

Resistance Analyses of A Traditional Black Sea Type Fishing Ship with CFD in Calm Water

Geleneksel Karadeniz Tipi Balıkçı Gemisinin HAD ile Sakin Sudaki Direnç Analizleri

Türk Denizcilik ve Deniz Bilimleri Dergisi

Cilt: 6 Sayı: 2 (2020) 207-223

Dursun SARAL^{1,*}, Ercan KÖSE¹

¹Karadeniz Technical University, Sürmene Faculty of Marine Sciences, Department of Naval
Architecture and Marine Engineering

ABSTRACT

The forms of fishing vessels are shaped according to the fishing cultures of the nations, the sea conditions which are operated, and the type of fishing gears. Therefore, each country's fishing vessel is unique, and its forms are different from each other.

The study presented, resistance analyses of a Black Sea type fishing boat, which is designed regarding the forms of fishing vessels built in the Sürmene Yeniay-Çamburnu (Mahno) shipyards of the Black Sea Region, is investigated with Computational Fluid Dynamics (CFD). The fishing vessel is 35.6 meters long. Resistance analyses are made in calm water and in the range of Fn 0.028-0.420 values (1-15 knots).

Resistance values, obtained from CFD

calculations, are presented. Wave pattern, which are occurred on the ship surface and the free water surface, are shown. The wave pattern, which are formed by the Black Sea type fishing vessel form, are interpreted by comparing them with the wave systems of similar ships.

It is determined that the economic service speed of the traditional Black Sea type of fishing vessel is around 11 knots (Fn 0.308) considering the resistance graphic and wave characteristics, which are obtained outcomes of CFD calculations. It is emphasized that bulb optimization should be done to increase economic speed.

Keywords: Black Sea Type Fishing Ship, Computational Fluid Dynamics, CFD, Resistance, Wave Pattern

Article Info

Received: 28 August 2020

Revised: 16 October 2020

Accepted: 17 October 2020

* (corresponding author)

E-mail: dursunsaral@ktu.edu.tr

ÖZET

Balıkçı gemilerinin formları milletlerin balıkçılık kültürlerine, çalışılan deniz koşullarına, yapılan balıkçılık türüne göre şekillenir. Bu yüzden her ülkenin balıkçı gemisi kendine özgüdür ve formları birbirinden farklıdır.

Sunulan çalışmada, Karadeniz Bölgesi Sürmene Yeniay-Çamburnu (Mahno) tersanelerinde inşa edilen balıkçı teknelerinin formlarına göre tasarlanan Karadeniz tipi bir balıkçı teknesinin direnç analizi Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) ile incelenmiştir. Balıkçı teknesi 35.6 metre uzunluğundadır. Direnç analizleri sakin suda ve F_n 0.028-0.420 değerleri (1-15 knot) aralığında yapılmıştır.

Yapılan HAD hesaplamaları sonucunda elde edilen direnç değerleri verilmiştir. Tekne yüzeyindeki dalga yapısı ve serbest su yüzeyinde oluşan dalga paternleri gösterilmiştir. Karadeniz tipi balıkçı teknesi formunun oluşturduğu dalga paternleri, benzer gemilerin dalga sistemleri ile karşılaştırılarak yorumlanmıştır.

HAD sonucunda elde edilen direnç grafiği ve dalga karakteristikleri göz önüne alındığında, geleneksel Karadeniz tipi balıkçı teknelerinin ekonomik servis hızının yaklaşık 11 deniz mili (F_n 0.308) olduğu belirlenmiştir. Ekonomik hızı artırmak için yumrubaş optimizasyonunun yapılması gerektiği vurgulanmıştır.

Anahtar sözcükler: Karadeniz Tipi Balıkçı Gemisi, Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği, HAD, Direnç, Dalga Paterni

1. GİRİŞ

Her kültürün balıkçı gemisi balık avcılığı yapılan denize göre şekillenmiştir. Balıkçı gemilerinin formları artan balıkçılık ihtiyaçları ve teknolojinin getirdiği avantajlarla tarih içinde sürekli bir gelişme halindedir. Ancak her ne kadar formlarda gelişme görülse de nesilden nesile oluşturulan formun dışına çıkılmamakta, mevcut formlar üzerinde iyileştirmeler ve geliştirmeler yapılmaktadır.

Her ülkenin kendine özgü bir balıkçı gemisi formu olduğu gibi Türkiye’de, balıkçılık daha çok Karadeniz’de yapıldığı için, Karadeniz’e özgü bir balıkçı gemisi formu geliştirilmiştir. Doğu Karadeniz Bölgesi Sürmene Yeniay-Çamburnu (Mahno) tersanelerinde tarih boyunca inşa edilip geliştirilen bu form “Geleneksel Karadeniz Tipi Balıkçı Gemisi” (GKTBG) olarak adlandırılabilir.

Türkiye’de 1980’li yıllara kadar ahşap

olarak 15 metreye kadar üretilen balıkçı gemileri bu tarihten sonra çelikten imal edilmeye başlanmış ve günümüzde boyları 60 metreye kadar inşa edilir olmuşlardır (Saral, 2016).

1980’li yıllara kadar Türkiye sularında kendine has özellikleri ile Taka, Çektirme ve Almetro tipi balıkçı tekneleri kullanılırken bu tarihten sonra motorlu teknelerin yaygınlaşması ile Taka ve Çektirme tipleri kullanım dışı kalmış, zamanın ihtiyaçlarına göre geliştirilen Almetro tipi ise bugün kullanılan GKTBG’nin ana formunu oluşturmuştur. 2000’li yıllara kadar genelde 40 metreden küçük inşa edilen GKTBG formları bu yıllardan sonra önce Akdeniz’e ve 2010 yılından sonra Atlas Okyanusu’na balık tutulmaya gidilmesi nedeni ile 60 metreye kadar inşa edilir olmuşlardır.

GKTBG’de yaşam mahallerinin önde bulunması nedeni ile formun başa meyil yapmasını önlemek için 2005 yılından sonra bu balıkçı gemileri, forma özel geliştirilen

yumrubaşlar ile inşa edilmeye başlanmıştır. Zamanla bu yumrubaşlı formların direnç üzerindeki olumlu etkileri görülmüş ve aynı makine gücü ile balıkçı gemilerinin %10 oranında daha hızlı yol aldığı görüldüğünden günümüzde bütün GKTBG'ler yumrubaşlı inşa edilir olmuşlardır.

1920'li yıllarda ilk temelleri atılan sayısal analizler, zamanla bilgisayar teknolojilerinin gelişmesi ile, 2000'lerde kullanılması kolay, daha hızlı ve verimli hesaplama yapabilen ticari yazılımlara dönüşmüştür (Saral, 2016).

1990'lı yıllardan itibaren RANS denklemleri ve çok sayıda türbülans modelleri kullanılarak gemi etrafındaki akış problemleri HAD yazılımları sayesinde daha doğru bir yaklaşımla ve efektif bir şekilde çözülmeye başlanmıştır (Özdemir, 2007). İlk başta askeri ve teknik önemi olan savaş gemilerinin, sonra ticari önemi olan konteyner, kargo, Ro-Ro ve yük gemilerinin ve son olarak günümüzde balıkçı gemilerinin direnç analizlerinde HAD yazılımları kullanılmaktadır. Gemi formlarının direnç karakteristiklerinin analiz edilebilmesi için yaygın olarak Ansys Fluent ve StarCCM+ gibi HAD yazılımları kullanılmaktadır.

Balıkçı gemisi formlarında HAD ile direnç hesaplamalarını konu alan bazı akademik çalışmalar şöyledir.

Setyawan *vd.* (2010) tarafından balıkçı gemilerinde yakıttan tasarruf etmek amacıyla çoklu gövde formu üzerinde araştırmalar yapılmıştır. 12.9 metre boyunda tek gövdeli olmak üzere biri yuvarlak sintineli diğeri keskin çeneli olmak üzere iki adet balıkçı gemisi ile, aynı boyda biri simetrik diğeri asimetric olmak üzere iki katamaran balıkçı gemisinin, toplamda dört farklı balıkçı gemisi formunun, Ansys CFX programı ile HAD analizleri yapılmıştır. Hesaplamalar sonucunda toplam direnç değerleri karşılaştırıldığında F_n 0.478 değerinde en az dirence keskin çeneli tek gövdeli formun sahip olduğu, direnç değerleri artarak bunu yuvarlak sintineli tek gövde, simetrik katamaran ve

asimetric katamaran formunun takip ettiği belirtilmiştir.

Samuel *vd.* (2015) tarafından Endonezya'nın Cilacap bölgesinde kullanılan 8.72 metre boyundaki tek gövdeli bir balıkçı teknesinin ve bu gövdenin eşi yapılarak oluşturulan katamaranın 1:10 ölçeğindeki modellerinin sakin sudaki direnç analizleri Maxsurf programındaki İnce Cisim Teorisi (Slender Body Theory) ve Tdyn kodlu HAD yazılımı ile yapılmıştır. Katamaran gövdeli formun tek gövdeli forma göre iki kat daha fazla yük taşıyabildiği ancak tekne direncinin ise dört kat daha fazla arttığı tespit edilmiştir.

