are determined for the hull forms with bulbs which do not have experiment results. Subsequently, the CFD results of frictional resistance, pressure resistance and total resistance values for actual hulls and hulls with bulbs are compared.

Following the examination of results in terms of C_B , L/B and bulb types, it is determined that the elliptical bulb type is the most suitable bulb type for the fishing vessels.

Key Words: Fishing boats, bulbous bow, computational fluid dynamics, resistance

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.1.	Karadeniz tipi taka.....	4
Şekil 1.2.	1960'lı yılların alametrosu	4
Şekil 1.3.	Gırgır balıkçı gemisi (öndeki) ve balık taşıma gemisi (arkadaki).....	5
Şekil 1.4.	Yumrubaşlı bir gırgır balıkçı gemisi	6
Şekil 1.5.	148/1A modelinin $R_{Tm}-V_m$ Grafiği	12
Şekil 1.6.	Kıç bodoslama şekli ve ölçüleri	16
Şekil 1.7.	Baş bodoslama şekli ve ölçüleri	16
Şekil 1.8.	Seriye ait bir balıkçı gemisinin endaze planı ve üç-boyutlu görünüşleri	17
Şekil 1.9.	Normal baş ve yumrubaş dalgalarının şematik gösterimi	18
Şekil 1.10.	Yumrubaş tipleri.....	21
Şekil 1.11.	Serbest yüzey ağ yapısı	32
Şekil 1.12.	Farklı görüşlere göre direnç bileşenleri.....	34
Şekil 1.13.	Su direncinin bileşenleri.....	36
Şekil 2.1.	Balıkçı gemilerinin üç boyutlu modelleri.....	55
Şekil 2.2.	Hesaplama hacminin boyutları ve yüzeylerin adları	57
Şekil 2.3.	Düğüm noktası, yüzey ve hücre	59
Şekil 2.4.	Hesaplama hacmi ağ yapısı	61
Şekil 2.5.	Tekne simetri ekseni ağ yapısı	61
Şekil 2.6.	Tekne yüzeyi ağ yapısı	62
Şekil 2.7.	Tekne en kesit ağ yapısı	62
Şekil 2.8.	Serbest yüzey ağ yapısı	63
Şekil 3.1.	Farklı F_n sayılarında 148/3 kodlu geminin tekne simetri düzleminde oluşan dalga deformasyonları.....	70
Şekil 3.2.	Farklı F_n sayılarında 148/3 kodlu geminin serbest su yüzeyinde oluşturduğu dalga deformasyonları.....	71
Şekil 3.3.	Farklı F_n sayılarında 148/4 kodlu geminin tekne simetri düzleminde oluşan dalga deformasyonları.....	74
Şekil 3.4.	Farklı F_n sayılarında 148/4 kodlu geminin serbest su yüzeyinde oluşturduğu dalga deformasyonları.....	75

Şekil 3.5.	Farklı Fn sayılarında 148/8 kodlu geminin tekne simetri düzleminde oluşan dalga deformasyonları.....	78
Şekil 3.6.	Farklı Fn sayılarında 148/8 kodlu geminin serbest su yüzeyinde oluşturduğu dalga deformasyonları.....	79
Şekil 3.7.	Farklı Fn sayılarında 148/9 kodlu geminin tekne simetri düzleminde oluşan dalga deformasyonları.....	82
Şekil 3.8.	Farklı Fn sayılarında 148/9 kodlu geminin serbest su yüzeyinde oluşturduğu dalga deformasyonları.....	83
Şekil 3.9.	Fn değerlerine göre 148/3, 148/3-D, 148/3-N ve 148/3-E kodlu gemilerin toplam direncini oluşturan gemi sürtünme direnci ve basınç direnci değerleri grafiği.....	85
Şekil 3.10.	Fn değerlerine göre 148/3-D, 148/3-N ve 148/3-E kodlu gemilerin 148/3 kodlu gemiye göre toplam direnç değerlerindeki artış (+) ve azalış (-) yüzdeleri.....	87
Şekil 3.11.	Fn 0.339 değerinde 148/3, 148/3-D, 148/3-N ve 148/3-E kodlu gemilerin tekne simetri düzleminde oluşan dalga deformasyonları.....	88
Şekil 3.12.	Fn 0.339 değerinde 148/3, 148/3-D, 148/3-N ve 148/3-E kodlu gemilerin serbest su yüzeyinde oluşturduğu dalga deformasyonları.....	89
Şekil 3.13.	Fn değerlerine göre 148/4, 148/4-D, 148/4-N ve 148/4-E kodlu gemilerin toplam direncini oluşturan gemi sürtünme direnci ve basınç direnci değerleri grafiği.....	90
Şekil 3.14.	Fn değerlerine göre 148/4-D, 148/4-N ve 148/4-E kodlu gemilerin 148/4 kodlu gemiye göre toplam direnç değerlerindeki artış (+) ve azalış (-) yüzdeleri.....	92
Şekil 3.15.	Fn 0.339 değerinde 148/4, 148/4-D, 148/4-N ve 148/4-E kodlu gemilerin tekne simetri düzleminde oluşan dalga deformasyonları.....	93
Şekil 3.16.	Fn 0.339 değerinde 148/4, 148/4-D, 148/4-N ve 148/4-E kodlu gemilerin serbest su yüzeyinde oluşturduğu dalga deformasyonları.....	94
Şekil 3.17.	Farklı Fn sayılarında 148/8, 148/8-D, 148/8-N ve 148/8-E kodlu gemilerin toplam direncini oluşturan gemi sürtünme direnci ve basınç direnci değerleri grafiği.....	95
Şekil 3.18.	Fn değerlerine göre 148/8-D, 148/8-N ve 148/8-E kodlu gemilerin 148/8 kodlu gemiye göre toplam direnç değerlerindeki artış (+) ve azalış (-) yüzdeleri.....	97
Şekil 3.19.	Fn 0.302 değerinde 148/8, 148/8-D, 148/8-N ve 148/8-E kodlu gemilerin tekne simetri düzleminde oluşan dalga deformasyonları.....	98
Şekil 3.20.	Fn 0.302 değerinde 148/8, 148/8-D, 148/8-N ve 148/8-E kodlu gemilerin serbest su yüzeyinde oluşturduğu dalga deformasyonları.....	99
Şekil 3.21.	Fn değerlerine göre 148/9, 148/9-D, 148/9-N ve 148/9-E kodlu gemilerin toplam direncini oluşturan gemi sürtünme direnci ve basınç direnci değerleri grafiği.....	100

Şekil 3.22.	Fn değerlerine göre 148/9-D, 148/9-N ve 148/9-E kodlu gemilerin 148/9 kodlu gemiye göre toplam direnç değerlerindeki artış (+) ve azalış (-) yüzdeleri	102
Şekil 3.23.	Fn 0.302 değerinde 148/9, 148/9-D, 148/9-N ve 148/9-E kodlu gemilerin tekne simetri düzleminde oluşan dalga deformasyonları	103
Şekil 3.24.	Fn 0.302 değerinde 148/9, 148/9-D, 148/9-N ve 148/9-E kodlu gemilerin serbest su yüzeyinde oluşturduğu dalga deformasyonları.....	104
Ek Şekil 1.	148/3B kodlu modelin V_m-R_{Tm} grafiği	115
Ek Şekil 2.	148/4B kodlu modelin V_m-R_{Tm} grafiği	116
Ek Şekil 3.	148/8B kodlu modelin V_m-R_{Tm} grafiği.....	117
Ek Şekil 4.	148/9B kodlu modelin V_m-R_{Tm} grafiği.....	118
Ek Şekil 5.	148/3 kodlu balıkçı gemisinin endaze planı.	119
Ek Şekil 6.	148/3-D kodlu balıkçı gemisinin baş en kesit planı ve yumrubaş profili	120
Ek Şekil 7.	148/3-N kodlu balıkçı gemisinin baş en kesit planı ve yumrubaş profili.	121
Ek Şekil 8.	148/3-E kodlu balıkçı gemisinin baş en kesit planı ve yumrubaş profili.....	122
Ek Şekil 9.	148/4 kodlu balıkçı gemisinin endaze planı	123
Ek Şekil 10.	148/4-D kodlu balıkçı gemisinin baş en kesit planı ve yumrubaş profili	124
Ek Şekil 11.	148/4-N kodlu balıkçı gemisinin baş en kesit planı ve yumrubaş profili	125
Ek Şekil 12.	148/4-E kodlu balıkçı gemisinin baş en kesit planı ve yumrubaş profili.....	126
Ek Şekil 13.	148/8 kodlu balıkçı gemisinin endaze planı	127
Ek Şekil 14.	148/8-D kodlu balıkçı gemisinin baş en kesit planı ve yumrubaş profili	128
Ek Şekil 15.	148/8-N kodlu balıkçı gemisinin baş en kesit planı ve yumrubaş profili	129
Ek Şekil 16.	148/8-E kodlu balıkçı gemisinin baş en kesit planı ve yumrubaş profili.....	130
Ek Şekil 17.	148/9 kodlu balıkçı gemisinin endaze planı	131
Ek Şekil 18.	148/9-D kodlu balıkçı gemisinin baş en kesit planı ve yumrubaş profili	132
Ek Şekil 19.	148/9-N kodlu balıkçı gemisinin baş en kesit planı ve yumrubaş profili	133
Ek Şekil 20.	148/9-E kodlu balıkçı gemisinin baş en kesit planı ve yumrubaş profili.....	134

TABLolar DİZİNİ

Sayfa No

Tablo 1.1. Ana balıkçı gemisinin (148/1) temel geometrik karakteristikleri.	7
Tablo 1.2. Ana balıkçı gemisinin ve türetilmiş diğer balıkçı gemilerinin karakteristik değerleri	8
Tablo 1.3. Direnç model deneyleri yapılan modellerin karakteristik değerleri.....	9
Tablo 1.4. Ana balıkçı gemisinin geosim modellerine ait bazı karakteristik değerleri.....	10
Tablo 1.5. A_1 , A_2 ve A_3 yumrubaşının özellikleri.	11
Tablo 1.6. Türetilen balıkçı gemilerinin karakteristikleri.....	14
Tablo 1.7. Delta tipi yumrubaşın boyutsuz ofset değerleri.....	22
Tablo 1.8. Delta tipi yumrubaş için optimum boyutsuz ofset değerleri.	22
Tablo 2.1. Model direnç deneyi verileri.	48
Tablo 2.2. Model bilgileri ve deney koşulları.	49
Tablo 2.3. Tatlı su ve deniz suyunun özellikleri.....	49
Tablo 2.4. Froude yöntemi ile elde edilmiş toplam direnç değerleri.....	49
Tablo 2.5. Hughes yöntemi ile elde edilmiş toplam direnç değerleri.....	50
Tablo 2.6. Her iki yöntemle elde edilmiş toplam direnç değerlerinin Froude'a göre fark yüzdeleri.	50
Tablo 2.7. Yumrubaşların maksimum genişlikleri ve uzunlukları.	52
Tablo 2.8. Delta tipi yumrubaşların baş dikeydeki genişlik ve baş dikeyden olan uzunluklarının maksimum yumrubaş genişliğine ve uzunluğuna göre boyutsuzlaştırılmış ofset değerleri.....	53
Tablo 2.9. Nabla tipi yumrubaşların baş dikeydeki genişlik ve baş dikeyden olan uzunluklarının maksimum yumrubaş genişliğine ve uzunluğuna göre boyutsuzlaştırılmış ofset değerleri.....	53
Tablo 2.10. Eliptik tipi yumrubaşların baş dikeydeki genişlik ve baş dikeyden olan uzunluklarının maksimum yumrubaş genişliğine ve uzunluğuna göre boyutsuzlaştırılmış ofset değerleri.....	54
Tablo 2.11. Yüklü su hattı altında kalan nihai yüzey alanlarının yüzölçümü	55
Tablo 2.12. Sınır şartları	58
Tablo 2.13. Kullanılan deniz suyunun ve havanın fiziksel özellikleri	63
Tablo 2.14. Çözücünün (solver) zaman adımları (time steps).....	65

Tablo 2.15. Rahatlatma faktörleri (Relaxation Factors).....	65
Tablo 2.16. Hesaplamaların genel olarak ortalama yakınsama fiziksel zamanları, ortalama iterasyon sayıları ve ortalama hesaplama süreleri	66
Tablo 3.1. 148/3 kodlu geminin HAD analizlerinden, Froude ve Hughes yöntemlerinden elde edilen toplam direnç değerlerinin karşılaştırılması.....	68
Tablo 3.2. 148/4 kodlu geminin HAD analizlerinden, Froude ve Hughes yöntemlerinden elde edilen toplam direnç değerlerinin karşılaştırılması.....	72
Tablo 3.3. 148/8 kodlu geminin HAD analizlerinden, Froude ve Hughes yöntemlerinden elde edilen toplam direnç değerlerinin karşılaştırılması.....	76
Tablo 3.4. 148/9 kodlu geminin HAD analizlerinden, Froude ve Hughes yöntemlerinden elde edilen toplam direnç değerlerinin karşılaştırılması.....	80
Tablo 3.5. 148/3, 148/3-D, 148/3-N ve 148/3-E kodlu gemilerin HAD analizlerinden elde edilen toplam direnç değerlerinin karşılaştırılması.....	86
Tablo 3.6. 148/4, 148/4-D, 148/4-N ve 148/4-E kodlu gemilerin HAD analizlerinden elde edilen toplam direnç değerlerinin karşılaştırılması.....	91
Tablo 3.7. 148/8, 148/8-D, 148/8-N ve 148/8-E kodlu gemilerin HAD analizlerinden elde edilen toplam direnç değerlerinin karşılaştırılması.....	96
Tablo 3.8. 148/9, 148/9-D, 148/9-N ve 148/9-E kodlu gemilerin HAD analizlerinden elde edilen toplam direnç değerlerinin karşılaştırılması.....	101
Tablo 4.1. HAD ile elde edilen gemi toplam direnç değerlerinin, Hughes yöntemiyle elde edilmiş değerlere göre fark yüzdeleri	105

SEMBOLLER DİZİNİ

b	: Maksimum yumrubaş genişliği [mm]
B	: Gemi genişliği [m]
BEM	: Boundary element method (sınır elemanları yöntemi)
C_B	: Tekne narinlik katsayısı
CFD	: Computational fluid dynamics (hesaplama akışkanlar dinamiği)
CFL	: Courant-Friedrichs-Lewy sayısı
C_F	: Sürtünme direnci katsayısı
C_{Fm}	: Model sürtünme direnci katsayısı
C_{Fs}	: Gemi sürtünme direnci katsayısı
C_M	: Orta kesit narinlik katsayısı
C_n	: n'ninci fazın hacim oranı
C_P	: Prizmatik katsayı
C_{Rm}	: Model artık direnç katsayısı
C_{Rs}	: Gemi artık direnç katsayısı
C_T	: Toplam direnç katsayısı
C_{Tm}	: Model toplam direnç katsayısı
C_{Ts}	: Model toplam direnç katsayısı
C_V	: Viskoz direnç katsayısı
C_{Vm}	: Model viskoz direnç katsayısı
C_{Vs}	: Gemi viskoz direnç katsayısı
C_{VP}	: Viskoz basınç direnci katsayısı
C_W	: Dalga direnci katsayısı
C_{Wm}	: Model dalga direnci katsayısı
C_{Ws}	: Gemi dalga direnci katsayısı
C_{WP}	: Su hattı alan katsayısı
D	: Geminin derinliği [m]

- DNS : Direct numerical simulation (doğrudan sayısal simülasyon)
- $f_f^{basınç}$: Basınç kuvvet vektörü
- $f_f^{sürtünme}$: Sürtünme kuvvet vektörü
- f_i : Ara yüzeyi bir arada tutan kuvvet
- F : Kuvvet [N]
- FDM : Finite difference method (sonlu farklar yöntemi)
- FEM : Finite element method (sonlu elemanlar yöntemi)
- Fn : Froude sayısı
- Fn_m : Modelin Froude sayısı
- Fn_s : Geminin Froude sayısı
- FVM : Finite volume method (sonlu hacimler yöntemi)
- g : Yerçekimi ivmesi [m/s^2]
- HAD : Hesaplama akışkanlar dinamiği
- ITTC : International towing tank conference
- igs : Initial graphics exchange specification
- k : Türbülans kinetik enerjisi
- k : Form faktörü
- k_m : Modelin form faktörü
- k_s : Geminin form faktörü
- KG : Geminin ağırlık merkezinin kaide hattından yüksekliği [m]
- KG_{max} : Geminin ağırlık merkezinin kaide hattından maksimum yüksekliği [m]
- KRISO : Korea Research Institute of Ships & Ocean Engineering
- KVLCC : Kriko very large crude carrier
- l : Maksimum yumru baş uzunluğu [mm]
- L : Geminin dikeyler arası boyu [m]
- L_m : Model boyu [m]
- L_s : Gemi boyu [m]
- LCB : Sephiye merkezinin mastoriden boyuna konumu [m]
- LES : Large eddy simulation (büyük girdap simülasyonu)
- L_{OA} : Gemi tam boyu [m]
- L_{PP} : Geminin dikeyler arası boyu [m]

L_{WL}	: Su hattı boyu [m]
L_{WLS}	: Gemi yüklü su hattı boyu [m]
m	: Kütle [kg]
n_f	: Yön vektörü
O	: Dairesel-eliptik kesitli yumrubaş formu
p_f	: Eleman yüzeyinde hesaplanan basınç
p_{ref}	: Kabul edilen referans basınç
P	: Basınç [Pa]
Q	: Kaynak terimi
P_E	: Etkin güç [Watt]
R_A	: Ek dirençler [kN]
R_{AA}	: Hava ve rüzgâr direnci [kN]
$RANS$: Reynolds-averaged Navier-Stokes (Reynolds ortalamalı Navier-Stokes)
R_{AP}	: Takıntıların direnci [kN]
R_{AR}	: Pürüzlülük direnci [kN]
R_{AS}	: Rota direnci [kN]
R_{ASW}	: Sığ su ve kanallarda direnç artışı [kN]
R_{AW}	: Dalgalarda direnç artışı [kN]
R_F	: Sürtünme direnci [kN]
R_{Fm}	: Model sürtünme direnci [kN]
R_{Fs}	: Gemi sürtünme direnci [kN]
R_{Fo}	: Levha sürtünme direnci [kN]
Rn	: Reynolds sayısı
Rn_m	: Modelin Reynolds sayısı
Rn_s	: Geminin Reynolds sayısı
R_P	: Basınç direnci [kN]
R_{PV}	: Viskoz basınç direnci [kN]
R_R	: Artık direnç [kN]
R_{Rm}	: Modelin artık direnci [kN]
R_{Rs}	: Geminin artık direnci [kN]
R_S	: Serpinti direnci [kN]

R_T	: Toplam direnç [kN]
R_{Tm}	: Modelin toplam direnci [kN]
R_{Ts}	: Geminin toplam direnci [kN]
RTT	: Reynolds transport teoremi
R_V	: Viskoz direnç [kN]
R_{Vm}	: Modelin viskoz direnci [kN]
R_{Vs}	: Geminin viskoz direnci [kN]
R_W	: Dalga yapma direnci [kN]
R_{WB}	: Dalga kırılma direnci [kN]
R_{Wm}	: Modelin dalga direnci [kN]
R_{Ws}	: Geminin dalga direnci [kN]
R_{WP}	: Dalga ölçümü ile bulunan direnç [kN]
R_{Ws}	: Geminin dalga direnci [kN]
S	: Islak yüzey alanı [m^2]
S_m	: Modelin ıslak alanı [m^2]
S_s	: Geminin ıslak alanı [m^2]
SST	: Kayma gerilme taşınımı
S_W	: Su altı yüzey alanı [m^2]
t	: Zaman [s]
T	: Gemi su çekimi [m]
T_f	: Eleman yüzeyindeki gerilme tensörü
T_t	: Reynolds gerilme tensörü
u, v, w	: Hız bileşenleri [m/s]
U	: Akış hızı
USS	: United States Ship
\bar{V}	: Hız alanı
V_s	: Gemi hızı [knot]
V_m	: Modelin hızı [m/s]
V_s	: Geminin hızı [m/s]
VOF	: Volume of fluid (Akışkan Hacmi)

α	: Geometrik benzerlik oranı
a_f	: Yüzey alan vektörü
ρ	: Kütleli yoğunluk [kg/m^3]
ρ^+	: Alan yoğunluğu [kg/m^3]
ρ_m	: Tatlı suyun kütleli yoğunluğu [kg/m^3]
ρ_s	: Deniz suyunun kütleli yoğunluğu [kg/m^3]
μ	: Dinamik viskozite [$\text{Pa}\cdot\text{s}$]
μ^+	: Dinamik viskozite [$\text{Pa}\cdot\text{s}$]
μ_t	: Türbülans viskozitesi
ε	: Türbülans yutulma oranı
ω	: Özel türbülans kinetik enerjisi kayıp oranı
Δ	: Delta kesitli yumrubaş formu
Δ_m	: Model deplasman kuvveti [kN]
Δ_s	: Gemi deplasman kuvveti [kN]
Δt	: Zaman adımı [s]
Δx	: En küçük ağ (mesh) hücresinin boyu [m]
$\bar{\nabla}$: Gradyen operatörü
∇	: Nabla kesitli yumrubaş formu
∇_s	: Gemi deplasman hacmi [m^3]
σ_{ij}	: Gerilme tensörü
τ	: Kayma gerilmesi
τ_{ij}	: Viskoz gerilme tensörü
ν	: Kinematik viskozite [m^2/s]
Φ_{sis}	: Yaygın özellik
ϕ	: Yoğun özellik
Γ	: Difüzyon

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

İnsanoğlunun tarih sahnesine çıkmasıyla birlikte balıkçılığın tarihi de başlamıştır. İlk önce kıyı balıkçılığı ile uğraşan insanoğlunun, tekneler inşa etmeye başlamasıyla deniz üstü balıkçılığı da başlamıştır. Teknelerin gelişmesiyle birlikte balıkçılar daha uzun deniz seferlerine çıkmaya başlamışlardır. Ortaçağ boyunca kıyı balıkçılığı, deniz balıkçılığının en önemli kısmını oluştururken yeniçağda, avlanan balıkların bozulmalarını önleyen yöntemlerin geliştirilmesi balıkçıların daha açık denizlerde avlanmaya başlamasını sağlamıştır. Yakınçağda ağ teknolojilerinin gelişmesi ile birlikte avlanan balık miktarının artması daha büyük teknelerin inşa edilme ihtiyacını doğurmuştur. Zamanla yelkenli gemilerin yerini motorlu teknelerin alması, açık deniz balıkçılığının daha etkin bir biçimde yapılmasına olanak vermiştir. Günümüzde ise artan balık ihtiyacı ve azalan balık stokları daha modern balıkçı gemilerinin inşa edilmesini gerektirmektedir.

Dünyada olduğu gibi üç tarafı denizlerle çevrili olan Türkiye’de de balıkçılık tarih boyunca vazgeçilmez bir uğraş olmuştur. Türkiye’de, özellikle balıkçılığın yoğun olarak yapıldığı Karadeniz kıyılarında, 1980’lere kadar çoğunlukla geleneksel yöntemlere göre bölge ormanlarından elde edilen ahşap malzeme ile balıkçı tekneleri inşa edilmekteyken, teknolojinin gelişmesi ve Türkiye’de sac işçiliğinin yaygınlaşması ile birlikte 1975 yılından itibaren balıkçı tekneleri çelikten yapılmaya başlanmıştır (URL 1 ve 2, 2016).

2000’li yılların başlarına kadar usta çırak ilişkisi ile yumrubaşsız inşa edilen balıkçı gemileri, ihtiyaçlar gereği artık günümüzde yumrubaşlı olarak dizayn edilmeye başlanmıştır. Ancak balıkçı gemilerinin optimum yumrubaşlı olarak inşa edilebilmesi için yeterince bilimsel bilgi mevcut değildir. Yapılan çalışmanın birincil amacı, balıkçı gemilerinde yumrubaş dizaynı için bilimsel bir alt yapı oluşturmaktır.

1.2. Kapsam

Giriş bölümünde öncelikle, ülkemizdeki balıkçı gemilerinin tanıtımı yapılmıştır. Sonra, İTÜ (İstanbul Teknik Üniversitesi) Balıkçı Gemileri Serisinin oluşumu ve üzerinde yapılan çalışmalar anlatılıp, çalışmaya konu olan balıkçı gemisi formları tanıtılarak karakteristik özellikleri verilmiştir. Yapılan çalışmanın temel odak noktası olan yumrubaşların tarihi anlatılıp, üzerinde yapılan çalışmalara değinilerek çalışmada kullanılan Delta (Δ) kesitli, Nabla (∇) kesitli ve Dairesel-Eliptik (O) kesitli yumrubaş formlarının özellikleri verilmiştir. Hesaplamalı akışkanlar dinamiğinin (HAD) tarihi gelişimine, gemi inşaatındaki genel uygulamalarına ve yumrubaş üzerine yapılan çalışmalara değinilerek, HAD programlarının matematiksel alt yapısı anlatılmıştır. Gemi direnci hakkında bilgiler verilip, yapılan çalışmada kullanılan Froude ve Hughes yöntemleri ile model deneylerinden gemi direncinin nasıl bulunacağı ve HAD yöntemi kullanılarak direnç analizlerinin nasıl yapılacağı anlatılmıştır. Literatürde bulunan benzer çalışmalara değinilip, yapılan çalışmanın amacı belirtilmiştir.

Yapılan çalışmalar bölümünde ise ilk önce, yapılan çalışmada incelenecek olan balıkçı gemisi formlarının model deneylerinden Froude ve Hughes yöntemleri ile gemi dirençleri bulunmuştur. Sonra, yumrubaşlı formların tasarımları yapılmıştır. Daha sonra, kullanılan HAD programı içinde yapılan; formların programa dâhil edilmesi, hesaplama hacimlerinin (domain) belirlenmesi, sınır şartlarının belirlenmesi, ağ (mesh) yapısının oluşturulması, fiziksel modellerin belirlenmesi, başlangıç koşullarının girilmesi, çözücünün (solvers) özellikleri ve analizlerin nasıl sonuçlandırılıp değerlendirildiği anlatılmıştır.

Bulgular kısmında ise ilk önce, deney sonuçlarından Froude ve Hughes yöntemleri ile elde edilen toplam direnç değerlerinin HAD sonuçları ile karşılaştırması yapıp, fark yüzdeleri bulunmuştur. Belirlenen F_n değerlerinde tekne simetri düzleminde ve serbest su yüzeyinde oluşan dalga deformasyonları şekillerde gösterilmiştir. Sonra, yumrubaşsız ve yumrubaşlı tekne formlarının HAD sonuçlarından elde edilen toplam direnç değerleri, birbirleri içinde karşılaştırılmıştır. Daha sonra, toplam direnç değerlerine bakılarak, hangi yumrubaş tipinin hangi F_n değerinde, hangi tekne formunda, ne kadar artış veya azalış sağladığı tespit edilerek, hangi tip yumrubaşın daha fazla yarar sağladığı belirlenmiştir. Belirlenen F_n değerlerinde, yumrubaşsız ve yumrubaşlı formların tekne simetri düzleminde ve serbest su yüzeyinde oluşan dalga deformasyonları, şekillerde karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir.

İrdeleme kısmında, yapılan HAD hesaplamalarının literatüre uygunluğu tartışılmıştır.

Sonuçlar kısmında, yapılan çalışmada elde edilen çıkarımlar birbirleri ile karşılaştırılarak verilmiştir. Gemi kodlarına, C_B 'ye, L/B oranına ve yumrubaş tiplerine göre yumrubaşların yararlılıkları karşılaştırılarak değerlendirilmelerde bulunulmuştur.

Öneriler kısmında, daha iyi analizlerin nasıl yapılabileceği ve incelenen konuda ileride ne gibi çalışmaların yapılabileceği belirtilmiştir.

1.3. Ülkemiz Balıkçı Gemileri

Genel olarak balıkçı gemileri; trol gemileri (yandan çekmeli trol gemileri, kıçtan çekmeli trol gemileri), çevirme gemileri, gırgır gemileri (Kuzey Amerika tipi gırgır gemileri, Avrupa tipi gırgır gemileri, orkinos gırgır gemileri), tekne ıgırba gemileri, tarama gemileri, kaldırma ağı gemileri, uzatma/galsama ağı gemileri, tuzak kurma gemileri, olta gemileri (el oltası gemileri, paraketa gemileri, orkinos paraketa gemileri, kamışlı el oltası gemileri, sürüklenme olta takımı gemileri), pompa ile balık avlayan gemiler ve çok amaçlı av gemileri olmak üzere ulusların geleneklerine ve kullanım amaçlarına göre değişik türlere ayrılmaktadır (MEGEP, 2008).

1980'li yıllara kadar Türkiye sularında çalışan balıkçı gemileri; taka tipi, çekirtme tipi ve alametro tipi olarak sınıflandırılmıştır. Takalar (Şekil 1.1); ahşap malzemedan yapılan, güverte şiyer eğrisinin baş taraf yükseltisi aşırı fazla olan, baş taraf postaları aşırı açılmaya uğramış ve kış bodoslaması aynalıkla biten, önceleri yelkenle, teknolojinin gelişmesiyle motorla sevk olunan Karadeniz ile özdeşleşmiş balıkçı gemileridir. Çektirmeler ise ahşap malzemedan yapılan, hafif dolgun başlı, narin kış formu ve kuvvetli bir şiyer eğrisi ile dikkat çeken teknelerdir. Alametro tipi balıkçı gemileri (Şekil 1.2) ise zamanla taka formunun ihtiyaçlara göre modernize edilip değişikliğe uğratılması ile kış taraf kesitleri kruzer olan bir tekne tipidir (Aydın, 2002). 1980'li yıllardan sonra balıkçı gemilerinin sac malzemedan yapılmaya başlanması, motorla sevk yaygınlaşması ve balıkçılık gereksinimlerinin artması üzerine taka ve çekirtme tipi gemiler ihtiyaçları karşılayamadığından dolayı inşa edilmemeye başlanmıştır. Alametro tipi balıkçı tekneleri ise günümüzde genellikle 15 metre uzunluğa kadar ayna kışlı olarak inşa edilip, kıyı balıkçılığında kullanılmaktadır.



Şekil 1.1. Karadeniz tipi taka (URL-3, 2016).



Şekil 1.2. 1960'lı yılların alametrosu

Günümüzde küçük balıkçı teknelerini kastetmek için Alametro terimi kullanılmaktadır. Büyük balıkçı gemileri ise kullanım ve avlanma şekillerine göre trol gemileri, gırgır gemileri ve balık taşıma (yedek) gemileri (Şekil 1.3) olarak adlandırılmaktadır.



Şekil 1.3. Gırgır balıkçı gemisi (öndeki) ve balık taşıma gemisi (arkadaki)

Yumrubaşsız şekilde inşa edilen gırgır gemileri ile balık taşıma gemileri, 2005 yılından sonra denemeler sonucunda sevk veriminde ve denizcilik performansında iyileşmeler görülmesi üzerine, yumrubaşlı olarak inşa edilmeye başlanmıştır. Gerek yeni inşaada gerekse sonradan eklemelerde bilimsel bir veri olmadığından dolayı balıkçı gemilerine deneme yanılma yoluyla çeşitli şekillerde yumrubaş uygulamaları yapılmıştır ve yapılmaya devam edilmektedir. Tekne formuna sonradan yumrubaş eklenmiş bir gırgır balıkçı gemisi Şekil 1.4’te gösterilmiştir.



Şekil 1.4. Yumrubaşlı bir gırgır balıkçı gemisi

1.4. İTÜ Balıkçı Gemileri Serisi

Türkiye’de 1975 yılından itibaren balıkçı gemilerinin çelikten yapılmaya başlanması, daha uygun tekne formlarının elde edilmesi ihtiyacını doğurmuştur. Bundan dolayı, 1976 ve 1979 yılları arasında Kafalı, Şaylan ve Şalcı tarafından İTÜ’de TÜBİTAK (Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu) desteğiyle taka ve benzeri balıkçı gemilerinin form yönünden yetersizlikleri göz önüne alınıp, bir ana gemiden geliştirilerek değişik şartlarda denemelere tabi tutularak elde edilen sonuçlar yardımı ile farklı geometrik özellikler taşıyan hidrodinamik açıdan Türkiye sularına uygun beş adet balıkçı gemisi formu üretilmiştir (Kafalı vd., 1979).

Kafalı yürütücülüğünde yapılan Türkiye Sularına Uygun Balıkçı Gemisi Formlarının Geliştirilmesi adlı proje çalışmasında, ana balıkçı gemisi olarak seçilen ayna kışlı bir balıkçı gemisi, daha önceden geliştirilen kruzer kışlı bir balıkçı gemisi formundan yararlanılarak geliştirilmiştir. Söz konusu ana balıkçı gemisine ilişkin temel geometrik karakteristikler, Tablo1.1’de verilmiştir.

Tablo 1.1. Ana balıkçı gemisinin (148/1) temel geometrik karakteristikleri (Aydın, 2002).

L_{OA}	20.95 m
L_{WL5}	20 m
L_{PP}	20 m
B	5.714 m
T	2.286 m
D	3.2 m
L/B	3.5
B/T	2.5
LCB	0.832 m (Ortadan kıçta doğru)
C_B	0.378
C_M	0.661
C_{WP}	0.730
C_P	0.572
S_W	126.1 m ² (Takıntısız)

- K. Kafalı yürütücülüğünde yapılan söz konusu proje çalışmasında (Kafalı vd., 1979):
- Tekne narinlik katsayısının (C_B) dirence olan etkisini incelemek için, 148/1 kodlu ana balıkçı gemisi formundan yararlanılarak tekne narinlik katsayıları birbirinden farklı 148/2, 148/3, 148/4 ve 148/5 kodlu 4 adet balıkçı gemisi formu türetilmiştir. Böylelikle, tekne narinlik katsayıları [0.378-0.535] aralığında değişen 5 farklı C_B değerinde balıkçı gemisi formları elde edilmiştir.
 - Boy-Genişlik oranının (L/B) dirence olan etkisini incelemek için de 148/3 ve 148/4 kodlu gemilerin en kesitleri korunarak, posta aralığının artırılması yolu ile boyları uzatılmıştır. Böylelikle, 148/3 kodlu gemiden yararlanılarak Boy-Genişlik oranları 4 ve 5 olan 148/6 ile 148/8 kodlu gemiler türetilmiştir. 148/4 kodlu gemiden ise, aynı Boy-Genişlik oranlarında 148/7 ile 148/9 kodlu gemiler türetilmiştir. 148/3, 148/6 ve 148/8 kodlu gemilerin boyları; 20, 22.86, 28.57 m değerlerinde olup, tekne narinlik katsayıları da ortalama 0.403 değerindedir. 148/4, 148/7 ve 148/9 kodlu gemilerin boyları ise; 20, 22.86 ve 28.57 m değerlerinde olup, tekne narinlik katsayıları ortalama 0.494 değerindedir.
 - C_B , L/B ve B/T büyüklüklerine göre sistematik olarak değişim gösteren bu balıkçı gemilerinin karakteristik değerleri, Tablo 1.2'de verilmiştir.

Tablo 1.2. Ana balıkçı gemisinin ve türetilmiş diğer balıkçı gemilerinin karakteristik değerleri (Aydın ve Şalçı, 2008).

Gemi Kodu	YD	L [m]	B [m]	T [m]	C_B	C_M	C_{WP}	C_P	L/B	B/T	LCB [m] (+ kıç)	S_w [m ²] (Tkz)	Δ_s [kN]
148/1	Bş	18.50	5.240	1.715	0.342	0.608	0.651	0.563	3.531	3.056	0.43	92.40	571.56
	Y	20.00	5.714	2.286	0.378	0.661	0.730	0.572	3.500	2.500	0.83	126.10	992.96
	AY	20.34	5.840	2.858	0.441	0.712	0.753	0.619	3.483	2.044	1.18	150.20	1505.16
148/2	Bş	18.50	5.714	1.715	0.510	0.857	0.693	0.595	3.238	3.333	-0.32	106.90	929.42
	Y	20.00	5.714	2.286	0.535	0.892	0.789	0.600	3.500	2.500	0.01	139.80	1405.38
	AY	20.34	5.714	2.858	0.581	0.914	0.836	0.636	3.560	2.000	0.25	164.00	1940.20
148/3	Bş	18.50	5.440	1.715	0.355	0.600	0.659	0.592	3.401	3.173	0.38	92.60	615.93
	Y	20.00	5.714	2.286	0.406	0.668	0.727	0.608	3.500	2.500	0.80	125.00	1066.51
	AY	20.34	5.840	2.858	0.457	0.728	0.747	0.628	3.483	2.044	1.09	150.00	1559.76
148/4	Bş	18.50	5.714	1.715	0.460	0.851	0.655	0.541	3.238	3.333	-0.34	99.30	838.30
	Y	20.00	5.714	2.286	0.497	0.888	0.789	0.560	3.500	2.500	0.02	134.10	1305.56
	AY	20.34	5.714	2.858	0.564	0.911	0.836	0.619	3.560	2.000	0.28	159.06	1883.43
148/5	Bş	18.50	5.520	1.715	0.411	0.657	0.688	0.626	3.351	3.220	0.37	99.00	723.57
	Y	20.00	5.714	2.286	0.444	0.720	0.745	0.617	3.500	2.500	0.63	131.00	1166.33
	AY	20.34	5.840	2.858	0.494	0.768	0.753	0.643	3.483	2.044	0.91	156.80	1686.05
148/6	Bş	21.28	5.440	1.715	0.352	0.600	0.655	0.587	3.912	3.173	0.43	107.90	702.50
	Y	22.86	5.714	2.286	0.400	0.668	0.727	0.599	4.001	2.500	0.91	145.50	1201.01
	AY	23.19	5.840	2.858	0.455	0.728	0.749	0.625	3.791	2.044	1.25	173.60	1770.53
148/7	Bş	21.28	5.714	1.715	0.454	0.851	0.651	0.533	3.724	3.333	-0.39	112.50	951.70
	Y	22.86	5.714	2.286	0.491	0.888	0.789	0.553	4.001	2.500	0.02	152.50	1474.24
	AY	23.19	5.714	2.858	0.549	0.911	0.838	0.603	4.058	2.000	0.32	181.50	2090.22
148/8	Bş	27.06	5.440	1.715	0.351	0.600	0.644	0.585	4.974	3.173	0.54	132.60	890.77
	Y	28.57	5.714	2.286	0.404	0.668	0.727	0.605	5.000	2.500	1.14	179.40	1516.01
	AY	28.89	5.840	2.858	0.458	0.728	0.751	0.629	4.947	2.044	1.56	214.10	2220.27
148/9	Bş	27.06	5.714	1.715	0.449	0.851	0.640	0.528	4.736	3.333	-0.48	132.00	1196.86
	Y	28.57	5.714	2.286	0.493	0.888	0.789	0.555	5.000	2.500	0.03	190.80	1849.98
	AY	28.89	5.714	2.858	0.559	0.911	0.840	0.614	5.056	2.000	0.40	226.60	2651.42

YD : Yükleme durumu

Bş : Boş

Y : Yüklü

AY : Aşırı yüklü

Tkz : Takıntısız

- Tablo 1.2’de verilen bu balıkçı gemilerinin (1/10) ölçeğindeki (geometrik benzerlik oranı 10 olan) modelleri yapılmıştır. Bu modellerin kodları ve karakteristik değerleri ise, Tablo 1.3’te verilmiştir.

Tablo 1.3. Direnç model deneyleri yapılan modellerin karakteristik değerleri
(Aydın ve Şalcı, 2008).

Model Kodu	YD	L [m]	B [m]	T [m]	C _B	C _M	C _{WP}	C _P	L/B	B/T	LCB [m] (+ kıç)	S _w [m ²] (Tkz)	Δ _m [kN]	M
148/1B	Bş	1.850	0.524	0.171	0.342	0.608	0.651	0.563	3.531	3.056	0.043	0.924	0.557	A
	Y	2.000	0.571	0.229	0.378	0.661	0.730	0.572	3.500	2.500	0.083	1.261	0.968	
	AY	2.034	0.584	0.286	0.441	0.712	0.753	0.619	3.483	2.044	0.118	1.502	1.467	
148/2B	Bş	1.850	0.571	0.171	0.510	0.857	0.693	0.595	3.238	3.333	-0.032	1.069	0.906	P
	Y	2.000	0.571	0.229	0.535	0.892	0.789	0.600	3.500	2.500	0.001	1.398	1.370	
	AY	2.034	0.571	0.286	0.581	0.914	0.836	0.636	3.560	2.000	0.025	1.640	1.891	
148/3B	Bş	1.850	0.544	0.171	0.355	0.600	0.659	0.592	3.401	3.173	0.038	0.926	0.600	P
	Y	2.000	0.571	0.229	0.406	0.668	0.727	0.608	3.500	2.500	0.080	1.250	1.039	
	AY	2.034	0.584	0.286	0.457	0.728	0.747	0.628	3.483	2.044	0.109	1.500	1.520	
148/4B	Bş	1.850	0.571	0.171	0.460	0.851	0.655	0.541	3.238	3.333	-0.034	0.993	0.817	P
	Y	2.000	0.571	0.229	0.497	0.888	0.789	0.560	3.500	2.500	0.002	1.341	1.272	
	AY	2.034	0.571	0.286	0.564	0.911	0.836	0.619	3.560	2.000	0.028	1.591	1.836	
148/5B	Bş	1.850	0.552	0.171	0.411	0.657	0.688	0.626	3.351	3.220	0.037	0.990	0.705	P
	Y	2.000	0.571	0.229	0.444	0.720	0.745	0.617	3.500	2.500	0.063	1.310	1.137	
	AY	2.034	0.584	0.286	0.494	0.768	0.753	0.643	3.483	2.044	0.091	1.568	1.643	
148/6B	Bş	2.128	0.544	0.171	0.352	0.600	0.655	0.587	3.912	3.173	0.043	1.079	0.685	P
	Y	2.286	0.571	0.229	0.400	0.668	0.727	0.599	4.001	2.500	0.091	1.455	0.171	
	AY	2.319	0.584	0.286	0.455	0.728	0.749	0.625	3.791	2.044	0.125	1.736	1.726	
148/7B	Bş	2.128	0.571	0.171	0.454	0.851	0.651	0.533	3.724	3.333	-0.039	1.125	0.928	P
	Y	2.286	0.571	0.229	0.491	0.888	0.789	0.553	4.001	2.500	0.002	1.525	1.437	
	AY	2.319	0.571	0.286	0.549	0.911	0.838	0.603	4.058	2.000	0.032	1.815	2.037	
148/8B	Bş	2.706	0.544	0.171	0.351	0.600	0.644	0.585	4.974	3.173	0.054	1.326	0.868	P
	Y	2.857	0.571	0.229	0.404	0.668	0.727	0.605	5.000	2.500	0.114	1.794	1.478	
	AY	2.889	0.584	0.286	0.458	0.728	0.751	0.629	4.947	2.044	0.156	2.141	2.164	
148/9B	Bş	2.706	0.571	0.171	0.449	0.851	0.640	0.528	4.736	3.333	-0.048	1.320	1.167	P
	Y	2.857	0.571	0.229	0.493	0.888	0.789	0.555	5.000	2.500	0.003	1.908	1.803	
	AY	2.889	0.571	0.286	0.559	0.911	0.840	0.614	5.056	2.000	0.040	2.266	2.584	

YD : Yükleme durumu

Bş : Boş

Y : Yüklü

AY : Aşırı yüklü

Tkz : Takıntısız

M : Yapıldığı Malzeme

A : Ahşap

P : Parafin

- Ölçek etkisini incelemek ve ekstrapolatör diyagramlarını elde etmek için, 148/1 kodlu ana balıkçı gemisinin 148/1B kodlu modelinden başka (2/25), (3/25) ve (4/25) ölçeklerindeki 148/1A, 148/1C ve 148/1D kodlu geosim modelleri yapılmıştır. Bu modellere ilişkin bazı karakteristik değerler de Tablo 1.4'te verilmiştir.

Tablo 1.4. Ana balıkçı gemisinin geosim modellerine ait bazı karakteristik değerleri (Aydın ve Şalcı, 2008).

Model Kodu	Ölçek (1/ α)	YD	L [m]	B [m]	T [m]	C _B	LCB [m] (+ kış)	S _w [m ²] (Tkz)	S _w [m ²] (Tkı)	Δ_m [kN]	YM
148/1A	(2/25)	Bş	1.480	0.419	0.137	0.342	0.034	0.591	0.613	0.285	A
		Y	1.600	0.457	0.183	0.378	0.066	0.807	0.831	0.495	
		AY	1.627	0.467	0.229	0.441	0.094	0.961	0.985	0.751	
148/1B	(2.5/25)	Bş	1.850	0.524	0.171	0.342	0.043	0.924	0.958	0.557	A
		Y	2.000	0.571	0.229	0.378	0.083	1.261	1.299	0.968	
		AY	2.034	0.584	0.286	0.441	0.118	1.502	1.540	1.467	
148/1C	(3/25)	Bş	2.220	0.629	0.206	0.342	0.052	1.331	1.380	0.963	A
		Y	2.400	0.686	0.274	0.378	0.100	1.816	1.871	1.672	
		AY	2.441	0.701	0.343	0.441	0.142	2.163	2.218	2.535	
148/1D	(4/25)	Bş	2.960	0.838	0.274	0.342	0.069	2.365	2.452	2.282	A
		Y	3.200	0.914	0.366	0.378	0.133	3.228	3.325	3.964	
		AY	3.254	0.934	0.457	0.441	0.189	3.845	3.942	6.009	

YD : Yükleme durumu

Bş : Boş

Y : Yüklü

AY : Aşırı yüklü

Tkz : Takıntısız

Tkı : Takıntılı

YM : Yapıldığı Malzeme

A : Ahşap

- Takıntıların dirence olan etkisini incelemek için de 148/1A, 148/1B ve 148/1C kodlu modellerin direnç deneyleri, takıntılı olarak da yapılmıştır. Söz konusu takıntılar; dümen, topuk ve şaft kovanıdır.
- 148/3 ve 148/4 kodlu balıkçı gemilerine ilişkin 148/3B (K) ve 148/4B (K) kodlu kruzer kışlı modelleri yapılarak, kış form şeklinin dirence olan etkisi incelenmiştir.
- 148/1B kodlu modelin çene keskinliğinin yuvarlatılması ile de çene şeklinin dirence olan etkisi incelenmiştir.
- 148/3B ve 148/4B kodlu modellerin hem kışa hem de başa trimli şekilde deneyleri yapılmış ve trimin dirence olan etkisi incelenmiştir.
- Tüm bu modellerin deneyleri; Boş (WL₄), Yüklü (WL₅) ve Aşırı Yüklü (1.25xT) yükleme durumlarında yapılmıştır. Böylelikle, B/T oranının da dirence olan etkisi incelenmiştir.

- Ayrıca, 148/1B modeline delta tipi yumrubaş uygulaması yapılmış olup, gemi gücünde önemli kazanç gösterdiği tespit edildiğinden, ileride detaylı bir araştırma yapılması gerektiği önerilmiştir (Kafalı vd., 1979).

Söylemez (1983), Kafalı danışmanlığında yaptığı Balıkçı Gemilerine Yumrubaş Uygulaması çalışmasında, 148/1A modeli için 3 değişik yumrubaş yaparak, baş form şeklinin dirence olan etkisini incelemiştir. Yumrubaşlar, damla (delta) profilinde olup; A₁, A₂ ve A₃ olarak adlandırılmıştır. Denenen üç yumrubaşın özellikleri Tablo 1.5'te verilmiştir.

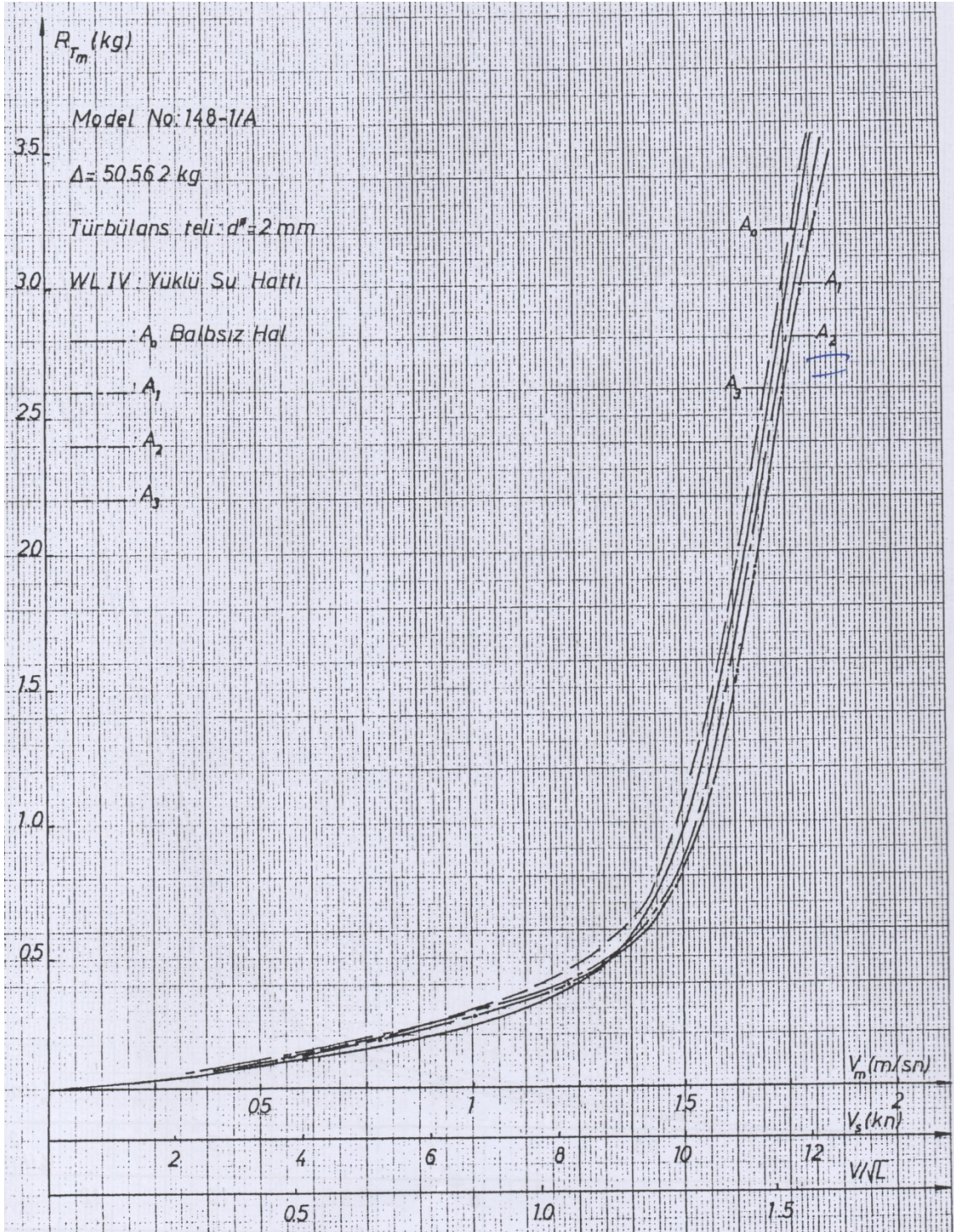
Tablo 1.5. A₁, A₂ ve A₃ yumrubaşının özellikleri (Söylemez, 1983).

