İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SÜRÜKLENME AÇISI ALTINDA TEKNE ÜZERİNE GELEN KUVVETLER HESABI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Müh. Evrim Alözkan

Anabilim Dalı: Gemi İnşaatı ve Gemi Makinaları Mühendisliği
Programı: Gemi İnşaatı ve Gemi Makinaları Mühendisliği

Tez Danışmanı: Doç.Dr. Mustafa İnsel

EYLÜL 2008

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SÜRÜKLENME AÇISI ALTINDA TEKNE ÜZERİNE GELEN KUVVETLER HESABI

YÜKSEL LİSANS TEZİ
Müh. Evrim Alözkan
508051007

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 15 Ekim 2008
Tezin Savunulduğu Tarih : 15 Eylül 2008

Tez Danışmanı :	**Doç.Dr. Mustafa İNSEL**
Diğer Jüri Üyeleri	**Prof. Dr. Metin TAYLAN (İ.T.Ü.)**
	Doç.Dr. İsmail H. HELVACIOĞLU (İ.T.Ü.)

EYLÜL 2008

ÖNSÖZ

Üniversite öğrenimim boyunca benden yardımlarını, bilgilerini ve deneyimlerini esirgemeyen başta değerli hocam ve yüksek lisans danışmanım Doç.Dr. Mustafa İNSEL olmak üzere, Prof. Dr. Ömer GÖREN ve Yrd. Doç.Dr. Şebnem Helvacıoğlu'na teşekkürü borç bilirim. Tez çalışmam boyunca yardımları ile hayatımı kolaylaştıran Müh. Tolga Karacadal ve Y.Müh Tufan Arslan'a minnettarlığımı dile getirmek isterim. Ayrıca beni her zaman destekleyen, bugünlere gelebilmemi sağlayan aileme de sonsuz şükranlarımı sunarım. Hayatta sıradan biri olmamı engelledikleri ve bana hep daha ileriyi hedeflemeyi öğrettikleri için.

Eylül 2008 Evrim ALÖZKAN

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR **v**
ŞEKİL LİSTESİ **vi**
SEMBOL LİSTESİ **viii**
ÖZET **ix**
SUMMARY **x**

1. GİRİŞ **1**

2. NÜMERİK MODELLEME NEDİR? **3**
2.1 CFD 3
2.1.1 CFD'nin tarihi 3
2.1.2 Kullanım amaçları ve artıları 4
2.1.3 CFD programları ve kullanımı 5
2.1.3.1 Veri giriş modülü (Pre-processor) 5
2.1.3.2 Hesap modülü (Processor) 5
2.1.3.3 Değerlendirme modülü (Post-processor) 5

3. NÜMERİK MODELLEME **6**
3.1 Serbest Su Yüzeyinin Mevcut Olmadığı Durum 6
3.1.1 Geometrik katı modelin hazırlanması 6
3.1.2 Hesap matrisi ve sınır koşulları 7
3.1.3 Sınır koşulları ve çevresel etkenlerin sayısal değerlerinin girilmesi 9
3.2 Serbest Su Yüzeyinin Mevcut Olduğu Durum 10
3.2.1 Geometrik katı modelin hazırlanması 10
3.2.2 Hesap matrisi ve sınır koşulları 11
3.2.3 Sınır koşulları ve çevresel etkenlerin sayısal değerlerinin girilmesi 12
3.2.4 Hesap süreci 13
3.3 CFD Sonuçları 16

4. LABORATUVAR DENEYLERİ **20**
4.1 Deneylerde Kullanılan Deney Sistemi 20
4.1.1 Sirkülasyon kanalı 20
4.1.2 Dinamometre 21
4.1.3 Kalibrasyon 26
4.2 Deney Aşaması 26
4.2.1 Deney sıfırı 26
4.2.2 Hücum açılı deneyler 26
4.2.3 Direnç ölçümü 27
4.3 Deney Sonuçları 27