Li *vd.* (2016) tarafından 49.5 m boyundaki bir orkinos paraketa (tuna longline) balıkçı gemisinin, 1:12 oranında modeli yapılarak, hem model direnç deneyleri hem de HAD programı ile sakin sudaki direnç analizleri yapılmıştır. Buna ek olarak teknedeki orijinal yumrubaşın, en kesit değerleri korunarak, boyu %15 oranında azaltılarak, %25 ve %50 oranında artırılarak oluşturulan modellerinin HAD ile direnç analizleri yapılmıştır. Hesaplamalar sonucunda elde edilen toplam direnç değerleri karşılaştırıldığında %50 uzatılmış yumrubaşın yaklaşık %5 oranında direnci düşürdüğü, %15 oranında kısaltılmış yumrubaşın ise direnci artırdığı tespit edilmiştir.

Abramowski ve Sugalski (2017) tarafından 17.5-29.8 metre boylarındaki dokuz adet Polonya balıkçı gemisi incelenmiş ve bu formlardan seçilen iki tanesine silindir (O) ve nabla (∇) tipli yumrubaş uygulamaları yapılmıştır. Elde edilen formların direnç analizleri OpenFOAM HAD programı ile yapılmıştır. Hesaplamalar sonucunda elde edilen toplam direnç değerleri karşılaştırıldığında, silindir (O) tipli yumrubaşın toplam direnci %14 oranında, nabla (∇) tipli yumrubaşın ise %16 oranında azalttığı tespit edilmiştir.

Kim *vd.* (2018) tarafından 8.72 metre boyundaki Endonezya'nın Cilacap bölgesinde kullanılan geleneksel katamaran balıkçı teknesine, Kracht (1978) yöntemine göre tasarlanmış delta (Δ), nabla (∇) ve

eliptik (O) yumrubaş uygulamaları yapılarak HAD analizleri yapılmıştır. Analizler sonucunda nabla (∇) tipi yumrubaşın servis hızında balıkçı teknesinin toplam direncini yaklaşık %10 oranında azalttığı tespit edilmiştir.

Saral vd. (2018) tarafından İTÜ Balıkçı Gemileri Serisi formlarından 148/3, 148/4, 148/8 ve 148/9 kodlu balıkçı teknelerine delta (Δ), nabla (∇) ve eliptik (O) tipli yumrubaş uygulamaları yapılarak oluşturulan on altı formun StarCCM+ programı ile HAD analizleri yapılmıştır. Hesaplamalar sonucunda, 10 knot servis hızında, yumrubaşlı formların toplam direnç değerleri yumrubaşsız formlarinkiler ile karşılaştırıldığında toplam direnç değerlerinin; tekne narinlik katsayısı 0.405 olan 148/3 ve 148/8 kodlu teknelerde yaklaşık %10, tekne narinlik katsayısı 0.495 olan 148/4 ve 148/9 kodlu teknelerde ise yaklaşık %13 daha az olduğu tespit edilmiştir.

Bahatmaka ve Kim (2019) tarafından Java Adası'nın kuzeyinde ve güneyinde çalışan iki adet Endonezya geleneksel balıkçı teknesinin sakin suda Fn 0.40, Fn 0.60 ve Fn 0.80 değerlerindeki direnç analizleri açık kaynak kodlu HAD programı OpenFOAM kullanılarak yapılmıştır. Yapılan analizler sonucunda elde edilen direnç grafikleri karşılaştırıldığında aynı Fn değerlerinde adanın kuzeyinde kullanılan boyu 17.65 m, genişliği 4.00 m ve su çekimi 1.75 m olan balıkçı teknesinin, adanın güneyinde kullanılan boyu 20 m, genişliği 4.80 m ve su çekimi 1.2 metre olan balıkçı gemisinden daha fazla direnç değerlerine sahip olduğu bulunmuştur. Java Adası'nın güneyinde kullanılan balıkçı teknelerinin direnç açısından formlarının daha elverişli olduğu belirtilmiştir.

Raju vd. (2020) tarafından 20 metrelik bir geleneksel orkinos paraketa (tuna longline) gemisine delta (Δ), nabla (∇) ve eliptik (O) yumrubaş formları eklenmiştir. Yumrubaşsız, delta (Δ), nabla (∇) ve eliptik (O) yumrubaşlı formların Star CCM+ programı ile sakin suda Fn 0.34 değerinde direnç analizleri yapılmıştır. Hesaplanan

toplam direnç değerleri karşılaştırıldığında, eliptik (O) yumrubaşlı formun toplam direnç değerinin, yumrubaşsız forma göre %5.35 daha az olduğu tespit edilmiştir. Toplam direnç değerinde en fazla düşüşü sağlayan eliptik (O) tipi yumrubaşın, tuna paraketa gemileri için en uygun yumrubaş formu olduğu belirtilmiştir.

Yapılan çalışmanın amacı geleneksel Karadeniz tipi balıkçı gemilerinin HAD yardımı ile 1-15 knot (Fn 0.028-0.420) hız aralığındaki direnç ve dalga yapma özelliklerini ve de optimum ekonomik servis hızı değerini tespit etmektir.

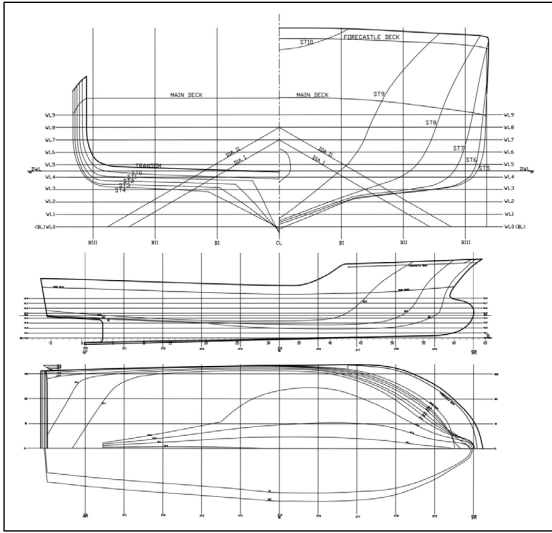
Makale şöyle düzenlenmiştir: Bölüm 2'de GKTBG'nin genel özellikleri ve endaze planı sunulmuştur. Bölüm 3'te HAD analizlerinin temelini oluşturan ve kullanılan matematiksel modellere yer verilmiştir. Bölüm 4'te GKTBG için yapılan HAD analizlerinin doğrulaması KCS modeli üzerinde yapılmıştır. Bölüm 5'te GKTBG HAD analiz dosyalarının nasıl hazırlandığı açıklanmıştır. Bölüm 6'da yapılan HAD analizlerinin sonuçları sunulmuş, teknenin yüzeyinde ve serbest su yüzeyinde oluşan dalga deformasyonları incelenerek GKTBG'nin direnç ve dalga analizi yapılmıştır. Bölüm 7'de ise elde edilen çıkarımlar özetlenmiştir.

2. GKTBG'NİN KARAKTERİSTİK ÖZELLİKLERİ

Yapılan çalışmada kullanılan GKTBG'nin formu geleneksel usullere göre Çamburnu tersanelerinde inşa edilmiş Karadeniz tipi balıkçı gemilerinin formları referans alınarak oluşturulmuş bir formdur. GKTBG'nin geometrik özellikleri Tablo 1'de verilmiş ve endaze planı Şekil 1'de gösterilmiştir. Şekil 2'de ise Karadeniz Bölgesi Trabzon ili Sürmene ilçesinde bulunan Çamburnu tersane alanında inşa edilmekte olan bir Karadeniz tipi balıkçı gemisi görülmektedir.

Tablo 1. GKTBG'nin geometrik özellikleri

Özellik	Değer
L	35.600 (m)
L _{WL}	34.341 (m)
L _{BP}	31.280 (m)
B	13.320 (m)
T	1.800 (m)
C _B	0.258
C _M	0.507
C _{WP}	0.798
C _{Pi}	0.602
L/B	2.673
B/T	7.400
LCB (+K1ç)	1.698 (m)
S _w	400.882 (m ²)

**Şekil 1.** GKTBG'nin endaze planı**Şekil 2.** Çamburnu tersane alanında inşa edilmekte olan bir Karadeniz tipi balıkçı gemisi (Fotoğraf yılı: 2013. Dursun Saral)

3. MATEMATİKSEL MODEL

3.1. Yönetici Denklemler

Bu çalışmada, yönetici denklemleri çözmek için bir kararsız Reynolds-Ortalama Navier-Stokes (URANS) yöntemi kullanılmıştır. Kütle ve momentum korunumu denklemleri HAD yazılımı Star-CCM+ ile çözülmüştür. Sıkıştırılabilir akışlar için ortalama süreklilik ve momentum denklemleri tensör notasyonunda ve Kartezyen koordinatlarda sırasıyla Denklem 1 ve 2'de verilmiştir.

$$\frac{\partial(\rho \bar{u}_i)}{\partial x_i} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial(\rho \bar{u}_i)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho \bar{u}_i \bar{u}_j + \rho \overline{u'_i u'_j}) = -\frac{\partial \bar{p}}{\partial x_i} + \frac{\partial(\rho \bar{\tau}_{ij})}{\partial x_j} \quad (2)$$

Burada; ρ yoğunluk, \bar{u}_i hız vektörünün ortalama Kartezyen bileşenleri, $\rho \overline{u'_i u'_j}$ Reynolds gerilmeleri ve \bar{p} ise ortalama basınçtır. $\bar{\tau}_{ij}$ ise ortalama viskoz gerilme tensörü bileşenleridir ve Denklem 3'te verilmiştir.

$$\bar{\tau}_{ij} = \mu \left(\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right) \quad (3)$$

Burada μ dinamik viskozitedir.

