

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**GEMİ DALGA SİSTEMİNİN SINIRLI BİR YÜZEYİNİ KULLANARAK
DALGA DİRENCİNİN BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Serhad AYTAÇ

Gemi İnşaatı ve Gemi Makinaları Mühendisliği Anabilim Dalı

Gemi İnşaatı ve Gemi Makinaları Mühendisliği Yüksek Lisans Programı

AĞUSTOS 2017

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**GEMİ DALGA SİSTEMİNİN SINIRLI BİR YÜZEYİNİ KULLANARAK
DALGA DİRENCİNİN BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Serhad AYTAÇ
508151013**

Gemi İnşaatı ve Gemi Makinaları Mühendisliği Anabilim Dalı

Gemi İnşaatı ve Gemi Makinaları Mühendisliği Yüksek Lisans Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Ömer GÖREN

AĞUSTOS 2017

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 508151013 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Serhad AYTAÇ, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “GEMİ DALGA SİSTEMİNİN SINIRLI BİR YÜZEYİNİ KULLANARAK DALGA DİRENCİNİN BELİRLENMESİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Ömer GÖREN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Ali Can Takinacı**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Nurhan Kahyaoğlu
Piri Reis Üniversitesi

Teslim Tarihi : 27.07. 2017
Savunma Tarihi : 08.08.2017





Aileme,



ÖNSÖZ

Tez çalışmam boyunca bilgisini ve tecrübesini benimle paylaşan değerli danışman hocam Sayın Prof. Dr. Ömer GÖREN'e ilgisinden ötürü teşekkürü bir borç bilirim.

Tezimde kullandığım dalga yükseklikleri hususunda mesaisini harcayan hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Devrim Bülent Danışman'a teşekkür ederim.

Tez çalışmam süresince maddi ve manevi desteklerini benden esirgemeyen Yrd. Doç. Dr. Ali DOĞRUL, Arş. Gör. Savaş SEZEN, Arş. Gör. Emre KAHRAMANOĞLU, Arş. Gör. Süleyman DUMAN, Arş. Gör. M. Kemal Gökçe ve Gemi İnş. Müh. Tufan AZRAK'a çok teşekkür ederim.

Son olarak hayatımın her safhasında olduğu gibi bu dönemde de sabır ve desteklerini benden esirgemeyen değerli aileme sonsuz teşekkür ederim.

Temmuz 2017

Serhad Aytaç
(Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisi)



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
SEMBOLLER	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xv
ŞEKİL LİSTESİ.....	xvii
ÖZET	xix
SUMMARY	xxi
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı	3
1.2 Literatür Araştırması	4
2. GEMİ DİRENÇ TEORİSİ	11
2.1 Gemi Direnci	11
2.2 Tekne Etrafındaki Akış için Momentum Korunumu	12
3. YÜZEY ALANI (SURFACE-PATCH) YÖNTEMİ	15
3.1 Giriş	15
3.2 Dalga-Kesim Yaklaşımının Matematiksel Formülasyonu	16
3.3 Sayısal Hesaplama.....	18
3.4 Dalga Yüksekliklerinin Eldesi	19
3.4.1. Akışkanlar mekaniği temel denklemleri	19
3.4.2. Kütlenin korunumu denklemi	19
3.4.3. Momentumun korunumu denklemi	20
3.4.4. Sonlu hacimler yöntemi (FVM).....	21
3.5 Algoritma	21
4. DOĞRULAMA ÇALIŞMASI.....	23
4.1 DTMB-5415 Model Geminin Etrafındaki Akışın Çözülmesi	23
4.1.1. DTMB 5415 Geminin genel özellikleri	23
4.1.2. KCS Geminin genel özellikleri	24
4.1.3. DTC Geminin genel özellikleri	24
4.1.4. Hesaplama hacminin ve sınır koşullarının oluşturulması	25
4.1.5. Ağ yapısının oluşturulması	26
4.1.6. Gemilerin hidrodinamik analiz sonuçları	27
4.2 Yüzey Alanının Konumunun Belirlenmesi	28
4.3 Direnç Değerlerinin Karşılaştırılması	31
4.3.1. Form faktörü yöntemi ile dalga direncinin hesaplanması.....	31
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	35
KAYNAKLAR	37
ÖZGEÇMİŞ.....	41

KISALTMALAR

DTMB	: David Taylor Model Basin
KCS	: Krisco Container Ship
DTC	: Duisburg Test Case
FVM	: Finite Volume Method (Sonlu Hacimler Metodu)
ITTC	: International Towing Tank Conference
RANS	: Reynolds-Avareged-Navier-Stokes





SEMBOLLER

A_w	: Tekne Islak Yüzey Alanı
b	: Tank Genişliği
C_T	: Boyutsuz Toplam Direnç Katsayısı
F	: Kuvvet
F_n	: Froude Number
g	: Yerçekimi İvmesi
h	: Su Yüksekliği
M	: Moment
n	: Yüzeye Normal Konum
P	: Basınç
R_T	: Toplam Direnç
R_w	: Dalga Direnci
T	: Draft
U	: Geminin Hızı
x_t	: Yüzey Alanının x Yönündeki İlk Konumu
x_c	: Yüzey Alanının x Yönündeki Son Konumu
y_1	: Yüzey Alanının y Yönündeki İlk Konumu
y_2	: Yüzey Alanının y Yönündeki Son Konumu
α	: Dalga Yayılma Açısı
$\gamma_n - s$	: Boyuna Dalga Sayısı
ζ	: Dalga Yüksekliği
ζ_o	: Ortalama Düzlemsel Dalga Yüksekliği
ζ_y	: Dalga Meyli
φ	: Michell İntegrali İntegrasyon Değişkeni
$\varphi_n - u$	: Enine Dalga Sayısı
ρ	: Akışkan Yoğunluğu
ϕ	: Hız Potansiyeli
τ	: Yüzey Gerilmesi



ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 1.1: Direnç bileşenleri.	1
Çizelge 1.2: Direnç hesaplama yöntemleri genel tasnifi.	2
Çizelge 4.1: DTMB-5415 Genel özellikler.	23
Çizelge 4.2: KCS Genel özellikler.	24
Çizelge 4.3: DTC Genel özellikler.	24
Çizelge 4.4: Fr - y1 Değerleri.	30
Çizelge 4.5: Model deneyi direnç değerleri.	31
Çizelge 4.6: Boyusuz dalga direnç katsayısı değerleri.	32
Çizelge 4.7: Dalga direnç katsayılarının karşılaştırılması.	32



ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 1.1: Kelvin dalga sistemi.	4
Şekil 1.2: Enine kesit metodu.	6
Şekil 1.3: Boyuna kesit metodu.	8
Şekil 1.4: XY Metod geometrisi.	9
Şekil 2.1: Gemiye etki eden gerilmeler.	11
Şekil 2.2: Kontrol hacmi.	12
Şekil 3.1: Yüzey alanı yöntemi.	15
Şekil 4.1: DTMB 5415 Geminin üç boyutlu görünüşü.	24
Şekil 4.2: KCS Geminin görünüşü.	24
Şekil 4.3: Hesaplama hacmi.	25
Şekil 4.4: Hesaplama hacmi ana boyutları.	25
Şekil 4.5: Ağ yapısının üstten görünüşü.	26
Şekil 4.6: Ağ yapısının yandan görünüşü.	26
Şekil 4.7: Ağ yapısının perspektif görünüşü.	26
Şekil 4.8: DTMB 5415 $Fr=0.41$ için dalga deformasyonu.	27
Şekil 4.9: DTMB 5415 $Fr=0.35$ için dalga deformasyonu.	27
Şekil 4.10: KCS $Fr=0.26$ için dalga deformasyonu.	28
Şekil 4.11: DTC $Fr=0.22$ dalga deformasyonu.	28
Şekil 4.12: y_1 - Bağlı hata grafiği.	29
Şekil 4.13: DTMB 5415 için $Fr - y_1$ grafiği.	30
Şekil 4.14: x_c - Dalga meyli grafiği.	30
Şekil 4.15: y_1 - C_w Grafiği.	33



GEMİ DALGA SİSTEMİNİN SINIRLI BİR YÜZEYİNİ KULLANARAK DALGA DİRENCİNİN BELİRLENMESİ

ÖZET

Geminin sakin suda istenilen bir hızda hareket edebilmesi için ihtiyaç duyduğu kuvvet gemi direnci olarak isimlendirilir. Günümüzde bu kuvvet genel olarak motor ya da türbin vasıtasıyla elde edilmekte oradan da pervane ya da sujeti yardımıyla itme oluşturulmaktadır. Bu motor ya da türbinlerin istenilen kuvveti oluşturabilmek için ihtiyaç duydukları yakıt miktarı günümüzde son derece önem kazanmıştır. Bu sebeple geminin servis hızı gibi önemi hız değerlerinde ihtiyaç duyduğu kuvvet miktarının tasarım aşamasında bilinmesi ve o kuvvet seviyesinde optimum olarak çalışacak makine seçimi yapmak verimlilik açısından son derece önemlidir. 1850’li yıllardan beri bu sebeplerle geminin direnç miktarının tasarım aşamasında tahmin edebilme çalışmaları yapılmaktadır.

Geminin toplam direnci genel olarak akışkanın viskozitesinden kaynaklı direnç bileşeni ve geminin etrafında ürettiği dalga sisteminin taşıdığı enerjinin sebep olduğu dalga-yapıcı direnç bileşeni olarak ikiye ayrılmaktadır.

Dalga direnç bileşenini tekne etrafındaki basınç dağılımının integre edilmesiyle bulunabileceği gibi, geminin etrafındaki dalga sisteminin taşıdığı enerjinin belirlenmesiyle de mümkündür.

Enine ve boyuna dalga kesit yöntemleri bahsedilen ikinci tür yöntemlerin başında yer almaktadır. Bu yöntemlerde yöntemin türüne göre gemi hareketinin enine yada boyuna dalga sisteminden kesitler alınarak bu kesitlerin kesit alınan yön boyunca integrasyonu sonucunda dalga direnç değerine ulaşılmaktadır. İkisinde kendine ait dezavantajları olmakla beraber bu çalışmada, öncesinde 2009 yılında Çalışal’ın üzerinde çalıştığı, yüzey alanı metoduyla bu dezavantajlar ortadan kaldırılmak istenmektedir.

Bu yöntemde kullanılan dalga direnci ifadesi dalga meyli ifadesi kullanılarak türetilmiştir. Dalga meyli dalga yüksekliğine göre çok daha çabuk sifıra yakınsayan bir büyüklük olması sebebiyle çok daha kısa x mesafeleri için hesaplamalar yapılarak doğru sonuçlar elde etmek mümkündür. Yüzey alanı yöntemi de dalga meylinin bu özelliğini barındırması hasebiyle boyuna kesit metodunun taşıdığı kesme hatası düzeltilmesinden kurtulunmuştur.

Bu çalışmada dalga-yapıcı direnç olarak ifade edilen direnç bileşenin tahmini noktasında yüzey alanı metodu (surface-patch) olarak isimlendirilen metod incelenmiştir. Bu yöntemle direnç hesaplanabilmesi için öncelikli olarak gemi etrafındaki dalga sisteminin belli bir alanının dalga yüksekliklerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu sebeple bu çalışmada DTMB-5415 askeri model gemisi, KCS konteynır gemisi ve DTC konteynır gemisinin etrafındaki akış ticari bir HAD yazılımı olan Star CCM+ programıyla viskoz etkiler göz ardı edilerek çözülmüş ve dalga yükseklikleri elde edilmiştir. Bu dalga yükseklikleri yardımıyla yüzey alanı yöntemi kullanılarak boyutsuz dalga direnci katsayıları hesaplanmıştır.

Yöntemin doğrulanabilmesi için hesaplanan bu değerler literatürde var olan model deney sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmanın sonucunda % 1 lere varan doğruluklar elde edilmiştir fakat bu doğruluk mertebelerinin yakalanabilmesi için yüzey alanının konumunun özellikle y yönündeki ilk konumun çok dikkatli seçilmesi gereği görülmüştür. Bundan dolayı farklı Froude sayılarında değişken y_1 (yüzey alanının boyutsuz y yönündeki ilk konumu) değerleri için araştırma yürütülmüş ve optimum y_1 değeri saptanmaya çalışılmıştır. DTMB-5415 için farklı Froude sayılarında hesaplanan değerlerin Froude sayısı ile orantılı olduğu gözlemlenmiştir. Bu sebeple uygun y_1 değeri Froude sayısına bağlı bir grafik yardımıyla verilmiştir. Daha sonra KCS gemisinin servis hızında dalga direnç katsayısı değeri hesaplanmış ve DTMB-5415 için belirlenen optimum y_1 değerine yakın bir değer olduğu saptanmıştır. Ancak DTC gemisinin servis hızında yapılan hesaplamada bulunan y_1 değerinin önerilen y_1 değerinden farklı olduğu görülmüştür bu da yöntemin güvenilirliği noktasında soru işaretleri oluşturmuş, farklı tip gemiler için uygun y_1 değeri hesaplanmasında daha fazla ve derinlemesine çalışmaların gereğini ortaya çıkarmıştır.



WAVE PATTERN RESISTANCE DETERMINED BY USING A SURFACE-PATCH OF FREE SURFACE DEFORMATIONS

SUMMARY

Ship resistance is the force needed to move a ship at a desired speed in still water. Nowadays, this force is generally provided by diesel engines or turbines and converted into thrust by propellers or water-jets. These engines and turbines need fuel to create this force. In the present days, the amount of used fuel is so important. For this reason, ship's force needs on critical velocities, such as service speed, must be known for a first design phase. Therefore, main engine or turbine, should be selected to provide maximum efficiency.

Ship total resistance is generally divided into two parts. One of the resistance component comes from viscous effects and it is known as viscous resistance. The second one is the wave making resistance which is related to energy that is carried by the wave pattern created by ship.

Wave-making resistance could be determined mainly by means of two different ways. One way is based on the integration of pressure distribution on the wetted surface of the ship hull. Second one is based on determination of energy carried by ship's wave pattern.

Transverse cut method and longitudinal cut methods are the well-known examples of these second kind methods. The idea in these methods is to calculate the energy which passes through a selected control surface – located either in longitudinal or transverse direction. Both of them have disadvantages. In order to eliminate these disadvantages, a surface-patch method was proposed by Çalışal et al. (2009). Thus, the aim of the present study is to investigate the surface-patch method in full detail by a series of case studies.

In this method, wave resistance term was derived from wave slope data instead of wave heights. Wave slopes of the wave system converge to zero quicker relatively as compared to wave heights. For this reason, it is possible to calculate the wave resistance with relatively smaller x (longitudinal) distances. Surface-patch method has this advantage.

