

127115

**YATLARIN SALMA KARAKTERİSTİKLERİNİN
DENEYSEL, SAYISAL VE AMPİRİK METODLARLA
İNCELENMESİ VE KARŞILAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Müh. A. Özkan MUTLU
(508981011)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 17 Eylül 2002
Tezin Savunulduğu Tarih : 23 Ekim 2002

İ.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

Tez Danışmanı : Prof.Dr. A.Yücel ODABAŞI 
Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. Mesut GÜNER (Y.T.Ü.) 
Doç.Dr. Şakir BAL (İ.T.Ü.) 

EKİM 2002

127115

ÖNSÖZ

Bu tez konusunda çalışma ve araştırma imkanı sağlayan, ilgi ve desteğini esirgemeyen Sayın Prof. Dr. A. Yücel ODABAŞI'na, sayısal programı yapan ve çalışmamda yardımcı olan Sayın Doç. Dr. Şakir BAL'a ve deneysel verilerini kullandığım Sayın Dr. Şebnem HELVACIOĞLU'na teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim. Çalışmalarım sırasında her türlü yardım ve desteği sağlayan arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak ta hayatım boyunca acı ve tatlı günleri birlikte paylaştığım aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İstanbul
Eylül , 2002

A. Özkan MUTLU

İÇİNDEKİLER

TABLO LİSTESİ	iv
ŞEKİL LİSTESİ	v
SEMBOL LİSTESİ	vi
ÖZET	viii
SUMMARY	x
1. GİRİŞ	
1.1. Giriş ve Çalışmanın Amacı	1
2. YELKENLİ YATLARI ETKİLEYEN KUVVETLERİN DENGESİ VE HİDRODİNAMİK KUVVETLER	2
2.1 Aerodinamik ve Hidrodinamik Kuvvetlerin Dengesi	2
2.2 Hidrodinamik Yan Kuvvet	4
2.3 Hidrodinamik Dirençler	5
2.3.1 Viskoz Direnç	7
2.3.2 Dalga Direnci	9
2.3.3 Dalgalı Ortamdaki Ek Direnç	11
2.3.4 Meyilden Doğan Direnç	12
2.3.5 İndüklenmiş Direnç	12
3. HİDRODİNAMİK KARAKTERİSTİKLERİN HESAPLANMASINDA KULLANILAN YÖNTEMLER	15
3.1 Çekme Tankında Model Deneyleri	15
3.1.1 Verileri Kullanılan Modelin Deney Tekniği	16
3.2 Sayısal Yöntemle Hidrodinamik Kuvvetlerin Hesaplanması	17
3.2.1 Kullanılan Sayısal Yöntemin Mantığı	18
3.2.1.1 Yöntemin Formülasyonu	19
3.2.2 Sayısal Yöntemle Yelkenli Teknenin Geometrisinin Oluşturulması	22
3.2.3 Sayısal Yöntem İçin Parametrik Çalışma	27
3.3 Ampirik Yöntemle Hidrodinamik Karakteristiklerin İncelenmesi	33
3.3.1 Hidrodinamik Yan Kuvvetin Hesaplanması	34
3.3.2 Hidrodinamik Direncin Hesaplanması	37
4. YÖNTEMLERİN KARŞILAŞTIRILMASI	41
4.1 Karşılaştırma Koşulları	41
4.2 Yapılan Benzer Çalışmalar	45
4.3 Elde Edilen Sonuçların Değerlendirilmesi	46
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	50
KAYNAKLAR	52
EK A	54
EK B	56
ÖZGEÇMİŞ	78

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 3.1 : İlk durumdaki yüzey panellemesinden elde edilen sonuçlar.....	28
Tablo 3.2 : Kullanılan tekne yapısına göre yüzey panellemesinden elde edilen sonuçlar.....	28
Tablo 3.3 : 1.05 noktasına göre elde edilen sonuçlar.....	29
Tablo 3.4 : 1.01 noktasına göre elde edilen sonuçlar.....	29
Tablo 3.5 : 1.00 noktasına göre elde edilen sonuçlar.....	29
Tablo 3.6 : 1.00 noktasına yüzey panellemesinde tekne yapısının öne çekilmesiyle elde edilen sonuçlar.....	30
Tablo 3.7 : 14x39'luk panel sistemine göre	32
Tablo 3.8 : Efektif yükseklik (span) oranı için değerler.....	35
Tablo 3.9 : C_1, C_2, C_3 ve C_4 değerleri için katsayıların değerleri.....	39
Tablo 4.1 : Dik durumda elde edilen değerlerin tablosu.....	43
Tablo 4.2 : Form faktörü oranları.....	44
Tablo 4.3 : Değişik açılar için elde edilen viskoz direnç değerleri.....	44

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa no</u>
Şekil 2.1 : Aerodinamik ve hidrodinamik kuvvetlerin dengesi.....	3
Şekil 2.2 : Bir profil kesiti etrafındaki akım.....	4
Şekil 2.3 : Profil kesiti etrafındaki basınç dağılımı.....	5
Şekil 2.4 : Bütün gemiler için genel direnç dağılımı.....	6
Şekil 2.5 : Tekne etrafındaki akımın durumu.....	7
Şekil 2.6 : Tekne üzerinde oluşan basınç dağılımları.....	9
Şekil 2.7 : Teknenin oluşturduğu dalga sistemi.....	10
Şekil 2.8 : İndüklenmiş direncin oluşumu.....	14
Şekil 3.1 : Basit bir hidrofoil yapısı.....	23
Şekil 3.2 : Teknenin üstten görünüşü.....	24
Şekil 3.3 : Teknenin yandan görünüşü.....	25
Şekil 3.4 : Teknenin 10 derece meyilli durumdaki hali.....	25
Şekil 3.5 : Teknenin iskele üst taraftan görüntüsü.....	26
Şekil 3.6 : Teknenin ön üstten görüntüsü.....	26
Şekil 3.7 : İlk durumdaki yüzey panelleme durumu.....	27
Şekil 3.8 : Kullanılan tekne yapısına göre oluşturulan yüzey panellemesi...	28
Şekil 3.9 : Yüzey panellemesinde tekne yapısının öne çekilmiş hali.....	30
Şekil 3.10 : 14x20'lik panel sistemine göre form yapısı.....	31
Şekil 3.11 : 14x39'luk panel sistemine göre form yapısı.....	31
Şekil 3.12 : $Sp(1.01)$ ve $Fn:0.4$ için eş dalga eğrisi.....	32
Şekil 3.13 : $Sp(1.1)$ ve $Fn:0.4$ için eş dalga eğrisi.....	33
Şekil 3.14 : Uçaklardaki gövde-kanat yapısı.....	36
Şekil 4.1 : Dik durumda elde edilen değerlerin oluşturduğu eğri.....	43
Şekil 4.2 : Direnç değişimi.....	47
Şekil 4.3 : Direnç katsayısı değişimi.....	48
Şekil 4.4 : Yan kuvvet değişimi	48
Şekil 4.5 : Yan kuvvet katsayısı değişimi	49
Şekil A.2 : Kullanılan teknenin orta kesit resmi.....	54
Şekil A.2 : Kullanılan teknenin su hattı resmi.....	55

SEMBOL LİSTESİ

F_R	: Tekneyi ileri doğru hareket ettiren kuvvet
R	: Direnç
F_{lat}	: Yelkene etkiyen yan kuvvet
F_s	: Salmaya etkiyen yan kuvvet
F_v	: Yelkene Etkiyen dikey kuvvet
F_{vw}	: Sephiye kuvveti
M_{pa}	: Yelkene ekiyen trim momenti
M_p	: Hidrodinamik trim momenti
M_h	: Meyil momenti
M_R	: Doğrultma momenti
M_{yw}	: Rüzgar üstüne çeviren, yelkene etkiyen moment
M_{yl}	: Tekneyi rüzgar üstüne çeviren moment
V_A	: Görünen rüzgar hızı
V_T	: Gerçek rüzgar hızı
V_S	: Tekne hızı
R_v	: Viskoz direnç
R_w	: Dalga direnci
R_h	: Meyil direnci
R_i	: İndüklenmiş direnç
R_R	: Artık direnç
R_{fo}	: Yüzey sürtünme direnci
R_p	: Basınç direnci
R_f	: Sürtünme direnci
R_{pv}	: Viskoz basınç direnci
R_T	: Toplam direnç
R_n	: Reynold sayısı
V	: Tekne hızı
ν	: Kinematik viskozite
C_v	: Viskoz direnç katsayısı
C_F	: Sürtünme direnci katsayısı
k	: Form faktörü
S	: Teknenin ıslak yüzey alanı
ρ	: Sıvının kütleli yoğunluğu
h	: Dalga yüksekliği
F_n	: Froude sayısı
g	: Yer çekimi ivmesi
AR	: Yan oranı
AR_e	: Efektif yan oran
L_{OA}	: Tam boy
L_{WL}	: Su hattı boyu

D	: Derinlik
Λ	: Yatıklık açısı
c_t / c_r	: Kord oranı
$\phi(x,y,z)$	: Hız potansiyeli
V_∞	: Sonsuzdaki hız
G	: Green fonksiyonu
$H(Q;P)$	: Su ile dolu ortamda harmonik bir fonksiyon
δ_{ij}	: Kronecker deltası
C_{ij}	: Etkime katsayısı
B_{ij}	: Etkime katsayısı
W_{ij}	: Etkime katsayısı
S_{Bj}	: Hidrofoil yüzeyi
S_{Wl}	: Hidrofoil izi
p_o	: Atmosferik basınç
C_p	: Basınç katsayısı
C_L	: Yan kuvvet katsayısı
D	: Profil tam boyu
B	: Tekne genişliği
Th	: Salmasız su çekimi
B_{wl}	: Tekne su hattı genişliği
V_B	: Tekne hızı
Λ	: Sürüklenme açısı
$\frac{\partial C_{Lk}}{\partial \lambda}$	: Yan kuvvet eğrisinin eğimi
A_k	: Salmanın yanal alanı
θ	: Meyil açısı
b_k	: Salmanın yüksekliği (span)
c_k	: Salmanın giriş boyu (chord)
ΔL_k	: Tekneden gelen akım yüzünden salma üzerindeki yan kuvvet artışı
ΔL_h	: Salma yüzünden tekne üzerindeki yan kuvvet artışı
L_k	: Sadece salmadan kaynaklanan yan kuvvet
σ	: Tekne draftı salma derinliği oranı ($= T_{hk} / T_k$)
T_{hk}	: Tekne draftı
T_k	: Salma derinliği
Δ	: Deplasman
A_h	: Teknenin yanal oranı
a_{o_k}	: Salmanın iki boyutlu kesit şekline bağlı yan kuvvet eğim faktörü

YATLARIN SALMA KARAKTERİSTİKLERİNİN DENEYSEL, SAYISAL VE AMPİRİK METODLARLA İNCELENMESİ VE KARŞILAŞTIRILMASI

ÖZET

Optimum yat formunun elde edilmesi için, yat üzerinde oluşan hidrodinamik karakteristiklerin iyice saptanması gerekir. Bunun için de deneysel, sayısal ve ampirik gibi değişik yöntemler kullanılmaktadır.

Bir yelkenli yat üzerinde değişik aerodinamik ve hidrodinamik kuvvetler ve bu kuvvetlerin sebep olduğu bir takım momentler mevcuttur. Yatın dengede gitmesi için bu kuvvetlerin ve momentlerin aşağıda gösterildiği gibi eşit olması gerekmektedir.

$$\left. \begin{array}{l} F_r = R \\ F_{lat} = F_s \\ F_v = F_{vw} \end{array} \right\} \text{Kuvvetler}$$

$$\left. \begin{array}{l} M_{pa} = M_p \\ M_h = M_r \\ M_{yw} = M_{yl} \end{array} \right\} \text{Momentler}$$

Bu kuvvet ve momentler oluşurken de su altındaki yapı yavaşça yana doğru kayarak yat bir sürüklenme açısına sahip olur ve diğer yandan meyil açısının oluşmasına sebep olurlar. Burada meydana gelen hidrodinamik yan kuvvet, aerodinamikte kanat üzerinde meydana gelen kaldırıcı kuvvete tekabül etmektedir. Yalnız burada salma simetrik yapıda olduğundan kuvvet sadece gelen akımın hücum açısının değişimi ile oluşmaktadır. Hidrodinamik direnç ise diğer gemi türlerinde de oluşan viskoz direnç, dalga direnci ve dalgalı durumdaki ek direnç ile yelkenli yatlarla özgül olan meyil direnci ve indüklenmiş direnç elemanlarından meydana gelir.

Yelkenli yatlarda meydana gelen hidrodinamik yan kuvvet ve direnci ölçmek içinse çekme tankında model deneyleri, sayısal yöntemler veya ampirik formüller kullanılarak yapılabilir. Deneysel yolda kullanılan veriler, modele dalıp-çıkma ve baş-kıç vurma hareketi serbestliği veren ve altı bileşenli dinamometre kullanarak yapılan bir sistemle elde edilmiştir. Sayısal yöntem hidrodinamik karakteristiklerin, potansiyel teori içerisinde panel yöntemi ile hesaplanmasına dayanmaktadır. Bu yöntemde kullanılan program aslında basit hidrofoil yapısı üzerindeki hidrodinamik karakteristiklerin elde edilmesi için yapılmıştır. Bu yapıyı yat formuna dönüştürmek için hidrofoilin giriş boyu (chord) tekne su hattı boyu, yüksekliği (span) de yatın draftı olarak değerlendirilmiştir. Bütün değerler bir bilgisayar destekli tasarım programıyla tek tek ölçülmüş gerçek teknenin 1/3 ölçeğine göre veri girişi yapılmıştır. Ayrıca bütün verilerin girişi boyutsuzdur. Karşılaştırma da kullanılan panel sayısı tekne boyunca 40 (2x20), yüksekliği boyunca da 14 olmuştur. Yani toplam 560 panel vardır. Ampirik yöntem ise üçüncü bir referans noktası olarak kullanılmıştır.

Sonuçta yöntemler, deneyi yapılan tekne üzerinde, model ölçeğinde karşılaştırmaları yapılmıştır. Bunun içinde sayısal yöntemde elde edilen değerler model ölçeğine dönüştürülmüştür. Ampirik formüller ise doğrudan deney modeli ölçeğinde uygulanmıştır. Değişik meyil ve sürüklenme açılarına göre elde edilen sonuçlar direnç-Froude sayısı, yan kuvvet-Froude sayısı, direnç katsayısı-Froude sayısı ve yan kuvvet katsayısı- Froude sayısı şeklinde grafiğe dökülerek karşılaştırma imkanı sağlanmıştır.

Bu çalışmanın sonuçları aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

1. Meyil açısının artışıyla birlikte dirençte çok fazla değişim yaşanmadığını, hafif bir artışın olduğu direnç grafiklerinden görülmüştür.
2. Sürüklenme açısıyla birlikte 8 dereceye kadar direnç artışı fazla olmazken bu dereceden sonra direncin daha fazla arttığı grafiklerden görülmektedir.
3. Meyil açısının ters yönde oluşan sürüklenme açısı durumunda direncin daha fazla olduğu saptanmıştır.
4. Froude sayısı artışıyla yan kuvvet katsayısında fazla bir değişim olmadığı ortaya çıkmıştır.
5. Sürüklenme açısıyla birlikte, yan kuvvet artışı açıkça saptanmıştır.



INVESTIGATION AND COMPARISON OF SAILING YACHT KEEL CHARACTERISTICS THROUGH EXPERIMENTAL, NUMERICAL AND EMPIRICAL METHODS

SUMMARY

Hydrodynamic characteristics on a yacht need determining to obtain optimum yacht form. For this reason different methods such as experimental, numerical and empirical methods are used.

There are different aerodynamic and hydrodynamic forces and moments caused by the forces on a sailing yacht. To keep yacht balance, the forces and the moments must be equal as follows:

$$\begin{array}{ll}
 F_R = R \\
 F_{lat} = F_s \\
 F_v = F_{vw}
 \end{array}
 \left. \vphantom{\begin{array}{l} F_R \\ F_{lat} \\ F_v \end{array}} \right\} \text{ Forces}$$

$$\begin{array}{ll}
 M_{pa} = M_p \\
 M_h = M_R \\
 M_{yw} = M_{yl}
 \end{array}
 \left. \vphantom{\begin{array}{l} M_{pa} \\ M_h \\ M_{yw} \end{array}} \right\} \text{ Moments}$$

During the balance action, the underwater body when sliding slightly side wards yacht has a leeway angle and in addition to the heel angle occurs. The hydrodynamic side force corresponds to the lift force on the wings in aerodynamic. However the keels have symmetric section so lift force happens during non-zero angle of attack of flow. On the other hand, the hydrodynamic resistance is constituted viscous resistance, wave resistance and added resistance in waves that are seen all vessel type and induced resistance and resistance due to heel that are seen only on a yacht.

To measure hydrodynamic side force and hydrodynamic resistance on a sailing yacht, towing tank tests, CFD methods and empirical formulations can be used. The experimental results are obtained by a system, which has six components dynamometer and provides to model free heave and pitch. The numerical method is based on the calculation of hydrodynamic characteristics in potential flow theory by using panel methods. The program used for this numerical study essentially was made for obtaining the hydrodynamic characteristics on a simple 3D hydrofoil form. To transform a hydrofoil into the yacht form, the chord of hydrofoil is considered as the length of water line of the yacht and the span of it is considered as the keel draft of yacht. First of all, the plan of the yacht was drawn on a CAD program and the output was put in the numerical program on scale 1/3 of the real hull plan. Every variables are also dimensionless. The numerical model has 40 (2x20) panels longitudinally and 14 panels transversely. So there are 560 panels on the yacht form. On the other hand, the empirical method was used for as a third reference point.

In finally the comparison of methods is made on experimental model scale. So numerical results were transformed. Empirical results were used in the scale directly. The outputs of all third methods according to different heel angles and leeway angles are presented by the diagrams of side force-Froude number, side force coefficient-Froude number, resistance-Froude number, resistance coefficient-Froude number.

The results of the project can be summarized as follows:

1. The increase of resistance is not changed so much by the increase of heel angle is observed from the resistance diagrams.
2. When the leeway angle is higher than 8 degree, the resistance augment is considerably higher than the resistance augments of the lesser degree of the leeway.
3. When the leeway angle occurs opposite side of heel angle the resistance is higher than the resistance when the leeway angle occurs same side of heel angle.
4. The hydrodynamic lift (side force) does not change considerably according to Froude number.
5. The increase of leeway angle leads to the increase of hydrodynamic lift.



1. GİRİŞ

1.1 Giriş ve Çalışmanın Amacı

80 yılların başından itibaren yelkenli yat teknolojisi büyük bir atılım göstermiştir. Özellikle 1983 yılında ileri seviyede deney tekniklerinin ve matematiksel modelleme yöntemi kullanılarak yapılan çalışmalar sonunda Avustralia II adlı teknenin Amerika Kupası yat yarışlarında zafer kazanması bu tür çalışmaların yapılmasına hız vermiştir.

Bu zamana kadar ülkemizde deneysel çalışmalar yapılmasına rağmen sayısal yöntem kullanılarak bir çalışma yapılmamıştır. Dolayısıyla bu çalışmanın ilk amacı sayısal yöntem (CFD, computational fluid dynamics) kullanılarak, yelkenli yatlar üzerinde oluşan hidrodinamik kuvvet dağılımının nasıl oluştuğunu görmektir. Bu açıdan bu çalışma bir ilk niteliğini taşımaktadır. Bunun için önceden deneyleri yapılmış bir tekne modeli referans alınmış ve onun verileri karşılaştırma amacıyla kullanılmıştır. Sayısal olarak hesaplamada kullanılan program ise aslında potansiyel teori içerisinde üç boyutlu kanat profillerine ait hidrodinamik karakteristikleri hesaplamak için yapılan bir programdır. Bu yüzden basit bir hidrofoil yapısı yat formuna dönüştürülmüş, meyil veya sürüklenme gibi değişik durumların elde edilmesi sağlanmıştır. Bu durum sağlarken bir CAD programından faydalanılmış ve belirli oranlarda girişler yapılmıştır. Ayrıca dönüşümü yapılan program üzerinde değişik varyasyonlar denenmiş ve kendi içerisinde tutarlılığı incelenmiştir. Bunlarla birlikte viskoz direnç etkisi dışarıdan hesaplanarak katılmıştır. Bunların yanında ampirik katsayıların kullanıldığı teorik formülasyon yöntemi de kullanılarak üçüncü bir referans noktası amaçlanmıştır.

Yöntemlerle elde edilen sonuçlar için direnç-Froude sayısı, direnç katsayısı-Froude sayısı, yan kuvvet- Froude sayısı ve yan kuvvet katsayısı-Froude sayısı grafikleri oluşturularak karşılaştırma yapma imkanı sağlanmıştır.

2. YELKENLİ YATLARI ETKİLEYEN KUVVETLERİN DENGESİ VE HİDRODİNAMİK KUVVETLER

Bu bölümde, özellikle yelkenli yatlarda oluşan hidrodinamik direnç ve yan kuvvete değinilecektir. Bununla birlikte yat üzerinde oluşan bütün kuvvetler hakkında genel bir bilgi verilerek hidrodinamik direnç ve yan kuvvetin nasıl oluştuğu daha anlaşılır hale gelecektir. Bu yüzden, öncelikle basit bir tekne üzerinde bu kuvvetlerin ve oluşturdukları momentlerin dağılımı sunulmaktadır.

2.1 Aerodinamik ve Hidrodinamik Kuvvetlerin Dengesi

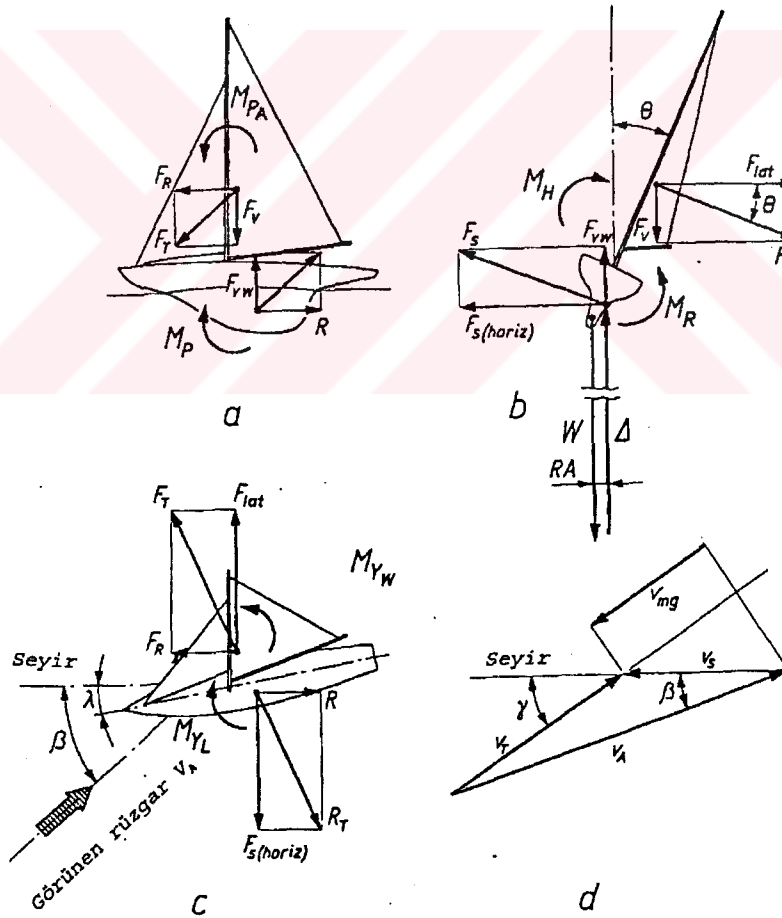
Şekil 2.1 a,b,c' de görüldüğü gibi farklı kuvvetler yelkenli yatlarda rol oynamaktadır. Üstten görünüşte yatay yöndeki kuvvetler ve oluşan momentler gösterilmektedir. Tekne yelkenler sayesinde F_R kuvveti ile ilerlerken bu sırada su içindeki ilerleyişinden dolayı R direnci oluşur. Bu iki kuvvet birbirini dengeler. F_R kuvveti oluşurken başa doğru bir M_{PA} trim momentini meydana getirir. Yine bu momentte M_P hidrodinamik trim momenti ile dengelenir. Ne var ki bu durumlar yaşanırken yanal ve dikey kuvvetlerin meydana gelmesi kaçınılmazdır. Yelken kısmında F_{lat} yan kuvveti oluşur ve bu yan kuvvet teknenin doğru rotasından çıkıp bir sürüklenme açısına sahip olmasına sebep olur. Bu kuvveti dengelemek için de sürüklenme açısı hidrodinamik F_S yan kuvvetini meydana getirir. Denge durumunda aerodinamik M_{yw} ve hidrodinamik M_{yl} dönme momentleri farkı sıfır olmak zorundadır. Diğer bir deyişle oluşan aerodinamik ve hidrodinamik kuvvetler aynı hat üzerinde buluşmalıdır. Öbür yandan yelken kısmında F_v dikey kuvveti oluşacak tekne ağırlığı ile aynı doğrultuda hareket edecektir. Bunu da sephiye kuvveti F_{vw} dengeleyecektir. Yine teknenin dengede olabilmesi için, yana yatık pozisyona gelmesine sebep olan meyil momenti M_H , M_R doğrultma momenti ile birbirine eşit olacaktır.

Sonuç olarak aşağıdaki eşitlikler yazılabilir;

$$\left. \begin{array}{l} F_R = R \\ F_{lat} = F_S \\ F_v = F_{vw} \end{array} \right\} \text{Kuvvetler}$$

$$\left. \begin{array}{l} M_{PA} = M_p \\ M_H = M_R \\ M_{yw} = M_{yl} \end{array} \right\} \text{Momentler}$$

Şekil 2.1.d' de görülen ise hız üçgeni olarak tabir edilir. Buradaki V_A görünen rüzgar hızı, V_T gerçek rüzgar hızını, V_S de tekne hızını göstermektedir. Görünen rüzgar, gerçek rüzgarın yatın hızından etkilenmesiyle meydana gelir.

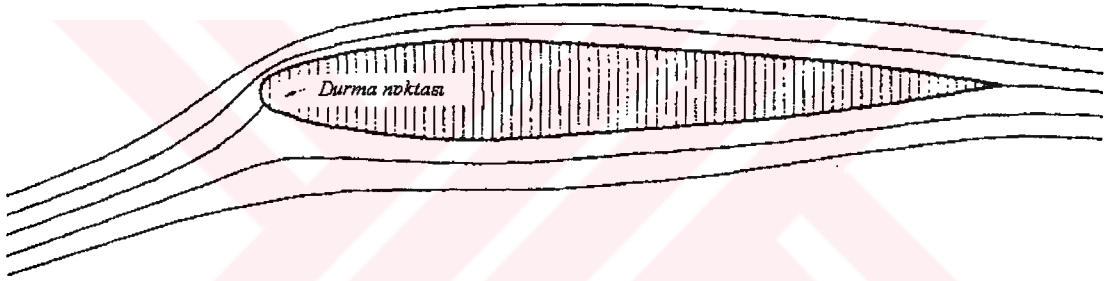


Şekil 2. 1 Aerodinamik ve hidrodinamik kuvvetlerin dengesi.

2.2 Hidrodinamik Yan Kuvvet

Aerodinamikte olduğu gibi kanatlar üzerine gelen akım nasıl kaldırıcı bir kuvvet yaratıyorsa, hidrodinamik durumda da havanın yerini su alarak salma veya dümen yelpazesi üzerinde kaldırıcı bir kuvvet oluşmaktadır. Yalnız salma veya dümenin simetrik yapıda olması yüzünden kaldırıcı kuvvet yalnızca gelen akımın değışik açıda olması sayesinde gerçekleşir. Bu açı değışimi de yukarıda bahsettiğimiz tekne üzerinde meydana gelen kuvvetlerin oluşturduğu denge durumu sonucu oluşan, sürüklenme açısı sayesinde olmaktadır.