3.2. Türbülans Modeli

Bu çalışmada, üç tane varyasyonu bulunan $k-\varepsilon$ türbülans modelinin en gelişmiş hali olan "Gerçeklenebilir $k-\varepsilon$ Modeli" (Realizable $k-\varepsilon$ Model) kullanılmıştır. "Gerçeklenebilir $k-\varepsilon$ Modeli" türbülans kinetik enerji taşınım denklemi (Denklem 4) ve türbülans dağılım oranı taşınım denklemi (Denklem 5) olmak üzere iki denklemlilik bir modeldir.

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

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho k u_j) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k + G_b - \rho \varepsilon - Y_M + S_K \quad (4)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \varepsilon) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho \varepsilon u_j) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + \rho C_1 S_\varepsilon - \rho C_2 \frac{\varepsilon^2}{k + \sqrt{V\varepsilon}} + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} C_{3\varepsilon} G_b + S_\varepsilon \quad (5)$$

3.3. HAD Yöntemi Kullanılarak Direnç Analizinin Yapılması

Star-CCM+ yazılımı yüzey üzerinde hesaplanan toplam kuvveti; dik kuvvetler ve teğet kuvvetler olmak üzere iki bileşene ayırmaktadır (CD-Adapco, 2014).

Bir yüzeydeki kuvvet Denklem 6'ya göre hesaplanır:

$$f = \sum_f (f_f^{pressure} + f_f^{shear}) n_f \quad (6)$$

Burada, f yüzeyinde olmak üzere; $f_f^{pressure}$ yüzey üzerindeki basınç kuvveti vektörü, f_f^{shear} yüzey üzerindeki kesme kuvveti vektörüdür. n_f ise kuvvetin hesaplanacağı yönü belirten kullanıcı tanımlı bir yön vektörüdür.

4. GKTBG HAD ANALİZLERİ İÇİN REFERANS HAD HESAPLAMASI

HAD ile direnç hesaplamalarında sonuç değerlerine hücre (mesh) boyutu, zaman adımı, türbülans modeli gibi birçok değişken etki etmektedir. HAD analizi sonucunda elde edilen direnç değerinin gerçek değere yakınlığı model direnç deneyleri ile kontrol edilebilir. Eğer model direnç deneyi sonucu varsa hücre boyutu ve çözücünün zaman adımı değiştirilerek HAD hesaplama sonucunun deney değeri ile örtüşmesi sağlanabilir. Ancak elde direnç deneyi sonuç değerleri yoksa, model direnç deneyi verileri olan ve ona göre HAD analizi yapılan bir çalışmada kullanılan simülasyon parametreleri referans alınarak, deney verisi olmayan bir geminin HAD ile

direnç analizi benzetim yolu ile büyük bir doğrulukla yapılabilir.

GKTBG'nin model direnç deneyi verileri olmadığı için birçok akademik çalışmada (Carrica *vd.*, 2011; Tezdogan *vd.*, 2015; Ozdemir *vd.*, 2016; Islam *vd.*, 2017) doğrulayıcı referans olarak kullanılan KRISO Container Ship (KCS Hull) (URL-1, 2020) HAD analizlerinde kullanılan simülasyon parametreleri (ağ boyutları, zaman adımı, türbülans modeli, vb.) GKTBG HAD hesaplamalarında referans olarak alınmıştır.

KCS ve modelinin özellikleri Tablo 2'de, HAD analizlerinde kullanılan suyun ve havanın özellikleri Tablo 3'te ve KCS modeli için yapılan HAD hesaplamalarının sonuçları Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 2. KCS'nin geometrik özellikleri (URL-1, 2020)

		Gemi	Model
Ölçek		1	31.6
L _{BP}	(m)	230.0	7.2786
L _{WL}	(m)	232.5	7.3577
B _{WL}	(m)	32.2	1.0190
D	(m)	19.0	0.6013
T	(m)	10.8	0.3418
C _B		0.6505	0.6505
∇	(m ³)	52030	1.6490
S _w	(m ²)	9539	9.5528
Fn		0.260	0.260
U	(m/s)	12.345	2.196

Tablo 3. Kullanılan suyun ve havanın fiziksel özellikleri (URL-2, 2020)

		Su	Hava
ρ	(kg/m ³)	999.5000	1.18415
γ	(m ² .s)	1.131x10 ⁻³	1.855x10 ⁻⁵

Tablo 4'ten görüleceği üzere Fn 0.108'de hata miktarı % 7.12 iken, Fn 0.260'ta % 0.72 ve Fn 0.282'de % 3.14 olmaktadır.

KCS modelinde kullanılan simülasyon parametreleri GKTBG formlarının analizlerinde referans olarak kullanıldığı için, HAD hesaplamaları sonucunda ortaya çıkan hata miktarları da birbirine yakın olacaktır. GKTBG HAD hesaplamaları sonucunda elde edilen direnç değerlerinin

gerçek direnç değerleri ile arasında en kötü ihtimalle % 7, en iyi ihtimal ile % 1 oranında farkın olabileceği göz önünde bulundurulmalıdır.

Tablo 4. KCS HAD analiz sonuçları

U _m (m/s)	F _n	R _n	C _T (x10 ³)		Fark %
			Model	HAD	
0.915	0.108	5.23x10 ⁶	3.796	3.523	7.19
1.281	0.152	7.33x10 ⁶	3.641	3.379	7.20
1.647	0.195	9.42x10 ⁶	3.475	3.282	5.56
1.922	0.227	1.10x10 ⁷	3.467	3.346	3.48
2.196	0.260	1.26x10 ⁷	3.711	3.684	0.72
2.379	0.282	1.36x10 ⁷	4.501	4.360	3.14

5. GKTBG FORMUNUN HAD ANALİZ DOSYALARININ AYARLANMASI

Geminin simetrik, dolayısı ile etrafındaki akışın da simetrik olması nedeni ile çözüm süresini azaltmak için, yarım model uygulaması benimsenerek HAD analizleri yapılmıştır.

5.1. Hesaplama Hacminin Boyutlarının Belirlenmesi

Hesaplama hacminin boyutları, benzer çalışmalar (Saral *vd.*, 2018) ve HAD programının kullanma kılavuzunda (CD-Adapco, 2014) gemi etrafındaki akış problemleri için tavsiye edilen ölçütler baz alınarak ayarlanmıştır.

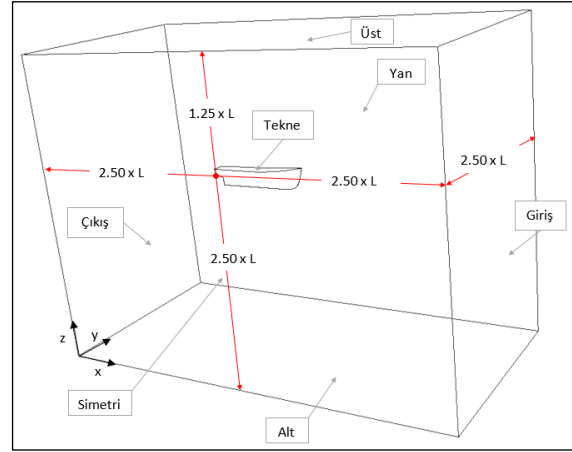
Hesaplama hacminin boyutu, gemi kıç kaimesinin yüklü su hattı ile kesişme noktası sıfır noktası (0, 0, 0) kabul edilerek, L tam boy olmak üzere Şekil 3'te gösterildiği gibi; +X ve -X yönünde 2.50xL, +Y yönünde 2.50xL, -Z yönünde 2.50xL ve +Z yönünde 1.25xL olmak üzere belirlenmiştir. Bu şekilde hesaplama hacmi için 178x89x133 metre boyutlarında bir dikdörtgenler prizması oluşturulmuştur.

5.2. Ağ Yapısının Oluşturulması

Serbest su yüzeyli akışlarda düzgün altı yüzlü (hexahedral) elemanlar, diğer ağ yapı elemanlarına göre daha tutarlı sonuç verdiği

için tercih edilmiştir.

Kullanılan HAD programının ağ oluşturma modellerinden; yüzeyler ağlarını oluşturmak için "Surface Remesher", yüzey ağlarına bağlı olarak hacimsel ağ oluşturmak için "Trimmer" ve tekne yüzeyinde sınır tabaka katmanlarını oluşturmak için ise "Prism Layer Mesher" seçenekleri seçilmiştir.