Yumrubaş Kodu	b/B Oranı	l/b Oranı	Kesit Alan Oranı
A ₁	$\frac{b}{B} = \frac{C_B}{2.5}$	$\frac{l}{b} = 1.2$	0.12
A ₂	$\frac{b}{B} = \frac{C_B}{3.5}$	$\frac{l}{b} = 1.2$	0.09
A ₃	$\frac{b}{B} = \frac{C_B}{4.5}$	$\frac{l}{b} = 1.2$	0.07

l: Yumrubaşın uç noktasının baş dikeye uzaklığı

b: Yumrubaşın en geniş yerindeki genişlik

Söz konusu çalışmada, genel olarak 9 knot hıza kadar, ıslak yüzey alanının artmasından dolayı toplam dirençte artış gösteren A₁ ve A₂ yumrubaşlarının bu hızdan sonra, A₃ yumrubaşının ise balıkçı gemilerinin servis hızından daha fazla olan hızlarda toplam direnç değerinde bir azalma sağladığı ve baş dalgasında bir küçülme gözlemlendiği, A₂ yumrubaşının ise A₁ yumrubaşına göre daha etkin olduğu belirtilmiştir (Söylemez, 1983). Yüklü su hattında yapılan deney sonuçlarının grafiği Şekil 1.5'te verilmiştir.



Şekil 1.5. 148/1A modelinin R_{Tm} - V_m Grafiği (Söylemez, 1983).

Şekil 1.5'te görüleceği üzere yumrubaş uygulaması faydalı sonuçlar verdiği için dolayı balıkçı gemilerinde yumrubaş uygulanmasının düşünülmesi gerektiği, söz konusu çalışmada belirtilmiştir (Söylemez, 1983).

İTÜ Balıkçı Gemileri Serisi, Aydın'ın (2002) Türkiye Sularına Uygun Balıkçı Gemilerinin Bilgisayar Destekli Dizaynı çalışması ile son halini almıştır.

Aydın'ın (2002) söz konusu çalışmasında:

- 148/1, 148/2, 148/3, 148/4 ve 148/5 kodlu balıkçı gemisi formlarından yararlanılarak, 3 farklı boyda ve her boy için de 13 farklı tekne narinlik katsayısında olmak üzere, toplam 39 adet balıkçı gemisi formu türetilmiştir. Elde edilen balıkçı gemisi formlarının geometrik karakteristikleri Tablo 1.6'da verilmiştir.



Tablo 1.6. Türetilen balıkçı gemilerinin karakteristikleri (Aydın ve Şalcı, 2007).

Gemi Numarası	L [m]	B [m]	T [m]	D [m]	L/B	B/T	C_B	C_M	C_{WP}	∇_s [m ³]
1	20.000	5.714	2.285	3.2	3.5	2.5	0.377	0.673	0.725	98.45
2	20.000	5.714	2.285	3.2	3.5	2.5	0.391	0.686	0.730	102.10
3	20.000	5.714	2.285	3.2	3.5	2.5	0.405	0.700	0.735	105.76
4	20.000	5.714	2.285	3.2	3.5	2.5	0.418	0.715	0.740	109.15
5	20.000	5.714	2.285	3.2	3.5	2.5	0.431	0.731	0.746	112.55
6	20.000	5.714	2.285	3.2	3.5	2.5	0.444	0.748	0.751	115.94
7	20.000	5.714	2.285	3.2	3.5	2.5	0.457	0.769	0.758	119.34
8	20.000	5.714	2.285	3.2	3.5	2.5	0.471	0.789	0.764	122.99
9	20.000	5.714	2.285	3.2	3.5	2.5	0.483	0.813	0.770	126.13
10	20.000	5.714	2.285	3.2	3.5	2.5	0.496	0.836	0.777	129.52
11	20.000	5.714	2.285	3.2	3.5	2.5	0.510	0.863	0.784	133.18
12	20.000	5.714	2.285	3.2	3.5	2.5	0.524	0.891	0.791	136.83
13	20.000	5.714	2.285	3.2	3.5	2.5	0.539	0.916	0.798	140.75
14	22.856	5.714	2.285	3.2	4.0	2.5	0.377	0.673	0.725	112.50
15	22.856	5.714	2.285	3.2	4.0	2.5	0.391	0.686	0.730	116.68
16	22.856	5.714	2.285	3.2	4.0	2.5	0.405	0.700	0.735	120.86
17	22.856	5.714	2.285	3.2	4.0	2.5	0.418	0.715	0.740	124.74
18	22.856	5.714	2.285	3.2	4.0	2.5	0.431	0.731	0.746	128.62
19	22.856	5.714	2.285	3.2	4.0	2.5	0.444	0.748	0.751	132.50
20	22.856	5.714	2.285	3.2	4.0	2.5	0.457	0.769	0.758	136.38
21	22.856	5.714	2.285	3.2	4.0	2.5	0.471	0.789	0.764	140.56
22	22.856	5.714	2.285	3.2	4.0	2.5	0.483	0.813	0.770	144.14
23	22.856	5.714	2.285	3.2	4.0	2.5	0.496	0.836	0.777	148.02
24	22.856	5.714	2.285	3.2	4.0	2.5	0.510	0.863	0.784	152.19
25	22.856	5.714	2.285	3.2	4.0	2.5	0.524	0.891	0.791	156.37
26	22.856	5.714	2.285	3.2	4.0	2.5	0.539	0.916	0.798	160.85
27	28.570	5.714	2.285	3.2	5.0	2.5	0.377	0.673	0.725	140.63
28	28.570	5.714	2.285	3.2	5.0	2.5	0.391	0.686	0.730	145.85
29	28.570	5.714	2.285	3.2	5.0	2.5	0.405	0.700	0.735	151.07
30	28.570	5.714	2.285	3.2	5.0	2.5	0.418	0.715	0.740	155.92
31	28.570	5.714	2.285	3.2	5.0	2.5	0.431	0.731	0.746	160.77
32	28.570	5.714	2.285	3.2	5.0	2.5	0.444	0.748	0.751	165.62
33	28.570	5.714	2.285	3.2	5.0	2.5	0.457	0.769	0.758	170.47
34	28.570	5.714	2.285	3.2	5.0	2.5	0.471	0.789	0.764	175.69
35	28.570	5.714	2.285	3.2	5.0	2.5	0.483	0.813	0.770	180.17
36	28.570	5.714	2.285	3.2	5.0	2.5	0.496	0.836	0.777	185.02
37	28.570	5.714	2.285	3.2	5.0	2.5	0.510	0.863	0.784	190.24
38	28.570	5.714	2.285	3.2	5.0	2.5	0.524	0.891	0.791	195.46
39	28.570	5.714	2.285	3.2	5.0	2.5	0.539	0.916	0.798	201.06

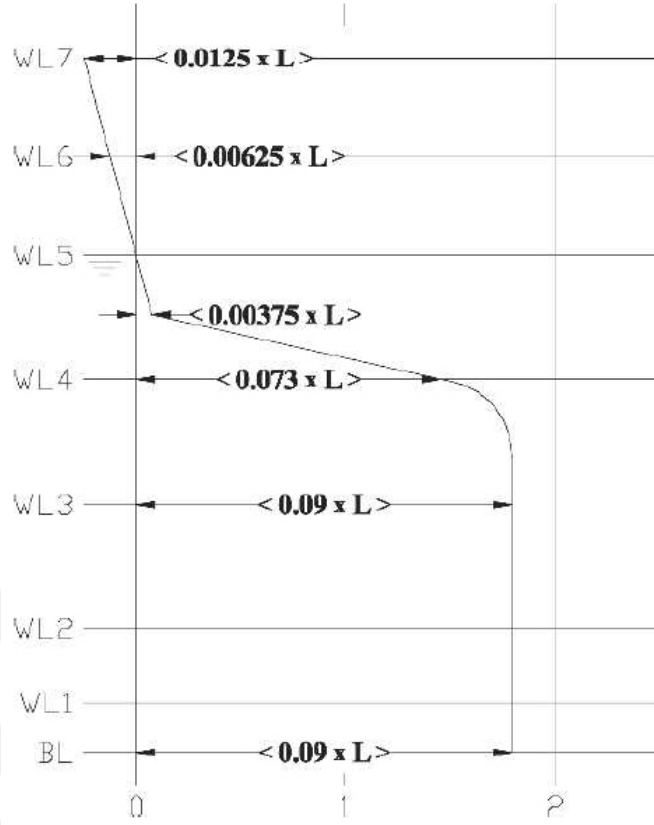
- Hazırlanan “Türetme.xls” programı ile, sadece dikmeler arası boy (L_{PP}) ve yüklü durumdaki tekne narinlik katsayısı (C_B) değerleri girilerek, söz konusu balıkçı gemisine ilişkin tüm geometrik değerler ve AutoCAD senaryo (script) dosyaları elde edilmektedir.
- Hazırlanan “Hidrostatik.xls” programı ile, sadece L_{PP} ve C_B değerleri girilerek, söz konusu balıkçı gemisinin 8 ayrı su hattı için hidrostatik değerleri hesaplanmaktadır.
- Hazırlanan “Stabilite.xls” programı ile sadece C_B ile boş ve yüklü durumdaki KG değerleri girilerek, söz konusu balıkçı gemisinin her iki yükleme durumu için enine stabilitesini karakterize eden büyüklükleri elde edilmektedir. Boş yükleme durumu için KG_{max}/D oranı (1.1) denklemi ile ve Yüklü yükleme durumu için KG_{max}/D oranı (1.2) denklemi ile verilmiştir (Aydın ve Şalçı, 2007).

$$\frac{KG_{max}}{D} = 9.112C_B^3 - 14.238C_B^2 + 6.812C_B - 0.252 \quad (1.1)$$

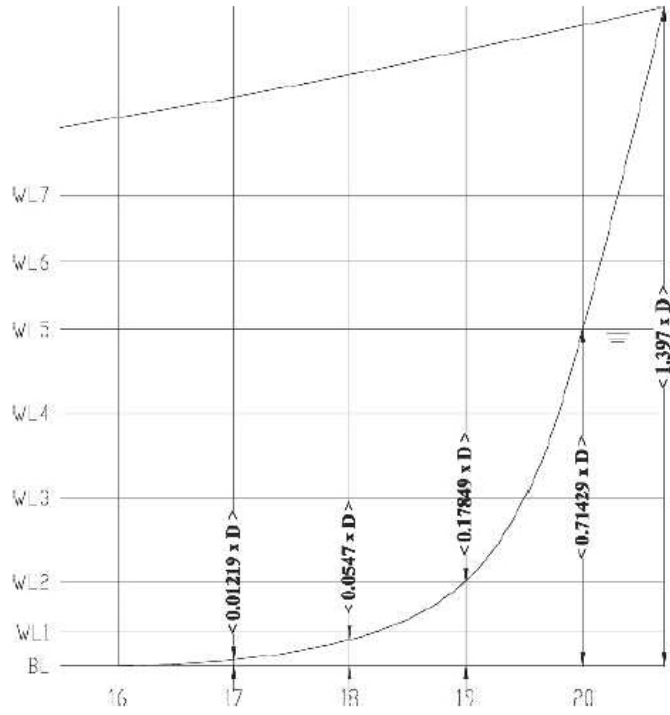
$$\frac{KG_{max}}{D} = 5.015C_B^3 - 6.453C_B^2 + 2.077C_B + 0.672 \quad (1.2)$$

- Daha önceden yapılan bütün deney sonuçlarından Froude ve Hughes yöntemleri ile elde edilen gemi direnç değerleri kullanılarak yapılan direnç regresyon analizi sonucunda belirlenen katsayılardan yararlanılarak hazırlanan “Direnç-Güç.xls” programı ile, söz konusu balıkçı gemileri serisinden herhangi bir balıkçı gemisinin; Boş, Yüklü ve Aşırı Yüklü yükleme durumlarına ilişkin takıntısız ve takıntılı olarak Toplam Direnç (R_{Ts}) ve Etkin Güç (P_E) değerleri elde edilmekte ve grafikleri çizdirilmektedir.

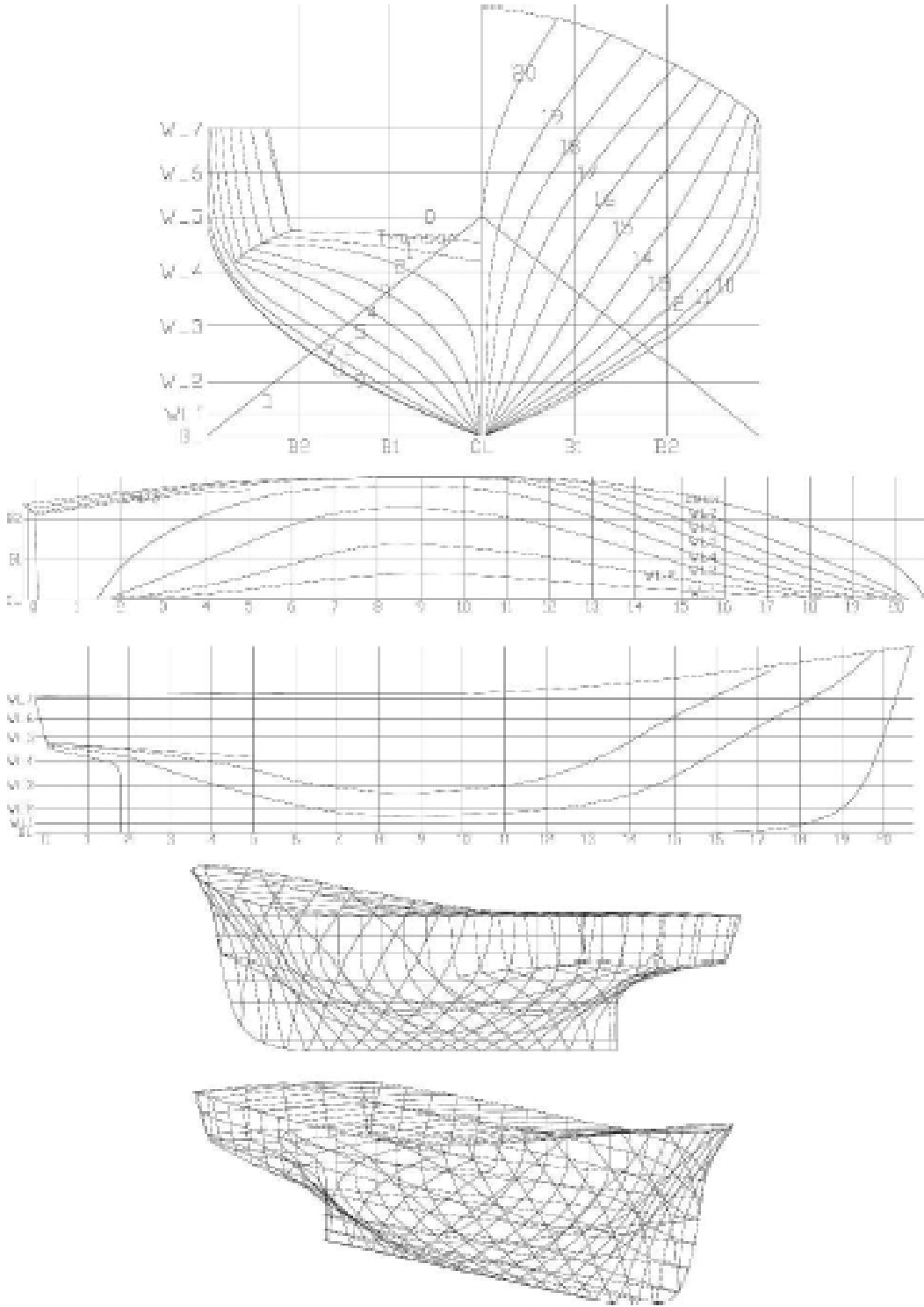
Yapılan çalışmalarla son şeklini alan İTÜ Balıkçı Gemileri Serisi formlarına ait kış bodoslama ve baş bodoslama şekli ve ölçüleri Şekil 1.6 ve Şekil 1.7’de, seriye ait bir geminin endaze planı ve üç-boyutlu görünüşleri Şekil 1.8’de gösterilmiştir.



Şekil 1.6. Kıç bodoslama şekli ve ölçüleri (Aydın ve Şalcı, 2007).



Şekil 1.7. Baş bodoslama şekli ve ölçüleri (Aydın ve Şalcı, 2007).

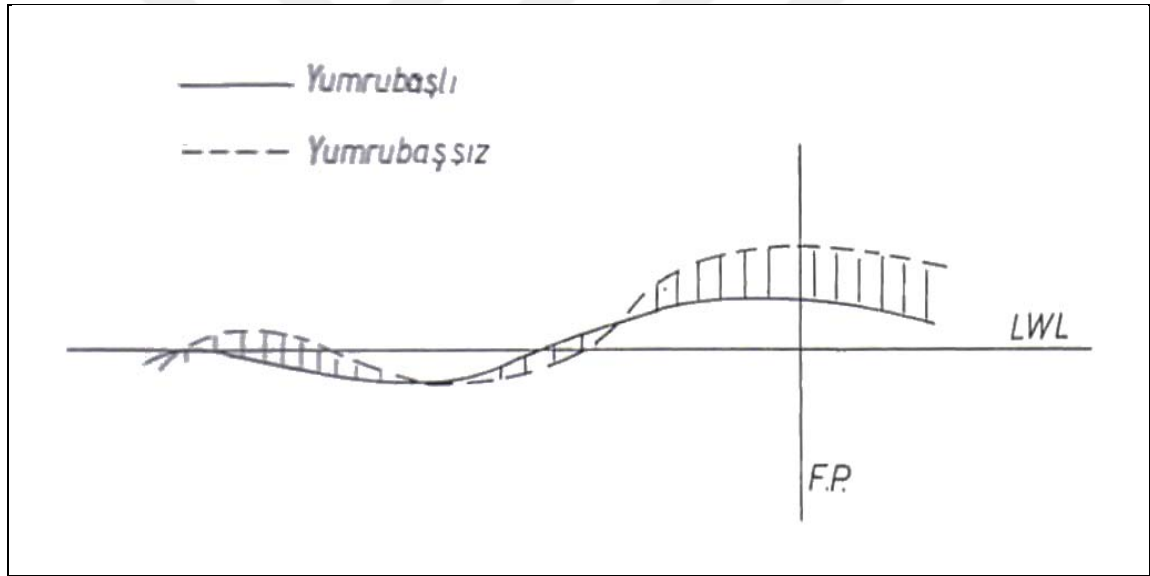


Şekil 1.8. Seriye ait bir balıkçı gemisinin endaze planı ve üç-boyutlu görünüşleri (Aydın ve Şalcı, 2007).

1.5. Yumrubaş

Gemilerin baş bodoslamasının yüklü su altında kalan kısmının şişirilerek adeta bir yumru, soğan başı şekline getirilmesine yumrubaş (balb) denilmektedir (Kafalı, 1982).

Normal baş bodoslamasına sahip gemilerde baş tarafta oluşan dalgaları söndürmek için negatif bir basınca gerek vardır. Negatif basıncın oluşumu Bernoulli prensibi ile açıklanabilir. Yumrubaşsız bir geminin herhangi bir su hattı, yumrubaşlı iken olan su hattından daha kısadır. Dolayısıyla akışkan zerrecikleri aynı servis hızında yumrubaşlı gemide daha uzun olan su hattını, süreklilik prensibine göre daha hızlı kat edeceğinden basınçlar yumrubaşsız gemiye nazaran daha az olacak ve baş dalgası küçülmüş olacaktır. Şekil 1.9'da bu olay şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 1.9. Normal baş ve yumrubaş dalgalarının şematik gösterimi (Söylemez, 1983).

Geminin baş dalgası ile yumrubaşın tek başına çıkardığı dalga süperpoze edilerek yumrubaşlı bir geminin baş dalgası elde edilebilir.

Yumrubaşın gemi başında bir emme bölgesi (negatif basınç) meydana getirmesi ile basınç direncindeki azalma Froude sayısı ile yakından ilgilidir. Yumrubaş etkisi ile direnç bileşeni açısından en fazla kazanç sağlanana, dalga kırılma bileşenidir (Söylemez, 1983).

1.5.1. Yumrubaş Üzerine Yapılan Çalışmalar

Yumrubaşların tarihsel olarak gelişimine bakıldığında; tekneler üzerinde ilk yumrubaş benzer çıkıntılar Romalılar zamanında, düşman gemilerine çarparak batırmak için kullanılan savaş gemilerinin baş bodoslamalarındaki mahmuzlardır (Lane, 2010). Bu mahmuz zamanla gelişerek 1600'lü yıllara kadar kadırgalarda varlığını korumuş, deniz savaşlarında kalyon sınıfı gemilerin kullanılmaya başlanmasıyla birlikte ortadan kalkmıştır. Ahşap savaş kalyonlarının giderek yerini ağır tonajlı çelik konstrüksiyon gemilere bırakmasıyla, sevk sistemi için artan enerji ihtiyacının azaltılması amacıyla, tekne formlarının geliştirilmesine ihtiyaç duyulmuş ve baş bodoslama üzerinde yeni dizaynlar yapılmaya çalışılmıştır. D. W. Taylor, 1907 yılında Amerikan savaş gemisi USS Delaware'a yumrubaş uygulaması yapmış ve bu geminin sevk performansını artırarak, bugünkü işlevinde ilk kez bir yumrubaş dizayn etmiştir (Lane, 2010).

Taylor (1923) yumrubaşların gemi formu üzerindeki etkilerini deneysel olarak inceleyen ilk araştırmacıdır. Daha sonra, Bragg (1930), Inui vd. (1960), Ferguson (1967) ve Muntjewerf (1967) tarafından, Taylor yumrubaş diye anılan Δ (delta) tipli, silindirik ve konik yumrubaşlar üzerinde, yumrubaş parametreleri sistematik olarak değiştirilerek deneysel çalışmalar yapılmıştır.

Weinblum (1935), Wigley (1936), Inui (1962) ve Yim (1963) linearize edilmiş dalga direnci teorisi üzerinde teorik olarak detaylı çalışmalar yapmıştır. Bu teori yumrubaşın nasıl çalıştığı hakkında bir fikir vermesine rağmen, herhangi bir gemi formu için nasıl bir yumrubaş dizayn edileceği hakkında bilgi vermemektedir.

Inui (1962), gemi baş bodoslaması ile yumrubaşın düzenli dalgalardaki genlik fonksiyonlarını eşleştirerek yumrubaş boyutunu belirleyebilmek için bir yöntem sunmuştur, ancak bu yöntem hem baş hem de kış yumrubaşına sahip modern gemilerde uygulanamamaktadır.

Yim (1965) verilen bir hız için, gemi başındaki giriş açısı ve yumrubaş boyutu arasında bir bağlantı kurmuştur. Yim (1974) küresel yumrubaş dizaynı için üç ana husustan oluşan bir yöntem sunmuştur. Yine, Yim (1980) küresel yumrubaşlar üzerindeki barınma (sheltering) etkisini tartışmıştır. Sinüs gemi, kosinüs gemi ve parabolik gemi tipleri için en uygun yumrubaş konumu varyasyonlarını sunmuştur.

Baba (1969) ve de Shearer ve Steele (1970) yumrubaşın gemi formları üzerinde; baş bodoslamadaki dalga kırılmalarını azaltması, omurga hattı ve sintine dönümü etrafındaki akışı iyileştirerek akış ayrılmalarını önlemesi gibi yararlarının da olacağını belirtmişlerdir.

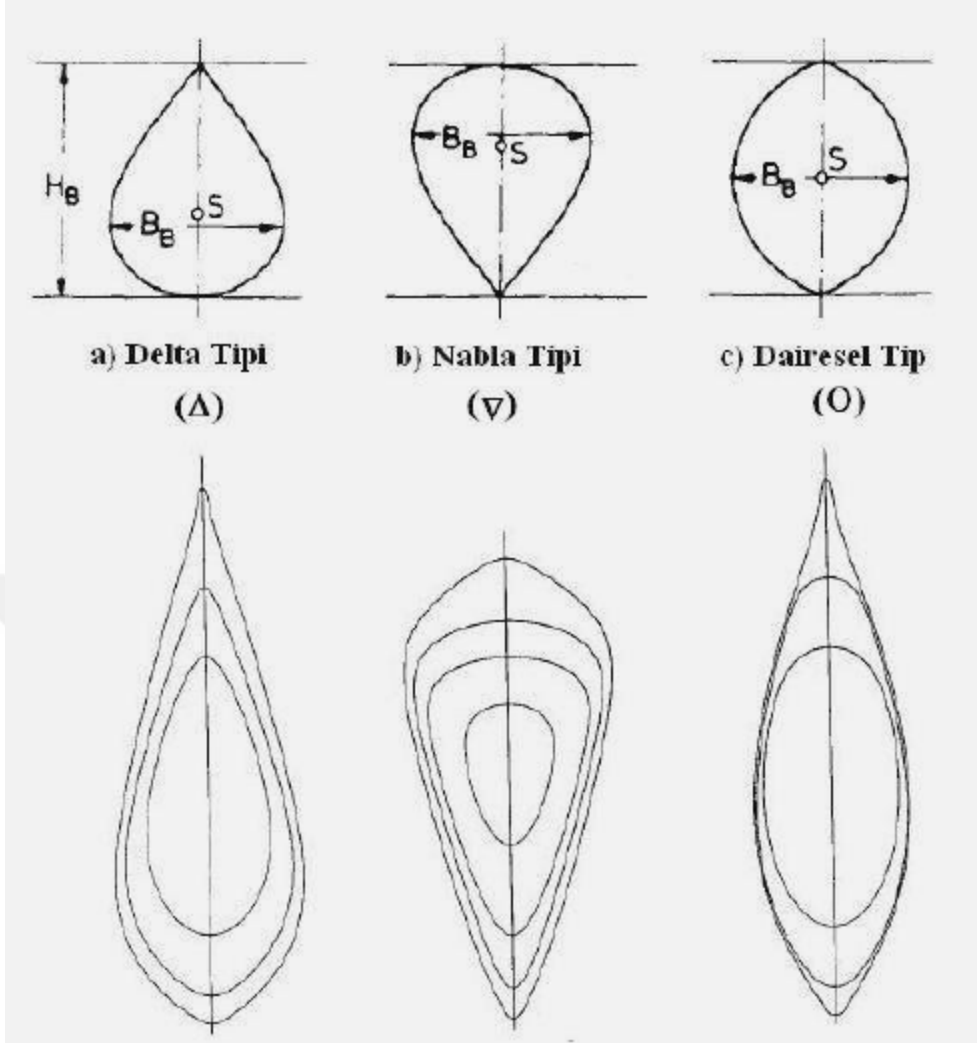
Kracht (1978) sevk model deneylerinden elde ettiği verilerle bir istatistiksel yöntem geliştirmiştir. Hamburg ve Berlin model deney havuzları verilerinin derlenmesiyle oluşturulan yöntemde; tekne formuna ait blok katsayısı, boy/genişlik oranı ve genişlik/draft oranı ele alınırken yumrubaş formu için genişlik parametresi, boy parametresi, derinlik parametresi, kesit alanı parametresi, yanal alan parametresi ve hacimsel parametre olmak üzere yumrubaşın boyutunu ve konumunu belirleyen 6 adet parametre geliştirilmiştir. Yöntem, seçilen yumrubaş için güç azalmasını veya seçilen bir güç azalması için uygun yumrubaş tasarımını verir. Kracht yöntemi nabla (∇) kesitli yumrubaşlar için daha kullanışlıdır.

Sharma ve Sha (2005), yumrubaş tasarımında dünyaca kabul görmüş iki ünlü teori olan Kracht (1978) ve Yim (1980) yöntemlerini birleştiren bir yumrubaş tasarımı yöntemi geliştirmişlerdir. Yöntem, tasarım hızı için yumrubaş parametrelerinin optimizasyonunu, direnç tahmini için barınma (sheltering) etkisi ile yaklaşık lineer teorinin yeniden analizini ve literatürde var olan model deney sonuçlarının doğrusal olmayan çok değişkenli regresyon analizi yöntemiyle istatistiksel olarak yeniden korelasyonunu kullanarak yapabilmektedir.

Son yıllarda, bilgisayar teknolojilerinin gelişmesi ve yazılım programlarının yaygınlaşması ile yumrubaşlı gövde formlarını optimize etmek için HAD alanında çalışmalar yapılmaktadır.

1.5.2. Yumrubaş Formları

Yumrubaş formları, geminin başkesitteki alanının formuna göre sınıflandırılmıştır. Genel bir tanımlama olarak Şekil 1.10'da görüldüğü gibi; Delta (Δ) kesitli, Dairesel-Eliptik (O) kesitli ve Nabla (∇) kesitli olmak üzere temel olarak üç farklı tip yumrubaş geometrisi söz konusudur.



Şekil 1.10. Yumrubaş tipleri (Kracht, 1978).

1.5.2.1. Delta (Δ) Tipli Yumrubaşlar

Damla şeklinde tasarlanmış olan bu tip yumrubaşlar, en çok kullanılan tipteki yumrubaşlardır (Kafalı, 1999). Damla profili diye de adlandırılan “Delta” (Δ) tipli yumrubaş formunun hacim merkezi kaide hattına oldukça yakındır (Söylemez, 1983).

Baş bodoslamasında “U” formu postalara sahip olan gemilerde genellikle Δ tipli yumrubaş seçilebilir. Δ tipli yumrubaşın “V” kesitli formlara uygulanması oldukça kolaydır. Buna ilave olarak, yarı balast durumunda ise direnç açısından yararlı sonuçlar verdiği gözlenmiştir. Yalnız, seyir sırasında dalgalı denizlerde oluşan dövünme olayında, geminin suya çarpan yüzeyi bu tip bir yumrubaştan dolayı arttığı için, gemi karinasına gelen kuvvetler daha da artacaktır (Söylemez, 1983).

Kafalı (1982) yumrubaşın maksimum boyu l ve maksimum genişliği b olmak üzere Δ tipi yumrubaşın boyutsuz ofset değerlerini draftın yüzdesi olarak Tablo 1.7’de vermiştir.

Tablo 1.7. Delta tipi yumrubaşın boyutsuz ofset değerleri (Kafalı, 1982).

T_i (% T)	0.00 T	0.10 T	0.20 T	0.40 T	0.50 T	0.60 T	0.70 T	0.80 T	0.90 T	1.00 T
b_i (% b)	0.000	0.755	0.960	0.930	0.815	0.620	0.412	0.210	0.055	0.000
l_i (% l)	...	0.780	0.959	0.912	0.765	0.550	0.316	0.132	0.265	0.000

İTÜ Sistematik Yumurubaş Deneyleri araştırmasından elde edilen Δ tipi yumrubaş için optimum boyutsuz ofset değerleri Tablo 1.8’de verilmiştir.

Tablo 1.8. Delta tipi yumrubaş için optimum boyutsuz ofset değerleri (Bodur, 1990).

T_i (% T)	0.00 T	0.20 T	0.40 T	0.60 T	0.80 T	0.90 T	1.00 T
b_i (% b)	0.000	0.960	0.946	0.620	0.210	0.055	0.000
l_i (% l)	0.000	0.959	0.930	0.550	0.132	0.027	0.000

1.5.2.2. Nabla (∇) Tipli Yumurubaşlar

Nabla (∇) tipi yumrubaşın hacim merkezi su seviyesine oldukça yakındır ve bu tip yumrubaş (Δ) damla profilinin ters döndürülmüş şeklidir (Sharma ve Sha, 2005).

∇ tipi yumrubaşın dövünme açısından diğerlerine göre avantajı vardır. Geminin dövünme hareketinde başında bulunan ∇ tipi yumrubaş formunun özelliği nedeniyle suya vuran yüzey, diğer tip yumrubaşlara göre oldukça küçük ve suya oldukça meyilli olduğundan kuvvetlerin etkisi daha az olmaktadır (Söylemez, 1983).

1.5.2.3. Dairesel-Eliptik (O) Tipli Yumurubaşlar

Dairesel-Eliptik (O) kesitli yumrubaş formları silindir, küre veya elipsoit gibi şekillerden oluşturulmuştur ve hem hacim merkezine hem de orta eksene göre simetriktir (Sharma ve Sha, 2005).

“O” tipi yumrubaş, baş kısmındaki kesitleri hem “U” hem de “V” tipinde olan her gemi için uygundur. Çünkü “O” tipi yumrubaşın bu tip gemi formlarına uyarlanması kolay olmaktadır. Ayrıca dövünme olayındaki darbelere karşı da Δ tipine göre daha az duyarlıdır (Söylemez, 1983).

1.6. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği

Computational Fluid Dynamics (CFD) veya Türkçe karşılığı ile Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD), temel alan denklemlerinin belirli sınır koşulları altında cebrik denklemlere dönüştürülmesi ve bu denklemlerin çözülmesi esasına dayanan, zaman içinde geliştirilen yöntemler bütünüdür. Başka bir ifadeyle; sıvı akışı, ısı transferi, kütle transferi ve kimyasal reaksiyonlar gibi olayların çözümlerini nümerik yöntemler kullanarak fizik kanunları çerçevesinde matematik denklemleri çözerek analiz eden bir yöntemdir (Kocaman, 2010).

HAD’da çeşitli problemleri çözmek için değişik ayrıklaştırma teknikleri bulunmaktadır. Yapısal analizlerde Sonlu Farklar Yöntemi (Finite Difference Method, FDM) ve Sonlu Elemanlar Yöntemi (Finite Element Method, FEM) kullanılırken, akış analizlerinde ise Sınır Elemanları Yöntemi (Boundary Element Method, BEM) ve Sonlu Hacimler Yöntemi (Finite Volume Method, FVM) ayrıklaştırma teknikleri kullanılmaktadır.

FDM akış alanının tamamını ayrıklaştırır. Korunum denklemindeki bilinmeyen fonksiyon değerinin türev değerleri sonlu farklar yöntemiyle yazılır. Bu yöntemde ayrıklaştırma hataları kütle ve momentum korunum denkleminin sağlanamamasına yol açabilir. FEM’de çözüm bölgesi elemanlara ayrılır ve elemanları birbirine bağlayan düğüm noktalarında değişken değeri aranır. BEM potansiyel akışlar için kullanılan ve integral denklemlerle formüle edilmiş akış alanının tamamını, sınır elemanları üzerinde lineer kısmi diferansiyel denklemlere dönüştürerek çözen bir yöntemdir. Problemin boyutsallığını bir derece indirilmesi ağ üretimini basitleştirir ve hesaplamayı hızlandırır. Son olarak FVM formülasyonu ya sonlu eleman yöntemine ya da sonlu farklar yöntemine dayalı ayrıklaştırma tekniğidir. Karmaşık geometrilere ve yapısal olmayan ağlarda iyi çözümler vermesi ve koordinat dönüşümüne gerek duyulmaması bu yöntemin tercih sebebidir. Bu metotlardan FEM, FDM ve FVM akış alanının tamamını ayrıklaştırdığı için alan metotları olarak da adlandırılırlar.

Aksu (2011), FVM aslında ya FDM ya da FEM kullanılarak geliştirilen bir yöntem olduğu için Sonlu Hacim Yöntemini, kullanılan formülasyona bağlı olarak ya Sonlu Farklar Tabanlı Sonlu Hacim Yöntemi (CVFDM) ya da Sonlu Eleman Tabanlı Sonlu Hacim Yöntemi (CVFEM) şeklinde isimlendirmektedir.

Bilgisayar ve yazılım teknolojilerinin gelişmesiyle günümüzde Ansys Fluent, Ansys CFX, Star-CCM+, FlowMaster, OpenFOAM, Flow3D, Autodesk CFD gibi çeşitli HAD paket programları bulunmaktadır.

Yapılan çalışmada Star-CCM+ paket programı kullanılmıştır.

1.6.1. HAD Çalışmalarının Tarihçesi

HAD'ın zaman içinde genel olarak gelişimine bakıldığında (Yılmaz, 2009):

- 1920'li yıllarda ilk temellerinin atıldığı ve sayısal analizlerin başladığı,
- 1950'li yıllarda temel gelişmelerle birlikte önemli sayısal yöntemlerin geliştirildiği,
- 1960'lı ve 1970'li yıllarda çok sayıda HAD algoritmalarının geliştirildiği,
- 1980'lerde gerçek uygulamalara başlanarak, ilk hava dinamiği çözümlerinin gerçek uygulamalar için denendiği ve araştırmacıların kendi konularına yönelik uygulamalar için kendi yazılımlarını meydana getirdiği,
- 1990'lı yıllarda teknoloji belirli bir seviyeye eriştiğinden, gerek genel amaçlı uygulamalar gerekse özel amaçlı uygulamalar için pek çok ticari yazılımın geliştirilerek piyasaya sürüldüğü,
- 2000'lerde ise kullanılması kolay ve mevcut bilgisayar destekli tasarım sistemlerine gömülü otomatik ticari yazılımların ortaya çıktığı görülmektedir.

1910 yılında İngiltere'de Ricardson tarafından yayınlanan makalede FDM metodu taş duvarların gerilme analizinin gerçekleştirilmesi için kullanılmıştır. FDM metodunun ilk örnekleri Courant vd. (1928), Evans vd. (1957), Godunov (1959), Lax ve Wendroff (1960) ve Maccormack (1969) tarafından verilmiştir.

FEM metodunun ilk uygulama örneği Turner vd. (1956) tarafından uçak kanatlarının gerilme analizinin gerçekleştirilmesi için kullanılmıştır. FEM metodunun diğer ilk örnekleri Zienkiewics ve Cheung (1965), Oden (1972) ve (Chung, 1978) tarafından verilmiştir.

FDM formülasyonundan türetilen FVM, yapısal çözüm ağlarında olduğu kadar yapısal olmayan çözüm ağlarında da başarılı sonuçlar vermesinden dolayı HAD'de en çok kullanılan yöntemlerden olup, Godunov (1959) tarafından geliştirilmiştir (Özdemir, 2007).

1.6.2. Gemi İnşaatında HAD Uygulamaları

Teknolojinin gelişmesiyle birlikte HAD uygulamaları gemi inşaatı gibi büyük boyuttaki problemleri de çözebilecek hale gelmiştir. Genel olarak gemi inşaatı alanındaki HAD uygulamaları şöyledir: Form optimizasyonu, baş kık formunun optimizasyonu, gemi etrafındaki dalga formunun ve deformasyonların tespiti, gemi direnç bileşenlerinin bulunması, gemi form takıntılarının uygun yerlerinin bulunması, pervane tasarımı, akış kaynaklı akustik analizi, yelken etrafındaki akışın analizi, yumrubaş optimizasyonu, kayıcı tekneler üzerindeki dinamik kuvvetlerin hesabı, boru devrelerindeki akışlar, baca gazı akışları ve yatlarda ısısal konforun analizi (Özdemir, 2007).

Belirtilen çalışma alanlarında araştırmacılar 1960'lerden bu güne kadar değişik uygulamalar yapmışlardır. HAD yardımı ile yumrubaş optimizasyonu çalışmaları 1990'lı yıllarda başlamıştır.

Cusanelli (1994) sonar yuvası ile yumrubaşın kombinasyonundan oluşan dizayna sahip bir formun hem model direnç deneylerini yapmıştır hem de HAD optimizasyonuna benzer bir çalışma sunmuştur.

Stromgren (1995) alternatif yumrubaş çeşitlerini (eliptik, konik, kaşık, geliştirilmiş) HAD yardımıyla karşılaştırmalı bir çalışmada sunmuştur.

Kim ve Jang (1996) yumrubaşın, dalga karakteristikleri üzerindeki etkisini HAD ile incelemiştir.

Huang vd. (1998) yumrubaşlı Seri 60 gemilerinin yüzeyindeki ve etrafındaki basınç dağılımının optimizasyonu üzerinde HAD kullanarak ters dizayn yöntemi ile çalışmalar yapmıştır.

1.6.3. HAD Çalışmalarının Matematiksel Alt Yapısı

1.6.3.1. Akışkan Hareketinin Temel Denklemleri

1.6.3.1.1. Reynolds Transport Teoremi

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

$$\frac{d\Phi_{sis}}{dt} = \frac{d}{dt} \int_V \rho\phi dV + \int_A \rho\phi\vec{V} \cdot \vec{n} dA \quad (1.3)$$

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

$$\frac{d\Phi_{sis}}{dt} = \int_V \frac{\partial}{\partial t} (\rho\phi) dV + \int_A \rho\phi\vec{V} \cdot \vec{n} dA \quad (1.4)$$

1.6.3.1.2. Kütle Korunumu Denklemi

Reynolds transport teoreminin uygulanmasıyla ($\Phi_{sis} = m$ için) kontrol hacmi için kütle korunumu denklemi,

$$0 = \int_V \frac{\partial \rho}{\partial t} dV + \int_A \rho\vec{V} \cdot \vec{n} dA \quad (1.5)$$

şeklinde yazılabilir. Diverjans teoreminin uygulanmasıyla denklem (1.5),

$$\int_V \left[\frac{\partial \rho}{\partial t} + \vec{\nabla} \cdot (\rho\vec{V}) \right] dV = 0 \quad (1.6)$$

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

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \vec{\nabla} \cdot (\rho \vec{V}) = 0 \quad (1.7)$$

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

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(\rho u) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho v) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho w) = 0 \quad (1.8)$$

1.6.3.1.3. Momentumun Korunumu Denklemi

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

$$\sum \vec{F} = \int_V \rho \vec{g} dV + \int_A \sigma_{ij} \cdot \vec{n} dA = \int_V \frac{\partial}{\partial t}(\rho \vec{V}) dV + \int_A (\rho \vec{V}) \vec{V} \cdot \vec{n} dA \quad (1.9)$$

şeklinde yazılabilir. Diverjans teoreminin uygulanmasıyla denklem (1.9),

$$\int_V \left[\frac{\partial}{\partial t}(\rho \vec{V}) + \vec{\nabla} \cdot (\rho \vec{V} \vec{V}) - \rho \vec{g} - \vec{\nabla} \cdot \sigma_{ij} \right] dV = 0 \quad (1.10)$$

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

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \vec{V}) + \vec{\nabla} \cdot (\rho \vec{V} \vec{V}) - \rho \vec{g} - \vec{\nabla} \cdot \sigma_{ij} = 0 \quad (1.11)$$

elde edilmiş olur. Denklem (1.11)'in alternatif formu ise

$$\rho \frac{D\vec{V}}{Dt} = \rho \vec{g} + \vec{\nabla} \cdot \sigma_{ij} \quad (1.12)$$

şeklindedir. Bu denklemin Kartezyen koordinatlarda açık şekli aşağıdaki gibidir:

$$\rho \left[\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right] = \rho g_x + \frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_{zx}}{\partial z} \quad (1.13a)$$

$$\rho \left[\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} \right] = \rho g_y + \frac{\partial \sigma_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_{zy}}{\partial z} \quad (1.13b)$$

$$\rho \left[\frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} \right] = \rho g_z + \frac{\partial \sigma_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_{zz}}{\partial z} \quad (1.13c)$$

1.6.3.1.4. Navier-Stokes Denklemleri

Momentum denklemindeki gerilme tensörü (σ_{ij}),

$$\sigma_{ij} = \begin{pmatrix} \sigma_{xx} & \sigma_{xy} & \sigma_{xz} \\ \sigma_{yx} & \sigma_{yy} & \sigma_{yz} \\ \sigma_{zx} & \sigma_{zy} & \sigma_{zz} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -P & 0 & 0 \\ 0 & -P & 0 \\ 0 & 0 & -P \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \tau_{xx} & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \tau_{yy} & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \tau_{zz} \end{pmatrix} \quad (1.14)$$

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

$$\tau_{ij} = \begin{pmatrix} \tau_{xx} & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \tau_{yy} & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \tau_{zz} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2\mu \frac{\partial u}{\partial x} & \mu \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) & \mu \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right) \\ \mu \left(\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right) & 2\mu \frac{\partial v}{\partial y} & \mu \left(\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right) \\ \mu \left(\frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z} \right) & \mu \left(\frac{\partial w}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial z} \right) & 2\mu \frac{\partial w}{\partial z} \end{pmatrix} \quad (1.15)$$

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

$$\rho \frac{D\vec{V}}{Dt} = -\vec{\nabla}P + \rho\vec{g} + \mu\nabla^2\vec{V} \quad (1.16)$$

Navier-Stokes denkleminin kartezyen koordinatlarda açık şekli aşağıdaki gibidir:

$$\rho \left[\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right] = -\frac{\partial P}{\partial x} + \rho g_x + \mu \left[\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right] \quad (1.17a)$$

$$\rho \left[\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} \right] = -\frac{\partial P}{\partial y} + \rho g_y + \mu \left[\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right] \quad (1.17b)$$

$$\rho \left[\frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} \right] = -\frac{\partial P}{\partial z} + \rho g_z + \mu \left[\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right] \quad (1.17c)$$

1.6.3.1.5. Herhangi Bir Büyüklüğün Adveksiyon-Difüzyon Denklemi

Akış problemlerinde adveksiyonun yanında mutlaka difüzyon olayı da gerçekleşir. Bu bağlamda sıkıştırılamaz akışlar için herhangi bir büyüklüğün integral yapıda adveksiyon-difüzyon denklemi,

$$\frac{d}{dt} \int_V \phi dV + \int_A \phi (\vec{V} \cdot \vec{n}) dA = \int_A \Gamma \vec{\nabla} \phi \cdot \vec{n} dA + \int_V Q dV \quad (1.18)$$

şeklindedir.

1.6.3.2. Türbülans ve Türbülans Modelleri

Mühendislik uygulamalarında karşılaşılan akışların çoğu türbülanslıdır. Türbülanslı akış aşağıda belirtilen özellikleriyle karakterize edilir (Aksu, 2011):

- Türbülanslı akışlar düzensizdirler ve bu durum türbülans problemlerinde istatistiksel yaklaşımı gerektirir.
- Türbülanslı akışlarda çok miktarda girdap adı verilen dönen akış bölgeleri vardır.
- Laminer akışta akışkan parçacıkları, yörünge çizgileri boyunca düzgün akar ve momentum ve enerji akım çizgileri arasında moleküler difüzyon ile iletilir. Türbülanslı akışta dönen girdaplar; kütle, momentum ve enerjiyi akışın diğer bölgelerine moleküler difüzyondan daha hızlı bir biçimde taşır.
- Türbülanslı akışlar üç boyutludur. Zaman ortalamalı hızlar iki koordinat eksenine bağlı bir fonksiyon olabilir fakat anlık hız çalkantıları üç boyutludur.
- Türbülanslı akış her zaman yüksek Reynolds sayılarında ortaya çıkar ve Reynolds sayısı arttıkça akıştaki düzensizlik artar.

Hesaplamalı akışkanlar dinamiğinde türbülanslı akışın simülasyonunda çeşitli tekniklerden yararlanılır. Bunlardan birisi Doğrudan Sayısal Simülasyon (Direct Numerical Simulation, DNS) tekniğinde türbülanslı akışın içerisinde yer alan türbülans girdaplarının tümünün simülasyonu gerçekleştirilir. Büyük Girdap Simülasyonu (Large Eddy Simulation, LES) tekniğinde ise türbülans girdaplarının büyük ölçekli daimi olmayan özellikleri çözülür. Bu arada küçük ölçekli ve yitirgen eğilimli türbülans girdapları ise modellenir. Bunların dışında daha basit bir yaklaşım olan türbülans modelleme tekniği ile türbülans girdapları modellenir.

Günümüzde farklı türbülans modelleri kullanılmaktadır ve bu türbülans modelleri kullanılan denklem takımı sayısına bağlı olarak cebirsel, tek denklemlilik, iki denklemlilik ve Reynolds gerilme modeller olmak üzere isimlendirilirler. Bu modellerin tümüne birden RANS (Reynolds-Averaged Navier-Stokes) denklem modelleri denir.

HAD'ın gemi inşaatı uygulamalarında genellikle iki denklemlilik modellerden $k-\varepsilon$ modelleri (Standard $k-\varepsilon$ model, Realizable $k-\varepsilon$ model, RNG $k-\varepsilon$ model) ve $k-\omega$ modelleri (Wilcox's $k-\omega$ model, Wilcox's modified $k-\omega$ model, SST $k-\omega$ model) kullanılmaktadır.

Yapılan çalışmada Gerçeklenebilir $k-\varepsilon$ Modeli (Realizable $k-\varepsilon$ Model) kullanılmıştır.

Shih vd. (1995) tarafından geliştirilen “Gerçeklenebilir $k-\varepsilon$ Modeli” (Realizable $k-\varepsilon$ Model), üç tane varyasyonu bulunan $k-\varepsilon$ modelinin en gelişmiş halidir. Standart $k-\varepsilon$ modelinden iki temel farklılığı vardır. İlki, model türbülans yitim oranı ε için yeni bir taşınma (transport) denklemi içermesidir. İkincisi, modelin kritik bir katsayısı olan C_μ , standart modeldeki gibi sabit alınmak yerine, ortalama akış ve türbülans özelliklerinin bir fonksiyonu olarak ifade edilmiştir. Bu, modelin normal gerilmelerde türbülansın fiziği ile uyumlu belli matematiksel sınırlamaları sağlamasını sağlar. Bir C_μ değişkeninin anlayışı, sınır tabakada deneysel veriler ile de uyumludur.

Shih vd. (1995) tarafından geliştirilmiş taşınma (transport) denklemleri şöyledir:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho k u_j) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k + G_b - \rho \varepsilon - Y_M + S_K \quad (1.19)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \varepsilon) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho \varepsilon u_j) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + \rho C_1 S_\varepsilon - \rho C_2 \frac{\varepsilon^2}{k + \sqrt{\nu \varepsilon}} + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} C_{3\varepsilon} G_b + S_\varepsilon \quad (1.20)$$

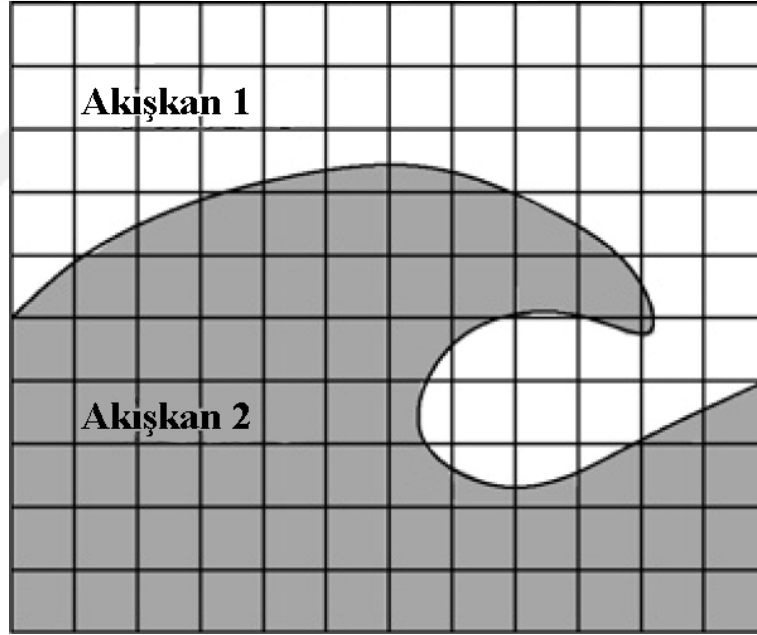
Bu denklemde G_k ortalama hız gradyenlerinden dolayı türbülans kinetik enerji üretimini, G_b sıcaklık farklarından dolayı oluşan yoğunluk değişimlerine bağlı olarak türbülans kinetik enerjisi üretimini, Y_M sıkışabilen türbülans çalkantılardaki genişlemenin bütün yayılmaya etkisini göstermektedir. S_K ve S_ε kullanıcı tarafından tanımlanan kaynak terimleridir.