Yan kuvvetin oluşumu basit bir şekilde açıklanabilir. Akımın sıfırdan farklı bir sürüklenme açısıyla gelmesi profil kesiti üzerinde akımın asimetrik yapıda oluşmasına

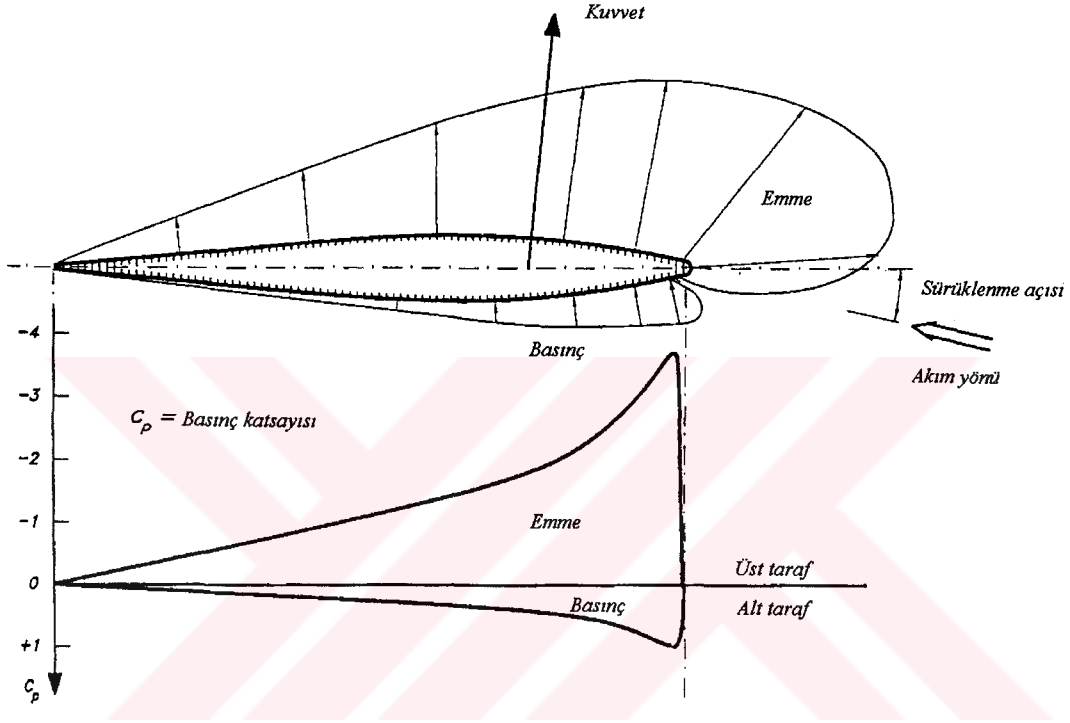


Şekil 2.2 Bir profil kesiti etrafındaki akım.

sebepler olur (Şekil 2.2). Akımın yukarıdan giden kısmı büyük bir eğim bölgesinden geçerek ilerlerken alttan giden ise düze yakın bir doğrulukta akım hattı oluşturur. Dolayısıyla oluşan akımların hızları da farklı olacaktır. Üsten giden alttan gidene göre daha hızlıdır. (Şekil 2.3) de görüldüğü gibi tamamen farklı basınçlar ortaya çıkar ve burun kısmında büyük bir emme bölgesi oluşur. Geriye doğru gidildikçe bu emme kısmı yavaş yavaş azalır. Alt bölgede ise basınç pozitifdir. Fakat mutlak değeri yukarıdakinden daha düşüktür. Bütün bu basınç elemanları birlikte yukarı doğru kuvvet oluştururlar. Bozulan akım ile oluşan kuvvetin arasındaki açı kullanılan yapının verimliliğine bağlıdır. İki boyutlu sürtünmesiz durum için bu açı doksan derecedir. Gerçek durumda ise bu daima doksan dereceden küçüktür. Bununla birlikte burada aerodinamikten farklı

olarak kaldırıcı kuvvet yukarı doğru değil doğal olarak yana doğru oluşmaktadır ve yan kuvvet olarak adlandırılır.

Sürüklenme açısının sıfır olduğu durumda dahi az da olsa bir yan kuvvet oluşmaktadır. Bunun sebebi ise gelen akımın yapısının, teknenin baş kısmı tarafından bozulmasıyla bir açı kazanmasıdır.



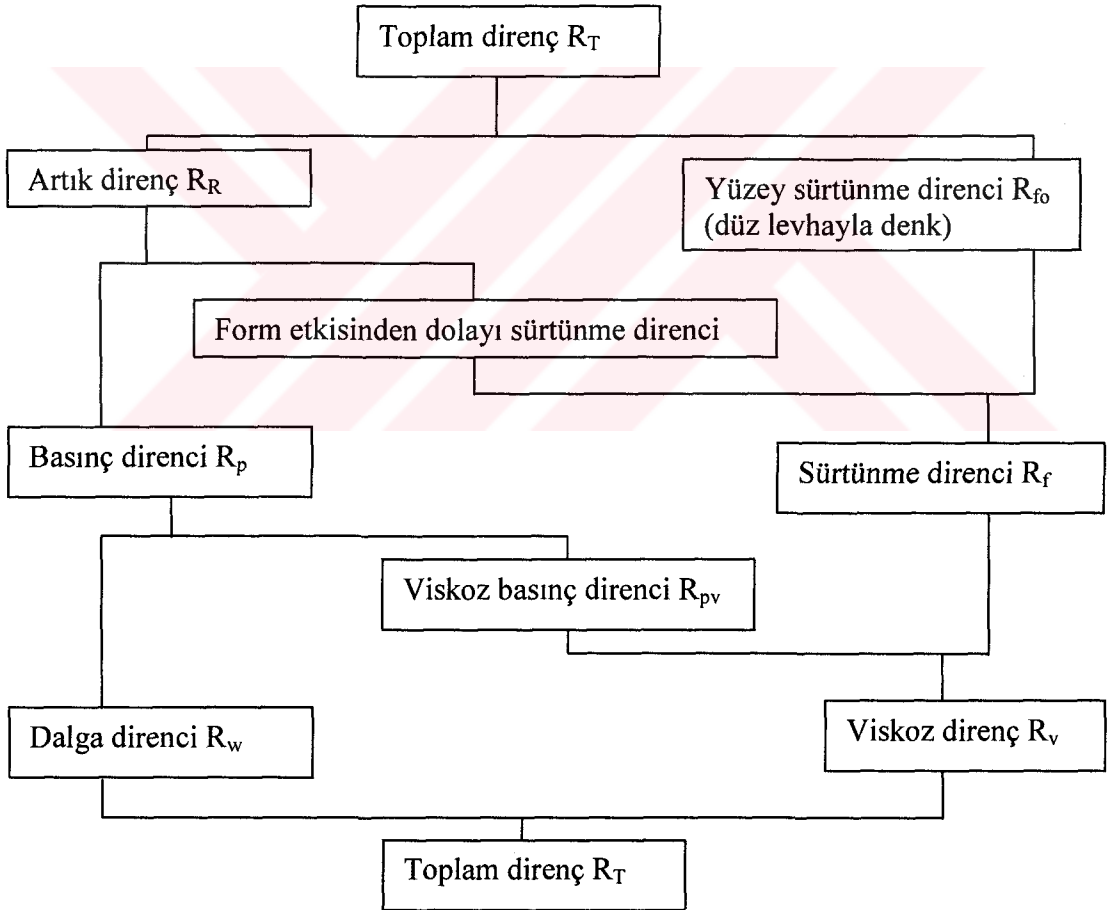
Şekil 2.3 Profil kesiti etrafındaki basınç dağılımı.

2.3 Hidrodinamik Dirençler

Yelkenli bir yatta oluşan hidrodinamik dirençler aşağıdaki şekilde sınıflandırılabilir.

- Viskoz direnç (R_v)
- Dalga direnci (R_w),
- Dalgalı durumdaki ek direnç
- Meyil direnci (R_h),
- İndüklenmiş direnç (R_i),

Viskoz direnç, dalga direnci ve dalgalı durumdaki ek direnç bütün gemi tipleri için ortak direnç elemanlarıdır. 1996 yılında Larsson ve Baba tarafından sakin sudaki genel direnç dağılımı Şekil 2.4'deki gibi ayrılmıştır. Bunlarla birlikte ek olarak teknenin altında meydana gelen yan kuvvetin sebep olduğu iki direnç elemanı daha vardır. Bunlardan ilki meyil açısı sebebiyle oluşan, meyil direncidir. Diğerisi ise sürüklenme açısından kaynaklanan indüklemiş dirençtir. Bunların dışında fazla önemsenmeyen direnç elemanları da mevcuttur. Örneğin sürüklenme açısı, salmanın dönme açısı veya yan kuvveti etkileyen herhangi bir değişkenden dolayı teknenin durumunda meydana gelen dirençtir. Bu direnç, yukarıda sayılan temel beş dirençte de değişime sebep olur. Genelde sürüklenme açısıyla tekne üzerinde meydana gelen akım ayrılmasıyla ilgilidir.



Şekil 2.4 Bütün gemiler için genel direnç dağılımı.

Yelkenli teknelerin hidrodinamik direnç tahmininde havuz deneyleri ve Froude hipotezine dayanan ampirik formülasyon yöntemi ile inceleme yapılabilir. Bununla birlikte, yan kuvveti ve direnci hesaplamakta sayısal (CFD, computational fluid dynamics) metotlar günümüzde kullanılmaktadır. Bunlar ileriki bölümlerde detaylı bir şekilde anlatılacaktır.

2.3.1 Viskoz Direnç

Viskoz direnç, ismini doğrudan suyun viskozitesinden almıştır. Sakin suda hareket eden teknenin yanına bakıldığında, suyun tekneyle hareket ettiği anlaşılır. Sanki tekneye en yakın su zerrecikleri, yüzeye yapışık gibi görünürler. Suyun hızı, teknenin yüzeyinde sıfırdan başlayıp, belirli bir uzaklık sonra hemen hemen tekne hızına kadar ulaşır. Kıç tarafa doğru gittikçe kalınlaşan ve büyük gemilerde genellikle 1m'den daha düşük olan bu akışkan bölümü sınır tabaka olarak adlandırılır. Şekil 2.5'de tekne etrafındaki akışkan yapısı sunulmuştur. Baş kısma yakın yerde sınır tabaka daha küçüktür ve bir müddet sonra akım yapısında bozulmalar başlamaktadır. Bu laminar bölgeden türbülanslı bölgeye geçişi gösterir. Türbülanslı bölgede, dağılan akım hızları küçük girdaplara sebep olur. Burada gösterilen viskoz alt tabaka ise yüzeyin pürüzlülüğü ile oluşan bir tabakadır ve olabildiğince ince yapıdadır.

Tez Sahibinin Numarası: 508981061

Adı, Soyadı: Özkan Mustafa

Tezin Kendisi: ☒

Tezin Türkçe Özeti: ☒

Tezin İngilizce Özeti: ☒

Tezin Giriş Formu: ☒

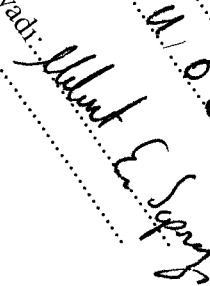
Tez Veri Formu: ☒

Tez Çalışma Raporu/Raporları: ☒

Tez Çalışma Raporu/Raporları: ☒

Kontrol Edilme Tarihi: 26.11.2022

Kontrol Edenin Adı Soyadı: Mehmet E. Savaş

İmzası: 

Geçiş noktası

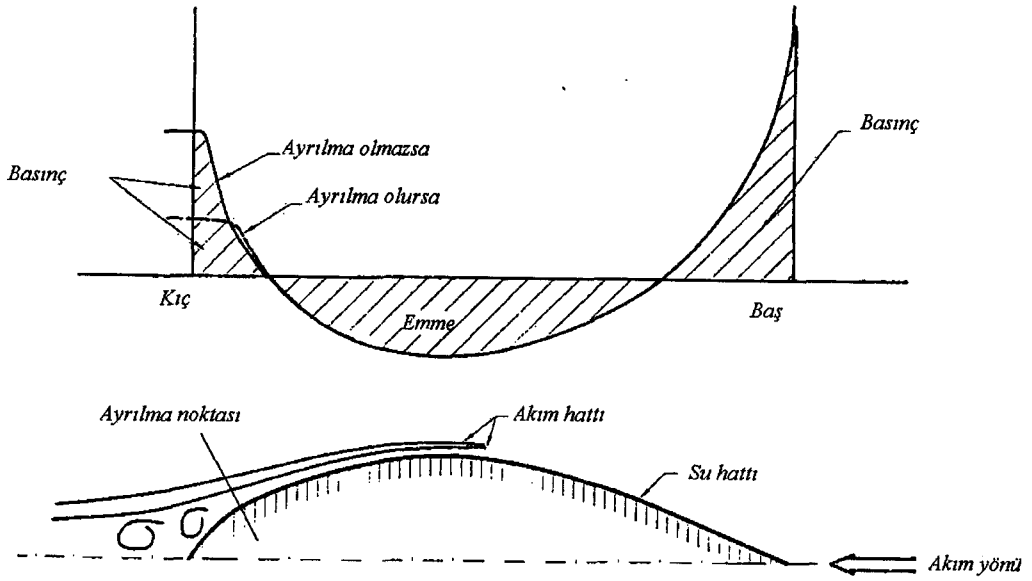
Laminar sınır tabaka

Akış yönü

Şekleşir. Eđer kıç gibi hızlıca iče doğru

kıvrılmaya çalışır ve büyük girdapların oluşmasına sebep olur. Olabildiğince ayrılmadan kaçınılmaya çalışılır. Çünkü direncin artmasına sebep olur.

Viskoz direnç, sürtünme direnci ve viskoz basınç direncinin toplamı olarak değerlendirilir (Şekil2.4). Sürtünme direnci, su ile tekne yüzeyi arasında doğrudan sürtünme yüzünden olan önemli direnç elemanlarından biridir. Su, tekne yüzeyi ile kayan, katı bir yapı olmamasına rağmen, bir direnç kuvveti oluşur. Çünkü tekneye en yakın su katmanı, geriye doğru hareket eden sonraki su katmanından etkilenir ve bu olay sürekli ve sırayla devam eder. Sürtünme kuvveti, yüzeyden uzaklaşarak artan su hızıyla orantılıdır. Sürtünme direncine bağlı olarak şu sonuçlar ortaya çıkmaktadır. Birinci olarak, sürtünme tekne yüzeyi ile ilişkilidir ve dolayısıyla ıslak yüzey alanının azalması avantajlı bir durumdur. İkinci olarak da, hız dağılımı laminar bölge ile türbülanslı bölge arasında değişim arz eder. Bu yüzden sürtünme farklı olur. Laminar bölgede, ince su katmanları, sadece moleküler kuvvetlerle birbirlerini etkilerken, ki bu zayıf bir etkidir. Türbülanslı bölgede ise, küçük girdapların çalkantı etkisi yüzünden, sıralanmış su katmanları birbirlerine daha güçlü yapıda bağlıdır. Öyleyse türbülanslı bölgede, sürtünme direnci daha büyük olur. Bu yüzden laminar bölgenin olabildiğince uzun olması istenir. Özellikle bu durum salmanın, dümen yelpazesinin, veya diğer takıntıların dizaynında göz önünde bulundurulur. Yüzey sürtünmesini tahmin etmekte kullanılan, düz levhalar için geçerli formül mevcuttur. Bu formül, boyutsuz Reynolds sayısına bağlıdır ($R_n = V.L / \nu$). Formülden de anlaşılacağı üzere hız V, boy L ve suyun kinematik viskozitesine ν bağlıdır. Viskoz basınç direnci ise, sınır tabakanın büyümesi sonucunda baş taraf ile kıç tarafa doğru olan bölge arasındaki basınç farkından kaynaklanan dirençtir. Şekil 2.6.'da belirli bir derinlikteki tekne etrafında oluşan tipik basınç dağılımı görülmektedir. Kıç taraftaki ve baş taraftaki basınç, normal durumdaki su yapısından daha yüksekken, orta kısımda ise daha düşük bir basınç dağılımı gözlenmektedir. Bu dağılımı sınır tabaka belirler. Eğer sınır tabaka olmasaydı, baş kısımdaki basınç kuvvetiyle, kıç taraftaki arasında bir denge söz konusu olurdu. Sınır tabaka kıç tarafta daha kalın olduğundan, kıç basınç bundan daha fazla etkilenir ve kıçta daha düşük basınç bulunur. Bu fark bize bir direnç elemanı verir. Bu direnci yaratan basınç kuvveti, potansiyel akımda yüzeyde oluşan basınç dağılımıyla ilgili olan kuvvetlerden ayrı olarak, viskoz bir orijine sahiptir.



Şekil 2. 6 Tekne üzerinde oluşan basınç dağılımları.

Viskoz direnç şu şekilde ifade edilir;

$$R_v = \frac{1}{2} \rho V^2 C_v S$$

$$C_v = C_F (1+k)$$

C_v : Viskoz direnç katsayısı

C_F : Sürtünme direnci katsayısı

k : Form faktörü

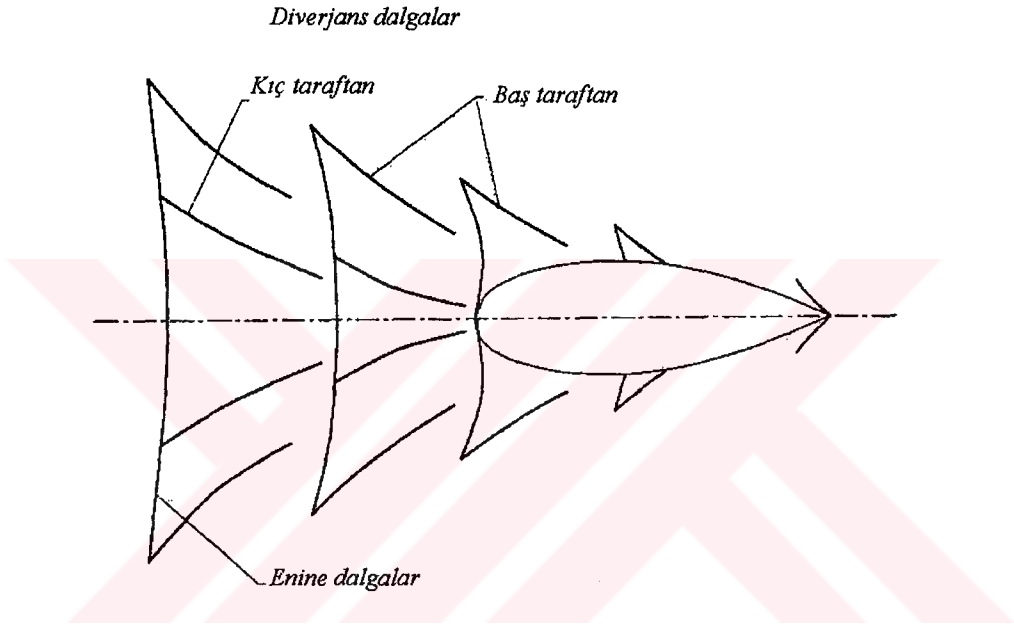
S : Teknenin ıslak yüzey alanı

ρ : Sıvının kütleli yoğunluğu

2.3.2 Dalga Direnci

İkinci büyük direnç elemanı dalga direncidir. Durgun suya bir taş atıldığında halka şeklinde yayılır. Eğer bir sıra halinde taşlar atılırsa, birbirini etkileyerek yayılırlar. Bu yapı bir yatın arkasında yarattığı dalga sistemiyle benzerlik taşır. Bu dalga sistemine Kelvin dalga sistemi adı verilir. Kelvin dalga sistemine göre dalgalar, enine ve diverjans olmak üzere ikiye ayrılır. Bunlar baş ve kıç bölgesinde oluşur ve tekne ile beraber ilerler. Diverjans dalgalar, hareket yönü ile $19^\circ 28'$ büyüklüğünde açı yapan, ayrık ve

kısa dalgalar. Enine dalgalar ise hareket yönü ile dik açı oluşturur ve diverjans dalgalara doğru genişler. Kıçta doğru enine dalgaların genişliği artarken, yüksekliği azalır. Dalgalar büyük bir oranda teknenin şekline bağlıdır. Tekne boyunca her nokta dalga sistemine katkıda bulunur. Ancak bazı noktalar diğerlerinden daha önemlidir. Yelkenli yatlarda yüksek basınç baş ve kıç tarafta daha baskındır ve genellikle sadece iki dalga sisteminin oluştuğu kabul edilir (Şekil 2.7).



Şekil 2. 7 Teknenin oluşturduğu dalga sistemi.

Su yüzeyinde hareket eden bir yatı düşünelim. Akışkan hızı tekneye ulaşmadan önce V_0 olsun. Suyun tekneye temas ettiği herhangi bir yerdeki hızı da V_1 olarak ele alalım. Hareketin ideal akışkan olduğu düşünülerek burada Bernoulli denklemini yazabiliriz. Şöyle ki;

$$\frac{\gamma V_0^2}{2g} = \frac{\gamma V_1^2}{2g} + \gamma h_1 = \text{sabit}$$

Burada $V(V_0, V_1, \dots)$ akım hızını, h dalga yüksekliğini göstermektedir. V_0 ile gösterilen hız, henüz tekneye ulaşmayan akımın hızıdır. Dolayısıyla, ilk durumda dalga yüksekliğinin sıfır olduğu kabulü yapılmıştır. Enerjinin korunumu sayesinde, dalga yüksekliğinin değişimi ile kinetik ve potansiyel enerjiler arasında bir artış veya azalış meydana gelecektir. Buna göre de akım hızı değişecektir.

Viskoz dirençte Reynolds sayısının rolünü, dalga direncinde Froude sayısı alır. Froude sayısı, hızı boyutsuz olarak göstermeye yarar. Bu sayı aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$F_n = \frac{V}{\sqrt{g \cdot L_{WL}}}$$

V : Tekne hızı (m/s)
 g : Yer çekimi ivmesi (m/s^2)
 L_{WL} : Teknenin su hattı boyu (m)

Ayrıca Froude sayısı tekne boyunca kaç tane dalga olduğunu belirtir. Örneğin $F_n=0.4$ iken bir dalga vardır, 0.28 de ise iki dalga mevcuttur. Dalga direnci büyük oranda Froude sayısına bağlıdır. Normal yelken seyri esnasında, $F_n=0.35$ civarında iken yüzey etrafındaki akım boyunca baş kısımda basınç artar, orta kısımda basınç azalır ve kıç tarafta basınç artışı gerçekleşir. Bu baş kısımda dalga tepesi, ortada dalga çukuru ve kıç tarafta dalga tepesi olduğunu gösterir. Bu dalgaları yaratan teknenin sarf ettiği enerji önemlidir ve büyük miktarda $L/(\nabla^{1/3})$ oranına bağlıdır.

Bazı bilim adamları, doğrudan dalga direncini almak yerine, çoğunlukla dalga direnci ve viskoz basınç direncinin toplamı olan, artık direnci kullanmayı tercih ederler (Şekil 2.4). Çünkü bu dirençlerin her ikisi de teknenin üç boyutlu formuna bağlıdır. Dolayısıyla tekne formunu optimize ederken de dalga ve viskoz basınç dirençlerinin birleşimini göz önünde bulundurulmalıdır.

2.3.3 Dalgalı Ortamdaki Ek Direnç

Dalganın baş taraftan geldiği durumda dalıp-çıkma, baş-kıç vurma ve yalpa birleşik hareketi ve iskele veya sancak yönünden gelen dalgalarındaki yalpa hareketi ile bazen de küçük genlikteki sürüklenme, öteleme gibi hareketler, dalgalı ortamdaki ek direncin ana sebebi olarak değerlendirilebilir. Bu dirence kısaca ek direnç adı da verilir. Aslında ek

direnci meydana getiren birkaç farklı eleman vardır. Bunlardan birincisi ve en önemlisi damping dalgalarının oluşumu esnasında, zamanla değişen tekne hareketleriyle ilişkili olan dirençtir. Başka bir eleman, tekne boyunca zamanla değişen akım ve akım ayrılmalarının yüzünden olan değişken tekne hareketlerinin sebep olduğu ve özellikle bu, yalpa yüzünden gerçekleşen, akım yüzünden olan direnç elemanıdır. Üçüncü bir eleman ise teknenin neden olduğu damping dalgaları ile dalgaların rastlaşması arasındaki yön değiştirme fazı ile ilgili olandır. Diğer bir direnç elemanı ise teknedeki yansıyan veya kırılan dalgaların yarattığı direnç elemanıdır. Ve son olarak da, çok küçük bir eleman olan, dalgalı ortamda doğru rotada seyir yapmak için değişken dümen hareketlerinin sebep olduğu dirençtir.

Özellikle baş-kıç vurma hareketinin şiddeti, dalgalı ortam ek direncinin seviyesini belirler. Baş-kıç vurma hareketi azalırsa, ek dirençte azalır. Bu direncin başka önemli bir özelliği sakin su direncinden bağımsızdır ve dalga yüksekliğinin karesiyle orantılıdır.

2.3.4 Meyilden Doğan Direnç

Tekne meyil yaptığı sırada iki direnç elemanı gelişir. Bunlardan biri indüklemeye direnci diğeri de meyilden doğan dirençtir. Meyilden dolayı oluşan direnç, viskoz ve dalga direncinde meyil açısıyla birlikte meydana gelen değişimler olarak değerlendirilir. 12m yatların incelenmesinde önemli bir etken olduğu sonucuna varılsa da birçok çalışmada fazla önemsenmeyen bir direnç elemanı değildir.

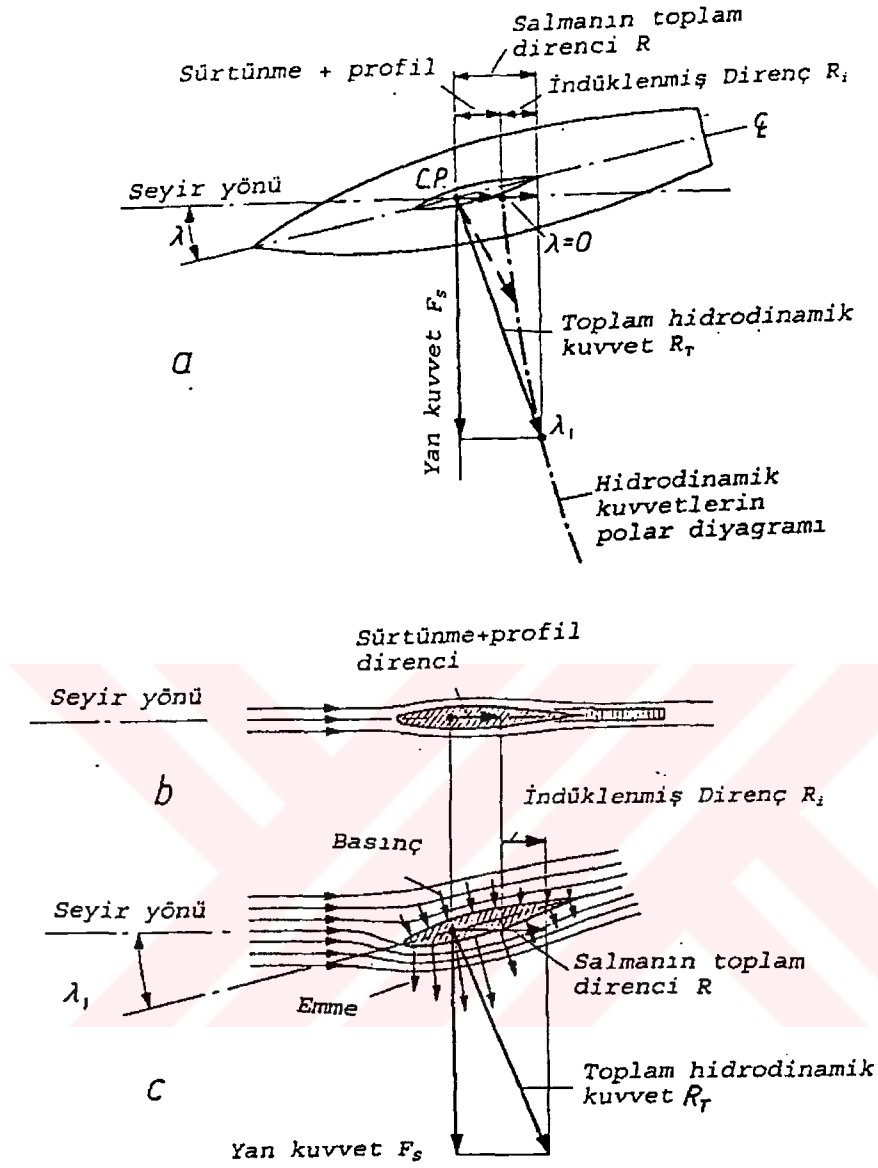
Meyil direncinin önemi, meyil açısının artışıyla orantılıdır. Meyilden doğan direnç, bazen toplam direncin azalmasına sebep olabilir. Bu durum genelde 20° 'den daha düşük açılar için geçerlidir. Meyil esnasında ıslak yüzey alanının azalması bunun sebebidir. Bu durumda viskoz direnç azalışının, tekne üzerindeki akım yapısının bozulmasıyla oluşan direnç artışından büyük olmasındandır.

2.3.5 İndüklenmiş Direnç

Bir yelkenli yatta oluşan kuvvetlerin dengesi çok önemlidir. Daha önce bu konuya değinildiğinde, aerodinamik ve hidrodinamik kuvvetlerin yarattığı momentlerin eşit olabilmeleri için, sürüklenme açısına sebep olduğundan bahsedilmişti. İşte indüklenmiş direnç bu sürüklenme açısından dolayı oluşan direnç olarak adlandırılır.

Şekil 2.8’de indüklenme direnci fin salma için gösterilmiştir. Şekil 2.8b’ de tekne trimsiz ve meyilsizken sadece normal direnç elemanları söz konusudur. Şekil 2.8c’ de ise salma λ_1 gibi bir sürüklenme açısına sahip olduğu zaman akış yapısı ve basınç dağılımı değişir. Basınç ve emme toplam R_T hidrodinamik kuvveti oluşturur. Kıç tarafta girdaplar oluşur. Bu sayede oluşan dirence indüklenmiş direnç adı verilir. İndüklenme direnci büyük oranda yan kuvvet ve yan orana (AR) bağlıdır. Bir salma için yan oran, salma yüksekliğinin (span) ortalama salma boyuna (average chord) oranıdır. Yan oranı ne kadar büyük olursa, yani salma ne kadar uzun olursa, direnç o kadar az olacak (salma sonundaki akımdan dolayı) ve hidrodinamik verimlilik o kadar fazla olacaktır. Tekne ve salma kombinasyonunda tekne bir duvar etkisi yaratacaktır ve geometrik yan oran iki katı kadar etkileşim gösterecektir. Bu yeni oluşan yan orana efektif yan oran (AR_e) adı verilir ve kısaca şu şekilde hesaplanır: $AR_e = 2 \cdot AR$





Şekil 2. 8 İndüklenmiş direncin oluşumu.