Şekil 3. Hesaplama hacminin boyutları ve yüzeylerin adları (Saral, 2016)

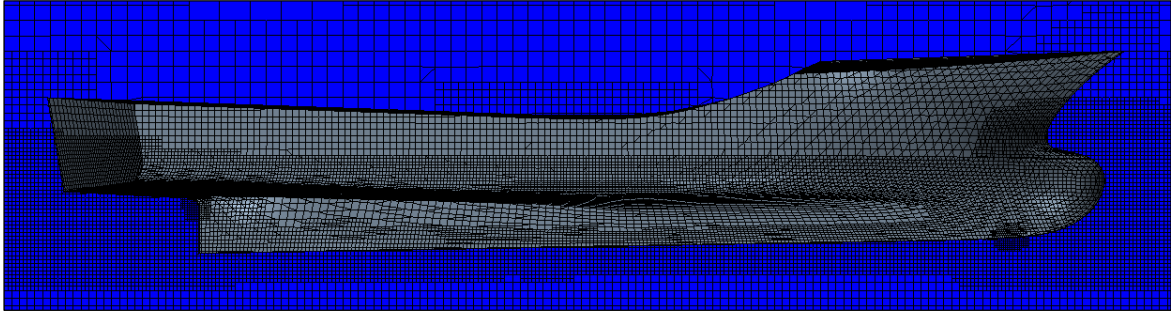
Genel ağ yapısını oluşturmak için tekne yüzeyinde hâkim minimum ağ boyutu (x eksenini doğrultusunda) olan Δx , yapılan KCS HAD hesaplamalarından elde edilen tecrübeler sonucu 1-10 knot aralığında 0.127 m ($L/\Delta x=270$), 11-13 knot aralığında 0.114 m ($L/\Delta x=300$) ve 14-15 knotta ise 0.104 m ($L/\Delta x=330$) olarak belirlenmiştir.

Tekne yüzeyindeki oluşturulan ağ yapısının korunarak ağdaki toplam eleman sayısının düşürülmesi ve böylece çözüm süresinin kısaltılması için blok ağ yapısı mantığı uygulanmıştır. Tekne yüzeyindeki minimum ağ boyutu korunarak uç sınırlara doğru her biri bir öncekinin iki katı olmak üzere dört ağ yapısı bloğu oluşturulmuştur. Yani tekne yüzeyinde minimum ağ boyutu 0.127 m iken sınırlarda ağ boyutu 2.032 m'dir. Aynı şekilde serbest yüzeyde oluşan dalgaları daha iyi hesaplayabilmek için üç adet blok katmanı, dalga profilinin daha iyi oluşabilmesi için de üç adet dalga izi blok katmanı oluşturulmuştur.

Yapılan ağ oluşturma hesapları sonucunda oluşan ağ yapısının eleman sayısı Tablo 5’te verilmiş ve oluşan ağ yapısı görüntüsü de Şekil 4’te gösterilmiştir.

Tablo 5. Oluşan ağ yapılarının eleman sayıları

Hız [U]		Fn	Hücre Sayısı	Yüzey Sayısı	Köşe Sayısı	L/ Δx	Δx (m)
(knots)	(m/s)						
1	0.514	0.028	400110	1201194	434429	270	0.127
2	1.029	0.056	401203	1204480	435458		
3	1.543	0.084	402105	1207285	436475		
4	2.058	0.112	404387	1214085	438954		
5	2.572	0.140	404672	1214846	439166		
6	3.087	0.168	405031	1216081	439721		
7	3.601	0.196	405303	1216941	440102		
8	4.116	0.224	405601	1217792	440368		
9	4.630	0.252	405726	1218211	440555		
10	5.144	0.280	405717	1218194	440548		
11	5.659	0.308	525032	1575962	567134	300	0.114
12	6.173	0.336	525889	1578523	568110		
13	6.688	0.364	525685	1577926	567911		
14	7.202	0.392	626773	1881776	674134	330	0.104
15	7.717	0.420	626840	1881961	674201		



Şekil 4. HAD analizlerinde kullanılan GKTBG’ye ait ağ yapısı

5.3. Sınır Şartlarının Belirlenmesi

Hesaplama hacminin sınırları Şekil 3’te gösterildiği gibi; Giriş, Çıkış, Üst, Alt, Simetri ve Yan olmak üzere isimlendirilmiştir. GKTBG’nin formunu temsil eden yüzeyler ise Tekne olarak adlandırılmıştır.

Hesaplama hacminde tekne formunun sabit olduğu ve hacmin içinde -X yönünde bir akışın geldiği varsayılarak HAD analizleri yapılmıştır.

Şekil 3’te gösterilen Giriş, Çıkış, Üst, Alt, Simetri, Yan ve Tekne yüzeylerinin sınır şartları Tablo 6’da verilmiştir.

Giriş sınırında hız girişi sınır şartı, hesaplama hacmine akış -x yönünde girdiği için tanımlanmıştır. Üst, Alt ve Yan

sınırlarda akışkan hızı, potansiyel akış hızına eşit olacağı için sınır şartı hız girişi olarak seçilmiştir. HAD hesaplamaları yarım model uygulaması benimsenerek yapıldığı için Simetri sınırına Simetri eksen şartı kullanılmıştır. Çıkış sınırında, hesaplama hacminin içinde gerçekleşen olaylar sonucu çıkışta oluşan hız, basınç vb. değerler bilinmediği için basınç çıkışı sınır şartı seçilmiştir. Karadeniz tipi balıkçı gemisinin formunu temsil eden Tekne sınırına duvar sınır şartı atanarak, gemi yüzeyinde akış hızı bileşenlerinin sıfır olduğu kabul edilmiştir.

Tablo 6. Yüzeylerin 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)

5.4. Fiziksel Modellerin Belirlenmesi

Serbest yüzeyde oluşan dalga profilini analiz edebilmek için çözüm üç boyutlu olarak tanımlanmıştır.

Zaman türevinin ayrıklaştırılması için hesaplama zamanı olarak kapalı değişken zaman (implicit unsteady) seçilmiştir.

Hesaplama hacminde gerçek ortamdaki gibi hava ve su olmak üzere iki farklı akışkan bulunduğu Euler çok fazlı (Euleran Multiphase) komutu ile Tablo 7’de verilen deniz suyunun ve havanın fiziksel özellikleri HAD programında tanımlanmıştır.

Tablo 7. Kullanılan deniz suyunun ve havanın fiziksel özellikleri (URL-2, 2020)

		Deniz Suyu (18°C)	Hava
ρ	(kg/m ³)	1025.3210	1.18415
μ	(Pa.s)	1.131x10 ⁻³	1.855x10 ⁻⁵

Serbest su yüzeyindeki etkilerin analizlerde yer alıp, toplam direnç değerlerinin daha tutarlı bir şekilde elde edilebilmesi için çoklu faz modellerinden, Hirt ve Nichols (1981) tarafından geliştirilen, Akışkan Hacmi Metodu (Volume of Fluid, VOF) seçilmiştir.

Yapılan analizlerde Reynolds sayısı 1.60x10⁷ – 2.24x10⁸ aralığında yani tekne etrafındaki akış türbülanslı olduğu için viskoz rejim seçeneklerinde türbülanslı akış seçilmiştir. Türbülanslı akış modellerinden ise Gerçeklenebilir $k - \varepsilon$ Modeli (Denklem 4 ve 5) seçilmiştir.

HAD hesaplamalarında sıkıştırılmaz ve çok fazlı akışlarda ideal sonuçlar verdiği için çözüm algoritması olarak Ayrılmış

Akım (Segregated Flow) belirlenmiştir. HAD analizlerinde, hesaplama hacminde, gerçek ortam koşullarını sağlayabilmek için yerçekimi ivmesi (gravity) –z yönünde 9.81 m/s² olarak tanımlanmıştır.

5.5. Çözücünün Parametreleri ve Analiz Durdurma Kriterleri

Hesaplama zamanı olarak kapalı değişken zaman seçildiğinden her analiz için çözücünün zaman adımı (time step) Courant-Friedrichs-Lewy (CFL) sayısının değeri 1 kabul edilerek Denklem 7’ye göre hesaplanmıştır. Denklem 7’ye göre hesaplanan zaman adımları Tablo 8’de verilmiştir.

$$CFL = \frac{U\Delta t}{\Delta x} \quad (7)$$

Burada; CFL Courant-Friedrichs-Lewy sayısı, U akışkanın genel hızı, Δt zaman adımı ve Δx ise tekne yüzeyindeki en küçük ağırlık x eksenini yönündeki uzunluğudur.