5. DENEY VE HESAP SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI **31**

6. SONUÇLAR **40**

KAYNAKLAR **42**
ÖZGEÇMİŞ **43**
EK A CFD GRAFİKLERİ **44**
EK B CFD VE DENEY KARŞILAŞTIRMASI GRAFİKLERİ **52**

KISALTMALAR

CFD :Hesaplamalı akışkanlar dinamiği (Computational Fluid Dynamics)
LCB :Boyuna yüzme merkezi

ŞEKİL LİSTESİ

		Sayfa No
Şekil 3.1	**:** Wigley formunun ve etrafındaki suyun katı modeli.....	**7**
Şekil 3.2	**:** Wigley formunun 5° hücum açısındaki hesap matrisi.....	**8**
Şekil 3.3	**:** Wigley formunun Gambit programı ile atanmış sınır koşulları.....	**9**
Şekil 3.4	**:** Serbest su yüzeyi mevcut formun, etrafındaki suyun ve havanın katı modeli.....	**11**
Şekil 3.5	**:** Serbest su yüzeyi mevcut modelin 0° hücum açısındaki hesap matrisi.....	**12**
Şekil 3.6	**:** 0° hücum açısındaki teknenin 0.6 m/s hızdaki zamana bağlı direnç grafiği.....	**14**
Şekil 3.7	**:** 0° hücum açısındaki teknenin 1.4 m/s hızdaki zamana bağlı direnç grafiği.....	**15**
Şekil 3.8	**:** 10° hücum açısındaki teknenin 0.6m/s hızdaki zamana bağlı yanal kuvvet grafiği.....	**15**
Şekil 3.9	**:** 10° hücum açısındaki teknenin 1.4 m/s hızdaki zamana bağlı yanal kuvvet grafiği.....	**16**
Şekil 3.10	**:** 1.4 m/s hızdaki açıya bağlı direnç grafiği.....	**17**
Şekil 3.11	**:** 1.4 m/s hızdaki açıya bağlı yanal kuvvet grafiği.....	**17**
Şekil 3.12	**:** 1.4 m/s hızdaki açıya bağlı döndürme momenti grafiği.....	**18**
Şekil 3.13	**:** 0.6 m/s hızdaki açıya bağlı direnç grafiği.....	**18**
Şekil 3.14	**:** 0.6 m/s hızdaki açıya bağlı yanal kuvvet grafiği.....	**19**
Şekil 3.15	**:** 0.6 m/s hızdaki açıya bağlı döndürme momenti grafiği.....	**19**
Şekil 4.1	**:** İ.T.Ü Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri Fakültesi Ata Nutku Gemi Model Deney Laboratuvarında bulunan sirkülasyon kanalı	**21**
Şekil 4.2	**:** Kempf & Remmers 6 Bileşenli Dinamometre.....	**22**
Şekil 4.3	**:** Dinamometre hücum açısı ayar kolu.....	**23**
Şekil 4.4	**:** Modeli sabitlemek için kullanılan takozlar.....	**24**
Şekil 4.5	**:** Dinamometre, taşıyıcı çerçeve ve model.....	**25**
Şekil 4.6	**:** Dinamometre, yükseltici ve verilerin toplandığı bilgisayar.....	**25**
Şekil 4.7	**:** Hücum açılı teknenin taşıyıcı çerçeveden görünüşü.....	**27**
Şekil 4.8	**:** 0° hücum açılı teknenin 0.4 – 1.6 m/s hızları arasındaki direnç grafiği.....	**28**
Şekil 4.9	**:** -20° +20° arasındaki hücum açılarında 0.4 - 1.4 m/s hız aralığındaki, hücum açısı – direnç grafiği.....	**28**
Şekil 4.10	**:** -20° +20° arasındaki hücum açılarında 0.4 - 1.4 m/s hız aralığındaki, hücum açısı – yanal kuvvet grafiği.....	**29**
Şekil 4.11	**:** -20° +20° arasındaki hücum açılarında 0.4 - 1.4 m/s hız aralığındaki, hücum açısı – döndürme momenti grafiği.....	**29**
Şekil 4.12	**:** Ölçülen direnç deney sonuçlarının literatürdeki sabit trim ve sabit draft deney sonuçları ile karşılaştırması.....	**30**
Şekil 4.13	**:** Ölçülen direnç deney sonuçlarının literatürdeki sabit trim ve sabit draft deney sonuçları ile karşılaştırması.....	**30**