3. HİDRODİNAMİK KARAKTERİSTİKLERİN HESAPLANMASINDA KULLANILAN YÖNTEMLER

Günümüzde, yelkenli yatların karakteristiklerini bulmak için birtakım yöntemler mevcuttur. Bunlardan bazıları çekme tankında model deneyleri, hesaplamalı akışkan dinamiği (CFD) programları ve (yarı) ampirik formüller bulunmaktadır. Bu bölümde bu yöntemlerden bazılarına bahsedilecek ve uygulamada kullanılan yöntemler anlatılacaktır.

3.1 Çekme Tankında Model Deneyleri

Yelkenli yatlarda, çekme tankı deneyleriyle yapılan ilk çalışmanın, tam bir felaket olduğu kayıtlarda geçmektedir (Larsson, 1990). Bu çalışma, İngiliz tasarımcı G.L.Watson tarafından Amerika yat kupasında yarışan Shamrock II yatı için dokuz ayda yapılmıştır. Arka arkaya üç yarışta da Herreshoff tarafından dizayn edilen Columbia yatının kazandığı yarışları kaybetmiştir.

Bu alanda yapılan ilk çalışmalar pek güvenilir sonuçlar vermezken, 1932 yılından sonra Davidson tarafından yapılan çalışmalar sonucunda bu kanı yıkılmıştır. İlk kez direnç kadar, yan kuvvetinde önemli olduğu ve ek direnç yarattığı ortaya koymuş ve tank deneylerinde dikkate alınması gerektiğini belirtmiştir. Günümüzde iki tür deney tekniği tam sonuçları vermektedir. Bunlardan birincisi, Davidson tarafından geliştirilmiştir. Bu tekniğe göre tekne sabit olup, yalnız dalıp-çıkma ve baş-kıç vurma hareketlerinden bağımsızdır. Ayrıca her bir deney esnasında hız, meyil ve sürüklenme açıları sabit tutularak ölçüm yapılır. Bu yarı bağımlı teknik hala bir çok çekme tankında kullanılmaktadır ve en popüler olanıdır. Diğeri ise 1953 yılında National Physical Laboratory'de uygulanandır. Bir konfigürasyonun, performans analizi için gerekli olan deney sayısını azaltmayı amaçlayan bu yöntem, aerodinamik kuvvetlerin etkidiği tahmini rüzgar etkime merkezinden, modelin çekilmesi mantığına dayanır. Bunun için de özel çekme direği sistemi yapılır. Bu yöntemde birçok deneyde kullanılmıştır.

3.1.1 Verileri Kullanılan Modelin Deney Tekniği

İ.T.Ü Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri Fakültesi, Ata Nutku Model deney laboratuvarında 160m boyunda, 6m genişliğinde 3.4 m derinliğindeki havuzunda yapılan bu deney, bu tür bir yarış teknesi konfigürasyonu için bir ilk teşkil etmektedir. Helvacıoğlu (1993) tarafından yapılan bu çalışmada yelkenli teknelerin direnç deneyleri hesaplanmıştır. Yapılan deneyde aynı form için değişik salma tipleri kullanılmıştır.

Model 1/8 ölçekli olarak ıhlamur ağacından yapılmıştır. Model ölçeği seçilirken modelin boyutlarının, model havuzuna uygunluğuna dikkat edilmiştir. Kullanılan modelin ana boyutları aşağıda verilmiştir.

$$L_{OA} = 2.5 \text{ m}$$

$$L_{WL} = 2 \text{ m}$$

$$T = 0,125 \text{ m}$$

$$D = 0.335 \text{ m}$$

Salmalarda profil olarak NACA 63₂A015 kullanılmıştır. 5 ayrı salma için deney yapılmıştır. Bu çalışmada verilerinden yararlanılan salma ise B olarak adlandırılmıştır. B salmasının özellikleri ise şu şekildedir.

$$\text{Yan oranı (AR)} = 1$$

$$\text{Yanal alan} = 4.5 \text{ m}^2$$

$$\Lambda (\text{yatıklık açısı}) = 20^\circ$$

$$c_t / c_r = 1$$

Seçilen dümen ise NACA 0012 profili kullanılarak yapılmış. Türbülans yapıcı olarak 3mm çapında, 2.5mm uzunluğunda standart türbülans pinleri kullanılmıştır. Ayrıca bu pinlerin oluşturduğu ek direnç teorik olarak hesaplanmış ve 1.5 gr bulunmuş. Daha sonra bunlar elde edilen toplam direnç değerlerinden düşülmüştür.

Kullanılan düzenek, performans analizi için gerekli olan yan kuvvet, meyil momenti, dönme momenti, batma miktarı ve trim açısını ölçme özelliklerine sahip bir sistemdir. Bu sistemde kullanılan altı bileşenli dinamometreye yelkenli model deneylerinde kullanılabilmesi için iki aparat takılmıştır. Baş-kıç vurma ve dalıp-çıkma hareketini serbest olan modelin hareketleri deney arabası üzerine kurulan bilgisayar sistemiyle okunmuştur. Belirlenen meyil ve sürüklenme açılarında model çekilerek, sakin suda oluşan kuvvetler ölçülmüştür. Yan kuvvetler ve buna bağlı

indüklenmiş direncin, meyil açısıyla değiştiği göz önünde tutularak, bu açının 1 dereceye kadar hassasiyetine dikkat edilmiştir. Eksen takımı olarak, havuz eksen takımı seçilmiştir. Dinamometrenin yanlış doğrultuda olması aynı sürüklenme ve meyil durumlarında farklı sonuçlar verebilir. Bunu önlemek için dinamometre yerinden oynatılmadan deney sonuçları elde edilmiştir. Kullanılan altı bileşenli dinamometre, modele etkileyen kuvvetleri, mekanik olarak altı bileşene ayırarak ölçer. Ölçüm noktalarında birleşme çubukları ve çubukların ucunda strain-gage transducer'lar bulunur. Elde edilen bu altı kuvvet bileşeni daha sonra dik kartezyen koordinat sisteminde üç yönde kuvvet ve üç yönde moment değerine dönüştürülür. Ayrıca dinamometrenin kalibrasyonuda çok önemlidir. İki aşamada kalibrasyon yapılmış, ilk önce dinamometre kalibrasyon sehpasındayken, daha sonra da çekme arabasına bağlandıktan sonra yapılmıştır.

Modelin dalıp çıkma özelliğinin olabilmesi için dört tane lineer yatak içerisinde hareket eden iki tane 25mm'lik mil kullanılmıştır. Lineer yataklarda sürtünme minimum olduğu için kolayca dalıp-çıkma hareketi böylece sağlanmıştır. Sistem modelin 25cm kadar dalıp-çıkma hareketine müsaade etmesine rağmen yapılan deneylerde bu 5cm civarında gerçekleşmiştir. Ayrıca modelin baş-kıç vurma hareketinin serbest olmasını ve meyil açısını belirlemeyi sağlayan bir başka aparat daha kullanılmıştır. 29 dereceden fazla meyil açılarında modelin güvertesi suya girdiğinden 0 ile 25 derece arasındaki meyil açılarında deney yapılmıştır.

Deneyler yapılmadan önce atwood sistemine model bağlanarak denendikten sonra direnç değerleri ölçülmüş ve daha sonra asıl sistemle karşılaştırılarak doğruluğu saptanmıştır.

3.2 Sayısal Yöntemle Hidrodinamik Kuvvetlerin Hesaplanması

Sayısal yöntemle adlandırılan çalışma, hesaplamalı akışkan dinamiği (CFD) olarak da adlandırılabilir. Bu alanda kullanılan iki ana tip sayısal metot mevcuttur. Bunlardan biri dalga direnci metodu diğeri ise viskoz direnç metodudur. Dalga direnci metodunda viskozitenin göz ardı edilebileceği kabulüne dayanmaktadır. Bu durum potansiyel akım teorisini olası kılan bir durumdur. Aynı zamanda bu metot yan kuvveti ve indüklenmiş direncide hesaba katar.

İkinci tür ise akışkanla mekaniğinin temeli olan Navier –Stokes denklemlerinin çözümüne veya sınır tabaka teorisi olarak bilinen basitleştirilmiş haline dayanır.

3.2.1 Kullanılan Sayısal Yöntemin Mantığı

Bal (1996) tarafından yapılan bu çalışmanın amacı, hidrofoil tekneler, katamaranlar veya yelkenli teknelere takılabilen üç boyutlu kanat profillerine ait hidrodinamik karakteristikleri, potansiyel teori içerisinde incelemektir. Bu teknelerin veya kanat profillerinin ortak amacı suyun kaldırma kuvvetinden yararlanıp, teknenin tamamen veya kısmen sudan çıkmasıyla, toplam tekne direncinde ve buna karşıt gelen sevk gücünde azalmalar sağlamaktır.

Bu yöntemde, kavitasyon olayı göz önüne alınmaksızın, serbest su yüzeyi altında ve sonlu deniz dibi derinliğinde yatay olarak ilerleyen üç boyutlu hidrofoillerin hidrodinamik karakteristiklerinin (basınç dağılımı, kaldırma kuvveti, dalga direnci) potansiyel teori içerisinde hesaplayan bir panel yöntemi açıklanmıştır. Genel olarak uygulamada değişik türde paneller (düz, eğrisel), tekillik dağılımları (sabit, lineer vs.) ve sınır koşulları (Neuman, Dirichlet) kullanan panel yöntemleri mevcuttur. Bilinmeyen olarak hız potansiyelini göz önüne alan ve sayısal çözümleri iyi olan Green formülasyonu temeline dayanan panelleme yöntemi ilk Morino tarafından kullanılmıştır. Bu çalışmada da Morino tarafından önerilen panel yöntemi serbest su yüzeyi etkili hidrofoil problemine uygulanmıştır. Green teoremi ve problemin sınır koşullarına uygun olarak bulunmuş Green fonksiyonunun birlikte kullanılmasıyla problemin hız potansiyeli için integral bir denklem elde edilmiştir. Bu integral denklem, üzerinde sabit dağılımlı tekillikler (kaynak ve duble) bulunan hiperboloidal dörtgen panellere bölünerek ayrıştırılmış ve lineer cebirsel bir denklem takımı elde edilmiştir. Daha sonra bu denklem takımı çözülerek, her bir panel üzerindeki hız potansiyeli (duble dağılımı) bulunmuştur. Kaynak dağılımı ise daha önceden, kinematik cisim sınır koşulunu kullanarak bulunmuştur. Ayrıca hidrofoil izinin deformasyonu da dikkate alınmıştır. Bunun için de iz üzerinde normal kuvvet dağılımının sıfır olması şartı kullanılmıştır. Sonuçta da çıkan durum fortran programıyla sunulmuştur.

3.2.1.1 Yöntemin Formülasyonu

Su dolu serbest su yüzeyi altında h ve sonlu deniz dibi d derinliğinde bulunan bir ortamda sabit V_∞ hızı ile ilerleyen üç boyutlu bir yüzen cismin etrafındaki basınç dağılımını hesaplayabilmek için aşağıda tanımlanmış olan potansiyel akıma ait sınır değer probleminin çözülmesi gerekir. Bunun için, bir O_{xyz} Kartezyen koordinat takımı tanımlanmış ve hidrofoil V_∞ sabit hızındaki bir akışkan içinde hareketsiz bırakılmıştır. Suyun sıkıştırılmaz ve viskozitesiz cinsten ve hareketin irrotasyonel olduğu kabul edilerek, pozitif x eksen yönünde V_∞ hızı ile akan su içerisinde sabit olarak duran üç boyutlu hidrofoil nedeniyle daimi ve düzgün akımdan dolayı oluşan bozulma, $\phi(x,y,z)$ hız potansiyeli ile temsil edilebilir. Bu sayede serbest su yüzeyli ve sınır değer problemine ait koşullar aşağıdaki şekilde verilebilir.

1. Süreklilik denklemi (Laplace denklemi):

$$\nabla^2 \phi = 0$$

2. Lineerleştirilmiş serbest su yüzeyi koşulu

$$\phi_{xx}(x,y,h) + k_0 \phi_z(x,y,h) = 0$$

Burada $k_0 = g/V_\infty^2$, g : yerçekimi ivmesi, V_∞ : sonsuzdaki hız, h : serbest yüzeyden hidrofoilin derinliği, indisler ise kısmi türevleri göstermektedir.

3. Radyasyon koşulu:

$$\lim_{(x^2+y^2)^{0.5} \rightarrow \infty} \phi(x,y,z) = \begin{cases} O([x^2+y^2]^{-1/2}), & x < 0 \\ O(1), & x > 0 \end{cases}$$

4. Deniz tabanı koşulu ($z = -d$ için):

$$\lim_{z \rightarrow -\infty} \phi_z = 0$$

Burada, ϕ_z ile ϕ' nin z' e göre kısmi türevinden bahsedilmektedir.

5. Cisim üzerindeki kinematik koşul:

$$\partial \phi / \partial n_Q + V_\infty \cdot n = 0$$

Burada $\partial / \partial n_Q$, Q noktasındaki normal türevi, n ise birim normal vektörü göstermektedir.

6. Çözümün tekliğini sağlayabilmek için hidrofoil izler kenarı üzerinde Kutta koşulunun sağlanması gerekir. Yani

$$P_{te^+} = P_{te^-}$$

Burada P_{te^+} ve P_{te^-} izler kenarın üst ve altında oluşan basınç değerlerini göstermektedir.

Üç boyutlu hidrofoil yüzeyi, iz yüzeyi, serbest su yüzeyi, silindirik yanal yüzey ve yatay deniz tabanı yüzeyinden oluşan bir S sınır yüzeyini düşünelim. Pozitif x eksenini doğrultusunda V_∞ hızı ile akan daimi ve düzgün akım içinde duran hidrofoil nedeniyle akımdaki bozulmayı temsil eden hız potansiyeli herhangi bir $P(x,y,z)$ noktasında, Green teoremi ve Green fonksiyonu yardımıyla, S yüzeyi üzerinde alınmış duble ve kaynak dağılımıyla şu şekilde gösterilebilir.

$$4\pi E(P)\phi(P) = \iint_S \phi(Q) \frac{\partial G(Q;P)}{\partial n_Q} dS(Q) - \iint_S G(Q;P) \frac{\partial \phi(Q)}{\partial n_Q} ds(Q)$$

burada:

$$E(P) = \begin{cases} 0, & P(x,y,z) \text{ noktası } S \text{ yüzeyi içinde ise,} \\ 1/2, & P(x,y,z) \text{ noktası } S \text{ yüzeyi üzerinde ise,} \\ 1, & P(x,y,z) \text{ noktası } S \text{ yüzeyi dışında ise,} \end{cases}$$

Burada, $Q=Q(x_9,y_9,z_9)$ S yüzeyi üzerinde herhangi bir nokta (tekillik noktası), G ise hareketin Green fonksiyonudur.

Birtakım kabuller ve kısaltmalar yapıldıktan ve Kutta koşullunun kullanılması yani iz yüzeyindeki herhangi bir akım hattı boyunca hız potansiyeli sıçramasının sabit ve hidrofoil izler kenar üzerindeki değerine eşit olarak kabul edilmesi ($\Delta\phi = \phi^+ + \phi^- = \Delta\phi_{TE}$), ile su yüzeyini yırtmayan üç boyutlu hidrofoil için denklem şu şekilde oluşur.

$$\phi(P) = \frac{1}{2\pi} \iint_{S_B} [\phi(Q) \frac{\partial G(Q;P)}{\partial n_Q} + V_\infty n_x(Q).G(Q;P)] dS(Q) + \frac{1}{2\pi} \iint_{S_w} \Delta\phi_{TE}(Q') \frac{\partial G(Q';P)}{\partial n_{Q'}} dS(Q')$$

Bu denklemle, istenen şekildeki herhangi bir hidrofoil için sayısal olarak çözüm elde edilebilir.

Bu integral denklemin uygun bir çözümünü elde edebilmek için, hidrofoil ve iz yüzeyi sonlu sayıda dörtgen hiperboloidal panellere bölünmüştür. Her bir panel üzerinde ϕ_j , $\Delta\phi_{TEj}$ ve $(V_\infty n_x)_j$ ' nin sabit kaldığı ve bunların panelin merkezindeki değerlerine eşit olduğu kabul edilir.

Green fonksiyonundaki, dalga terimlerinin hesabı için de basit kesirlere açılım metodu kullanılmıştır. Bununla birlikte, uzak etkiye katsayılarının formülasyonu içinde, noktasal kaynak ve duble formülasyonundan yararlanılmış, bunun içinde t panelin herhangi bir maksimum boyutu olmak üzere $r/t > 5$ kriteri kullanılmıştır. Bu bilgisayar hesaplama zamanından da kazanç sağlamıştır. Ayrıca hidrofoilin y eksenine göre simetrisinden de yararlanılmıştır.

Ayrıca iz yapısı da şöyle oluşmaktadır. Aerodinamikten bilindiği gibi, iz yüzeyi üzerinde normal kuvvet dağılımı sıfır olmalıdır. Bunun için $z=0$ düzlemi kullanılmıştır. Buna göre denklem hız potansiyelini elde edilmek için çözülmüş ve bunun içinde $P(x,y,z)$ ' ye göre gradyenini almak yeterlidir.

$$V(P) = \nabla_p \phi(P) = \frac{1}{4\pi} \iint \phi(Q) \left[\nabla_p \frac{\partial G(Q;P)}{\partial n_Q} \right] dS(Q) + \frac{1}{4\pi} \iint U_\infty n_x(Q) [\nabla_p G(Q;P)] dS(Q) + \frac{1}{4\pi} \iint \Delta\phi_{TE}(Q') + \frac{1}{4\pi} \iint \Delta\phi_{TE}(Q') \left[\nabla_p \frac{\partial G(Q;P)}{\partial n_{Q'}} \right] dS(Q')$$

İz üzerindeki paneller hız vektörü boyunca uzanır ve iz yüzeyindeki hızlar ve geometrisinin hesaplamak için hız potansiyelinin dağılımı tekrar değerlendirilir. Bu işlem hız potansiyelinin dağılımı yeterli küçüklüğe ulaşana kadar devam eder.

Hidrofoil üzerindeki hız ve basınç dağılımını hesaplamak için, potansiyel noktalarından 2. derece bir polinom geçirilmiş ve hız değerleri için bunun sayısal türevi kullanılmıştır. Akışkanda sonsuzdaki atmosferik basınç p_0 ve yoğunluk ρ olduğuna göre hidrofoil yüzeyi üzerindeki basınç ve basınç katsayısı Bernoulli denkleminde

$$p(P_i) = p_0 + \frac{1}{2} \rho (V_\infty^2 - V_i^2)$$

$$C_p(P_i) = \frac{p(P) - p_0}{\frac{1}{2} \rho V_\infty^2}$$

olarak bulunabilir. Hidrofoile ait toplam kaldırma ve direnç kuvvet bileşenleri de,

$$C_L(P_i) = -C_p(P_i)n_{zi} \quad C_d(P_i) = -C_p(P_i)n_{xi}$$

bağıntılarından yararlanarak bulunabilir.

3.2.2. Sayısal Yöntemle Yelkenli Teknenin Geometrisinin Oluşturulması

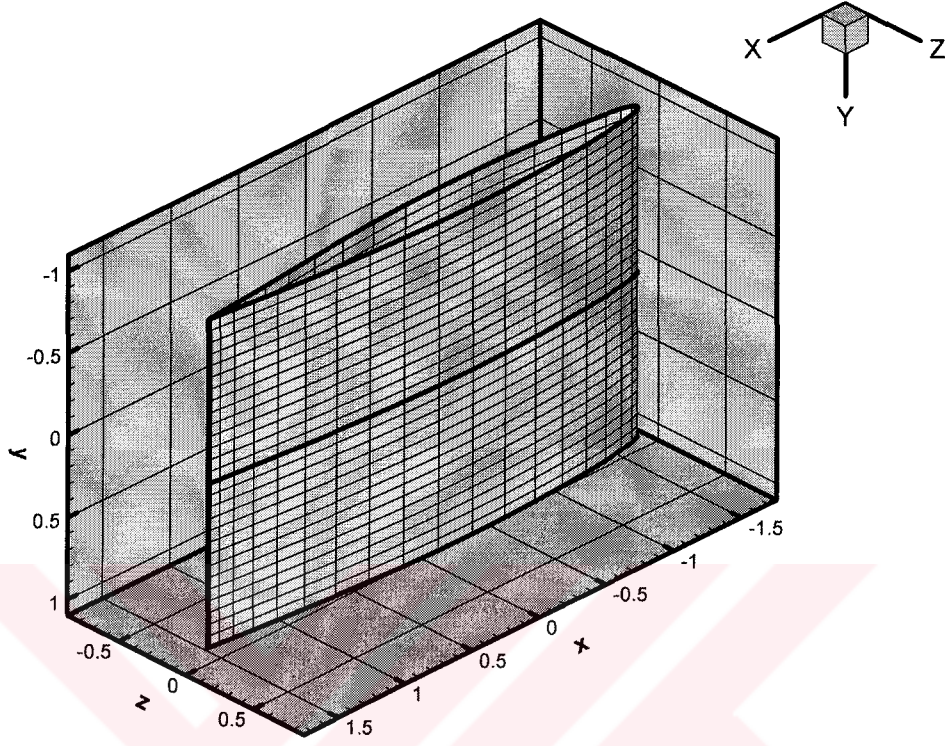
Yelkenli yatın sayısal yöntemle karakteristiklerinin hesabında kullanılan program aslında üç boyutlu kanat profilleri için yapılmıştır. Dolayısıyla bu bir yat formuna dönüştürülmüştür. Ayrıca programın uygun olmayan panelleme için kırılmaya uğrayabildiği, göz önünde bulundurulmalıdır.

Şekil 3.1’de gösterilen hidrofoilin, tekne formuna dönüşümü öncelikle kabataslak olarak düşünüldü. Bunun için akımın geliş yönü ve iz oluşumu göz önüne alınarak hidrofoilin giriş boyu (chord) teknenin su hattı boyu olarak, yüksekliği de (span) teknenin derinliği olarak ele alındı. Görüldüğü üzere hidrofoil y eksenine doğrultusunda D boyunda ve +1 ile -1 aralığında yüksekliğe (span) boyuna sahiptir. Veri girişi D boyunca 0 ile +1 aralığı arasında olmakta daha sonra program oluşan kısmın yansımalarını almakta ve böylece işlem yapmaktadır. Yani oluşturulan tekne formunun yansımasıyla birlikte karakteristikler hesaplanmakta, dolayısıyla istenilen sonuçta iki katı olarak çıkmaktadır. Bu sebeple C_L ve C_d katsayılarının yarısı dikkate alınmıştır. Teknenin oluşumunda bahsettiğimiz panel sistemi içerisinde tekne boyunca 40 (2x20) ve derinliğine 14 panel sayısı alınmıştır. Yani 560 adet panel üzerinde hesaplama yapılmaktadır. Derinliğine panel sayısının 14 alınması, 15 kesitte (su hattında) veri girişi yapılabileceği anlamına gelmektedir. Bu kesitlerde yatın boyunun, yarı genişliklerin ve diğer değişkenlerin kontrolü kolaylıkla yapmak için R uzunluğu (D/2), 1br olarak ele alınmış buna göre dağılım yapılmıştır. Bununla birlikte derinliğin 1br olarak sabit bir değer olması, diğer değişkenlerin saptanmasında da esas alınmasına sebep olmuştur. Yani gerçek yat üzerinde 3m olan yatın draftı, 1br olarak değerlendirilmiş buna göre sayısal boyutta oluşan diğer uzunluklarda şu şekilde oluşmuştur;

Loa	:	6.67 m
Lwl	:	5.56 m
B	:	1.75 m
Bwl	:	1.533 m

Th : 0.333 m

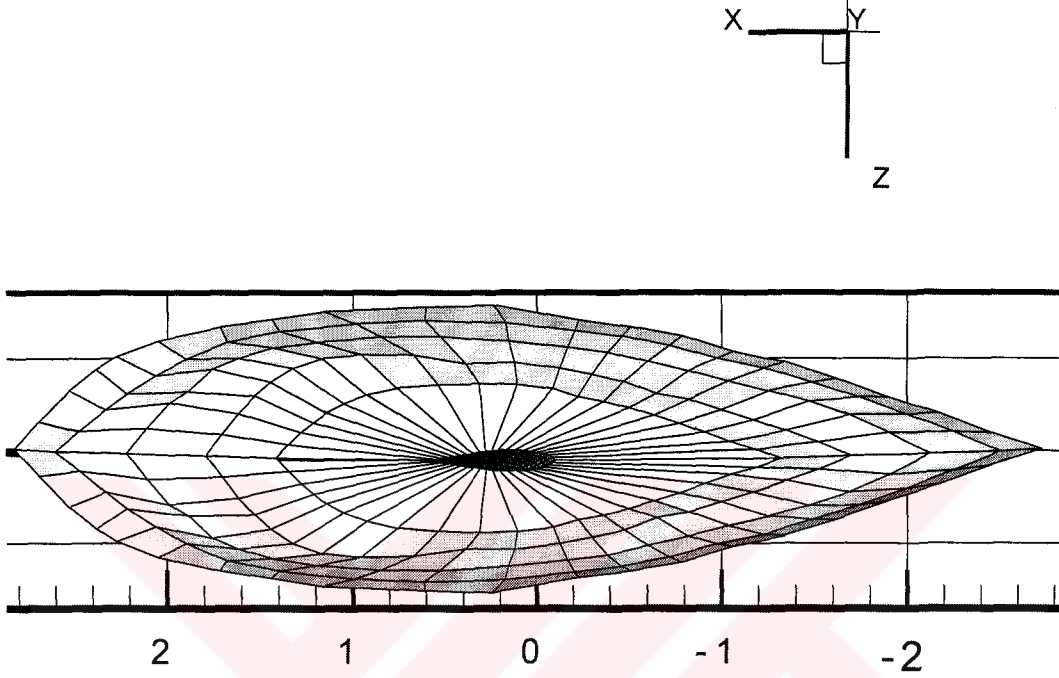
Th : Salmasız su çekimi



Şekil 3. 1 Basit bir hidrofoil yapısı.

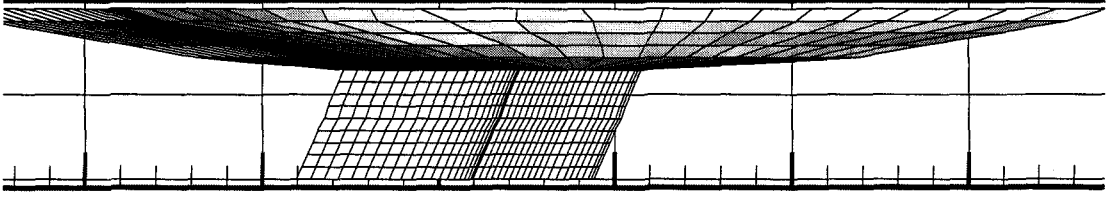
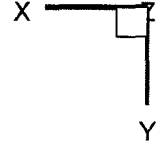
Aynı şekilde her bir kesit için belirlenen boyların sayısal sisteme uyarlanması aynı orana göre yapılmıştır. Ayrıca yarı genişlikler yazılırken 20 noktada veri yapılmıştır. Bunun panel sayısına göre 21 olmamasının sebebi 0 noktasını programın kendisinin başlangıç noktası olarak otomatikman almasıdır. Yine bu değerlerin de oranlı bir şekilde girişi yapılmıştır. Ayrıca tek bir taraf için değerler girilmekte ve program simetrisini alarak tekne formu sağlanmaktadır. Yine, 15 kesit için 20 değer saptanması ve bunun programa uyarlanması esnasında yapılacak bir hata programın çalışmasını engellemektedir. Bu değerlerin elde edilmesinde bir bilgisayar destekli tasarım programı kullanılmış, her bir kesit tek tek çizilmiş ve ölçüm yapılmış daha sonra programa aktarılmıştır. Burada en önemli nokta, tekne gövdesinden salmaya geçiş esnasında olan boy kısalmasıdır. Bu, bazı salmalar özellikle geçiş bölümü küçük olanlar için programın kırılmasına sebep olabilir.