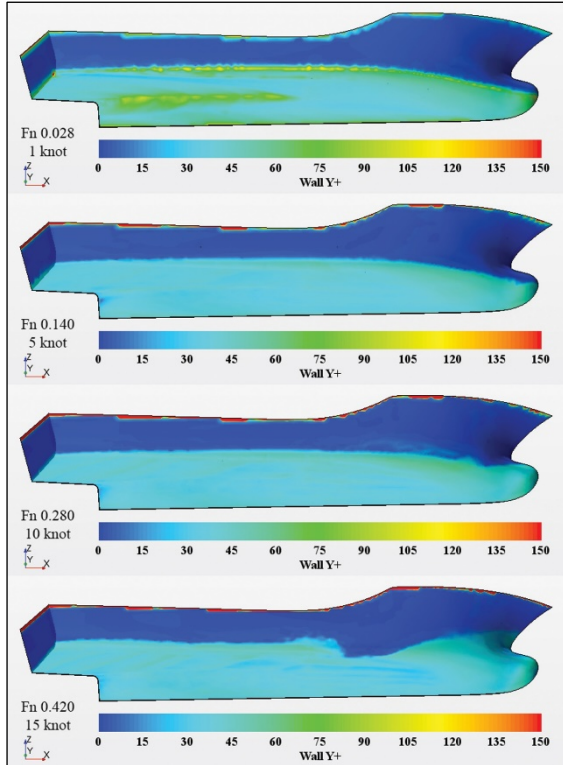
Tablo 8. Çözücünün (solver) zaman adımları (time steps)

Fn	U (m/s)	Δt (s)	Δx (m)
0.028	0.51444	0.24724	0.12719
0.056	1.02889	0.12362	
0.084	1.54333	0.08241	
0.112	2.05778	0.06181	
0.140	2.57222	0.04945	
0.168	3.08667	0.04121	
0.196	3.60111	0.03532	
0.224	4.11556	0.03090	
0.252	4.63000	0.02747	
0.280	5.14444	0.02472	
0.308	5.65889	0.02023	0.11447
0.336	6.17333	0.01854	
0.364	6.68778	0.01712	
0.392	7.20222	0.01445	0.10406
0.420	7.71667	0.01349	

Yapılan çalışmada her zaman adımı için maksimum iç iterasyon sayısı 10 olarak seçilmiş ve HAD analizleri gerçekleştirilmiştir. Fiziksel zaman olarak her analiz 120. saniyede sonlandırılmıştır.

6. HAD ANALİZ SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Sınır tabakayı doğru bir şekilde çözümlmek ve su akışının olduğu tekne yüzeyinde y^+ değerlerinin $30 < y^+ < 120$ aralığında kalmasını sağlamak için Tekne yüzeyi boyunca gerilme faktörleri 1.5 olan 6 kat düzgün altı yüzlü hücre yerleştirilmiştir. Belirtilen y^+ aralığında kalmak için y^+ değeri 75 seçilerek sınır tabaka hücreleri oluşturulmuştur. HAD analizleri sonucunda 1, 5, 10 ve 15 knot hızlarında elde edilen y^+ değerleri Şekil 5'te gösterilmiştir. Düşük hızlarda 75 civarında olan y^+ değerleri yüksek hızlarda 40 değerlerine kadar düştüğü gözlemlenmiştir. Bütün HAD analizlerinde y^+ değerlerinin $30 < y^+ < 120$ aralığında kaldığı görüldüğünden hesaplamalarda sınır tabakanın doğru bir şekilde modellendiği söylenebilir.



Şekil 5. 1, 5, 10 ve 15 knot hızlarındaki y^+ değerleri

HAD hesaplamaları 120 saniye esas alınarak yapılmıştır. 1-15 knot hız

aralığında her bir hız için toplam direnç değerlerinin fiziksel zamana göre değişimi Şekil 6'da gösterilmiştir. Şekil 6'dan görüleceği üzere her hız değeri için toplam direnç değerleri belli bir saniyeden sonra periyodik dalgalanmalar göstererek yakınsamıştır.

1-15 knot aralığındaki her bir hız için sürtünme, basınç ve toplam direnç değerleri 80-120 saniyeler arasında elde edilen direnç değerlerinin aritmetik ortalamaları alınarak tespit edilmiştir.

HAD hesaplamaları sonucunda belirtilen kritere göre elde edilen direnç değerleri ve direnç katsayıları Tablo 9'da verilmiştir. Fn-Direnç değerlerinin grafiği ise Şekil 7'de gösterilmiştir.

Şekil 7'deki Fn-Direnç grafiği incelendiğinde, sürtünme direnci eğrisinin Fn 0.280 (10 knot) kadar düzgün arttığı, Fn 0.280 – 0.308 (10-11 knot) arasında yatay çizdiği Fn 0.308-0.336-0.364 (11-12-13 knot) aralığında hızla arttığı, Fn 0.364-0.392 (13-14 knot) aralığında yine yatay çizip Fn 0.392-0.420 (14-15 knot) değer aralığında ise yeniden hızlı bir artış eğilimi sergilediği görülmektedir.

Şekil 8'de, Fn 0.280 (10 knot) ve Fn 0.308 (11 knot) değerlerinde, tekne yüzeyindeki dalga deformasyonları incelendiğinde, Fn 0.308 değerinde yumrubaşın suya gömülmesiyle sürtünme direncinin artacağı görülsede baş omuzluklarda oluşan dalga çukurlarının sürtünme direncinin aşırı artmasını önleyip, yatay çizmesini sağlamıştır. Yani tekne yüzeyindeki ıslak alan önemli bir değişikliğe uğramamıştır. Yine aynı durum Fn 0.364-0.392 (13-14 knot) değerlerindeki dalga paternlerinde görülmektedir. Fn 0.336-0.364 (12-13 knot) değerlerinde baş bodoslamada dalga yüksekliğinin artması ile tekne ıslak yüzeyinin artmasından dolayı sürtünme direncinde büyük artışların olduğu görülmektedir.

Basınç direnci Fn 0.280 (10 knot) değerine kadar düzgün artış gösterirken, bu değerden sonra artış hızı aşırı artmaktadır. Bu duruma, suyun giderek yumrubaşın üzerine çıkması ve baş bodoslamadan yukarı doğru

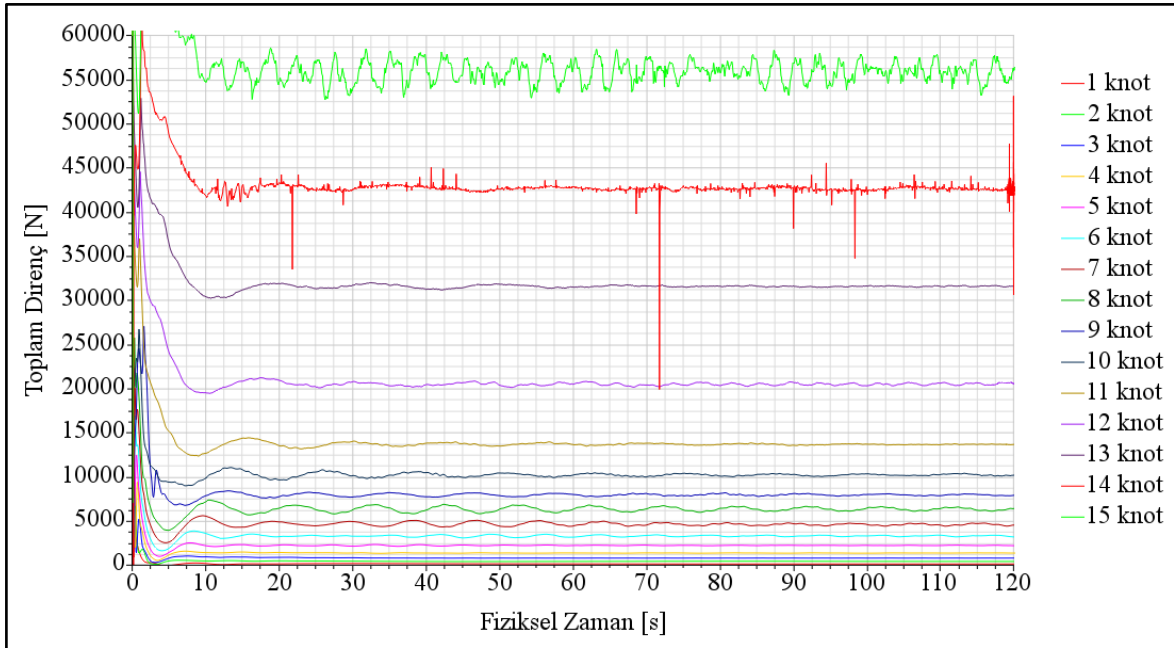
tırmanması ile tekne giriş açısının ve dolayısı ile suyun ilk karşılaştığı tekne hacminin artmasının neden olduğu söylenebilir.

Toplam direnç artışlarına bakıldığında ise Fn 0.308 (11 knot) değerinde toplam direnç 27.355 kN iken %50 artış göstererek Fn 0.336 (12 knot) değerinde 41.039 kN olmakta, yine Fn 0.364 (13 knot) değerinde Fn 0.336'ya göre %54 artış göstererek 63.162 kN olmaktadır. Fn 0.392 – 0.420 (14-15 knot) değerlerinde ise ortalama toplam direnç artış hızı ise yaklaşık %33 oranındadır.

Geleneksel Karadeniz tipi balıkçı gemileri belli bir hızdan sonra yarı kayıcı özellik gösteren forma sahip olduklarından bu özelliklerinin Fn 0.364 (13 knot) değerinden

sonra ortaya çıktığı Şekil 8'den görüldüğü üzere söylenebilir. Bu özellikleri sadece sürtünme direncinin artışı engellemenekte, ancak ağır tonajları nedeni ile basınç dirençlerinde aşırı artışa sebep olmakta, sonuç olarak toplam dirençlerinde sürtünme direncinin azalış etkisi görülememektedir.