In the present study, surface-patch method was employed to calculate the wave-making resistance. Firstly, wave heights within a selected surface patch of the wave pattern around the ship must be determined for resistance calculations. For this purpose, the flow around the DTMB-5415 model ship, KCS container ship and DTC container ship were solved using Star CCM+ CFD software in inviscid mode and accordingly wave heights were determined. Subsequently, wave resistance coefficient was calculated by the surface-patch method using the wave calculated.

These calculated values were compared with model test resistance data, which are obtained from open literature, for validation. Around 1 percent accuracy was attained, but to get this accuracy; location and dimensions of surface patch must be

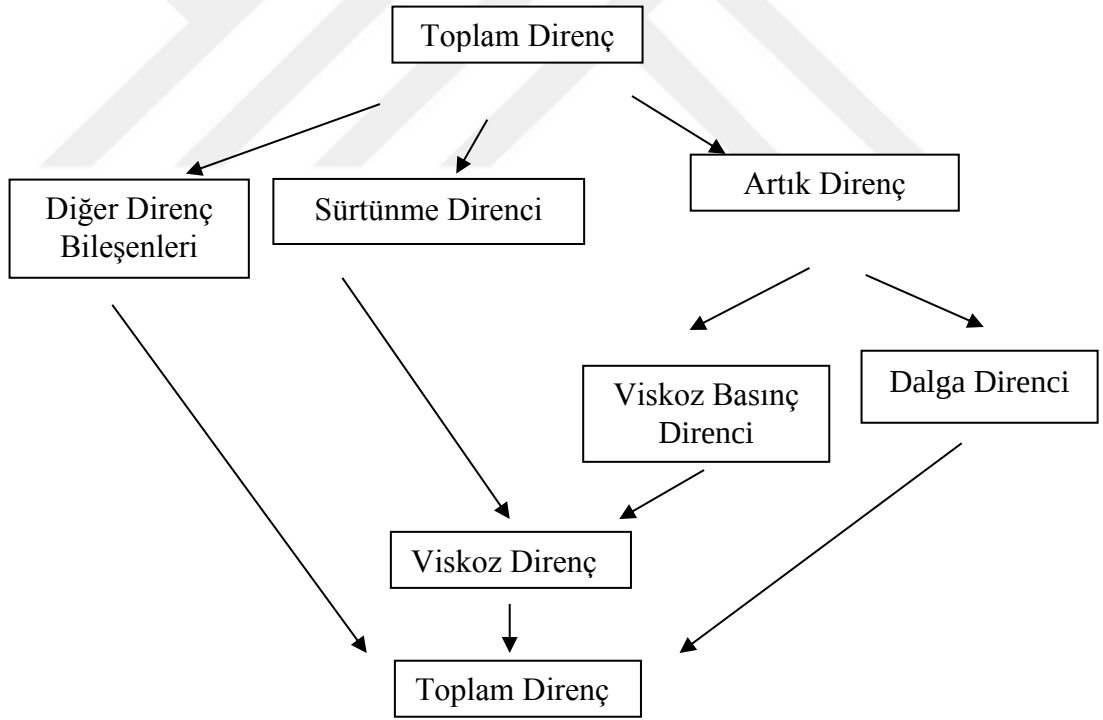
selected carefully. Consequently, in order to figure out the sensitivity of the dimensions of the surface patch to the Froude number, a search was carried out by testing the effect of several y_1 (first location on y direction of surface patch) locations on the wave resistance. The search showed that y_1 values are required to be increased as the Froude number increases for the DTMB-5415 model ship. When considering calculated values of KCS and DTMB 5415 at the similar Froude number, we observed that the results point out almost the same y_1 value but DTC value stays away from these values. This discrepancy shows some doubt about surface-patch method. A deeper study is necessary to arrive at a sound conclusion.



1. GİRİŞ

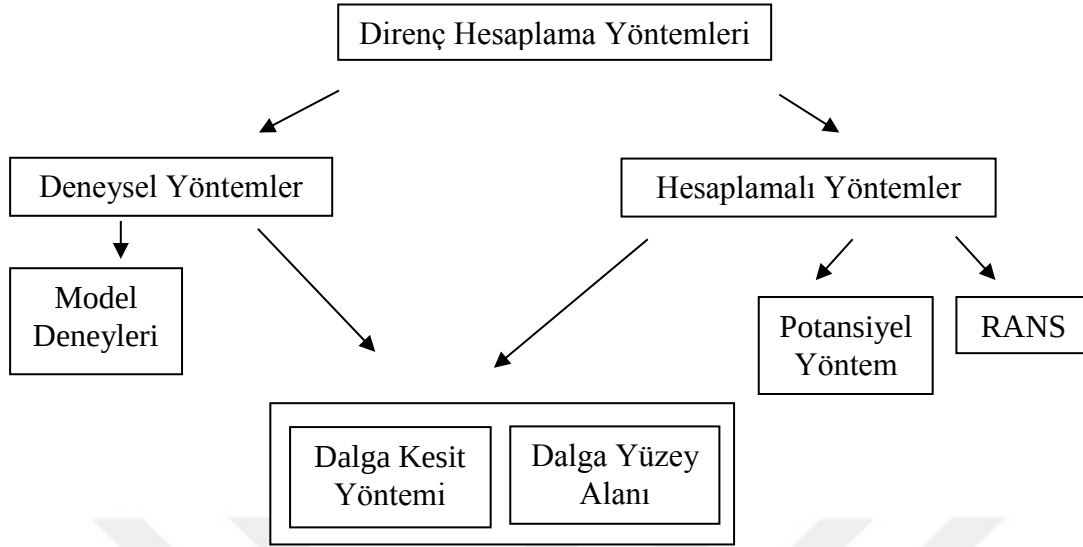
Günümüzde, yakıt fiyatlarının deniz taşımacılığı maliyetlerinde önemli bir yer tutması, çevre kirliliği gibi sebeplerden ötürü istenilen hız değerlerine daha düşük motor güçlerinde ulaşma başka bir deyişle o hız değerlerine daha az yakıt harcayarak ulaşmanın önemi son derecede artmıştır. Bu sebeple verimlilik gemi tasarımında özellikle ticari gemilerde en önemli tasarım parametresi halini almıştır. Bundan dolayı gemi tasarımında özellikle servis hızı gibi özel hız değerlerinde karşılaşılabilecek direnç değerlerini bilmek, olabilecek en düşük seviyeye getirmek önemli ve gerekli bir adımdır.

Çizelge 1.1 : Direnç bileşenleri.



Çizelge 1.1’de de görüldüğü gibi gemiye muhtelif çeşitlerde direnç etki etmektedir. Bunların bir kısmı akışkanın viskozitesinden kaynaklanmakla beraber bir kısmı geminin serbest su yüzeyinde dalga yapma olgusundan ve bir kısmı da rüzgâr, takıntı gibi diğer bileşenlerden kaynaklanmaktadır.

Çizelge 1.2 : Direnç hesaplama yöntemleri genel tasnifi.



Geminin maruz kaldığı direncin tasarım aşamasında tahmini noktasına geliştirilen metotlara ve yapılan çalışmalara genel olarak bakıldığında Çizelge 1.2’deki şema ortaya çıkmaktadır. Şemada da görüldüğü üzere direnç hesabı genel olarak deneysel ve hesaplamalı yöntemler olarak ikiye ayrılabilir.

1868 Froude’un çalışmalarıyla başlayan model deneyleri yardımıyla direnç hesabı hala günümüzde geçerliğini korumakta ve model deney havuzlarının yılların tecrübesiyle oluşturdukları veri havuzu sayesinde geliştirilen ampirik denklemler yardımıyla doğruya çok yakın sonuçlar alınabilmektedir.

Bir diğer metod olan hesaplamalı yöntemlerde kendi içinde potansiyel teori temelli ve viskoz temelli olmak üzere ikiye ayırmak mümkündür. Michell’in 1898 yılında ortaya attığı ve analitik olarak çözüm imkânı sunan denklem Michell integrali potansiyel akış kabulüne dayanan, dalga direnci ile ilgili sınır değer problemlerinin başlangıcı olarak görülebilir. Daha sonra bilgisayar teknolojisinin gelişmesiyle potansiyel teori tabanlı yöntemlerle çok daha karmaşık problemler çözülebilmektedir. Potansiyel yöntemlerin temelinde tekne formu etrafındaki basınç dağılımının hesaplanması ve daha sonra bunun bütün ıslak yüzey alanı için integre edilmesi vardır. Bu yöntemlerde tekne formunun basınç dağılımı, nümerik olarak integre edilebilmesi için küçük parçalara ayrıştırılması gerekmektedir. Bu yöntemlerin en büyük dezavantajı bu ayrıştırmalar sırasında oluşabilecek bölgesel tekilliklere çok fazla duyarlı olmalarıdır.

Viskoz etkileri de göz önüne alarak Laplace denklemi yerine Reynould-Ortalama-Navier-Stokes (Reynould-Averaged Navier-Stokes) denklemini çözerek hesaplama yapan diğer bir yöntemde RANS metodu olarak adlandırılmaktadır. Potansiyel yöntemlerden daha yavaş bir yöntem olsa da viskoz etkileri de göz önüne alarak hesaplama yaptığından dolayı tercih sebebi olabilmektedir.

Dalga yüksekliklerinin elde ediliş yöntemine göre tablomuzda farklı sınıflara yerleştirebileceğimiz bir diğer yöntem grubu da dalga-kesit (wave-cut) metotlarıdır. Burada tekne etrafındaki basınç dağılımı yerine teknenin etrafında teknenin ürettiği dalgaların taşıdıkları enerji hesaplanmakta ve oradan dalga direncine geçilmektedir. Bu yöntem dalga sisteminin (wave-pattern) ayrıştırılması sırasında oluşabilecek tekilliklere daha az duyarlı olması sebebiyle tercih edilebilmektedir (Anja Kömpe, 2015). Ancak bu yöntem için geminin etrafındaki dalga yüksekleri tercih edilen metoda göre geminin hareketine dik ya da paralel olarak ölçülmeli ya da nümerik olarak hesaplanmalıdır.

Diğer bir yöntemde gemi hâlihazırda inşa edildikten sonra çeşitli hız değerlerindeki direnç değerlerinin okunmasıyla elde edilen verilerin benzer gemilerin üretiminde yaklaşık olarak hesap yapabilmek amacıyla kullanılmasıdır.

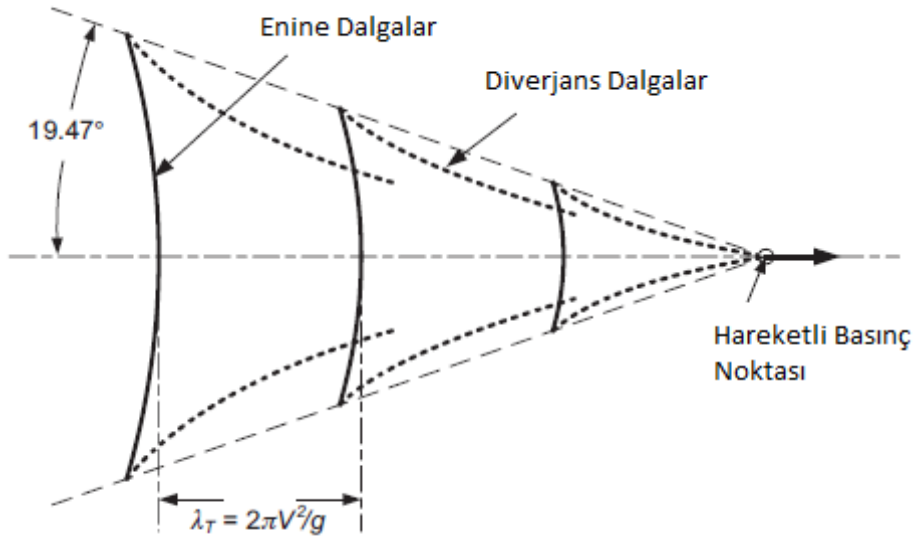
1.1 Tezin Amacı

Bu çalışmada dalga yüzey alanı (surface-patch) olarak isimlendirdiğimiz yukarıda sayılan yöntemlerden farklı bir yöntemle geminin dalga direncinin hesaplanması hedeflenmektedir. Yöntem dalga kesit metotlarından türetilmiş olup dalga kesiti yöntemlerinin barındırdıkları dezavantajlardan kaçınılmıştır. İleri ki bölümlerde detaylı bir şekilde anlatılacak olan yöntemde hesaplamaların yapılabilmesi için gerekli olan dalga yükseklikleri ya hesaplamalı bir yöntemle ya da model deney havuzunda gemi modeli etrafındaki dalga sisteminin deneysel bir yöntemle elde edilmesi gerekir. Bu çalışmada ticari bir hesaplamalı akışkanlar dinamiği programı olan Star CCM+ yardımıyla dalga yükseklikleri elde edilecektir. Daha sonra elde edilen bu yükseklik değerleriyle farklı Froude sayıları için dalga dirençleri hesaplanacak ve ardından literatürdeki model deneyleri sonucunda elde edilen dalga direnci sonuçlarıyla karşılaştırılacak ve yöntem doğrulanacaktır.

1.2 Literatür Araştırması

Litaratürdeki çalışmalara bakıldığında her ne kadar ilk denemelerini Benjamin Franklin gibi bir çok mühendis/bilim insanı yapsa da model ile gerçek boyut arasındaki benzerliği nasıl kurulabileceğini ilk olarak ortaya koymayı başaran Froude (1868) geminin maruz kaldığı direnç miktarını tahmin edebilmeyi başarmıştır. Froude yaptığı çalışmalarda gemi direncini sürtünme ve dalga-yapma direnci olarak ikiye ayırmıştır. Froude, aynı Froude sayısına sahip olan gemilerle modellerin birebir aynı dalga profilleri oluşturduğunu farketmiş ve bunların dalga-yapma direçleri arasında doğrudan bir bağlantı olduğunu keşfetmiştir. Düz levhalar üzerinde yaptığı bir dizi testin sonunda sürtünme direncinde doğrudan ıslak alan ile alakalı olduğunu göstermiştir.

Lord Kelvin (1887) su yüzeyindeki bir tekil basınç noktasını sabit hızla hareketi sonucunda ortaya çıkan dalga sistemini tanımlamış ve dalga sisteminin enine ve diverjans dalgalarının süperpozisyonundan meydana geldiğini tesbit etmiştir. Dalga sisteminin basınç noktasıyla $19^{\circ}47'$ lik açı yapan diagonallerin arasında oluştuğunu gözlemlemiştir.