Bununla birlikte yat formunun elde edilmesinde kullanılan değişkenlerin hepsi D ye bölünmüş olarak boyutsuz verilerle yapılmaktadır. Örneğin boy (D), 2 birim olduğu için 5.56 yerine 2.78 olarak yazılarak elde edilmiştir. Aynı şekilde diğerleri de bu şekilde bir dönüşüme uğramıştır. Yine, program değerleri



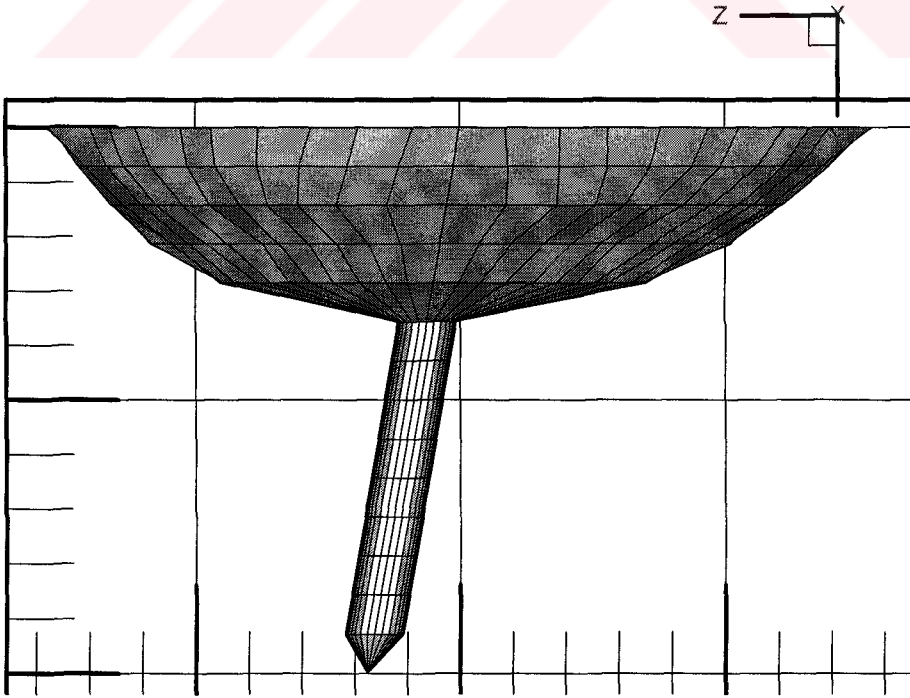
Şekil 3.2 Teknenin üstten görünüşü

0 (sıfır) merkez kabul ederek değerlerin simetrisini almaktadır, örneğin boy 2.78 ile – 2.78 arasında oluşmaktadır (Şekil3.2). Bu salma kısmında problem yaratmaktadır. Çünkü salmalar her zaman tekne merkez hattına göre simetrik yapıda oluşmaz. Bu sebeple kaydırma (rake) değeri ile kıça doğru belirlenen oranda salmanın kaydırılması yöntemiyle sorunun aşılması sağlanmıştır (Şekil3.3). Ayrıca program bazı durumları ne yazık ki salma ucunun düz olması esnasında çalışmamış bu sebeple altta birleştiği kabulü yapılmıştır. Bu, sonuçların elde edilmesinde fazla bir değişime sebep olmadığı, her iki durum için de, program çalıştığı zaman, karşılaştırma yapılarak ortaya çıkmıştır. Diğer yandan formu oluşturduktan sonra değişik tekne pozisyonları için inceleme yapılması da önemli bir durumdur. Sürüklenme açısı ve meyil açısına göre inceleme yapacağımıza göre bu koşulları elde etmek gerekir. Bunun için de hidrofoil yapısı incelenirken kullanılan hücum açısı değeri zaten sürüklenme açısına tekabül etmektedir.



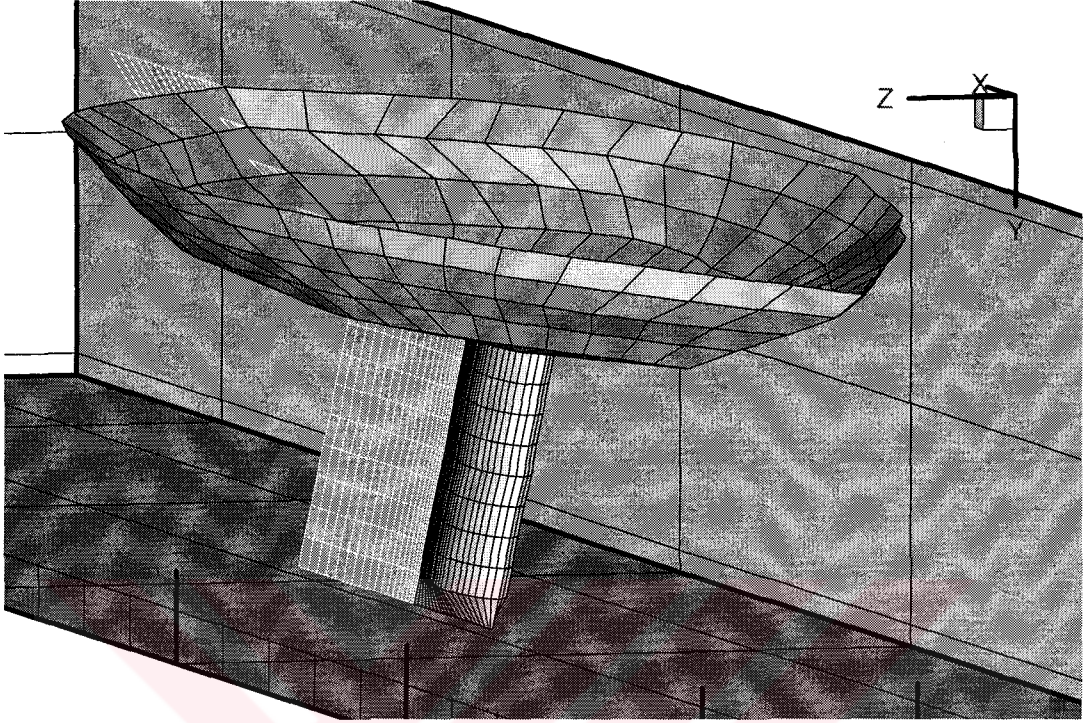
Şekil 3. 3 Teknenin yandan görünüşü.

Meyil açısının elde edilmesi ise biraz daha zordur. Bu amaç için çalıklık (skew) durumundan yararlanılmış, her bir kesit noktasının meyil miktarı istenen açı için saptanmış ona göre CAD programında çizilmiş ve orantı yapılmış ve programa konulmuştur(Şekil 3.4). Bazı açılar ($15-20^\circ$ derece arası) için bu durumun elde edilmesine program ne yazık ki olanak vermemektedir.

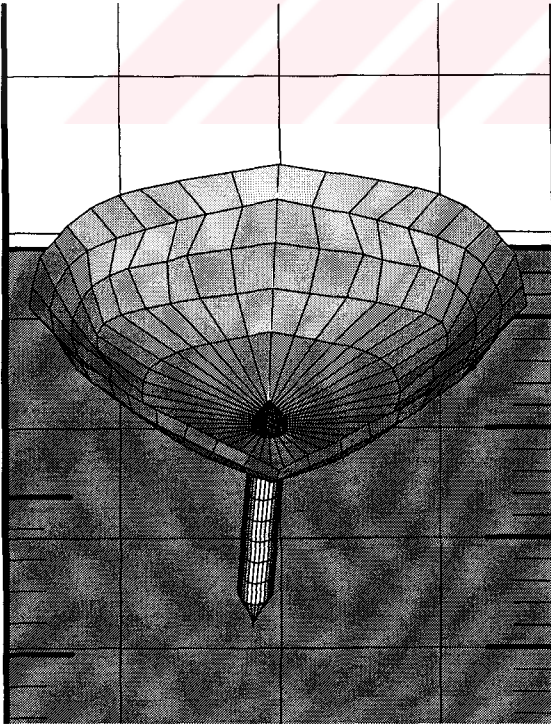


Şekil 3. 4 Teknenin 10 derece meyilli durumdaki hali (14x20'lik panel durumu).

Sayısal yöntemle elde edilen tekne formu değişik açılarla gösterilmiştir (şekil3.5), (şekil(3.6).



şekil 3.5 Teknenin iskele üst taraftan görüntüsü (14x20'lik panel durumu).

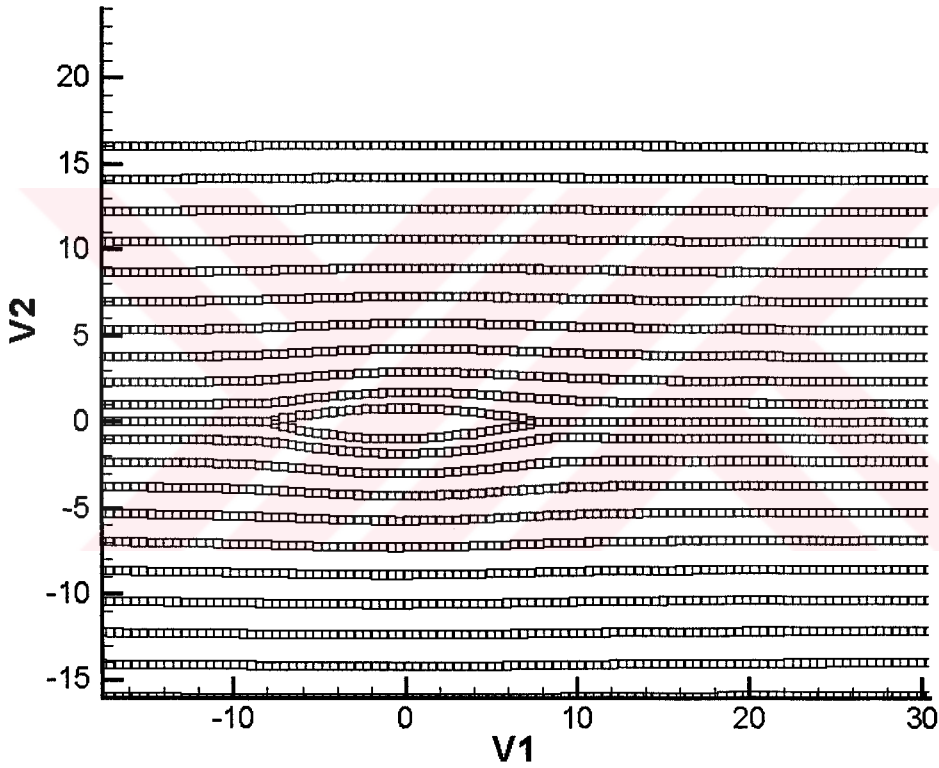


şekil 3. 6 Teknenin ön üstten görüntüsü (14x20'lik panel durumu).

3.2.3 Sayısal Yöntem İçin Parametrik Çalışma

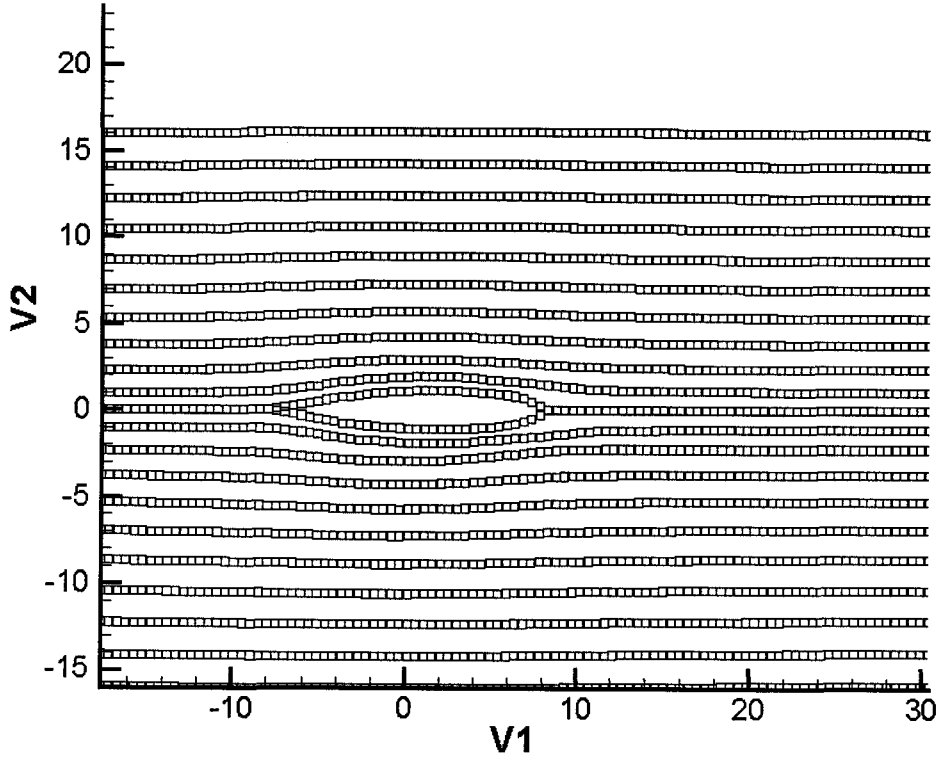
Diğer yöntemlerle karşılaştırma yapmadan önce, sayısal yöntemde bir takım değişik durumlar için parametrik bir çalışma yapıp, hidrofoil hesabından dönüştürülen programın, kendi içerisinde tutarlılığı araştırılmalıdır. Program içerisinde yüzey veya formun panel sayısını değiştirerek, yüzey hattının bulunduğu, yani yüzeyin yırtıldığı noktayı değiştirerek veya yüzey panellemesi üzerinde değişik durumlar incelenerek farklı sonuçlar elde edilebilir.

Öncelikle, ilk durumda varolan ve wigley olarak adlandırılan yüzey panellemesi dosyasıyla oynayarak durum karşılaştırması yapılmaktadır. Şekil 3.7’de ilk durumdaki yüzey panellemesi mevcuttur.



Şekil 3.7 ilk durumdaki yüzey panelleme durumu.

Teknenin su hattı kesitine göre yapılan değişiklikler sonucunda yüzey panellemesi elde edilmiştir (Şekil 3.8).



Şekil 3.8 Kullanılan tekne yapısına göre oluşturulan yüzey panellemesi.

Elde edilen durumlar meyil 5° ve sürüklenme açısı 0° için şu şekildedir (Tablo 3.1, Tablo 3.2).

Tablo 3.1 İlk durumdaki yüzey panellemesinden elde edilen sonuçlar.

Meyil:5 sür:0		
Fn	Cl	Cd
0.16	-0.0024	0.007
0.24	-0.0026	0.0075
0.32	-0.0046	0.0085
0.4	-0.0061	0.0085

Tablo 3.2 Kullanılan tekne yapısına göre yüzey panellemesinden elde edilen sonuçlar.

Meyil:5 sür:0		
Fn	Cl	Cd
0.16	-0.0026	0.007
0.24	-0.0027	0.0072
0.32	-0.0037	0.0079
0.4	-0.0049	0.008

Görüldüğü gibi Cl değerleri için düşük Fn sayılarında ters yönde bir artış, yüksek Fn sayıları için ise bir azalış söz konusudur. Cd değerlerinde ise bir azalış gözlenmektedir.

İkinci olarak yüzey panellemesinin bulunduğu yere göre yapılan değişikliklerle elde edilen durumlar karşılaştırılmıştır. Burada yüzey yırtılma (surface piercing) dosyası içerisinde değişiklikler yapılmaktadır. Önceki durumlarda yüzeyin 1.1 noktasında oluşan değerlerin hesabı yapılmaktaydı. Aşağıda 1.05, 1.01, ve 1.00 noktaları için sırasıyla değerler bulunmaktadır (Tablo3.3, Tablo3.4, Tablo3.5).

Tablo 3.3 1.05 noktasına göre elde edilen sonuçlar.

Meyil:5 sür:0		
Fn	Cl	Cd
0.16	-0.0028	0.007
0.24	-0.0027	0.007
0.32	-0.0026	0.007
0.4	-0.0027	0.0072

Tablo 3.4 1.01 noktasına göre elde edilen sonuçlar.

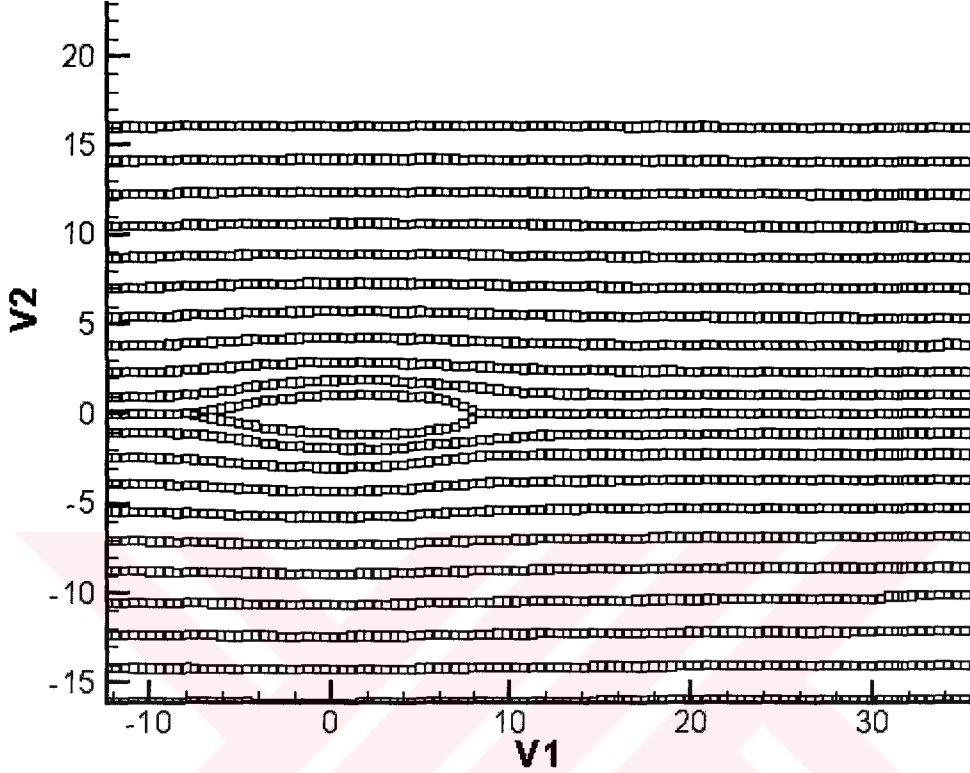
Meyil:5 sür:0		
Fn	Cl	Cd
0.16	-0.0027	0.007
0.24	-0.0027	0.007
0.32	-0.0026	0.007
0.4	-0.0026	0.0072

Tablo 3.5 1.00 noktasına göre elde edilen sonuçlar.

Meyil:5 sür:0		
Fn	Cl	Cd
0.16	-0.0027	0.007
0.24	-0.0027	0.007
0.32	-0.0026	0.007
0.4	-0.0026	0.0072

Görüldüğü gibi elde edilen tablolar sonucunda 1.1'den 1.0'a doğru gidildikçe oluşan değerlerin düşük Fn sayıları için fazla bir değişim olmadığı, fakat yüksek Fn sayıları için ise bir azalma olduğu gözlenmektedir. Ayrıca 1.0 noktasına yaklaştıkça, Fn sayısına göre değişimin fazla olmadığı da gözlenmektedir.

Üçüncü olarak ta yüzey panellemesi yaparken teknenin başlangıç noktasının yeri daha ön tarafa doğru çekilip durum karşılaştırması yapılmaktadır. Şekil 3.8’de son yüzey panellemesi görülmektedir. Şekil 3.9’de öne çekilmiş hali gözükmemektedir.



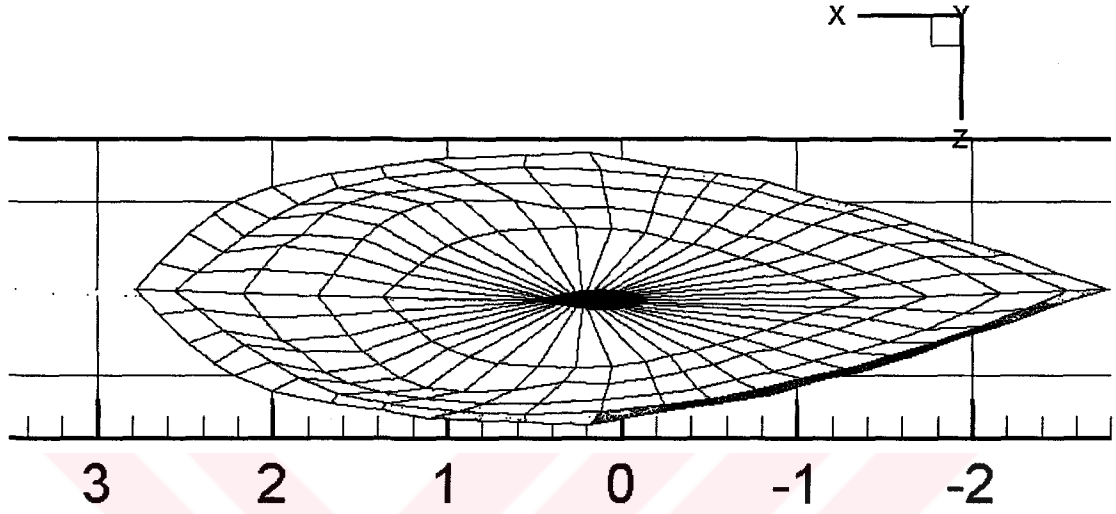
Şekil 3.9 Yüzey panellemesinde tekne yapısının öne çekilmiş hali.

Tablo 3.6 1.00 noktasına yüzey panellemesinde tekne yapısının öne çekilmesiyle elde edilen sonuçlar.

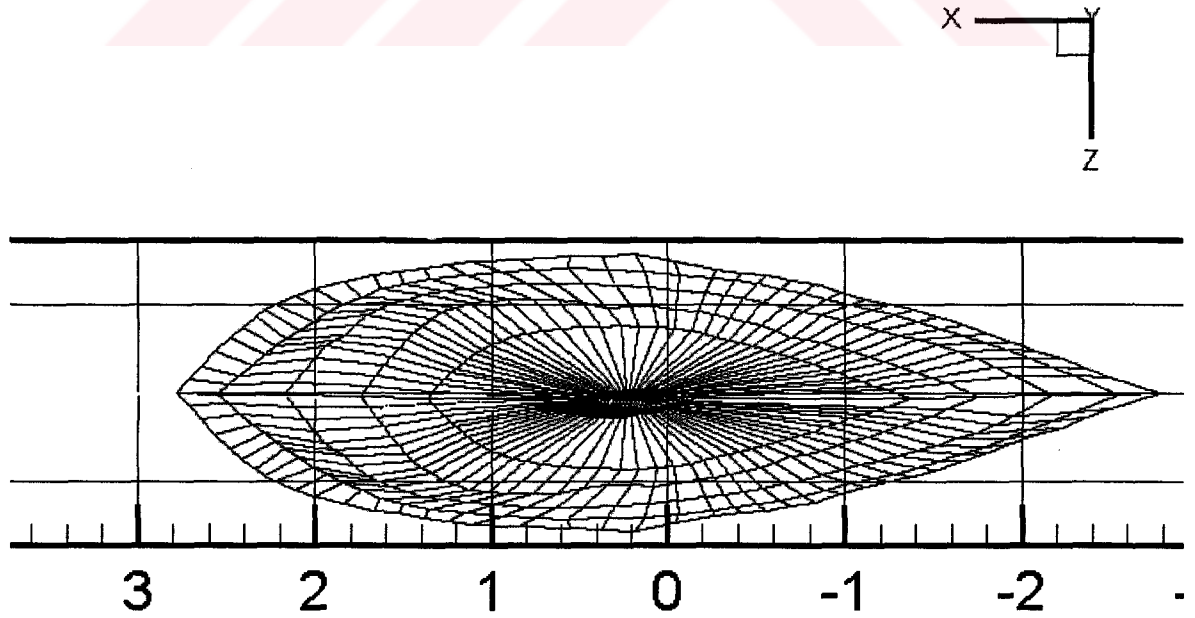
Meyil:5 sür:0		
Fn	Cl	Cd
0.16	-0.0027	0.007
0.24	-0.0027	0.007
0.32	-0.0026	0.007
0.4	-0.0026	0.0072

Tablo3.5 ve Tablo3.6’den da anlaşılacağı üzere, yüzeyin üzerinde tekne yapısının öne çekilmesiyle elde edilen, bu tür bir değişim sonuç üzerinde bir değişikliğe sebep olmamaktadır.

Son olarak, form yapısı üzerindeki panel sayısı 14x20'den 14x39'a çıkartınca elde edilen değişim incelenmiştir. Böylece daha fazla panel sayısı ile form yapısını inceleme olanağı bulunmaktadır. şekil 3.10'da ilk durumdaki panel sistemidir. şekil 3.11'de arttırılmış şekli görülmektedir.



şekil 3.10 14x20'lik panel sistemine göre form yapısı.



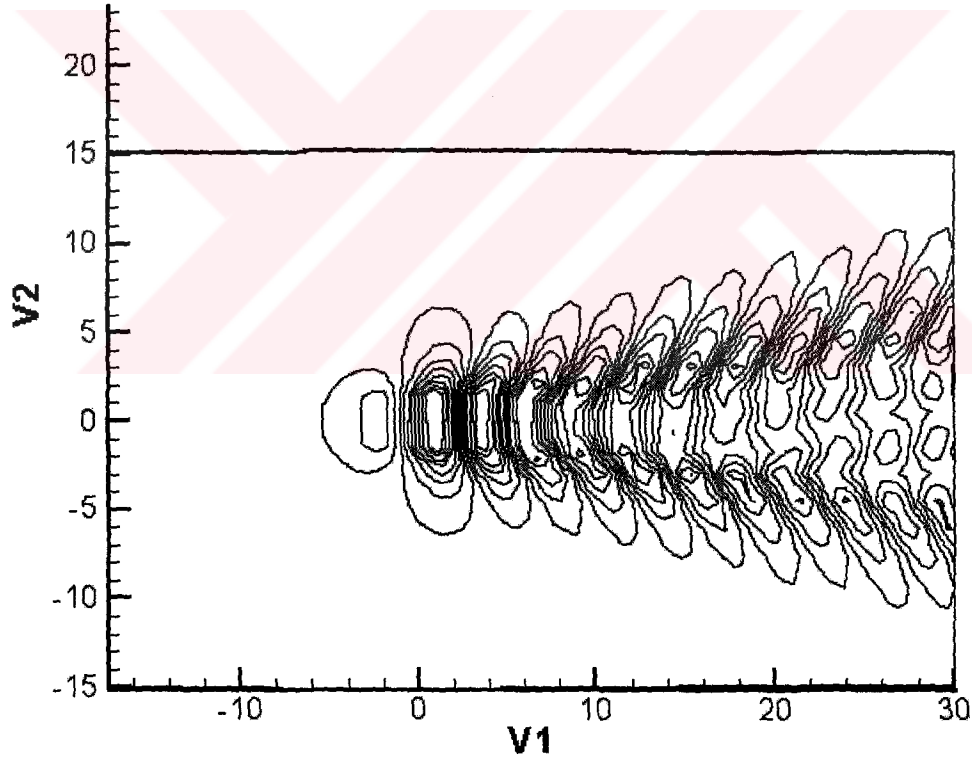
şekil 3.11 14x39'luk panel sistemine göre form yapısı.

Tablo 3.7 14x39'luk panel sistemine göre elde edilen değerler.

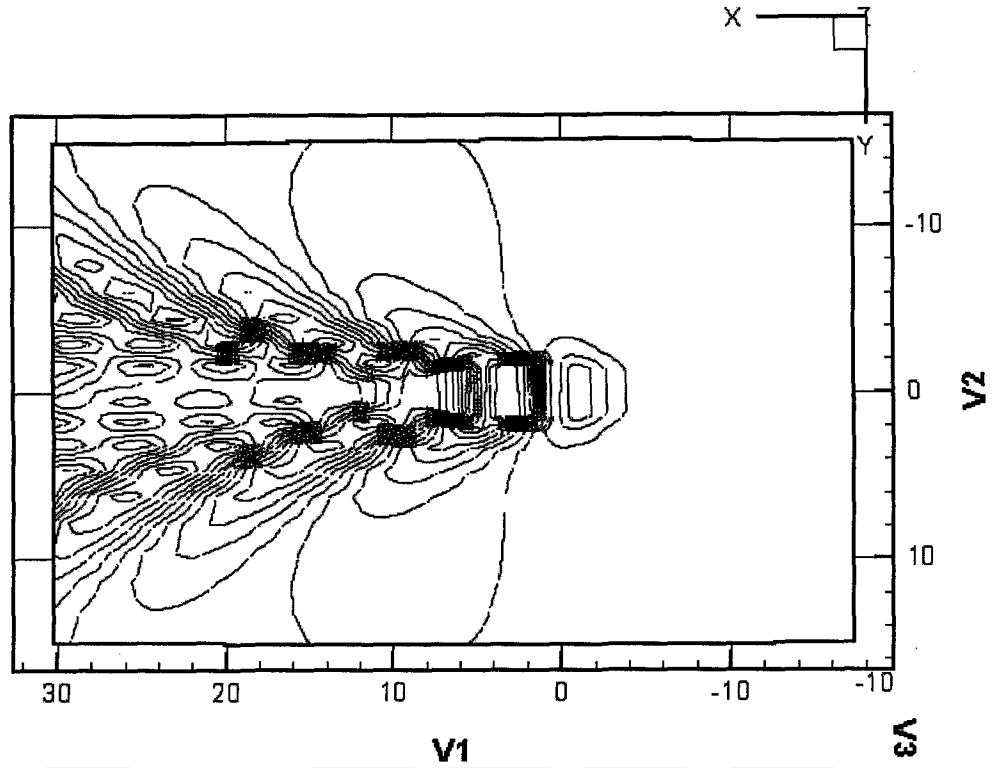
Meyil:5 sür:0		
F _n	C _l	C _d
0.16	-0.0025	0.0059
0.24	-0.0025	0.0059
0.32	-0.0024	0.0059
0.4	-0.0024	0.0061

Tablo 3.7 ve Tablo 3.6'ya bakarak da elde edilen değerler karşılaştırıldığında panel sayısının artışıyla, direnç katsayısı ve yan kuvvet katsayısı değerlerinde bir azalma gözlenmektedir.