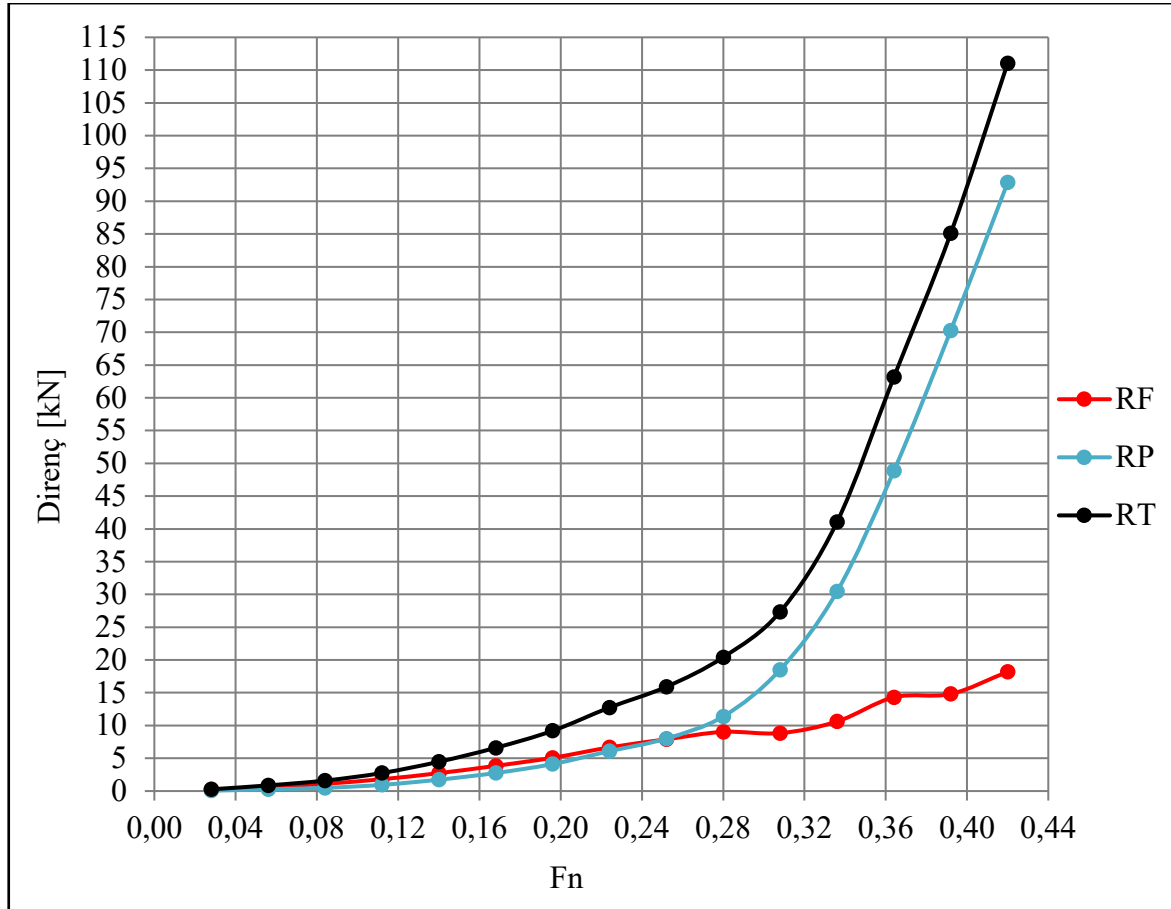
Toplam direnç değeri içinde sürtünme ve basınç dirençlerinin oranları karşılaştırıldığında; Fn 0.028 (1 knot) değerinde toplam direncin %79'unu sürtünme direnci, %21'ini ise basınç direnci oluştururken bu oran Fn 0.140 (5 knot) değerinde %61'e %39, Fn 0.280 (10 knot) değerinde %44'e %56, Fn 0.420 değerinde ise (15 knot) %16'ya %84 olarak görülmektedir.



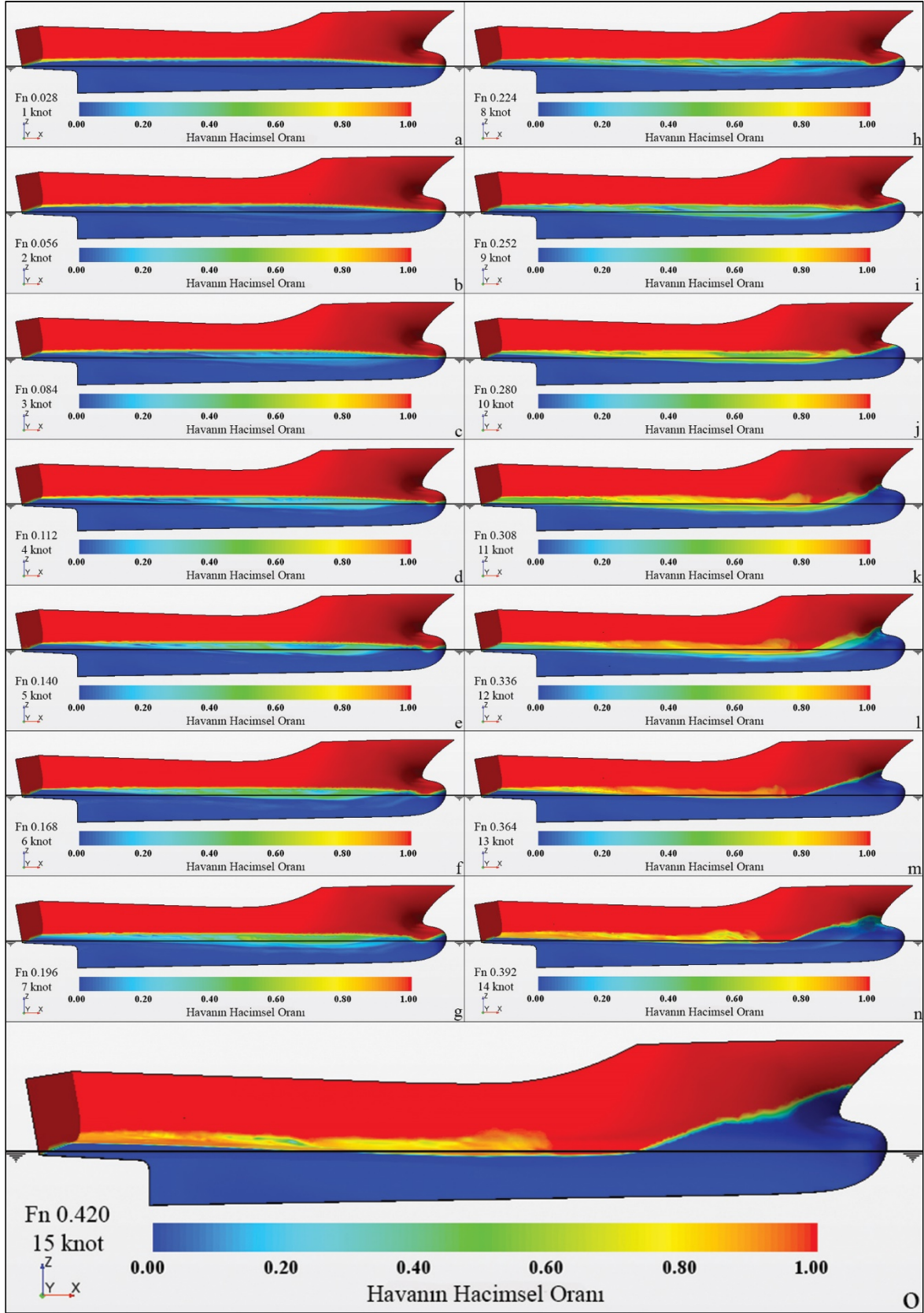
Şekil 6. HAD hesaplamalarında 120 saniye boyunca toplam direnç değişiminin fiziksel zamana bağlı grafiği (yarım model toplam direnç değerleri)

Tablo 9. HAD hesaplamaları sonucunda elde edilen sürtünme, basınç ve toplam direnç değerleri ve direnç değerlerinin katsayıları

Hız [U]		Froude Sayısı	Sürtünme Direnci	Basınç Direnci	Toplam Direnç	Sürtünme Direnç Katsayısı	Basınç Direnç Katsayısı	Toplam Direnç Katsayısı
(knot)	(m/s)	F_n	R_F (N)	R_P (N)	R_T (N)	C_F [$\times 10^3$]	C_P [$\times 10^3$]	C_T [$\times 10^3$]
1	0.514	0.028	209	56	265	3.837	1.030	4.867
2	1.029	0.056	593	270	863	2.726	1.243	3.969
3	1.543	0.084	1107	491	1598	2.262	1.003	3.265
4	2.058	0.112	1807	945	2752	2.076	1.086	3.162
5	2.572	0.140	2730	1734	4464	2.008	1.275	3.283
6	3.087	0.168	3845	2754	6599	1.964	1.407	3.371
7	3.601	0.196	5073	4116	9189	1.903	1.544	3.447
8	4.116	0.224	6657	6084	12741	1.912	1.748	3.660
9	4.630	0.252	8891	8013	15904	1.791	1.819	3.610
10	5.144	0.280	9031	11384	20415	1.660	2.093	3.753
11	5.659	0.308	8841	18514	27355	1.343	2.813	4.156
12	6.173	0.336	10605	30434	41039	1.354	3.886	5.240
13	6.688	0.364	14307	48855	63162	1.556	5.315	6.871
14	7.202	0.392	14817	70278	85095	1.390	6.592	7.982
15	7.717	0.420	18198	92856	111054	1.487	7.588	9.075



Şekil 7. F_n -Sürtünme Direnci (RF), Basınç Direnci (RP) ve Toplam Direnç (RT) Grafiği



Şekil 8. 1-15 knot hız aralığında tekne yüzeyinde oluşan dalga paternleri

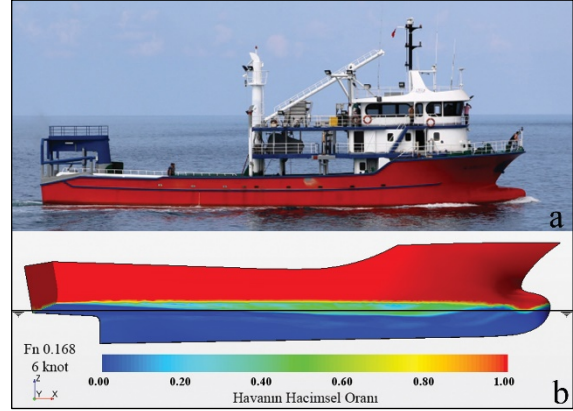
HAD analizleri sonucunda GKTBG'nin tekne yüzeyinde 1-15 knot hız aralığında oluşan dalga paternleri Şekil 8'de gösterilmiştir.