Şekil 1.1 : Kelvin dalga sistemi.

J.H. Michell (1898) narin bir teknenin etrafındaki basınç dağılımını integre ederek analitik olarak dalga direncini hesaplamış, Michell integrali adı verilen denklemle ifade etmiştir. Denklem 1.1’de Michell integrali verilmiştir.

$$R_W = \frac{4\rho g^2}{\pi U^2} \int_1^{\infty} (I^2 + J^2) \frac{\varphi^2}{(\varphi^2 - 1)^{0.5}} d\varphi \quad (1.1)$$

$$I = \int_{-L/2}^{L/2} \int_0^T e^{\frac{-\varphi^2 gz}{U^2}} \cos\left(\frac{gx}{U^2} \varphi\right) \frac{\partial f(x, z)}{\partial x} dx dz \quad (1.2)$$

$$J = \int_{-L/2}^{L/2} \int_0^T e^{\frac{-\varphi^2 gz}{U^2}} \sin\left(\frac{gx}{U^2} \varphi\right) \frac{\partial f(x, z)}{\partial x} dx dz \quad (1.3)$$

Burada g yer çekimi ivmesi, U gemi hızı, φ integrasyon değişkeni, T draft, L gemi boyu, ρ akışkanın yoğunluğudur.

Gemi etrafında geminin oluşturduğu dalga sisteminin taşıdığı enerjiyi hesaplayarak dalga direncini hesaplama fikri ilk olarak Havelock (1934,1951) tarafından ortaya atılmıştır. Burada Havelock daha öncesinde iki boyutlu olarak incelenen dalga hareketinin taşıdığı enerjinin incelenmesi problemini ele almış ve ilk defa üç boyutlu olarak incelemiştir. Sonlu ve sonsuz derinlikteki akışlar için dalga direnç denklemi geliştirmiştir. Denklem 1.4 ve 1.5 da sırasıyla bu denklemler verilmiştir.

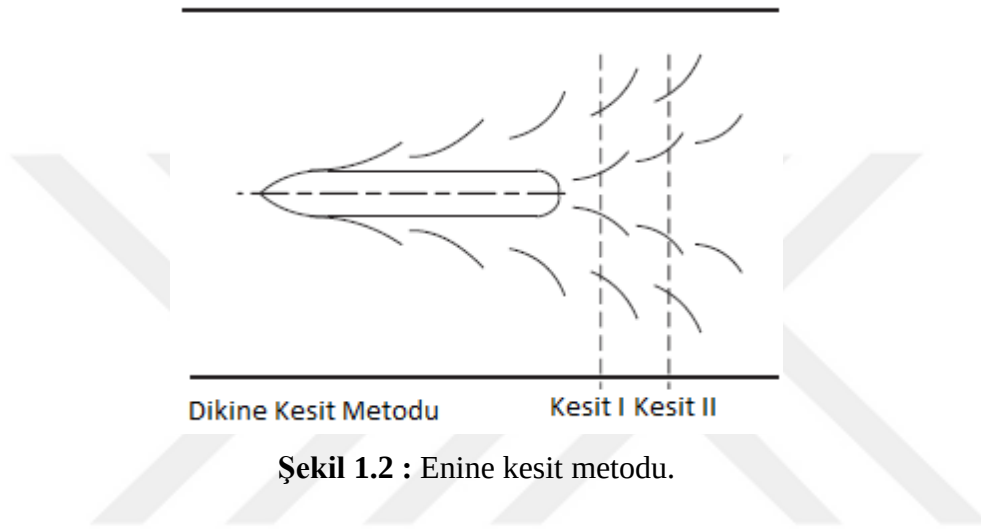
$$R_W = \pi \rho U^2 \int_0^{\pi/2} (f(a))^2 \cos^3(a) da \quad (1.4)$$

$$R_W = \pi \rho U^2 \int_0^{\pi/2} (f(a))^2 \left(\coth(kh) - \frac{kh}{\sinh^2(kh)} \right) \cos^3(a) da \quad (1.5)$$

Burada α dalga'nın yayılma açısı (dalga'nın gemi hareket konumuyla yaptığı açı), k dalga sayısı ve h akışkan derinliğidir.

1962 yılında Almanca olan ve 1963 yılında İngilizce tercümesi yayınlanan K.W.H. Eggers (1963) bu yayınında enine dalga (tranverse wave-cut) kesit metodunu ilk defa kullanmış ve daha sonraki bu metodla alakalı bütün gelişmeler bu makalede yayınlanan temelin üzerine bina edilmiştir. Burada Eggers dalga yüksekliklerini kendi adıyla anılan Eggers serisi yardımıyla bulmuş, lineerleştirilmiş serbest yüzey sınır şartını sağlatarak bir hız potansiyeli tanımlamış ve bölüm 2.3 te değinilen

momentum analizinin sonucunda ortaya çıkan dalga direnci ifadesine koyarak bir dalga direnci ifadesi elde etmiştir. Elde edilen ifadeler aşağıda verilmiştir. Bu yöntem teorik olarak güçlü olmasının yanında pratikte dalga yükseklikleri o konumda (Şekil 1.2) deneysel olarak elde etmek çok güçtür. Çünkü bütün tank boyunca birbirine çok yakın ve çok sayıda problemler kullanılmak zorunda kalınacak bu da pratikte pek mümkün olmayacaktır ancak dalga yüksekliklerinin nümerik olarak elde edildiği çalışmalarda kullanılabilir. Pratikte karşılaşılan bu güçlük bu yöntemin en büyük dezavantajıdır.



Şekil 1.2 : Enine kesit metodu.

$$\zeta = \sum_{n=0}^{\infty} (\xi_n \cos(x\gamma_n \cos\theta_n) + \eta_n \sin(x\gamma_n \cos\theta_n)) \cos\left(\frac{2\pi ny}{b}\right) \quad (1.6)$$

$$\gamma_n \sin\theta_n = \frac{2\pi n}{b} \quad (1.7)$$

$$\phi = \frac{g}{c} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{\cosh\gamma_n(z+h)}{\varphi_n \cosh\gamma_n(\gamma_n h)} (\eta_n \cos\varphi_n x - \xi_n \sin\varphi_n x) \cos\left(\frac{2\pi ny}{b}\right) \quad (1.8)$$

$$\varphi_n = \gamma_n \cos\theta_n \quad (1.9)$$

$$R_w = \frac{1}{4} \rho g b \left[(\xi_0^2 + \eta_0^2) + \sum_{n=1}^{\infty} (\xi_n^2 + \eta_n^2) \left(1 - \frac{1}{2} \cos^2 \theta_n\right) \right] \quad (1.10)$$

Burada γ_n ve φ_n birbirlerine kinematik olarak bağlı boyuna ve enine dalga sayıları olup literatürde verilen denklemler yardımıyla hesaplanabilmektedir. θ_n her bir dalga için gemi hareket konumuyla yaptığı açıdır. c gemi hızı, ρ akışkan yoğunluğu, b

tank genişliğidir. ξ_n ve η_n 'nin bulunabilmesi için Şekil 1.2 de gösterildiği gibi dalga sisteminden en az 2 adet enine kesit alınması gerekmektedir. Bu sebeple bu metotta en az 2 kesit alınması gerekmektedir.

1963 yılında yapılan 'International Seminar on Theoretical Wave-Resistance' adlı seminer dalga direnci ve kesit metodlarında köşe taşı olmuş dalga kesit metodların temelleri atılmış ve çok çeşitli yönleriyle incelenmiştir.

Sharma (1963), Newman (1963) ve Shor (1963) bu seminerde yayınlanan makalelerde ve akabinde Sharma'nın (1966) yayınladığı bir makalede boyuna dalga kesiti metodunu geliştirilmiştir. Bu metod enine dalga kesiti metodunun dezavantajı olan yan yana birçok probadan dalga yüksekliği ölçmeyi ortadan kaldırmıştır. Geminin hareket yönüne paralel olarak alınacak bir dalga kesiti yardımıyla dalga direncinin hesaplanabileceğini ileri sürmüş ve yaptığı çalışmalarla doğrulamıştır. Aynı zamanda boyuna dalga kesiti metodu bizim bu çalışmada kullanacağımız dalga yüzey alanı metodunun da temelini oluşturmaktadır. İlk olarak Havelock'un (1934) yayınından yola çıkarak şu ifadeyi elde etmiştir;

$$\zeta(x,y) = \int_0^{\infty} [F(u) \sin(sx + uy) + G(u) \cos(sx + uy)] du, \quad (1.11)$$

Burada u enine dalga sayısı ve s boyuna dalga sayısı olup birbirlerine kinematik olarak bağlıdır;

$$u = s\sqrt{s^2 - 1}, \quad s^2 = (\sqrt{1 + (2u)^2} + 1)/2 \quad (1.12)$$

yine 1963 yılında yayınlanan makalesinde aşağıdaki bağıntıyı önermiştir;

$$4\pi G(u) = \frac{4\sqrt{s^2 - 1}}{2s^2 - 1} [C \sin(uy) - S \cos(uy)] \quad (1.13)$$

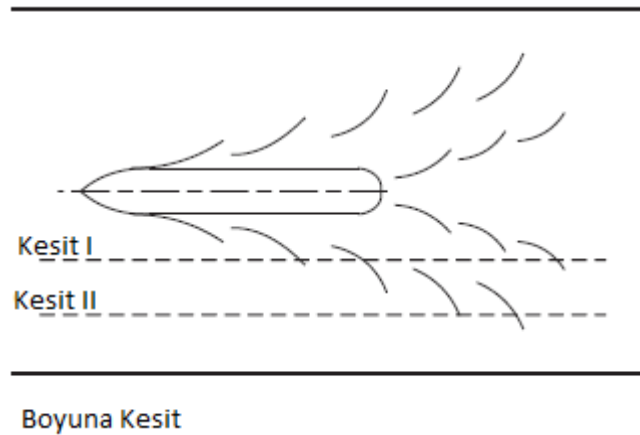
$$4\pi F(u) = \frac{4\sqrt{s^2 - 1}}{2s^2 - 1} [C \sin(uy) - S \cos(uy)] \quad (1.14)$$

$$C(s,y) + iS(s,y) = \int_{-\infty}^{\infty} \zeta(x,y) \exp(isx) dx \quad (1.15)$$

ve son olarak direnç ifadesini;

(1.16)

Metodun uygulanabilmesi için en az bir adet Şekil 1.3'te gösterildiği şekilde boyuna kesit alınması gerekmektedir.

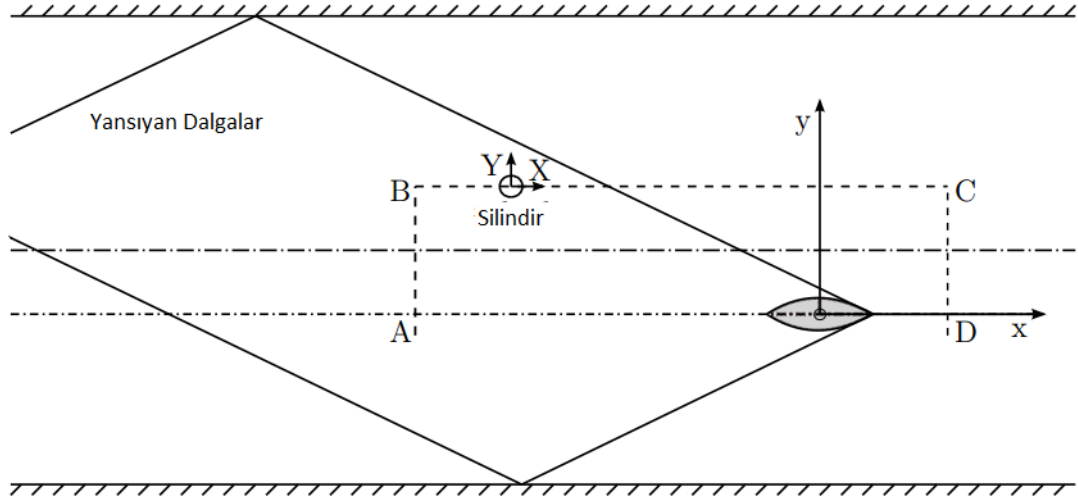


Şekil 1.3 : Boyuna kesit metodu.

Ward (1963,1964,1968) yaptığı çalışmalarda geliştirdiği bir diğer dalga direnç hesaplama yöntemi XY metodu olarak adlandırılmaktadır. Boyuna ve enine kesit metodlarının birleşimi olarak da düşünülebilecek bu metotta su yüzeyine dik bir şekilde yerleştirilmiş silindirin üzerine gelen x ve y konumundaki kuvvetler ölçülerek dalga direncine geçilmektedir. Denklem 1.17’de direnç değeri ifadesi yer almaktadır. Dikkat edilmesi gereken husus silindirin duvarlardan yansıyan dalgalardan etkilenmeyecek bir konumda olmasıdır. Eğer dalga sistemi tek bir düzlemsel dalga kabul edilirse sadece tek noktadan ölçüm alınması yeterlidir aksi halde y eksenini boyunca ölçüm alınması gerekecektir.

$$R_w = \frac{y}{2} \zeta_0^2 + \int_{BC} XY dx \quad (1.17)$$

Burada ζ_0 düzlem dalgaının ortalama yüksekliğini ifade etmektedir.



Şekil 1.4 : XY Metod geometrisi.

Dalga meyli (wave-slope) literatürde çokça bahsedilen Sharma'nında 1963 ve 66 yayınlarında bahsettiği ve bazı bağlantılar önerdiği bir kavramdır. Dalga yüksekliğinin aksine çok çabuk sıfıra yakınsayarak çok uzun x mesafelerine kadar integral alma ihtiyacını ortadan kaldıran bu büyüklük dalga direnç hesaplamalarında kullanılabilmektedir. Yapılan bazı araştırmalarda örneğin Lalli ve diğ. (1998) boyunca kesit metodundaki en büyük hata kaynağının kesme hataları olduğunu belirtmişlerdir.