Bu karşılaştırmalarla birlikte değişik Froude sayıları için elde edilen eş dalga (wave contour) eğrileri aşağıda görülebilir. (şekil 3.12, şekil 3.13)



şekil 3.12 sp(1.01) ve F_n:0.4 için eş dalga eğrisi.



Şekil 3.13 sp(1.1) ve $F_n:0.4$ için eş dalga eğrisi.

Sonuçta, 14x20'lik panel yapısındaki form yapısına, 1.1 noktasındaki ve tekne su hattına göre oluşan yüzey panellemesine göre elde edilen sonuçlar karşılaştırmada kullanılmıştır.

3.3 Ampirik Yöntemle Hidrodinamik Karakteristiklerin İncelenmesi

Bu yöntem P.V. Oossanen tarafından hidrodinamik direnç ve tekne, salma, trim tab, dümen yelpazesi ve skeg üzerinde olan yan kuvvetin ve direncin hesaplanması için bir takım ampirik katsayılar kullanılarak yaklaşık formüllerle incelenmesini içerir. Fakat yapılan uygulamada kullanılan tekne trim çıkıntısı (trim tab) ve skeg içermemektedir. Dolayısıyla hesaplama yaparken bunların etkisi katılmamıştır. Bu yöntemin kullanılmasındaki amaç diğer yöntemlerden elde edilen sonuçlarla karşılaştırarak bir fikir vermesini sağlamaktır.

3.3.1 Hidrodinamik Yan Kuvvetin Hesaplanması

Salmadaki yan kuvvetin hesaplanması:

$$L_k = \frac{1}{2} \rho V_B^2 \frac{\partial C_{Lk}}{\partial \beta} \lambda A_k \cos \theta$$

- L_k : salmanın yan kuvveti
 ρ : deniz suyunun yoğunluğu
 V_B : tekne hızı
 λ : sürüklenme açısı
 $\frac{\partial C_{Lk}}{\partial \lambda}$: yan kuvvet eğrisinin eğimi
 A_k : salmanın yanal alanı
 θ : meyil açısı

Salmanın geometrik yan oranı:

$$AR_{geo_k} = \frac{b_k}{c_k}$$

- b_k : salmanın yüksekliği (span)
 c_k : salmanın giriş boyu (chord)

Salmanın efektif yan oranı:

$$AR_k = \frac{2b_k}{c_k} = \frac{2b_k^2}{A_k},$$

mevilli durumda iken ise ; $AR_k = \frac{2b_k^2}{A_k} \cos \theta = \frac{2(T_k - T_{hk})^2 \cos \theta}{A_k}$

- T_k : salmanın uç kısmına kadar ki draft
 T_{hk} : su hattından salma başlangıcına kadar olan kısım

Üç boyutlu yan kuvvet eğrisi eğimi şu şekilde bulunur:

$$\left(\frac{\partial C_{Lk}}{\partial \beta} \right)_{kare} = \frac{2\pi a_{ok} AR_k}{2a_{ok} + \cos \Lambda_k \sqrt{AR_k^2 / \cos^4 \Lambda_k + 4}}$$

- a_{ok} : salmanın iki boyutlu kesit şekline bağlı yan kuvvet eğim faktörü
 Λ_k : salmanın yatıklık açısı

Yuvarlak hatta sahip yan görünüşlü ve yuvarlak hatlı yanal kenarlar için ise şu dönüşüm yapılmaktadır :

$$\left(\frac{\partial C_{L_k}}{\partial \lambda}\right) = (1 + \Delta b/b)^2 \left(\frac{\partial C_{L_k}}{\partial \lambda}\right)_{\text{kare}}$$

Tablo 3.8 Efektif yükseklik (span) oranı için değerler.

Yan Görünüş	Yanal Köşeler	$\Delta b/b$	$(1+\Delta b/b)^2$
Dikdörtgen	Keskin	0	1.0
Eliptik	Keskin	-0.04	0.92
Dikdörtgen	Yuvarlak	-0.09	0.83
Yuvarlak hatlı	Yuvarlak	-0.12	0.78
Delta tip	Yuvarlak	-0.12	0.78

Kullanılan salma tipi için $(1+\Delta b/b)^2$ oranı 0.78 olarak alınmıştır (Tablo 3.8).

b : salma yüksekliği,
 Δb : yüksekliğin efektif azalması

Salmanın iki boyutlu kesit şekline bağlı yan kuvvet eğim faktörü ise aşağıdaki formülle elde edilir:

$$a_{o_k} = \frac{\left(\frac{dC_L}{d\alpha}\right)_{\alpha=0}}{2\pi} = 1 + 0.82(t/c)_k - \tan \tau_{T_k} \left(\frac{0.117}{(t/c)_k} + 3.2(t/c)_k + 3.9(t/c)_k^2 \right)$$

burada:

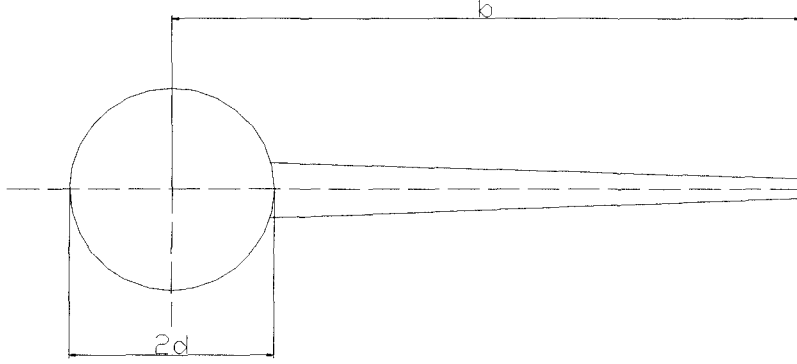
$\left(\frac{dC_L}{d\alpha}\right)_{\alpha=0}$: sıfır hücum açısında iki boyutlu yan kuvvet eğimi

$(t/c)_k$: kalınlık-kiriş boyu (chord) oranı

τ_{T_k} : omurga kesit şeklinin (profil) izler kenardaki yarı açısı

Bütün bu değerler hesaplanıp (1)'de yerine konarak sadece salma için yan kuvvet hesaplanır. Bunun dışında hidrodinamik yan kuvvetin hesabında, tekne ile salma arasındaki etkileşimde dikkate alınır. Bu etkileşim aerodinamikteki gövde kanat

arasındaki durum ile benzerlik taşımaktadır. Buna göre gövde çapı kanat uzunluğu oranı uçaklar için $\sigma = d/b$ ise, şu formülleri yazarız. (Şekil 3.14)



Şekil 3.14 Uçaklardaki gövde-kanat yapısı.

$$\Delta L = \sigma L_k$$

$$\Delta L_h = \sigma(1 + \sigma)L_k$$

burada:

ΔL_k : tekmeden gelen akım yüzünden salma üzerindeki yan kuvvet artışı

ΔL_h : salma yüzünden tekne üzerindeki yan kuvvet artışı

L_k : sadece salmadan kaynaklanan yan kuvvet

σ : tekne draftı salma derinliği oranı ($= T_{hk} / T_k$)

T_{hk} : tekne draftı

T_k : salma derinliği

$$L_{Tk} = L_k + \Delta L_k + \Delta L_h = (1 + \sigma)^2 L_k$$

$$L_{Tk} = \frac{1}{2} \rho V_B^2 \frac{\partial C_{L_k}}{\partial \lambda} \cdot \lambda \left(1 + \frac{T_{hk}}{T_k}\right)^2 A_k \cos \theta$$

Dümen üzerindeki yan kuvvetin hesaplanması :

$$L_{Tr} = \frac{1}{2} \rho (0.8 V_B)^2 \frac{\partial C_{L_r}}{\partial \lambda} (\lambda + \delta_r) \left(1 + \frac{T_{hr}}{T_r}\right)^2 A_r \cos \theta$$

$$\frac{\partial C_{L_r}}{\partial \lambda} = \frac{2\pi\pi_o AR_r (1 + \Delta b/b)^2}{2a_o + \cos \Lambda_r \sqrt{AR_r^2 / \cos^4 \Lambda_r + 4}}$$

$$a_{or} = 1 + 0.82(t/c)_r - \tan \tau_{Tr} \left(\frac{0.117}{(t/c)_r} + 3.2(t/c)_r + 3.9(t/c)_r^2 \right)$$

burada:

$$AR_r = \frac{2(T_R - T_{hr})^2 \cos \theta}{A_r} \quad T_{hr} > 0$$

$$AR_r = \frac{T_r \cos \theta}{c_r} \quad T_{hr} < 0$$

Tekne üzerindeki yan kuvvetin hesaplanması:

$$L_{Th} = \frac{1}{2} \rho V_B^2 \frac{\partial C_{Lh}}{\partial \lambda} \lambda A_h \cos \theta$$

$$\frac{\partial C_{Lh}}{\partial \lambda} = 0.78 \left(\frac{\pi}{2} AR_h + 1.8 \lambda \right)$$

$$L_{Th} = \frac{1}{2} \rho V_B^2 0.78 (\pi T_h^2 \cos \theta + 1.8 A_h \lambda) \lambda$$

Toplam yan kuvvet değeri şöyle oluşur:

$$L = L_{Tk} + L_{Tr} + L_{Th}$$

3.3.2 Hidrodinamik Direncin Hesaplanması

Viskoz direnç hesabı.

$$R_v = C_{Fh} \frac{1}{2} \rho V_B^2 S_h + C_{Fk} (1 + k_k) \frac{1}{2} \rho V_B^2 S_k + C_{Fr} (1 + k_r) \frac{1}{2} \rho (0.8 V_B)^2 S_r$$

burada:

Sürtünme direnci katsayısı:

$$C_{h,k,r} = \frac{0.075}{(\log_{10} Rn_{h,k,r} - 2)^2} - \frac{1800}{Rn_{h,k,r}}$$

tekne ıslak yüzey alanı:

$$S_h = L_{WL} (2T_h + B_{WL}) C_m^{0.5} (0.453 + 0.4425 C_{Bh} - 0.2862 C_m - 0.003467 B_{WL} / T_h + 0.3696 C_{wp})$$

L_{WL} : su hattı boyu

B_{WL} : su hattı genişliği

C_m : orta kesit katsayısı

C_{Bh} : tekne blok katsayısı

C_{wp} : su hattı yüzey katsayısı

Salma ıslak yüzey alanı

$$S_k = 2(T_k - T_{hk})\overline{c_k}$$

$\overline{c_k}$: salma ortalama kiriş (chord) boyu

Dümen ıslak yüzey alanı:

$$S_r = 2(T_r - T_{hk})\overline{c_r}$$

$\overline{c_r}$: dümen ortalama kiriş (chord) boyu

Salma form faktörü:

$$k_k = 1.2(t/c)_k + 70(t/c)_k^4$$

Dümen form faktörü:

$$k_r = 2(t/c)_r + 60(t/c)_r^4$$

Dalga direncinin hesaplanması sırasında ise bir takım aşağıdaki sınırlandırmalar mevcuttur.

- su hattı boyu 8 ile 80 m arasında olacak
- deplasman hacmi 5 ile 3000 m³ arasında olacak
- L/B oranı 3 ile 6.2 arasında olacak
- B/T oranı 1.9 ile 4 arasında olacak
- C_p katsayısı 0.5 ile 0.73 arasında olacak
- C_m katsayısı 0.7 ile 0.97 arasında olacak
- LCB -% 7L ile +%2.8 arasında olacak

Y.C. YÜSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

- Su hattı yarı giriş açısı 10 derece ile 46 derece arasında olacak

Bununla birlikte bu kıstasların dışına çıkılması daha az önemli elemanlar için çok fazla olmadığı sürece çıkılabilir.

$$\frac{R_R}{\Delta} = C_1 e^{-1/9 m F n^{-2}} + C_2 e^{-m F n^{-2}} + C_3 e^{-m F n^{-2}} \sin F n^{-2} + C_4 e^{-m F n^{-2}} \cos F n^{-2}$$

$$m = 0.1453 C_p^{-2.198}$$

$$C_{1,2,3,4} = a_0 + a_1 LCB + a_2 LCB^2 + a_3 C_p + a_4 C_p^2 + a_5 L/B + a_6 (L/B)^2 + a_7 C_{WL} + a_8 C_{WL}^2 + a_9 B/T + a_{10} (B/T)^2 + a_{11} C_m$$

$$C_{WL} = i_E L/B$$

Tablo 3.9 C_1, C_2, C_3 ve C_4 değerleri için katsayıların değerleri.

a_i	$C_1 \times 10^3$	$C_2 \times 10^3$	$C_3 \times 10^3$	$C_4 \times 10^3$
a_0	79,321	6714,9	-908,44	3012,1
a_1	-0,09287	19,830	2,5270	2,7144
a_2	-0,00209	2,6700	-0,35794	0,25521
a_3	-246,46	-19662	755,19	-9198,8
a_4	187,14	14100	-48,940	6886,6
a_5	-1,4289	137,34	9,8687	-159,93
a_6	0,11898	-13,369	-0,77652	16,236
a_7	0,15727	-4,4985	3,7902	-0,82014
a_8	-0,00064	0,02100	-0,01879	0,00225
a_9	-2,5286	216,45	-9,2440	236,38
a_{10}	0,50619	-35,076	1,2857	-44,178
a_{11}	1,6285	-128,73	250,65	207,26

$$R_w = \frac{\left(\frac{R_R}{\Delta}\right) \Delta}{\cos^2 \theta}$$

burada:

$$\Delta = \rho g \nabla \quad (\text{Newton}) \quad ; \text{deplasman}$$

İndüklenmiş direnç ise şu şekilde hesaplanır.

Salma için:

$$R_{lk} = \frac{2}{\rho V_B^2} \left(\frac{L_{Tk}}{\pi A_k \cos \theta_k} \right) (1 + (0.012 - 0.057\beta_k - 0.095\beta_k^2 - 0.04\beta_k^3) AR_k)$$

$$\beta = \frac{c_{uç}}{c_{kök}}$$

$c_{uç}$: salma ucundaki kiriş (chord) boyu

$c_{kök}$: tekne ile birleştiği noktadaki salma kiriş (chord) boyu

Dümen için:

$$R_{lr} = \frac{2}{\rho V_B^2} \left(\frac{L_{Tr}}{\pi A_r \cos \theta_r} \right) (1 + (0.012 - 0.057\beta_r + 0.0095\beta_r^2 - 0.04\beta_r^3) AR_r)$$

Tekne için :

$$R_{lh} = \frac{2}{\rho V_B^2} \left(\frac{L_{Th}^2}{\pi A_h \cos \theta} \right) AR_h$$

teknenin yan oranı:

$$AR_h = \frac{2T_h \cos \theta}{A_h}$$

A_h : teknenin yanal oranı

$$R_{ltoplam} = R_{lk} + R_{lr} + R_{lh}$$

Genel direnç toplamı ise, $R = R_v + R_w + R_l$ şeklinde yazılabilir.

4. YÖNTEMLERİN KARŞILAŞTIRILMASI

4.1 Karşılaştırma Koşulları

Uygulamada kullandığımız model için, yapılan üç yöntem Froude sayısına bağlı olarak yan kuvvet, yan kuvvet katsayısı, direnç ve direnç katsayısına göre değişimleri elde edilmiştir. Bu noktada değerlendirmeye başlamadan önce, üç yöntem için belirli koşullar ve sınırlar çerçevesinde incelemelerin yapıldığı göz önünde bulundurulmalıdır. Öncelikle yapılan deney sonuçları başka bir çalışmadan alınmıştır. Yelkenli tekneleri kapsayan bu çalışma kullanılan havuz ve sistem için bir ilk niteliğini taşımaktadır. Fakat yeni sistemden elde edilen direnç deneyleri aynı zamanda atwood dinamometresi ile ölçülüp karşılaştırılması yapıldığında yaklaşık olarak değerler verdiği saptanmıştır. Diğer iki çalışmada ise deneyde kullanılan model formu öncelikle kullanılmaya çalışılmıştır.

İncelediğimiz üç yöntemle karşılaştırma yapmak için kullandığımız tekne, deney çalışmasında 1/8 ölçeğinde modeli yapılan Ek A' da çizimleri verilen teknedir. Karşılaştırma kolaylığı açısından ampirik yolla yapılan çalışma, doğrudan deney modeli için kullanılan ölçek üzerinden yapılmıştır. Bununla birlikte sayısal yolla yapılan inceleme ise 1/3 ölçekte modelleme yapma zorunluluğu vardır. Dolayısıyla sayısal programdan elde edilen C_L ve C_d değerleri önce yan kuvvete (L) ve dirence (R) dönüştürülmüş ve sonra aşağıdaki dönüşüm yapılarak tekrar C_L ve C_d değerleri saptanmıştır.

Bunun için aşağıdaki dönüşüm formülleri kullanılmıştır.

$$L_{WL1} = \varepsilon \cdot L_{WL2}$$

$$L = C_L \cdot 0.5 \cdot \rho \cdot V^2 \cdot S$$

$$L_1 = \varepsilon^3 \cdot L_2$$

- L_{WL1} : modelin 1/3 ölçekli su hattı boyu
 L_{WL2} : modelin 1/8 ölçekli su hattı boyu (deneyde kullanılan ölçek)
 ε : 2,66 ($=L_{WL1}/L_{WL2}$)
 L_1 : sayısal sistemde modelin 1/3 ölçekte elde edilen yan kuvveti
 L_2 : sayısal sistemde modelin 1/8 ölçekte elde edilen yan kuvveti

Direnç için de benzer dönüşüm yapılmış ve sonuçlar elde edilmiştir.

Elde edilen değerlerin pozitif veya negatif değerlikli gösterilmesi sadece yönü göstermektedir. Pozitif yön sancak tarafını, negatif yön ise iskele tarafına doğru kuvvetin oluştuğunu göstermektedir. Yapılan çalışmada ayrıca, meyilin ters tarafına doğru oluşan sürüklenme durumu da incelenmiştir. Aslında bu durum, yelkenli yatlarda fazla rastlanılmaz, mürettebatın oturuş yönü veya salmanın konumuna göre bu durum oluşabilir.

Önceden de bahsedildiği gibi matematiksel modellemede kullandığımız sayısal yöntem, viskoz direnci hesaba katmaksızın, dalga direncinin (indüklenmiş direnç dahil) elde edilmesini sağlamaktadır. Halbuki diğer iki yöntem, viskoz direnci de içermektedir. Bu sebeple, sayısal yöntem için viskoz direnç hesabı, Prohaska yöntemi kullanılarak yapılacaktır.

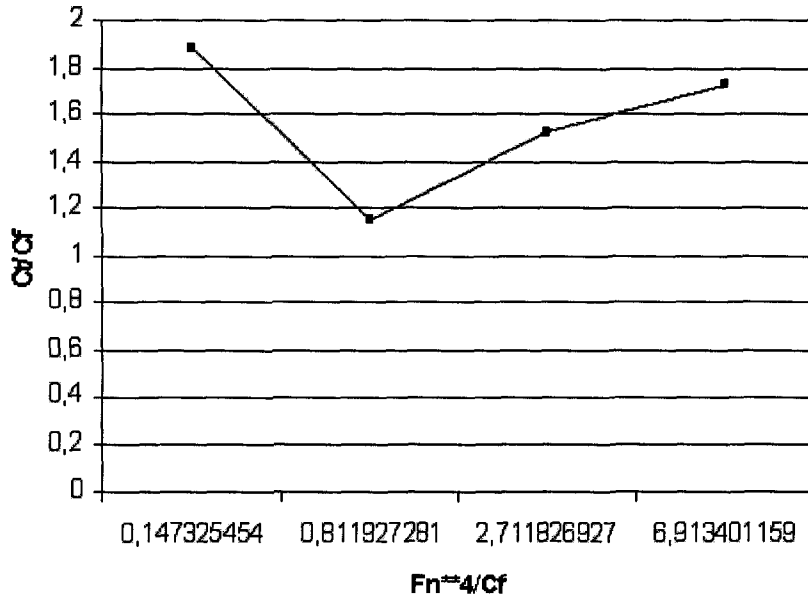
Öncelikle şu durum belirtilmeli; bu hesabı yapmakta kullanılan Prohaska yöntemini uygulayabilmek için deney sonuçlarından elde edilen bazı değerler kullanılmaktadır.

Toplam direnç katsayısı (C_T) aşağıdaki şekilde bulunur.

$$C_T = R_T / (1/2 \cdot \rho \cdot V^2 \cdot S)$$

Burada R_T , değişik hız değerleri için deneyden elde edilen sonuçlardır. Sürtünme direnci katsayısı ITTC 1957 formülünden bulunur.

$$C_F = 0.0075 / (\log Re - 2)^2$$
$$C_V = (1+k) C_F$$



Şekil 4.1 Dik durumda elde edilen değerlerin oluşturduğu eğri.

Dört hız değeri için elde edilen sonuçlar daha sonra Şekil 1.1'deki grafikte sunulur. En küçük kareler yöntemi kullanılarak F_n^4/C_F 'in sıfır değeri için C_T/C_F değeri $(1+k)$ değerini vermektedir (Tablo 4.1).

Tablo 4. 1 Dik durumda elde edilen değerlerin tablosu.

V	F_n	R_n	C_f	F_n^{**4}	F_n^{**4}/C_f	C_t	C_t/C_f
0,73	0,16	1276733,837	0,004448	0,000655	0,147325	0,008379	1,883581
1,1	0,24	1923845,508	0,004086	0,003318	0,811927	0,004708	1,152186
1,45	0,32	2535978,17	0,003867	0,010486	2,711827	0,005888	1,522707
1,81	0,4	3165600,336	0,003703	0,0256	6,913401	0,006382	1,723569

Bu yöntemden elde ettiğimiz k değeri 0.5 'e eşittir. Fakat bu değer dik pozisyonadaki yani sıfır meyil açısındaki değere tekabül etmektedir. Dolayısıyla farklı meyil açısındaki değerler bir benzetme yaparak bulunabilir. Bunun için "Theory of Wing Sections" [3] kitabındaki NACA 63₂015 kanat kesiti için, değişik açı durumlarında elde edilen direnç katsayılarının değişim oranlarından faydalanılmıştır. Buradan elde edilen oranlar, diğer açılar için kullanılacak olan form katsayılarının, dik durumdaki form katsayısına oranlanmasında kullanılır(Tablo 4.2). Daha sonra elde edilen form faktörü katsayıları yerlerine konarak viskoz direnç değerleri ortaya çıkar (Tablo 4.3).

Tablo 4. 2 Form faktörü oranları.

hüc.açısı	Cd	Cd/Cdo	k	1+k
-8	0,012	2,181818	1,090909	2,090909
-4	0,0075	1,363636	0,681818	1,681818
0	0,0055	1	0,5	1,5
4	0,0055	1	0,5	1,5
8	0,011	2	1	2
12	0,019	3,454545	1,727273	2,727273

Tablo 4. 3 Değişik açılar için elde edilen viskoz direnç değerleri.

-8° için

V	Fn	Rn	Cf	Cv	Rv
0,73	0,16	1276734	0,004448	0,009301	0,257133
1,1	0,24	1923846	0,004086	0,008544	0,536318
1,45	0,32	2535978	0,003867	0,008085	0,881827
1,81	0,4	3165600	0,003703	0,007743	1,315875

-4° için

V	Fn	Rn	Cf	Cv	Rv
0,73	0,16	1276734	0,004448	0,007481	0,206824
1,1	0,24	1923846	0,004086	0,006872	0,431386
1,45	0,32	2535978	0,003867	0,006503	0,709295
1,81	0,4	3165600	0,003703	0,006228	1,058421

0° için

V	Fn	Rn	Cf	Cv	Rv
0,73	0,16	1276734	0,004448	0,006673	0,184465
1,1	0,24	1923846	0,004086	0,006129	0,38475
1,45	0,32	2535978	0,003867	0,0058	0,632615
1,81	0,4	3165600	0,003703	0,005554	0,943997

4° için

V	Fn	Rn	Cf	Cv	Rv
0,73	0,16	1276734	0,004448	0,006673	0,184465
1,1	0,24	1923846	0,004086	0,006129	0,38475
1,45	0,32	2535978	0,003867	0,0058	0,632615
1,81	0,4	3165600	0,003703	0,005554	0,943997

8° için

V	Fn	Rn	Cf	Cv	Rv
0,73	0,16	1276734	0,004448	0,008897	0,245953
1,1	0,24	1923846	0,004086	0,008173	0,513
1,45	0,32	2535978	0,003867	0,007733	0,843486
1,81	0,4	3165600	0,003703	0,007406	1,258663

12° için

V	Fn	Rn	Cf	Cv	Rv
0,73	0,16	1276734	0,004448	0,012132	0,33539
1,1	0,24	1923846	0,004086	0,011144	0,699545
1,45	0,32	2535978	0,003867	0,010545	1,150209
1,81	0,4	3165600	0,003703	0,010099	1,716359

4.2 Yapılan Benzer Çalışmalar

Dünyada özellikle yarış yatları üzerindeki araştırmalar, önemli boyuttadır. Fakat bunlar genellikle ticari çalışma olduğu için fazla açıklanmamaktadır. Avustralyalı tasarımcı Ben Lexcen ve Hollandalı bilim adamları tarafından, tank testleri ve nümerik yöntemle geliştirilen yeni salma konseptinin (kanatlı salma) 1983'te Amerika Kupasını kazanması bu çalışmaların artmasına sebep olmuştur. Yapılan nümerik yöntemde VSAERO (vortex surface aerodynamics) adı verilen bir kod sistemi kullanılmıştır. Bu, aslında üç boyutlu aerodinamik yapıların etrafındaki potansiyel akımın hesaplamak için tasarlanmıştır. İlk Morino tarafından kullanılan, hız potansiyeli hesaplamak için Green formülasyonuna dayanan bir yöntemdir. Tekne yapısı bir çok panele bölünmüş, her bir panel üzerindeki kaynak ve dublet şiddetleri hesaplanıp ve hız ve basınç dağılımları bulunmaktadır. Daha sonra, bütün yüzey üzerinde basınç integrasyonu yapılarak sonuca ulaşılmaktadır. Bu yöntemle, özellikle indüklenmiş direnç, iyi bir doğrulukla saptanabilmektedir.

C. Talotte ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada değişik metotlar kullanılarak maksimum doğruluk ve güvenilirlikte çekme tankı testleri için bir takım prosedürler çıkartılmıştır. Ayrıca dalga direncini hesaplamak için REVA bilgisayar kodlarının kullanıldığı nümerik yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntem bir panel metoduna dayanmaktadır. Kaynak şiddetleri hem serbest yüzey hem de tekne yapısı üzerinde panellere dağılmıştır. Green formülasyonu ile integrasyon yapılarak çözüme gidilmektedir. Kaldırıcı kuvvetin etkisini bulmak için ise profil ve iz yapısı üzerinde duble dağılımından yararlanılmıştır. Daha sonra her iki yöntemden elde sonuçlar karşılaştırılmıştır. Bu çalışmadan çıkan sonuçların bazıları şunlardır; yan kuvvet katsayısı Froude sayısı değişim grafiği incelendiğinde yan kuvvet katsayısının yüksek

Froude sayılarında hafif azaldığı görülmüştür. Ayrıca 0.35 Froude sayısından sonra dalga direncinde epey bir artışın olduğu saptanmıştır.

P.S. Jackson ve G. Marr tarafından yapılan çalışmada ise tekne takıntıları ve serbest yüzey arasındaki etkileşimi açığa çıkarmak için Kelvin kaynak ve dubletlerine dayanan bir panel metodu kullanılmıştır. Üç tür etkileşim sunulmuştur. Birincisi yan kuvvette meyil açısı, sürüklenme açısı ve Froude sayısının etkisi, ikinci olarak takıntıların artık dirence etkisi, ve üçüncü olarak da sıfır sürüklenme ve meyil açılarında balast balbı yüzünden olan dalga direncindeki değişimdir. Bu çalışmanın sonucunda yan kuvvet katsayısının Froude sayısı ile değişimine baktığımızda sürüklenme açısının sıfır olduğu durumda yan kuvvet katsayısının sıfır olmadığı yüksek Froude sayılarında eksi yönde yani ters yönde bir değişimin olduğu göze çarpmaktadır. Ayrıca 20° meyil ve 4° sürüklenme açılarında yan kuvvet katsayısının fazla bir değişim göstermeyip yüksek Froude sayılarında hafif azalış eğiliminde olduğu dikkati çekmektedir.