“Gerçeklenebilir $k-\varepsilon$ Modeli” (Realizable $k-\varepsilon$ Model) ayrıntılı formülasyonu için Shih vd.’in (1995) makalesi ve kullanılan HAD programında yapılan standart kabuller için Star-CCM+ programının kullanıcı kılavuzu (CD-Adapco, 2014) incelenebilir.

1.6.3.3. Serbest Su Yüzeyinin Modellenmesi

RANS hesaplamalarında serbest su yüzeyini modelleyebilmek için iki temel yaklaşım vardır. İlk yaklaşım olan serbest yüzey izleme (free-surface tracking) metodunda çözüm ağı, serbest yüzeye uygulanır ve çözüm sürecince serbest yüzeyin hareketi izlenir. Diğer yaklaşım olan serbest yüzey yakalama (free-surface capturing) metodunda, sabit çözüm ağı kullanılır ve serbest yüzeyinin bu ağıdaki konumu bulunur.

Yüzey yakalama metodlarından Akışkan Hacmi Metodu (Volume of Fluid, VOF) ilk olarak Hirt ve Nichols (1981) tarafından geliştirilmiştir. VOF metodu dalga kırılmaları gibi yüksek derece lineer olmayan serbest yüzey problemlerinde doğru sonuçlar vermektedir. Ayrıca ağı üretiminde esneklik ve kolaylık sağladığından dolayı VOF metodu gemi dalga hesaplarında tercih edilmektedir.



Şekil 1.11. Serbest yüzey ağı yapısı (Gopala ve Wachem, 2008)

VOF metodunda momentum denklemi her iki akışkan için geçerli olabilecek bir biçimde yazılır. Sonuç olarak iki fazlı akışı tanımlayan Navier-Stokes denklemi aşağıdaki gibidir:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho^+ u_i) + u_j \frac{\partial(\rho^+ u_i)}{\partial x_j} = \rho^+ g_i - \frac{\partial P_i}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu^+ \left(\frac{\partial u_j}{\partial x_i} + \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right) \right] + f_i \quad (1.21)$$

Bu denklemde yer alan yoğunluk ve dinamik viskozite ifadeleri,

$$\rho^+ = c\rho_1 + (1-c)\rho_2 \quad (1.22)$$

$$\mu^+ = c\mu_1 + (1-c)\mu_2 \quad (1.23)$$

şeklindedir. Denklem (1.21)'de yer alan f_i kuvveti ise ara yüzeyi bir arada tutan kuvvet olarak tanımlanır. Denklem (1.22) ve (1.23)'teki c katsayısı ise çözüm ağı içerisinde her bir hücredeki birinci akışkan hacminin ikinci akışkan hacmine oranıdır. Böylece;

- $c = 0$ ise hücrenin tamamı akışkan 2 ile dolu,
- $c = 1$ ise hücrenin tamamı akışkan 1 ile dolu,
- $0 < c < 1$ ise ara yüzey,

olduğu anlaşılmaktadır (Şekil 1.11). VOF metodunda ara yüzeyin konumu (c katsayısının değerini) belirleyebilmek için geliştirilmiş denklem aşağıdaki gibidir.

$$\frac{\partial c}{\partial t} + \frac{\partial(cu_i)}{\partial x_i} = 0 \quad (1.24)$$

1.7. Gemi Direnci

Sakin bir su içerisinde hareket etmeden yüzen bir geminin, suya batan yüzeyine hidrostatik basınç kuvvetleri etki eder. Bu kuvvetlerin baş-kıç ve enine doğrultudaki bileşeni sıfır olup, düşey bileşeni ise su altı hacim merkezine etki eden gemi ağırlığına eşit bir kuvvettir. Gemi akışkan içerisinde belirli bir hızda hareket ettiğinde, tekne sualtı yüzeyine akışkanın oluşturduğu dinamik basınçlar etki eder. Geminin ileri doğru hareketi sırasında, akışkanın viskozitesi nedeniyle su altı yüzeyi üzerinde, viskozite etkisiyle gemi hareketine ters yönde etki eden yüzeye teğet kuvvetler oluşur. Böylece bir cismin akışkan içerisindeki hareketi sırasında, cismin yüzeyine akışkan basıncı ve viskozitesinin etkisi ile

kuvvetler etki eder ve cismin üzerinde akışkan etkisiyle oluşan bu kuvvetler, cisim yüzeyine dik ve teğet doğrultuda bileşenlere ayrılabilirler. Teğetsel bileşenler kesme kuvvetlerinden oluşur ve bunların yüzey boyunca entegrasyonu, yüzeye teğet yatay bir kuvvet verir ki, buna sürtünme direnci denir. Yüzeye dik kuvvetlerin hareket doğrultusundaki yatay bileşenine ise basınç direnci denir. Gemi yüzeyine dik ve teğetsel bu iki kuvvet birlikte, geminin toplam direncini oluşturur (Baykal ve Dikili, 2002).

Literatürdeki farklı görüşlere göre toplam direnci oluşturan bileşenler Şekil 1.12’de gösterilmiştir.

Toplam Direnç	R_T					
Toplam Direnç Bileşenleri	R_{F_0} (Rn)	R_{FF} (Rn)	R_{PV} (Rn)	R_{WB} (Fn)	R_{WP} (Fn)	R_S (Fn)
Direnci Oluşturan Kuvvetlere göre	R_F Yüzeye Teğet			R_P Yüzeye Dik		
Teorik Olarak Doğru Ayırım	$R_V=R_{F_0}(1+k)$ (Viskoz Kuvvetler) Reynolds Benzerliği			R_W+R_S (Ağırlık Kuvvetleri) Froude Benzerliği		
Froude'a göre Ayırım	R_{F_0} Levha Sürtünme Direnci		R_R Artık Direnç			

Şekil 1.12. Farklı görüşlere göre direnç bileşenleri (Baykal ve Dikili, 2002).

Şekil 1.12’de gösterilen farklı görüşlere göre belirlenen direnç bileşenleri aşağıda kısaca açıklanmıştır (Baykal ve Dikili, 2002).

Toplam Direnç (R_T): Gemi veya modelin su içerisinde belirli bir hızla hareketinde ölçülen sudan görmüş olduğu toplam direnç değeridir.

Levha Sürtünme Direnci (R_{F_0}): Klasik gemi teorisinde, bir geminin sürtünme direnci hesabında; su içine dalmış boyu, gemi boyuna; ıslak alanı gemi ıslak alanına eşit bir levhanın sürtünme direnci esas alınır. Bu durumdaki R_{F_0} direncine düz levha sürtünme direnci denir.

Gemi Sürtünme Direnci (R_F): Eğrisel gemi yüzeyi etrafındaki üç boyutlu akımda gerçek sürtünme direnci R_F , düzlemsel levha etrafındaki iki boyutlu akımda elde edilen R_{F_0} direncinden daha fazladır. Cismin şekline bağlı olarak R_{FF} şeklinde gösterilen bu fazlalık R_{F_0} ’ın belirli bir yüzdesi olarak ifade edilir.

Artık Direnç (R_R): Gemi toplam direncinden, sürtünme direncinin çıkarılması ile bulunan bu direnç; dalga direnci ile viskoz basınç direncinin toplamından oluşur.

Viskoz Direnç (R_V): Viskoz etkiler nedeniyle kullanılan enerji ile ilgili direnç bileşenidir. Sürtünme direnci ile viskoz basınç direncinin toplamı şeklinde ifade edildiği gibi, toplam dirençten dalga direncinin çıkarılması ile bulunan direnç bileşeni olarak da tanımlanabilir.

Basınç Direnci (R_P): Gemi yüzeyine dik olarak etki eden kuvvetlerin yüzey boyunca entegrali ile elde edilen direncin, hareket doğrultusundaki bileşenidir. Dalga yapma direnci, viskoz basınç direnci ve serpinti dirençlerinin toplamı basınç direncini oluşturur.

Viskoz Basınç Direnci (R_{PV}): Viskozite ve türbülans etkisi ile oluşan yüzeye dik normal gerilmelerin, yüzey boyunca entegrasyonu ile elde edilen direnç bileşenidir. Anafor direnci, kenar tabakanın ayrılmasının doğuracağı direnç ve sintine girdaplarının direnci gibi adlandırılan ek dirençlerinin toplamından oluşmaktadır. Direkt olarak ölçülmez; ancak tamamen su içinde batmış cisimlerde basınç direncine eşittir.

Dalga Yapma Direnci (R_W): Yüzey dalgalarını oluşturmak için harcanan enerji miktarı ile ilgili direnç bileşeni olup kısaca dalga direnci olarak bilinir.

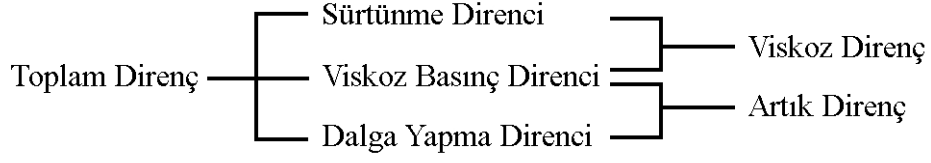
Dalga Ölçümü ile Bulunan Direnç (R_{WP}): Dalga yapma direncinden dalga kırılma direncinin çıkarılması ile bulunan direnç bileşenidir. Gemi veya modelde dalga ölçümleri ile bulunan dirençtir.

Dalga Kırılma Direnci (R_{WB}): Gemi tarafından oluşturulan dalgalar çok dik olduklarından kırılırlar. Bu nedenle özellikle gemi baş dalgasının kırılması ile oluşan dirence, dalga kırılma direnci denir.

Serpinti Direnci (R_S): Serpinti oluşturmak için gerekli enerji miktarı ile ilgili bu direnç bileşeni yüksek süratli teknelerde daha belirgin olarak görülür.

Ek Dirençler (R_A): Yukarıdakilere eklenen; takıntıların direnci (R_{AP}), pürüzlülük direnci (R_{AR}), hava ve rüzgar Direnci (R_{AA}), rota tutma direnci (R_{AS}), sıg su ve kanallarda direnç artışı (R_{ASW}) ve dalgalarda direnç artışı (R_{AW}) direnç bileşenleridir.

Su direncinin bileşenleri, şematik olarak Şekil 1.13'te gösterildiği gibi de tanımlanabilir.



Şekil 1.13. Su direncinin bileşenleri (Baykal ve Dikili, 2002)

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

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

$$R_T = R_F + R_{PV} + R_W \quad (1.25)$$

Toplam Direnç = Viskoz Direnç + Dalga Yapma Direnci

$$R_T = R_V + R_W \quad (1.26)$$

Toplam Direnç = Sürtünme Direnci + Artık Direnç

$$R_T = R_F + R_R \quad (1.27)$$

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

Gemilerin toplam dirençleri değişik yöntemlerle tespit edilebilmektedir. En iyi sonuç veren yaklaşım, model deneyleri kullanılarak yapılan toplam direnç tahminidir. Bilgisayar ve yazılım teknolojilerinin gelişmesi ile HAD yöntemleri kullanılarak da bu işlem

yapılabilmektedir. Ancak yine de sonuçların doğruluğunun kontrolü açısından HAD yöntemleri, model deneylerinden elde edilen sonuçlarla benzerlik göstermesi gerekmektedir.

1.7.1. Model Deneyleri Kullanarak Direnç Analizinin Yapılması

1.7.1.1. Froude Yöntemi ile Gemi Direncinin Hesabı

Bu yöntemde, toplam direncin; sürtünme direnci ve artık direnç şeklinde iki bileşenden oluştuğu varsayılır. Yöntemin temeli, model ile gemi aynı Froude sayılarında iken, model artık direncinin model deplasman kuvvetine oranının, gemi artık direncinin gemi deplasman kuvvetine oranına eşit olduğu varsayımına dayanır. Başka bir deyişle, eşit Froude sayılarında model ile geminin artık direnç katsayılarının eşit olduğu varsayılır (Baykal ve Dikili, 2002).

Model veya geminin sürtünme direnci, boyu model veya geminin su hattı boyuna eşit ve alanı model veya geminin ıslak yüzey alanına eşit olan düz bir levhanın sürtünme direncine eşit alınmaktadır. Model veya geminin sürtünme direnci katsayısı ise, ITTC-57 bağıntısı ile hesaplanmaktadır.

Aşağıda bu yöntem aracılığıyla, bir modelin direnç deneyinden elde edilen hız ve direnç değerlerinden yararlanılarak gemiye ilişkin hız ve direnç değerlerinin nasıl hesaplandığı açıklanmıştır:

Modelin Froude sayısı hesaplanır. Geminin Froude sayısı, modelin Froude sayısına eşit olarak alınır.

$$Fn_s = Fn_m \quad (1.28)$$

Modelin Reynolds sayısı hesaplanır.

$$Rn_m = \frac{V_m L_m}{\nu_m} \quad (1.29)$$

ITTC-57 bağıntısı ile model sürtünme direnci katsayısı hesaplanır.

$$C_{Fm} = \frac{0.075}{(\log(Rn_m) - 2)^2} \quad (1.30)$$

Model toplam direnç katsayısı hesaplanır.

$$C_{Tm} = \frac{R_{Tm}}{0.5\rho_m S_m V_m^2} \quad (1.31)$$

Model artık direnç katsayısı hesaplanır.

$$C_{Rm} = C_{Tm} - C_{Fm} \quad (1.32)$$

Gemi artık direnç katsayısının, model artık direnç katsayısına eşit olduğu varsayılır.

$$\frac{R_{Rm}}{\Delta_m} = \frac{R_{Rs}}{\Delta_s} \quad (1.33)$$

$$C_{Rs} = C_{Rm} \quad (1.34)$$

Froude sayılarının eşitliğinden yararlanılarak, geminin karşıt hızı elde edilir.

$$V_s = V_m \sqrt{\alpha} \quad (1.35)$$

Geminin Reynolds sayısı hesaplanır.

$$Rn_s = \frac{V_s L_s}{\nu_s} \quad (1.36)$$

ITTC-57 bağıntısı ile geminin sürtünme direnci katsayısı hesaplanır.

$$C_{Fs} = \frac{0.075}{(\log(Rn_s) - 2)^2} \quad (1.37)$$

Gemi toplam direnç katsayısı elde edilir.

$$C_{Ts} = C_{Fs} + C_{Rs} \quad (1.38)$$

Gemi toplam direnci hesaplanır.

$$R_{Ts} = 0.5C_{Ts}\rho_s S_s V_s^2 \quad (1.39)$$

Modele ilişkin diğer direnç deneyleri de yukarıda açıklandığı gibi analiz edilerek, geminin direnç karakteristiği elde edilir.

1.7.1.2. Hughes Yöntemi ile Gemi Direncinin Hesabı

Bu yöntemde ise, toplam direncin; viskoz direnç ve dalga direnci olmak üzere iki bileşenden oluştuğu varsayılır. Viskoz direnç de sürtünme direnci ve form direnci olmak üzere iki bileşene ayrılır. Yöntemin temeli, model ve gemi aynı Froude sayısında iken, model dalga direncinin model deplasman kuvvetine oranının, gemi dalga direncinin gemi deplasman kuvvetine oranına eşit olduğu varsayımına dayanır. Bu durumda, karşıt hızlarda model ile geminin dalga direnci katsayıları birbirine eşit olur (Baykal ve Dikili, 2002).

Modelin viskoz direnci,

$$R_{Vm} = (1 + k) R_{Fm} \quad (1.40)$$

bağıntısı ile hesaplanır. Buradaki k, form faktörünü göstermektedir. k değerinin, Değiştirilmiş Hughes Yöntemi, Prohaska Yöntemi veya başka bir yöntem ile hesaplanması olanaklıdır. Yapılan çalışmada her model için form faktörü (k) değeri, Aydın'ın (2002) çalışmasındaki verilerden alınmıştır.

Hughes yöntemi ile bir modelin direnç deneyi sonucunda elde edilen hız ve direnç değerlerinden yararlanılarak gemiye ilişkin hız ve direnç değerlerinin nasıl hesaplandığı aşağıda açıklanmıştır.

Modelin Froude sayısı hesaplanır. Geminin Froude sayısı, modelin Froude sayısına eşit alınır.

$$Fn_s = Fn_m \quad (1.41)$$

Modelin Reynolds sayısı hesaplanır.

$$Rn_m = \frac{V_m L_m}{\nu_m} \quad (1.42)$$

Model sürtünme direnci katsayısı hesaplanır.

$$C_{Fm} = \frac{0.067}{(\log(Rn_m) - 2)^2} \quad (1.43)$$

Modelin form faktörü belirlenir. Geminin form faktörünün, modelin form faktörüne eşit olduğu yani ölçek etkisinin bulunmadığı varsayılır.

$$k_m = k_s = k \quad (1.44)$$

Modelin viskoz direnç katsayısı hesaplanır.

$$C_{Vm} = (1 + k) C_{Fm} \quad (1.45)$$

Modelin toplam direnç katsayısı hesaplanır.

$$C_{Tm} = \frac{R_{Tm}}{0.5 \rho_m S_m V_m^2} \quad (1.46)$$

Modelin dalga direnci katsayısı hesaplanır.

$$C_{Wm} = C_{Tm} - C_{Vm} \quad (1.47)$$

Froude sayılarının eşitliğinden yararlanılarak, geminin karşıt hızı elde edilir.

$$V_s = V_m \sqrt{\alpha} \quad (1.48)$$

Geminin Reynolds sayısı hesaplanır.

$$Rn_s = \frac{V_s L_s}{\nu_s} \quad (1.49)$$

Gemi sürtünme direnci katsayısı hesaplanır.

$$C_{Fs} = \frac{0.067}{(\log(Rn_s) - 2)^2} \quad (1.50)$$

Geminin viskoz direnç katsayısı elde edilir.

$$C_{Vs} = (1 + k) C_{Fs} \quad (1.51)$$

Geminin karşıt hızdaki dalga direnci katsayısının, modelin dalga direnci katsayısına eşit olduğu varsayılır.

$$\frac{R_{Wm}}{\Delta_m} = \frac{R_{Ws}}{\Delta_s} \quad (1.52)$$

$$C_{Ws} = C_{Wm} \quad (1.53)$$

Gemi toplam direnç katsayısı elde edilir.

$$C_{Ts} = C_{Vs} + C_{Ws} \quad (1.54)$$

Gemi toplam direnci hesaplanır.

$$R_{Ts} = 0.5 C_{Ts} \rho_s S_s V_s^2 \quad (1.55)$$

Modele ilişkin diğer direnç deneyleri de yukarıda açıklandığı gibi analiz edilerek, geminin direnç karakteristiği elde edilir.

1.7.2. HAD Yöntemi Kullanılarak Direnç Analizinin Yapılması

Star-CCM+ yazılımı yüzey üzerinde hesaplan toplam kuvveti; dik kuvvetler ve teğet kuvvetler ya da başka bir deyişle basınç kuvveti (pressure) ve sürtünme kuvveti (shear) olarak ikiye ayırmaktadır.

$$f = \sum_f (f_f^{basinç} + f_f^{sürtünme}) \cdot n_f \quad (1.56)$$

Burada $f_f^{basinç}$ ve $f_f^{sürtünme}$ çözüm ağı eleman yüzeyi üzerinde hesaplanan yüzeye dik (basınç) ve yüzeye teğet (sürtünme) kuvvet vektörleridir. n_f ise hesaplanması istenen kuvvetin yönünü belirten kullanıcı tarafından tanımlanan yön vektörüdür.

$$f_f^{basinç} = (p_f - p_{ref}) \cdot a_f \quad (1.57)$$

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

$$f_f^{sürtünme} = -T_f \cdot a_f \quad (1.58)$$

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

Denklem (1.25) eşitliğinden bilindiği gibi toplam direnç kuvvetindeki bileşenler; sürtünme direnci, viskoz basınç direnci ve dalga direnci olarak ayrılabilir. Viskoz basınç direnci ve dalga direnci bileşenlerinin her ikisinin basınç kaynaklı olduğu bilinmektedir. HAD programları basınç kuvvetini hesaplarken kendi içinde viskoz basınç direnci ile dalga direncini birbirinden ayıramamaktadır. Viskoz basınç direncinin ayrı olarak hesaplanabilmesi için tekne modelinin su çekimi altında kalan yüzeyi modellenip

(çift-model), sadece sıvı akışkanından gelen kuvvetler hesaplanırsa elde edilen basınç kuvveti viskoz basınç direncini verir. Serbest yüzeyli modelde hesaplanan basınç kuvveti değerinden çift-model için hesaplanan basınç kuvveti değerinin çıkarılması ile dalga direnci de bulunabilir.

VOF modeli kullanılarak elde edilen çözümde hücrelerdeki fazların son halini almasıyla dalga deformasyonları elde edilmekte ve bu deformasyona bağlı olarak gemi yüzeyindeki basınç dağılımı değişmektedir. Viskoz akım çözüldüğünden bu basınç dağılışı viskoz basınç etkisini de içermektedir. Böylece, kullanılan HAD programından elde edilen sonuç, toplam direnç değerini vermektedir.

1.8. Literatürde Benzer Çalışmalar

Literatürde yapılan HAD çalışmaları genelde deney sonuçları ile paket program sonuçlarının karşılaştırılması şeklinde olurken, bu çalışmada deney sonuçları ile paket program çıktıları karşılaştırılmış olup benzeşim kurularak deney sonuçları olmayan gemi formlarının direnç analizleri yapılmıştır. Literatürde, yapılan çalışmaya benzer hem yumrubaş hem de HAD uygulamaları kısaca şöyledir.

Lee ve Sarath (2005) tarafından, 12500 TEU'luk bir konteyner gemisi için değişik formlarda yumrubaş tasarımları yapılmış ve HAD yardımı ile optimum yumrubaş ölçüleri belirlenmeye çalışılmıştır.

Özdemir (2007) yumrubaşsız bir gemi etrafındaki akışı, HAD paket programı FLUENT ile VOF modelini kullanarak incelemiş ve elde ettiği sonuçlar ile deneysel sonuçları karşılaştırmıştır. Viskoz basınç direncini hesaplamak için kullandığı $k-\varepsilon$ ve $k-\omega$ türbülans modellerinin deney sonuçları ile uyumlu olduğunu ve toplam direnci tahmin etmede ise $k-\omega$ modelinin daha başarılı olduğunu belirtmiştir.

Perez vd. (2007) tarafından, B-Spline eğrileri yardımıyla sistematik yumrubaş formları oluşturulmuş ve yumrubaş tasarımında kullanılan dizayn parametrelerinin optimum yumrubaş ölçülerini elde etmek için ne kadar etkili oldukları araştırılmıştır.

Mehdiyev (2009) Star-CCM+ HAD yazılımında SST $k-\omega$ türbülans modelini kullanarak 35 metre boyundaki yüksek hızlı kayıcı bir tekne etrafındaki akışı, VOF metodu ile farklı seyir hızları için incelemiştir. Deplasman hacmi sabit tutulmak üzere boy ve genişlik oranları değiştirilerek ana teknedan türetilen 2 farklı teknenin de HAD analizleri

yapılarak, 3 tekne arasında toplam direnç değerleri karşılaştırılıp, hangi formun daha uygun olduğu tespit edilmeye çalışılmıştır.

Yılmaz (2009) yumrubaşı bir LNG tankerinin etrafındaki akışı tek bir hız değeri için, HAD paket programı Ansys CFX V10 ile $k-\varepsilon$ türbülans modelini kullanarak incelemiştir. Elinde deney verisi bulunmadığı için elde ettiği toplam direnç değerini, Maxsurf HullSpeed programında elde ettiği sonuçla karşılaştırmış ve yaptığı hesabın doğruluğuna hükmetmiştir. Ayrıca, yumrubaşın etkinliği için farklı büyüklükteki yumrubaşlarla analizlerin yapılıp, toplam direnç sonuçlarının karşılaştırılması ile, optimum yumrubaş tasarımının yapılabileceği vurgulanmıştır.

Kocaman (2010) KRISO KVLCC2 ticari tanker formunu örnek alıp, bu forma bağlı olarak 3 adet değişik boyutlarda gemi formunu sistematik analiz yöntemi ile oluşturmuştur. Oluşturulan bu formların HAD analizleri FLUENT paket programı ile yapılmış ve direnç açısından en iyi gemi formu bulunmaya çalışılmıştır. Geminin sadece draftın altında kalan kısmı ele alındığı için sadece sürtünme ve basınç direnci hesaplanmış, dalga direnci hesaplanamadığı için toplam direnç hakkında bir beyanda bulunulmamıştır.

Aksu (2011) Wigley teknesinin 5 farklı Froude sayısındaki toplam direncini, Ansys CFX HAD paket programında, $k-\varepsilon$ türbülans modelini kullanarak incelemiş ve bulduğu sonuçları deney verileri ile karşılaştırmıştır.

Xie ve Xia (2011) derin V deplasman tipi formların dirençlerini etkileyen faktörleri incelemek için 8 tekne formunu, RNG türbülans modeli RANS denklemleri ve VOF metodu ile incelemişlerdir. Toplam direnç, basınç dağılımı ve baş dalga profili sunulmuştur. Puro biçimli yumrubaş formunun, bu tip teknelerin direnç değerlerini daha fazla iyileştirdiği tespit edilmiştir.

Demirel (2012) tezinin uygulama bölümünde, Star-CCM+ HAD programında, SST $k-\omega$ türbülans modelini kullanarak, düz bir plakanın deney havuzundaki çekme deneylerinin modellenmesini yapmış ve elde ettiği sonuçlarla deney verilerini karşılaştırmıştır.

Huang vd. (2012) örnek olarak ele aldıkları 7000 TEU'luk bir konteyner gemisinde yumrubaş için optimum kalıp hatlarının dizaynı konusunda çalışmışlardır. Seçilen yumrubaş parametreleri doğrultusunda, 7 farklı kalıp hattı üretilmiş ve HAD yardımı ile gemi direncini ve gemi hareketlerinden oluşan dalga profilini hesaplamışlardır. Minimum direnci elde etmek için kalıp hatlarının optimum geometrik parametrelerini elde etmişlerdir.

Sarasquete vd. (2012) tarafından, hidrodinamik açıdan iyileştirilmek için, HAD analizi ile 36 metre boyunda bir balıkçı gemisinin yumrubaşı form optimizasyonu yapılmıştır. HAD hesaplamaları ile elde edilen sonuçlar, yapılan model direnç deneyi verileri ile karşılaştırılmıştır.

Usta (2012) yüzey pürüzlülük özellikleri birbirinden farklı olan 5 adet alüminyum levhanın 9 farklı hız değerinde direnç deneylerini yapmıştır. Star-CCM+ HAD programında, VOF yönteminde, $k-\varepsilon$ ($k-\varepsilon$ two layer all y^+ wall treatment) türbülans modeli kullanılarak, direnç deneylerinin modellenmesi yapıp, elde edilen sonuçlarla deney verileri karşılaştırılmıştır.

Yasa (2013) daha önce yapılmış olan Türk Tipi Balıkçı Teknesi İÇTAG I243 projesindeki 33.7 m boyundaki balıkçı gemisi formuna Delta (Δ), Dairesel-Eliptik (O) ve Nabla (∇) tipi yumrubaşlardan her birinden 9'ar adet olmak üzere Kracht (1978) yöntemine benzer bir şekilde toplam 36 farklı yumrubaş uygulaması yaparak, Maxsurf programı bileşenleri ile bu formların direnç, stabilite ve denizcilik hesaplarını yapmıştır. Formların toplam direnç değerleri, Maxsurf programının HullSpeed modülündeki Holtrop Mennen yöntemi kullanılarak bulunmuştur. Yapılan yumrubaş optimizasyonu çalışmasında, 12 knot dizayn hızı için E-115 kodlu eliptik yumrubaşın direnç açısından en iyi sonucu verdiği, daha sonra dairesel formların geldiği belirtilmiştir. Daha iyi sonuçlar almak için çalışmanın HAD programları yardımıyla da yapılması gerektiği ifade edilmiştir.

Chrismianto ve Kim (2014) tarafından, kübik Bezier eğrisi ve eğri-düzlem kesişim yöntemleri kullanılarak, 4 dizayn parametresi temel alınıp, KRISO konteyner gemisi modeli için parametrik olarak yumrubaş dizaynı yapılmıştır. HAD çalışması ile elde edilen direnç değerleri, model verileri ile karşılaştırılıp, yapılan analizlerin doğrulukları teyit edilmiştir. Geliştirilen optimizasyon metodu, optimum yumrubaşı bulmak için kullanılmış ve optimum yumrubaşa bağlı olarak değişik Froude sayılarında HAD analizleri yapılarak, elde edilen sonuçlar birbirleriyle karşılaştırılmıştır.

Sukas (2014) tarafından, HAD yazılımı ANSYS Fluent programında $k-\varepsilon$ ($k-\varepsilon$, Realizable) türbülans modeli kullanılarak, bir adet Wigley teknesi ile yumrubaşa sahip modern bir deplasman tanker üzerinde analizler yapıp, elde edilen dalga direnci değerleri literatürde yer alan bazı çalışmalarla karşılaştırılmıştır.

Özdemir (2014) HAD analizi ile gerçekleştirilen çözümlerin sınırlarının tespit edilmesi amacıyla gemi direnci ve hareketlerini HAD ile incelemiş ve sonuçları deneysel verilerle karşılaştırmıştır. Daha önceden İTÜ Ata Nutku Gemi Model Deney

Laboratuvarı'nda FFG tipi M 367 model kodlu firkataynın takıntılı ve takıntısız durumların her biri için 16, toplam 32 hızda gerçekleştirilmiş model direnç deneyleri, Star-CCM+ programında, VOF serbest su yüzeyi modelinde, standart $k-\varepsilon$ türbülans modeli kullanılarak modellenmiştir. Elde edilen HAD hesaplama sonuçları ile deneysel veriler karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırmada HAD ile hesaplanan toplam direnç değerleri, deney verilerine göre; $0.1 < F_n < 0.2$ durumunda ortalama % 5, $0.2 < F_n < 0.3$ durumunda ortalama % 10, $0.3 < F_n < 0.4$ durumunda ortalama % 20 ve $0.4 < F_n$ durumunda ortalama % 24 farkla bulunmuştur. Deney sonuçları ile HAD analiz sonuçları arasındaki farkın duruma göre maksimum %20 olabileceği, daha fazla hata miktarına sahip HAD sonuçlarının ise literatürde kabul görmediği vurgulanmıştır.

1.9. Amaç

Türk Balıkçı Tekneleri, direnç ve sevk yönünden önemli sayılabilecek yetersizlikler içinde bulunmakta ve de bundan dolayı normalde gerekenden daha güçlü makineler ile donatılmaktadırlar. Ancak tekne formlarının elverişsizliği nedeni ile istenilen hıza ulaşamamakta ve elde bilimsel bir veri olmadığından dolayı balıkçı teknelerine gelişigüzel, deneme yanılma yoluyla yumrubaş eklemeleri yapılmakta ama yine de istenilen sürata erişilememektedir.

Yapılan çalışmanın birincil amacı; balıkçı gemilerine yumrubaş ekleme uygulamalarında bilimsel referans oluşturmaktır. Ana amaç ise; balıkçı gemilerinde hangi tip yumrubaşın toplam direnci düşürmek için daha etkin olacağını tespit etmektir.

İTÜ Balıkçı Gemileri Serisi tekne formlarından 148/3, 148/4, 148/8 ve 148/9 kodlu balıkçı gemilerine delta, nabla ve eliptik tipi yumrubaş eklemesi yapılmıştır. İlk önce, belirlenen F_n değerlerinde 4 ana formun HAD analizleri Gerçeklenebilir $k-\varepsilon$ Modeli (Realizable $k-\varepsilon$ Model) ve VOF metodu kullanılarak yapılmış, elde edilen hesaplama sonuçları deney verileri ile karşılaştırılarak birbirleriyle uyumluluğu kontrol edilmiştir. Böylece, deney verileri olmayan yumrubaşlı tekne formlarının HAD analizlerinde kullanılacak yöntem ve referans değerler belirlenmiştir. Sonra, oluşturulan yumrubaşlı formların HAD analizleri yapılarak elde edilen sürtünme direnci, basınç direnci ve toplam direnç değerleri, yumrubaşsız formlarinkilerle karşılaştırılarak, hangi tip yumrubaşın hangi blok katsayısı, gemi boyu ve hızda daha etkin olduğu tespit edilmiştir. Böylece yapılan çalışmanın ana amacına ulaşılmıştır.

Yapılan çalışma referans alındığında, istenilen boyda ve blok katsayısında uygun yumrubaşa sahip tekne formları imal edilip, balıkçı gemilerinde hız artışı sağlanarak, makine gücü ihtiyacındaki azalmayla birlikte yakıt tüketimi de azaltılacaktır.



2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Yapılan çalışmalar bölümünde ilk önce, yapılan çalışmada incelenecek olan balıkçı gemisi formlarının model deneylerinden Froude ve Hughes yöntemleri ile gemi dirençleri bulunmuştur. Sonra, yumrubaşı formların tasarımları yapılmıştır. Daha sonra, kullanılan HAD programı içinde yapılan; formların programa dâhil edilmesi, hesaplama hacimlerinin (domain) belirlenmesi, sınır şartlarının belirlenmesi, ağ (mesh) yapısının oluşturulması, fiziksel modellerin belirlenmesi, başlangıç koşullarının girilmesi, çözücünün (solvers) özellikleri ve analizlerin nasıl sonuçlandırılıp değerlendirildiği anlatılmıştır.

2.1. Gemi Dirençlerinin Froude ve Hughes Yöntemi ile Hesaplanması

Tablo 2.1'deki 148/3B, 148/4B, 148/8B ve 148/9B modellerine ait direnç deneyi verileri sırasıyla Ek Tablo 1, Ek Tablo 2, Ek Tablo 3 ve Ek Tablo 4'ten GetData programı yardımıyla elde edilmiştir.

Tablo 2.1. Model direnç deneyi verileri

148/3B		148/4B		148/8B		148/9B	
V_m [m/s]	R_{Tm} [kg]	V_m [m/s]	R_{Tm} [kg]	V_m [m/s]	R_{Tm} [kg]	V_m [m/s]	R_{Tm} [kg]
0.25	0.0305	0.25	0.0330	0.25	0.0355	0.25	0.0365
0.50	0.1065	0.50	0.1150	0.50	0.1210	0.50	0.1260
0.75	0.2310	0.75	0.2575	0.75	0.2600	0.75	0.2695
1.00	0.4150	1.00	0.5000	1.00	0.4640	1.00	0.4950
1.25	0.6605	1.25	0.9850	1.30	0.7950	1.30	1.0250
1.50	1.1150	1.50	1.8700	1.60	1.3125	1.60	1.9000
1.70	2.2360	1.70	3.4500	2.00	3.0500	1.95	4.0000

Modellere ait bilgiler ve deney koşulları Tablo 2.2'de ve deney havuz suyu özellikleri ile hesaplamalarda kullanılan deniz suyunun özellikleri Tablo 2.3'te verilmiştir.

Tablo 2.2. Model bilgileri ve deney koşulları (Kafalı vd., 1979).

Model No		148/3B	148/4B	148/8B	148/9B
Deney Tarihi		10.4.1978	26.4.1978	16.10.1978	8.11.1978
Geometrik Benzerlik Oranı	α	10	10	10	10
Su Hattı Boyu	L_{WL} [m]	2.000	2.000	2.857	2.857
Dikmeler Arası Boy	L_{PP} [m]	2.000	2.000	2.857	2.857
Su Çekimi (Draft)	T [m]	0.229	0.229	0.229	0.229
Islak Yüzey Alanı	S [m ²]	1.250	1.341	1.794	1.908
Deplasman Kuvveti	Δ_m [kN]	1.039	1.272	1.478	1.803
Havuz Suyu Sıcaklığı	t [°C]	16.00	16.00	18.00	16.50
Form Faktörü	k	0.518	0.554	0.281	0.296
Pürüzlülük		Yok			
Takıntılar		Yok			
Türbülans Yapıcı		9½ Postada, 2 mm çaplı tel			
Trim		Yok			

Tablo 2.3. Tatlı su ve deniz suyunun özellikleri (ITTC, 2011).

		Tatlı Su	Tatlı Su	Tatlı Su	Deniz Suyu
Sıcaklık (t)	[°C]	16.0	16.5	18.0	15.0
Kütleli Yoğunluk (ρ)	[kg/m ³]	998.9461	998.8634	998.5986	1026.0210
Kinematik Viskozite (ν)	[m ² /s]	1.1093E-06	1.0950E-06	1.0542E-06	1.1892E-06
Dinamik Viskozite (μ)	[Pa.s]	0.001108	0.001094	0.001053	0.001220

Froude yöntemi ile hesaplanan 148/3, 148/4, 148/8 ve 148/9 kodlu gemilerin toplam direnç değerleri Tablo 2.4'te verilmiştir.

Tablo 2.4. Froude yöntemi ile elde edilmiş toplam direnç değerleri

148/3		148/4		148/8		148/9	
Fn	R_{Ts} [kN]	Fn	R_{Ts} [kN]	Fn	R_{Ts} [kN]	Fn	R_{Ts} [kN]
0.056	0.1966	0.056	0.2166	0.047	0.2186	0.047	0.2170
0.113	0.7126	0.113	0.7720	0.094	0.7627	0.094	0.7752
0.169	1.6039	0.169	1.8182	0.142	1.6997	0.142	1.7191
0.226	2.9919	0.226	3.7615	0.189	3.1587	0.189	3.3454
0.282	4.9033	0.282	8.0444	0.246	5.6142	0.246	7.7329
0.339	8.8286	0.339	16.2584	0.302	9.7795	0.302	15.4127
0.384	19.5344	0.384	31.5449	0.378	25.6370	0.368	35.0224

Hughes yöntemi ile hesaplanan 148/3, 148/4, 148/8 ve 148/9 kodlu gemilerin toplam direnç değerleri Tablo 2.5'te verilmiştir.

Tablo 2.5. Hughes yöntemi ile elde edilmiş toplam direnç değerleri

148/3		148/4		148/8		148/9	
Fn	R _{Ts} [kN]	Fn	R _{Ts} [kN]	Fn	R _{Ts} [kN]	Fn	R _{Ts} [kN]
0.056	0.1572	0.056	0.1705	0.047	0.1985	0.047	0.1932
0.113	0.5844	0.113	0.6220	0.094	0.6969	0.094	0.6972
0.169	1.3465	0.169	1.5171	0.142	1.5669	0.142	1.5621
0.226	2.5688	0.226	3.2666	0.189	2.9398	0.189	3.0866
0.282	4.2803	0.282	7.3157	0.246	5.2683	0.246	7.3240
0.339	7.9732	0.339	15.2579	0.302	9.2822	0.302	14.8248
0.384	18.4706	0.384	30.3005	0.378	24.9015	0.368	34.1909

Froude ve Hughes yöntemleri ile elde edilmiş gemi toplam direnç değerlerinin karşılaştırılması yapılmış ve Froude'a göre fark yüzdeleri Tablo 2.6'da verilmiştir.

Tablo 2.6. Her iki yöntemle elde edilmiş toplam direnç değerlerinin Froude'a göre fark yüzdeleri

148/3		148/4		148/8		148/9	
Fn	%	Fn	%	Fn	%	Fn	%
0.056	-20.04	0.056	-21.27	0.047	-9.19	0.047	-10.95
0.113	-17.99	0.113	-19.43	0.094	-8.64	0.094	-10.06
0.169	-16.05	0.169	-16.56	0.142	-7.81	0.142	-9.14
0.226	-14.14	0.226	-13.16	0.189	-6.93	0.189	-7.74
0.282	-12.71	0.282	-9.06	0.246	-6.16	0.246	-5.29
0.339	-9.69	0.339	-6.15	0.302	-5.09	0.302	-3.81
0.384	-5.45	0.384	-3.94	0.378	-2.87	0.368	-2.37

2.2. Formların Oluşturulması ve Yumrubaş Formlarının Eklenmesi

Balıkçı gemilerinin ana formlarının endaze planları, Aydın'ın (2002) oluşturmuş olduğu "Türetme.xls" isimli programın ürettiği AutoCAD senaryo (script) dosyaları ile çizilmiştir. 148/3, 148/4, 148/8 ve 148/9 kodlu balıkçı gemilerinin endaze planları sırasıyla Ek Şekil 5, Ek Şekil 9, Ek Şekil 13 ve Ek Şekil 17'de verilmiştir. Öncelikle, endaze

planlarının yardımıyla gemiler AutoCAD programında çizgisel olarak üç boyutlu hale getirilmiştir. Sonra, çizgisel üç boyutlu formlar RhinoCeros programında yüzeylerle kaplanarak, 148/3, 148/4, 148/8 ve 148/9 kodlu gemilerin üç boyutlu formları oluşturulmuştur.

Yumrubaşlı tekne formları oluşturulurken bazı hususlara dikkat edilmiştir. Yumrubaş eklenirken ana formların batok ve su hatları olabildiğince korunmuştur. Yumrubaş formları eklenirken ana formların sadece baş kısmında işlem yapılmıştır. Tekne formlarının doğal olarak sahip olduğu omurga kalkım açısı korunmuştur. Ana formların baş bodoslama profilleri dizayn su hatlarına kadar hiçbir şekilde değiştirilmemiştir. Yumrubaşların efektif entegrasyonu açısından ve giriş açısını ayarlayabilmek maksadıyla, baş kısım su hatlarında daraltmalar veya genişletmeler yapılmıştır.

Yapılan çalışmada sadece yumrubaşın dirence olan etkisi incelendiğinden; teknenin ayna kığı, tekne ortası, skeg gibi takıntılarının dirence etki eden parametreleri değiştirilmemiştir. Böylece, sadece yumrubaş formunun dirence olan etkileri karşılaştırılabilecek ve en uygun yumrubaş formu seçilebilecektir.

Söylemez (1983), 148/1A modelinde yaptığı yumrubaş uygulamalarında en etkin yumrubaşın A_2 olduğunu belirtmiştir ve A_2 yumrubaşının maksimum genişliğini denklem (2.1a) ile baş dikeye olan maksimum uzunluğunu ise denklem (2.1b) ile vermiştir.

$$\frac{b}{B} = \frac{C_B}{3.5} \quad (2.1a)$$

$$\frac{l}{b} = 1.2 \quad (2.1b)$$

148/3, 148/4, 148/8 ve 148/9 kodlu gemilerin yumrubaşlarının maksimum genişlikleri denklem (2.1a) ile maksimum uzunlukları ise denklem (2.1b) ile hesaplanmış olup, 148/8 ve 148/9 kodlu gemilerin maksimum yumrubaş uzunlukları 1.4285 (28.57/20.00) boy düzeltme katsayısı ile çarpılarak elde edilen değerler Tablo 2.7'de verilmiştir.

Tablo 2.7. Yumrubaşların maksimum genişlikleri ve uzunlukları

		148/3	148/4	148/8	148/9
Maksimum yumrubaş genişliği [mm]	b	663	810	660	805
Maksimum yumrubaş uzunluğu [mm]	l	795	972	1131	1380

Tablo 2.7’de verilen maksimum yumrubaş genişliğine ve uzunluğuna göre her balıkçı gemisi formu için delta, nabla ve eliptik yumrubaş formları tasarlanmış ve RhinoCeros programında üç boyutlu olarak modellenmiştir. Tasarlanıp modellenen yumrubaş formlarının ana gövdeye uyumluluğunu denetlemek için her gemide en kesit, su hattı, profil ve batok hatlarının kontrolü yapılmış ve gövde formuyla uyumsuzluk gösteren kısımlar düzeltilmiştir.

İncelemelerin ve karşılaştırmaların daha kolay yapılabilmesi ve izlenebilmesi amacıyla oluşturulan yumrubaşlı tekne formları isimlendirilmiştir. 148/3 kodlu balıkçı gemisinin delta yumrubaşlı formu 148/3-D, nabla yumrubaşlı formu 148/3-N, eliptik yumrubaşlı formu 148/3-E; 148/4 kodlu balıkçı gemisinin delta yumrubaşlı formu 148/4-D, nabla yumrubaşlı formu 148/4-N, eliptik yumrubaşlı formu 148/4-E; 148/8 kodlu balıkçı gemisinin delta yumrubaşlı formu 148/8-D, nabla yumrubaşlı formu 148/8-N, eliptik yumrubaşlı formu 148/8-E; 148/9 kodlu balıkçı gemisinin delta yumrubaşlı formu 148/9-D, nabla yumrubaşlı formu 148/9-N, eliptik yumrubaşlı formu 149/3-E olarak adlandırılmıştır.

2.2.1. Delta Yumrubaşlı Formlar

148/3-D, 148/4-D, 148/8-D ve 148/9-D kodlu balıkçı gemilerinin delta yumrubaş planları sırasıyla Ek Şekil 6, Ek Şekil 10, Ek Şekil 14 ve Ek Şekil 18’de gösterilmiştir.

Oluşturulan delta tipli yumrubaşların baş dikeydeki genişliklerinin ve baş dikeyden olan uzunluklarının Tablo 2.7’deki maksimum genişliklere ve uzunluklara göre boyutsuzlaştırılmış ofset değerleri draftın yüzdesi olarak Tablo 2.8’de verilmiştir.

Tablo 2.8. Delta tipi yumrubaşların baş dikeydeki genişlik ve baş dikeyden olan uzunluklarının maksimum yumrubaş genişliğine ve uzunluğuna göre boyutsuzlaştırılmış ofset değerleri

		0.0 T	0.1 T	0.2 T	0.3 T	0.4 T	0.5 T	0.6 T	0.7 T	0.8 T	0.9 T	1.0 T
148/3-D	b_i	0.100	0.667	0.960	1.020	0.947	0.809	0.622	0.398	0.211	0.115	0.100
	l_i	0.000	0.754	0.959	0.994	0.930	0.777	0.549	0.311	0.132	0.038	0.000
148/4-D	b_i	0.109	0.679	0.958	1.018	0.946	0.808	0.620	0.395	0.210	0.121	0.109
	l_i	0.000	0.780	0.959	0.987	0.930	0.784	0.550	0.306	0.132	0.040	0.000
148/8-D	b_i	0.100	0.667	0.961	1.022	0.946	0.807	0.622	0.397	0.212	0.115	0.100
	l_i	0.000	0.803	0.959	0.981	0.930	0.787	0.550	0.310	0.132	0.027	0.000
148/9-D	b_i	0.109	0.681	0.962	1.016	0.947	0.808	0.621	0.395	0.211	0.122	0.109
	l_i	0.000	0.837	0.959	0.974	0.930	0.799	0.550	0.294	0.132	0.046	0.000

2.2.2. Nabla Yumrubaşlı Formlar

148/3-N, 148/4-N, 148/8-N ve 148/9-N kodlu balıkçı gemilerinin nabla yumrubaş planları sırasıyla Ek Şekil 7, Ek Şekil 11, Ek Şekil 15 ve Ek Şekil 19'da gösterilmiştir.

Oluşturulan nabla tipli yumrubaşların baş dikeydeki genişliklerinin ve baş dikeyden olan uzunluklarının Tablo 2.7'deki maksimum genişliklere ve uzunluklara göre boyutsuzlaştırılmış ofset değerleri draftın yüzdesi olarak Tablo 2.9'da verilmiştir.

Tablo 2.9. Nabla tipi yumrubaşların baş dikeydeki genişlik ve baş dikeyden olan uzunluklarının maksimum yumrubaş genişliğine ve uzunluğuna göre boyutsuzlaştırılmış ofset değerleri

		0.0 T	0.1 T	0.2 T	0.3 T	0.4 T	0.5 T	0.6 T	0.7 T	0.8 T	0.9 T	1.0 T
148/3-N	b_i	-	0.100	0.275	0.447	0.622	0.797	0.947	1.023	0.960	0.667	0.100
	l_i	-	0.000	0.348	0.568	0.725	0.844	0.930	0.986	0.959	0.738	0.000
148/4-N	b_i	-	0.109	0.279	0.447	0.620	0.798	0.946	1.020	0.958	0.679	0.109
	l_i	-	0.000	0.341	0.565	0.728	0.847	0.930	0.980	0.959	0.775	0.000
148/8-N	b_i	-	0.100	0.276	0.446	0.622	0.798	0.946	1.025	0.961	0.667	0.100
	l_i	-	0.000	0.347	0.573	0.734	0.850	0.930	0.974	0.959	0.803	0.000
148/9-N	b_i	-	0.109	0.278	0.447	0.621	0.798	0.947	1.021	0.962	0.678	0.109
	l_i	-	0.000	0.344	0.574	0.737	0.852	0.930	0.972	0.959	0.837	0.000

2.2.3. Eliptik Yumrubaşı Formlar

148/3-E, 148/4-E, 148/8-E ve 148/9-E kodlu balıkçı gemilerinin eliptik yumrubaş planları sırasıyla Ek Şekil 8, Ek Şekil 12, Ek Şekil 16 ve Ek Şekil 20’de gösterilmiştir.

Oluşturulan eliptik tipli yumrubaşların baş dikeydeki genişliklerinin ve baş dikeyden olan uzunluklarının Tablo 2.7’deki maksimum genişliklere ve uzunluklara göre boyutsuzlaştırılmış ofset değerleri draftın yüzdesi olarak Tablo 2.10’da verilmiştir.

Tablo 2.10. Eliptik tipi yumrubaşların baş dikeydeki genişlik ve baş dikeyden olan uzunluklarının maksimum yumrubaş genişliğine ve uzunluğuna göre boyutsuzlaştırılmış ofset değerleri

		0.0 T	0.1 T	0.2 T	0.3 T	0.4 T	0.5 T	0.6 T	0.7 T	0.8 T	0.9 T	1.0 T
148/3-E	b_i	0.100	0.428	0.679	0.854	0.960	0.996	0.960	0.854	0.679	0.428	0.100
	l_i	0.000	0.546	0.749	0.879	0.959	0.989	0.959	0.856	0.676	0.407	0.000
148/4-E	b_i	0.109	0.437	0.682	0.855	0.958	0.993	0.958	0.855	0.682	0.437	0.109
	l_i	0.000	0.536	0.745	0.879	0.959	0.988	0.959	0.864	0.695	0.431	0.000
148/8-E	b_i	0.100	0.431	0.679	0.855	0.961	0.995	0.961	0.855	0.679	0.431	0.100
	l_i	0.000	0.533	0.746	0.881	0.959	0.984	0.959	0.871	0.712	0.456	0.000
148/9-E	b_i	0.109	0.437	0.683	0.857	0.962	0.994	0.962	0.857	0.683	0.437	0.109
	l_i	0.000	0.547	0.760	0.889	0.959	0.981	0.959	0.884	0.741	0.499	0.000

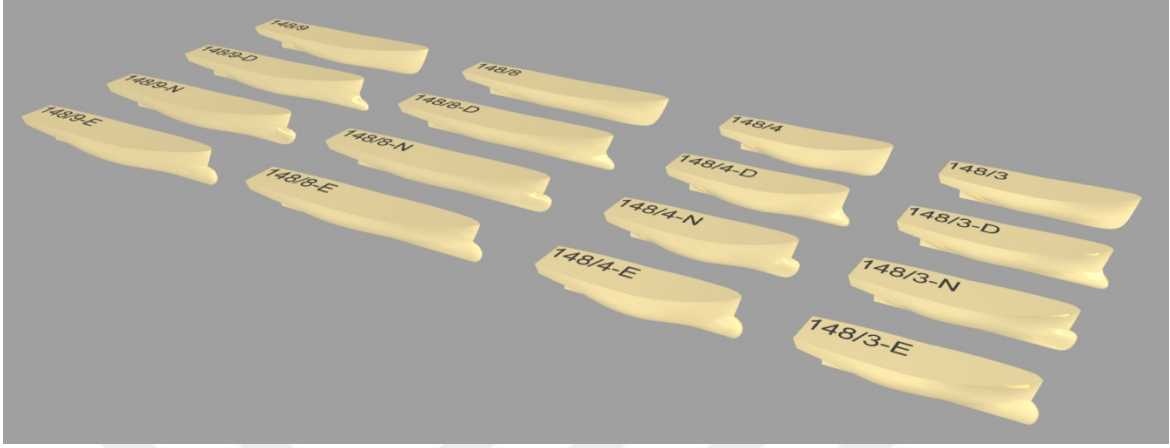
2.3. Analiz Dosyalarının Hazırlanması

İTÜ Balıkçı Gemileri Serisi formları; 66 mm veya 88 mm genişliğinde omurga hattına, kış omuzluklarda çeneye, ayna kış kısmında hem enine hem de boyuna kavisli yapıya, baş kısmında ise omurgadan güverteye doğru daralan bir baş bodoslama yapısı ile flareye ve dikkate değer bir şiyer formu ile karmaşık bir geometriye sahip olduğu için ağ örgüsü (mesh) oluşturma işleminin daha kolay yapılabildiği Star-CCM+ programı HAD hesaplamalarında tercih edilmiştir.