Çalışal ve diğerleri (2009) bu konu hakkında deneysel bir çalışma yapmış ve Sharma'nın (1966) önerdiği bağıntılar yardımıyla bir kesiti x konumu boyunca integre etmenin alternatifi olarak bir dalga yüzeyini x ve y konumlarında integre ederek dalga direnç değerlerine geçmiştir. Bu metodun temeline dalga yüksekliği yerine dalga meyli ifadelerini koyarak kesme hatası düzeltilmesinden kurtulunmuştur. Bu yöntemde direnç ifadesi;

$$4\pi G(u) = \frac{-4}{s(2s^2 - 1)} [C_y \sin(uy) + S_y \cos(uy)] \quad (1.18)$$

$$4\pi F(u) = \frac{4}{s(2s^2 - 1)} [C_y \cos(uy) - S_y \sin(uy)] \quad (1.19)$$

İfadeler y konumunda integrale edilip yerlerine dalga meyli ifadeleri integral formda yazıldığında;

$$C_y(s, y) + iS_y(s, y) = \int_{-\infty}^{\infty} \zeta_y(x, y) \exp(isx) dx \quad (1.20)$$

$$4\pi \int_{y_1}^{y_2} G(u) dy = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{-4}{s(2s^2 - 1)} \left[\int_{y_1}^{y_2} \zeta_y(x, y) \cos(sx) \sin(uy) \right. \\ \left. + \int_{y_1}^{y_2} \zeta_y(x, y) \sin(sx) \cos(uy) \right] dx dy \quad (1.21)$$

burada ifadelere kısmi integrasyon uygulandığında;

$$4\pi G(u)(y_2 - y_1) = \int_{xt}^{xc} \frac{-4}{s(2s^2 - 1)} [A(x, u) \cos(sx) + B(x, u) \sin(sx)] dx \quad (1.22)$$

burada;

$$A(x, u) = \zeta(x, y) \sin(uy) \Big|_{y_1}^{y_2} - \int_{y_1}^{y_2} \zeta(x, y) \cos(uy) u dy \quad (1.23)$$

$$B(x, u) = \zeta(x, y) \cos(uy) \Big|_{y_1}^{y_2} + \int_{y_1}^{y_2} \zeta(x, y) \sin(uy) u dy \quad (1.24)$$

buradanda direnç ifadesi;

$$R_w = \pi \int_0^{\infty} [F(u)^2 + G(u)^2] \left(2 - \frac{1}{s^2}\right) du \quad (1.25)$$

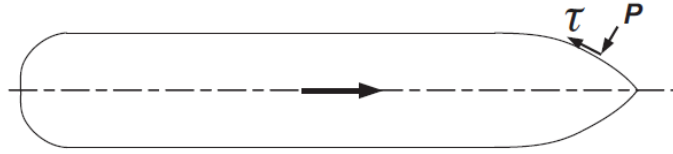
Şeklinde elde edilir ve bu ifade dalga meylinin barındırdığı özellikleri barındırmaktadır.

2. GEMİ DİRENÇ TEORİSİ

Bu bölümde başta gemi direncine genel olarak bakıldıktan sonra genel gemi direnç denklemi momentumun korunumundan faydalanılarak çıkarılacaktır.

2.1 Gemi Direnci

Viskoz bir akışkanda belli bir hızda hareket eden gemiye akışkan viskozitesi kaynaklı teğet kuvvetler ve basınç dağılımı değişiminden kaynaklı dik kuvvetler etki etmektedir. Bu iki kuvvetin geminin hareket yönüne zıt yöndeki bileşkeleri toplam direnci oluşturmaktadır.



Şekil 2.1 : Gemiye etki eden gerilmeler.

$$R_T = \oint p n_x dS + \oint \tau n_x dS \quad (2.1)$$

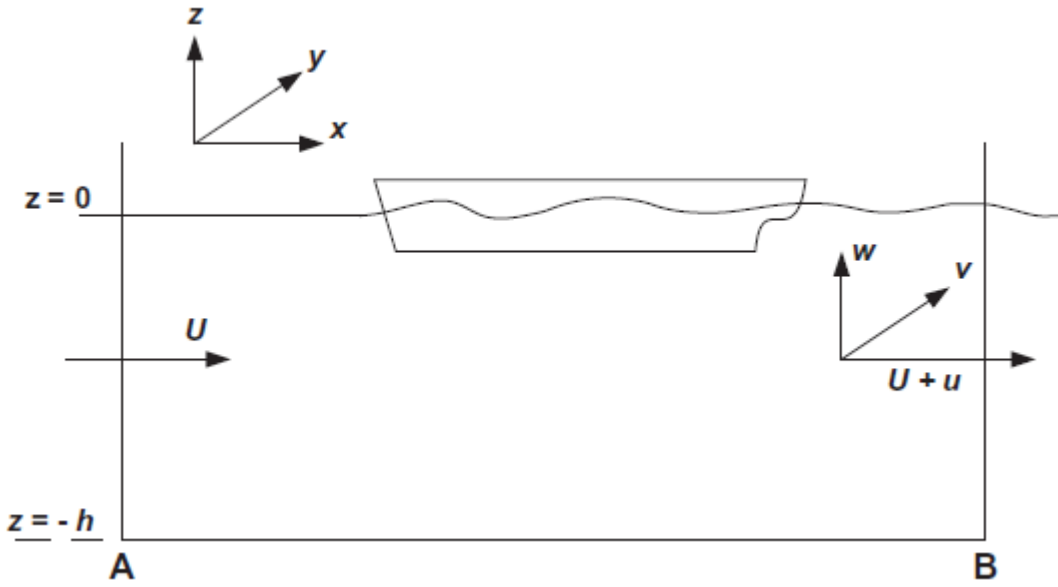
Aralarında kinematik benzerlik kurulmuş gemiler de direnç değerleri arasında geçiş sağlayabilmek amacıyla direnç ifadesi denklem 2.2'deki gibi boyutsuzlaştırılabilmektedir.

$$C_T = \frac{R_T}{0.5 \rho U^2 A_w} \quad (2.2)$$

urada ρ akışkanın yoğunluğunu, U gemi hızını ve A_w ıslak alanı temsil etmektedir. Bu boyutsuzlaştırma sayesinde farklı boyutlarda fakat kinematik benzerliğe sahip gemilerin direnç değerleri arasında geçiş yapılabilmektedir.

2.2 Tekne Etrafındaki Akış için Momentum Korunumu

Teknenin maruz kaldığı direnci tekneden akışkana geçen enerji miktarının teknenin hızına oranı olarak düşünecek olursak, içinde bulunduğu akışkanın momentum değişimi yardımıyla bulmak mümkündür. Bu değişimi ifade edebilmek için dikdörtgen prizma şeklinde sabit, içinden U hızında akışkanın geçtiği bir kontrol hacminde su yüzeyinde sabit bir şekilde duran bir tekne ele alalım (T.Yılmaz ve diğ. 2008).



Şekil 2.2 : Kontrol hacmi.

Genişliği b, yüksekliği h olan kontrol hacminin A giriş kenarı B de çıkış kenarıdır.

A = [b x h] ve B = [b x ζ] şeklindedir. Serbest su yüzeyi A girişinde 0 olmak üzere $z = \zeta(x,y)$ 'dir. Kontrol hacminde hız alanı $q = (u,v,w)$ şeklinde tanımlanmıştır.

Süreklilik denklemi gereği kontrol hacmine giren madde miktarıyla çıkan madde miktarının eşit olması gerekmektedir. Akışkan sıkıştırılmaz ve dolayısıyla yoğunluğu her iki yüzeyde de sabit kabul edildiğinde bu kontrol yüzeyleri için süreklilik denklemi aşağıdaki şekilde olmaktadır.

$$U \cdot b \cdot h = \int_{-b/2}^{b/2} \int_{-h}^{\zeta_B} (U + u) dz dy \quad (2.3)$$

Momentum değerinin debi değerinin akışkanın hızıyla çarpımı olduğu göz önüne alındığında momentum değerleri;

$$M_B = \rho \int_{-b/2}^{b/2} \int_{-h}^{\xi_B} (U + u)^2 dz dy \quad (2.4)$$

$$M_A = \rho U^2 b h \quad (2.5)$$

Şeklinde yazılabilir burada A noktasındaki momentum ifadesi denklem 2.3 ile beraber düşünüldüğünde;

$$M_A = \rho \int_{-b/2}^{b/2} \int_{-h}^{\xi_B} U(U + u) dz dy \quad (2.6)$$

Şeklinde yazılabilir. Buradan iki yüzey arasındaki momentum değişim oranı;

$$M_B - M_A = \rho \int_{-b/2}^{b/2} \int_{-h}^{\xi_B} u(U + u) dz dy \quad (2.7)$$

Şeklinde ve bu oran kontrol hacmi içindeki kuvvetlerin toplamına eşittir. Bu kuvvetler A ve B yüzeylerindeki basınçtan kaynaklanan zıt yönlü kuvvetler olan F_A ve F_B aynı zamanda tekne üzerinde etki eden direnç kuvveti olan R 'dir. Bu eşitlik şu şekilde ifade edilebilir;

$$M_B - M_A = -R + F_A - F_B \quad (2.8)$$

A ve B yüzeylerinde Bernolli denklemini yazacak olursak;

$$\frac{P_A}{\rho} + \frac{1}{2} U^2 + g = \frac{P_B}{\rho} + \frac{1}{2} [(U + u)^2 + v^2 + w^2] + g z_B + \frac{\Delta P}{\rho} \quad (2.9)$$

Burada;

P_A = A yüzeyindeki basınç,

P_B = B yüzeyindeki basınç,

g = yer çekimi ivmesi,

$z_B = B$ yüzeyinden geçen serbest su yüzeyinin yüksekliği,

$\Delta P =$ Sınır tabakada kaybedilen basınçtır.

Bernolli denklemini $\frac{1}{2}U^2$ sabitine eşitlediğimizde P_A ve P_B basınçları;

$$P_A = -\rho g z \quad (2.10)$$

$$P_B = -\rho \frac{1}{2} [2Uu + u^2 + v^2 + w^2] - \rho g z_B - \Delta P \quad (2.11)$$

Şeklinde ifade edilebilirler. Bu basınç ifadeleri bulundukları yüzey boyunca integre edilerek F_A ve F_B ifadeleri elde edilir.

$$F_A = \int_{-\frac{b}{2}}^{\frac{b}{2}} \int_{-h}^0 P_A dz dy = -\rho g \int_{-\frac{b}{2}}^{\frac{b}{2}} \int_{-h}^0 z dz dy = \frac{1}{2} \rho g b h^2 \quad (2.12)$$

$$\begin{aligned} F_B &= \int_{-b/2}^{b/2} \int_{-h}^{\xi_B} P_B dz dy \\ &= -\rho \int_{-b/2}^{b/2} \int_{-h}^{\xi_B} \left(\frac{1}{2} [2Uu + u^2 + v^2 + w^2] + g z_B + \frac{\Delta P}{\rho} \right) dz dy \end{aligned} \quad (2.13)$$

Bu yeni F_A ve F_B değerlerini denklem 2.8 de yerine koyarsak;

$$\begin{aligned} R &= \frac{1}{2} \rho g \int_{-b/2}^{b/2} \xi_B^2 dy + \\ &+ \frac{1}{2} \rho \int_{-b/2}^{b/2} \int_{-h}^{\xi_B} (v^2 - u^2 + w^2) dz dy + \int_{-b/2}^{b/2} \int_{-h}^{\xi_B} \Delta P dz dy \end{aligned} \quad (2.14)$$

Şeklinde genel bir direnç denklemi elde edilmiş olur. Bu denklemin ilk iki terimi geminin etrafında oluşturduğu dalga dağılımı ile alakalı olup, dalga direnci terimi olarak adlandırılır (F. Molland, 2001).

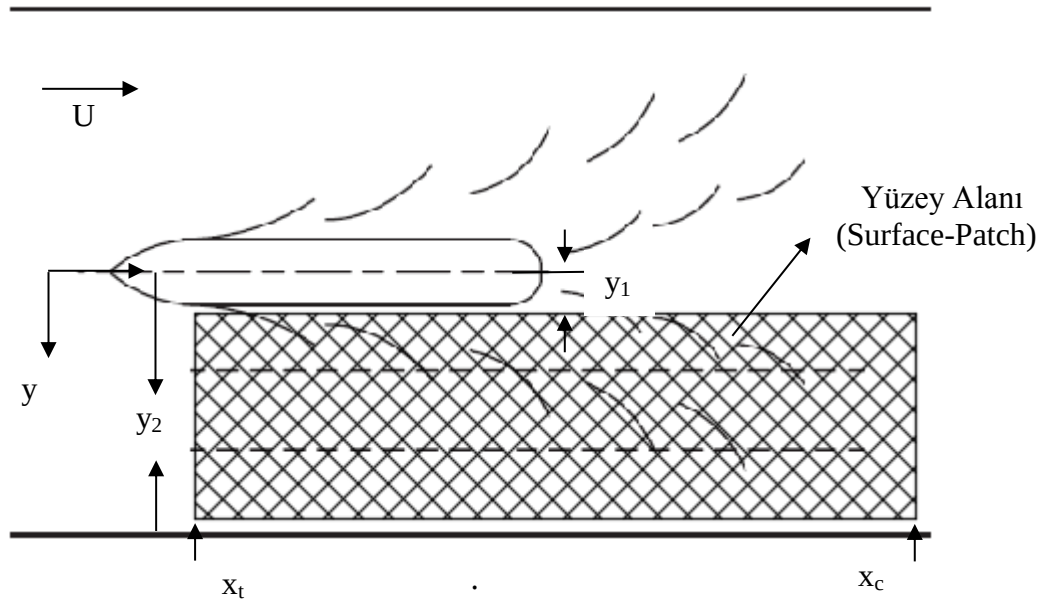
3. YÜZEY ALANI (SURFACE-PATCH) YÖNTEMİ

Bu bölümde çalışmamızda kullandığımız yüzey-alanı yöntemi tanıtılacaktır. İlk olarak Bölüm 1.3 te de değinildiği gibi Çalışal ve diğ. (2009) tarafından değinilen yönteme farklı bir yaklaşım geliştirilecektir.

3.1 Giriş

Yöntemde Sharma'nın 1966 yılında yayınladığı makalesindeki boyuna kesit metod için verdiği yaklaşımlara dalga meylli ifadelerinin yerleştirilmesiyle elde edilen ifade yardımıyla direnç değerine ulaşılmaktadır. Burada dalga meylli ifadeleri kullanılmasıyla boyuna kesit metodun bir dezavantajı olan kesme hatası düzeltilmesinden kurtulunmak istenmektedir.

Yöntemin getirdiği bir yenilik artık diğer kesme metodlarında olduğu gibi tek bir konumda integral almak yerine x ve y konumlarında integral almak gerekmekte, dalga direnci dalga sistemin içinde bir yüzeyin dalga yükseklik ifadeleriyle elde edilmektedir. Şekil 3.1 de yüzey alanı geometrisi gösterilmiştir.



Şekil 3.1 : Yüzey alanı yöntemi.