Şekil 8 incelendiğinde hızın artması ile Fn 0.112 (4 knot) değerinden sonra yumrubaş omuzluklarında gözle görülür bir bozulma (çukurlaşma) başlamaktadır. Yumrubaşın oluşturduğu negatif basınç Fn 0.224 (8 knot) değerine kadar etkin olmakta, bu değerden sonra görece yumrubaş önünde az miktarda dalga yüksekliğinin artış hızı yükselmekte ve yumrubaşın oluşturduğu negatif basınç etkisini kaybetmektedir. Fn 0.252 (9 knot) değerinden sonra yumrubaş önündeki dalga yüksekliği giderek artmakta, sancak ve iskele baş omuzluklarda akım hızlanarak tekne yüzeyinden ayrılmaya başlamaktadır. Fn 0.308 (11 knot) değerinden sonra dalga yüksekliği yumrubaşı tamamen sulara gömmekte ve hız arttıkça yumrubaş etkinliğini kaybetmekte ve dalga yapmada negatif etki yaparak dalga yüksekliğini baş bodoslamadan sancak ve iskele baş omuzluklara kadar artırmaktadır. Tekne baş bodoslamasında artan su yüksekliği, omuzluklardan sonra derin dalga çukurları oluşturmaktadır. Bu durum tekne boyunca akışın sürekliliğini bozmakta, sintine dönümünden omurgaya doğru kabarcıklı ve girdaplı bir akım oluşturarak teknenin direncini aşırı artırmaktadır.

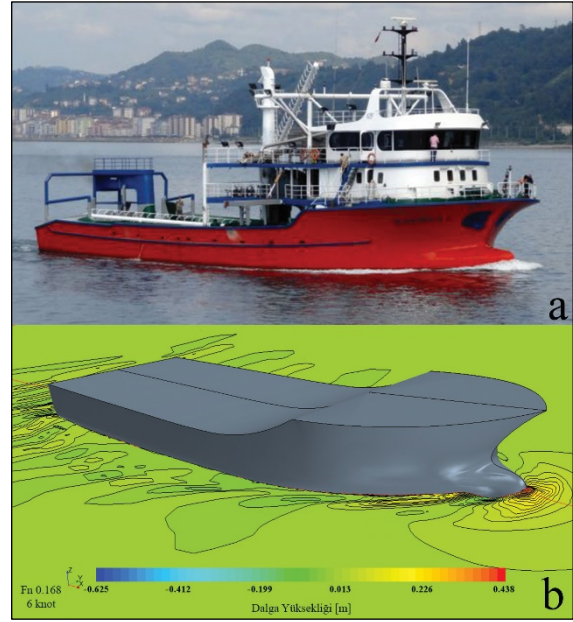
Geleneksel usullere göre inşa edilmiş Karadeniz tipi balıkçı gemilerinin oluşturduğu dalga paternleri ile HAD hesaplamaları sonucu elde edilen dalga paternlerinin karşılaştırılması Fn 0.168 (6 knot) değeri için Şekil 9'da ve Şekil 10'da, Fn 0.252 (9 knot) değeri için Şekil 11'de, Fn 0.308 (11 knot) değeri için Şekil 12'de ve Fn 0.392 (14 knot) değeri için Şekil 13'te gösterilmiştir.

Şekil 9 ve Şekil 10'dan görüleceği üzere Fn 0.168 değerinde yumrubaş önünde dalga tepesi oluşmaya başlarken, yumrubaş bitiminde dalga çukuru oluşmakta ve hemen artında omuzluklarda yine dalga tepesi oluşmaya başlamaktadır. Bu değerden sonra Şekil 8'de görüleceği üzere yumrubaş önündeki dalga tepesinin yüksekliği

artarken, yumrubaş bitimindeki dalga çukuru etkisini kaybetmektedir.

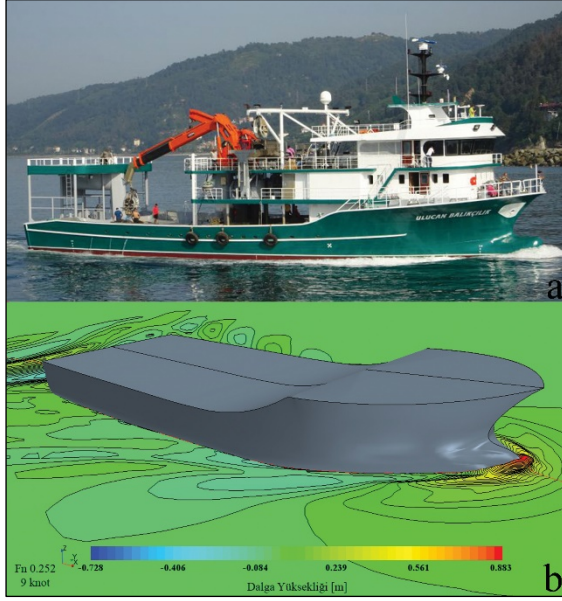


Şekil 9. Fn 0.168 (6 knot) değerinde tekne yüzeyinde oluşan dalga paterni: Kasirga 2 (a) (URL-3, 2020), HAD analizi (b)

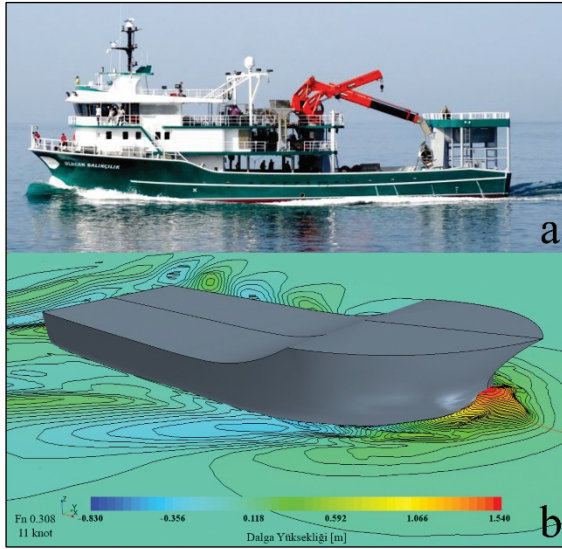


Şekil 10. Fn 0.168 (6 knot) değerinde serbest su yüzeyinde oluşan dalga paterni: Kasirga 2 (a) (URL-3, 2020), HAD analizi (b)

Şekil 11'de Fn 0.252 değerinde ise yumrubaş önündeki dalga yüksekliği hızla artmakta ve bu değerden sonra Şekil 12'de görüleceği üzere Fn 0.308 değerinde yumrubaş tamamen sulara gömülmektedir.



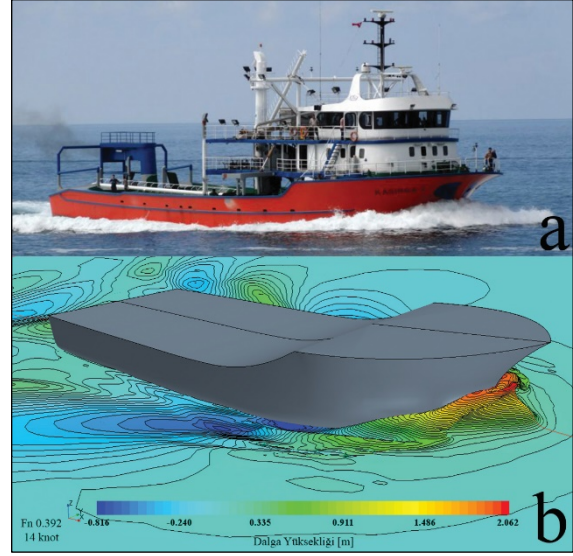
Şekil 11. Fn 0.252 (9 knot) değerinde oluşan dalga paterni: Ulucan Balıkçılık (a) (URL-4, 2020), HAD analizi (b)



Şekil 12. Fn 0.308 (11 knot) değerinde oluşan dalga paterni: Ulucan Balıkçılık (a) (URL-4, 2020), HAD analizi (b)

Şekil 13'ten görüleceği üzere tekne Fn 0.392 değerinde tamamen kendi oluşturduğu girdaplı dalga sistemi içinde yüzmektedir.