2.3.1. Formların Düzenlenmesi ve Programa Dâhil Edilmesi

RhinoCeros programında yüzeylerle kaplanarak modellenen tüm balıkçı gemisi formları Şekil 2.1’de gösterilmiştir. Formlar oluşturulurken gemi yüzeyinde düzgün bir ağ yapısı (mesh) elde ederek hesaplamalarda daha iyi sonuçların alınabilmesi için baş

bodoslamada yüklü su hattında nihayete eren 66 mm'lik ve 88 mm'lik omurga hatları güverteye kadar devam ettirilmiştir.



Şekil 2.1. Balıkçı gemilerinin üç boyutlu modelleri

RhinoCeros programında oluşturulan formlar igs formatında kaydedildikten sonra kullanılan HAD programının içine alınarak yüzey düzeltme işlemleri uygulanmıştır.

HAD programı içindeki yüzey düzenleme işlemleri sırasında daha uygun mesh yapısının elde edilebilmesi için kullanılan programın eğrisel gemi yüzeyini dikdörtgenselleştirmesi sonucu formların yüzey alanlarında değişimler meydana gelmiştir. Hesaplamalarda kullanılacak formların yüklü su hattı altında kalan nihai yüzey alanlarının yüzölçümü Tablo 2.11'de verilmiştir.

Tablo 2.11. Yüklü su hattı altında kalan nihai yüzey alanlarının yüzölçümü

Gemi Kodu	S_w [m ²]	Gemi Kodu	S_w [m ²]	Gemi Kodu	S_w [m ²]	Gemi Kodu	S_w [m ²]
148/3	128.909	148/4	136.934	148/8	182.135	148/9	192.615
148/3-D	135.329	148/4-D	143.939	148/8-D	191.283	148/9-D	202.640
148/3-N	134.995	148/4-N	143.600	148/8-N	190.836	148/9-N	202.227
148/3-E	135.562	148/4-E	144.268	148/8-E	191.617	148/9-E	203.117

2.3.2. Hesaplama Hacminin (Domain) Belirlenmesi

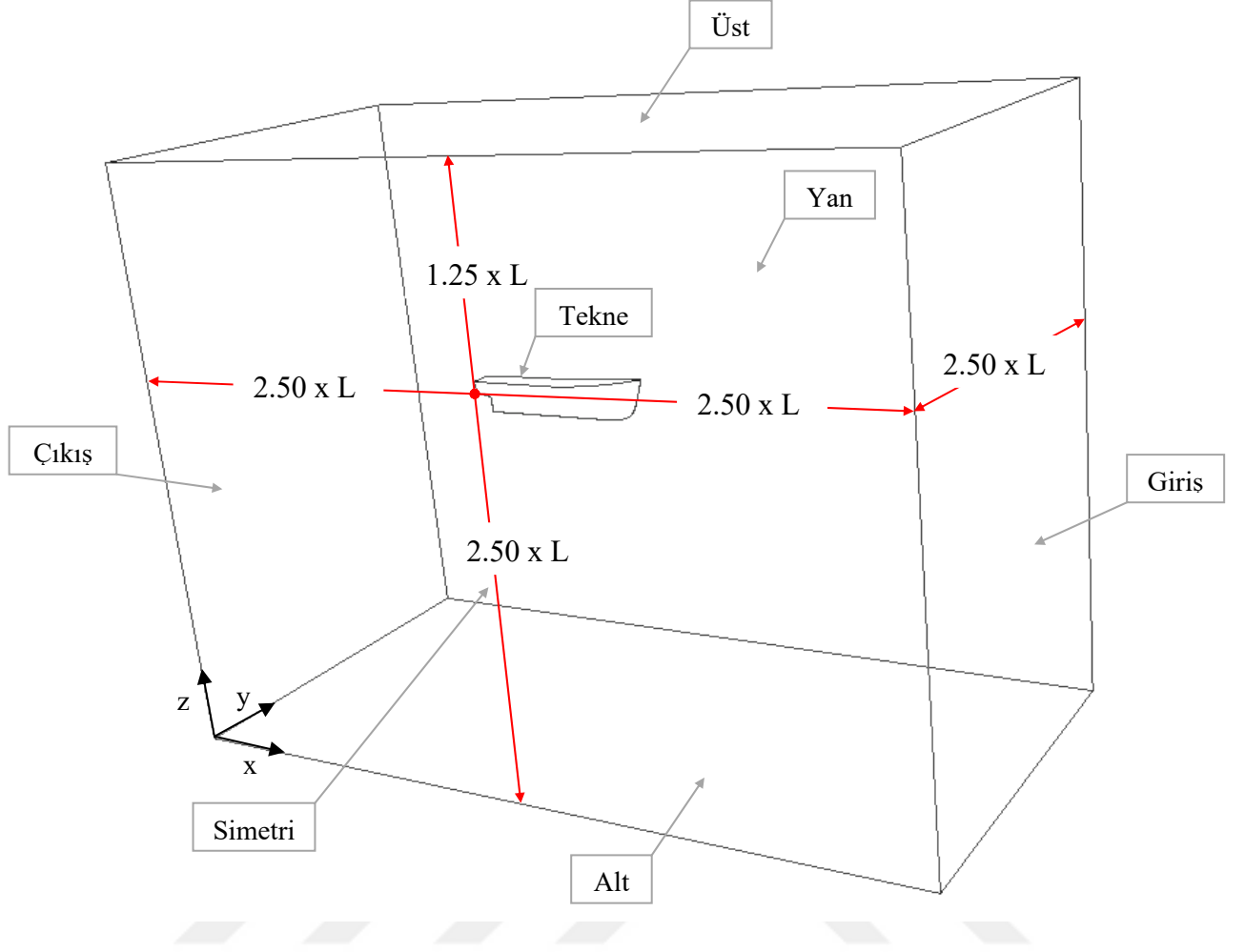
Hesaplama hacminin boyutlarının belirlenmesi HAD analizlerinin en önemli adımlarındandır. Hesaplama hacmi belirlenirken gerekenden küçük hacim seçilmesi durumunda, çözüm sonucunda elde edilen değerler gerçeği yansıtmayacağı gibi gerekenden daha fazla hacim oluşturulduğunda ise ağ örgüsündeki (mesh) hacim elemanları ve düğüm noktaları artacağı için bilgisayarın çözüm süresi de uzayacaktır. Hem gerçeğe daha fazla yaklaşabilmek hem de çözüm süresini minimum düzeyde tutabilmek için hesaplama hacminin optimum boyutlara sahip olması gerekmektedir.

HAD analizlerinde hesaplama hacminin boyutları, problemin çeşidine göre literatürdeki çalışmalardan referans alınabileceği gibi paket programlarının uygulama kılavuzlarındaki önerilerden de belirlenebilir. Yapılan çalışmada hesaplama hacminin boyutları, kullanılan HAD programının kullanma kılavuzunda (CD-Adapco, 2014) gemi etrafındaki akış problemleri için önerilen boyutlar referans alınarak belirlenmiştir.

Gemi etrafındaki akışın simetrik olması nedeniyle, HAD analizlerinde genellikle çözüm süresini azaltmak için, tekne formları orta simetri düzleminden bölünerek bir parçasının analizlerde kullanımı yaygındır. Yapılan çalışmada da yarım model uygulaması benimsenerek hesaplama hacminin boyutları belirlenmiştir.

Her bir gemi için hesaplama hacminin boyutları, kıç kaimenin yüklü su hattı ile kesişme noktası referans kabul edilip, L dikeyler arası boy olmak üzere Şekil 2.2'de gösterildiği gibi; öne ve arkaya $2.50xL$, yana $2.50xL$, alta $2.50xL$ ve üste $1.25xL$ olmak üzere belirlenmiştir. Bu bağlamda 148/3 ve 148/4 kodlu gemilerde $100x50x75$ m, 148/8 ve 148/9 kodlu gemilerde $143x72x107$ m olan dikdörtgenler prizması şeklinde bir çözüm bölgesi (domain) oluşturulmuştur.

Hesaplama hacminde sınırları belirleyen dikdörtgenler prizmasının 6 yüzeyi Şekil 2.2'de gösterildiği gibi; Giriş, Çıkış, Üst, Alt, Simetri ve Yan olmak üzere adlandırılmıştır. Gemi formunu temsil eden yüzeyler ise Tekne olarak isimlendirilmiştir.



Şekil 2.2. Hesaplama hacminin boyutları ve yüzeylerin adları

2.3.3. Sınır Şartlarının Belirlenmesi

HAD analizlerinde problemlerin doğru bir şekilde çözülebilmesi için sınır şartlarının uygun şekilde belirlenmesi gerekmektedir. Oluşturulan hesaplama hacmi Şekil 2.2’de görüldüğü gibi çeşitli bölgelere ayrılarak her bir bölgenin sınır şartları ayarlanmıştır.

Şekil 2.2’de görülen hesaplama hacminde tekne formlarının ve sonlu hacmin sabit durduğu ve hacmin içinden bir akışın $-x$ yönünden geldiği varsayılmaktadır. Eksenlerden y yönü genişliği ve z yönü de derinliği temsil etmektedir. Model direnç deneylerinde olduğu gibi tekne formları x yönünde çekilmeyip, yapılan HAD simülasyonlarında formlar sabit kabul edilip, akış $-x$ yönünde gerçekleşmektedir.

Şekil 2.2’de Giriş, Çıkış, Üst, Alt, Simetri, Yan ve Tekne olarak adlandırılan bölgelerin sınır şartları Tablo 2.12’de verilmiştir.

Tablo 2.12. Sınır şartları

Sınır Adı	Sınır Şartı
Giriş	Hız Girişi (Velocity Inlet)
Çıkış	Basınç Çıkışı (Pressure Outlet)
Üst	Hız Girişi (Velocity Inlet)
Alt	Hız Girişi (Velocity Inlet)
Simetri	Simetri Eksenini (Symmetry Plane)
Yan	Hız Girişi (Velocity Inlet)
Tekne	Duvar (Wall)

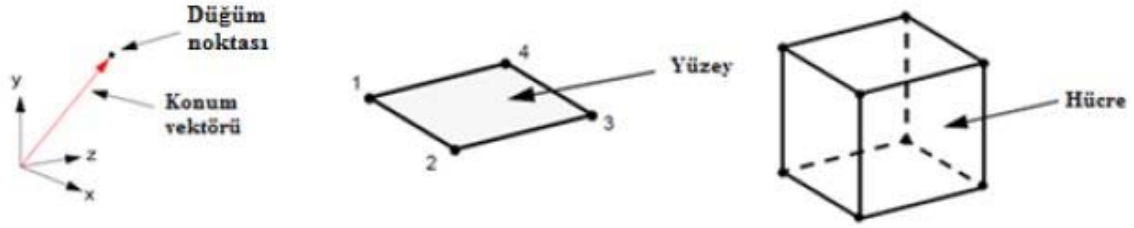
Giriş sınırında akış $-x$ yönünde hesaplama hacmine girdiği için hız girişi sınır şartı tanımlanmıştır. Üst, Alt ve Yan sınırlarda akış hızı, potansiyel akış hızına eşit olacağı için sınır şartı Giriş sınırına eş değer hız girişi sınır şartı verilmiştir. Hesaplama hacmi oluşturulurken yarım model uygulaması benimsendiği için Simetri sınırına simetri eksenini şartı, çözüm bölgesinin bir simetriğinin diğer tarafta olduğunu belirtmek için kullanılmıştır. Hesaplama hacminin içinde gerçekleşen olaylar sonucu Çıkış sınırında hız, basınç vb. değerler bilinmediği için sınır şartı basınç çıkışı olarak seçilmiştir. Balıkçı gemilerinin formlarını temsil eden Tekne sınırına duvar sınır şartı atanarak, gemi yüzeyinde akış hızı bileşenlerinin sıfır olduğu (kaymama/no-slip sınır şartı) kabul edilmiştir.

2.3.4. Ağ (Mesh) Yapısının Oluşturulması

Akışkan akışını yöneten diferansiyel denklemler, hesaplama hacminin bütünü için tek seferde analitik olarak çözülemediklerinden dolayı çözüm hacmi (domain) daha küçük alt hacimlere bölünür ve ayrıklaştırılmış denklemler her bir alt hacim için çözülür. Bu küçük alt hacimlere ağ (mesh) denir ve problemin cinsine göre iki boyutlu veya üç boyutlu olabilirler. İki boyutlu olanları üçgen veya dörtgen şeklindedir ve bunlara yüzey ağı denilmektedir. Üç boyutlu olanlar ise dört yüzeyle (tetrahedral) veya altı yüzeyle (hexahedral) hücrelerdir ve bunların oluşturduğu yapı hacim ağı veya çözüm ağı olarak adlandırılmaktadır.

Çözüm ağı denilen yapı, birçok ağdan meydana gelmektedir. Ağları tanımlamak için düğüm noktaları (vertices), yüzeyler (faces) ve hücreler (cells) kullanılmaktadır. Düğüm noktası (vertex) bir konum vektörü tarafından tanımlanan bir noktadır. Bir yüzeyi (face)

tanımlamak için birçok düğüm noktası kullanılabilir. Bir yüzey düzenli düğüm noktalarından oluşmaktadır. 4 veya 6 yüzey ile üç boyutlu bir hücre tanımlanabilmektedir. Yüzeyler her zaman basit poligonlar şeklinde olmalıdır. Bir hücre, kapalı bir hacim tanımlayan düzenli yüzeylerden oluşmaktadır. Şekil 2.3'te bu üç eleman görülmektedir.



Şekil 2.3. Düğüm noktası, yüzey ve hücre (CD-Adapco, 2014).

Serbest su yüzeyli akıslarda dikdörtgenler prizması ağ yapısı, diğer ağ yapılarına göre daha iyi sonuç verdiği için yapılan çalışmada tercih edilmiştir.

Kullanılan HAD programında ağ yapısını üç boyutlu dört yüzeyli hücreler şeklinde oluşturabilmek için ağ oluşturma komutlarından “Surface Remesher”, “Trimmer” ve “Prism Layer Mesher” seçilmiştir. “Surface Remesher” homojen yüzey ağlarının oluşturulması için kullanılmaktadır. “Trimmer” özellikle karmaşık şekillerde güçlü ve etkili çözümler sağlayan minimum hücre yamukluğu, otomatik eğrilik ve yaklaşım düzeltmesi gibi farklı örme özelliklerini tek bir seçenekte toplayan, köşeli ve karmaşık geometrilerin sınır bölgelerinde kesme ve düzeltme özelliği sunan bir ağ yapısı oluşturma komutudur. “Prism Layer Mesher” ise akış simülasyonlarında incelenen geometri etrafında prizmatik hücreler oluşturarak sınır tabakanın ortaya çıkmasını sağlamaktadır (CD-Adapco, 2014).

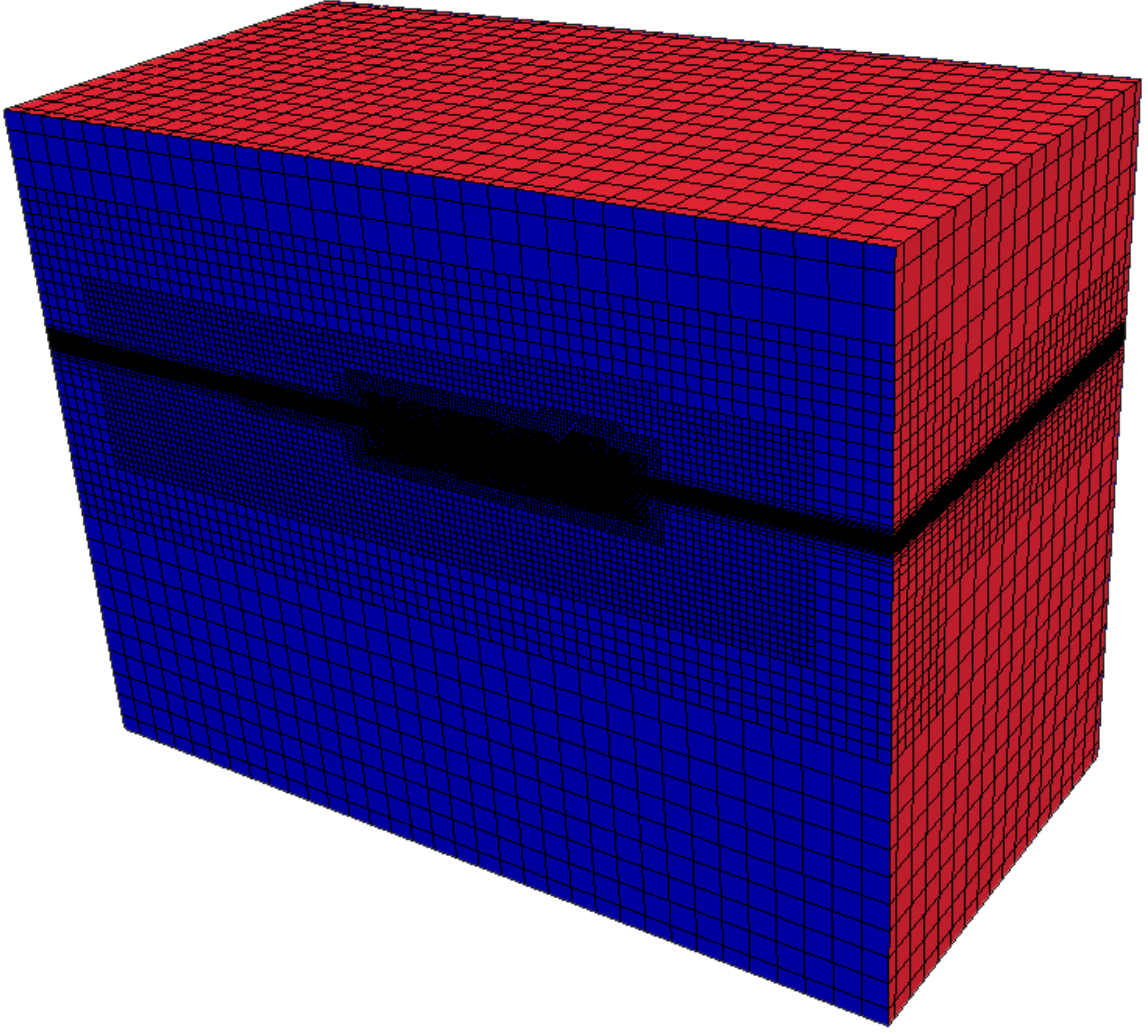
Yapılan çalışmada, serbest yüzeyde daha hassas hesap yapılabilmesi için 3 adet, dalga sisteminin tam olarak ortaya çıkabilmesi için 3 adet ve tekne yüzeyindeki kuvvetlerin daha doğru hesaplanabilmesi için 4 adet olmak üzere kendi içlerinde %10’ar hacimsel olarak genişleyen toplamda 10 adet dikdörtgenler prizması şeklinde hacimsel kontrol bloğu oluşturulmuştur.

Oluşturulan hesaplama hacminde istenilen çözüme uygun ağ yapısının oluşturulabilmesi için HAD programı içerisindeki ağ yapısı oluşturma adımı, hem

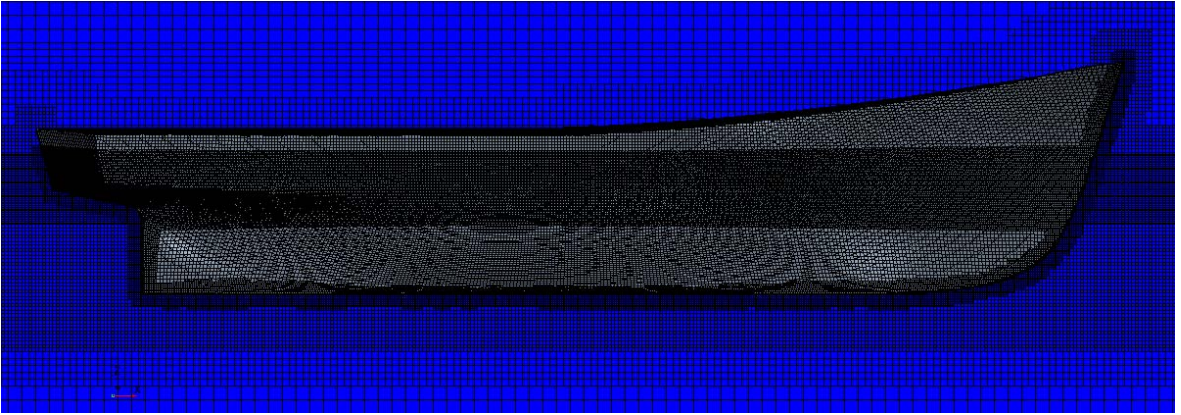
oluşturulan 10 adet hacimsel kontrol bloğu için hem de Giriş, Çıkış, Üst, Alt, Simetri, Yan ve Tekne olarak adlandırılan yüzeyler için ayrı ayrı temel boyut (base size), maksimum hücre boyutu (maximum cell size), relatif boyut (relative size), prizma tabaka sayısı (number of prism layers), prizma tabakası büyümesi (prism layer stretching), prizma tabakası kalınlığı (prism layer thickness), yüzey eğrilik derecesi (surface curvature), yüzey büyüme oranı (surface growth rate), yüzey boyutları (surface sizes) vb. ağ durumları ve ağ değerleri oluşturulması gereken ağ (mesh) özelliklerine göre yoğun çalışmalar sonucu çözümlere uygun şekilde belirlenmiştir.

Hesaplama hacminde ortalama 600 bin, 1.2 milyon, 2.8 milyon, 3.7 milyon, 4.7 milyon ve 7.4 milyon hücreden oluşan ağ yapısı oluşturulmuştur. 2.8 milyon ve üzeri hücreye sahip ağ yapılarında elde edilen direnç değerlerinin değişmediği veya değişimin çözüme pek fazla etkisi olmadığı tespit edilmiştir. Bunun için 148/3, 148/3-D, 148/3-N, 148/3-E, 148/4, 148/4-D, 148/4-N ve 148/4-E kodlu gemilerde ortalama 2.8 milyon hücre ve 8.6 milyon yüzeyden; 148/8, 148/8-D, 148/8-N, 148/8-E, 148/9, 148/9-D, 148/9-N ve 148/9-E kodlu gemilerde ortalama 3.8 milyon hücre ve 11.4 milyon yüzeyden oluşan ağ yapısı ile hesaplamalar yapılmıştır.

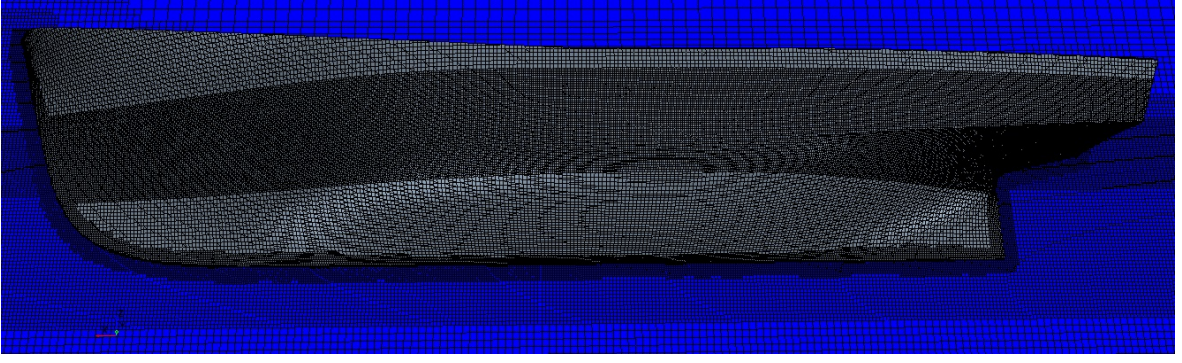
Kullanılan HAD programında belirtilen kriterler çerçevesinde hesaplama hacimleri için oluşturulan 112 adet ağ yapısına örnek olarak 148/3 kodlu geminin ağ yapısı Şekil 2.4, Şekil 2.5, Şekil 2.6, Şekil 2.7 ve Şekil 2.8'de gösterilmiştir.



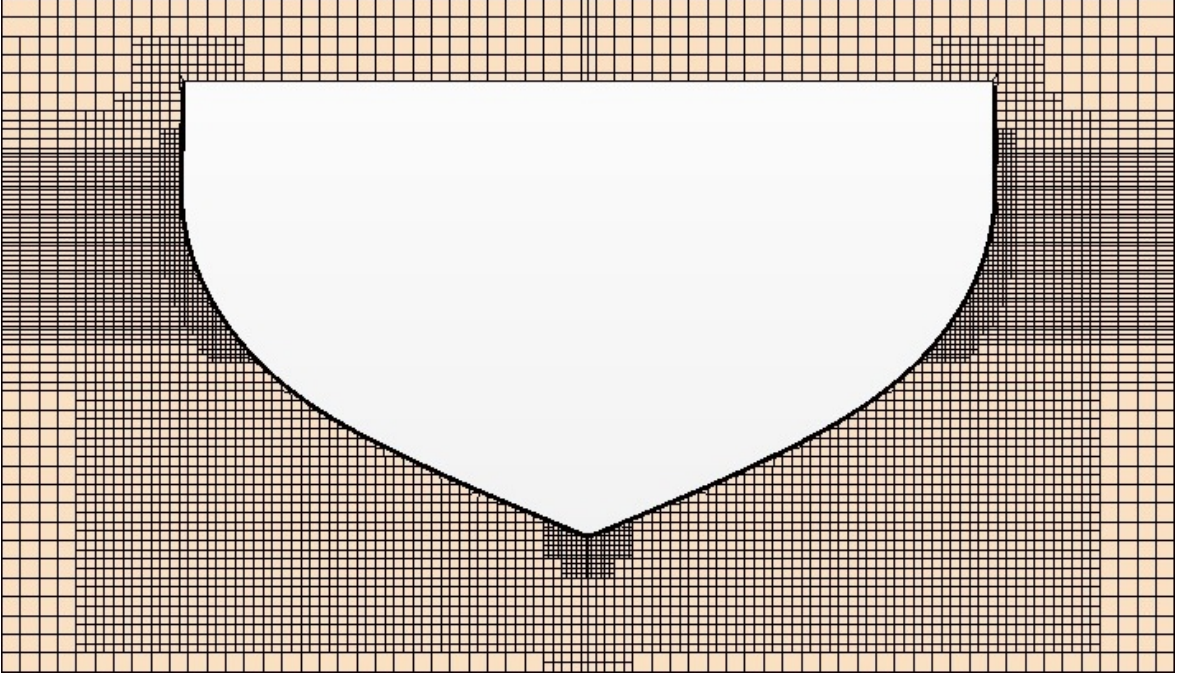
Şekil 2.4. Hesaplama hacmi ağ yapısı



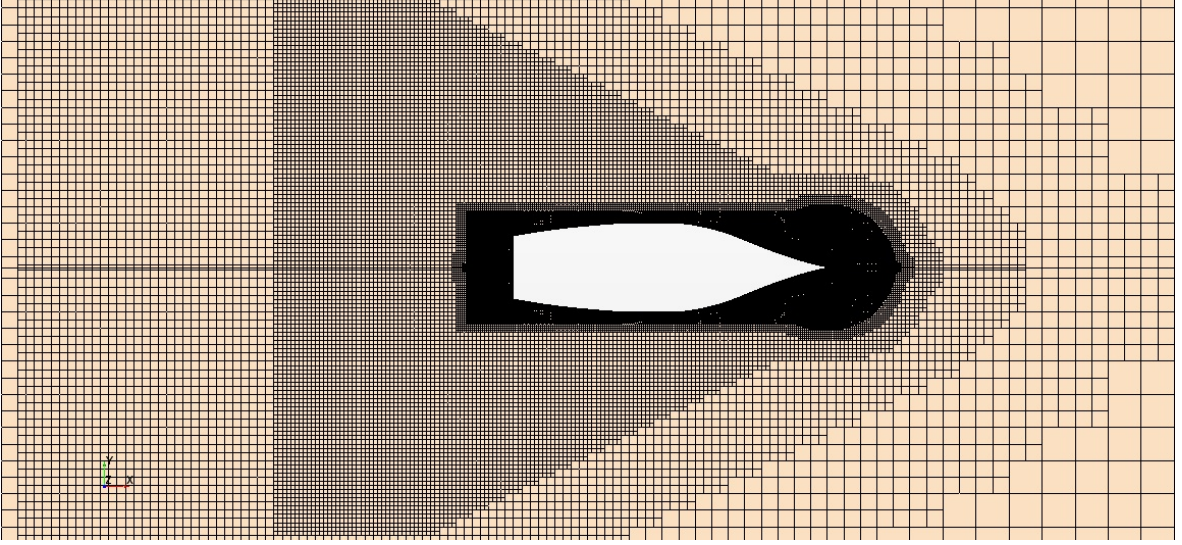
Şekil 2.5. Tekne simetri eksenine ağ yapısı



Şekil 2.6. Tekne yüzeyi ağ yapısı



Şekil 2.7. Tekne en kesit ağ yapısı



Şekil 2.8. Serbest yüzey ağ yapısı

2.3.5. Fiziksel Modellerinin Belirlenmesi

Çözüm ağı oluşturulduktan sonra fiziksel şartlar belirlenmiştir.

Çözüm üç boyutlu (three dimensional) olarak tanımlanmıştır.

Euler çok fazlı (Euleran Multiphase) komutu ile gerçek ortamdaki gibi balıkçı gemilerinin yüklü su hatlarından olmak üzere çözüm modeli 2 fazlı akışkan ortamına (deniz suyu ve hava) alınmıştır. Hesaplamalarda kullanılan deniz suyunun ve havanın fiziksel özellikleri Tablo 2.13'te verilmiştir.

Tablo 2.13. Kullanılan deniz suyunun ve havanın fiziksel özellikleri

		Deniz Suyu	Hava
Kütleli Yoğunluk (ρ)	[kg/m ³]	1026.02100	1.18415
Dinamik Viskozite (μ)	[Pa.s]	1.220x10 ⁻³	1.855x10 ⁻⁵

Hesaplama hacminde gerçek ortamdaki gibi yerçekimi etkisi oluşturabilmek için yerçekimi ivmesi (gravity) –z ekseninde 9.8067 m/s² olarak programa girilmiştir.

Serbest su yüzeyi etkilerinin analizlerde yer alıp sonuçların daha doğru bir şekilde elde edilebilmesi için yüzey yakalama metodlarından VOF metodu seçilmiştir.

VOF yöntemi kullanılarak iki farklı akışkan modellendiği için, fazların zamana göre etkileşimlerinin ihmal edilmemesi ve sonuçların doğruluk oranlarının artırılması amacıyla hesaplama zamanı olarak kapalı değişken zaman (implicit unsteady) seçilmiştir.

Gemiler etrafındaki akış türbülanslı olduğundan dolayı viskoz rejim seçeneklerinden türbülanslı akış tercih edilmiştir. Türbülanslı akış modellerinden ise Gerçeklenebilir $k - \varepsilon$ Modeli (Realizable $k - \varepsilon$ Model) seçilmiştir.

Sıkıştırılmaz ve çok fazlı akışlarda ideal sonuçlar verdiği için çözüm algoritması olarak Ayrılmış Akım (Segregated Flow) seçilmiştir. Ayrılmış Akım Modeli akış denklemlerini (her bir hız ve basınç bileşeni için bir tane) ayrıklaştırarak çözmektedir.

2.3.6. Başlangıç Koşullarının Girilmesi

Hesaplama hacminin başlangıç basıncı, hidrostatik basınç olarak ayarlanmıştır. Türbülans Yoğunluğu (Turbulence Intensity) değeri 0.01, Türbülans Hızı Ölçeği (Turbulent Velocity Scale) değeri 1 m/s, Türbülans Viskozitesi Oranı (Turbulent Viscosity Ratio) değeri 10 ve Referans Basıncı (Reference Pressure) değeri ise 101325.0 Pa girilmiştir. Hesaplama hacminin başlangıç hızı sistemin bütününde hız girişi değeri olarak ayarlanmıştır. Başlangıç durumunda serbest su yüzeyi hücrelerinin durumunu gösteren Hacim Fraksiyonu (Volume Fraction) değeri, 0.5 hava ve 0.5 su olmak üzere girilmiştir.

2.3.7. Çözücünün (Solver) Özellikleri

Hesaplama zamanı olarak kapalı değişken zaman (implicit unsteady) seçilmiş ve her analiz için çözücünün zaman adımı (time step) çeşitli denemeler sonucunda Courant-Friedrichs-Lewy (CFL) sayısının değeri 5 kabul edilerek denklem 2.2'ye (URL-4, 2016) göre belirlenmiş ve de belirlenen zaman adımları Tablo 2.14'te verilmiştir.

$$CFL = \frac{U\Delta t}{\Delta x} \quad (2.2)$$

Tablo 2.14. Çözücünün (solver) zaman adımları (time steps)

148/3, D, N, E	148/4, D, N, E	148/8, D, N, E	148/9, D, N, E	
Fn	Fn	Fn	Fn	Zaman Adımı
0.056	0.056	0.047	0.047	0.150
0.113	0.113	0.094	0.094	0.080
0.169	0.169	0.142	0.142	0.050
0.226	0.226	0.189	0.189	0.040
0.282	0.282	0.246	0.246	0.030
0.339	0.339	0.302	0.302	0.025
0.384	0.384	0.378	0.368	0.020

Rahatlatma faktörleri (Relaxation Factors) çözücünün işlemleri daha çabuk ve tutarlı yapması için girilen değerlerdir. Bu değerlerin değiştirilmesi sonuca etki etmezken çözümün daha kısa sürede yapılmasını sağlamaktadırlar. Yapılan çalışmada, denemeler sonucunda belirlenerek kullanılan en uygun rahatlatma faktörleri Tablo 2.15'te verilmiştir.

Tablo 2.15. Rahatlatma faktörleri (Relaxation Factors)

Fiziksel Modeller		Rahatlama Faktörü
Ayrılmış Akım (Segregated Flow)	Hız	0.8
	Basınç	0.4
Ayrılmış VOF (Segregated VOF)		0.8
$k - \varepsilon$ Türbülans ($k - \varepsilon$ Turbulence)		0.8
$k - \varepsilon$ Türbülans Viskozitesi ($k - \varepsilon$ Turbulent Viscosity)		1

2.3.8. Analizlerin Sonuçlandırılması ve Değerlendirilmesi

Yapılan çalışmada her zaman adımı (time step) için maksimum iç iterasyon sayısı 10 seçilmiş ve hesaplamalar yapılmıştır. Hesaplamalar farklı hızlarda yapıldığı ve kullanılan HAD programında zamana bağlı değişken (implicit unsteady) akış tanımlandığı için residü (residual) değerlerinin yakınsamasına göre veya sabit bir fiziksel zamana göre değerlendirme yapmak yanlış olacaktır. Yapılan çalışmada hesaplamalar için yakınsama kriterleri olarak; toplam direnç değerlerinin deneyler ile tutarlılık göstermesi ile belirli

iterasyon sayısından sonra değerlerin değişiminin düşük hızlarda 0.01 ve yüksek hızlarda 0.1 değerlerinin altında olması koşulları kabul edilmiştir.

HAD analizleri; Intel Xeon E-5 işlemciye (3.2 GHz, 16 çekirdek, 32 mantıksal işlemci) ve 256 GB RAM kapasitesine sahip iş istasyonu (workstation) tipi bilgisayarlarda yapılmıştır.

Hesaplamaların sonlandırılması kabul edilen koşullara göre yapıldığında genel olarak ortalama yakınsama fiziksel zamanları, ortalama iterasyon sayıları ve ortalama hesaplama süreleri Tablo 2.16'da verilmiştir.

Tablo 2.16. Hesaplamaların genel olarak ortalama yakınsama fiziksel zamanları, ortalama iterasyon sayıları ve ortalama hesaplama süreleri

148/3, D, N, E 148/4, D, N, E	148/8, D, N, E 148/9, D, N, E	Zaman Adımı	Fiziksel Zaman	İterasyon Sayısı	Hesaplama Süresi [saat]
Fn	Fn				
0.056	0.047	0.150	100	6000	10
0.113	0.094	0.080	150	16000	18
0.169	0.142	0.050	200	40000	40
0.226	0.189	0.040	250	60000	120
0.282	0.246	0.030	350	120000	192
0.339	0.302	0.025	300	120000	240
0.384	0.378	0.020	300	160000	288

Kullanılan HAD programında zamana bağlı değişken akış tanımlandığı için elde edilen direnç değerleri fiziksel zamana bağlı olarak değişkenlik gösterdiğinden hesaplamaların sonlandırıldığı andaki direnç değerleri direkt olarak karşılaştırmalar için kullanılmamıştır. Fiziksel zamana bağlı olarak direnç değeri dalgalanmalarının fazla olduğu yüksek hızlarda daha doğru bir sonuç elde edilebilmesi için gemi boyu direncin hesaplandığı hıza bölünüp, bir referans akış parçacığının gemi boyunu geçme süresi bulunmuş ve toplam fiziksel zaman bu süreye göre parçalara ayrılmıştır. Çözümün yakınsadığı andan itibaren hesaplanan son üç direnç değerinin aritmetik ortalaması karşılaştırmalar için kullanılan direnç değerini oluşturmuştur. Böylece hem yakınsamanın doğruluğu kontrol edilmiş hem de fiziksel zamandan bağımsız bir direnç değeri elde edilmiştir.

3. BULGULAR

Bulgular kısmında ise ilk önce, deney sonuçlarından Froude ve Hughes yöntemleri ile elde edilen toplam direnç değerlerinin HAD sonuçları ile karşılaştırması yapılmıştır. Sonra, yumrubaşsız ve yumrubaşlı tekne formlarının HAD sonuçlarından elde edilen toplam direnç değerleri, birbirleri içinde karşılaştırılmıştır. Toplam direnç değerlerine bakılarak, hangi yumrubaş tipinin hangi Fn değerinde, hangi tekne formunda, ne kadar artış veya azalış sağladığı tespit edilerek, hangi tip yumrubaşın daha fazla yarar sağladığı belirlenmeye çalışılmıştır.

3.1. Deney Sonuçları ile HAD Sonuçlarının Karşılaştırılması

148/3, 148/4, 148/8 ve 148/9 kodlu gemilerin belirlenen Froude sayılarında HAD analizleri yapılmıştır. HAD sonuçlarının deney sonuçları ile uyumluluğu, Froude ve Hughes yöntemlerinden bulunan gemi toplam direnç değerleri ile karşılaştırılarak incelenmiştir. HAD değerinin Froude yöntemine göre fark yüzdesi denklem (3.1) ile, HAD değerinin Hughes yöntemine göre fark yüzdesi denklem (3.2) ile bulunmuştur.

$$FarkYüzdesi(\%) = \frac{HAD - Froude}{Froude} \times 100 \quad (3.1)$$

$$FarkYüzdesi(\%) = \frac{HAD - Hughes}{Hughes} \times 100 \quad (3.2)$$

Böylece HAD analizlerinden elde edilen toplam direnç değerinin, deney verilerinden Froude ve Hughes yöntemlerine göre elde edilmiş gemi toplam direnç değerlerinden ne kadar düşük (-) veya fazla olduğu (+) belirlenmiştir.

HAD analizlerinden elde edilen toplam direnç değerleri Froude ve Hughes yöntemlerinden bulunan değerlerle karşılaştırılırken göz önünde bulundurulması gereken en önemli husus, model deneyi verilerinden gemi toplam direncini hesaplayan yöntemlerden Hughes yönteminin Froude yöntemine göre daha doğru sonuçlar verdiğidir.

3.1.1. 148/3 Kodlu Geminin HAD Sonuçlarının Değerlendirilmesi

148/3 kodlu geminin HAD analizleri yapılmış olup, elde edilen toplam direnç değerleri Froude ve Hughes yöntemlerinden elde edilen toplam direnç değerleri ile karşılaştırılmıştır. HAD sonuçlarının Froude ve Hughes yöntemine göre fark yüzdeleri bulunarak, yapılan HAD analizlerinin deney sonuçları ile uyumluluğu incelenmiştir. Tablo 3.1’de 148/3 kodlu geminin HAD analizlerinden, Froude ve Hughes yöntemlerinden elde edilen toplam direnç değerleri ile HAD değerlerinin Froude ve Hughes değerlerine göre fark yüzdeleri belirlenen Froude sayılarına göre verilmiştir.

Tablo 3.1. 148/3 kodlu geminin HAD analizlerinden, Froude ve Hughes yöntemlerinden elde edilen toplam direnç değerlerinin karşılaştırılması

148/3					Fark Yüzdeleri	
Fn	V _s [knot]	Froude	Hughes	HAD	Froude'a göre	Hughes'a göre
		R _T [kN]	R _T [kN]	R _T [kN]	%	%
0.056	1.537	0.1966	0.1572	0.1594	-18.91	1.42
0.113	3.073	0.7126	0.5844	0.5760	-19.17	-1.43
0.169	4.610	1.6039	1.3465	1.3413	-16.37	-0.39
0.226	6.147	2.9919	2.5688	2.5628	-14.34	-0.23
0.282	7.684	4.9033	4.2803	4.4054	-10.15	2.92
0.339	9.220	8.8286	7.9732	7.8735	-10.82	-1.25
0.384	10.450	19.5344	18.4706	17.3691	-11.08	-5.96

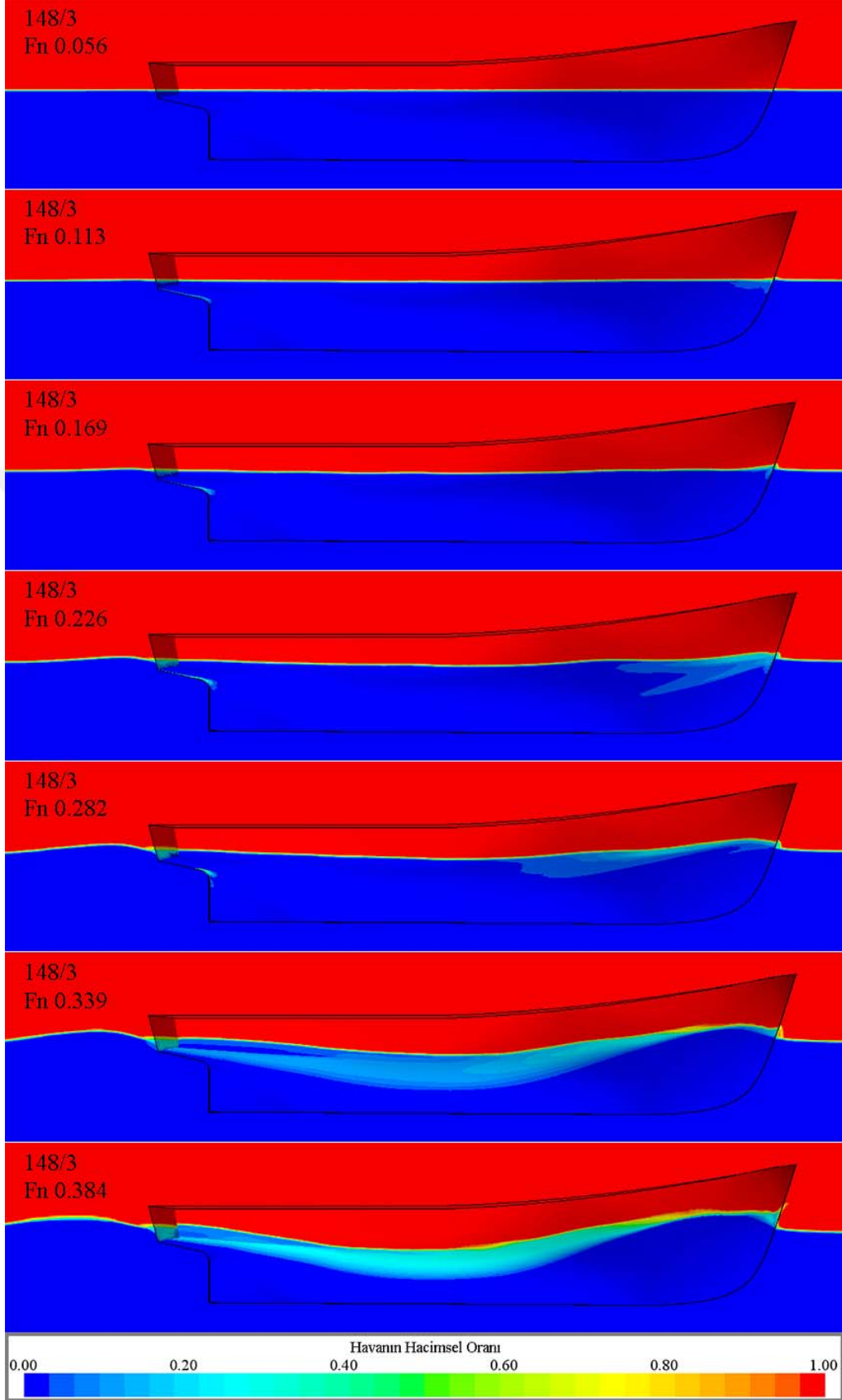
Tablo 3.1’den görüldüğü üzere, Froude’a göre fark yüzdelerinin aritmetik ortalama değeri % 15 iken Hughes’a göre % 2 civarındadır. Hughes yönteminin daha hassas olduğu düşünüldüğünde yapılan HAD analizlerinin, deney verilerinden elde edilen toplam direnç değerleri ile uyumlu olduğu her Fn değerinde görülmektedir.

148/3 kodlu balıkçı gemisinin farklı Fn sayılarında tekne simetri düzleminde oluşan dalga deformasyonları Şekil 3.1’de, serbest su yüzeyinde oluşan dalga deformasyonları ise Şekil 3.2’de gösterilmiştir.

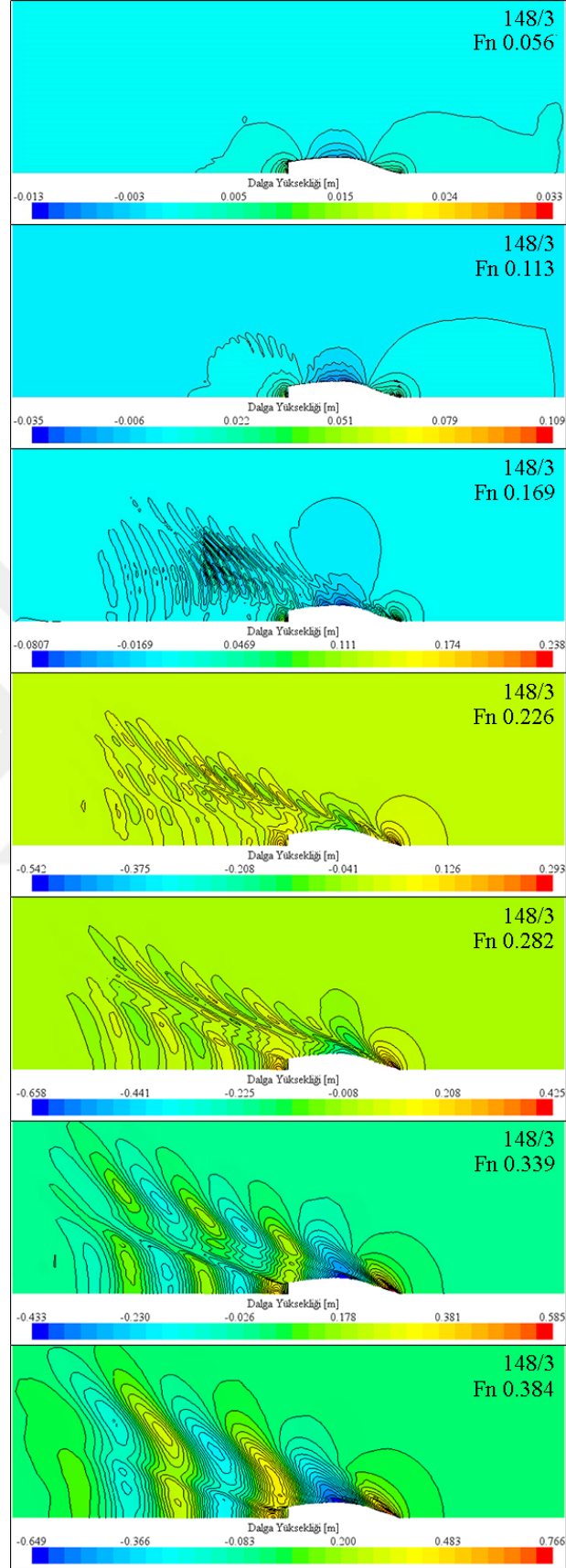
Şekil 3.1’de görüldüğü üzere, Fn 0.226 sayısından sonra geminin baş kısmında oluşan dalganın yüksekliği artmaya başlamaktadır. Fn 0.384 sayısında ise başta ve kıçta oluşan dalgaların yüksekliği aşırı artarken gemi ortasında belirgin bir dalga çukuru oluşmaktadır.

Şekil 3.2’de görüldüğü üzere, Fn 0.169 sayısında yeni dalga sistemine geçiş gözlemlenmektedir. Bu değerden sonra oluşan dalgaların tepe ve çukur yükseklikleri artmakta ve gemi ardında görünen dalga izi daha fazla alanı kaplamaktadır.





Şekil 3.1. Farklı Fn sayılarında 148/3 kodlu geminin tekne simetri düzleminde oluşan dalga deformasyonları



Şekil 3.2. Farklı Fn sayılarında 148/3 kodlu geminin serbest su yüzeyinde oluşturduğu dalga deformasyonları

3.1.2. 148/4 Kodlu Geminin HAD Sonuçlarının Değerlendirilmesi

148/4 kodlu geminin HAD analizleri yapılmış olup, elde edilen toplam direnç değerleri Froude ve Hughes yöntemlerinden elde edilen toplam direnç değerleri ile karşılaştırılmıştır. HAD sonuçlarının Froude ve Hughes yöntemine göre fark yüzdeleri bulunarak, yapılan HAD analizlerinin deney sonuçları ile uyumluluğu incelenmiştir.