Şekilde y_1 alanın y yönünde gemi gövdesinden itibaren başladığı ilk konum y_2 son konum, x_t x yönündeki ilk konum x_c ise son konumdur. U gemi hızı taralı bölgede dalga yükseklik değerlerinin alındığı ya da hesaplandığı alandır. Burada bu y_1 , y_2 , x_t ve x_c değerlerinin yakınsama çalışmaları yapılmalı ve doğru bir hesaplama için gerekli olan değerler bulunmalıdır. Çalışmamızda bir yakınsama çalışması yapılarak optimum x ve y değerleri tespit edilecektir.

3.2 Dalga-Kesim Yaklaşımının Matematiksel Formülasyonu

Sharma'nın (1966) boyuna kesit yönteminin prensipleini tarif ettiği makalesinde Havelock'un (1934) makalesindeki fikirleri temel alarak aşağıda kullandığımız yöntemin temellerini oluşturan ifadeleri çıkarmıştır.

$$C(s, y) + iS(s, y) = \int_{-\infty}^{\infty} \zeta(x, y) \exp(isx) dx \quad (3.1)$$

Bu ifade yeterince büyük y değerleri için derin sularda dalga yapıcı kaynağın (gemi, model vs.) dalga yükseklik ifadesidir. Burada $\zeta(x, y)$ dalga deformasyonu s boyuna dalga sayısını ifade etmektedir. Aynı yayınında Sharma dalga meyli (wave-slope) içinde aynı ifadenin yazılabileceğini belirtmektedir. Bu ifade yardımıyla dalga direncini;

$$R_w = \frac{1}{\pi} \int_0^{\infty} \frac{s^2 - 1}{s^2(2s^2 - 1)} (C^2 + S^2) du \quad (\text{Sharma'66 eq.14}) \quad (3.2)$$

Şeklinde ifade etmektedir burada R_w dalga direnç ifadesidir. u ise enine dalga sayısı olup s ile kinematik olarak bağlıdır.

$$u = s\sqrt{s^2 - 1}, \quad s^2 = (\sqrt{1 + (2u)^2} + 1)/2 \quad (3.3)$$

Buraya kadar olan bölüm literatür araştırmasında ilgili bölümde de verilmiştir.

Denklem 3.1'de belirtilen ifadeyi dalga meyli ifadesi olarak açacak olursak;

$$C_y(s, y) + iS_y(s, y) = \int_{-\infty}^{\infty} \zeta_y(x, y) \exp(isx) dx \quad (3.4)$$

Şeklini alır. Buradan C ve S ifadelerini bu ifadeyi y yönünde dalga yüzey alanı boyunca integre ederek elde edebiliriz.

$$C_y(s, y) = \int_{-\infty}^{\infty} \zeta_y(x, y) \cos(sx) dx \quad (3.5)$$

$$S_y(s, y) = \int_{-\infty}^{\infty} \zeta_y(x, y) \sin(sx) dx \quad (3.6)$$

$$C(s, y) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{y_1}^{y_2} \zeta_y(x, y) \cos(sx) dx dy \quad (3.7)$$

$$S(s, y) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{y_1}^{y_2} \zeta_y(x, y) \sin(sx) dx dy \quad (3.8)$$

Elde ettiğimiz bu yeni C ve S ifadelerini denklem 3.2 de yerine koyarsak;

$$R_w = \frac{1}{\pi} \int_0^{\infty} \frac{s^2 - 1}{s^2(2s^2 - 1)} \left\{ \left[\int_{-\infty}^{\infty} \int_{y_1}^{y_2} \zeta_y(x, y) \cos(sx) dx dy \right]^2 + \left[\int_{-\infty}^{\infty} \int_{y_1}^{y_2} \zeta_y(x, y) \sin(sx) dx dy \right]^2 \right\} du \quad (3.9)$$

ifadesini elde ederiz böylece dalga yükseklik değerleri yerine dalga meyli değerleri kullanarak kesme hatasından kurtulmuş oluruz. Dalga meyli değerlerini de elimizdeki dalga yükseklik değerlerinden nümerik türev olarak türetebiliriz.

$$\zeta_y = \frac{\zeta(y + \Delta y) - \zeta(y)}{\Delta y} \quad (3.10)$$

Burada Δy değeri iki dalga yükseklik değeri arasındaki farktır. Bu değer olabildiğince küçük seçilerek burada nümerik türevden kaynaklı hata değeri azaltılmalıdır.

Bu direnç ifadesi dalga meyli değerleri kullanılarak y yönündeki integral yukarıdaki şekilde alınabileceği gibi yine dalga meyli özelliklerini barındıran aşağıdaki şekilde de almak mümkündür. Bu çalışmada Denklem 3.11 de verilen ifade kullanılacaktır.

$$R_w = \frac{1}{\pi} \int_0^\infty \frac{s^2 - 1}{s^2(2s^2 - 1)} \left\{ \left[\int_{-\infty}^\infty \zeta(x, y) \cos(sx) dx \right]_{y_1}^{y_2} \right. \\ \left. + \left[\int_{-\infty}^\infty \zeta(x, y) \sin(sx) dx \right]_{y_1}^{y_2} \right\}^2 du \quad (3.11)$$

İfadeleri boyutsuzlaştırabilmek için 1/m mertebesinde Sharma (1966)' da önerilen;

$$k_0 = \frac{g}{V^2} \quad (3.12)$$

$$R_w = \frac{R'_w k_0^2}{\rho V^2} \quad (3.13)$$

İfadeleri kullanabiliriz ki bu yapacağımız işlemlerde bize kolaylık sağlayacaktır.

3.3 Sayısal Hesaplama

Denklem 3.11 de elde edilen ifade analitik olarak integre edilemeyeceğinden nümerik yöntemlerle yaklaşık olarak bu integraller alınacaktır.

Denklem 3.11 e baktığımızda x,y ve u konumlarında integral ifadelerini görmekteyiz Bu ifadeleri Simpson sayısal integrasyonu kullanılacak şekilde ayrıklaştırırsak;

$$R_w = \frac{1}{\pi} \frac{du}{3} \sum_i \frac{s_i^2 - 1}{s_i^2(2s_i^2 - 1)} \left\{ \left[\frac{dx}{3} \sum_j w_j \frac{dy}{3} \sum_k w_k \zeta_y(x_j, y_k) \cos(s_i x_j) \right] \right. \\ \left. + \left[\frac{dx}{3} \sum_j w_j \frac{dy}{3} \sum_k w_k \zeta_y(x_j, y_k) \sin(s_i x_j) \right] \right\}^2 \quad (3.14)$$

$$R_w = \frac{1}{\pi} \frac{du}{3} \sum_i \frac{s_i^2 - 1}{s_i^2(2s_i^2 - 1)} \left\{ \left[\frac{dx}{3} \sum_j w_j \zeta(x, y) \cos(sx) \Big|_{y_1}^{y_2} \right]^2 + \left[\frac{dx}{3} \sum_j w_j \zeta(x, y) \sin(sx) \Big|_{y_1}^{y_2} \right]^2 \right\} \quad (3.15)$$

ifadeler bu şekli alır burada;

$$s_i^2 = (\sqrt{1 + (2u_i)^2} + 1)/2$$

$$du = u_{(i+1)} - u_{(i)}$$

$$dx = x_{(j+1)} - x_{(j)}$$

$$dy = u_{(k+1)} - u_{(k)}$$

değerler bu şekildedir.

3.4 Dalga Yüksekliklerinin Eldesi

Bu çalışma kapsamında gerekli olan dalga yükseklikleri ticari bir HAD yazılımı olan Star CCM+ yardımıyla elde edilmiştir. Bu çalışma kapsamında aşağıda bahsedilen temel akışkan denklemlerinin çözümünde kullanılan HAD yazılımı sonlu hacimler yöntemine dayanmaktadır.

3.4.1. Akışkanlar mekaniği temel denklemleri

Akışkanlar mekaniği hem hareketli hem de durağan halde ki akışkan davranışını inceleyen bilimdir. Akışkanlar mekaniği problemlerinde kullanılan temel denklemler kütle, momentum ve enerjinin korunumudur. Bu denklemler diferansiyel formda ifade edilebilir ve aynı zamanda bazı basitleştirmeler ile çözülebilir.

3.4.2. Kütle korunumu denklemi

Kütle korunumu denklemleri belirlenen bir kontrol hacmi içerisine giren, çıkan ve bu kontrol hacmi içerisinde kalan akışkanın kütleini ifade eder. Kütle korunumu denklemi süreklilik denklemi olarak da bilinir. Aşağıdaki gibi ifade edilir. (White, Frank M. 2007).

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{V}) = 0 \quad (3.16)$$

Akışkan sıkıştırılamaz ise denklem aşağıdaki gibi tanımlanır;

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \rho \nabla \cdot \vec{V} = 0 \quad (3.17)$$

Akış zamandan bağımsız ise denklemdeki zamana bağlı ifade dikkate alınmaz ve denklem şu hali alır;

$$\nabla \cdot (\rho \vec{V}) = 0 \quad (3.18)$$

Akışın hem zamandan bağımsız hem de sıkıştırılamaz olduğu koşulda ise denklem aşağıdaki gibidir;

$$\nabla \cdot \vec{V} = 0 \quad (3.19)$$

3.4.3. Momentumun korunumu denklemi

Momentum denklemleri Newton'un ikinci hareket kanunundan elde edilirler. Newton'un ikinci yasasına göre bir cismin ivmesi cisme etki eden net kuvvetle doğru orantılı olmasına rağmen cismin kütlesiyle ters orantılıdır bu yüzden cismin momentumundaki değişim hızı net kuvvete eşittir. Aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$\frac{\partial (\rho u)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho u \vec{V}) = \nabla \cdot (\mu \nabla u) - \frac{\partial p}{\partial x} + \rho g_x \quad (3.20)$$

$$\frac{\partial (\rho v)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho v \vec{V}) = \nabla \cdot (\mu \nabla v) - \frac{\partial p}{\partial y} + \rho g_y \quad (3.21)$$

$$\frac{\partial (\rho w)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho w \vec{V}) = \nabla \cdot (\mu \nabla w) - \frac{\partial p}{\partial z} + \rho g_z \quad (3.22)$$

Yukarıdaki denklemler aynı zamanda Navier Stokes denkleminin bileşenlerini oluşturmaktadır. Denklem 3.21, 3.22 ve 3.23'de problemin doğası gereği viskoz etkiler ihmal edilecek olursa denklem Euler denklemi adını alır.

$$\nabla \cdot (\rho u \vec{V}) = -\frac{\partial p}{\partial x} + \rho g_x \quad (3.23)$$

$$\nabla \cdot (\rho v \vec{V}) = -\frac{\partial p}{\partial y} + \rho \vec{g}_y \quad (3.24)$$

$$\nabla \cdot (\rho w \vec{V}) = -\frac{\partial p}{\partial z} + \rho \vec{g}_z \quad (3.25)$$

3.4.4. Sonlu hacimler yöntemi (FVM)

Sonlu sayıda hacimlere bölünen bütün parçaya korunum denklemleri uygulanır ve hesaplanmak istenen değişkenler sonlu hacim merkezindeki değer ile ifade edilir. Yapılan bu hesaplamada giren akı ve çıkan akı birbirine eşit olacak şekilde korunum denklemleri sağlanmış olur.

3.5 Algoritma

Dalga direnç değerini elde edebilmek için MATLAB programı ile küçük bir program yazıldı bu programın algoritması sırasıyla;

- Dağınık bir şekilde gelen dalga yükseklik değerlerinden yüzey interpolasyonu yardımıyla serbest su yüzeyi eldesi,
- Elde edilen su yüzeyinin istenilen dx ve dy boyutlarında ayrıştırılması,
- Nümerik olarak integrallerin Simpson (1/3) metoduyla alınması,

şeklindedir.



4. DOĞRULAMA ÇALIŞMASI

DTMB-5415 askeri model gemisi, KCS konteyner gemisi ve DTC konteyner gemisi yöntemin doğrulama çalışması için kullanılacaktır. Litaratürde bulunan bu gemilere ait model deneyi direnç sonuçlarıyla hesaplanan değerler karşılaştırılarak yöntemin doğruluğu hakkında yorum yapılabilecektir. Ayrıca alınacak yüzey alanının y_1 , y_2 , x_t , x_c konum değerleri için yakınsama çalışması yapılacaktır.

Yüzey alanı yöntemiyle dalga direnç değerlerinin hesaplanabilmesi için öncelikle gemilerin etrafındaki akış hesaplamalı akışkanlar dinamiği yazılımı yardımıyla çözülerek yöntem için gerekli olan dalga yükseklik verileri elde edilecektir.

4.1 DTMB-5415 Model Gemisinin Etrafındaki Akışın Çözülmesi

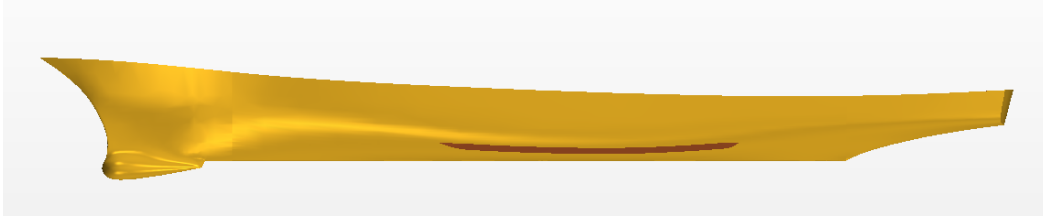
Bu çalışmada DTMB-5415 askeri model gemisi, KCS konteyner gemisi ve DTC konteyner gemisinin dalga yükseklikleri Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği yardımıyla hesaplanmıştır. Hesaplamalarda ticari HAD yazılımı olan Star CCM+ programı kullanılmıştır. Bu çalışma kapsamında bölüm 3'te bahsedilen temel akışkan denklemlerinin çözümünde kullanılan HAD yazılımı sonlu hacimler yöntemine dayanmaktadır. Bu çalışma kapsamında HAD ile yapılan analizlerde viskoz etkiler ihmal edilmiştir.

4.1.1. DTMB 5415 Gemisinin genel özellikleri

DTMB 5415 model gemisi David Taylor Model Basin tarafından geliştirilmiş askeri bir gemidir ve Şekil 4.1 de görülmektedir. Bu gemiye ait özellikler Çizelge 4.1 de verilmiştir. (A. Olivieri ve diğ. 2001).

Çizelge 4.1 : DTMB-5415 Genel özellikler.