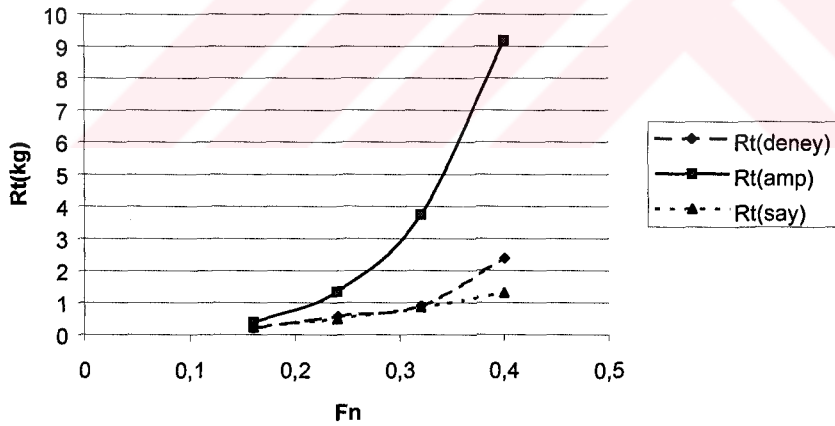
4.3 Elde Edilen Sonuçların Değerlendirilmesi

Üç yöntemden de elde ettiğimiz veriler; direnç, yan kuvvet, direnç katsayısı ve yan kuvvet katsayısının verileri Froude sayısına göre meyil ve sürüklenme açılarına göre bağlı olarak grafiklere dökülmüştür (Şekil 4.2, Şekil 4.3, Şekil 4.4, Şekil 4.5), (geri kalan veriler Ek B’de sunulmuştur).

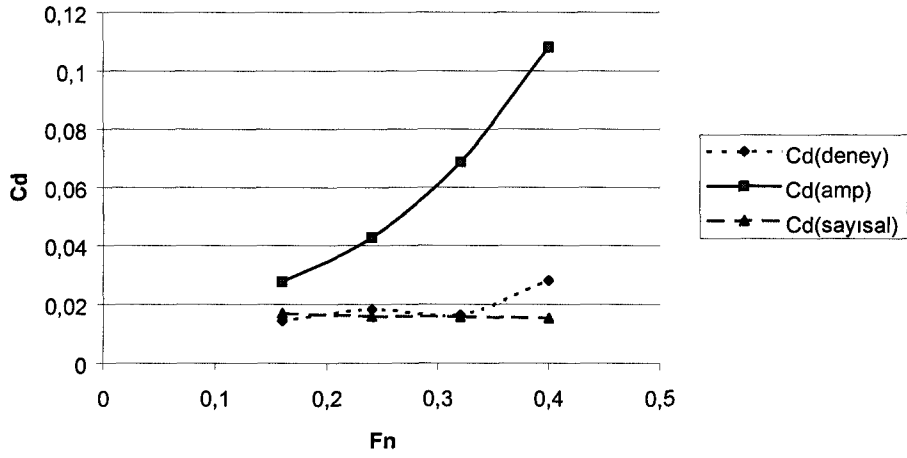
Yapılan çalışmada Şekil 4.2 ve Şekil 4.3’lerdeki direnç- F_n ve direnç katsayısı- F_n eğrilerine bakacak olursak ampirik değerlerin diğer iki yöntemle göre F_n sayısı arttıkça çok fazla arttığı gözlenmektedir. Ampirik yöntemi incelediğimizde bunun dalga direnci hesaplanmasındaki artıştan kaynaklandığı görülmüştür. Deneyden elde edilen direnç eğrisi genelde Froude sayısı 0.4 olduğu zaman daha fazla bir artış göstermektedir. Sayısal sonuçta ise Froude sayısı ile artış oranı miktarı fazla değişim göstermemektedir. Ayrıca sürüklenme açısıyla hem deney hem de sayısal sonuçlarda 8 dereceye kadar direnç artışı fazla olmazken, 12 dereceye ulaştığında daha fazla bir artış gözlenmektedir. Bu yanal oranı iki olan salma için beklenen bir durumdur (Larsson 1990). Meyil açısının etkisi ile ise dirençte çok fazla değişim yaşanmadığını görmekle birlikte, hafif bir artış mevcuttur. Eğer aynı meyil açısı altında, farklı yönlerde oluşan sürüklenme açısı

durumlarına bakarsak, meyil açısının ters yönündeki sürüklenme açısı esnasında, daha fazla direnç olduğu saptanmıştır.

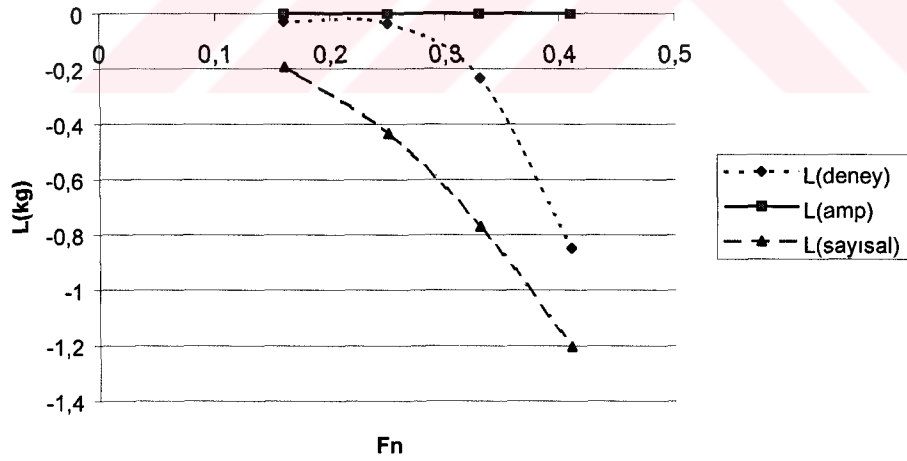
Yan kuvvet- F_n ve yan kuvvet katsayısı- F_n değerlerini incelediğimizde genel olarak F_n sayısı ile yan kuvvetin arttığı gözlenmiştir. Ayrıca sürüklenme açısının artışıyla yan kuvvetin artışı her üç yöntem için de çok net gözlenmektedir. Yalnız sürüklenme açısı sıfır iken yan kuvvetin sıfır çıkması beklenmemektedir. Fakat ampirik yöntemde bu şekilde çıkmıştır. Sürüklenme açısı sıfır olsa dahi teknenin baş formu gelen dalgalarda bir bozulma yaratacaktır. Bu da akımın farklı açılarla gelmesine sebep olur. Dolayısıyla sürüklenme açısı sıfır olsa dahi belirli bir yan kuvvet oluşacaktır. Deney sonuçlarından elde edilen eğrilerin bazı noktalarında beklenmeyen sapmalar gözlemiştir. Örneğin meyil 5 derece sürüklenme 8 derece iken. Ayrıca C_L - F_n değerlerine baktığımızda oluşan eğrilerde genellikle fazla bir değişim olmamakta veya hafif bir dalgalanma gözlenmektedir (Şekil 4.4, Şekil 4.5).



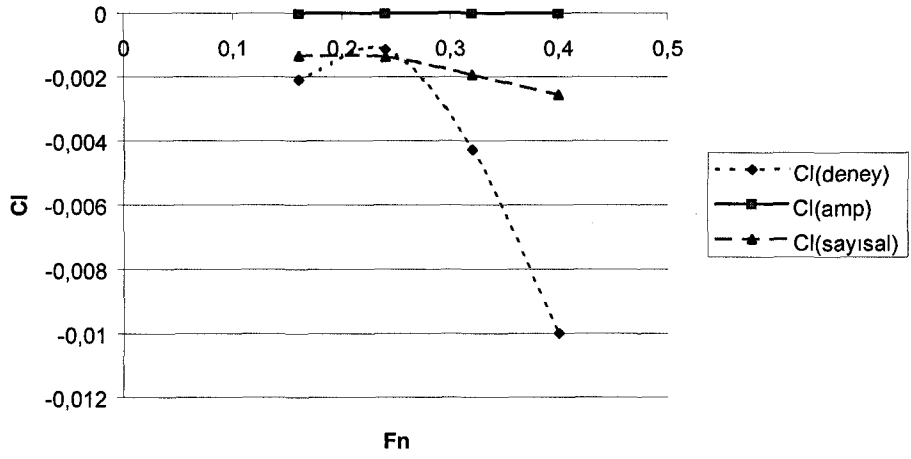
Şekil 4. 2.a Direnç değişimi (meyil 5 derece, sürüklenme 0 derece iken).



Şekil 4. 3.a Direnç katsayısı (meyil 5 derece,sürüklenme 0 derece iken)



Şekil 4. 4.a Yan kuvvet değişimi (meyil 5 derece, sürüklenme 0 derece iken).



Şekil 4. 5.a Yan kuvvet katsayısı değişimi (meyil 5 derece, sürüklenme 0 derece iken).

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada yelkenli yatlar üzerinde oluşan hidrodinamik karakteristikler incelenmiş, kullanılan deneysel, sayısal ve ampirik yöntemler sunulmuş ve örnek bir model üzerinde karşılaştırılması yapılmıştır. Öncelikle incelenen durum iyice anlaşılması için yat üzerinde oluşan kuvvet ve moment dengesi anlatılmış ve incelenecek karakteristiklerin durumu ortaya çıkartılmıştır. Sayısal yöntemde basit hidrofoil yapısı yat formuna dönüştürülmüş değişik meyil ve sürüklenme açılarına göre inceleme yapma durumu yaratılmıştır. Yine sayısal yöntem içerisinde değişik durumlar için incelemeler yapılmış, bu yöntemin kendi içerisinde tutarlılığı incelenmiştir. Ayrıca ampirik formüllerle de oluşan durumlar için sonuçlar elde edilerek üçüncü bir referans noktası yaratılmıştır. Diğer yandan bu çalışma sayısal yöntemle yatlar üzerindeki karakteristiklerin incelenmesi açısından ülkemizde yapılan çalışma olarak bir ilk teşkil etmektedir. Yapılan çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

1. Meyil açısının artışıyla birlikte dirençte çok fazla değişim yaşanmadığını, hafif bir artışın olduğu görülmüştür.
2. Sürüklenme açısıyla birlikte 8 dereceye kadar direnç artışı fazla olmazken bu dereceden sonra direncin daha fazla arttığı grafiklerden görülmektedir.
3. Meyil açısının ters yönünde oluşan sürüklenme açısı durumunda direncin daha fazla olduğu saptanmıştır.
4. Froude sayısı artışıyla, yan kuvvet katsayısında fazla bir değişim olmadığı ortaya çıkmıştır.
5. Sürüklenme açısıyla birlikte, yan kuvvet artışı açıkça saptanmıştır.

Bu çalışmanın devamı olarak aşağıdakiler yapılabilir.

1. Sayısal yöntemde elde ettiğimiz form yapısından farklı form yapısı koyabilmek için programda değişiklikler yaparak çalışma yapılabilir.

2. Deneysel çalışmalar değişik düzenekler ve sistemler için yapılabilir. Örneğin meyil açısı serbest bırakılarak çalışma yapılabilir.
3. Sayısal yöntem için kullanılan metot dışındaki, metotlarda da inceleme yapılarak karşılaştırma olanağı sağlanabilir. Örneğin viskoz direnci hesaplamak için bir program geliştirilebilir.
4. Farklı ampirik yöntemler kullanılarak daha yakın değerler elde edilmeye çalışılabilir.
5. Kanatlı, balblı veya her ikisinin de kullanıldığı salma tipleri için program geliştirilebilir.
6. Elde edilen veriler kullanılarak tekne performansı hesabı yapılabilir. Bu hesap sayesinde daha verimli tekneler üretilir.
7. Programda kolay form yapısı oluşturmak için değişik programlar yapıp çalışmaya hız katarak çok daha değişik formlar kolayca denebilir.

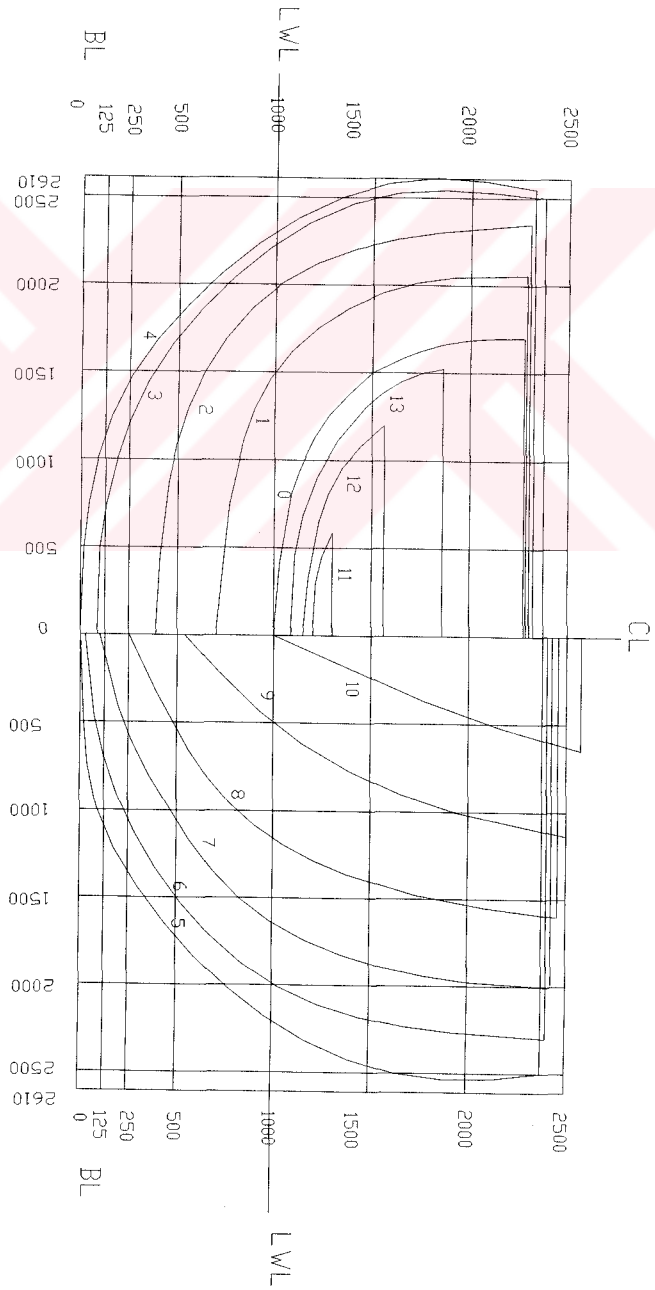
KAYNAKLAR

- [1] **Moran, J.**, 1985. An Introduction To Theoretical And Computational Aerodynamics, New York.
- [2] **Larsson, L. and Eliasson, R. E.**, 1993. Principles of Yacht Design, London
- [3] **Marchay, C.A.**, 1982. Sailing Yacht Theory and Practise, New York
- [4] **Abbott. I. H. and von Doenhoff, A. E.** 1949. Theory Of Wing Sections. New York
- [5] **Ohkusu, M.**, 1996. Advances In Marine Hydrodynamics, Southhampton
- [6] **Bertram V.**, 2000. Practical Ship Hydrodynamics, Oxford
- [7] **Sabuncu T.**, 2001. Free Surface Hydrodynamics, İstanbul
- [8] **Kafalı K.**, 1982. Gemi Formunun Statik ve Dinamik Esasları, İstanbul
- [9] **Baykal R. ve Dikili A.C.**, 2002. Gemilerin Direnci ve Makine Gücü, İstanbul
- [10] **Killing, S. and Hunter, D.**, 1998. Yacht Design Explained, New York
- [11] **Dayı, Ş.** 1993. Yelkenli Teknelerde Direnç Deneyleri, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [12] **Bal, Ş.**, 1996. Serbest Su Yüzeyi Altında ve Sonlu Deniz Dibi Derinliğinde İlerleyen Üç Boyutlu Hidrofoillerin Hidrodinamik Analizi, *Doktora Tezi*, İstanbul
- [13] **van Oossanen P.**, 1993. Predicting the Speed Of Sailing Yachts, *SNAME Transactions* 101,337-397
- [14] **Letcher J.S., Cressy P. Christopher, Oliver III J. C., Fritts M. J.**, 1987 Hydro-Numeric Design of Winglet Keels For Stars & Stripes, *Marine Tecnology* 24, 265-285
- [15] **Larsson L.**, 1990., Scientific Methods In Yacht Design, *Annu. Rev. Fluid Mech.* 22, 349-385
- [16] **Spyros A. Kinnas.**, 1992. A General Theory for the Coupling Between Thickness and Loading for Wings and Propellers, *Journal of Ship Research* 36. 59-68
- [17] **T. Farrant, S.J. Priestley and A. Millward**, 1995. The Effect of Trailing Edge on the Performance of A Yacht With A Winged Keel, *Int. Shipbuilding. Progr.*, 434. 159-166
- [18] **Jackson P.S. and Marr G.**, 2002. Free-Surface Effects of Yacht Appendages, *Journal of Ship Research* 46. 31-38

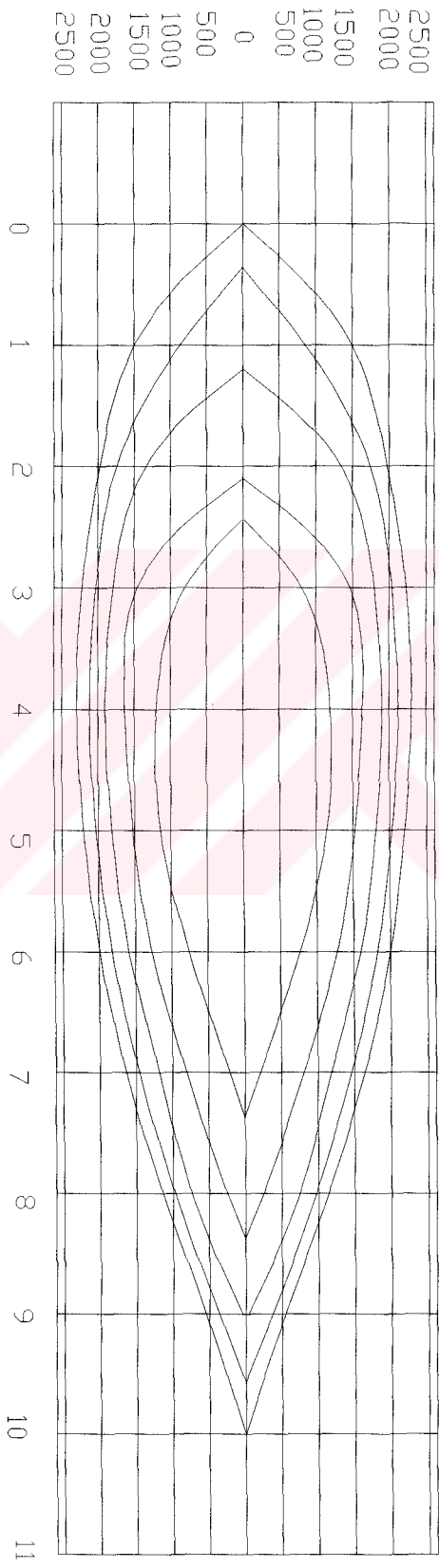
- [19] **Talotte C., Delhommeau J. M., Kobus,** 1997. Adaptation of Experimental Methods For Sailing Yachts in Towing Tank Testing. Comparing Experimental and Numerical Results, *Int. Shipbuilding Progr.*, 439, 181-207
- [20] **van Oossanen P.,** 1981. Method For The Calculation of The Resistance and Side Force of Sailing Yachts, Netherlands Ship Model Basin, Wageningen. *Calculator and Computer Aided Design for Small Craft-The Way Ahead Conference*



EK A KULLANILAN TEKNENİN ORTA KESİT VE SU HATTI RESİMLERİ

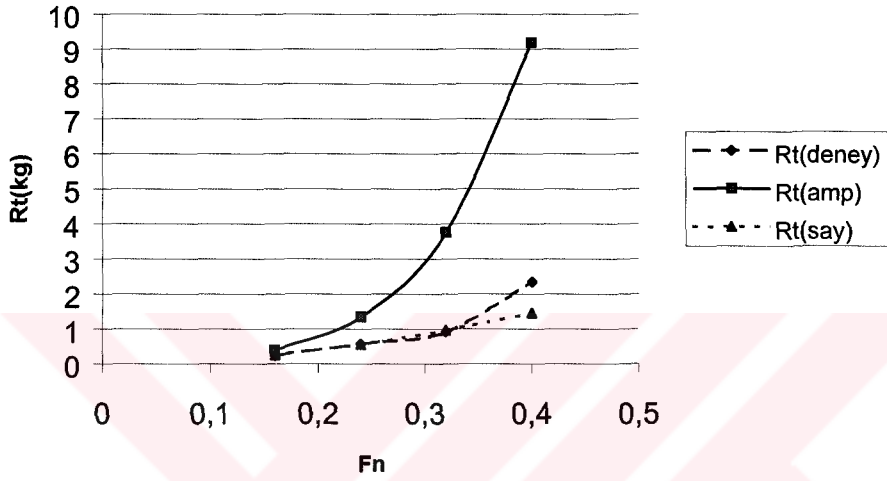


Şekil A.1 Kullanılan teknenin orta kesit resmi.

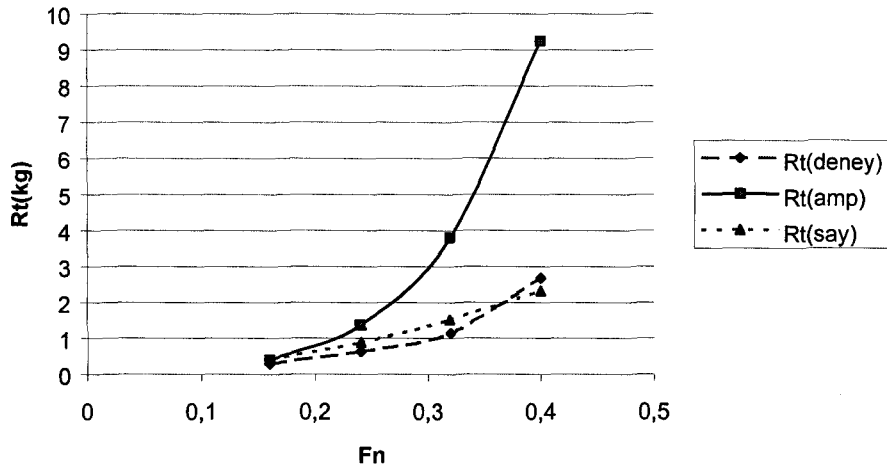


Şekil A.2 Kullanılan teknenin su hattı resmi.

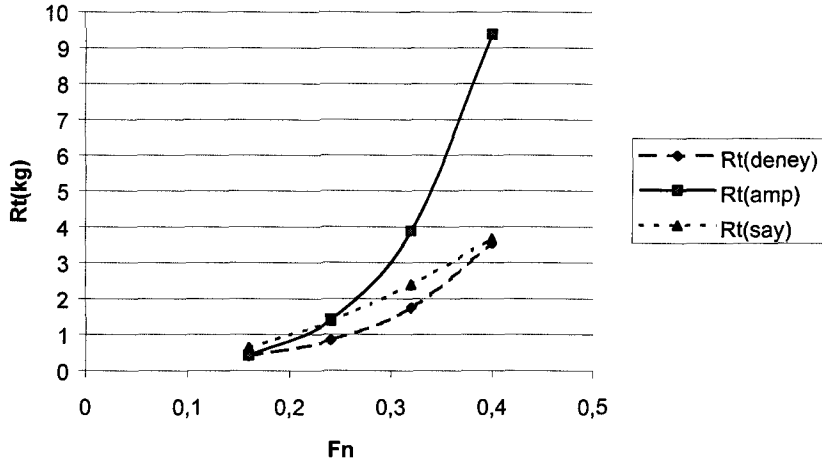
EK B . ELDE EDİLEN DİĞER SONUÇLARIN ŞEKİLLERİ



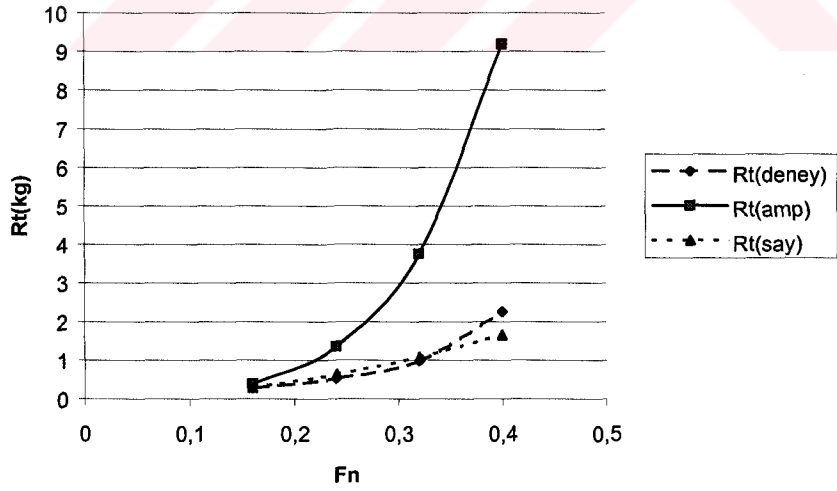
Şekil 4. 2.b Direnç değişimi (meyil 5 derece, sürüklenme 4 iken).



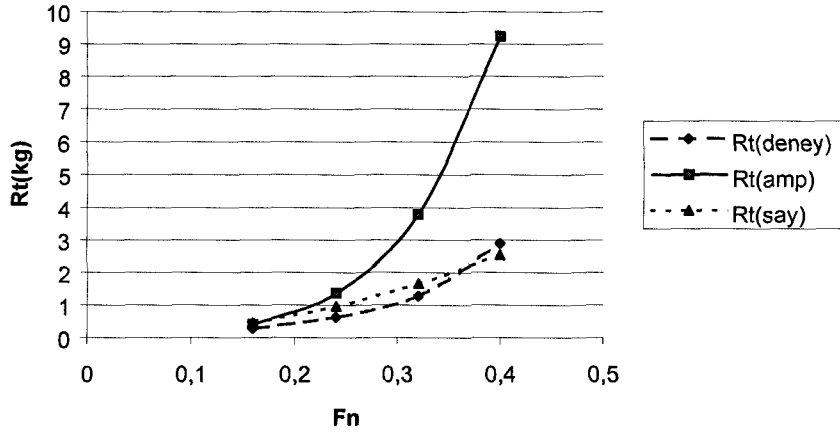
Şekil 4. 2.c Direnç değişimi (meyil 5 derece, sürüklenme 8 derece iken)



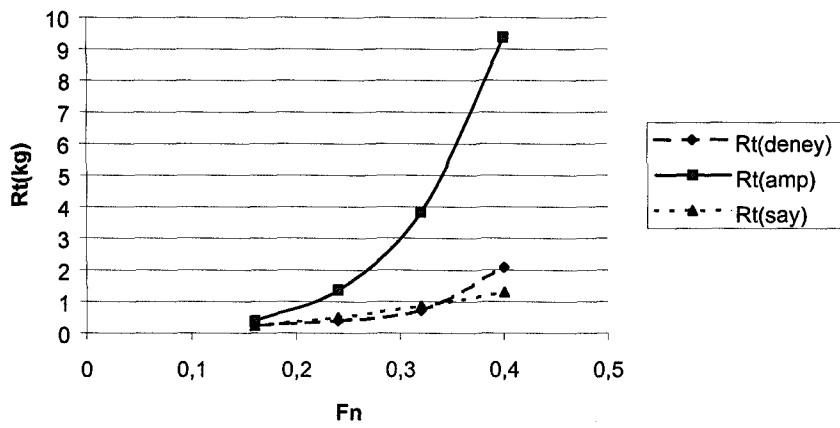
Şekil 4. 2. d Direnç değişimi. (meyil 5 derece, sürüklenme 12 derece iken)



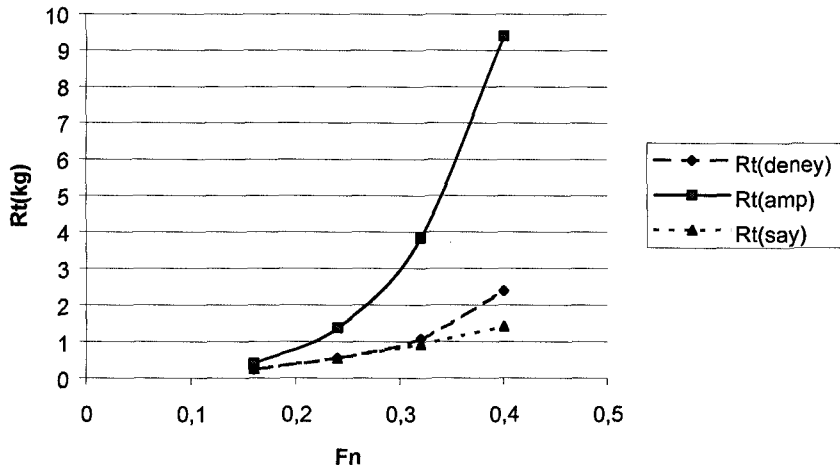
Şekil 4. 2.e Direnç değişimi (meyil 5 derece, sürüklenme -4 derece).