Tablo 3.2’de 148/4 kodlu geminin HAD analizlerinden, Froude ve Hughes yöntemlerinden elde edilen toplam direnç değerleri ile HAD değerlerinin Froude ve Hughes değerlerine göre fark yüzdeleri belirlenen Froude sayılarına göre verilmiştir.

Tablo 3.2. 148/4 kodlu geminin HAD analizlerinden, Froude ve Hughes yöntemlerinden elde edilen toplam direnç değerlerinin karşılaştırılması

148/4					Fark Yüzdeleri	
Fn	Vs [knot]	Froude	Hughes	HAD	Froude'a göre	Hughes'a göre
		R _T [kN]	R _T [kN]	R _T [kN]	%	%
0.056	1.537	0.2166	0.1705	0.1636	-24.47	-4.06
0.113	3.073	0.7720	0.6220	0.6049	-21.64	-2.75
0.169	4.610	1.8182	1.5171	1.4557	-19.94	-4.05
0.226	6.147	3.7615	3.2666	3.0006	-20.23	-8.14
0.282	7.684	8.0444	7.3157	6.5601	-18.45	-10.33
0.339	9.220	16.2584	15.2579	12.9917	-20.09	-14.85
0.384	10.450	31.5449	30.3005	26.0765	-17.34	-13.94

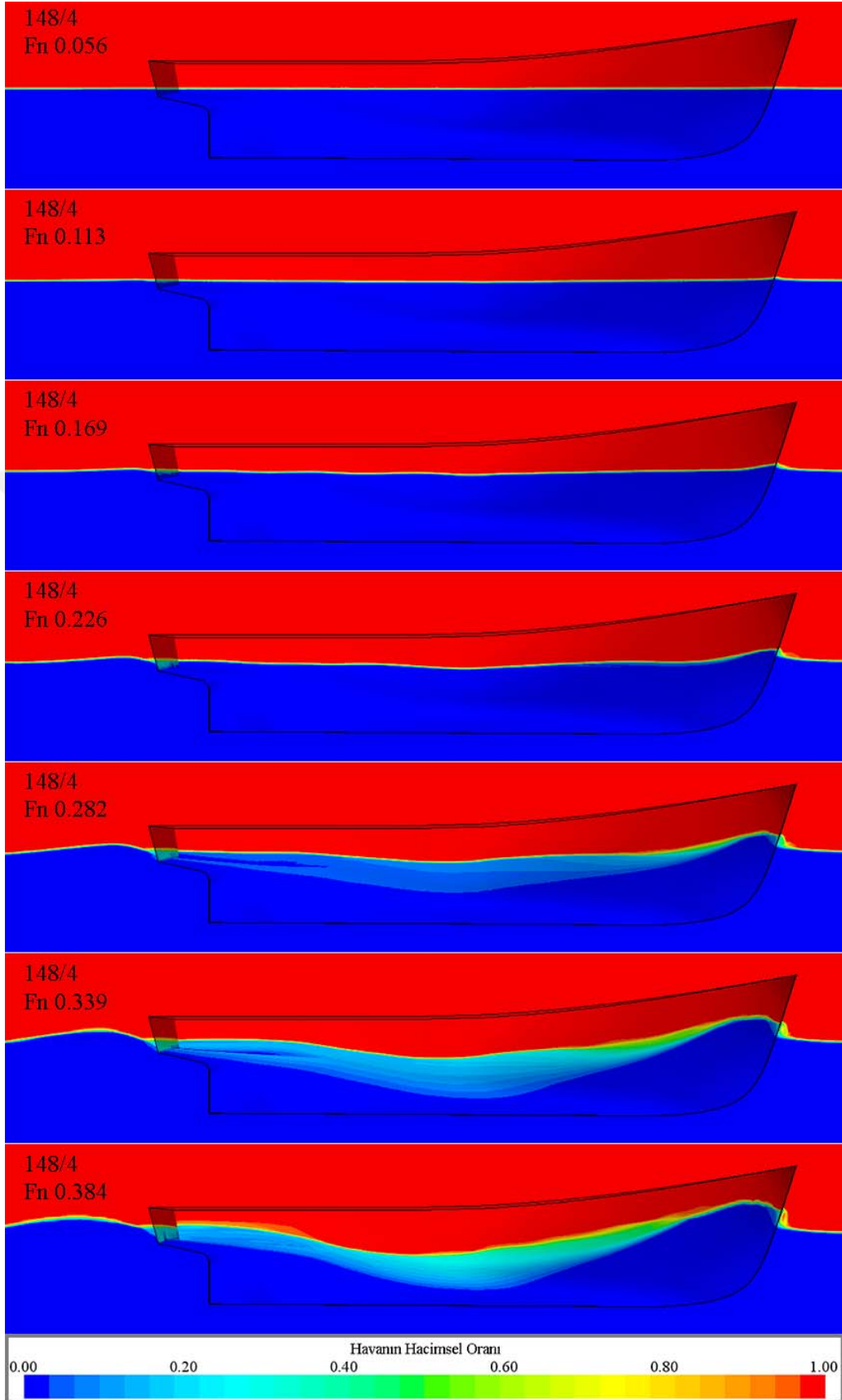
Tablo 3.2’den görüldüğü üzere, Froude’a göre fark yüzdelerinin aritmetik ortalama değeri % 20 iken Hughes’a göre % 8 civarındadır. Literatürde deney verileri ile HAD değerleri arasında %10’a kadar olan farklar makul karşılanmaktadır. Fn > 0.35 olduğu durumlarda kabul edilebilir fark yüzdesi problemin karmaşıklığına ve büyüklüğüne göre % 20’ye kadar çıkabilmektedir. Her Fn değerinde Hughes’a göre HAD değerlerinin fark yüzdeleri kabul edilebilir düzeydedir.

148/4 kodlu balıkçı gemisinin farklı Fn sayılarında tekne simetri düzleminde oluşan dalga deformasyonları Şekil 3.3’te, serbest su yüzeyinde oluşan dalga deformasyonları ise Şekil 3.4’te gösterilmiştir.

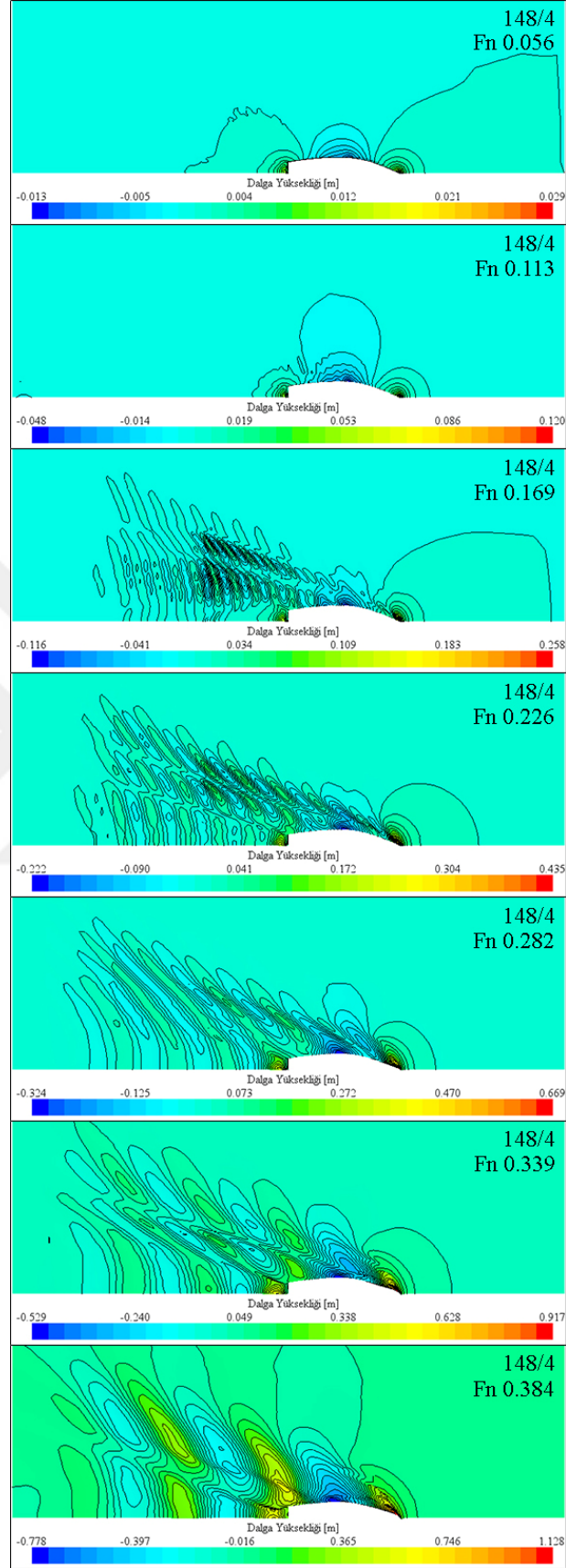
Şekil 3.3'te görüldüğü üzere, Fn 0.226 sayısından sonra geminin baş kısmında oluşan dalganın yüksekliği artmaya başlamaktadır. Fn 0.339 sayısından itibaren belirgin bir şekilde başta ve kıçta oluşan dalgaların yüksekliği artmakta ve Fn 0.384 sayısında ise gemi ortasındaki dalga çukuru daha da derinleşmektedir.

Şekil 3.4'te görüldüğü üzere, Fn 0.169 sayısında yeni dalga sistemine geçiş gözlenmektedir. Bu değerden sonra oluşan dalgaların tepe ve çukur yükseklikleri artmakla birlikte dalga boyu da büyümektedir. Gemi ardında oluşan dalga izi daha fazla alanı kapladığı gibi tekne gövdesi etrafında da belirgin bir şekilde de genişlemektedir.





Şekil 3.3. Farklı Fn sayılarında 148/4 kodlu geminin tekne simetri düzleminde oluşan dalga deformasyonları



Şekil 3.4. Farklı Fn sayılarında 148/4 kodlu geminin serbest su yüzeyinde oluşturduğu dalga deformasyonları

3.1.3. 148/8 Kodlu Geminin HAD Sonuçlarının Değerlendirilmesi

148/8 kodlu geminin HAD analizleri yapılmış olup, elde edilen toplam direnç değerleri Froude ve Hughes yöntemlerinden elde edilen toplam direnç değerleri ile karşılaştırılmıştır. HAD sonuçlarının Froude ve Hughes yöntemine göre fark yüzdeleri bulunarak, yapılan HAD analizlerinin deney sonuçları ile uyumluluğu incelenmiştir.

Tablo 3.3'te 148/8 kodlu geminin HAD analizlerinden, Froude ve Hughes yöntemlerinden elde edilen toplam direnç değerleri ile HAD değerlerinin Froude ve Hughes değerlerine göre fark yüzdeleri belirlenen Froude sayılarına göre verilmiştir.

Tablo 3.3. 148/8 kodlu geminin HAD analizlerinden, Froude ve Hughes yöntemlerinden elde edilen toplam direnç değerlerinin karşılaştırılması

148/8					Fark Yüzdeleri	
Fn	Vs [knot]	Froude	Hughes	HAD	Froude'a göre	Hughes'a göre
		R _T [kN]	R _T [kN]	R _T [kN]	%	%
0.047	1.537	0.2186	0.1985	0.1934	-11.52	-2.56
0.094	3.073	0.7627	0.6969	0.6943	-8.97	-0.37
0.142	4.610	1.6997	1.5669	1.5538	-8.58	-0.84
0.189	6.147	3.1587	2.9398	2.9331	-7.14	-0.23
0.246	7.991	5.6142	5.2683	5.3006	-5.59	0.61
0.302	9.835	9.7795	9.2822	9.2407	-5.51	-0.45
0.378	12.294	25.6370	24.9015	22.9937	-10.31	-7.66

Tablo 3.3'ten görüldüğü üzere, Froude'a göre fark yüzdelerinin aritmetik ortalama değeri % 8 iken Hughes'a göre % 2 civarındadır. Her Fn değerinde Hughes'a göre fark yüzdeleri incelendiğinde deney değerlerinden elde edilen toplam direnç değerleri ile HAD değerlerinin büyük bir uyum sağladığı görülmektedir.

148/8 kodlu balıkçı gemisinin farklı Fn sayılarında tekne simetri düzleminde oluşan dalga deformasyonları Şekil 3.5'te, serbest su yüzeyinde oluşan dalga deformasyonları ise Şekil 3.6'da gösterilmiştir.

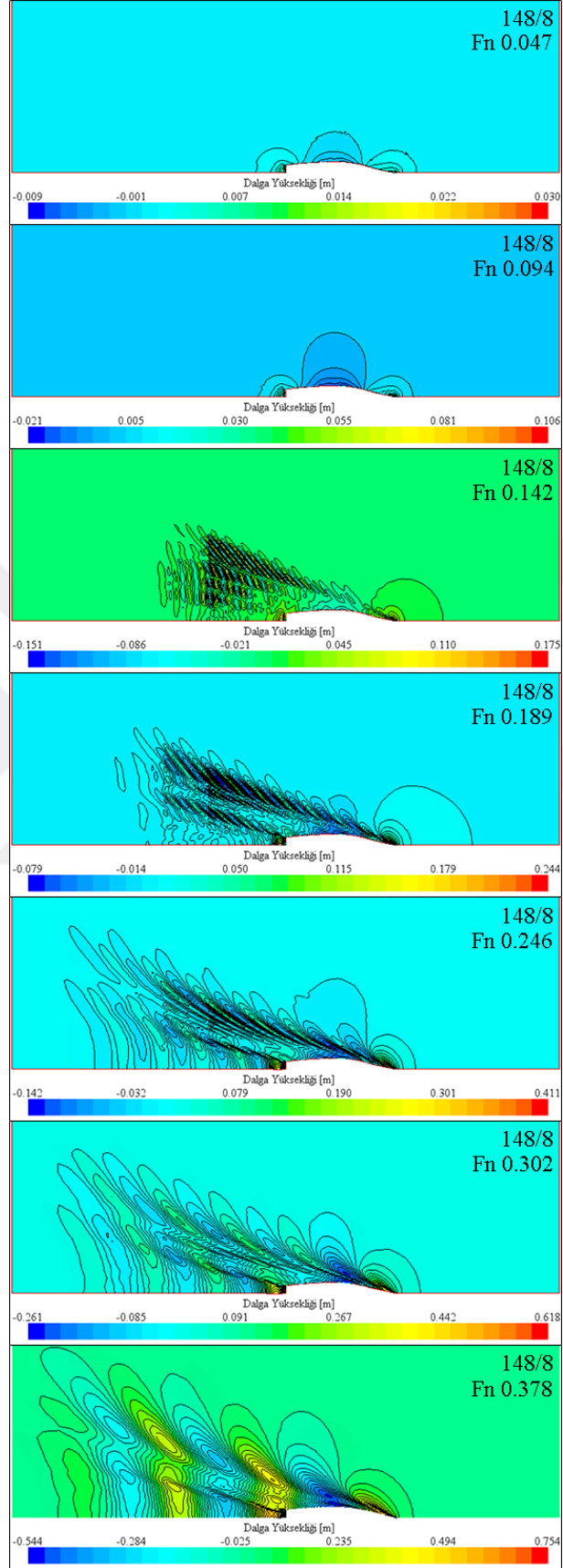
Şekil 3.5'te görüldüğü üzere, Fn 0.189 sayısından sonra geminin baş kısmında oluşan dalganın yüksekliği artmaya başlamaktadır. Fn 0.378 sayısına kadar başta ve kıçta oluşan dalgaların yüksekliği artmaya devam etmektedir.

Şekil 3.6'dan görüldüğü üzere, F_n 0.189 sayısında yeni dalga sistemine geçiş gözlemlenirken F_n 0.302 sayısında da yine dalga sistemi değişmektedir. F_n 0.189 ve F_n 0.246 sayılarında baş dalgalarının kık dalgalarına göre daha fazla oluştuğu görülmektedir. F_n 0.302 ve F_n 0.378 sayılarında hem baş hem de kık dalgaları aynı oranda oluşmuş olup, F_n değeri arttıkça tekne ardında oluşan dalga izinin kapladığı alan daha da artmaktadır.





Şekil 3.5. Farklı Fn sayılarında 148/8 kodlu geminin tekne simetri düzleminde oluşan dalga deformasyonları



Şekil 3.6. Farklı Fn sayılarında 148/8 kodlu geminin serbest su yüzeyinde oluşturduğu dalga deformasyonları

3.1.4. 148/9 Kodlu Geminin HAD Sonuçlarının Değerlendirilmesi

148/9 kodlu geminin HAD analizleri yapılmış olup, elde edilen toplam direnç değerleri Froude ve Hughes yöntemlerinden elde edilen toplam direnç değerleri ile karşılaştırılmıştır. HAD sonuçlarının Froude ve Hughes yöntemine göre fark yüzdeleri bulunarak, yapılan HAD analizlerinin deney sonuçları ile uyumluluğu incelenmiştir.

Tablo 3.4'te 148/9 kodlu geminin HAD analizlerinden, Froude ve Hughes yöntemlerinden elde edilen toplam direnç değerleri ile HAD değerlerinin Froude ve Hughes değerlerine göre fark yüzdeleri belirlenen Froude sayılarına göre verilmiştir.

Tablo 3.4. 148/9 kodlu geminin HAD analizlerinden, Froude ve Hughes yöntemlerinden elde edilen toplam direnç değerlerinin karşılaştırılması

148/9					Fark Yüzdeleri	
Fn	Vs [knot]	Froude	Hughes	HAD	Froude'a göre	Hughes'a göre
		R _T [kN]	R _T [kN]	R _T [kN]	%	%
0.047	1.537	0.2170	0.1932	0.1937	-10.74	0.24
0.094	3.073	0.7752	0.6972	0.7077	-8.70	1.51
0.142	4.610	1.7191	1.5621	1.6078	-6.48	2.93
0.189	6.147	3.3454	3.0866	3.1368	-6.24	1.63
0.246	7.991	7.7329	7.3240	7.2269	-6.54	-1.33
0.302	9.835	15.4127	14.8248	13.0811	-15.13	-11.76
0.368	11.987	35.0224	34.1909	29.9300	-14.54	-12.46

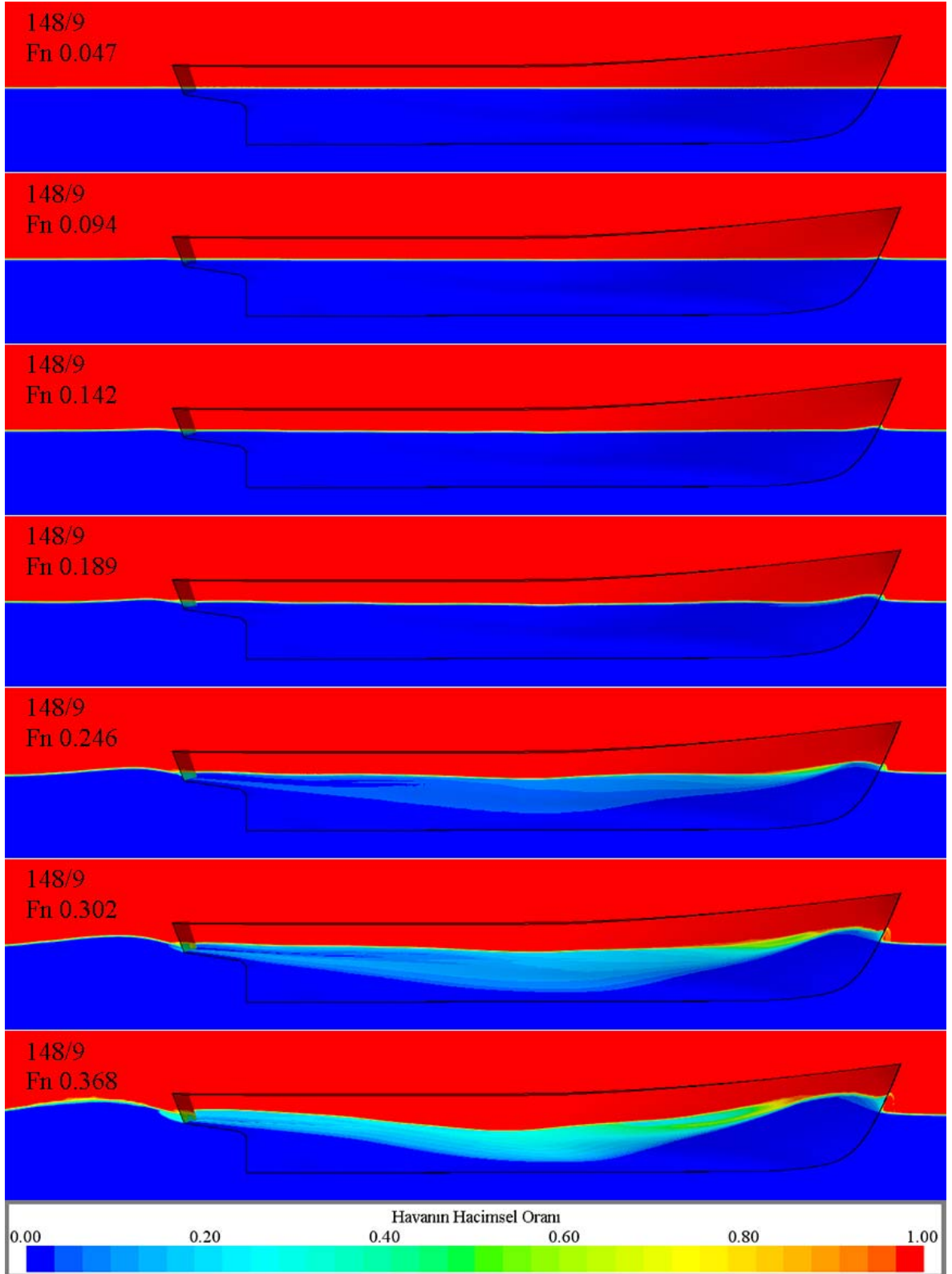
Tablo 3.4'ten görüldüğü üzere, Froude'a göre fark yüzdelerinin aritmetik ortalama değeri % 10 iken Hughes'a göre % 5 civarındadır. Her Fn değerinde Hughes'a göre fark yüzdeleri incelendiğinde $Fn < 0.25$ durumunda büyük bir uyum sağlandığı, $Fn > 0.25$ durumunda ise HAD analizlerinden elde edilen toplam direnç değerlerinin de kabul edilebilir düzeyde olduğu görülmektedir.

148/9 kodlu balıkçı gemisinin farklı Fn sayılarında tekne simetri düzleminde oluşan dalga deformasyonları Şekil 3.7'de, serbest su yüzeyinde oluşan dalga deformasyonları ise Şekil 3.8'de gösterilmiştir.

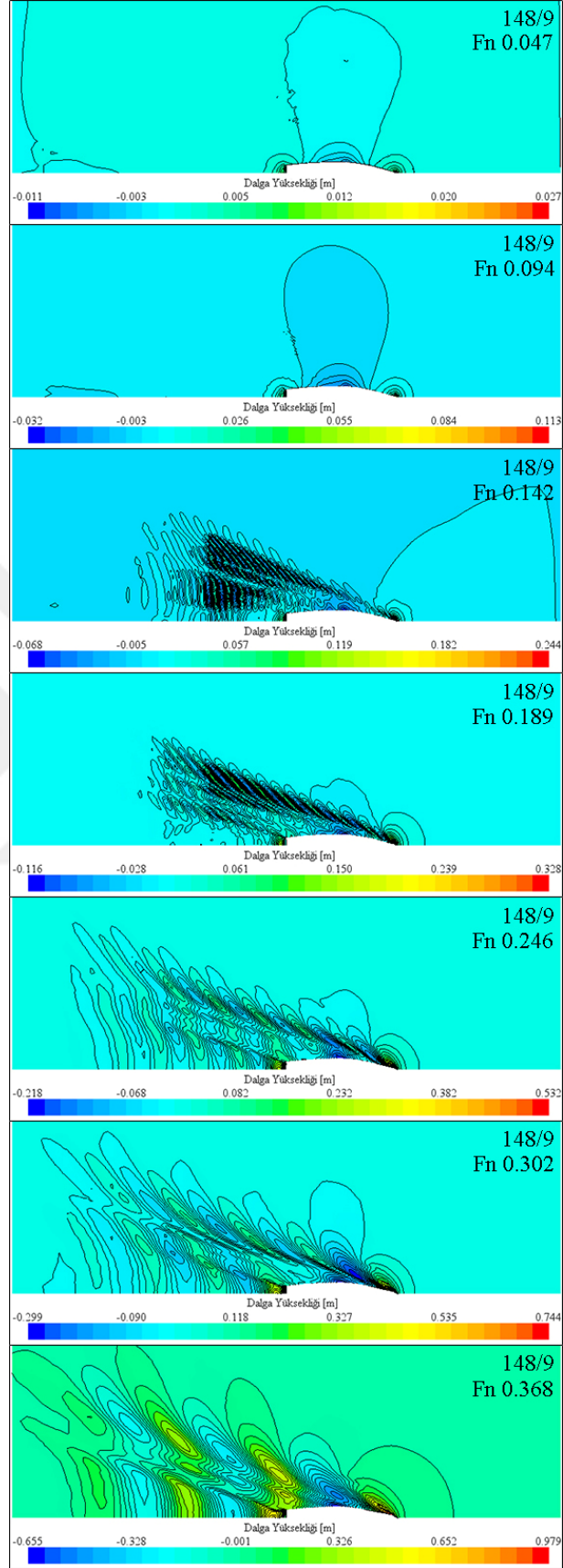
Şekil 3.7'den görüldüğü üzere, Fn 0.189 sayısından sonra geminin baş kısmında oluşan dalganın yüksekliği artmaktadır. Fn 0.302 sayısından itibaren belirgin bir şekilde başta ve kıçta oluşan dalgaların yüksekliği artmakta ve Fn 0.368 sayısında ise gemi ortasındaki dalga çukuru daha da derinleşmektedir.

Şekil 3.8'den görüldüğü üzere, Fn 0.142 sayısında yeni dalga sistemine geçiş gözlenmektedir. Fn 0.189 sayısında kıç dalgalarına göre daha etkin olan baş dalgalarının oluşma sıklığı Fn 0.216 sayısından sonra azalmaktadır. Fn 0.246 sayısından sonra gemi ardında oluşan dalga izi giderek daha fazla alan kaplamaktadır.





Şekil 3.7. Farklı Fn sayılarında 148/9 kodlu geminin tekne simetri düzleminde oluşan dalga deformasyonları



Şekil 3.8. Farklı Fn sayılarında 148/9 kodlu geminin serbest su yüzeyinde oluşturduğu dalga deformasyonları

3.2. Yumrubaşsız ve Yumrubaşlı Gemilerin HAD Sonuçlarının Karşılaştırılması

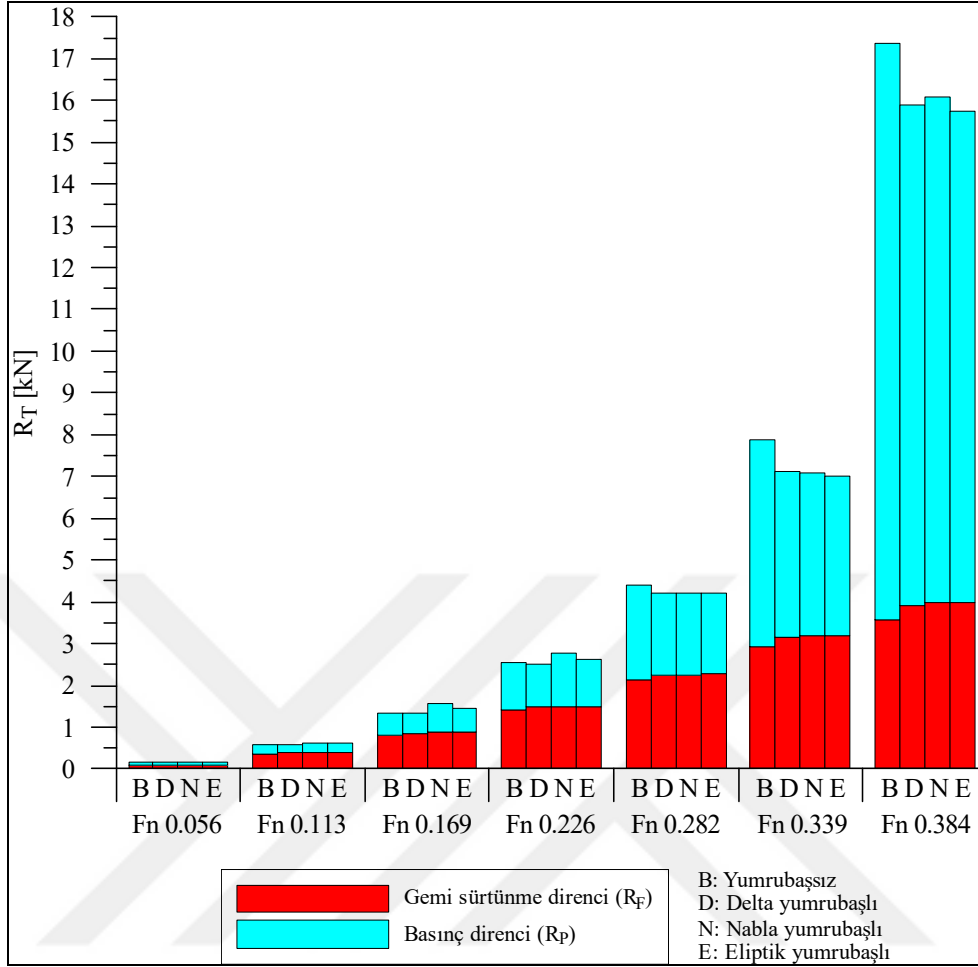
148/3, 148/3-D, 148/3-N, 148/3-E, 148/4, 148/4-D, 148/4-N, 148/4-E, 148/8, 148/8-D, 148/8-N, 148/8-E, 148/9, 148/9-D, 148/9-N ve 148/9-E kodlu balıkçı gemileri için belirlenen Fn değerlerinde HAD analizleri yapılarak toplam direnç değerleri ile toplam direnci oluşturan gemi sürtünme direnci ve basınç direnci bileşenleri hesaplanmıştır. Yumrubaşlı formların yumrubaşsız formlara göre direnç değerlerinin fark yüzdeleri ise denklem (3.3)'e göre hesaplanmıştır.

$$FarkYüzdesi(\%) = \frac{Yumrubaşlı - Yumrubaşsız}{Yumrubaşsız} \times 100 \quad (3.3)$$

Böylece yumrubaşlı formların toplam direncinde, yumrubaşsız formların toplam direncine göre ne kadar artış (+) veya ne kadar azalış (-) olduğu belirlenmiştir. Bu şekilde hangi yumrubaş formunun hangi Fn değerinde daha yararlı olduğu tespit edilmeye çalışılmıştır.

3.2.1. 148/3 Kodlu Gemilerin HAD Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Belirlenen Fn sayılarında 148/3, 148/3-D, 148/3-N ve 148/3-E kodlu gemilerin toplam direncini oluşturan gemi sürtünme direnci ve basınç direnci değerlerinin karşılaştırılması Şekil 3.9'da gösterilmiştir. Şekil 3.9'da görüldüğü üzere düşük Fn değerlerinde gemi sürtünme direnci basınç direncinden fazlayken yüksek Fn değerlerinde ise basınç direnci gemi sürtünme direncinden fazladır. Yumrubaşsız duruma göre yumrubaşlı balıkçı gemisi formlarında gemi sürtünme direnci daha fazlayken, basınç direnci yumrubaşlı formlarda yumrubaşsız formlara göre daha azdır. Basınç direncinde de en fazla düşüşü eliptik yumrubaş tipinin sağladığı görülmektedir.



Şekil 3.9. Fn değerlerine göre 148/3, 148/3-D, 148/3-N ve 148/3-E kodlu gemilerin toplam direncini oluşturan gemi sürtünme direnci ve basınç direnci değerleri grafiği

148/3, 148/3-D, 148/3-N ve 148/3-E kodlu gemilerin HAD analizlerinden elde edilen toplam direnç değerleri ve yumrubaşlı formların yumrubaşsız forma göre toplam direnç değişimlerinin fark yüzdeleri Tablo 3.5'te verilmiştir. 148/3 kodlu geminin toplam direncine göre; 148/3-D kodlu geminin toplam direncinde Fn 0.113 değerinde maksimum artış varken Fn 0.339 değerinde maksimum azalış, 148/3-N kodlu geminin toplam direncinde Fn 0.169 değerinde maksimum artış varken Fn 0.339 değerinde maksimum azalış, 148/3-E kodlu geminin toplam direncinde Fn 0.169 değerinde maksimum artış varken Fn 0.339 değerinde maksimum azalış vardır.

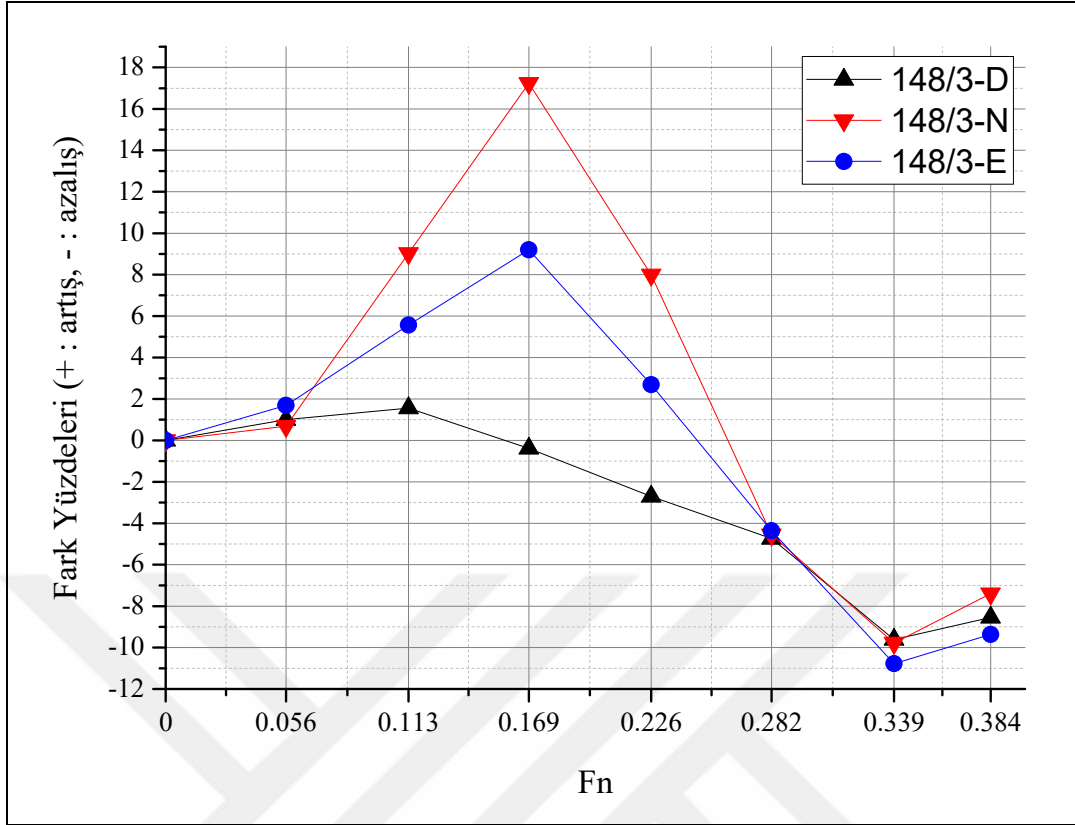
Tablo 3.5. 148/3, 148/3-D, 148/3-N ve 148/3-E kodlu gemilerin HAD analizlerinden elde edilen toplam direnç değerlerinin karşılaştırılması

Fn	V _s [knot]	148/3	148/3-D	148/3-N	148/3-E	Fark Yüzdeleri (+ : artış, - : azalış)		
		R _T [kN]	R _T [kN]	R _T [kN]	R _T [kN]	148/3-D	148/3-N	148/3-E
0.056	1.537	0.1594	0.1610	0.1605	0.1621	1.00	0.69	1.69
0.113	3.073	0.5760	0.5850	0.6280	0.6081	1.56	9.03	5.57
0.169	4.610	1.3413	1.3361	1.5726	1.4647	-0.39	17.24	9.20
0.226	6.147	2.5628	2.4933	2.7676	2.6318	-2.71	7.99	2.69
0.282	7.684	4.4054	4.1967	4.2048	4.2133	-4.74	-4.55	-4.36
0.339	9.220	7.8735	7.1168	7.1036	7.0253	-9.61	-9.78	-10.77
0.384	10.450	17.3691	15.8848	16.0839	15.7423	-8.55	-7.40	-9.37

Belirlenen Fn sayılarında 148/3-D, 148/3-N ve 148/3-E kodlu gemilerin 148/3 kodlu gemiye göre toplam direnç değerlerindeki artış (+) ve azalış (-) yüzdeleri Şekil 3.10'da gösterilmiştir.

Şekil 3.10'dan görüldüğü üzere, 148/3 kodlu balıkçı gemisi için; delta yumrubaş Fn 0.158 değerinden, nabra yumrubaş Fn 0.261 değerinden ve eliptik yumrubaş Fn 0.246 değerinden sonra etkin olmaya başlamaktadır. Başka bir deyişle; delta yumrubaş 4.3 knot hızından, nabra yumrubaş 7.1 knot hızından ve eliptik yumrubaş 6.7 knot hızından sonra yarar sağlamaya başlamaktadır. Üç yumrubaş tipi de Fn 0.339 değerinde yani 9.2 knot hızında maksimum yarar sağlamaktadır. Fn 0.384 değerinde yani 10.50 knot hızında ise yumrubaşların etkinlikleri, Fn 0.339 değerindeki etkinliklerine göre bir miktar düşmektedir.

Toplam dirençteki artış azalış yüzdelerinin hepsi birlikte değerlendirildiğinde 148/3 kodlu balıkçı gemisi için 10 knot servis hızı ve daha yüksek hızlarda en uygun yumrubaş formunun, eliptik yumrubaş tipi olduğu ortaya çıkmaktadır.

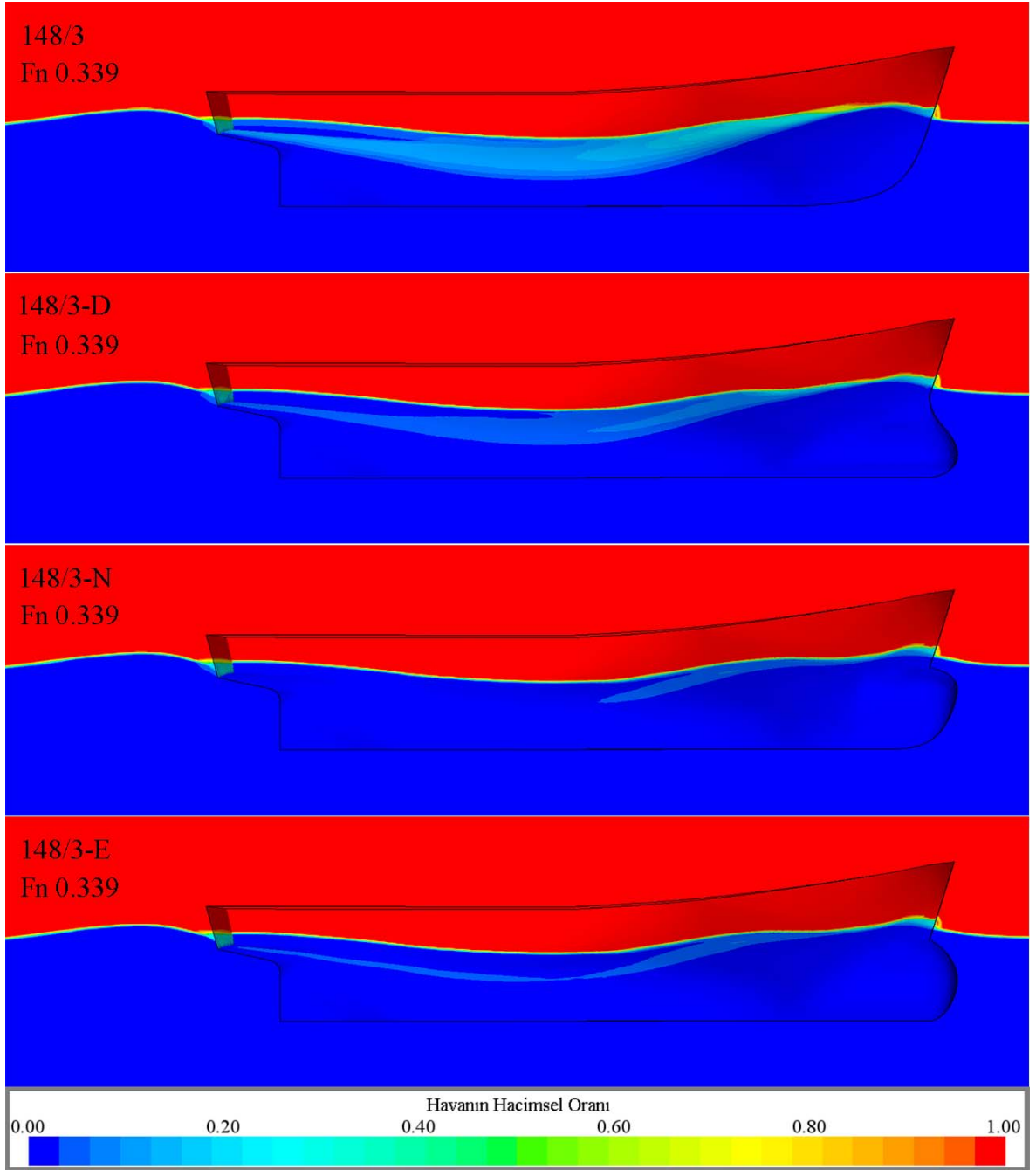


Şekil 3.10. Fn değerlerine göre 148/3-D, 148/3-N ve 148/3-E kodlu gemilerin 148/3 kodlu gemiye göre toplam direnç değerlerindeki artış (+) ve azalış (-) yüzdeleri

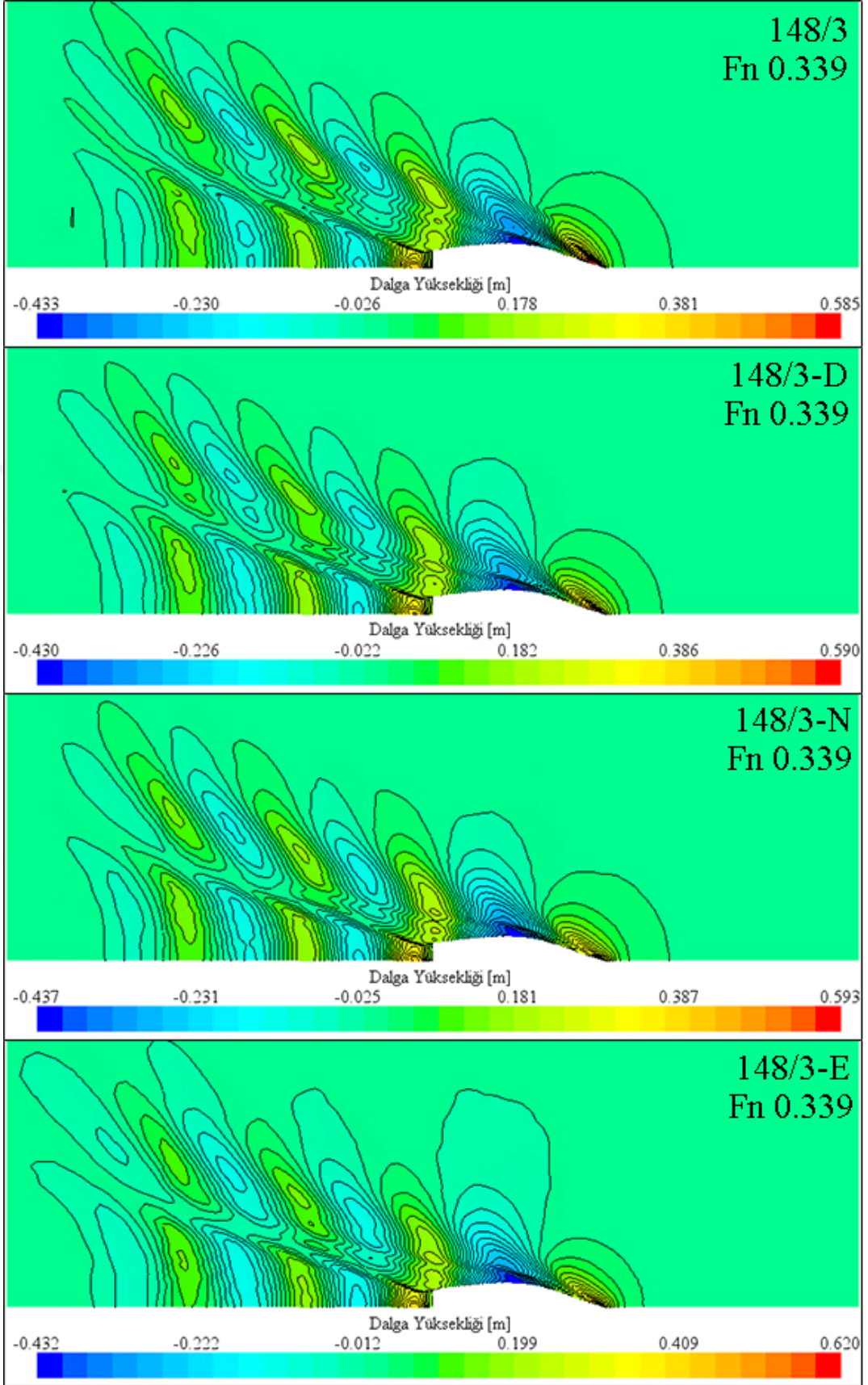
148/3, 148/3-D, 148/3-N ve 148/3-E kodlu balıkçı gemilerinin Fn 0.339 sayısında tekne simetri düzleminde oluşan dalga deformasyonları Şekil 3.11’de, serbest su yüzeyinde oluşan dalga deformasyonları ise Şekil 3.12’de gösterilmiştir.

Şekil 3.11’den görüldüğü üzere, 148/3 kodlu balıkçı gemisi için eliptik, nabla ve delta yumrubaş tipine sahip formların baş bodoslamalarındaki dalga profilinde önemli değişiklik yokken, baş omuzluk kısmında dalga yüksekliğinde azalmalar vardır. En fazla azalmayı eliptik yumrubaş sağlarken, onu nabla ve delta yumrubaşlar takip etmektedir.

Yumrubaşların tekne su altı formu boyunca akışı iyileştirdiği de bilinmektedir. Şekil 3.11 ve Şekil 3.12 birlikte incelendiğinde Fn 0.339 değerinde nabla tipi yumrubaşın diğer tip yumrubaşlara göre akışı daha fazla iyileştirdiği görülmektedir.



Şekil 3.11. Fn 0.339 değerinde 148/3, 148/3-D, 148/3-N ve 148/3-E kodlu gemilerin tekne simetri düzleminde oluşan dalga deformasyonları

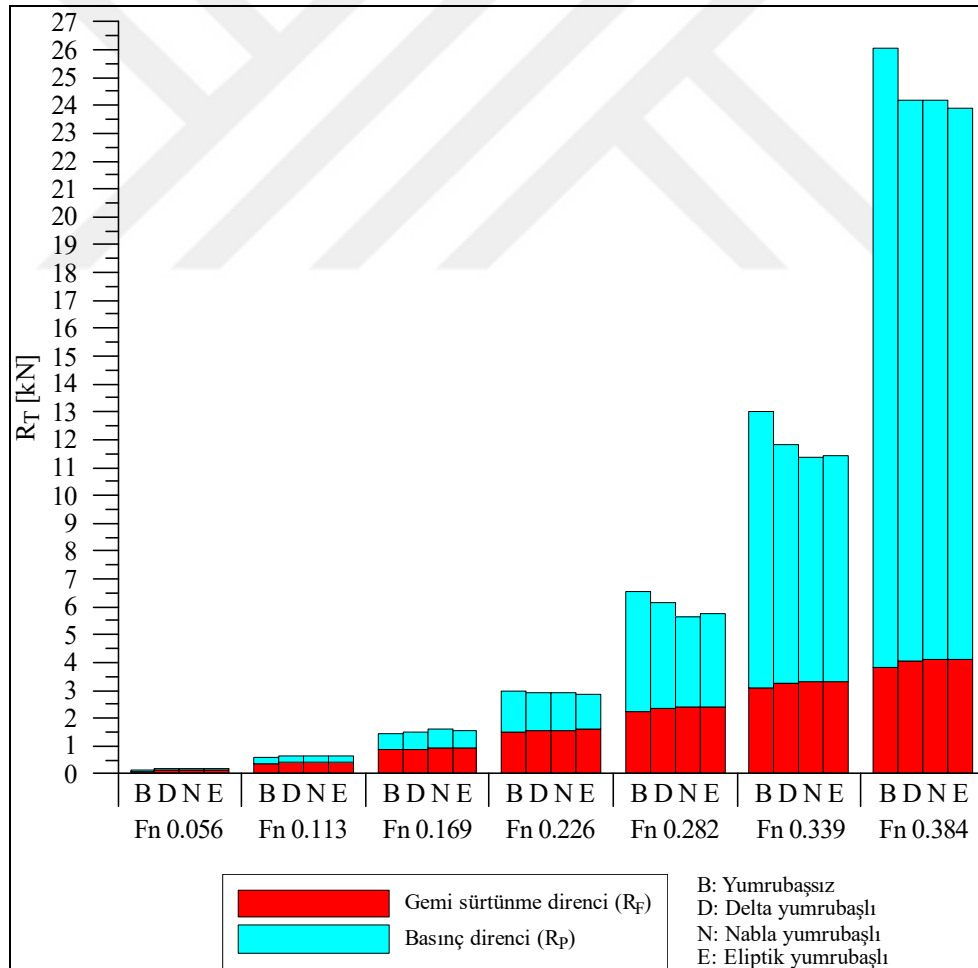


Şekil 3.12. Fn 0.339 değerinde 148/3, 148/3-D, 148/3-N ve 148/3-E kodlu gemilerin serbest su yüzeyinde oluşturduğu dalga deformasyonları

3.2.2. 148/4 Kodlu Gemilerin HAD Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Belirlenen Fn sayılarında 148/4, 148/4-D, 148/4-N ve 148/4-E kodlu gemilerin toplam direncini oluşturan gemi sürtünme direnci ve basınç direnci değerlerinin karşılaştırılması Şekil 3.13'te gösterilmiştir.

Şekil 3.13'te görüldüğü üzere, düşük Fn değerlerinde sürtünme direnci basınç direncine göre, yüksek Fn değerlerinde ise basınç direnci sürtünme direncine göre daha yüksektir. Yumrubaşsız forma göre yumrubaşlı formlarda sürtünme direnci fazlayken, basınç direnci daha düşüktür. Fn 0.339 değerinde nabla yumrubaşlı formda basınç direnci daha düşükken, Fn 0.384 değerinde eliptik yumrubaşlı formda basınç direnci diğer formlarinkine göre daha düşüktür.