Özellik	Boyut	Gemi	Model
Ölçek	λ	-	28.824
Su Hattı Boyu	L_{wl} (m)	142	5.72
Genişlik	B (m)	18.9	0.76
Draft	T (m)	6.16	0.248
Islak Yüzey Alanı	A_w (m ²)	2949.5	4.786



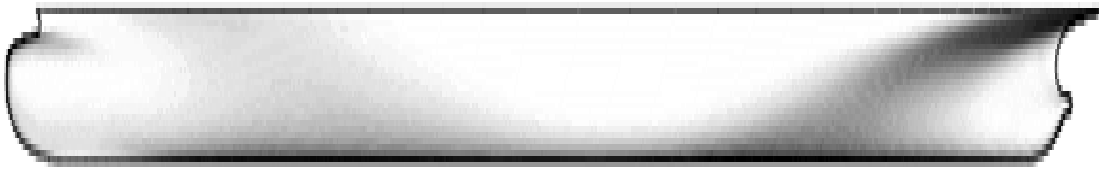
Şekil 4.1: DTMB 5415 Gemisinin üç boyutlu görünüşü.

4.1.2. KCS Gemisinin genel özellikleri

MOERI tarafından geliştirilmiş Krisco 3600 TEU konteyner gemisi Şekil 4.2 de görülmektedir. Bu gemiye ait özellikler Çizelge 4.2 de verilmiştir. (A. Iranzo ve diğ. 2007).

Çizelge 4.2 : KCS Genel özellikler.

Özellik	Boyut	Gemi	Model
Ölçek	λ	-	31.599
Su Hattı Boyu	L_{wl} (m)	232.5	7.357
Genişlik	B (m)	32.2	1.019
Draft	T (m)	10.8	0.3418
Islak Yüzey Alanı	A_w (m ²)	9530	9.5441



Şekil 4.2 : KCS Gemisinin görünüşü.

4.1.3. DTC Gemisinin genel özellikleri

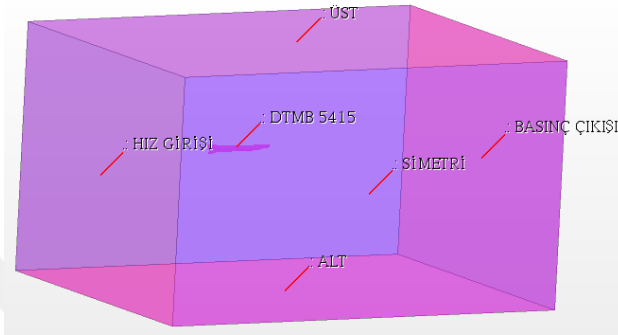
ISTM tarafından geliştirilmiş DTC 14000 TEU konteyner gemisinin genel özellikleri Çizelge 4.3 te verilmiştir. (O. Moctar ve diğ. 2012).

Çizelge 4.3 : DTC Genel özellikler.

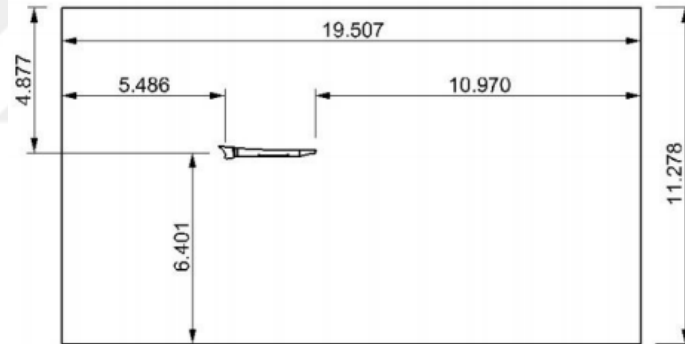
Özellik	Boyut	Gemi	Model
Ölçek	λ	-	59.404
Su Hattı Boyu	L_{wl} (m)	355	5.976
Genişlik	B (m)	51	0.859
Draft	T (m)	14.5	0.244
Islak Yüzey Alanı	A_w (m ²)	22032	6.243

4.1.4. Hesaplama hacminin ve sınır koşullarının oluşturulması

Gemi etrafındaki akışın incelenmesinde hesaplama hacminin doğru bir şekilde oluşturulup uygun ağ yapısı ile çözülmesi çok büyük öneme sahiptir. Hesaplama hacmi Şekil 4.3 de gösterildiği gibi oluşturulmuştur. ITTC kılavuzuna uygun olarak belirlenmiş olan hesaplama hacmi ana boyutları akışı düzgün bir şekilde tayin etmek için yeterli boyutlarda alınmıştır. Hesaplama hacminin boyutsuz olarak boyutları aşağıdaki Şekil 4.3 te belirtilmiştir (S. Duman, S. Bal 2016).



Şekil 4.3: Hesaplama hacmi.

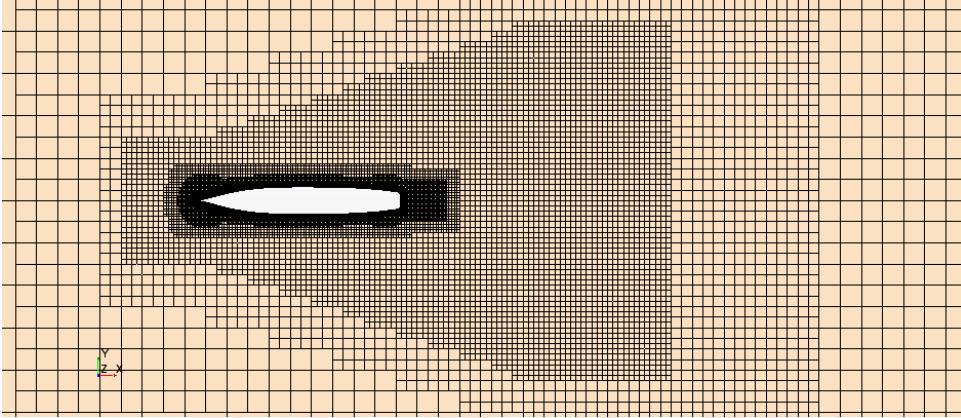


Şekil 4.4: Hesaplama hacmi ana boyutları.

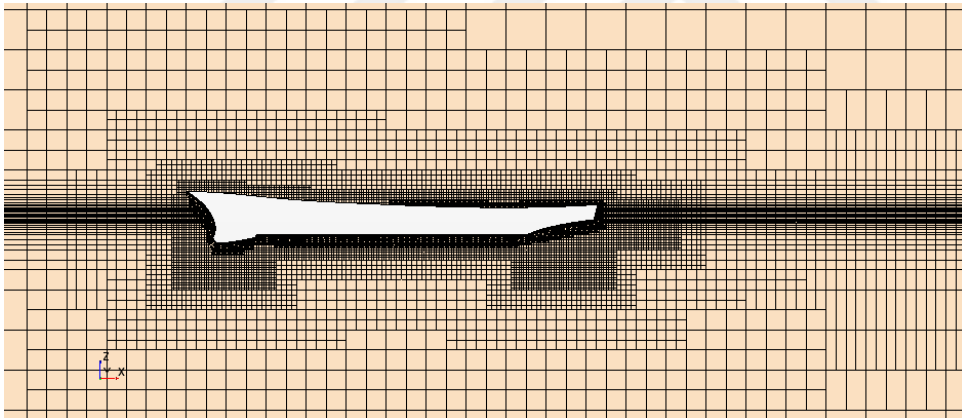
Doğru bir şekilde HAD analizlerini yapmak için, akış problemine bağlı olarak başlangıç ve sınır koşullarının dikkatli bir şekilde belirlenmesi gerekir. Uygun şekilde belirlenen sınır koşulları aynı zamanda hesaplama maliyetinin azaltılmasını sağlar. Oluşturulan hesaplama hacmine doğru sınır koşullarının atanması büyük öneme haizdir. Gemiye akış gönderilen yüzey hız girişi, akışın hacmi terk ettiği yüzey ise basınç çıkışı olarak aşağıdaki Şekil 4.3 teki gibi tanımlanmıştır. Gemi yüzeyi ise kinematik sınır şartının sağlanması için kaymaz duvar (no-slip wall) olarak tanımlanmıştır. Hesaplama hacmini çevreleyen diğer tüm yüzeyler ise simetri olarak kabul edilmiştir. Bu kabul ile yüzeyler üstündeki hız dâhil bütün vektörel büyüklüklerin normal yöndeki bileşenlerinin sıfır olması sağlanmıştır.

4.1.5. Ağ yapısının oluşturulması

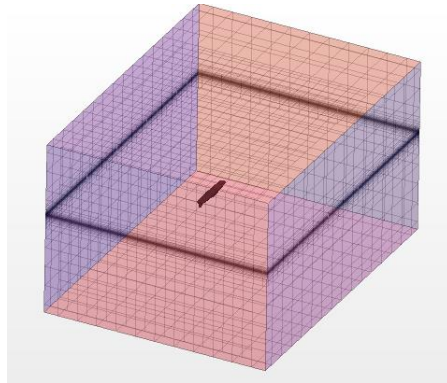
Geminin hesaplama hacimleri, sınır şartları Şekil 4.3 teki gibi tanımlandıktan sonra ağ yapısının oluşturulmasına geçilmiştir. Ağ yapısı yapısal olmayan elemanlardan oluşacak şekilde kurgulanmıştır ve altıgen elemanlardan oluşturulmuştur. Örnek olarak DTMB 5415 gemisi için tanımlanmış ağ yapıları görünüşleri Şekil 4.5, Şekil 4.6 ve Şekil 4.7 de gösterilmiştir.



Şekil 4.5: Ağ yapısının üstten görünüşü.



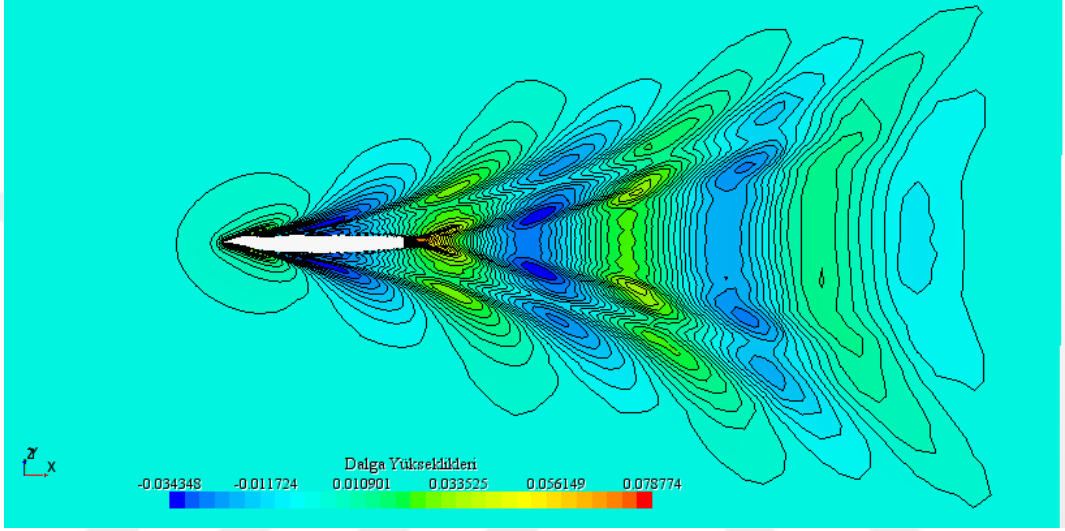
Şekil 4.6: Ağ yapısının yandan görünüşü.



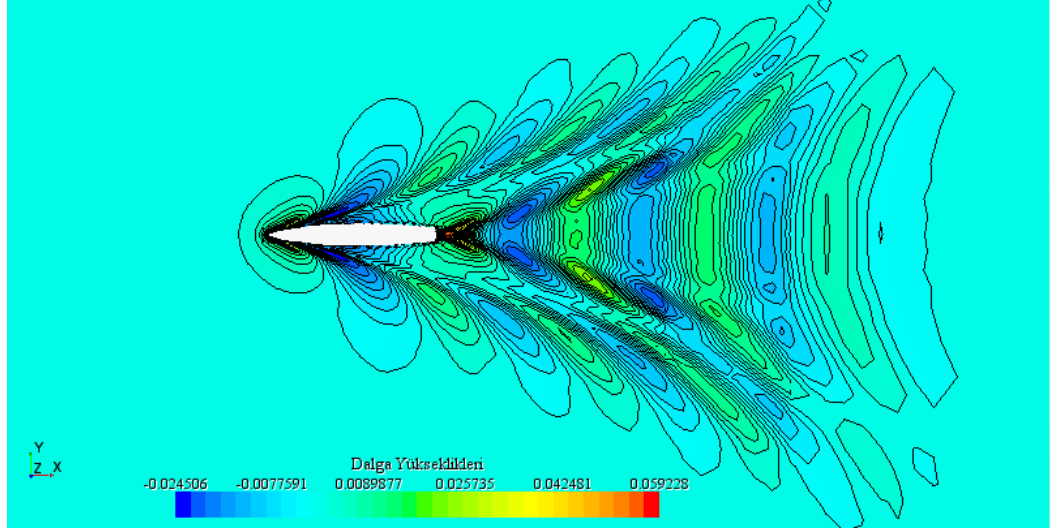
Şekil 4.7: Ağ yapısının perspektif görünüşü.

4.1.6. Gemilerin hidrodinamik analiz sonuçları

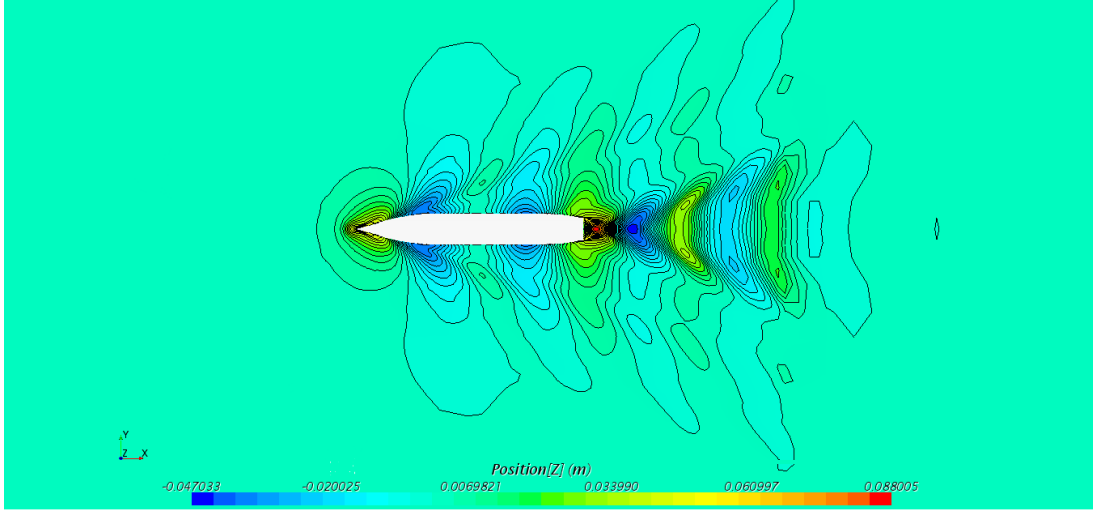
Hesaplama hacminin ve ağ yapısının oluşturulmasından sonra farklı Froude sayıları ve gemiler için viskoz etkiler ihmal edilerek dalga deformasyonları incelenmiştir. Farklı Froude sayılarında ve farklı gemiler için elde edilen dalga deformasyonları bu çalışma kapsamında yazılan MATLAB kodu için (yüzey alanı metoduna dayanan) girdi olarak alınmış ve dalga direnç değerleri hesaplanmıştır. Elde edilen dalga deformasyonları Şekil 4.8, Şekil 4.9, Şekil 4.10 ve Şekil 4.11 de gösterilmiştir.