Tekne formundan dolayı oluşan dalganın yüksekliği Fn 0.168'de 0.438 m, Fn 0.252'de 0.883 m, Fn 0.308'de 1.540 m ve Fn 0.392'de 2.062 m olmaktadır.



Şekil 13. Fn 0.392 (14 knot) değerinde oluşan dalga paterni: Kasırğa 2 (a) (URL-3, 2020), HAD analizi (b)

Fn-direnç grafiği ile tekne ve serbest su yüzeyinde oluşan dalga paternleri incelemelerinde, geleneksel usullere göre inşa edilmiş Karadeniz tipi balıkçı gemisi formlarının ekonomik servis hızının 11 knot civarında olduğu ortaya çıkmaktadır.

Karadeniz tipi balıkçı gemisi formlarının ekonomik servis hızını artırmak için akışın hızlanıp tekne yüzeyinden ayrılmaya başladığı baş omuzluklarda ve yüksek hızlarda üzerini suyun tamamen kaplayarak tekne direncini artıran yumrubaş formunda optimizasyon yapılması gerekmektedir.

7. SONUÇLAR

Geleneksel usullere göre inşa edilmiş Karadeniz tipi balıkçı gemilerinin direnç ve dalga yapma karakteristiklerini anlamak için Sürmene Yeniay-Çamburnu tersanelerinde üretilen balıkçı gemilerinden referans alınarak oluşturulan 35.6 metrelik bir balıkçı teknesi formunun Fn 0.028-0.420 (1-15 knot) değerleri arasındaki direnç analizleri için suda HAD yardımı ile yapılmıştır.

HAD ile elde edilen Fn-direnç grafiği ile tekne ve serbest su yüzeyindeki dalga paternleri incelenerek geleneksel usullere göre inşa edilen Karadeniz tipi balıkçı

gemilerinin dalga karakteristikleri hakkında çıkarımlar yapılmıştır. Yapılan tespitler sonucu bu tip balıkçı gemilerinin ekonomik seyir hızının 11 knot civarında olduğu bulunmuştur. Ekonomik servis hızının artırılması için yumrubaş formunun optimizasyonu önerilmiştir. Bu çalışma ile geleneksel usullere göre inşa edilmiş Karadeniz tipi balıkçı gemisi formlarının avantajları ve dezavantajları ortaya çıkarılmıştır.

İSİMLENDİRME VE BİRİMLER

B: Genişlik [m]
B_{WL}: Su hattındaki maksimum genişlik [m]
B/T: Genişlik/Su çekimi oranı
CFD: Computational Fluid Dynamics
CFL: Courant-Friedrichs-Lewy sayısı
C_B: Tekne narinlik katsayısı
C_F: Sürtünme direnç katsayısı
C_M: Orta kesit narinlik katsayısı
C_P: Basınç direnç katsayısı
C_{PI}: Prizmatik katsayı
C_T: Toplam direnç katsayısı
C_{WP}: Su hattı alan katsayısı
C_μ: Türbülans modelinin kritik bir katsayısı
D: Derinlik [m]
Fn: Froude sayısı
GKTBG: Geleneksel Karadeniz Tipi Balıkçı Gemisi
G_b: Sıcaklık farklarından dolayı oluşan yoğunluk değişimine bağlı olarak türbülans kinetik enerjisi üretimi
G_k: Ortalama hız gradyenlerinden dolayı türbülans kinetik enerji üretimi
HAD: Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği
KCS: KRISO Container Ship
L: Tam boy [m]
LCB: Sephiye merkezinin boyuna konumu [m]
L_{BP}: Dikeyler arası boy [m]
L_{WL}: Su hattı boyu [m]
L/B: Tam boy/Genişlik oranı
R_F: Sürtünme direnci [N]
R_n: Reynolds sayısı
R_p: Basınç direnci [N]

R_T: Toplam direnç [N]
S_K: Kullanıcı tarafından tanımlanan kaynak terim
S_w: Islak yüzey alanı [m²]
S_e: Kullanıcı tarafından tanımlanan kaynak terim
T: Su çekimi [m]
U: Hız [m/s]
U_m: Model hızı [m/s]
URANS: Reynolds-Ortalama Navier-Stokes
VOF: Volume of Fluid
Y_m: Sıkışabilen türbülans çalkantılardaki genişlemenin bütün yayılmaya etkisi
ρ: Kütleli Yoğunluk [kg/m³]
γ: Kinematik Viskozite [m².s]
μ: Dinamik Viskozite [Pa.s]
Δx : minimum ağ boyutu [m]
Δt : zaman adımı [s]
∇: Deplasman hacmi [m³]

AÇIKLAMA BİLDİRİMİ

Yazarlar bu makalede çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

ORCID Numaraları

Dursun SARAL:

 <https://orcid.org/0000-0003-1029-7007>

Ercan KÖSE:

 <https://orcid.org/0000-0002-3874-6516>

8. KAYNAKLAR

Saral, D., (2016). Yumrubaşın Balıkçı Gemilerinin Direncine Olan Etkisinin Sistemik Olarak İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi.

Özdemir, Y., H., (2007). Gemi Etrafındaki Akışın Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Yöntemi Kullanılarak İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi.

Setyawan, D., Utama, I. K., Murdijanto, M., Sugiarto, A., Jamaluddin, A., (2010). Development of Catamaran Fishing Vessel. *IPTEK The Journal for Technology and Science* 21(4): 167-173.

- Samuel, S., Iqbal, M., Utama, I.K.A.P., (2015). An Investigation into The Resistance Components of Converting A Traditional Monohull Fishing Vessel into Catamaran Form. *International Journal of Technology* 6(3): 432-441.
- Li, C., Wang, Y., Chen, J. 2016. Study on The Shape Parameters of Bulbous Bow of Tuna Longline Fishing Vessel, 5th International Conference on Energy and Environmental Protection (ICEEP 2016), 17-18 Eylül 2013, s. 250-255, Shenzhen.
- Abramowski, T., Sugalski, K., (2017). Energy Saving Procedures for Fishing Vessels by Means of Numerical Optimization of Hull Resistance. *Zeszyty Naukowe Akademii Morskiej w Szczecinie* 49(121): 19-27.
- Kim, D.J., Iqbal, M., Bahatmaka, A., Prabowo, A. R., (2018). Bulbous Bow Applications on A Catamaran Fishing Vessel for Improving Performance, In: "MATEC Web of Conferences", 159, s. 1-6, EDP Sciences.
- Kracht, A.M., (1978). Design of Bulbous Bows, Transactions. *SNAME* 86: 197-217.
- Saral, D., Aydin, M., Kose, E., (2018). A Systematic Investigation of The Effects of Various Bulbous Bows on Resistance of Fishing Boats. *Brodogradnja* 69(2): 93-117.
- Bahatmaka, A., Kim, D.J., (2019). Numerical Approach for The Traditional Fishing Vessel Analysis of Resistance by CFD. *Journal of Engineering Science and Technology* 14(1): 207-217.
- Raju, M.S.P., Sivabalan, P., Thamby, T., Saravanan, B., (2020). Effect of Bulbous Bow on Resistance of a Tuna Longliner. *International Journal of Advanced Research in Engineering and Technology (IJARET)* 11(2): 136-145.
- Shih, T.H., Liou, W.W., Shabbir, A., Yang, Z., 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.
- CD-Adapco, (2014). User Guide, Star-CCM+ Version 9.04, CD-Adapco.
- Carrica, P.M., Fu, H., Stern, F., (2011). Computations of Self-Propulsion Free to Sink and Trim and of Motions in Head Waves of the KRISO Container Ship (KCS) model. *Applied Ocean Research* 33(4): 309-320.
- Tezdogan, T., Demirel, Y.K., Kellett, P., Khorasanchi, M., Incecik, A., Turan, O., (2015). Full-Scale Unsteady RANS CFD Simulations of Ship Behaviour and Performance in Head Seas Due to Slow Steaming. *Ocean Engineering* 97: 186-206.
- Ozdemir, Y.H., Cosgun, T., Dogrul, A., Barlas, B., (2016). A Numerical Application to Predict The Resistance and Wave Pattern of KRISO Container Ship. *Brodogradnja* 67(2): 47-65.
- Islam, H., Rahaman, M.M., Akimoto, H., Islam, M.R., (2017). Calm Water Resistance Prediction of A Container Ship Using Reynolds Averaged Navier-Stokes Based Solver. *Procedia Engineering* 194: 25-30.
- URL-1, KRISO Container Ship (KCS), (2020). 16.07.2020, https://t2015.nmri.go.jp/kcs_gc.html
- URL-2, Fresh Water and Seawater Properties, (2020). 16.07.2020, <https://www.itte.info/media/7989/75-02-01-03.pdf>
- Hirt, C.W., Nichols, B.D., (1981). Volume of Fluid (VOF) Method for The Dynamics of Free Boundaries. *Journal of Computational Physics* 39(1): 201-225.
- URL-3, Kasirga 2, (2020). 20.07.2020, <https://www.basarangemi.com.tr/ships/balik-avci/kasirga-2>
- URL-4, Ulucan Balıkçılık, (2020). 20.07.2020, <https://www.basarangemi.com.tr/ships/balik-avci/ulucan-balikcilik>