Şekil 3.13. Fn değerlerine göre 148/4, 148/4-D, 148/4-N ve 148/4-E kodlu gemilerin toplam direncini oluşturan gemi sürtünme direnci ve basınç direnci değerleri grafiği

148/4, 148/4-D, 148/4-N ve 148/4-E kodlu gemilerin HAD analizlerinden elde edilen toplam direnç değerleri ve yumrubaşı formların yumrubaşsız forma göre toplam direnç değişimlerinin fark yüzdeleri Tablo 3.6'da verilmiştir. 148/4 kodlu geminin toplam direncine göre; 148/4-D kodlu geminin toplam direncinde F_n 0.056 değerinde maksimum artış varken F_n 0.339 değerinde maksimum azalış, 148/4-N kodlu geminin toplam direncinde F_n 0.169 değerinde maksimum artış varken F_n 0.282 değerinde maksimum azalış, 148/4-E kodlu geminin toplam direncinde F_n 0.169 değerinde maksimum artış varken F_n 0.282 değerinde maksimum azalış vardır.

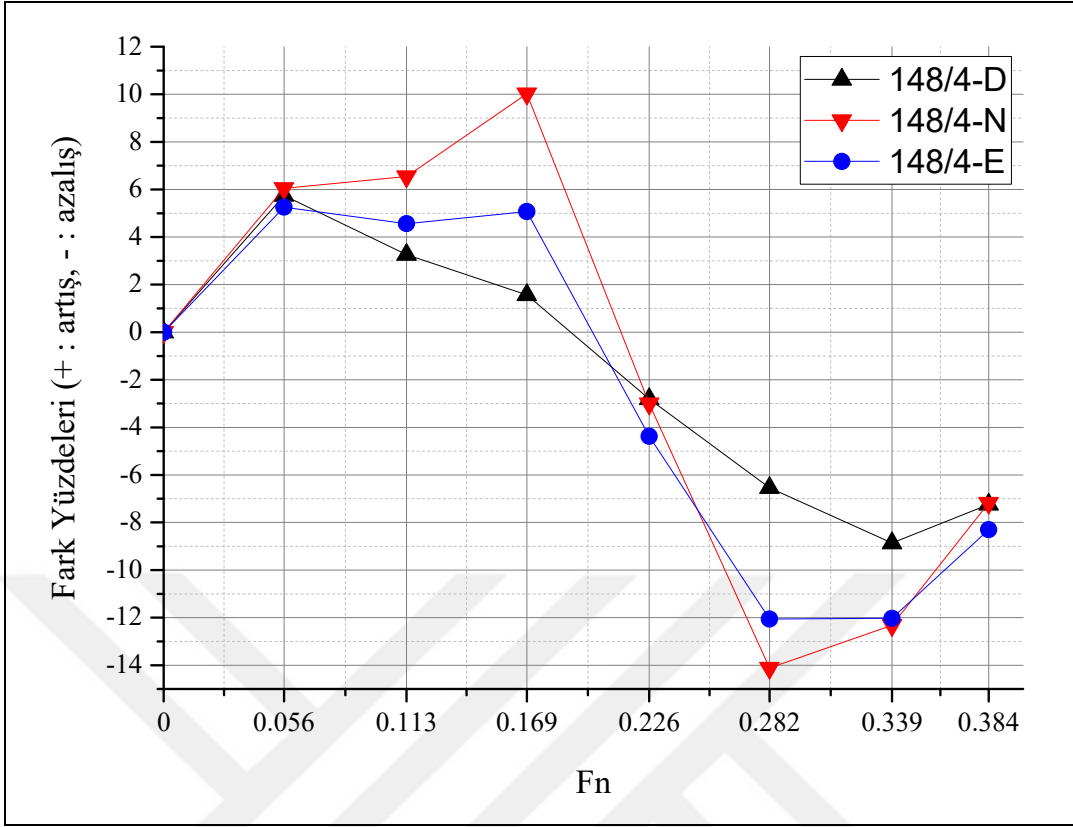
Tablo 3.6. 148/4, 148/4-D, 148/4-N ve 148/4-E kodlu gemilerin HAD analizlerinden elde edilen toplam direnç değerlerinin karşılaştırılması

F_n	V_s [knot]	148/4	148/4-D	148/4-N	148/4-E	Fark Yüzdeleri (+ : artış, - : azalış)		
		R_T [kN]	R_T [kN]	R_T [kN]	R_T [kN]	148/4-D	148/4-N	148/4-E
0.056	1.537	0.1636	0.1730	0.1735	0.1722	5.75	6.05	5.26
0.113	3.073	0.6049	0.6246	0.6445	0.6325	3.26	6.55	4.56
0.169	4.610	1.4557	1.4785	1.6016	1.5296	1.57	10.02	5.08
0.226	6.147	3.0006	2.9163	2.9104	2.8693	-2.81	-3.01	-4.38
0.282	7.684	6.5601	6.1308	5.6341	5.7692	-6.54	-14.12	-12.06
0.339	9.220	12.9917	11.8402	11.3913	11.4292	-8.86	-12.32	-12.03
0.384	10.450	26.0765	24.1884	24.2047	23.9121	-7.24	-7.18	-8.30

Belirlenen F_n sayılarında 148/4-D, 148/4-N ve 148/4-E kodlu gemilerin 148/4 kodlu gemiye göre toplam direnç değerlerindeki artış (+) ve azalış (-) yüzdeleri Şekil 3.14'te gösterilmiştir.

Şekil 3.14'ten görüldüğü üzere, 148/4 kodlu balıkçı gemisi için; delta yumrubaş F_n 0.189 değerinden, nabra yumrubaş F_n 0.213 değerinden ve eliptik yumrubaş F_n 0.200 değerinden sonra etkin olmaya başlamaktadır. Başka bir deyişle; delta yumrubaş 5.1 knot hızından, nabra yumrubaş 5.8 knot hızından ve eliptik yumrubaş 5.4 knot hızından sonra yarar sağlamaya başlamaktadır. Nabra ve eliptik yumrubaş tipi F_n 0.282 değerinde yani 7.6 knot hızında, delta tipi F_n 0.339 değerinde yani 9.2 knot hızında maksimum yarar sağlamaktadır.

Toplam dirençteki artış azalış yüzdelerinin hepsi birlikte değerlendirildiğinde 148/4 kodlu balıkçı gemisi için 10 knot servis hızı ve daha yüksek hızlarda en uygun yumrubaş formunun, eliptik yumrubaş tipi olduğu ortaya çıkmaktadır. Nabra yumrubaş formunun 6.7-9.2 knot hız aralığında eliptik yumrubaş tipinden daha yararlı olduğu da görülmektedir.

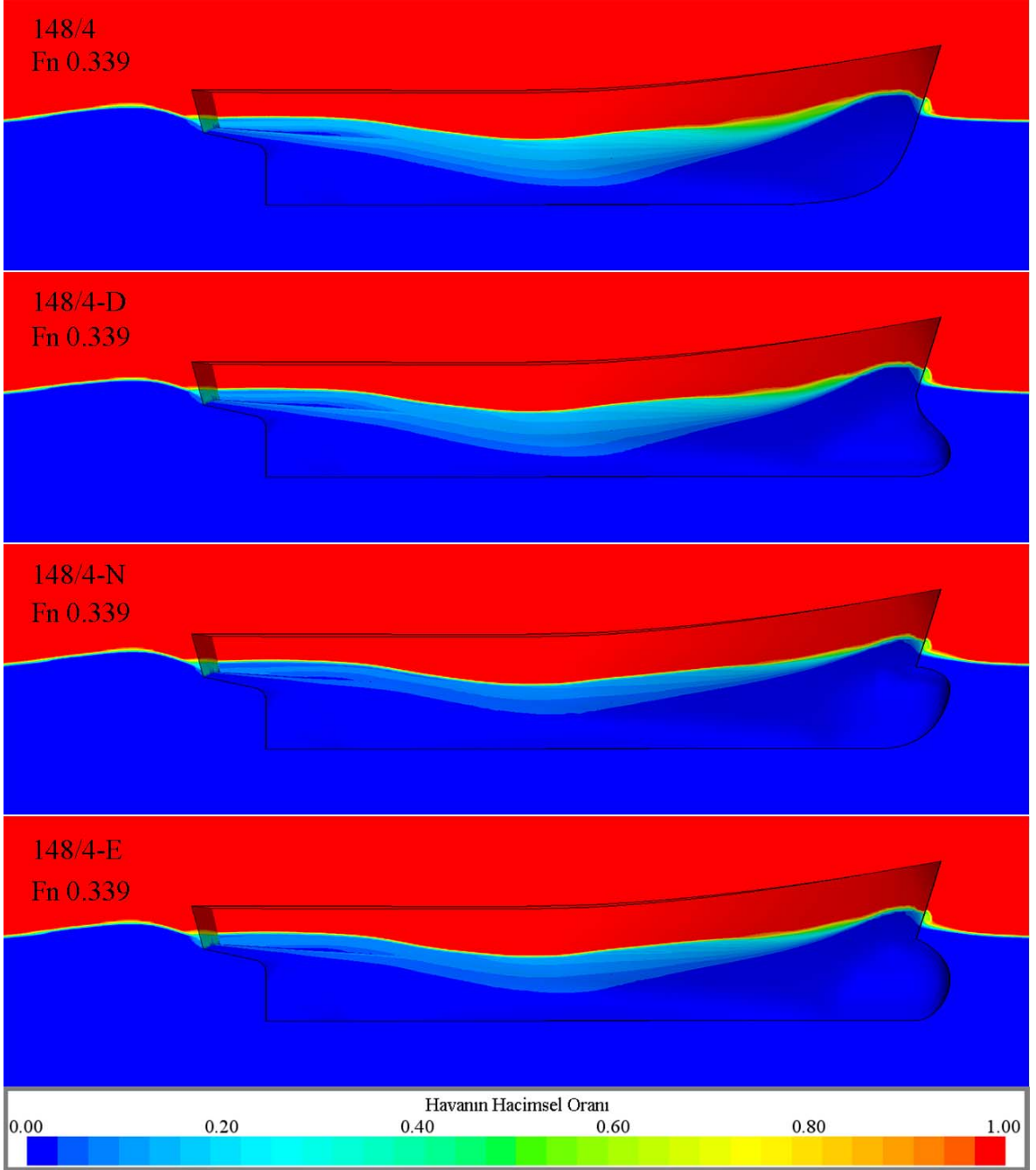


Şekil 3.14. Fn değerlerine göre 148/4-D, 148/4-N ve 148/4-E kodlu gemilerin 148/4 kodlu gemiye göre toplam direnç değerlerindeki artış (+) ve azalış (-) yüzdeleri

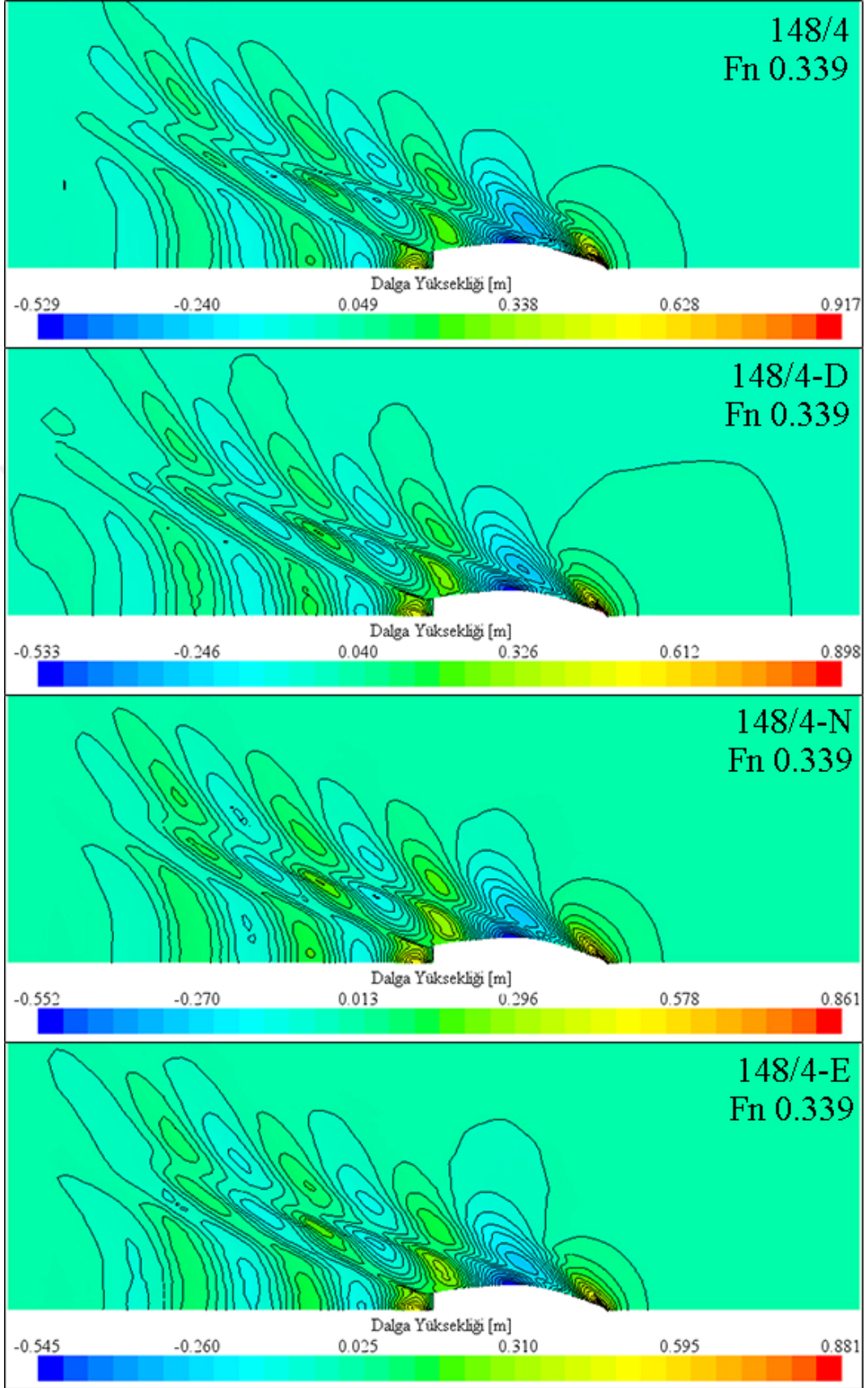
148/4, 148/4-D, 148/4-N ve 148/4-E kodlu balıkçı gemilerinin Fn 0.339 sayısında tekne simetri düzleminde oluşan dalga deformasyonları Şekil 3.15'te, serbest su yüzeyinde oluşan dalga deformasyonları ise Şekil 3.16'da gösterilmiştir.

Şekil 3.15'ten görüldüğü üzere, 148/4 kodlu balıkçı gemisi için Fn 0.339 değerinde baş dalgasını, nabla yumrubaş tipi daha fazla sönümlerken, delta yumrubaş tipi daha az sönümlenmiştir. Tekne su altı formu boyunca akışı en iyi nabla yumrubaş tipi iyileştirirken, onu eliptik yumrubaş tipi takip etmektedir.

Şekil 3.16'dan görüldüğü üzere, nabla yumrubaş tipi Fn 0.339 değerinde tekne su altı gövdesi boyunca akışı diğer yumrubaş tiplerine göre daha fazla iyileştirmektedir.



Şekil 3.15. Fn 0.339 değerinde 148/4, 148/4-D, 148/4-N ve 148/4-E kodlu gemilerin tekne simetri düzleminde oluşan dalga deformasyonları

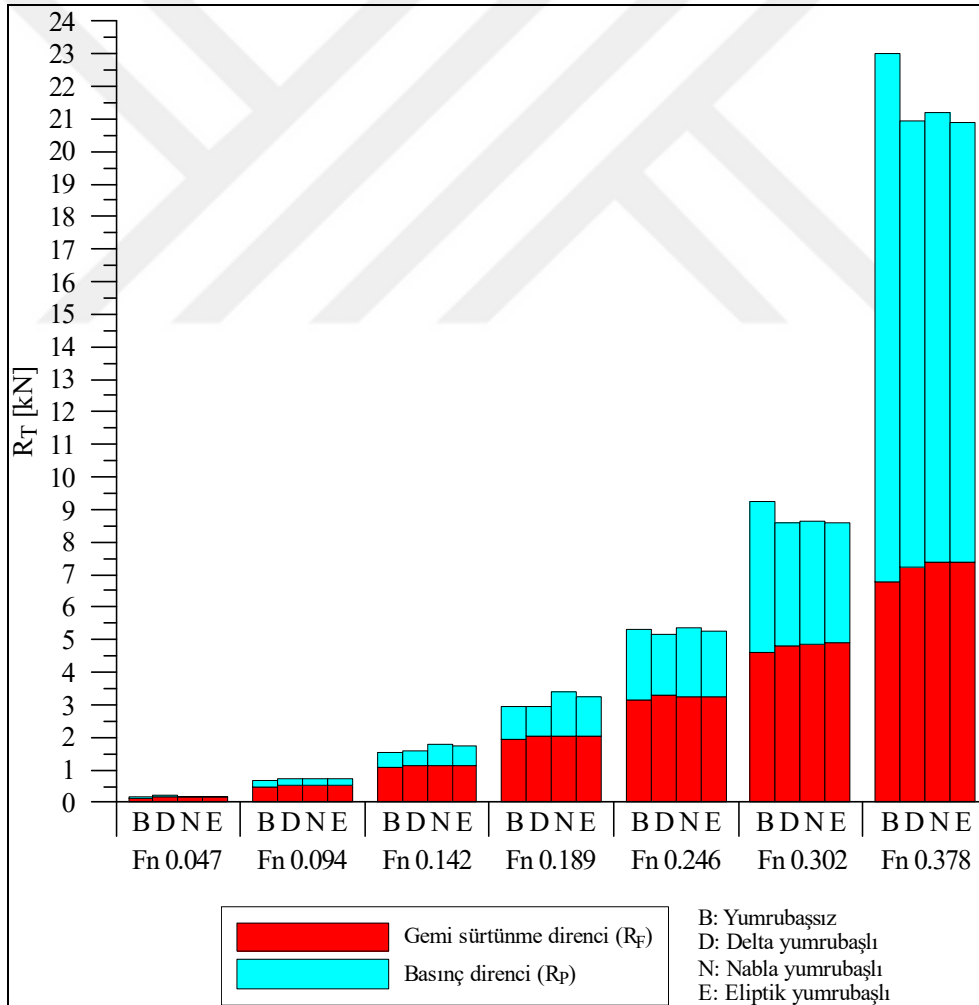


Şekil 3.16. Fn 0.339 değerinde 148/4, 148/4-D, 148/4-N ve 148/4-E kodlu gemilerin serbest su yüzeyinde oluşturduğu dalga deformasyonları

3.2.3. 148/8 Kodlu Gemilerin HAD Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Farklı Fn sayılarında 148/8, 148/8-D, 148/8-N ve 148/8-E kodlu gemilerin toplam direncini oluşturan gemi sürtünme direnci ve basınç direnci değerlerinin karşılaştırılması Şekil 3.17’de gösterilmiştir.

Şekil 3.17’de görüldüğü üzere, düşük Fn değerlerinde sürtünme direnci basınç direncine göre, yüksek Fn değerlerinde ise basınç direnci sürtünme direncine göre daha yüksektir. Yumrubaşsız forma göre yumrubaşa sahip gemilerin sürtünme direnci fazlayken, basınç direnci daha azdır. Basınç direncini en fazla azaltan ise eliptik tipli yumrubaş formudur.



Şekil 3.17. Farklı Fn sayılarında 148/8, 148/8-D, 148/8-N ve 148/8-E kodlu gemilerin toplam direncini oluşturan gemi sürtünme direnci ve basınç direnci değerleri grafiği

148/8, 148/8-D, 148/8-N ve 148/8-E kodlu gemilerin HAD analizlerinden elde edilen toplam direnç değerleri ve yumrubaşı formların yumrubaşsız forma göre toplam direnç değişimlerinin fark yüzdeleri Tablo 3.7’de verilmiştir. 148/8 kodlu geminin toplam direncine göre; 148/8-D kodlu geminin toplam direncinde F_n 0.047 değerinde maksimum artış varken F_n 0.378 değerinde maksimum azalış, 148/8-N kodlu geminin toplam direncinde F_n 0.189 değerinde maksimum artış varken F_n 0.378 değerinde maksimum azalış, 148/4-E kodlu geminin toplam direncinde F_n 0.189 değerinde maksimum artış varken F_n 0.378 değerinde maksimum azalış vardır.

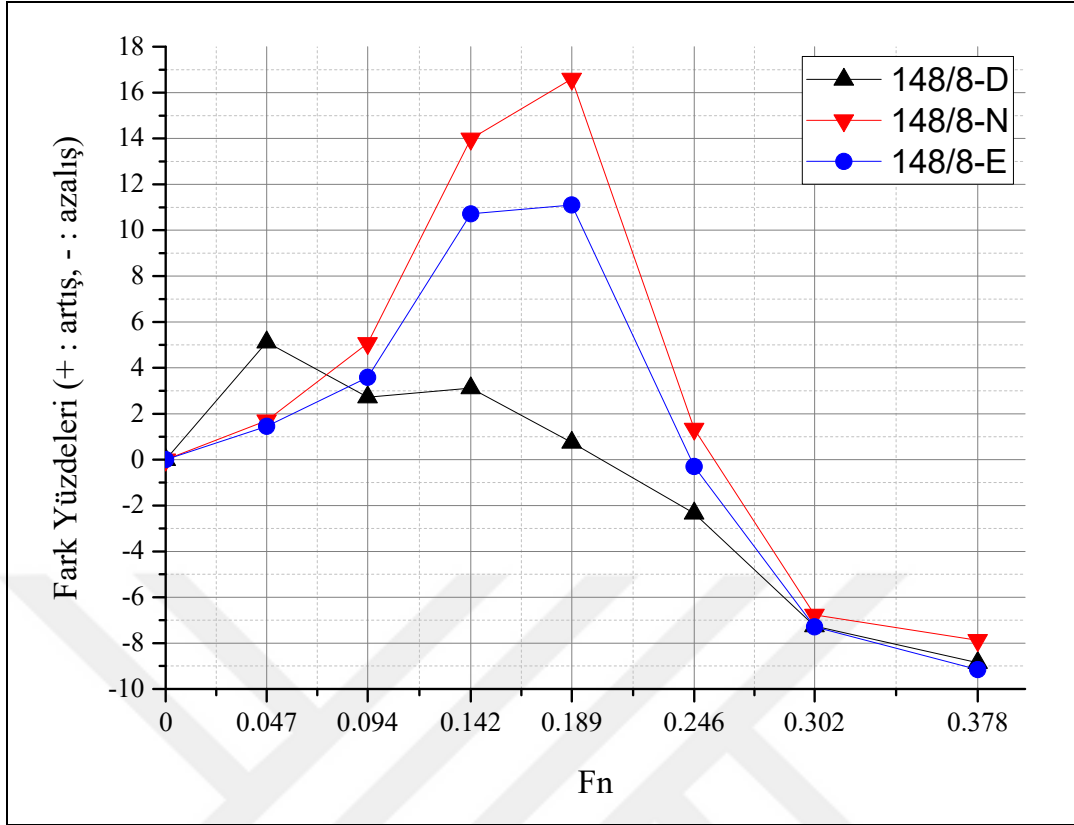
Tablo 3.7. 148/8, 148/8-D, 148/8-N ve 148/8-E kodlu gemilerin HAD analizlerinden elde edilen toplam direnç değerlerinin karşılaştırılması

F_n	V_s [knot]	148/8	148/8-D	148/8-N	148/8-E	Fark Yüzdeleri (+ : artış, - : azalış)		
		R_T [kN]	R_T [kN]	R_T [kN]	R_T [kN]	148/8-D	148/8-N	148/8-E
0.047	1.537	0.1934	0.2033	0.1967	0.1962	5.12	1.71	1.45
0.094	3.073	0.6943	0.7132	0.7295	0.7192	2.72	5.07	3.59
0.142	4.610	1.5538	1.6022	1.7711	1.7203	3.11	13.99	10.72
0.189	6.147	2.9331	2.9551	3.4200	3.2588	0.75	16.60	11.10
0.246	7.991	5.3006	5.1766	5.3718	5.2846	-2.34	1.34	-0.30
0.302	9.835	9.2407	8.5699	8.6156	8.5674	-7.26	-6.76	-7.29
0.378	12.294	22.9937	20.9573	21.1827	20.8890	-8.86	-7.88	-9.15

Belirlenen F_n sayılarında 148/8-D, 148/8-N ve 148/8-E kodlu gemilerin 148/8 kodlu gemiye göre toplam direnç değerlerindeki artış (+) ve azalış (-) yüzdeleri Şekil 3.18’de gösterilmiştir.

Şekil 3.18’den görüldüğü üzere, 148/8 kodlu balıkçı gemisi için; delta yumrubaş F_n 0.204 değerinden, nabra yumrubaş F_n 0.257 değerinden ve eliptik yumrubaş F_n 0.246 değerinden sonra etkin olmaya başlamaktadır. Başka bir deyişle; delta yumrubaş 6.6 knot hızından, nabra yumrubaş 8.4 knot hızından ve eliptik yumrubaş 8.0 knot hızından sonra yarar sağlamaya başlamaktadır. Üç yumrubaş tipi de F_n 0.378 değerinde yani 12.3 knot hızında maksimum yarar sağlamaktadır.

Toplam dirençteki artış azalış yüzdelerinin hepsi birlikte değerlendirildiğinde, 148/8 kodlu balıkçı gemisi için 10 knot servis hızı ve daha yüksek hızlarda en uygun yumrubaş formunun, eliptik yumrubaş tipi olduğu ortaya çıkmaktadır. Bunun yanında delta yumrubaş formu, düşük F_n sayılarında eliptik yumrubaş tipinden daha iyi performans göstermektedir.

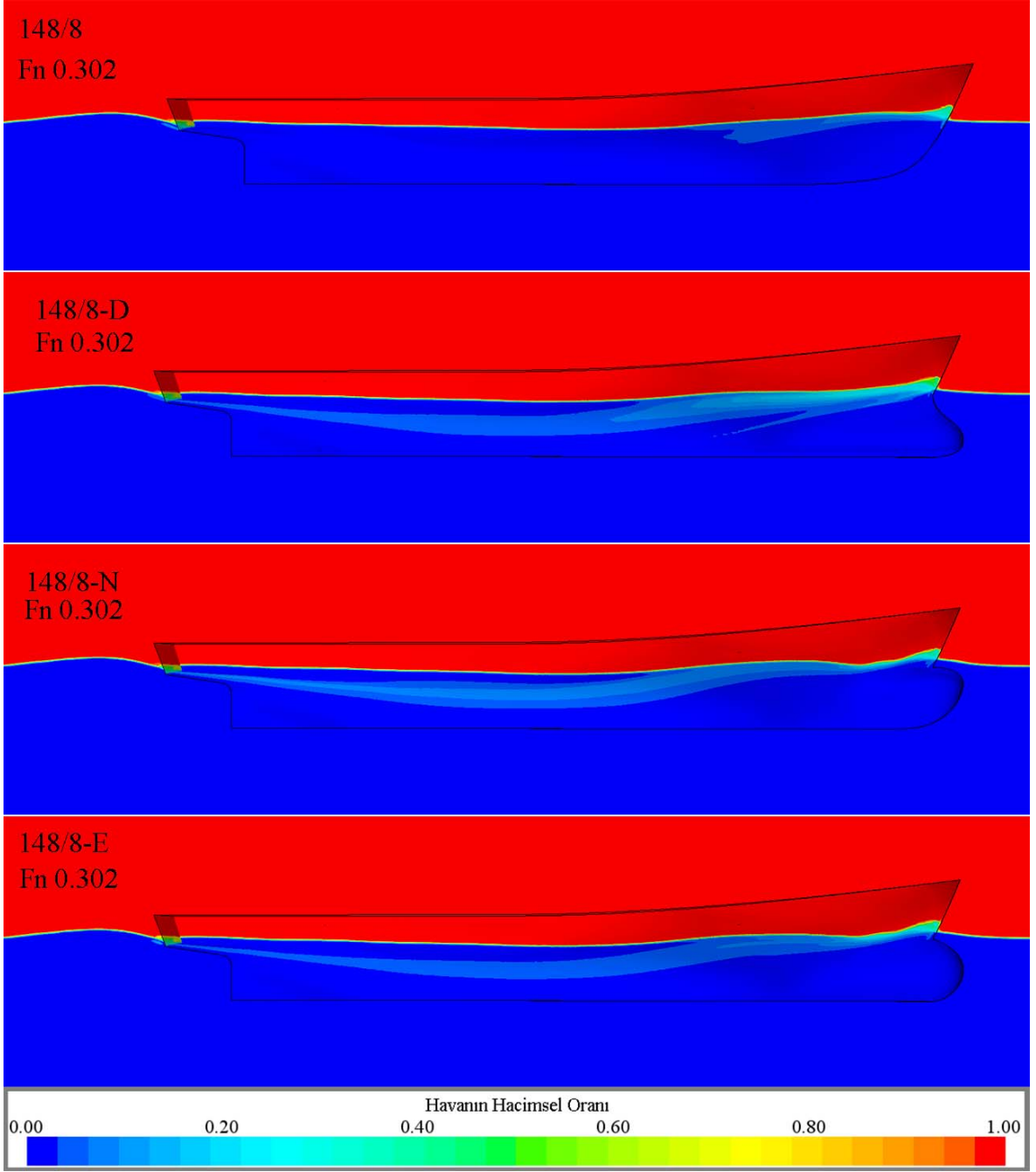


Şekil 3.18. Fn değerlerine göre 148/8-D, 148/8-N ve 148/8-E kodlu gemilerin 148/8 kodlu gemiye göre toplam direnç değerlerindeki artış (+) ve azalış (-) yüzdeleri

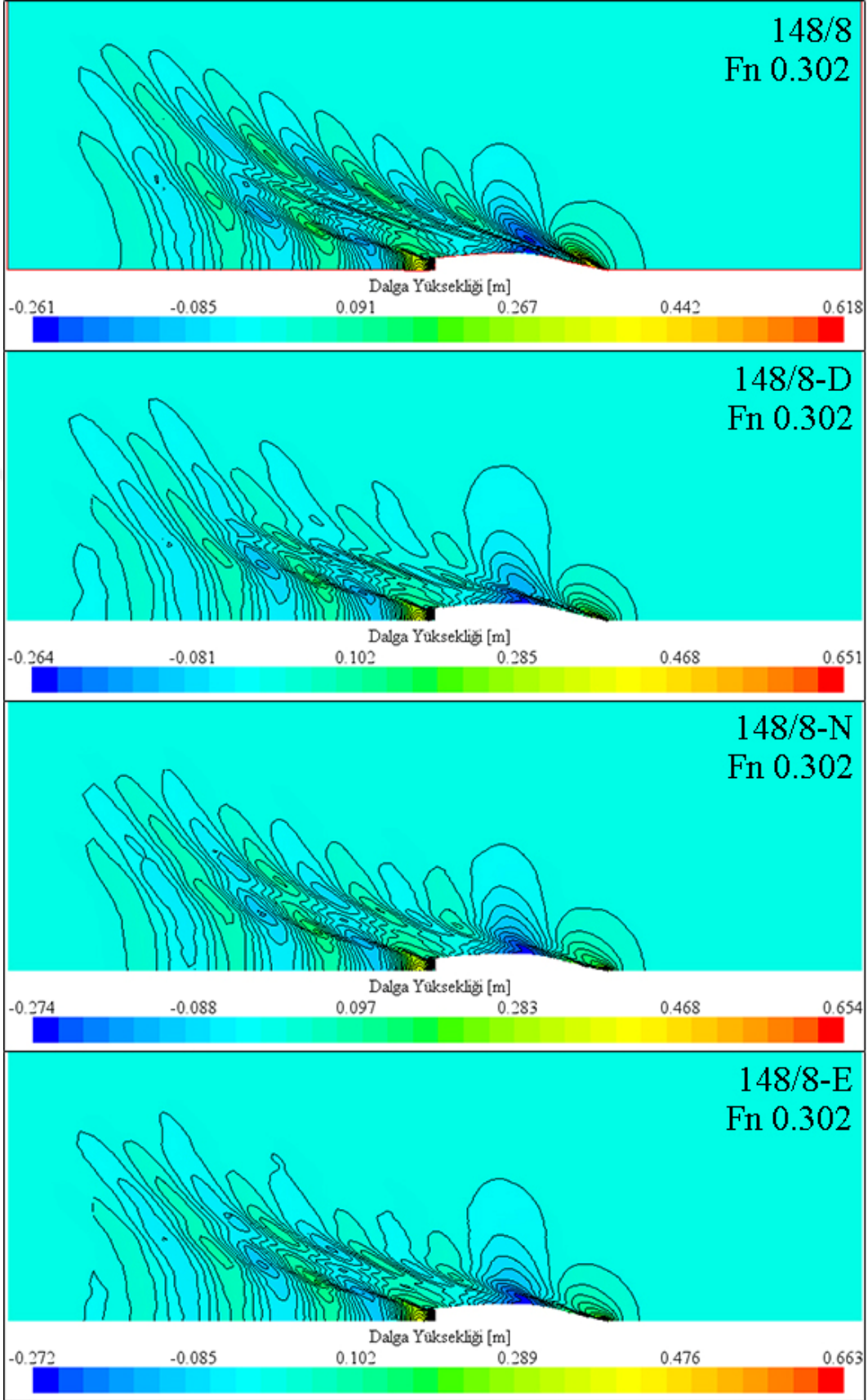
148/8, 148/8-D, 148/8-N ve 148/8-E kodlu balıkçı gemilerinin Fn 0.302 sayısında tekne simetri düzleminde oluşan dalga deformasyonları Şekil 3.19’da, serbest su yüzeyinde oluşan dalga deformasyonları ise Şekil 3.20’de gösterilmiştir.

Şekil 3.19’da görüldüğü üzere, 148/8 kodlu balıkçı gemisi için Fn 0.302 değerinde baş dalgasını eliptik yumrubaş tipi en fazla sönümlerken, bunu nabla ve delta yumrubaşlar takip etmektedir. Ancak nabla tipi yumrubaş baş omuzluk kısmında, delta yumrubaş göre dalga yüksekliğini daha fazla artırmaktadır. Tekne su altı formu etrafındaki akışı en fazla iyileştiren eliptik tipli yumrubaş formuyken, onu nabla ve delta tipli yumrubaşlar izlemektedir.

Şekil 3.20’de görüldüğü üzere, serbest su yüzeyinde oluşan dalga deformasyonlarına bakıldığında 148/8 kodlu gemi için en uygun yumrubaş formunun eliptik tipi yumrubaş olduğu görülmektedir.



Şekil 3.19. Fn 0.302 değerinde 148/8, 148/8-D, 148/8-N ve 148/8-E kodlu gemilerin tekne simetri düzleminde oluşan dalga deformasyonları

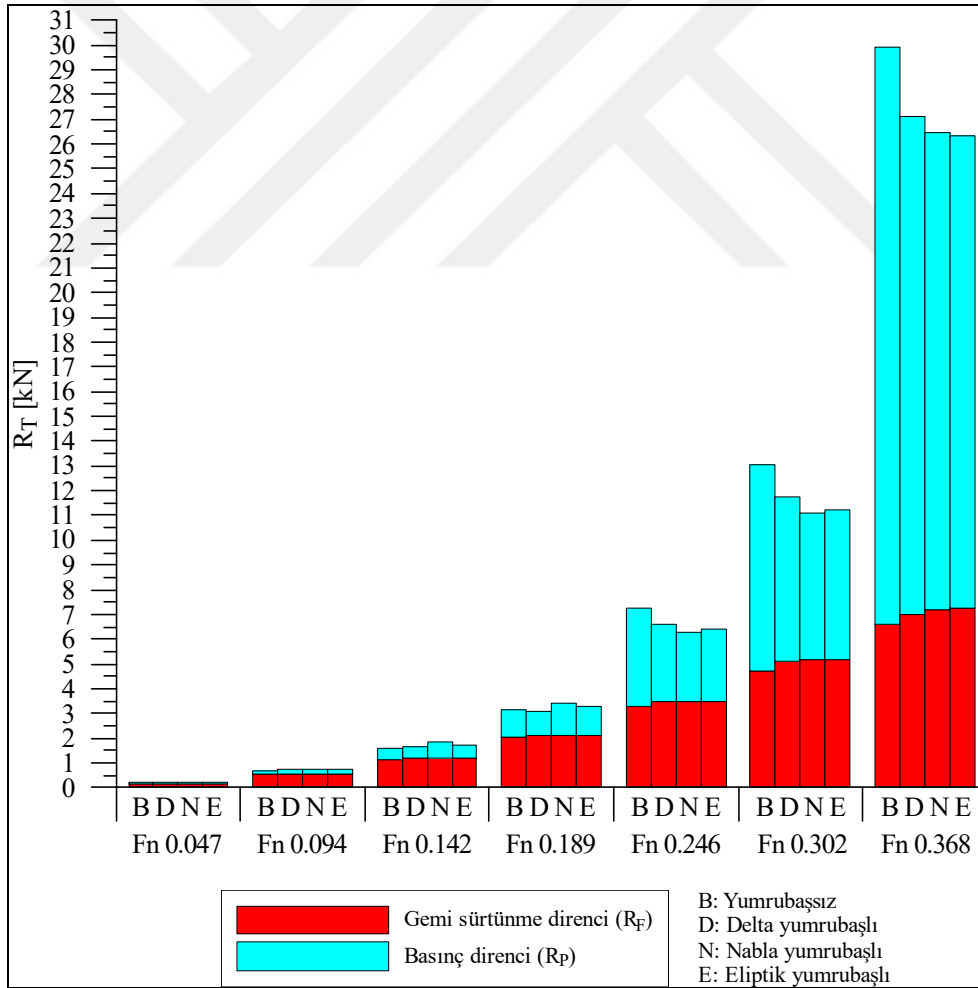


Şekil 3.20. Fn 0.302 değerinde 148/8, 148/8-D, 148/8-N ve 148/8-E kodlu gemilerin serbest su yüzeyinde oluşturduğu dalga deformasyonları

3.2.4. 148/9 Kodlu Gemilerin HAD Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Belirlenen Fn sayılarında 148/9, 148/9-D, 148/9-N ve 148/9-E kodlu gemilerin toplam direncini oluşturan gemi sürtünme direnci ve basınç direnci değerlerinin karşılaştırılması Şekil 3.21’de gösterilmiştir.

Şekil 3.21’de görüldüğü üzere, yüksek Fn değerlerinde sürtünme direnci basınç direncine göre daha düşükken, düşük Fn değerlerinde sürtünme direnci basınç direncinden daha fazladır. Düşük Fn değerlerinde nablo yumru başa sahip formun basınç direnci yüksek iken, Fn 0.246 ve Fn 0.302 değerlerinde diğer formlarınkinden daha düşüktür. Fn 0.368 değerinde en az basınç direnci eliptik yumru başlı forma sahip iken, bunu nablo ve delta yumru başa sahip formlar takip etmektedir.



Şekil 3.21. Fn değerlerine göre 148/9, 148/9-D, 148/9-N ve 148/9-E kodlu gemilerin toplam direncini oluşturan gemi sürtünme direnci ve basınç direnci değerleri grafiği

148/9, 148/9-D, 148/9-N ve 148/9-E kodlu gemilerin HAD analizlerinden elde edilen toplam direnç değerleri ve yumrubaşı formların yumrubaşsız forma göre toplam direnç değişimlerinin fark yüzdeleri Tablo 3.8’de verilmiştir. 148/9 kodlu geminin toplam direncine göre; 148/9-D kodlu geminin toplam direncinde F_n 0.047 değerinde maksimum artış varken F_n 0.302 değerinde maksimum azalış, 148/9-N kodlu geminin toplam direncinde F_n 0.142 değerinde maksimum artış varken F_n 0.302 değerinde maksimum azalış, 148/9-E kodlu geminin toplam direncinde F_n 0.142 değerinde maksimum artış varken F_n 0.302 değerinde maksimum azalış vardır.

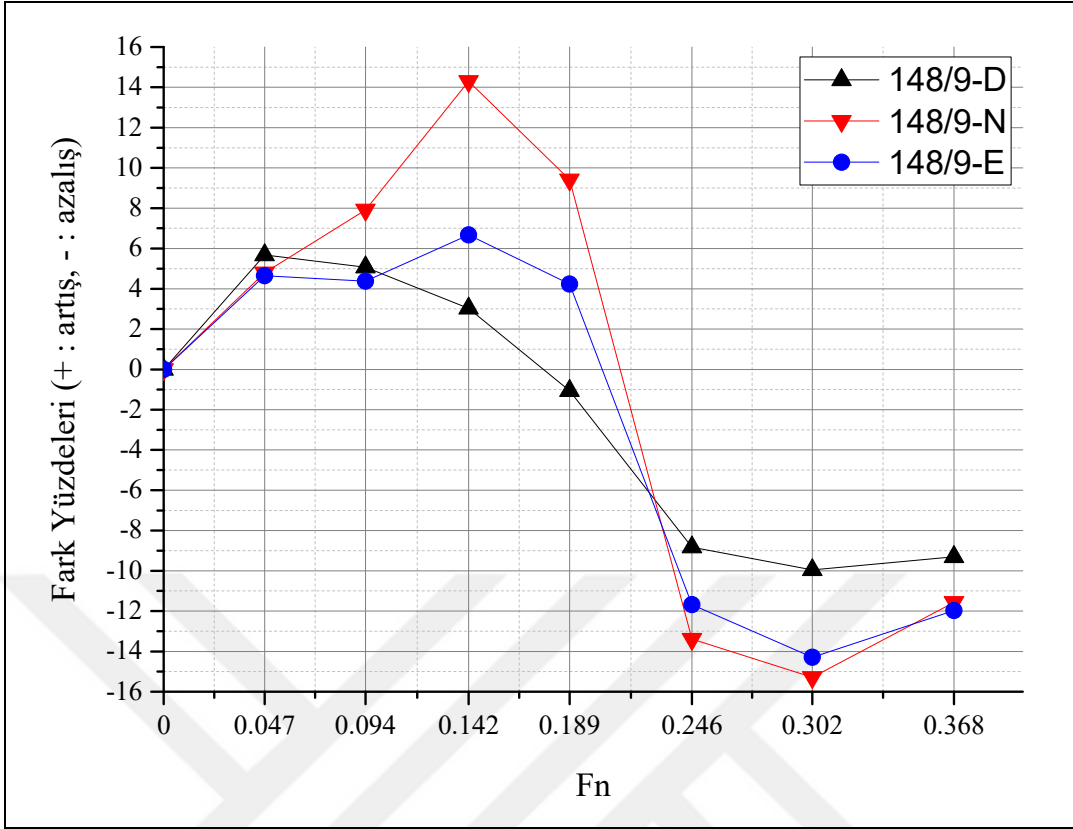
Tablo 3.8. 148/9, 148/9-D, 148/9-N ve 148/9-E kodlu gemilerin HAD analizlerinden elde edilen toplam direnç değerlerinin karşılaştırılması

F_n	V_s [knot]	148/9	148/9-D	148/9-N	148/9-E	Fark Yüzdeleri (+ : artış, - : azalış)		
		R_T [kN]	R_T [kN]	R_T [kN]	R_T [kN]	148/9-D	148/9-N	148/9-E
0.047	1.537	0.1937	0.2047	0.2030	0.2027	5.68	4.80	4.65
0.094	3.073	0.7077	0.7436	0.7637	0.7387	5.07	7.91	4.38
0.142	4.610	1.6078	1.6565	1.8378	1.7151	3.03	14.31	6.67
0.189	6.147	3.1368	3.1036	3.4321	3.2695	-1.06	9.41	4.23
0.246	7.991	7.2269	6.5889	6.2595	6.3825	-8.83	-13.39	-11.68
0.302	9.835	13.0811	11.7785	11.0816	11.2109	-9.96	-15.29	-14.30
0.368	11.987	29.9300	27.1449	26.4692	26.3456	-9.31	-11.56	-11.98

Belirlenen F_n sayılarında 148/9-D, 148/9-N ve 148/9-E kodlu gemilerin 148/9 kodlu gemiye göre toplam direnç değerlerindeki artış (+) ve azalış (-) yüzdeleri Şekil 3.22’de gösterilmiştir.

Şekil 3.22’den görüldüğü üzere, 148/9 kodlu balıkçı gemisi için; delta yumrubaş F_n 0.177 değerinden, nabra yumrubaş F_n 0.213 değerinden ve eliptik yumrubaş F_n 0.205 değerinden sonra etkin olmaya başlamaktadır. Başka bir deyişle; delta yumrubaş 5.8 knot hızından, nabra yumrubaş 6.9 knot hızından ve eliptik yumrubaş 6.7 knot hızından sonra yarar sağlamaya başlamaktadır. Üç yumrubaş tipi de F_n 0.302 değerinde yani 9.8 knot hızında maksimum yarar sağlamaktadır.

Toplam dirençteki artış azalış yüzdelerinin hepsi birlikte değerlendirildiğinde 148/9 kodlu balıkçı gemisi için 10 knot servis hızı ve daha yüksek hızlarda en uygun yumrubaş formunun, eliptik yumrubaş tipi olduğu ortaya çıkmaktadır. Nabra yumrubaş formunun 7.6-11.5 knot hız aralığında eliptik yumrubaş tipinden daha yararlı olduğu da görülmektedir.

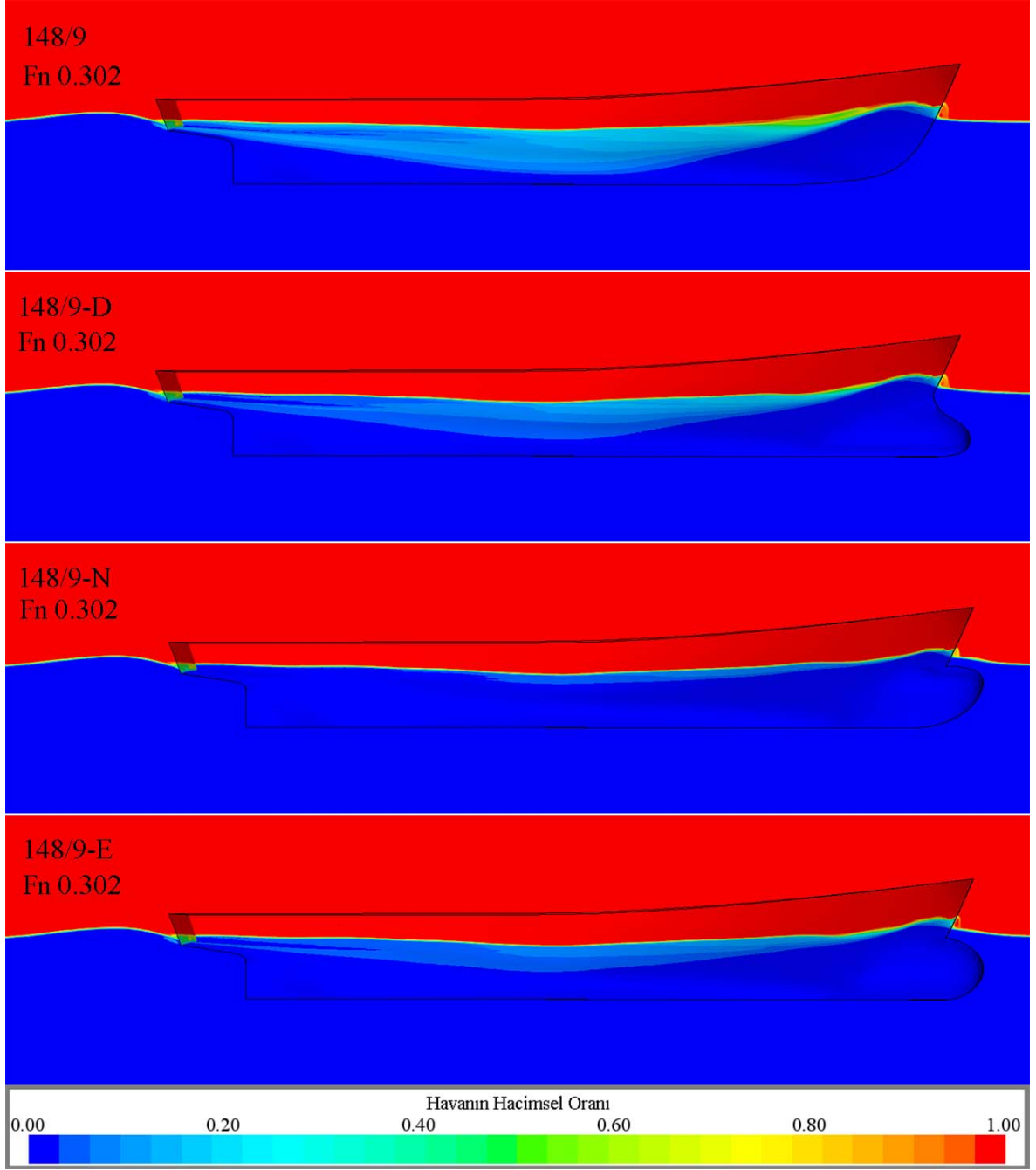


Şekil 3.22. Fn değerlerine göre 148/9-D, 148/9-N ve 148/9-E kodlu gemilerin 148/9 kodlu gemiye göre toplam direnç değerlerindeki artış (+) ve azalış (-) yüzdeleri

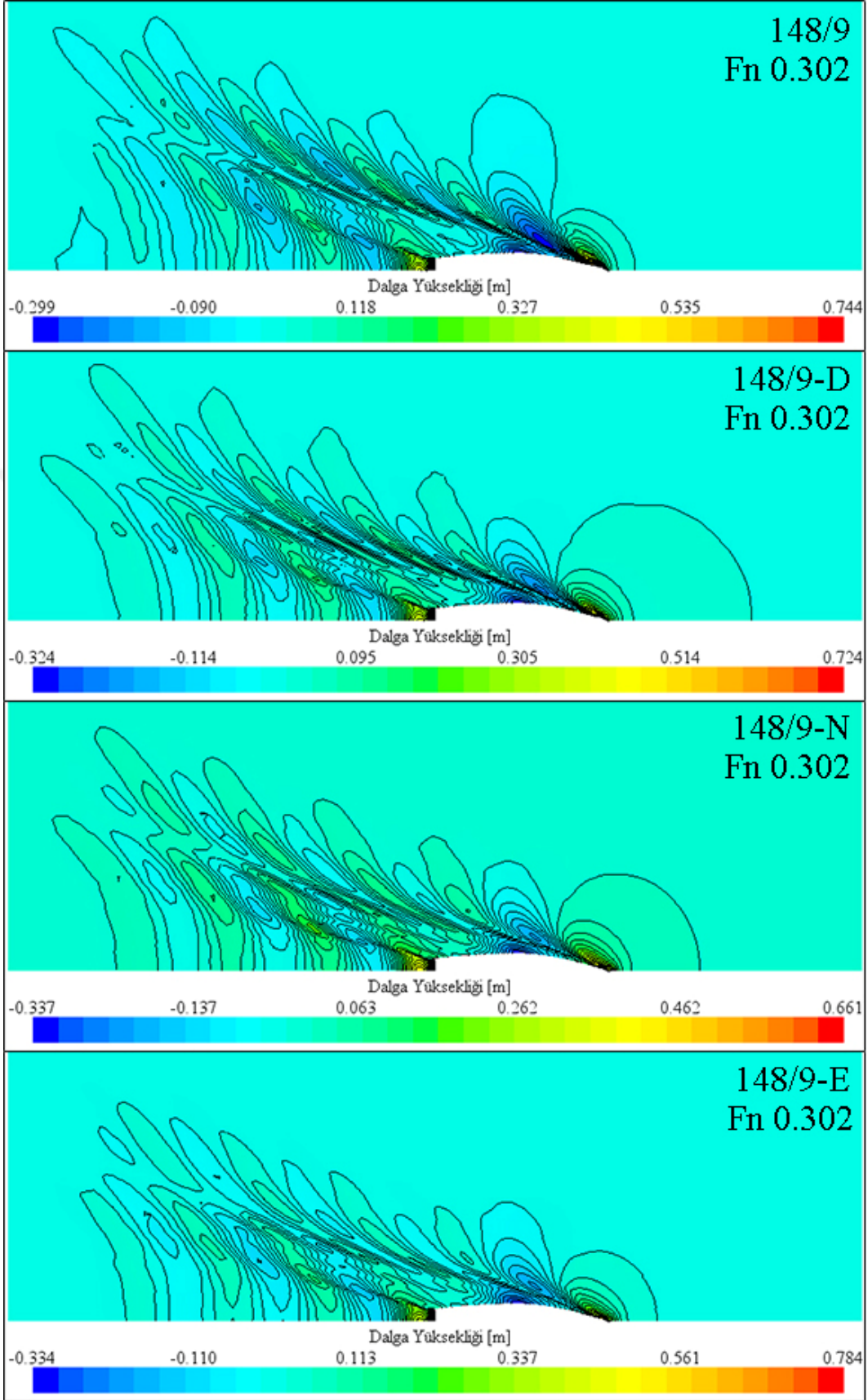
148/9, 148/9-D, 148/9-N ve 148/9-E kodlu balıkçı gemilerinin Fn 0.302 sayısında tekne simetri düzleminde oluşan dalga deformasyonları Şekil 3.23'te, serbest su yüzeyinde oluşan dalga deformasyonları ise Şekil 3.24'te gösterilmiştir.