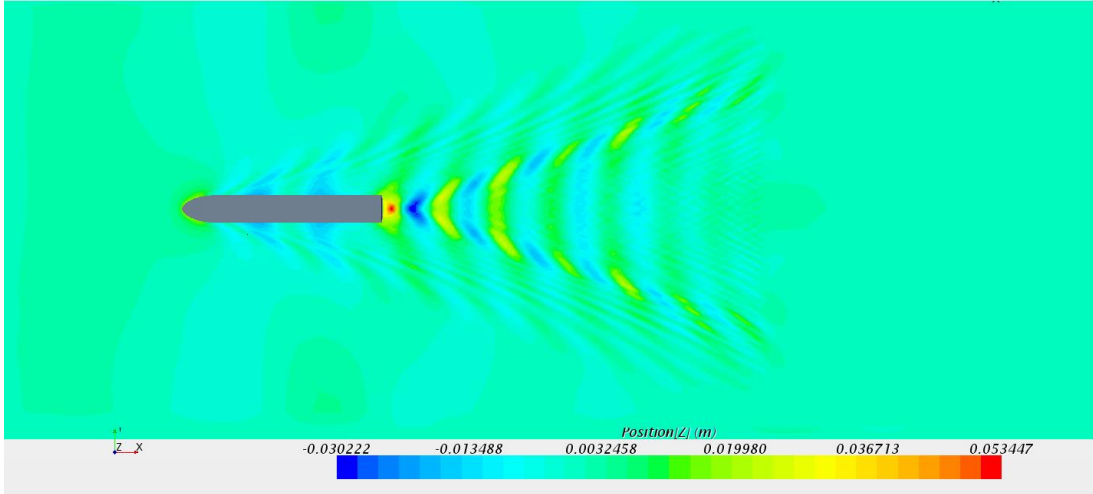
Şekil 4.8: DTMB 5415 $Fr=0.41$ için dalga deformasyonu.



Şekil 4.9: DTMB 5415 $Fr=0.35$ için dalga deformasyonu.



Şekil 4.10 : KCS $Fr=0.26$ için dalga deformasyonu.



Şekil 4.11 : DTC $Fr=0.22$ dalga deformasyonu.

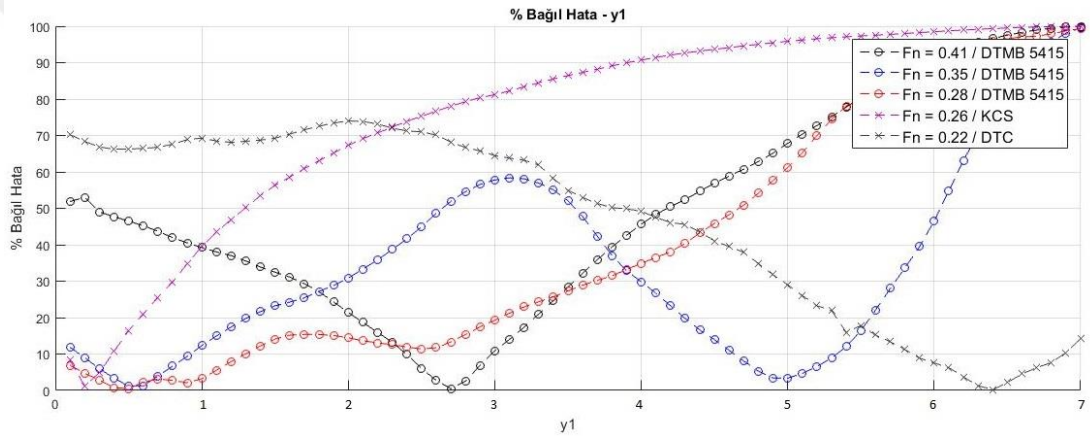
4.2 Yüzey Alanının Konumunun Belirlenmesi

Gemiye yakın bölgelerde lineer olmayan etkiler artmaktadır. Kullandığımız yöntem linerleştirilmiş bir yöntem olduğundan dolayı, hesaplanan değerlerde hatalar oluşmaktadır. Bu sebeple bu etkilerin kalktığı bölgeden itibaren yüzey alanının başlaması gerekmektedir. Boyutsuz y_1 değerinin (yüzey alanının y yönünde başladığı değerin) ne olması gerektiği konusunda Eggers ve diğ. (1967), Ikehata ve Nozawa (1967,1968), Dumez ve Cordier (1996) S.Calışal ve diğ. (2009) gibi araştırmacılar farklı değerler önermiştir. Bu çalışmada boyutsuz y_1 değeri 1 den başlatarak iteratif bir şekilde arttırılarak her y_1 değeri için direnç değerleri hesaplanacaktır. Hesaplanan direnç değerlerinin literatürde bulunan model deneyi direnç değerleriyle karşılaştırılmasıyla elde edilen bağıl hata oranlarıyla bir yakınsama çalışması

yapılacaktır. Bağlı hatanın hesaplanmasında aşağıda verilen Denklem 4.1 kullanılacaktır.

$$\% Hata = 100 * \frac{\|C_w(yüzey alan) - C_w(Model)\|_2}{(C_w(Model))} \quad (4.1)$$

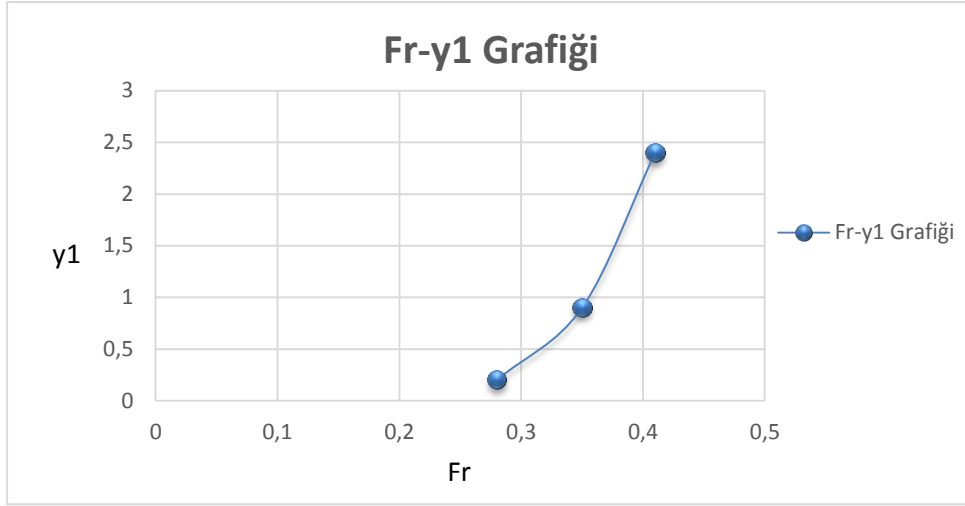
Bu çalışmada DTMB 5415 için üç farklı Froude sayısında ($Fr=0.28$, $Fr=0.35$, $Fr=0.41$) diğer gemiler için servis hızlarında (KCS $Fr=0.26$, DTC $Fr=0.22$) boyutsuz y_1 değerini 0'dan başlatarak 0.1'er arttırılarak boyutsuz dalga direnç katsayısı değerleri elde edilmiştir. Bu değerler Denklem 4.1 de yerine koyularak Şekil 4.9 daki grafik elde edilmiştir. Deneysel C_w değerleri literatürde bulunan kaynaklardan elde edilmiştir (A. Olivieri ve diğ. 2001, A. Iranzo ve diğ. 2007, O. Moctar ve diğ. 2012).



Şekil 4.12 : y_1 - Bağlı hata grafiği.

DTMB 5415 model gemisi için farklı Froude sayıları için bulunan y_1 değerlerine bakıldığında artan Froude sayılarında y_1 değerlerinin de arttığı görülmektedir. Bu sebeple uygun y_1 değeri her Froude sayısı için genel bir değerden ziyade, Froude sayısı y_1 değeri arasındaki ilişkinin göz önünde bulundurulduğu grafik yardımıyla (Şekil 4.13) verilmiştir.

Daha sonra KCS gemisi için optimum y_1 değeri çalışması yapıldığında yakın Froude sayısının da DTMB 5415 gemisiyle yakın bir değer elde edilmiştir. Ancak aynı çalışma DTC gemisi için yapıldığında bulunan değer diğer değerlerden farklı bulunmuştur.



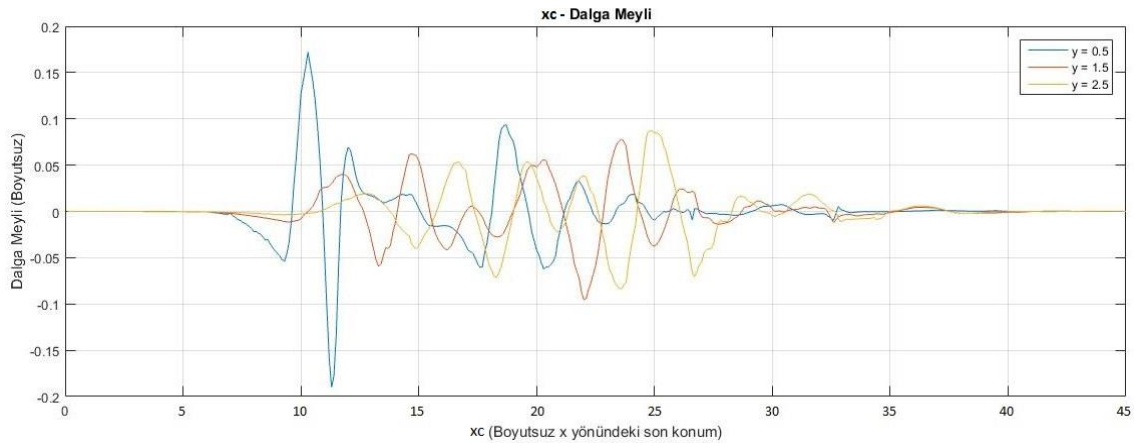
Şekil 4.13: DTMB 5415 için $Fr - y_1$ grafiği.

Çizelge 4.4: $Fr - y_1$ Değerleri.

Fr	y1
DTMB 5415 / 0,41	2,4
DTMB 5415 / 0,35	0,9
DTMB 5415 / 0,28	0,4
KCS / 0,26	0,2
DTC / 0,22	6,4

Şekil 4.9 daki grafikte hatanın 7 y_1 değerinden itibaren % 100 mertebelerine çıktığı görülmektedir. Bunun sebebi y_1 ve y_2 değerleri arasındaki farkın giderek azalmasından ve artık eldeki dalga yükseklik değerlerinin hesaplamada yetersiz kalmasından kaynaklanmaktadır.

Alanın x yönündeki başlangıç ve bitiş noktalarını belirlemek için herhangi bir ortalama dalga meylı kesitinin grafiği yeterli olacaktır.



Şekil 4.14: xc - Dalga meylı grafiği.

Şekil 4.11’de dalga sisteminin üç farklı y değeri için alınan dalga meyli kesitleri görülmektedir. x_t değeri için $x=5$ boyutsuz değeri uygun gözükmemektedir ki ondan önceki değerler 0 ya da 0 a çok yakındır. x_c değeri için ise değerin 25 alınabileceği görülmektedir oradan sonraki değerler 0’a yeterince yakındır.

4.3 Direnç Değerlerinin Karşılaştırılması

HAD ile yapılan analizler sonucunda elde edilen farklı Froude sayıları için dalga yükseklikleri kullanılarak geliştirilen yüzey alanı metodu yardımıyla dalga direnç değerleri hesaplanmıştır. DTMB 5415 gemisi için Literatürde bulunan Çizelge 4.4 te verilen deneysel direnç sonuçlarından form faktörü yardımıyla dalga dirençleri hesaplanmıştır. Diğer gemilerin dalga direnç katsayısı değerleri direkt olarak literatürde bulunmaktadır. Bu değerler yüzey alanı metodu yardımıyla hesaplanan değerlerle karşılaştırılmıştır.

DTMB 5415 model gemisinin direnç model deneyi elde edilen boyutsuz direnç katsayıları Çizelge 4.6 de verilmiştir. (A. Olivieri ve diğ. 2001);

Çizelge 4.5 : Model deneyi direnç değerleri.

V (m/s)	F_r	C_{TM}	C_f
2.097	□□□□□	□□□□e□□□	2.91e-03
2.621	0.350	4.84e-03	2.80e-03
3.071	0.410	6.67e-03	2.73e-03

4.3.1. Form faktörü yöntemi ile dalga direncinin hesaplanması

Yüzey-alanı yöntemini doğrulayabilmemiz için daha önceki çalışmalarda kullanılan ve doğruluğu kabul görmüş yöntemlerle elde edilmiş direnç değerleriyle karşılaştırma yapılmalıdır. Bu çalışmada bu karşılaştırma form faktörü yöntemiyle elde edilmiş boyutsuz dalga direnci katsayıları değerleriyle yapılacaktır.