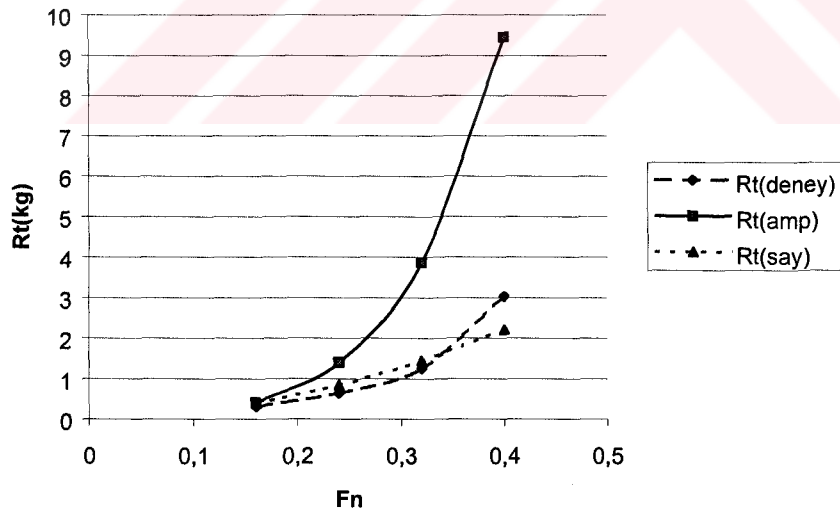
Şekil 4. 2.f Direnç değişimi (meyil 5 derece, sürüklenme -8 derece iken)



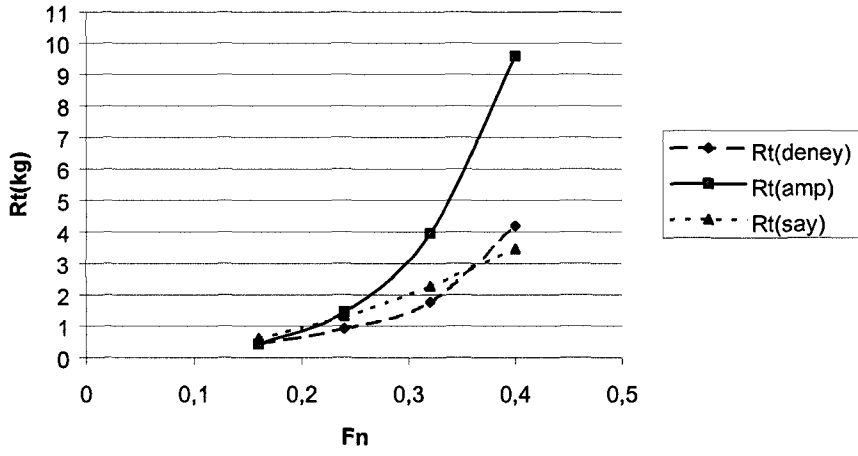
Şekil 4. 2.g Direnç değişimi (meyil 10, sürüklenme 0 derece iken).



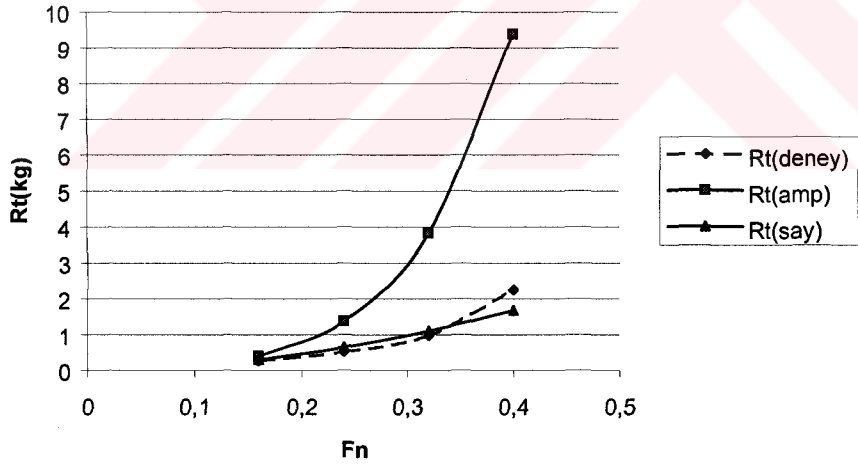
Şekil 4. 2.h Direnç değişimi (meyil 10 derece, 4 derece iken).



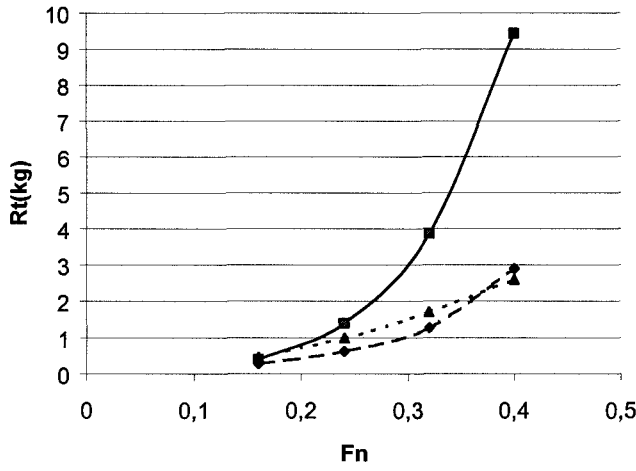
Şekil 4. 2. 1 Direnç değişimi (meyil 10 derece, sürüklenme 8 derece iken).



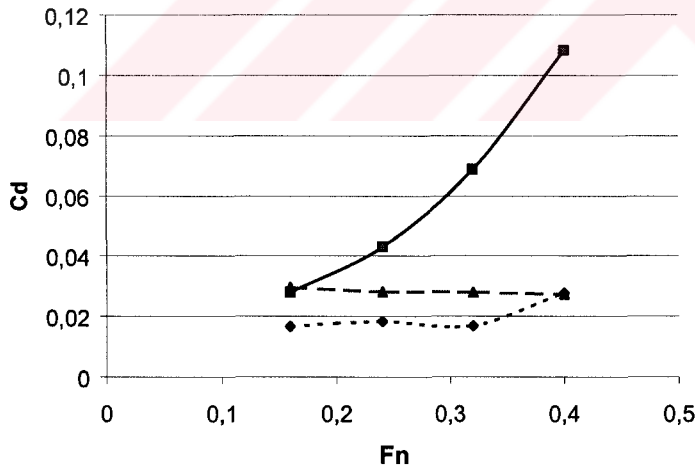
Şekil 4. 2. i Direnç değişimi (meyil 10 derece, sürüklenme 12 derece iken).



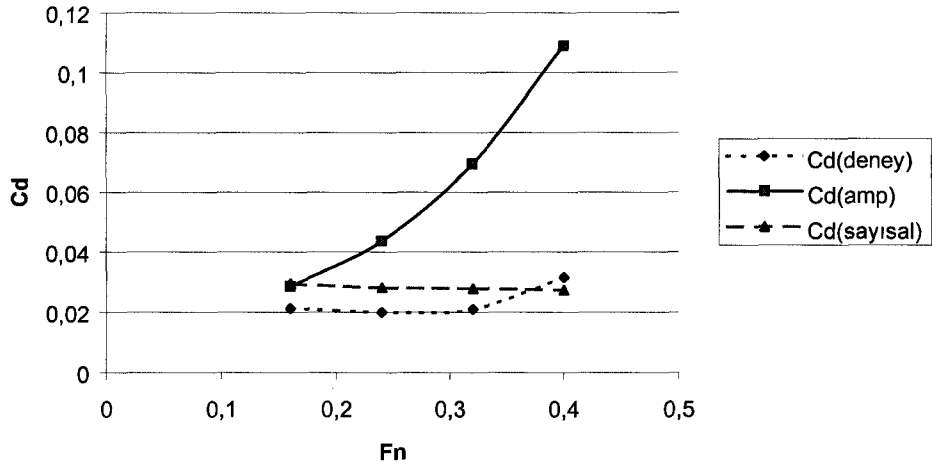
Şekil 4. 2.j Direnç değişimi (meyil 10 derece, sürüklenme -4 derece iken).



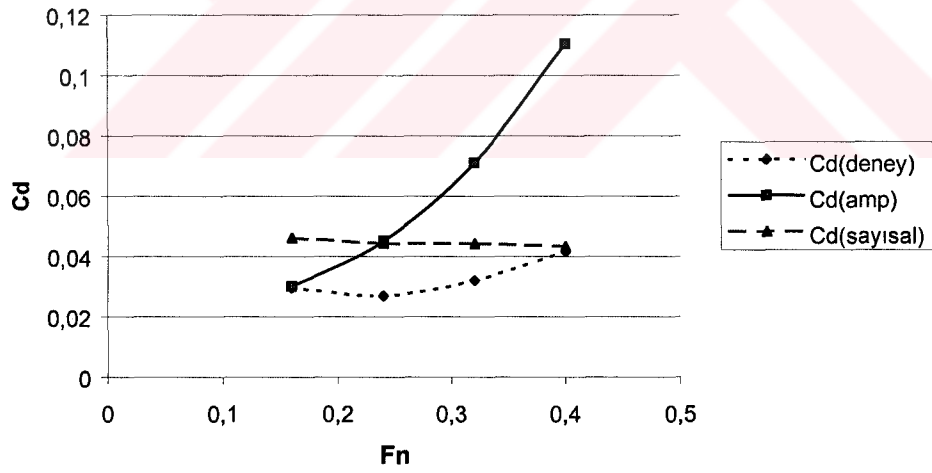
Şekil 4. 2.k Direnç değişimi (meyil 10 derece, sürüklenme -8 derece iken).



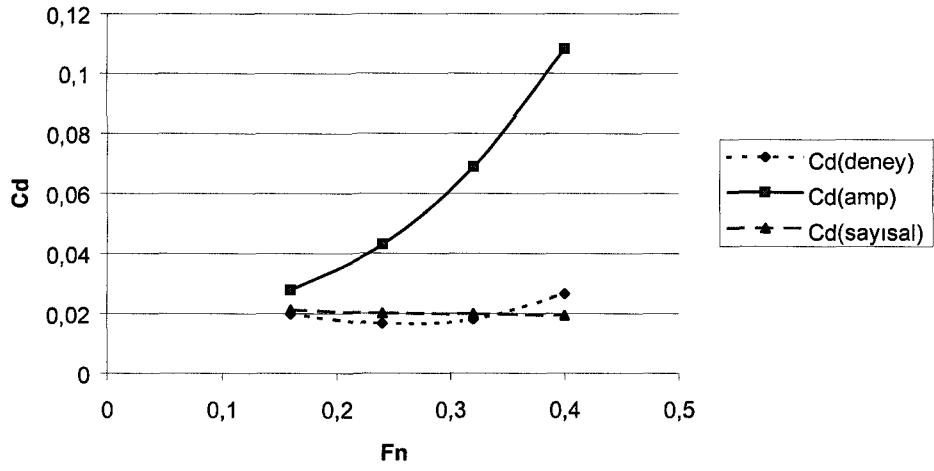
Şekil 4. 3. b Direnç katsayısı değişimi (meyil 5 derece sürüklenme 4 derece iken).



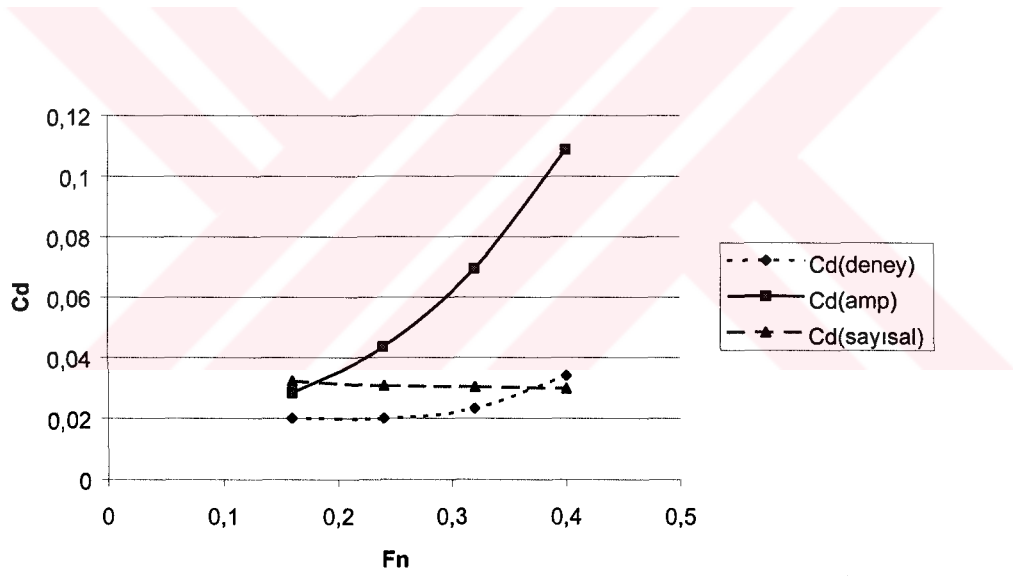
Şekil 4. 3.c Direnç katsayısı (meyil 5 derece, sürüklenme 8 iken).



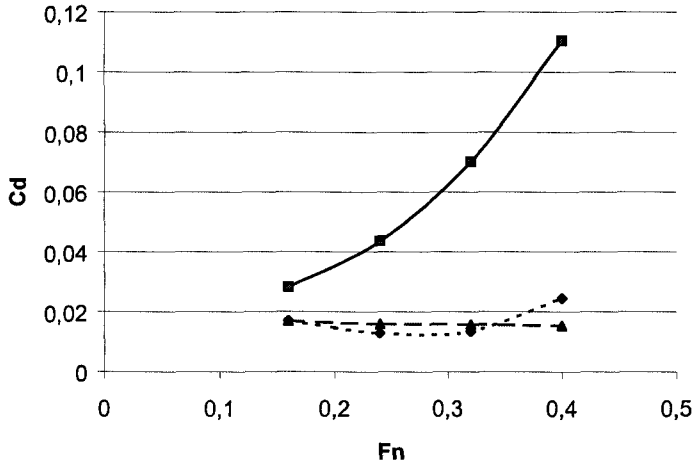
Şekil 4. 3. d Direnç katsayısı değişimi (meyil 5 derece, sürüklenme 12 derece iken)



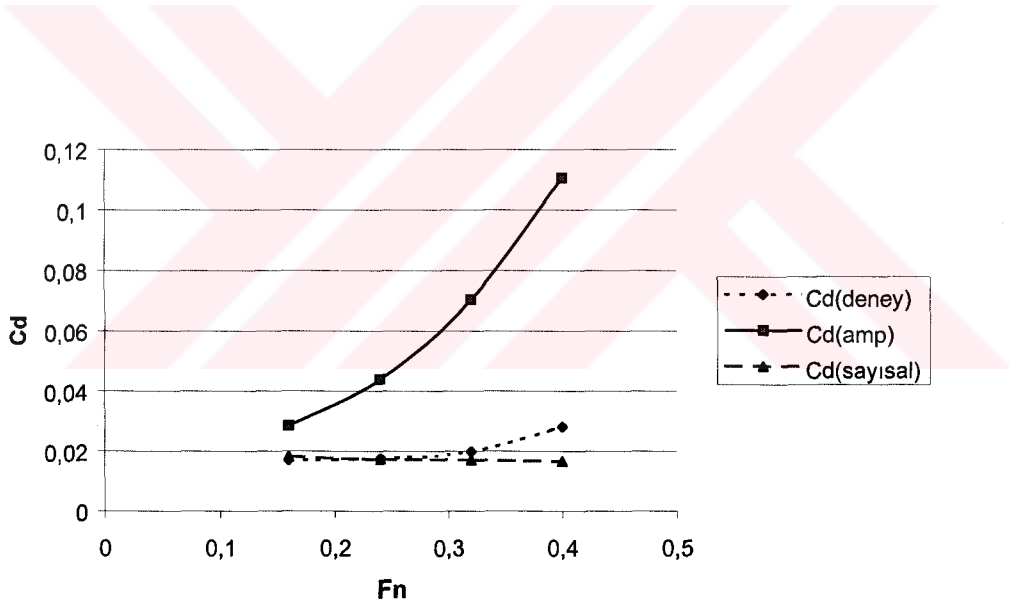
Şekil 4. 3.e Direnç katsayısı değişimi (meyil 5 derece, sürüklenme -4 derece iken).



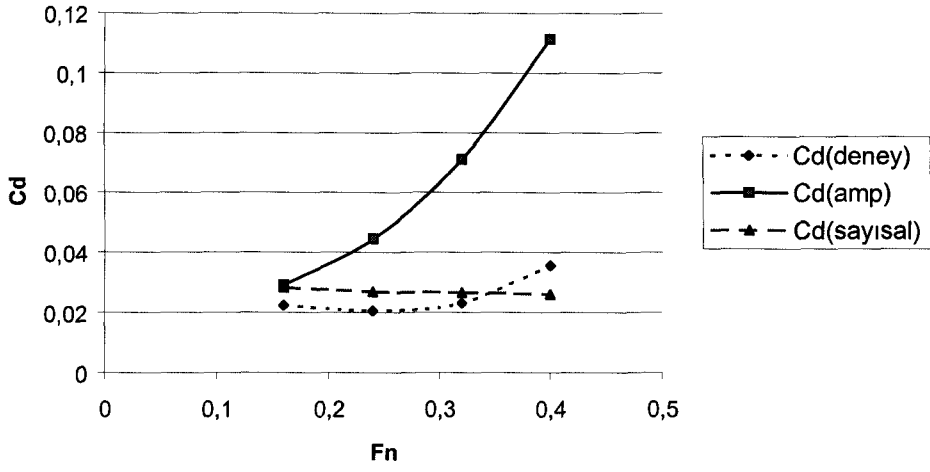
Şekil 4. 3.f Direnç katsayısı değişimi (meyil 5 derece, sürüklenme -8 derece iken).



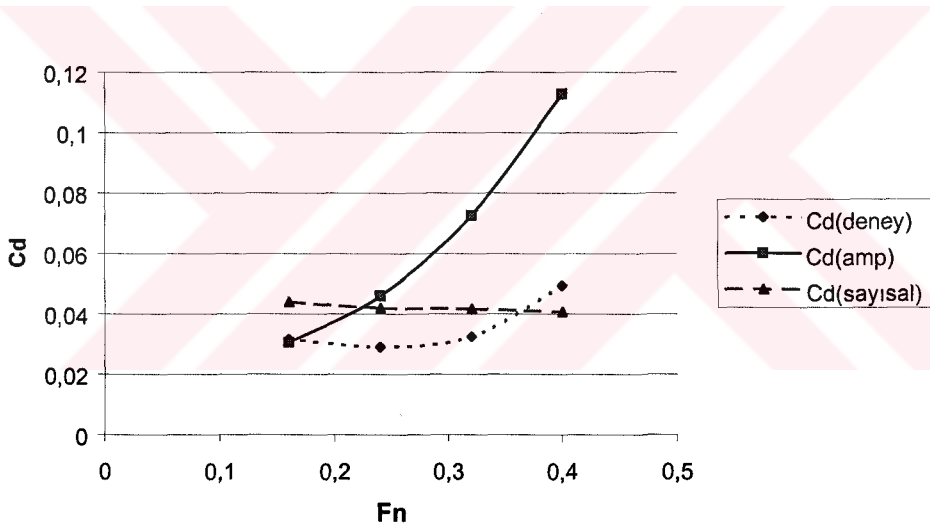
Şekil 4. 3.g Direnç katsayısı değişimi (meyil 10 derece, sürüklenme 0 derece iken).



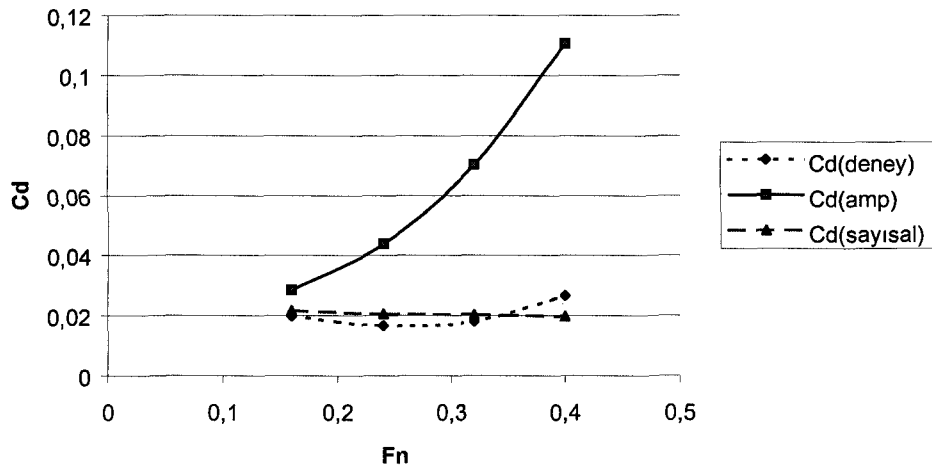
Şekil 4. 3.h Direnç katsayısı değişimi (meyil 10 derece, sürüklenme 4 derece iken).



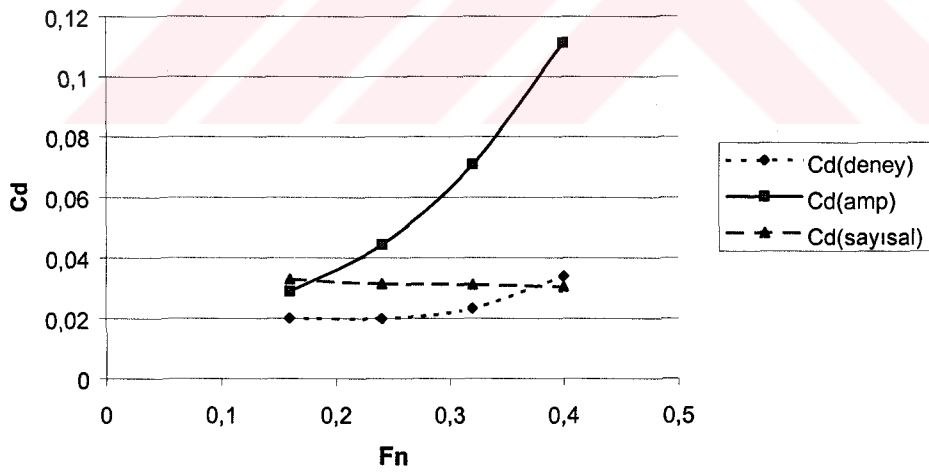
Şekil 4. 3.1 Direnç katsayısı değişimi (meyil 10 derece, sürüklenme 8 derece iken).



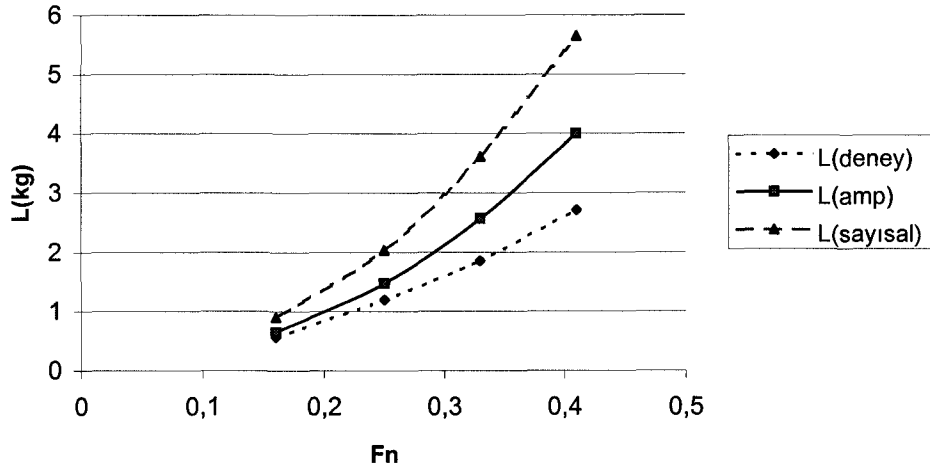
Şekil 4. 3.i Direnç katsayısı değişimi (meyil 10 derece, sürüklenme 12 derece iken).



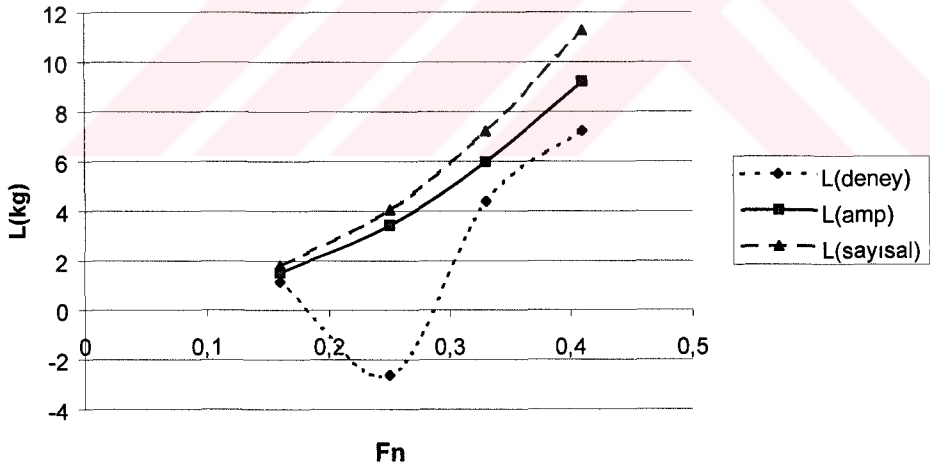
Şekil 4. 3.j Direnç katsayısı değişimi (meyil 10 derece, sürüklenme -4 derece iken).



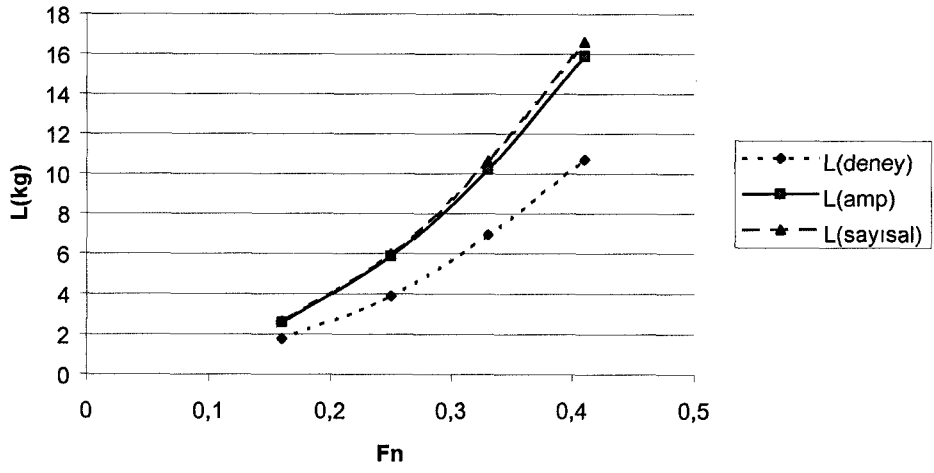
Şekil 4. 3.k Direnç katsayısı değişimi (meyil 10 derece, sürüklenme -8 derece iken).



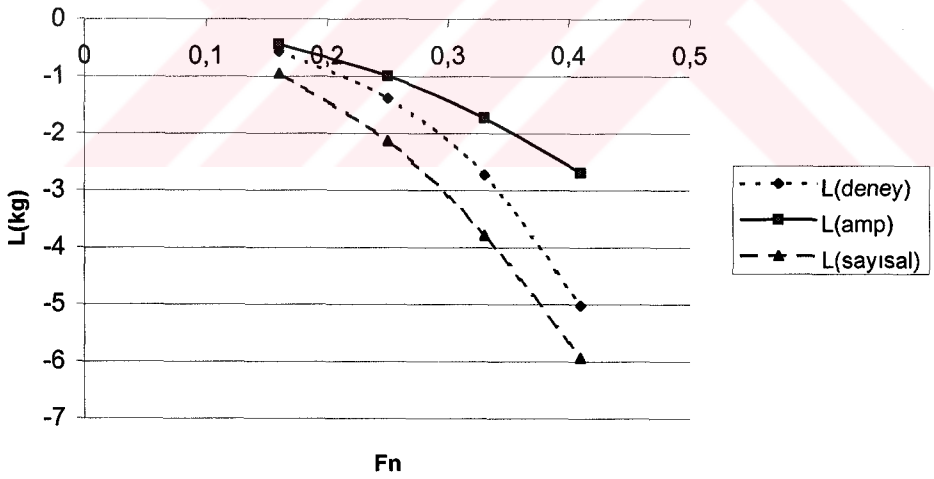
Şekil 4. 4.b Yan kuvvet değişimi (meyil 5 derece, sürüklenme 4 derece iken).