Şekil 3.23'te görüldüğü üzere, 148/9 kodlu balıkçı gemisi için Fn 0.302 değerinde baş dalgasını nabra tipi yumrubaş en fazla sönümlerken, en az delta tipi yumrubaş sönümlemektedir. Tekne su altı formu etrafındaki akışı en fazla nabra yumrubaş formu iyileştirirken, onu sırasıyla eliptik ve delta tipi yumrubaşlar takip etmektedir. Tekne simetri düzleminde oluşan dalga deformasyonları incelendiğinde Fn 0.302 değerinde 148/9 kodlu balıkçı gemisi için en uygun yumrubaş tipinin nabra olduğu görülmektedir.

Şekil 3.24'te görüldüğü üzere, serbest su yüzeyinde oluşan dalga deformasyonlarına bakıldığında, eliptik yumrubaşlı formun oluşturduğu dalgalar, diğer formlara göre gemi ardında daha az alan kaplamaktadır.



Şekil 3.23. Fn 0.302 değerinde 148/9, 148/9-D, 148/9-N ve 148/9-E kodlu gemilerin tekne simetri düzleminde oluşan dalga deformasyonları



Şekil 3.24. Fn 0.302 değerinde 148/9, 148/9-D, 148/9-N ve 148/9-E kodlu gemilerin serbest su yüzeyinde oluşturduğu dalga deformasyonları

4. İRDELEME

HAD hesaplama sonuçlarının deneysel veriler ile desteklenmesi ve doğruluklarının kontrol edilmesi gerekir. Gemi toplam direncini tahmin etmek için yapılan HAD çalışmaları, genellikle daha önce yapılmış model direnç deneylerinin HAD programlarında modellenmesi şeklindedir. İlk önce HAD analizleri yapıp sonra model direnç deneyleri yapılarak, elde edilen sonuçların karşılaştırılması şeklinde de çalışmalar yapılmaktadır. Her iki şekilde de HAD sonuçları deney verileri ile karşılaştırılıp, aradaki fark bulunarak HAD çalışmasının ne kadar başarılı olduğu tespit edilir.

HAD ile geminin toplam direnci hesaplanırken, hız arttıkça ve gemi geometrisi karmaşıklaştıkça, türbülans olayının tam olarak modellenmesindeki zorluklardan dolayı, HAD sonuçları ile deneysel veriler arasındaki fark yüzdesi artmaktadır. HAD sonuçlarının hız arttıkça deney sonuçlarına göre farkı; $0.1 < F_n < 0.2$ durumunda % 5, $0.2 < F_n < 0.3$ durumunda % 10, $0.3 < F_n$ durumunda % 20 ise yapılan HAD çalışmasından elde edilen sonuçların literatüre uygun olduğu kabul edilebilir.

Yapılan çalışmada, daha önce model direnç deneyleri yapılmış İTÜ Balıkçı Gemileri Serisi formlarından 148/3, 148/4, 148/8 ve 148/9 kodlu gemilerin belirlenen F_n sayılarında HAD analizleri yapıp, hesaplama sonuçları deneysel veriler ile karşılaştırılmıştır. Tablo 4.1’de görüldüğü üzere, 148/3 ve 148/8 kodlu gemilerin HAD hesaplama sonuçları, Hughes yöntemine göre elde edilen deneysel veriler ile büyük bir uyum içindedir.

Tablo 4.1. HAD ile elde edilen gemi toplam direnç değerlerinin, Hughes yöntemiyle elde edilmiş değerlere göre fark yüzdeleri

148/3		148/4		148/8		148/9	
F_n	Fark (%)	F_n	Fark (%)	F_n	Fark (%)	F_n	Fark (%)
0.056	1.42	0.056	4.06	0.047	2.56	0.047	0.24
0.113	1.43	0.113	2.75	0.094	0.37	0.094	1.51
0.169	0.39	0.169	4.05	0.142	0.84	0.142	2.93
0.226	0.23	0.226	8.14	0.189	0.23	0.189	1.63
0.282	2.92	0.282	10.33	0.246	0.61	0.246	1.33
0.339	1.25	0.339	14.85	0.302	0.45	0.302	11.76
0.384	5.96	0.384	13.94	0.378	7.66	0.368	12.46

Tablo 4.1 incelendiğinde, 148/4 ve 148/9 kodlu gemilerin $0.3 < F_n$ durumundaki fark yüzdeleri biraz fazla olsa bile literatürde kabul edilen fark yüzdelerinin oldukça altındadırlar.

HAD analizlerinde türbülans modelinin probleme göre doğru sonuç vermesini sağlayan türbülans yoğunluğu, türbülans hızı ölçeği ve türbülans viskozitesi oranı değerleri, gemi direnci hesaplama problemlerinde her gemi formunda ve hızda sabit alınmaktadır. Literatürde gemiler için bu değerlerin, hangi C_B 'de ve hangi hızda, ne olması gerektiği ayrıntılı olarak incelenmemiştir. HAD analizlerinde gemilerin toplam direncini bulma problemlerinde bu değerler için, kullanılan HAD programının önerdiği sabit sayılar kabul edile gelmiştir. HAD hesaplama sonuçları ile deneysel veriler arasındaki kabul edilebilir fark yüzdelerinin ne olması gerektiği, F_n sayısına bağlı olarak belirtilmiştir.

Yapılan çalışmada, türbülans yoğunluğu, türbülans hızı ölçeği ve türbülans viskozitesi oranı değerleri için, kullanılan HAD programının önerdiği sabitler kabul edilmiştir. 148/3 ve 148/8 kodlu gemilerin tekne narinlik katsayıları ortalama 0.405 iken, 148/4 ve 148/9 kodlu gemilerinki ortalama 0.495'tir. Yüksek C_B değerlerinde düşük C_B 'li gemilere göre, tekne su altı formu etrafındaki akış daha türbülanslı olduğu için, 148/4 ve 148/9 kodlu gemilerin toplam direnç değerleri 148/3 ve 148/8 kodlu gemilerinkine göre daha fazla fark yüzdesi ile hesap edilmiştir.

148/3, 148/4, 148/8 ve 148/9 kodlu gemilerin HAD analizlerinde kullanılan program ayarları, değerleri ve sabitleri korunarak; her modelin delta, nabla ve eliptik yumrubaşlı formlarının HAD analizleri yapılmıştır. 148/3-D, 148/3-N ve 148/3-E kodlu gemilerin HAD analizlerinden bulunan toplam direnç değerlerinin doğruluk oranı, 148/3 kodlu geminin her F_n sayısında hesaplanan HAD değeri ile deney değeri arasındaki fark yüzdesi kadardır. 148/4-D, 148/4-N ve 148/4-E kodlu gemilerin HAD analizlerinden bulunan toplam direnç değerlerinin doğruluk oranı, 148/4 kodlu geminin her F_n sayısında hesaplanan HAD değeri ile deney değeri arasındaki fark yüzdesi kadardır. 148/8-D, 148/8-N ve 148/8-E kodlu gemilerin HAD analizlerinden bulunan toplam direnç değerlerinin doğruluk oranı, 148/8 kodlu geminin her F_n sayısında hesaplanan HAD değeri ile deney değeri arasındaki fark yüzdesi kadardır. 148/9-D, 148/9-N ve 148/9-E kodlu gemilerin HAD analizlerinden bulunan toplam direnç değerlerinin doğruluk oranı, 148/9 kodlu geminin her F_n sayısında hesaplanan HAD değeri ile deney değeri arasındaki fark yüzdesi kadardır.

5. SONUÇLAR

Balıkçı gemilerinde hangi tip yumrubaşın hangi C_B ve boyda daha etkin olduğunun bulunması amacıyla, İTÜ Balıkçı Gemileri Serisi tekne formlarından 148/3, 148/4, 148/8 ve 148/9 kodlu gemilere delta, nabla ve eliptik tipi yumrubaş uygulamaları yapılmıştır. İlk önce, belirlenen F_n sayılarında 148/3, 148/4, 148/8 ve 148/9 kodlu gemilerin HAD analizleri yapılarak elde edilen toplam direnç değerleri ile deney sonuçlarından Froude ve Hughes yöntemleriyle elde edilen toplam direnç sonuçları karşılaştırılmış ve HAD hesaplamalarının doğrulukları kontrol edilmiştir. Sonra, 148/3, 148/4, 148/8 ve 148/9 kodlu gemilere delta, nabla ve eliptik tipi yumrubaş eklenerek oluşturulan yumrubaşlı formların HAD analizleri yapılmış ve elde edilen yumrubaşlı formların toplam direnç değerleri ile yumrubaşsız formların toplam direnç değerleri karşılaştırılmıştır.

Elde edilen sonuçlar formlara göre değerlendirildiğinde:

- 148/3 kodlu gemide; delta yumrubaş 4.3 knot, nabla yumrubaş 7.1 knot ve eliptik yumrubaş 6.7 knot hızdan sonra yarar sağlamaya başlamaktadır. 10 knot servis hızı ve sonrası hızlarda eliptik yumrubaş tipi en fazla yarar sağlamıştır. Delta ve nabla yumrubaşların servis hızında yararları aynıyken düşük hızlarda delta nablaya göre daha yararlıdır. Servis hızı civarında en fazla yarar sağlayan eliptik yumrubaş tipidir.
- 148/4 kodlu gemide; delta yumrubaş 5.1 knot, nabla yumrubaş 5.8 knot ve eliptik yumrubaş 5.4 knot hızdan sonra yarar sağlamaya başlamaktadır. 10 knot servis hızı ve sonrası hızlarda eliptik yumrubaş tipi en fazla yarar sağlarken nabla tipi yumrubaş 6.7-9.2 knot aralığında eliptik tipi yumrubaş göre daha fazla yarar sağlamıştır.
- 148/8 kodlu gemide; delta yumrubaş 6.6 knot, nabla yumrubaş 8.4 knot ve eliptik yumrubaş 8.0 knot hızdan sonra yarar sağlamaya başlamaktadır. 10 knot servis hızı ve sonrasında eliptik yumrubaş formu daha fazla yarar sağlarken, servis hızından düşük hızlarda delta tipi yumrubaş daha fazla yarar sağlamaktadır. Üç tip yumrubaşın da servis hızı civarında yararları birbirine yakındır, ancak daha düşük hızlarda delta yumrubaşın diğer tip yumrubaşlara göre daha fazla yararlı olduğu görülmektedir.

- 148/9 kodlu gemide; delta yumrubaş 5.8 knot, nabla yumrubaş 6.9 knot ve eliptik yumrubaş 6.7 knot hızdan sonra yarar sağlamaya başlamaktadır. 0.0-7.6 knot hız aralığında eliptik yumrubaş nabla yumrubaştan daha yararlı iken, 7.6-11.5 knot hız aralığında nabla tipi yumrubaş eliptik yumrubaştan daha yararlıdır. 11.5 knot hızdan sonra ise eliptik yumrubaş daha yararlı olmaktadır.

Tüm formlarda 0.0-12.0 knot hız aralığı düşünüldüğünde eliptik yumrubaşın diğer tip yumrubaşlardan daha yararlı olduğu görülmüştür.

C_B 'ye göre yumrubaşların etkinlikleri 10 knot servis hızında değerlendirildiğinde;

- C_B 0.405 değerinde yumrubaşların yarar yüzdesi ortalama % 10'dur.
- C_B 0.495 değerinde yumrubaşların yarar yüzdesi ortalama %13'tür.

C_B değeri arttıkça yumrubaşların servis hızında sağladıkları yarar artmaktadır. Ayrıca, C_B değeri arttıkça yumrubaşların maksimum yarar sağladıkları hız aralığı da artmaktadır.

L/B oranına göre yumrubaşların etkinlikleri değerlendirildiğinde;

- Yumrubaşların, L/B oranı 3.5 olan gemilerde, L/B oranı 5.0 olan gemilere göre daha düşük hızlarda yarar sağlamaya başladıkları görülmüştür.
- Yumrubaşların servis hızında, L/B oranı 3.5 olan gemilerde ortalama %11, L/B oranı 5.0 olan gemilerde ise ortalama %10 oranında yarar sağladıkları tespit edilmiştir.

Yumrubaşların, L/B oranı 3.5 olan gemilerde L/B oranı 5.0 olan gemilere göre daha düşük hızlarda yarar sağlamaya başladıkları ve servis hızında daha fazla yarar sağladıkları tespit edilmiştir.

Yumrubaşların tiplerine göre etkinlikleri değerlendirildiğinde;

- Delta tipi yumrubaşın ortalama 5.4 knot hızında yarar göstermeye başladığı, servis hızında ise ortalama % 8.9 yarar sağladığı tespit edilmiştir.
- Nabla tipi yumrubaşın ortalama 7.0 knot hızında yarar göstermeye başladığı, servis hızında ise ortalama % 11.0 yarar sağladığı tespit edilmiştir.
- Eliptik tipi yumrubaşın ortalama 6.7 knot hızında yarar göstermeye başladığı, servis hızında ise ortalama % 11.2 yarar sağladığı tespit edilmiştir.

Değişik düşük hızlarda olmak üzere toplam dirençte, delta tipi yumrubaş % 4, nabla tipi yumrubaş %14 ve eliptik tipi yumrubaş %8 artış sağlamaktadır.

Tüm değerlendirmeler göz önünde bulundurulduğunda, balıkçı gemileri için en uygun yumrubaşın, eliptik tipi yumrubaş olduğu görülmektedir.

6. ÖNERİLER

HAD analizlerinde türbülans modelinin probleme göre doğru sonuç vermesini sağlayan türbülans yoğunluğu, türbülans hızı ölçeği ve türbülans viskozitesi oranı değerleri değiştirilerek yüksek hızlarda daha tutarlı analizler yapılabilir. Bu değerlerin belirlenmesi her problem için ayrı bir araştırma konusu oluşturmaktadır.

Yumrubaş formlarının maksimum genişlikleri ve uzunlukları, daha önce yapılan çalışmalardan referans alınarak belirlenmiştir. Yumrubaşların baş dikeydeki genişlikleri ve baş dikeyden uzunlukları %5'er artırılarak veya azaltılarak HAD analizleri yapılabilir. Böylece yapılan çalışmada önerilen maksimum genişlik ve uzunluklardan daha fazla yarar sağlayan yumrubaş ölçüleri bulunmaya çalışılabilir.

Yumrubaşların su yüzeyine göre konumları, performanslarını etkilemektedir. Tasarlanan yumrubaşların su yüzeyine göre düşey konumları değiştirilerek HAD ile etkinlik analizleri yapılabilir.

Günümüz balıkçı gemilerine, belirlenen tiplerde ve ölçülerde yumrubaş uygulamaları yapılarak, yumrubaşların yararlılık durumları HAD hesaplamaları ile incelenebilir.

7. KAYNAKLAR

- Aksu, E., 2011. Gemi Direncinin Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Yöntemiyle Hesaplanması, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Aydın, M., 2002. Türkiye Sularına Uygun Balıkçı Gemilerinin Bilgisayar Destekli Dizaynı, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Aydın, M. ve Şalcı, A., 2007. Geometrical Characteristics of Fishing Boats Series of ITU, Marine Technology, 44,2, 125-137.
- Aydın, M. ve Şalcı, A., 2008. Resistance Characteristics of Fishing Boats Series of ITU, Marine Technology, 45,4, 194-210.
- Baba, E., 1969. A New Component of Viscous Resistance of Ships, Transactions of the Society of Naval Architects of Japan, 125,69–81.
- Baykal, R. ve Dikili, A. C., 2002. Gemilerin Direnci ve Makina Gücü, İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.
- Bodur, E., 1990. Optimum Size of A Drop Section Bulb, Istanbul Technical University
- Bragg, M., 1930. Results of Experiments upon Bulbous Bows, Transactions SNAME, 38,13-43.
- CD-Adapco, 2014. User Guide, Star-CCM+ Version 9.04, CD-adapco.
- Chrismianto, D. ve Kim, D. J., 2014. Parametric Bulbous Bow Design Using The Cubic Bezier Curve and Curve-Plane Intersection Method for The Minimization of Ship Resistance in CFD, Journal of Marine Science and Technology, 19,4, 479-492.
- Chung, T. J., 1978. Finite Element Analysis in Fluid Dynamics, McGraw-Hill, New York.
- Courant, R., Friedrichs, K. ve Lewy, H., 1928. Über die partiellen Differenzengleichungen der mathematischen Physik, Mathematische Annalen (in German), 100,1, 32-74.
- Cusanelli, D. S., 1994. Development of a Bow for a Naval Surface Combatant which Combines a Hydrodynamic Bulb and a Sonar Dome. Paper presented at the American Society of Naval Engineers Technical Innovation Symposium.
- Demirel, Y. K., 2012. Yüzey Kirliliğinin Gemi Direnci Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- Evans, M. W., Harlow, F. H. ve Bromberg, E., 1957. The particle-in-cell method for hydrodynamic calculations, Los Alamos Scientific Laboratory Report LA-2139, New Mexico.
- Ferguson, A. M., 1967. Hull and Bulbous Bow Interaction, Transactions RINA, 421-441.
- Godunov, S. K., 1959. A Difference Method for Numerical Calculation of Discontinuous Solutions of The Equations of Hydrodynamics, Matematicheskii Sbornik, 89,3, 271-306.
- Gopala, V. R. ve Wachem, B., 2008. Volume of Fluid Methods for Immiscible-Fluid and Free-Surface Flows, Chemical Engineering Journal, 141,204–221.
- Hirt, C. W. ve Nichols, B. D., 1981. Volume of Fluid (VOF) Method for The Dynamics of Free Boundaries, Journal of Computational Physics, 39,1, 201–225.
- Huang, C. H., Chiang, C. C. ve Chou, S. K., 1998. An Inverse Geometry Design Problem in Optimizing Hull Surfaces, Journal of Ship Research, 42,2, 79–85.
- Huang, Y. A., Liu, D. L., Sun, F. S., Zhang, D. Y. ve Lu, D., 2012. Research on Optimum Design of Molded Lines of the Bulbous Bow of a Container Vessel. In Q. J. Gao (Ed.), Machinery, Materials Science and Engineering Applications, 510, 417-423, Trans Tech Publications Ltd., Stafa-Zurich.
- Inui, T., Takaehi, T. ve Kumano, M., 1960. Wave Profile Measurement on the Wave Making Characteristics of the Bulbous Bow, Society of Naval Architects of Japan (Translation from the University of Michigan), 16-35.
- Inui, T., 1962. Wave Making Resistance of Ships, Transactions SNAME, 70,283–313.
- ITTC, Fresh Water and Seawater Properties.
<http://itc.info/downloads/Archive%20of%20recommended%20procedures/2011%20Recommended%20Procedures/7.5-02-01-03.pdf>. 25 Şubat 2016.
- Kafalı, K., Şaylan, Ö. ve Şalcı, A., 1979. Türkiye Sularına Uygun Balıkçı Gemisi Formlarının Geliştirilmesi, TÜBİTAK Mühendislik Araştırma Grubu, Proje No: G-416, İstanbul.
- Kafalı, K., 1982. Gemi Formunun Statik ve Dinamik Esasları, İTÜ Kütüphanesi, İstanbul.
- Kafalı, K., 1999. Gemi Formunun Hidrodinamik Dizaynı, İTÜ Vakfı Yayınları, İstanbul.
- Kim, K. J. ve Jang, Y. H., 1996. Investigation of the Effects of Bulbous Bows on the Ship Wave Characteristics by CFD, Paper presented at the Proceedings KOJAM-96, Taejon, 197–213,
- Kocaman, C., 2010. Gemi Formlarının CFD Kullanarak Optimizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- Kracht, A. M., 1978. Design of Bulbous Bows, Transactions SNAME, 86,197–217.
- Lane, E. L., 2010. The Effect of Bulbous Bows On Resistance and Powering Performance of a Forty-Five Foot Trawler Yacht, Master Thesis, Memorial University of Newfoundland, Faculty of Engineering and Applied Science, Canada.
- Lax, P. ve Wendroff, B., 1960. Systems of Conservation Laws, Communications on Pure and Applied mathematics, 13,2, 217-237.
- Lee, K. J. ve Sarath, E. S., 2005. Optimized Design of Hull Form and Bulbous Bow for ULCS Proceedings of the Fifteenth, 715-721, Cupertino: International Society Offshore&Polar Engineers.
- Maccormack, R. W., 1969. The Effect of Viscosity in Hypervelocity Impact Cratering, AIAA PAPER, 69-354.
- MEGEP, 2008. Denizcilik, T.C. Millî Eğitim Bakanlığı, Ankara.
- Mehdiyev, N., 2009. Yüksek Süratli Kayıcı Bir Teknenin Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Yöntemi ile Form Optimizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Muntjewerf, J. J., 1967. Methodical Series Experiments on Cylindrical Bows, Transactions RINA, 199-223.
- Oden, J. T., 1972. Finite Elements in Nonlinear Continua, McGraw-Hill, New York.
- Özdemir, Y. H., 2007. Gemi Etrafındaki Akışın Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Yöntemi Kullanılarak İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Özdemir, Y. H., 2014. Gemi Direncinin ve Hareketlerinin Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Yöntemi Kullanılarak İncelenmesi, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Perez, F., Suarez, J. A., Clemente, J. A. ve Souto, A., 2007. Geometric Modelling of Bulbous Bows With The Use of Non-Uniform Rational B-Spline Surfaces, Journal of Marine Science and Technology, 12,2, 83-94.
- Sarasquete, A., Collazo, A. C., Coache, S., Meis, M. ve Ruiz, V., 2012. Increased Energy Efficiency of The Fishing Fleet Due to Improved Hydrodynamic Performance, Paper presented at the Second International Symposium on Fishing Vessel Energy Efficiency, Vigo, Spain
- Sharma, R. ve Sha, O. P., 2005. Practical Hydrodynamic Design of Bulbous Bows for Ships, Naval Engineers Journal, 117,1, 57-75.
- Shearer, J. R. ve Steele, B. N., 1970. Some Aspects of the Resistance of Full Form Ships, Transactions RINA, 69–83.

- Shih, T. H., Liou, W. W., Shabbir, A., Yang, Z. ve Zhu, J., 1995. A New $k - \epsilon$ Eddy-Viscosity Model for High Reynolds Number Turbulent Flows—Model Development and Validation, Computers Fluids, 24,3, 227-238.
- Söylemez, M., 1983. Balıkçı Teknelerine Yumrubaş Uygulaması, Lisans Bitirme Ödevi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri Fakültesi, İstanbul.
- Stromgren, C., 1995. A Comparison of Alternative Bow configurations, Marine Technology, 32,3, 224–230.
- Sukas, Ö. F., 2014. Prediction of Wave Resistance by Experimental and Computational Methods, M.Sc. Thesis, Istanbul Technical University, Graduate School of Science Engineering and Technology, İstanbul.
- Taylor, D. W., 1923. Marine Engineering and Shipping Age, 540-548.
- Turner, M. J., W., C. R., Martin, H. C. ve Topp, L. J., 1956. Stiffness and Deflection Analysis of Complex Structures, Journal of the Aeronautical Sciences, 23,9, 805-823.
- Usta, O., 2012. Tekne Yüzey Pürüzlülüğünün Sınır Tabaka ve Gemi Direncine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Weinblum, G., 1935. Die Theorie der Wulstschiffe, Der Gesellschaft für Angewandte Mathematik, 135-156.
- Wigley, W. C. S., 1936. The Theory of Bulbous Bow and its Practical Application, Transactions NECIES, 52,65–88.
- Xie, Y. ve Xia, X. D., 2011. CFD Simulation for Displacement Deep-vee Vessels on Resistance Influence Factor. In Q. Luo (Ed.), Recent Trends in Materials and Mechanical Engineering Materials, Mechatronics and Automation, 1-3, 55-57, 692-697, Trans Tech Publications Ltd., Stafa-Zurich.
- Yasa, A. M., 2013. Açık Deniz Tipi Balıkçı Teknesinde Yumrubaş Dizaynı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Yılmaz, Ö., 2009. Gemi Etrafındaki Akışın Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Yöntemiyle İncelenmesi, Lisans Bitirme Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Sürmene Deniz Bilimleri Fakültesi, Trabzon.
- Yim, B., 1963. On Ships with Zero and Small Wave Resistance, Paper presented at the in Proceedings of International Seminar on Theoretical Wave Resistance, Michigan, USA, 163–193,
- Yim, B., 1965. Analyses of Spherical Bulbs on a Ship Bow, Inc. Technical Report 117, 28–39.

Yim, B., 1974. A Simple Design Theory and Method for Bulbous Bows of Ships, Journal of Ship Research, 18,3, 141–152.

Yim, B., 1980. Simple Calculation of Sheltering Effect on Ship-Wave Resistance and Bulbous Bow Design, Journal of Ship Research, 24,4, 232–243.

Zienkiewics, O. C. ve Cheung, Y. K., 1965. Finite Elements in The Solution of Field Problems, The Engineer, 220,507-510.

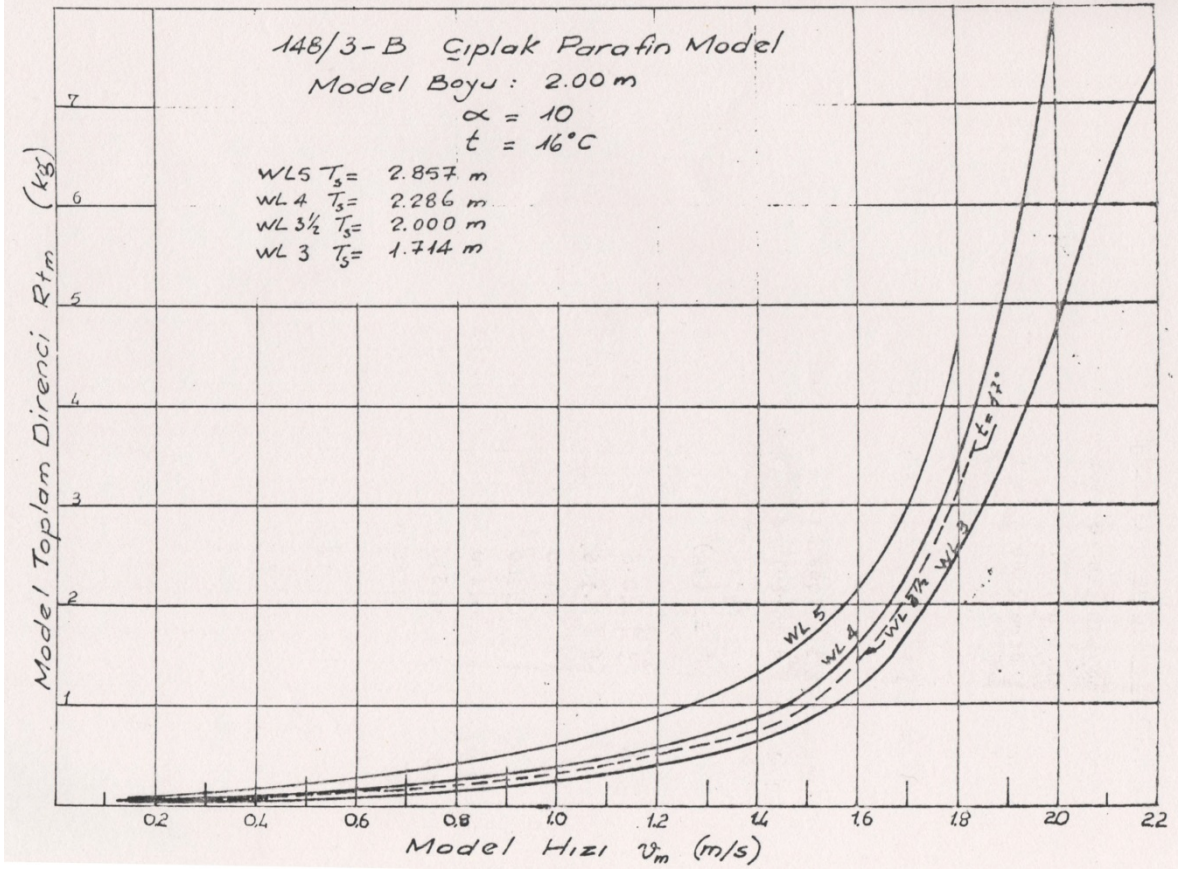
URL-1, <http://www.basarangemi.com.tr/tr/?p=hakkimizda> Hakkımızda. 05 Ocak 2016.

URL-2, <http://www.ergungemi.com.tr/sayfa.asp?islem=kurumsal#tarihce> Kurumsal Tarihçe. 05 Ocak 2016.

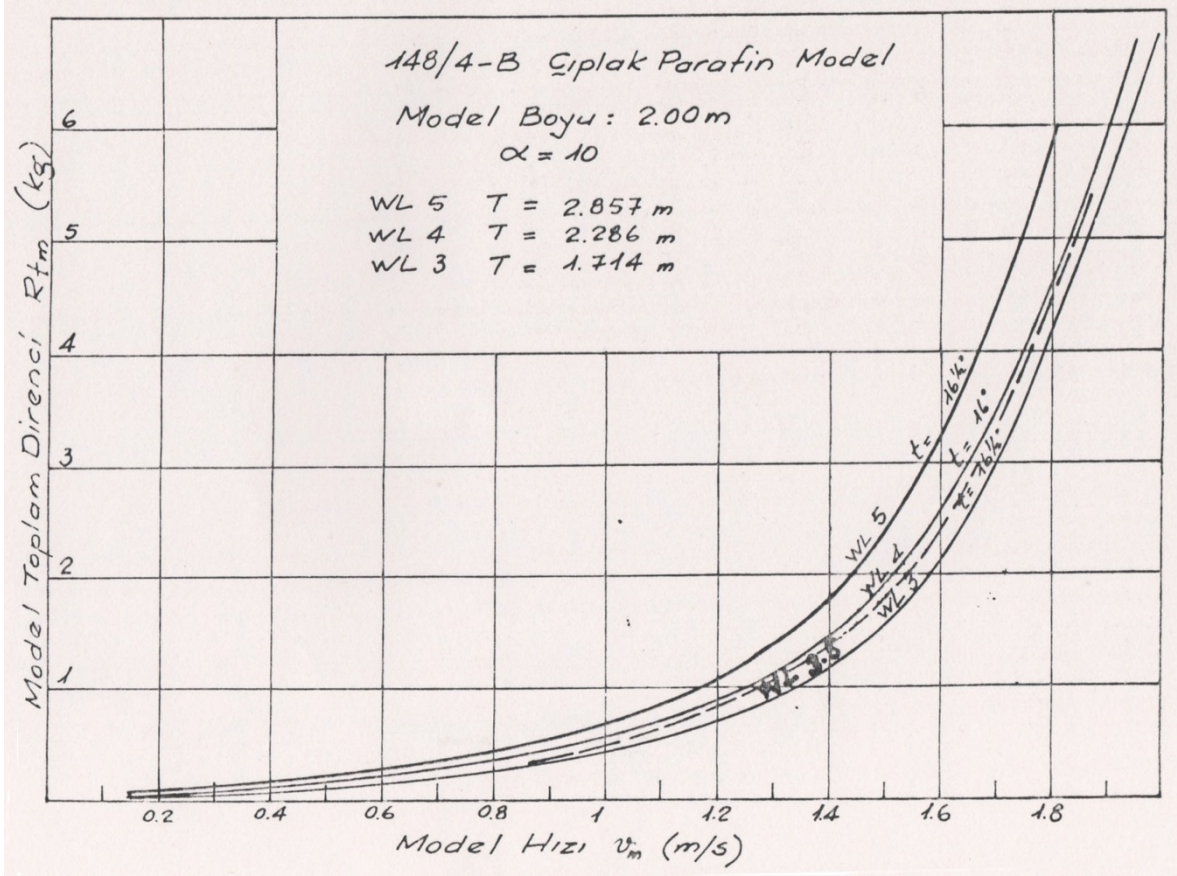
URL-3, http://sedatgediklihoobi.com/FileUpload/bs382263/File/taka_orjinal.jpg Orijinal Taka. 30 Şubat 2016.

URL-4, https://en.wikipedia.org/wiki/Courant–Friedrichs–Lewy_condition CFL Durumu. 21 Mart 2016.

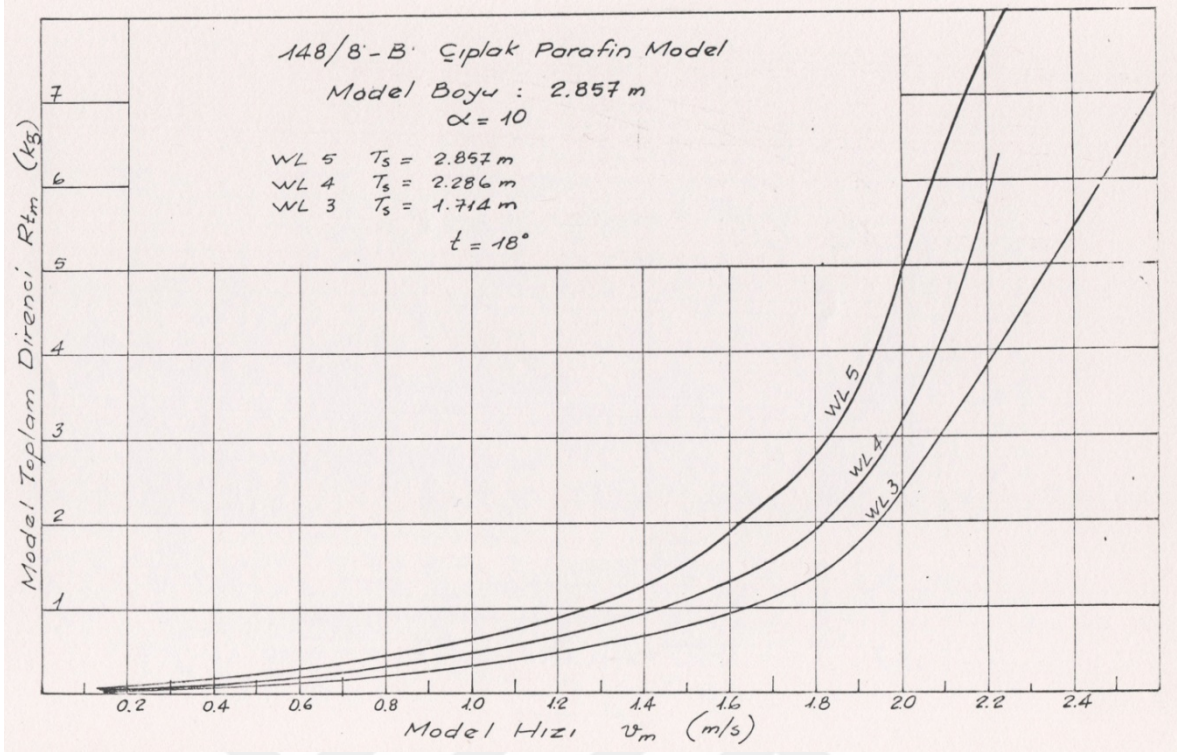
8. EKLER



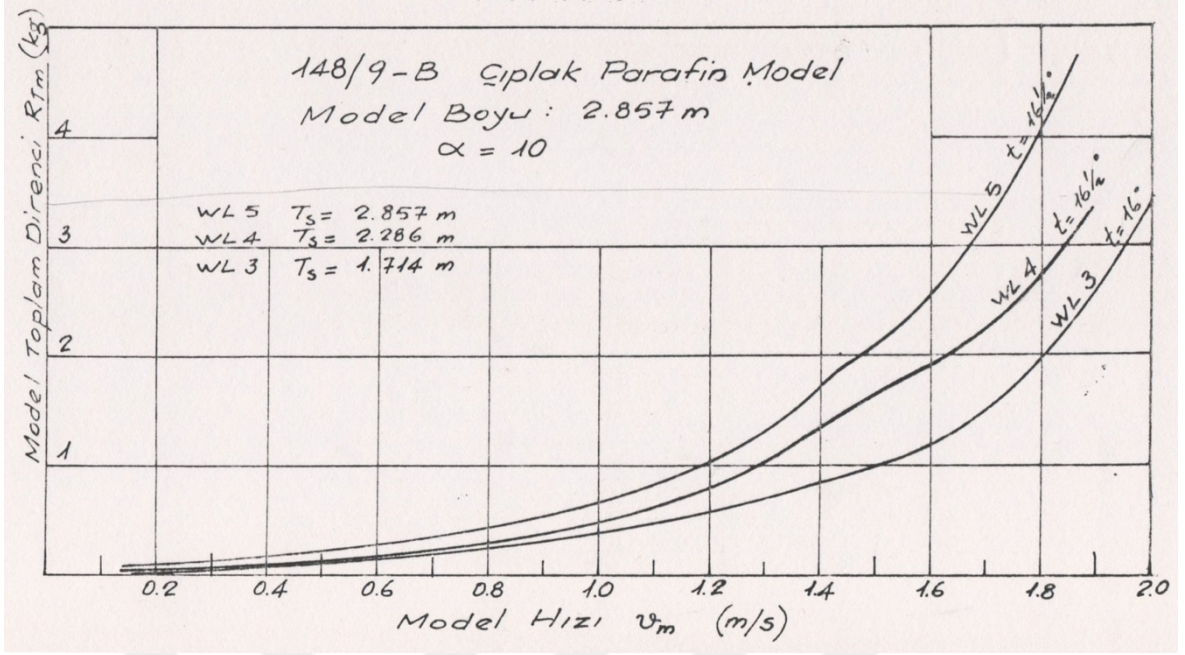
Ek Şekil 1. 148/3B kodlu modelin V_m - R_{Tm} grafiği (Kafalı vd., 1979).



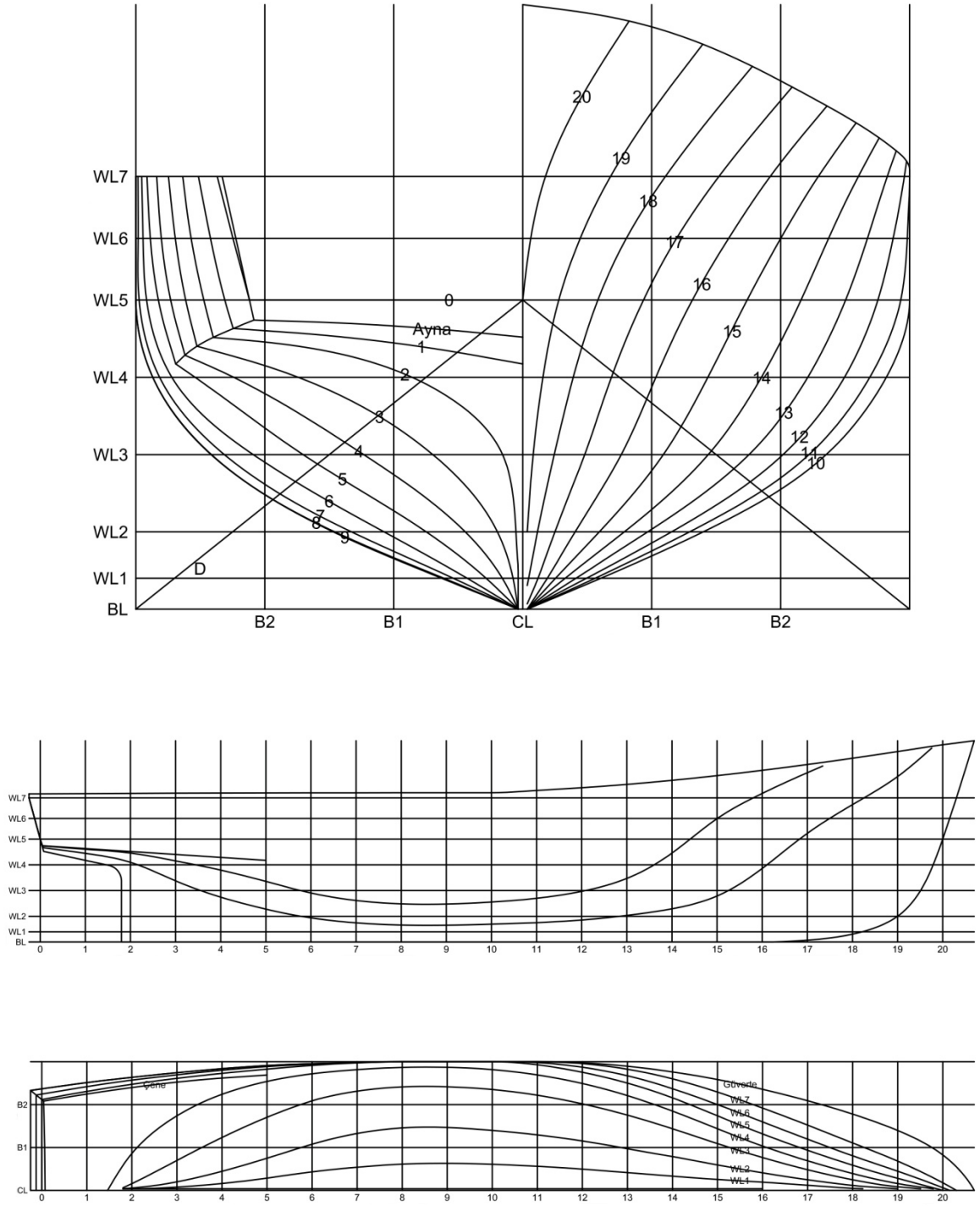
Ek Şekil 2. 148/4B kodlu modelin V_m - R_{Tm} grafiği (Kafalı vd., 1979).



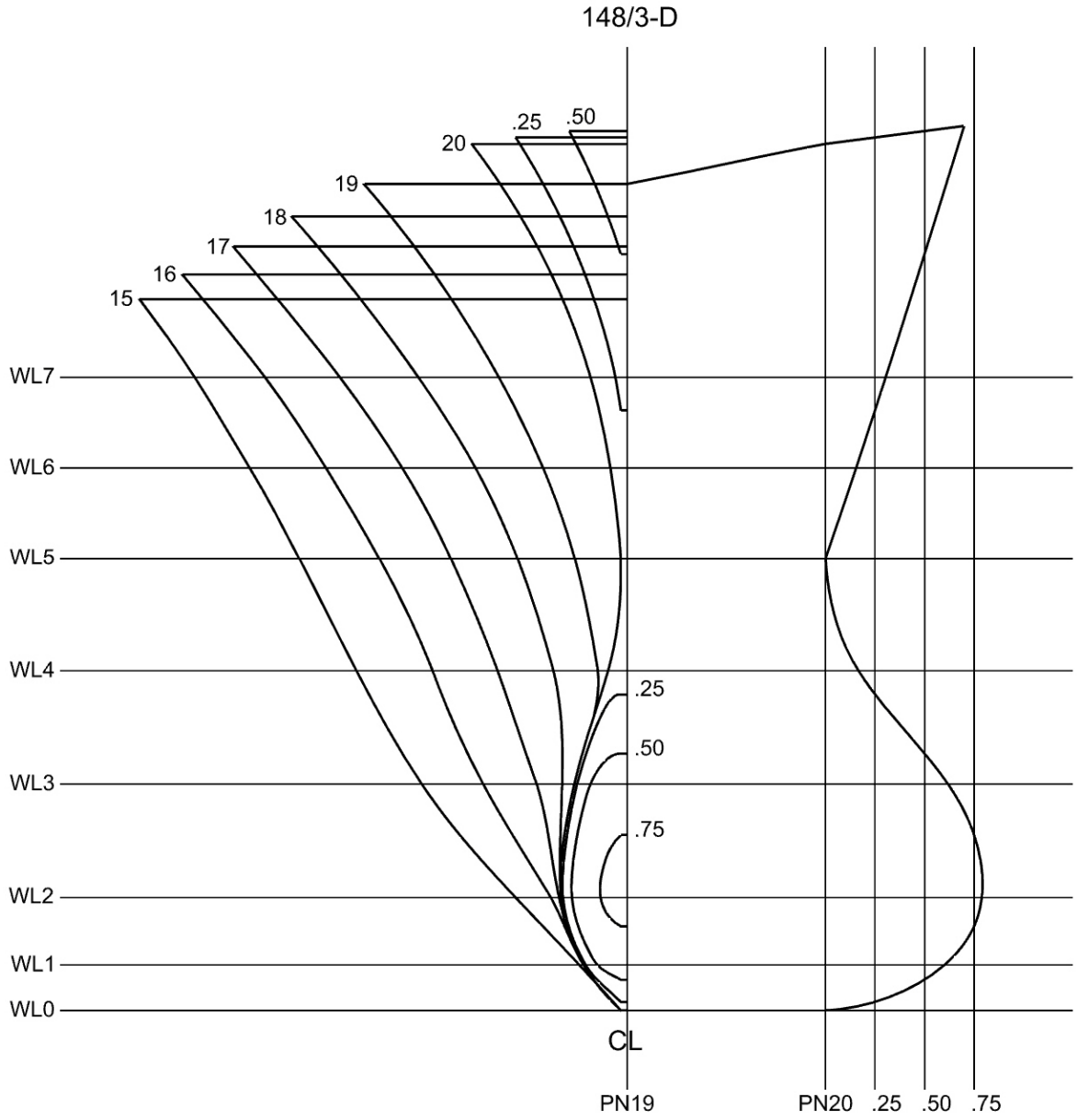
Ek Şekil 3. 148/8B kodlu modelin V_m - R_{Tm} grafiği (Kafalı vd., 1979).



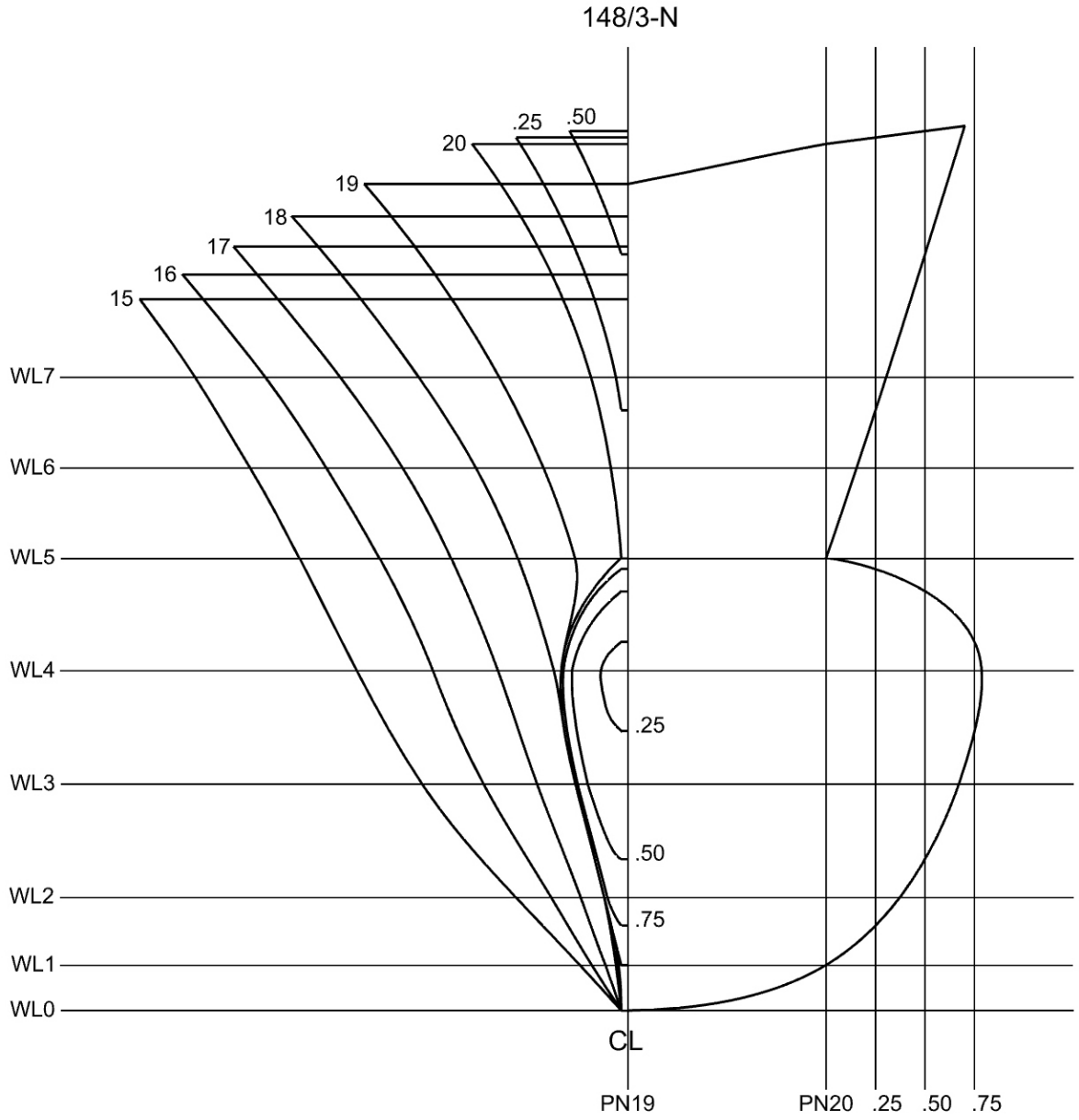
Ek Şekil 4. 148/9B kodlu modelin V_m - R_{Tm} grafiği (Kafalı vd., 1979).