Çizelge 4.4 te verilen deneysel toplam boyutsuz direnç katsayılarından form faktörü yöntemi yardımıyla dalga direnç değerleri hesaplanmıştır. Bu yöntemde düşük Froude sayılarında ($F_r < 0.1$) geminin dalga direnci çok düşük seviyeye geldiğinden geminin toplam direnci geminin formundan kaynaklı direnç bileşeni ve akışkanın viskozitesinden kaynaklanan direnç bileşeni olarak ikiye ayrılabilir. Bu durumda geminin form faktör katsayısı;

$$1 + k = \frac{C_T}{C_F} \quad ; F_r < 0.1 \quad (4.2)$$

Buradan hesaplanan gemi form faktörü yardımıyla istenilen Froude sayısında toplam direnç ve sürtünme direnci bilindiği takdirde dalga direncine geçilebilmektedir.

$$C_w = C_T - (1 + k)C_F \quad (4.3)$$

Litaratürdeki düşük Froude Sayısı için direnç değerleri Denklem 4.2’de yerine koyulduğunda;

$$1+k = 1.21$$

olarak bulunmaktadır.

Bu form faktörü değeri litaratürde bulunan 4 farklı düşük Froude sayısındaki direnç katsayı değerleri kullanılarak bulunan form faktörü değerlerinin aritmetik ortalamasının alınmasıyla elde edilmiştir. Bu form faktörü ile DTMB 5415 model gemisi için hesaplanan ve KCS ve DTC gemileri için litaratürde bulunan boyutsuz dalga direnç katsayısı değerleri Çizelge 4.7’de görülmektedir.

Çizelge 4.6: Boyutsuz dalga direnç katsayısı değerleri.

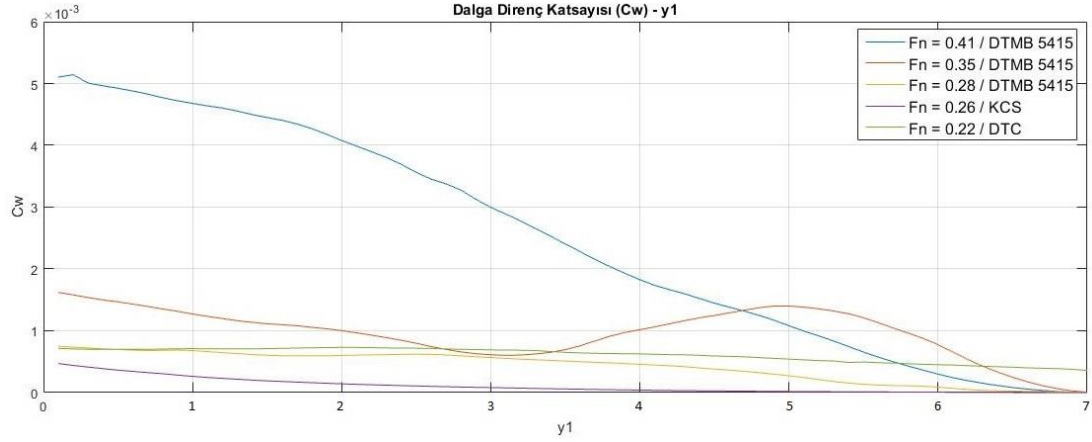
Gemi	V (m/s)	F_r	C_w
DTMB 5415	2.097	□□□□□	7.02e-04
DTMB 5415	2.621	0.350	1.45e-03
DTMB 5415	3.071	0.410	3.36e-03
KCS	2.196	0.26	4.34e-04
DTC	1.668	0.22	3.36e-04

Litaratürdeki model deneyinden alınan bu değerler ile Yüzey Alanı yöntemiyle elde edilen değerler ve bu değerler arasındaki bağıl hata oranları Çizelge 4.6 da verilmiştir.

Çizelge 4.7: Dalga direnç katsayılarının karşılaştırılması.

Gemi	F_r	C_w (Deneyisel)	C_w (Yüzey Alanı)	% Hata
DTMB 5415	□□□□□	7.02e-04	6.52e-04	□□□□□
DTMB 5415	0.350	1.45e-03	1.41e-03	2.76
DTMB 5415	0.410	3.36e-03	3.30e-03	1.79
KCS	0.26	4.34e-04	4.11e-04	5.41
DTC	0.22	3.36e-04	3.15e-04	6.32

Farklı y_1 değerleri için elde edilen dalga direnç katsayı değerleri Şekil 4.15 te görülmektedir.



Şekil 4.15 : y_1 - C_w Grafiği.

Çizelge 4.8'e baktığımızda hata oranlarının gayet derecede düşük olduğu görülmektedir. Bu hata oranlarının yakalanabilmesi için doğru y_1 değeri seçimi çok önemlidir. Şekil 4.15'te de görüldüğü gibi dalga direnç katsayı değeri her y_1 sayısı için değişkenlik göstermektedir bu sebeple seçilecek y_1 değeri alınacak sonucun doğruluğunu değiştirecektir.



5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada dalga sisteminin taşıdığı enerjiden hareketle gemiye etkiyen dalga direnci değeri yeni gelişmekte olan yüzey-alanı metodu ile hesaplanmıştır. Bu hesaplama sırasında yüzey alanı hesabında literatürde var olan S. Calisal ve diğ (2009) çalışmadaki denklemden farklı bir denklem yine o yöntemin de çıkış kaynağı olan Sharma (1966) dan faydalanarak çıkarılmış ve kullanılmıştır.

Geleneksel dalga kesit metodlarının alternatifi olarak bu metodların kullanılmasının sebebi ise, dalga yükseklikleri yerine dalga meyillerinden hareketle direnç ifadeleri elde edildiğinden dalga meylinin sahip olduğu hızlı bir şekilde sıfıra yakınsama özelliğinden yararlanarak kesme düzeltmesinden kurtulunmak istenmesidir.

Bunu Bölüm 4.32’de boyutsuz olarak önerdiğimiz x değerlerine baktığımızda görebiliriz. Bu değerlerin karşılığı olarak seçilen yüzey alanının gemi boyunun yaklaşık 3.5 katına eşit boyda olması gerekmektedir.

Yöntem deneysel sonuçlar referans alındığında % 1 mertebelerinde doğru sonuçlara ulaşabilmektedir ancak bunun için alınan yüzey alanının boyutlarının ve konumunun iyi tespit edilmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada yüzey alanının y yönündeki ilk konumu olan y_1 değerinin farklı Froude sayıları için farklılık gösterdiği görülmektedir. Bu sebeple her değer için aynı y_1 değerinden ziyade, Froude sayısı ile y_1 değeri arasındaki ilişkiyi göz önüne alan bir ifade önerilmiştir. Bu ifadeyi grafiksel olarak bölüm 4.2 de görmek mümkündür. Ancak bu ifadenin elde edilmesinde sadece DTMB 5415 gemisi için yapılan çalışmadan elde edilen veriler kullanılmıştır. Daha sonrasında bu ifadenin diğer gemileri de kapsayıp kapsamadığının anlaşılabilmesi için KCS ve DTC gemileri üzerinde de çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada KCS gemisi için elde edilen y_1 değerinin önerilen grafikteki değerle gayet yakın olduğu tespit edilse de DTC için elde edilen y_1 değeri farklılık göstermektedir. Bu sebeple bu yöntemin tüm gemi tiplerini kapsayacak şekilde kullanılabilir olması için daha derinlemesine çalışmalara

ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmanın gelecekte bu şekilde yapılacak bu çalışmalara temel olması hedeflenmektedir.

Bu çalışmada dalga yükseklikleri Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği yazılımı yardımıyla elde edilmiştir ancak dalga yükseklik değerlerini deneysel yöntemlerle de elde etmek mümkündür. Bu çalışmanın ileride deneysel çalışmalarla birleştirilmesi hedefler arasında yer almaktadır.



KAYNAKLAR

- Calısal S. M., Sireli M. E., Tan J.** (2009). A Direct Measurement of Wave Resistance by the Measurement of Wave Hight on a Surface Patch. *J. of Ship Research*. Vol. 53, No 3.
- Cooper Ralph D., Doroff Stanley W.** (1966). Physics of Fluids, Maneuverability and Ocean Platforms, Ocean Waves, And Ship-Generated Waves and Wave Resistance. 6th *Symposium Naval Hydrodynamic*. Office of Naval Research and Davidson Laboratory Stevens Institute of Technology, Washington, D.C. September 28 - October 4.
- Duman S., Bal S.** (2016). Numerical Investigation of Viscous Effects on the Static PMM Tests of Ships. A. Yücel Odabaşı Colloquium Series - 2nd International Meeting on Recent Advances in Prediction Techniques for Safe Manoeuvring of Ships and Submarines, Istanbul, Turkey.
- Dumez, F.X ve Cordier, S.** (1996). Accurcy of Wave Pattern Analysis Methods in Towing Tanks, 21st *Symposium on Naval Hydrodynamics*, Trondheim, Norway.
- Eggers K.** (1963). On the Determination of the Wave Resistance of a Ship Model by an Analysis of Its Wave System. *In International Seminar on Theoretical Wave-Resistance*, Vol. III.
- Eggers K.W.H., Sharma S.D. ve Ward L.W..** (1967). An Assessment of some Experimental Methods for the Determination of the Wavemaking Characteristics of a Ship Form. Number 184. *Institut fur Schiffbau der University Hamburg*.
- Froude W.** (1868). Observation and Suggestion on the Subject of Determining by Experiment the Resistance of Ship-Correspondence with the Admiralty. *The Papers of William Froude*. Institution of Naval Architects, London.
- Havelock, T. H.** (1934). Wave Patterns and Wave Resistance. *Trans. Inst. Of Naval Architects*, Vol. 76
- Havelock, T. H.** (1951). Wave Resistance Theory and its Application to Ship Problems *Trans. Society of Naval Architects and Marine Engrs.*, Vol. 59
- Ikehata, S. and Nozawa, H.** (1967). Detemanition of Wave-Making Resistance of a ship by the Method of Wave Analysis. J. of the Soc. First Report *Naval Architects of Japan*
- Ikehata, S. and Nozawa, H.** (1967). Detemanition of Wave-Making Resistance of a ship by the Method of Wave Analysis. J. of the Soc. Second Report *Naval Architects of Japan*

- Iranzo A., Domingo J., Trejo I., Terceno M., Valle J.** (2007). Calculation of the Resistance and the Wave Profile of a 3600 TEU Container Ship, *Canal de Experiencias Hidrodinamicas, El Pardo*
- Kelvin Lord (Sir William Thomson)** (1887). On the Waves Produced by a Single Impulse in Water of any Depth or in a Dispersive Medium. *Proc. Royal Soc. London*, Vol. 42
- Kömpe A.** (2015). Master's Thesis Implementation and Validation of a Wave Cut Analysis Method for the Wave Resistance Prediction from Potential Flow. *Hamburg University of Technology Institute of Ship Design and Ship Safety*, Hamburg
- Lalli F., Di Felice F., Esposito P., Moricani A.** (1998). Some Remarks on the Accuracy of Wave Resistance Determination from Wave Measurements along the Parallel cut. Proceedings, 22nd Symposium on Naval Hydrodynamics, Washinton, DC.
- Michell J.H.** (1898). The wave resistance of a ship. *Phil. Mag.* Cambridge Univ. Press, 45
- Moctar O., Shigunov V., Zorn T.** (2012). Duisburg Test Case: Post-Panamax Container Ship for Benchmarking, *Ship Technology Research Schiffstechnik* VOL. 59 / NO. 3 August 2012
- Molland F.** (2001). Ship Resistance and Propulsion. *Cambridge University Press*
- Newman J.N.** (1963). The determination of wave resistance from wave measurements along a parallel cut. In *International Seminar on Theoretical Wave-Resistance*, Vol. I.
- Olivieri A., Pistani F., Avanzini A., Stern F., Penna R.** (2001). Towing Tank Experiments of Resistance, Sinkage and Trim, Boundary Layer, Wake, and Free Surface Flow Around a Naval Combatant Insean 2340 Model. IIHR Technical Report No. 421. Hydroscience & Engineering College of Engineering The University of Iowa, IOWA CITY
- Sharma S.D.** (1963). A comparison of the calculated and measured free-wave spectrum of an inuid in steady motions. In *International Seminar on Theoretical Wave-Resistance*, Vol. I.
- Sharma S.D.** (1966). An Attempted Application of Wave Analysis Techniques to Achieve Bow-Wave Reduction. 6th *Symposium Naval Hydrodynamic*. Office of Naval Research and Davidson Laboratory Stevens Institute of Technology, Washington, D.C. September 28 - October 4.
- Shor S.W.W.** (1963). A Fourier transform method for calculating wave-making resistance from wave height on a line parallel to a ship's track. In *International Seminar on Theoretical Wave-Resistance*, Vol. I.
- Tuck E. O.** (1988). The Wave Resistance Formula of J.H. Michell (1898) and Its Significance to Recent Research in Ship Hydrodynamics. *J. Austral. Math. Soc. Ser. B* 30(1989), 365-377

- Ward L. W.** (1963). The xy method of determination of ship wave resistance from the wave pattern. In International Seminar on Theoretical Wave-Resistance, Vol. I.
- Ward L. W.** (1964). Experimental Determination of Ship Wave Resistance from the Wave Pattern. *ONR-Report, Webb Institute of Naval Architecture*, Glen Cove, New York.
- Ward. L. W.** (1968). Experimental Determination of Wave Resistance of a Ship Model from Lateral Wave-Slope Measurements. *Webb Institute of Naval Architecture*, Glen Cove, New York.
- White, Frank M.** (2007). *Viscous Fluid Flow*. 3. ed., Internat. [Nachdr.]. McGraw-Hill Series in Mechanical Engineering. Boston: McGraw-Hill.
- Yılmaz T., Güner M., Bal Ş.** (2008). Gemi Direnci ve Sevki. Gemi Müh. El Kitabı. *Gemi Müh. Odası Yayınları*, İstanbul





ÖZGEÇMİŞ



Ad-Soyad : Serhad AYTAÇ
Doğum Tarihi ve Yeri : 29.05.1993/Tekirdağ
E-posta : serhadaytac@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2011-2015 Yıldız Teknik Üniversitesi, Gemi İnşaatı ve Gemi Makinaları Mühendisliği
- **Lisans** : 2013-2015 Yıldız Teknik Üniversitesi, Makina Mühendisliği
- **Yükseklisans** : 2015-, İstanbul Teknik Üniversitesi, Gemi İnşaatı ve Gemi Makinaları Mühendisliği ABD

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 2017-2017 Gelişim Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fak., Mekatronik Mühendisliğinde Araştırma Görevlisi.
- 2017- Halen Devam Etmekte, TAI-TUSAŞ Türk Havacılık ve Uzay Sanayii A.Ş., Tasarım Mühendisi-Aerodynamic

DİĞER YAYINLAR

B. Sener, S. Aytac, O. Kandaz, “The Renewable Energy Potential of Turkish Coasts and a Concept Design of a Near Shore Sea Platform,” International Conference On Energy Systems, Vol. I, 127-134, Istanbul, 2015.