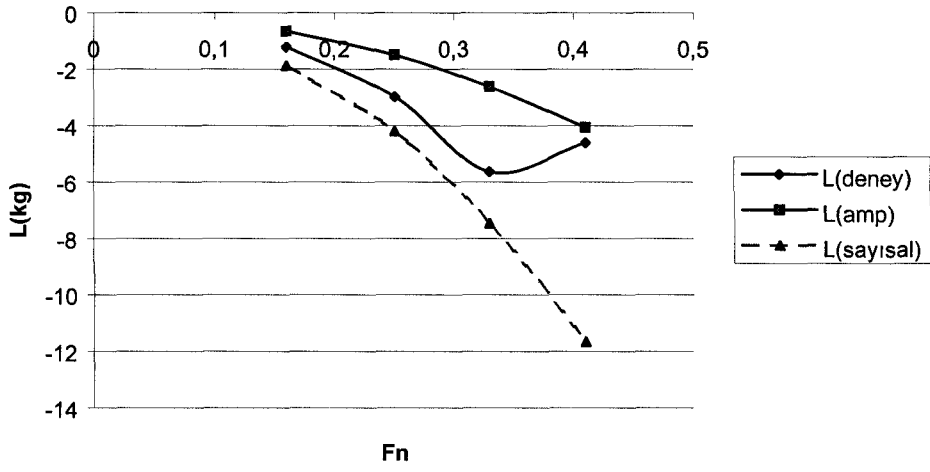
Şekil 4. 4.c Yan kuvvet değişimi (meyil 5 derece, sürüklenme 8 derece iken).



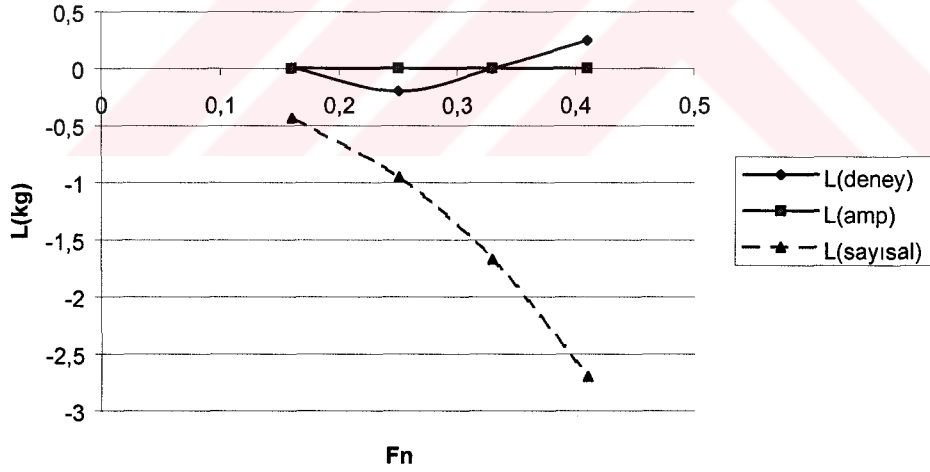
Şekil 4. 4.d Yan kuvvet değişimi (meyil 5 derece, sürüklenme 12 derece iken)



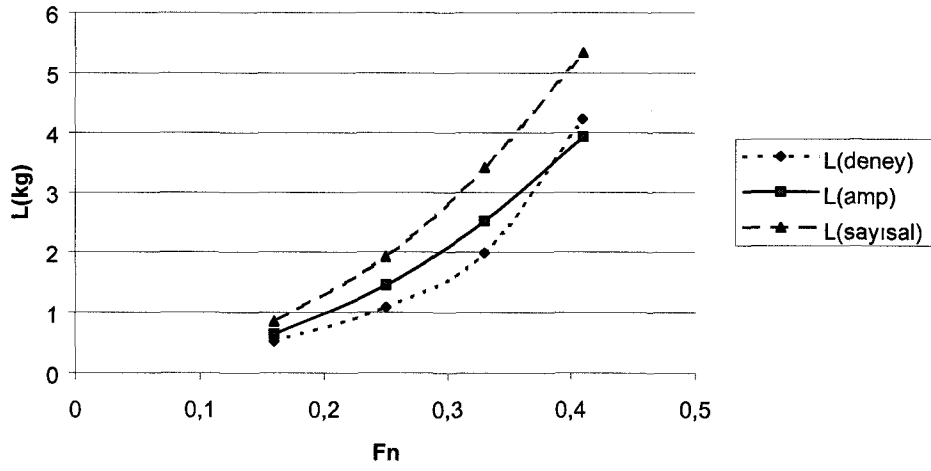
Şekil 4. 4.e Yan kuvvet değişimi (meyil 5, sürüklenme -4 derece iken).



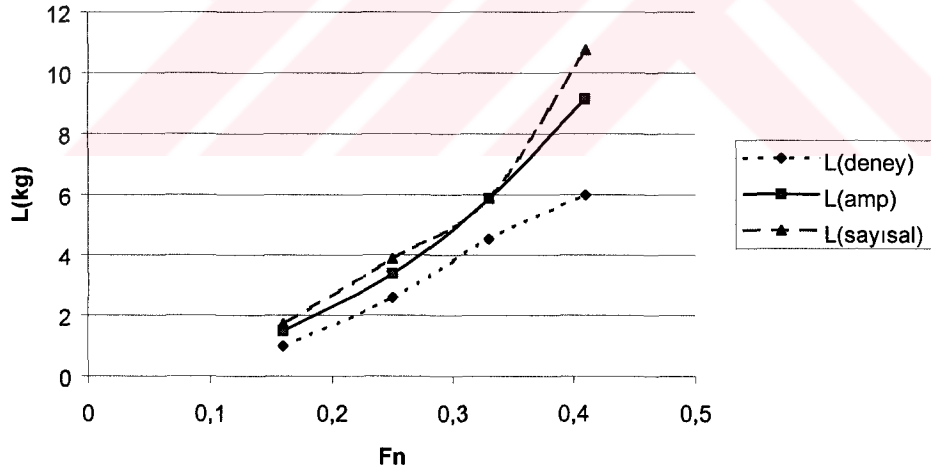
Şekil 4. 4.f Yan kuvvet değişimi (meyil 5 derece, sürüklenme -8 derece iken).



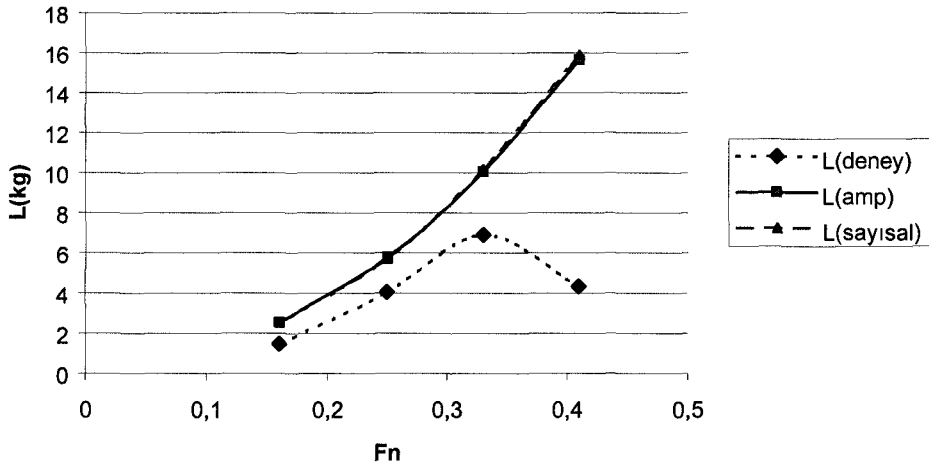
Şekil 4. 4. g Yan kuvvet değişimi (meyil 10 derece, sürüklenme 0 derece iken).



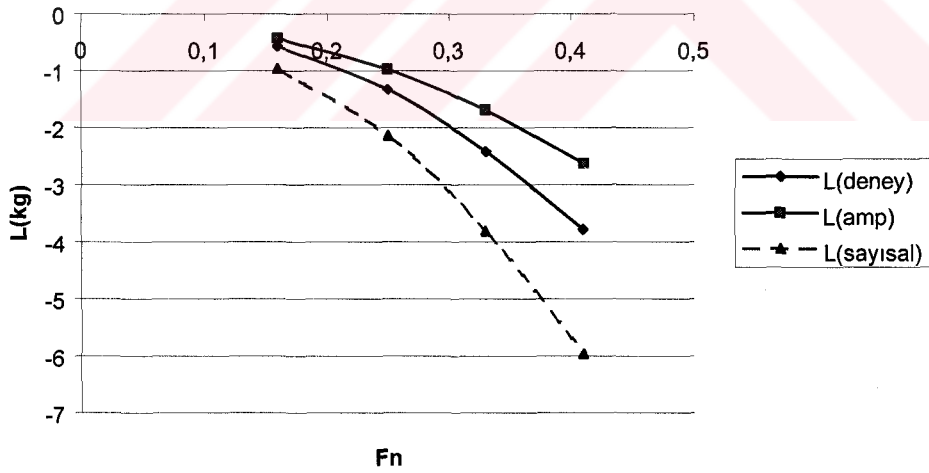
Şekil 4. 4. h Yan kuvvet değişimi (meyil 10 derece, sürüklenme 4 derece iken).



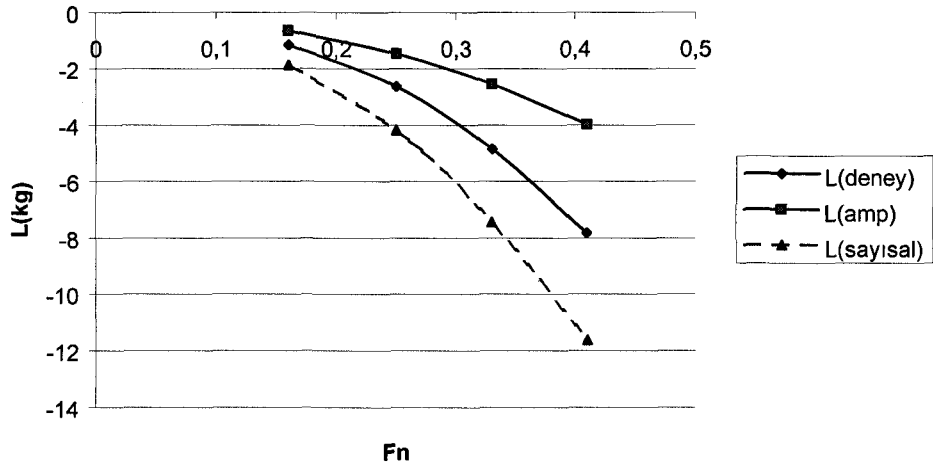
Şekil 4. 4. 1 Yan kuvvet değişimi (meyil 10 derece, sürüklenme 8 derece iken).



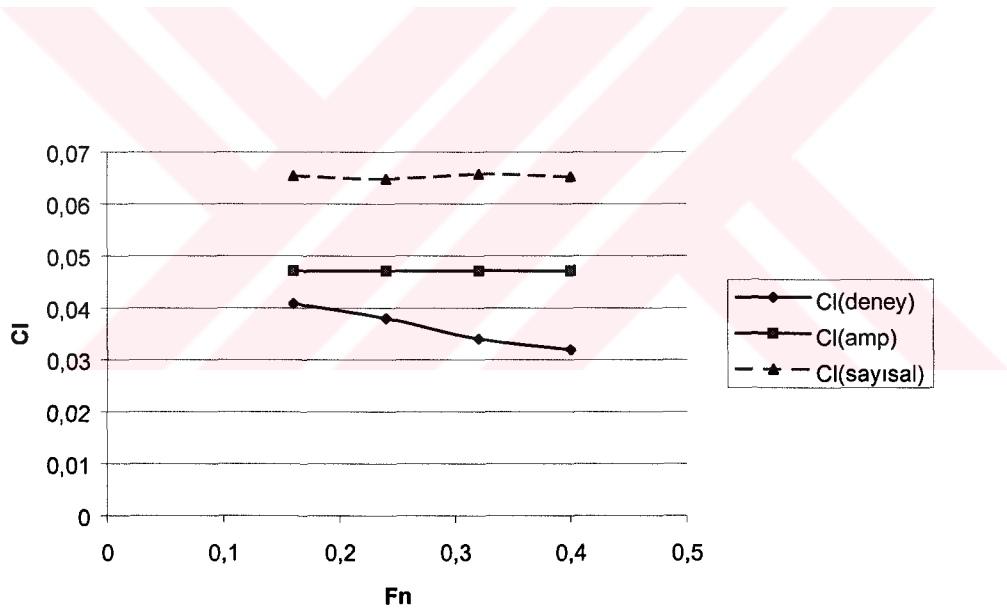
Şekil 4. 4. i Yan kuvvet değişimi (meyil 10 derece, sürüklenme 12 derece iken).



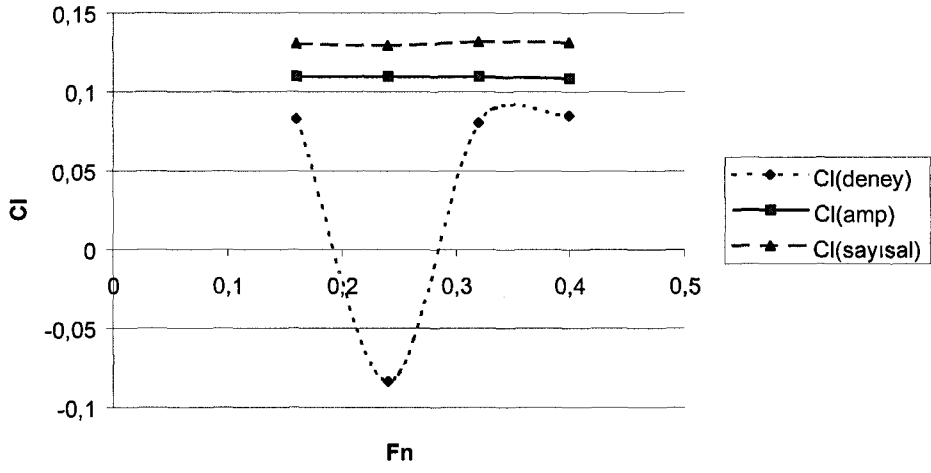
Şekil 4. 4. j Yan kuvvet değişimi (meyil 10 derece, sürüklenme -4 derece iken).



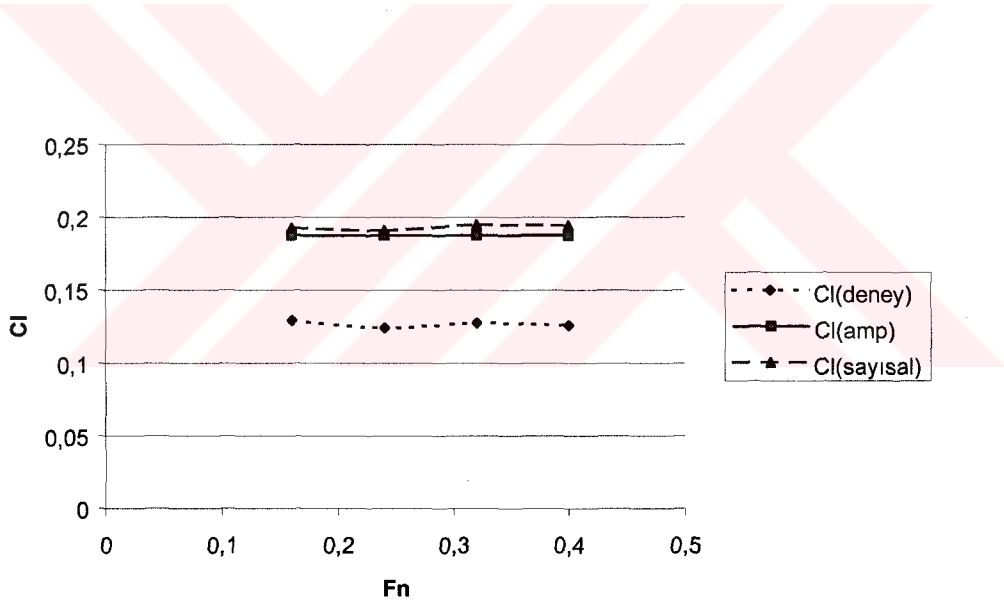
Şekil 4. 4. k Yan kuvvet değişimi (meyil 10 derece, sürüklenme -8 derece iken).



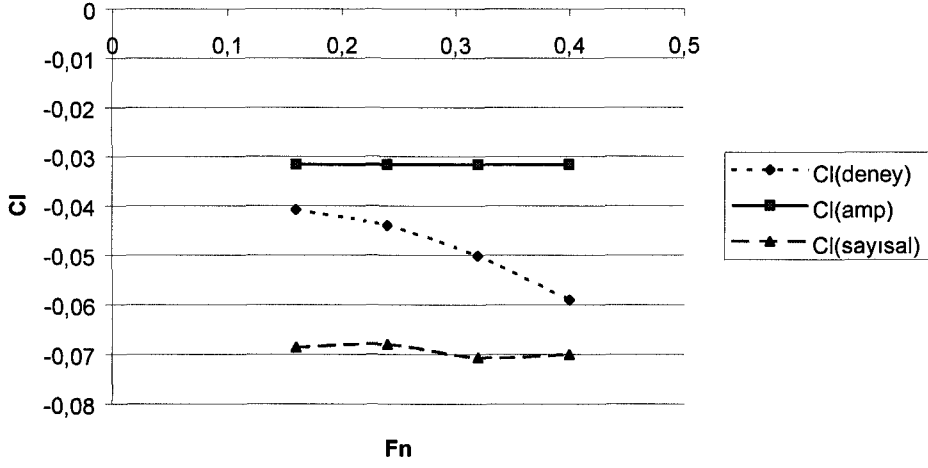
Şekil 4. 5.b Yan kuvvet katsayısı (meyil 5 derece, sürüklenme 4 derece iken).



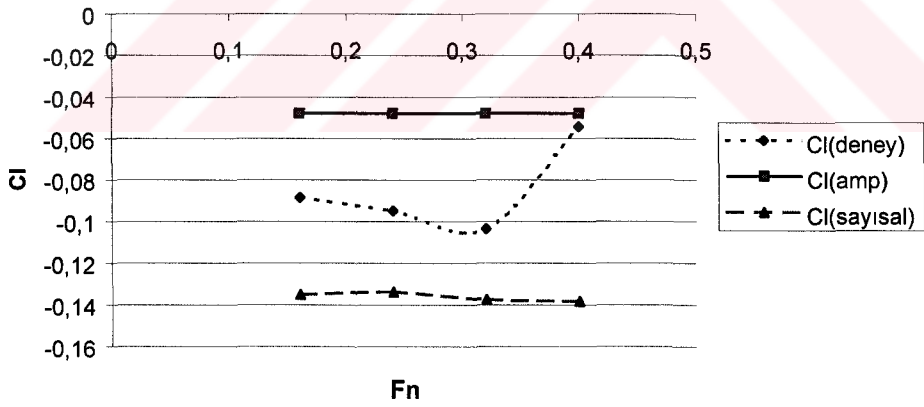
Şekil 4. 5. c Yan kuvvet katsayısı (meyil 5 derece, sürüklenme 8 derece iken).



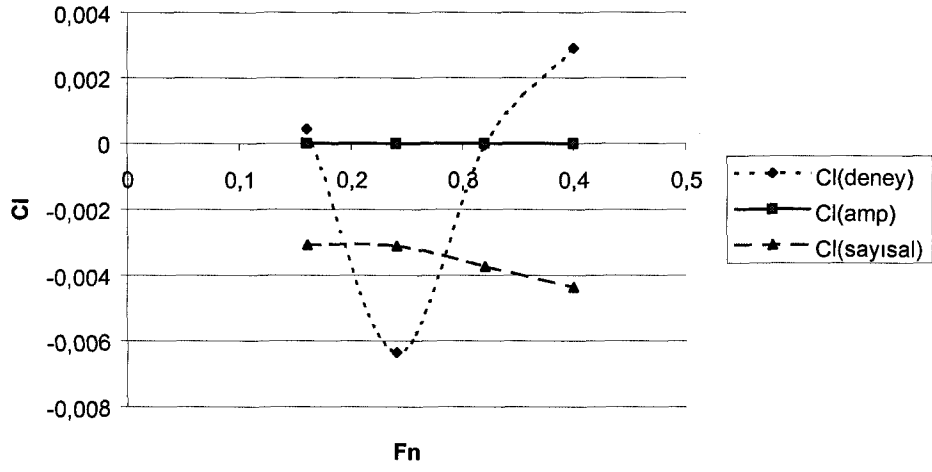
Şekil 4. 5.d Yan kuvvetin katsayısı (meyil 5 derece, sürüklenme 12 derece iken).



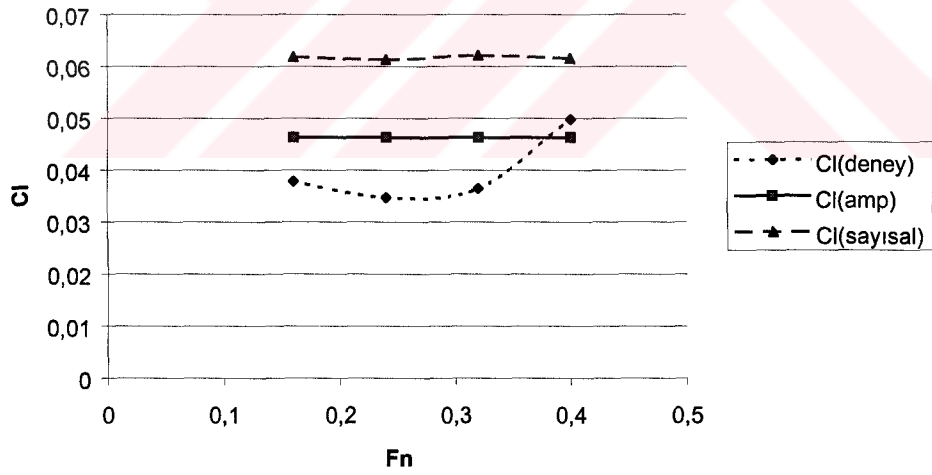
Şekil 4. 5.e Yan kuvvetin katsayısı (meyil 5 derece, sürüklenme -4 derece iken).



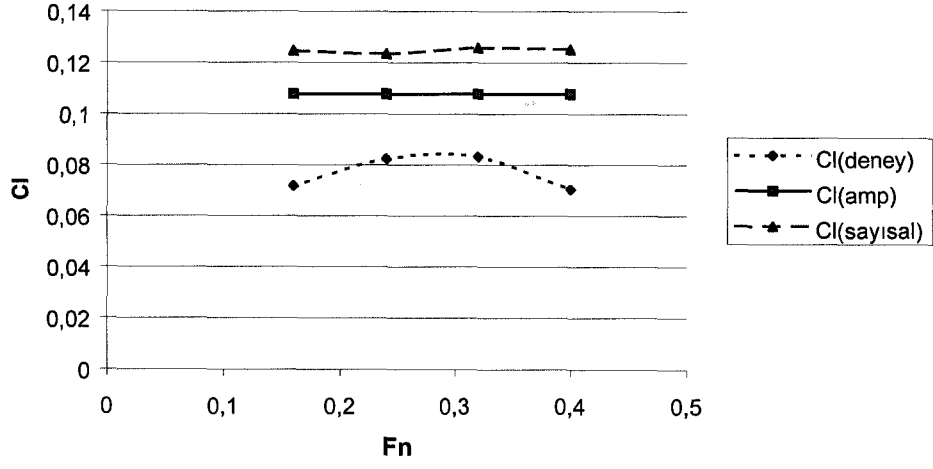
Şekil 4. 5.f Yan kuvvetin katsayısı (meyil 5 derece, sürüklenme -8 derece iken).



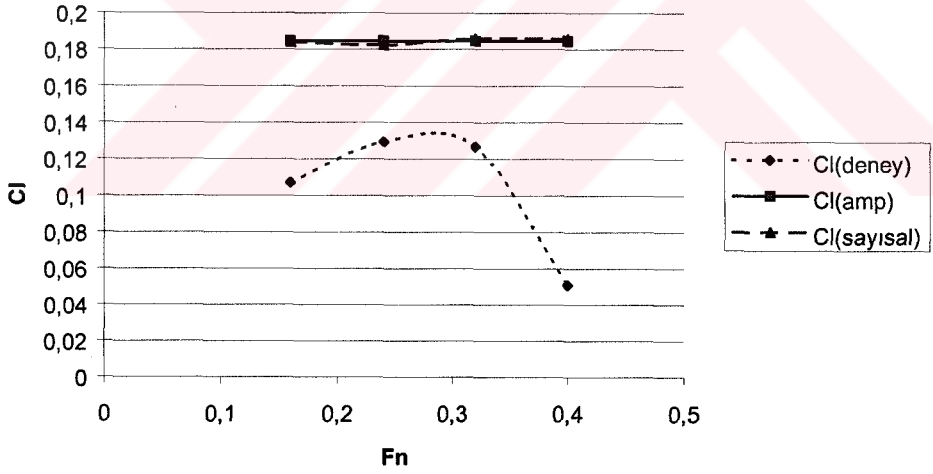
Şekil 4. 5.g Yan kuvvetin katsayısı (meyil 10 derece, sürüklenme 0 derece iken).



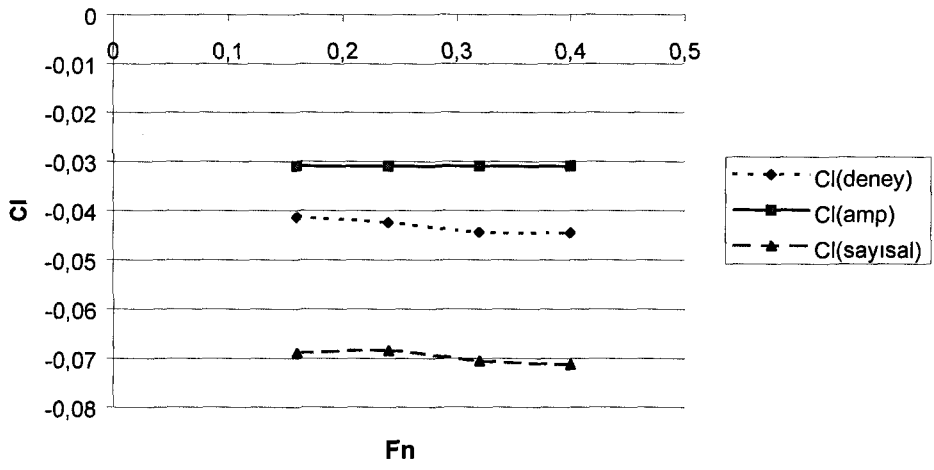
Şekil 4. 5.h Yan kuvvetin katsayısı (meyil 10 derece, sürüklenme 4 derece iken).



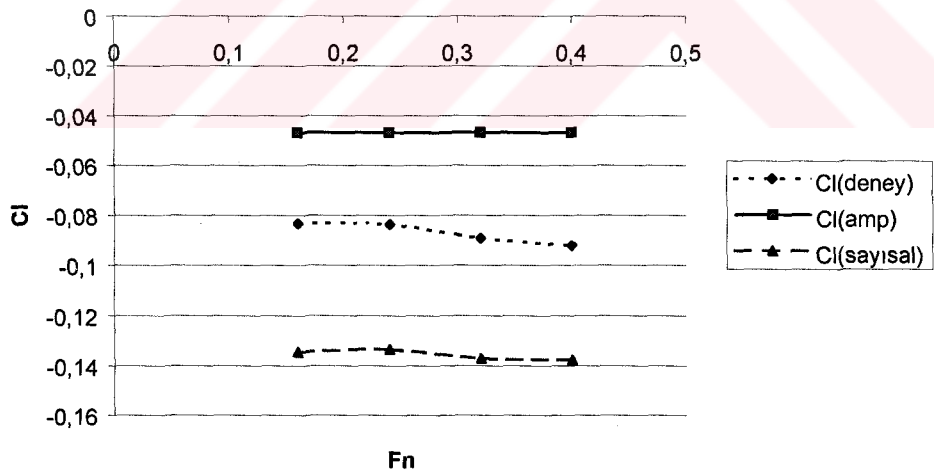
Şekil 4. 5.1 Yan kuvvetin katsayısı (meyil 10 derece, sürüklenme 8 derece iken).



Şekil 4. 5.i Yan kuvvetin katsayısı (meyil 10 derece, sürüklenme 12 derece iken).



Şekil 4. 5.j Yan kuvvetin katsayısı (meyil 10 derece, sürüklenme -4 derece iken).



Şekil 4. 5.k Yan kuvvetin katsayısı (meyil 10 derece, sürüklenme -8 derece iken).

ÖZGEÇMİŞ

Ahmet Özkan MUTLU 1977 yılında Giresun'da doğdu. İlk öğrenimini 1987 yılında İstinye Recaizade Mahmut Ekrem İlkokulunda tamamladı. 1990 yılında Özdemir Sabancı Emirgan Ortaokulunu ve 1993 yılında Boğaziçi Behçet Kemal Çağlar lisesini bitirdikten sonra aynı yıl İTÜ Gemi İnşaatı Mühendisliği Bölümünü kazandı. Bir yıl İngilizce hazırlık okudu. 1998 yılında mezun olduktan sonra İTÜ Gemi İnşaatı Mühendisliği yüksek lisans programını kazandı. İngilizce hazırlığı bitirdikten sonra 1999 yılında yüksek lisans programına başladı. Ağustos 2000-Eylül 2001 döneminde Beril Yatçılık ve Turizm A.Ş' de ketch tipi bir yelkenli teknenin imalatında çalıştı. 2002 yılının Ocak ayından beri Türk Loydunda çalışmaya devam etmektedir.



**T.C. YEREL YEREL KURULU
BORDOYANTAYIN BORDOYANTAYIN**