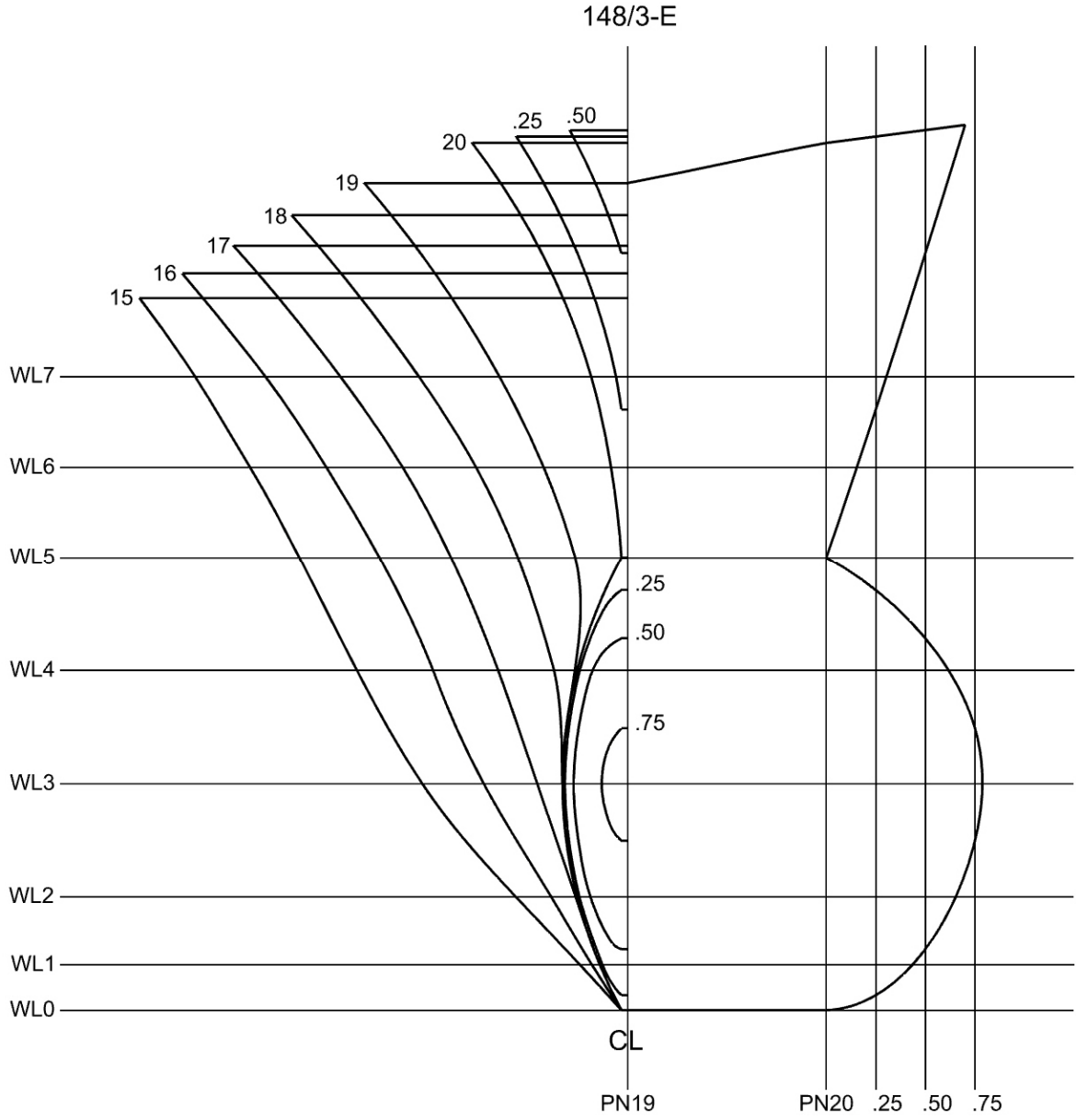
Ek Şekil 5. 148/3 kodlu balıkçı gemisinin endaze planı (Aydın, 2002).



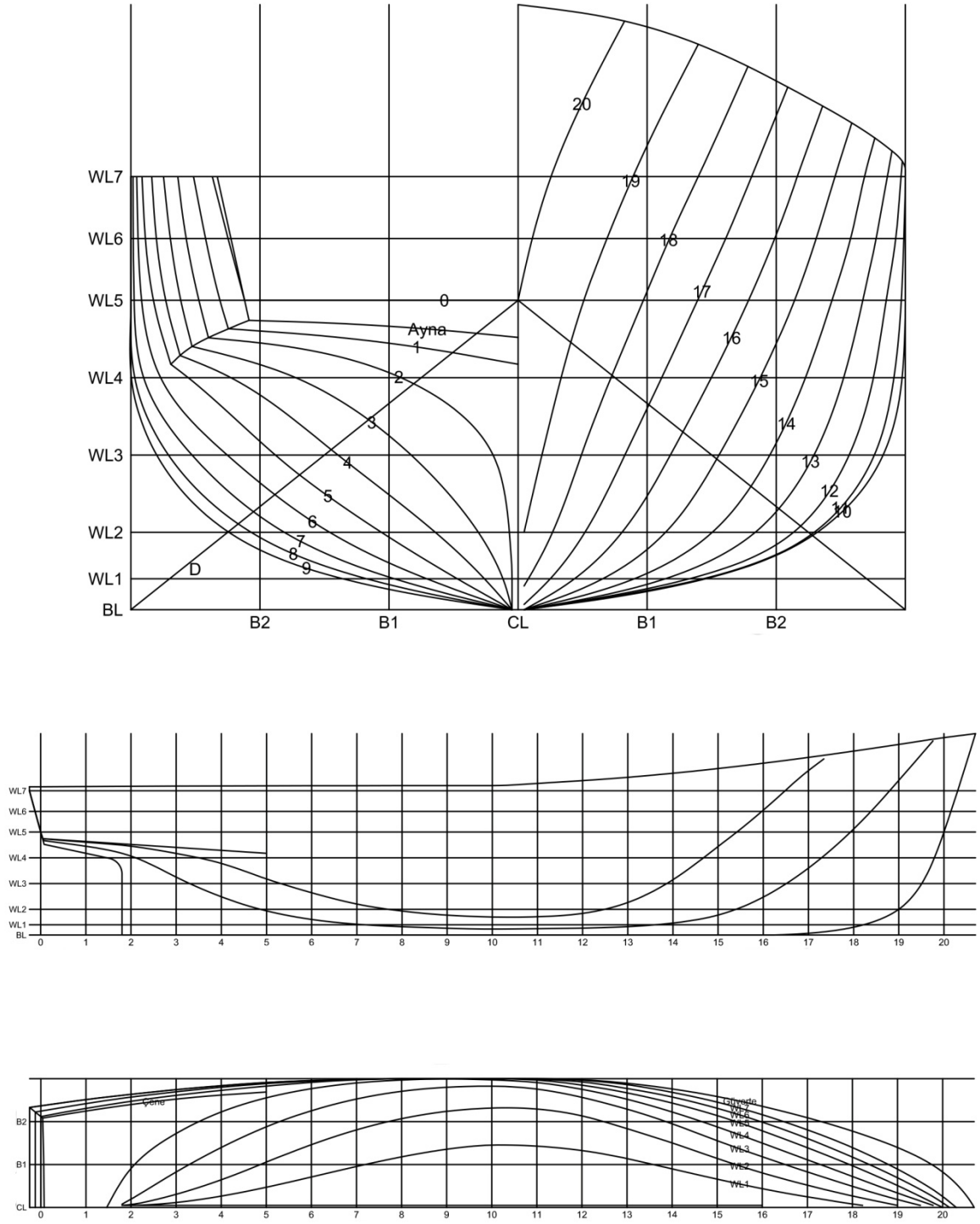
Ek Şekil 6. 148/3-D kodlu balıkçı gemisinin baş en kesit planı ve yumrubaş profili



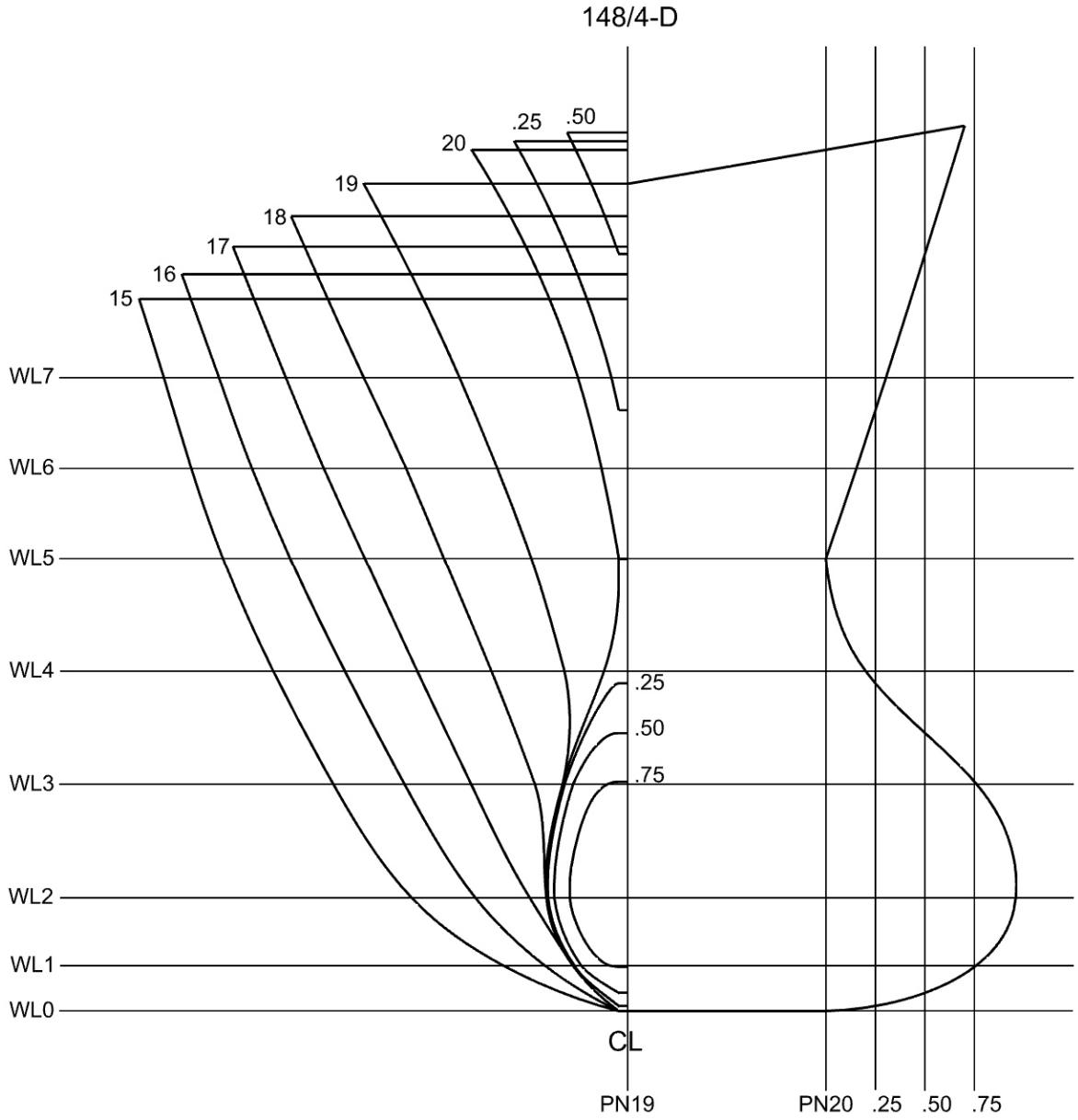
Ek Şekil 7. 148/3-N kodlu balıkçı gemisinin baş en kesit planı ve yumrubaş profili



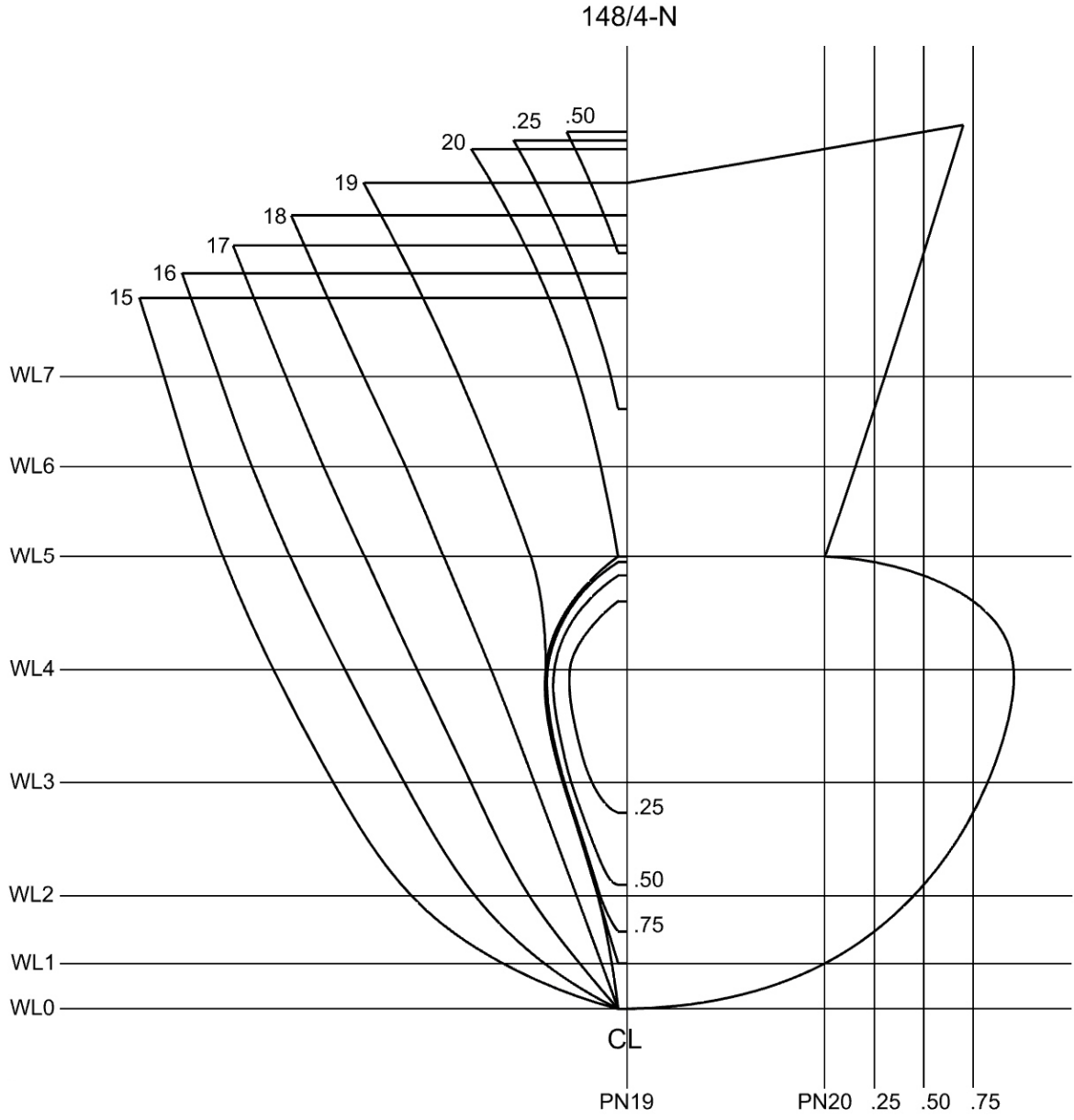
Ek Şekil 8. 148/3-E kodlu balıkçı gemisinin baş en kesit planı ve yumrubaş profili



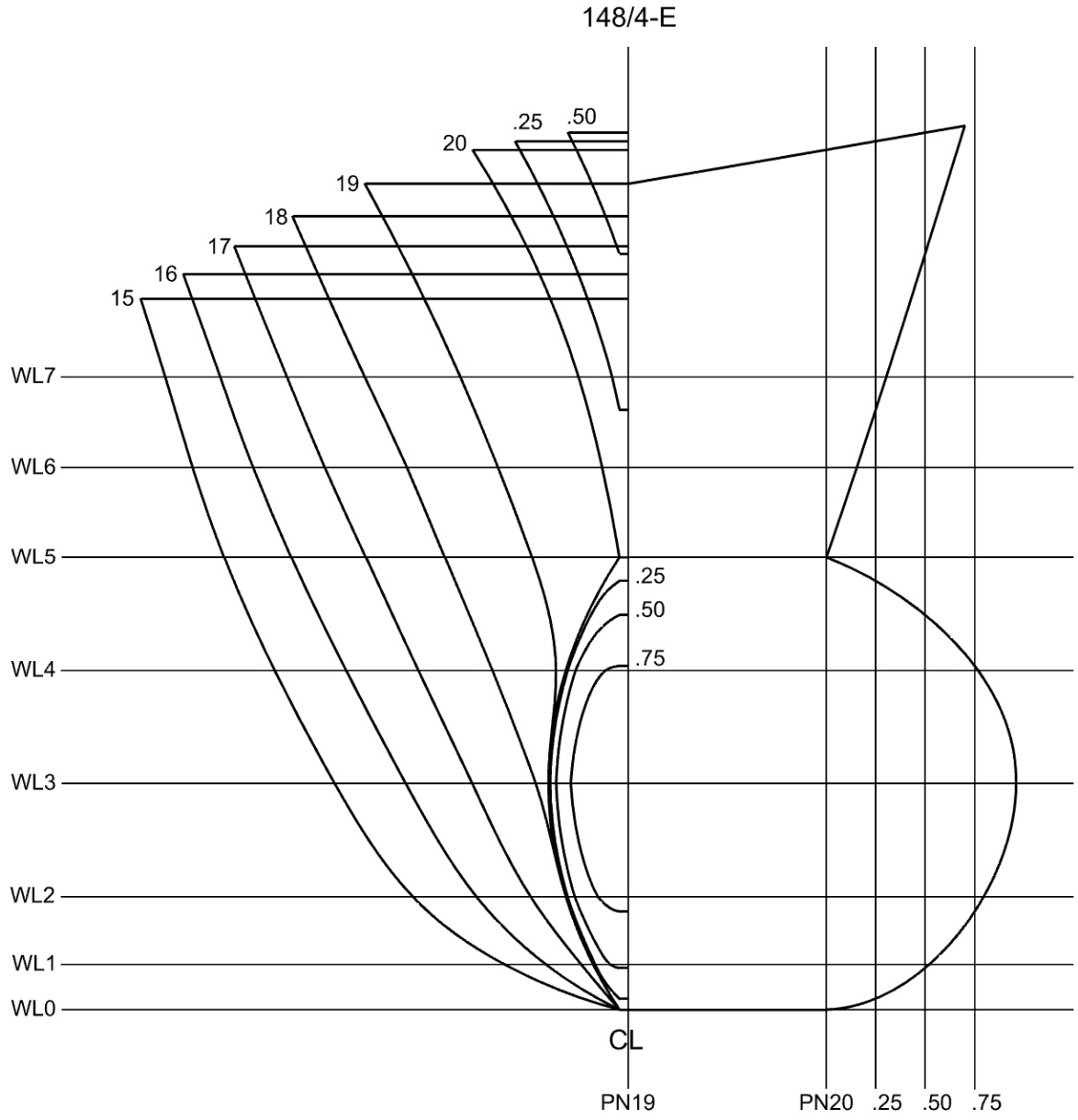
Ek Şekil 9. 148/4 kodlu balıkçı gemisinin endaze planı (Aydın, 2002).



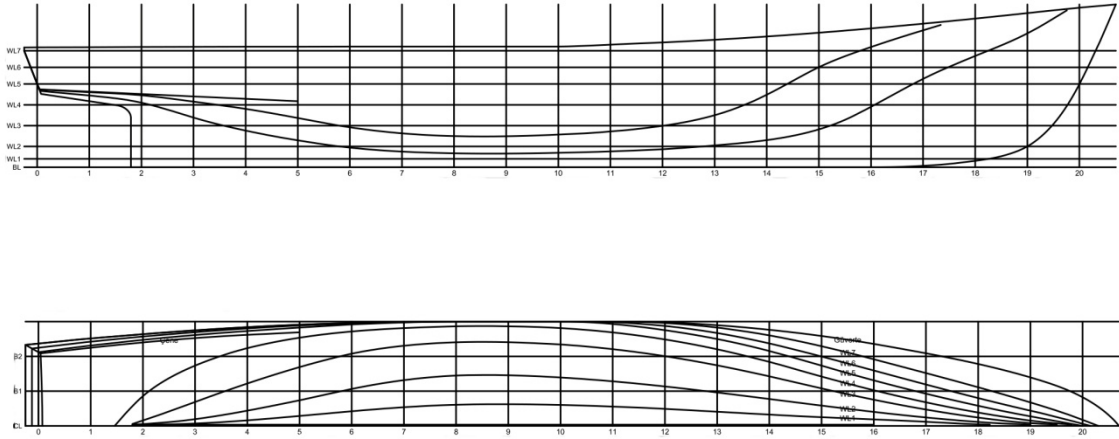
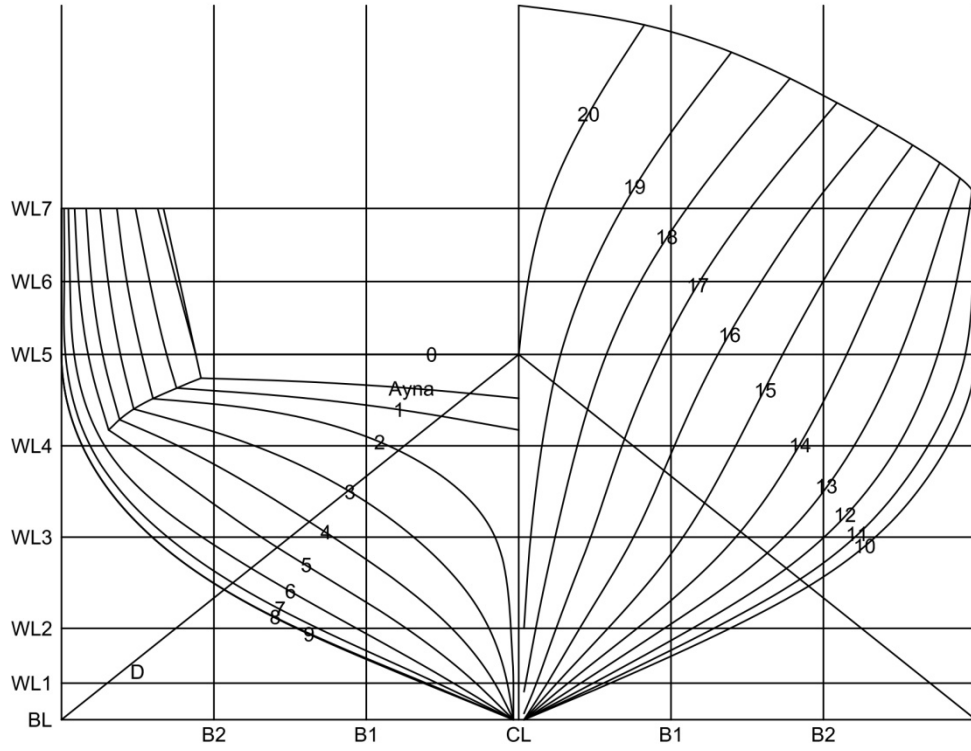
Ek Şekil 10. 148/4-D kodlu balıkçı gemisinin baş en kesit planı ve yumrubaş profili



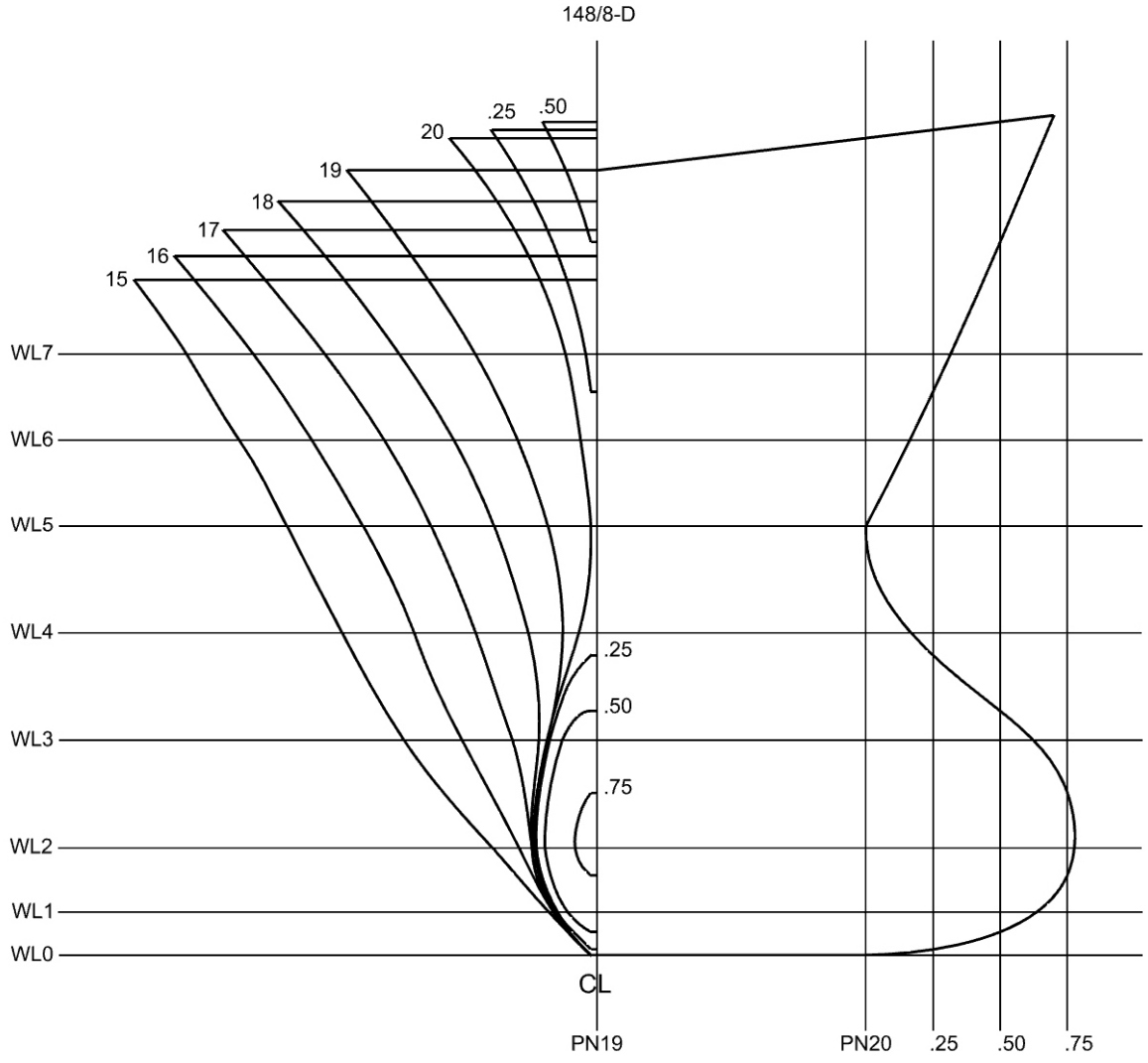
Ek Şekil 11. 148/4-N kodlu balıkçı gemisinin baş en kesit planı ve yumrubaş profili



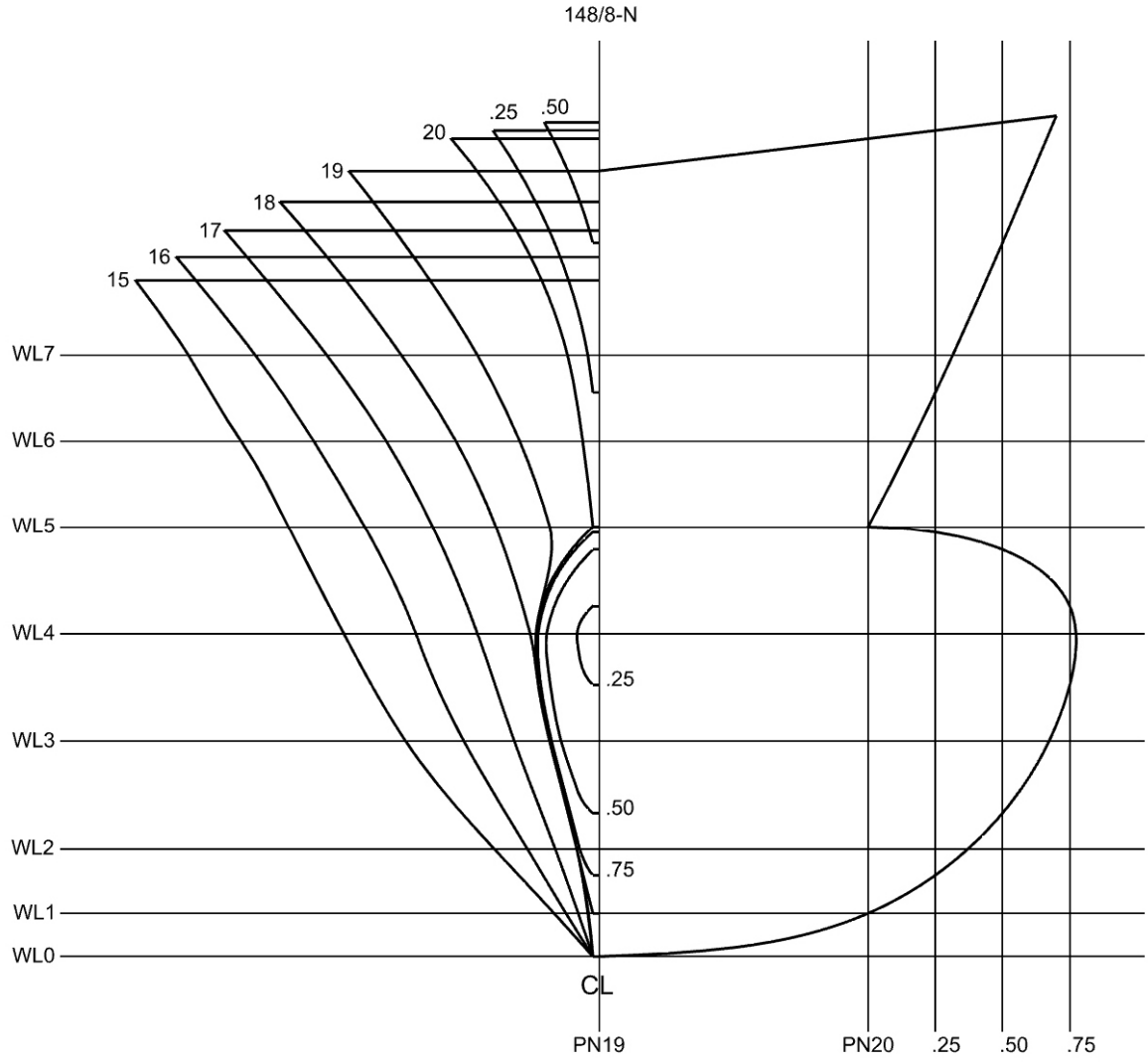
Ek Şekil 12. 148/4-E kodlu balıkçı gemisinin baş en kesit planı ve yumrubaş profili



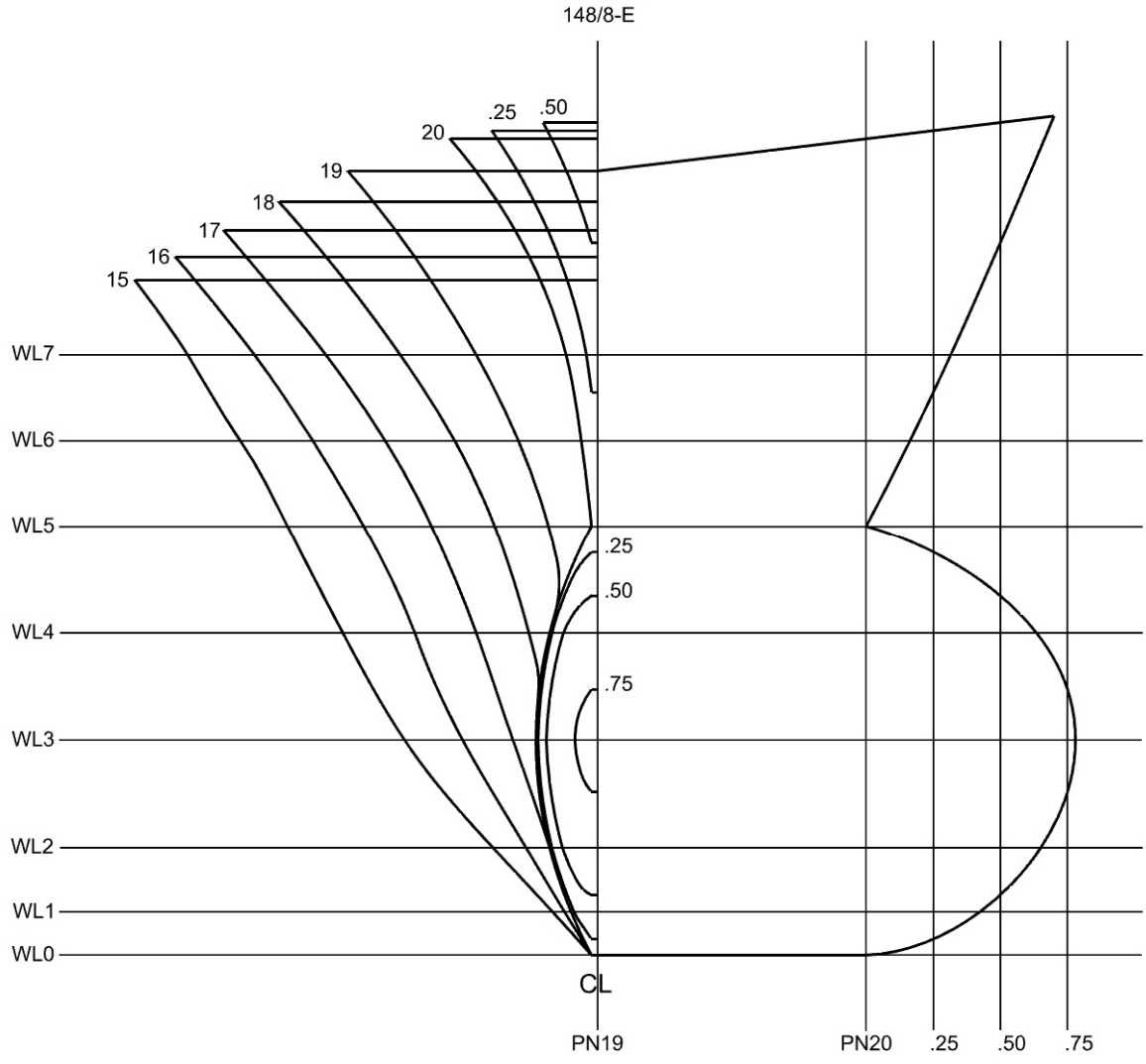
Ek Şekil 13. 148/8 kodlu balıkçı gemisinin endaze planı (Aydın, 2002).



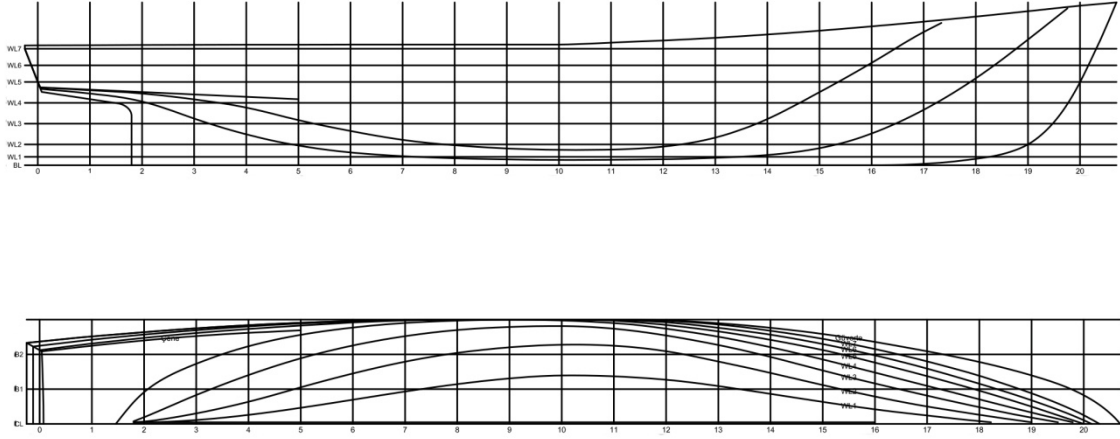
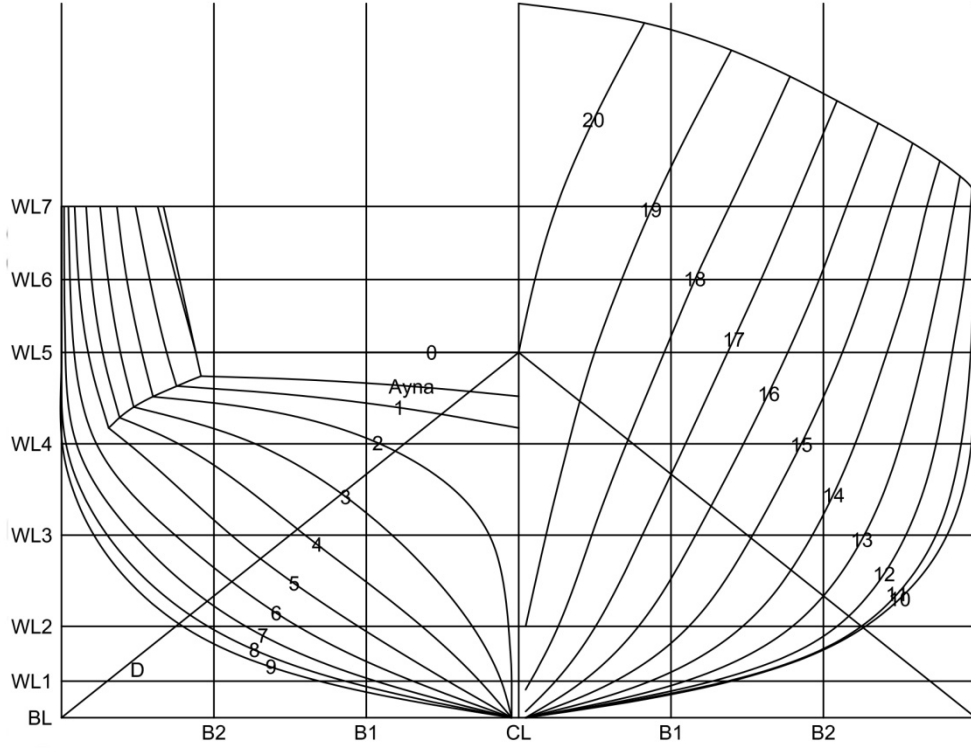
Ek Şekil 14. 148/8-D kodlu balıkçı gemisinin baş en kesit planı ve yumrubaş profili



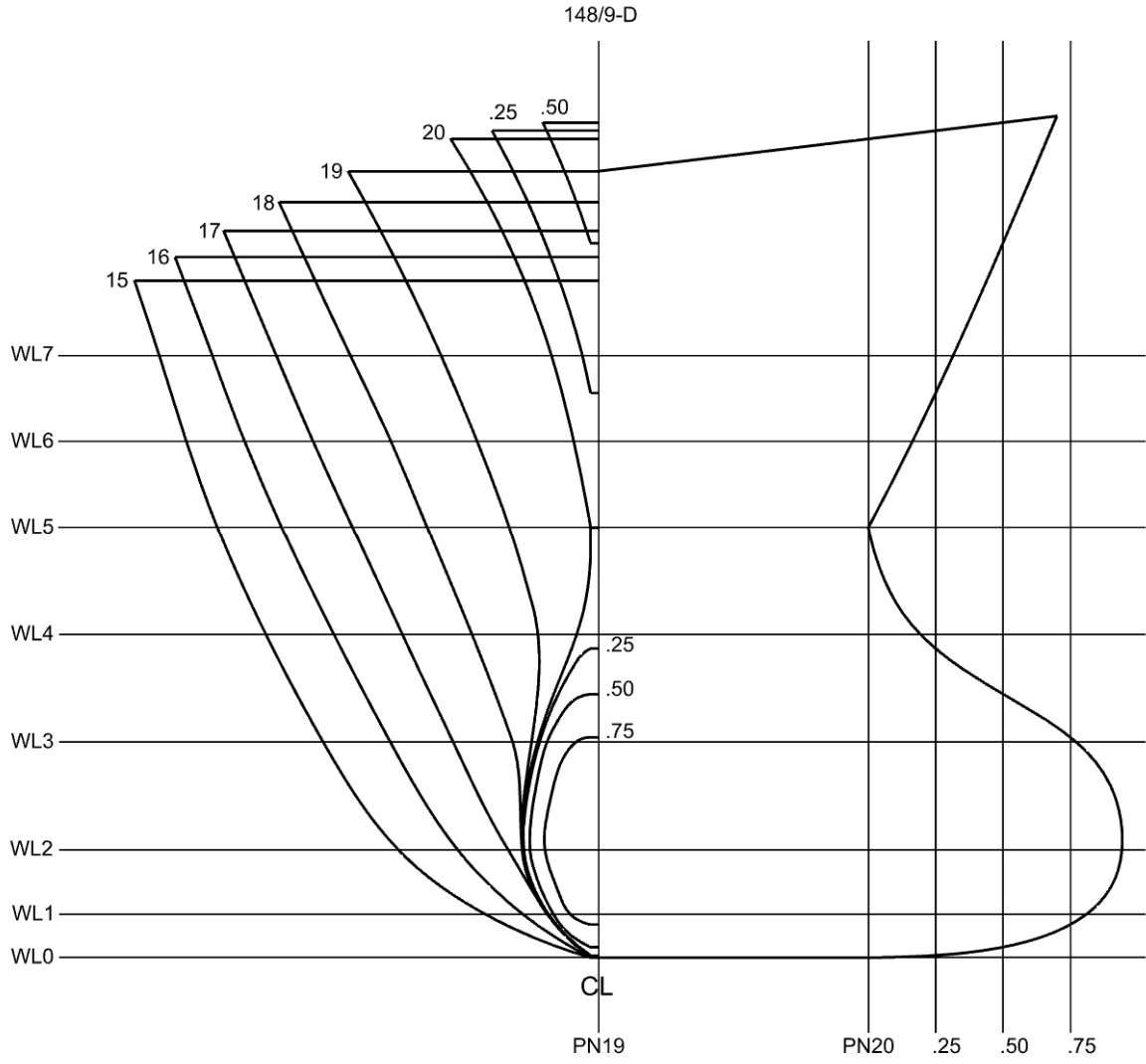
Ek Şekil 15. 148/8-N kodlu balıkçı gemisinin baş en kesit planı ve yumrubaş profili



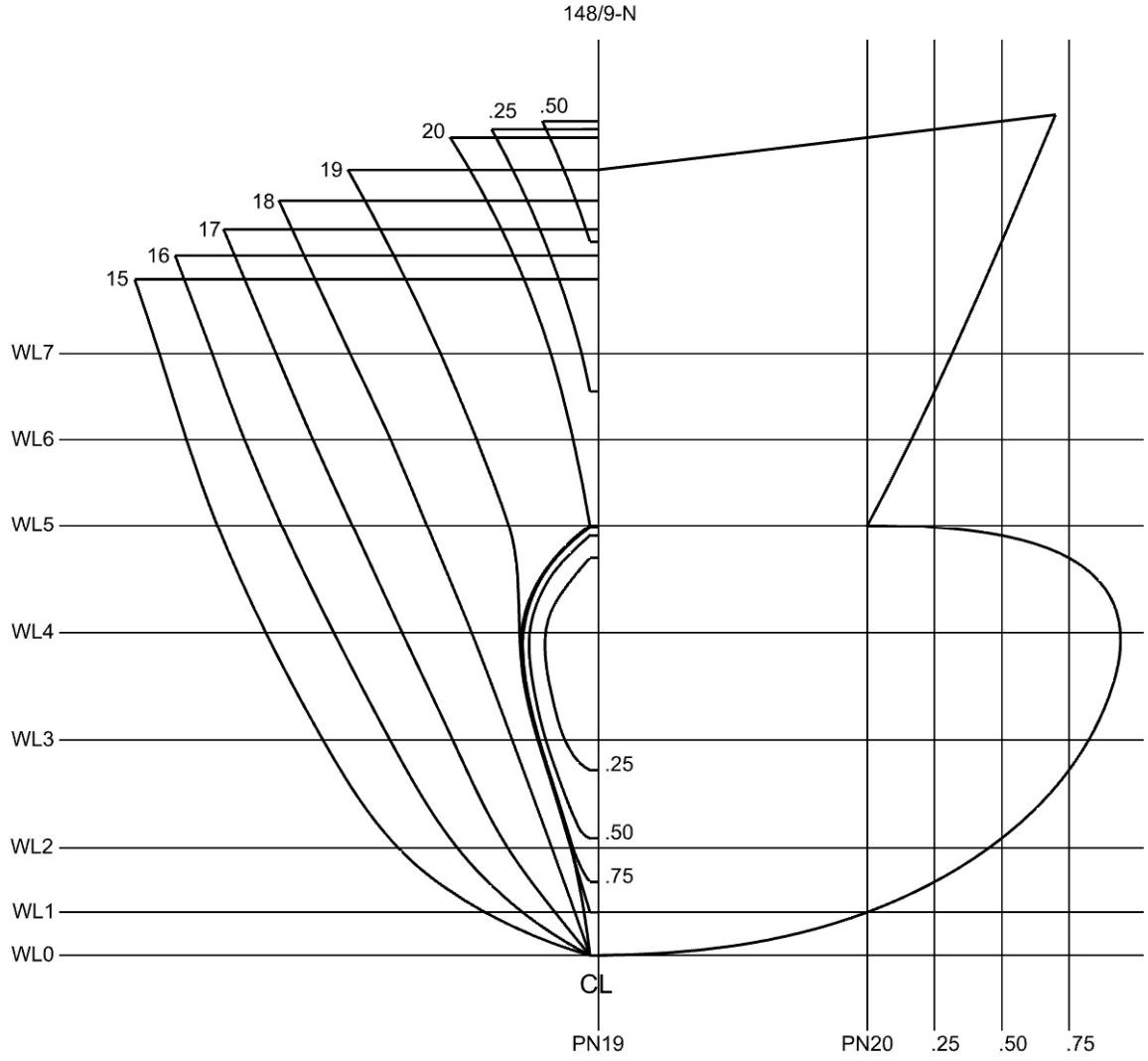
Ek Şekil 16. 148/8-E kodlu balıkçı gemisinin baş en kesit planı ve yumrubaş profili



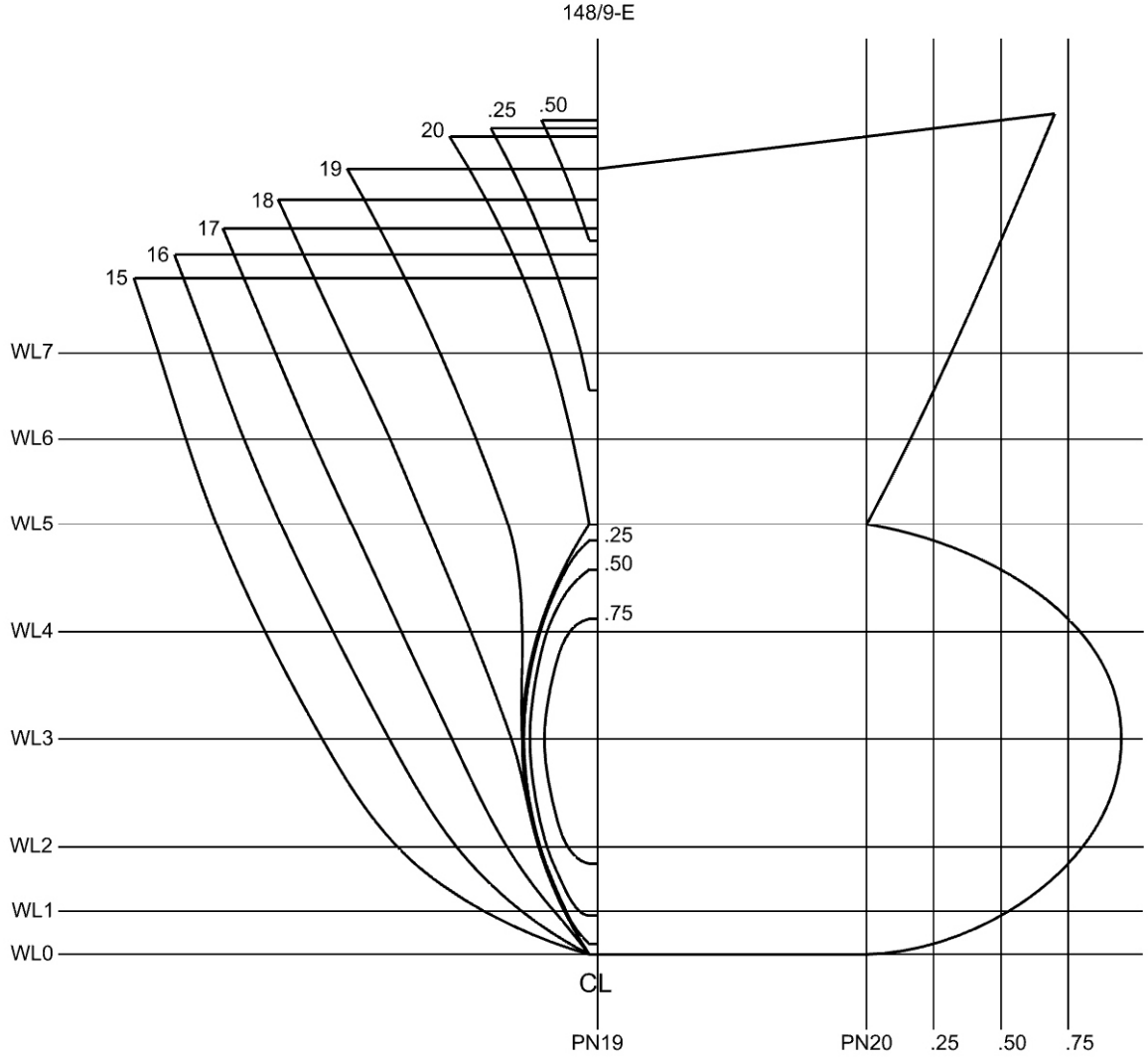
Ek Şekil 17. 148/9 kodlu balıkçı gemisinin endaze planı (Aydın, 2002).



Ek Şekil 18. 148/9-D kodlu balıkçı gemisinin baş en kesit planı ve yumrubaş profili



Ek Şekil 19. 148/9-N kodlu balıkçı gemisinin baş en kesit planı ve yumrubaş profili



Ek Şekil 20. 148/9-E kodlu balıkçı gemisinin baş en kesit planı ve yumrubaş profili

ÖZGEÇMİŞ

1987 yılında Trabzon'un Sürmene ilçesinde doğdu. Lise öğrenimini Sürmene Hasan Sadri Yetmişbir Anadolu Lisesi'nde tamamladı. 2006 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi Gemi İnşaatı ve Denizcilik Fakültesi Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Bölümü'nü kazandı ve 2011 Şubat ayında lisans eğitimini tamamladı. 2013 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimine başladı. 2014 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Anabilim Dalına yatay geçiş yaptı. 2014 Kasım ayından itibaren Karadeniz Teknik Üniversitesi Sürmene Deniz Bilimleri Fakültesi Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Bölümü'nde Araştırma Görevlisi olarak görev yapmaktadır. İngilizce bilmektedir. Bir Liderin Düşünce Sistemi, Empatiler 1, Oruç Barbaros Sultan ve Hızır Barbaroşo Hayreddin adlı kitapları vardır.