Şekil 5.1 **:** Akım hızı – tekne direnci karşılaştırması..... **31**
Şekil 5.2 **:** 1.0 m/s akım hızında hücum açısı – tekne direnci karşılaştırması. **32**
Şekil 5.3 **:** 0° 1.4 m/s akım hızındaki CFD ile hesaplanan hız alanları..... **32**
Şekil 5.4 **:** 5° 1.4 m/s akım hızındaki CFD ile hesaplanan hız alanları..... **33**
Şekil 5.5 **:** 10° 1.4 m/s akım hızındaki CFD ile hesaplanan hız alanları..... **33**
Şekil 5.6 **:** 15° 1.4 m/s akım hızındaki CFD ile hesaplanan hız alanları..... **34**
Şekil 5.7 **:** 20° 1.4 m/s akım hızındaki CFD ile hesaplanan hız alanları..... **34**
Şekil 5.8 **:** 1.0 m/s akım hızında hücum açısı – yanal kuvvet karşılaştırması. **35**
Şekil 5.9 **:** 1.0 m/s akım hızında hücum açısı – yanal kuvvet katsayısı karşılaştırması..... **35**
Şekil 5.10 **:** 1.0 m/s akım hızında hücum açısı – döndürme momenti karşılaştırması..... **36**
Şekil 5.11 **:** 1.0 m/s akım hızında hücum açısı – döndürme momenti katsayısı karşılaştırması..... **36**
Şekil 5.12 **:** 1.4 m/s akım hızı 0° hücum açısında CFD ile oluşturulan dalga... **37**
Şekil 5.13 **:** 1.4 m/s akım hızı 0° hücum açısında deneyde oluşan dalga..... **37**
Şekil 5.14 **:** 1.0 m/s akım hızı 20° hücum açısında CFD ile oluşturulan dalganın 3 boyutlu izohips görüntüsü..... **38**
Şekil 5.15 **:** 1.4 m/s akım hızı 5° hücum açısında CFD ile oluşturulan dalganın 3 boyutlu izohips görüntüsü..... **38**
Şekil 5.16 **:** 1.4 m/s akım hızı 0° hücum açısında CFD ile oluşturulan dalganın 3 boyutlu izohips görüntüsü..... **39**

SEMBOL LİSTESİ

ρ **:** Yoğunluk
g **:** Yer çekimi
h **:** Yükseklik
C_T **:** Boyutsuz direnç katsayısı
C_S **:** Boyutsuz yanal kuvvet katsayısı
C_M **:** Boyutsuz dönme momenti katsayısı
U_C **:** Akım hızı (Tekne hızı)
S **:** Islak yüzey alanı
L **:** Tekne boyu
F_X **:** Direnç
F_Y **:** Yanal kuvvet
M_Z **:** Dönme momenti

SÜRÜKLENME AÇISI ALTINDA TEKNE ÜZERİNE GELEN KUVVETLER HESABI

ÖZET

Bir geminin dönme manevrası sırasında karşılaşacağı yanal kuvveti ve buna karşılık gelen momenti bilgisayarlar aracılığı ile hesaplamayı amaçlayan bu çalışmada elde edilen sonuçlar, halen daha model deneylerine ve seyir tecrübelerine ihtiyaç olduğunu ortaya koymuştur, çünkü bu deneyler için gereken hesaplama gücü sadece günümüzün süper bilgisayarlarında vardır.

Çalışmada ilk başlarda dönme manevrasının modellenmesi amaçlanmışken, ilerleyen zaman içinde bu kapsamda bir çalışma için gereken bilgisayar hesap kapasitesinin çok yüksek olduğu anlaşılmış, dinamik modelden vazgeçilerek quasi-statik modele geçilmiştir. Yapılan literatür taramasında, bu çalışmaya doğrulama amaçlı veri tabanı oluşturabilecek bir takım deneysel çalışmalar bulunmuş ve o çalışmalardaki koşullar simüle edilerek, hesap doğruluğu incelenmiştir.

Hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) araçlarının kullanıldığı bu çalışmada, modellemenin zorluğu ve doğru kabullerin yapılmasının önemi gözlemlenmiştir. Fakat modelleme ve kabullerin doğru yapılmasının sonucunda benzeri durumların arka arkaya hızlı bir biçimde hesaplanabilmesi CFD'nin üstün tarafını ortaya çıkarmıştır.

CFD aracılığı ile quasi-statik olarak incelenen durumlarda yanal kuvvete ve dönme momentine bakılmış, daha önceki deneysel çalışmalar ile sonuçlar karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar incelenmiş, uyumlu olmayan sonuçların nedenleri irdelenmiş, modelleme ve kabuller tekrar elden geçirilmiştir. Bir seri deneme yanılmadan sonra, tutarlı sonuçlara ulaşılmıştır.

Elde edilen sonuçlar ışığında, deneysel çalışmalara daha yakın sonuçlar alınabilmesi için hangi konulara dikkat edilmesi gerektiği, nelere ihtiyaç olduğu belirlenmiştir. Eldeki imkanların geliştirilmesi ile quasi-statik durumdan dinamik duruma geçişin mümkün olduğu ortaya çıkarılmıştır.

FORCE CALCULATIONS OF A SHIP UNDER THE DRIFT ANGLE

SUMMARY

In this project, the main aim is finding the side forces on the turning maneuvers and the moment with computers. It shows that, todays normal computers is not enough to calculate such simulations, therefore seyir tecrübesi and model tests are still in need. Only the super-computers has that much calculation power.

At the begining the aim was the simulation of the turning maneuver, but the progress showed that the required computational power is not present. Therefore the dynamic modelling have been changed by the quasi-static modelling. It has been found that there are some prior model test on the side forces during a turning maneuver in quasi-static conditions. These works have been used as validication data for this project.

Difficulty of modelling and making correct assumptions were the key points of this project in which the Computational Fluid Dynamics (CFD) tools have been used. The real power of the CFD comes out after the modelling and assumptions. With the use of CFD, the similar cases has been solved in a good pace.

Side force and turning moment has been inspected with the help of CFD in a quasi-statik modus and the results have been compared with the prior works for validation.

Due to the results, the corrections have been made to make results more compareable with the model tests. This project also shows that it is possible to calculate the dynamic model, if the computational power has been increased.

1. GİRİŞ

Bir geminin manevrasını incelemek için kullanılan en yaygın yöntem bilgisayar ortamında manevra simülasyonları düzenlenmesidir. Bu simülasyonların gerçekleştirilebilmesi için, tekne formu, pervane ve dümen özellikleri kullanılarak gemi manevra türevlerinin tahmin edilmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu manevra türevleri ampirik metotlar, model deneyleri veya benzer gemi seyir tecrübeleri kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Ampirik metotlar genelde tekne, pervane ve dümen boyutları kullanılarak yapılmakta, gemi üzerindeki form değişiklikleri dikkate alınamamaktadır. Model deneyleri ise büyük kare veya geniş model deney havuzlarına ihtiyaç duymakta model gemi arasında benzerlik problemleri ile karşılaşılmaktadır. Benzer gemi seyir tecrübeleri ise genelde bulunması zor verileri içermektedir. Bu çalışmada büyük test havuzlarına ve geminin kendisine ihtiyaç duyulmadan bilgisayar hesaplamalı akışkanlar mekaniği metotları kullanılarak manevra türev değerlerinin elde edilmesi amaçlanmıştır.

Manevra kabiliyeti, bir geminin seyir sırasında güvenli şekilde yol almasını sağlayan başlıca kriterlerden biridir. Bir geminin manevra kabiliyeti daha çizim masası üzerindeyken bilinmesi, eğer dizaynda hata varsa o aşamada düzeltilmesi gerekmektedir. Ampirik hesaplar, manevra denklemleri ve model deneyleri bu aşamada dizayn yapan mühendisin başvuracağı başlıca yöntemlerdir. Model deneyleri dışındaki yöntemler ile kesin bir sonuca ulaşmak mümkün olmasa da, model deneyleri yeterli ve gerçekçi sonuçlar verecektir. Fakat deneyler ise belli bir bütçe gerektirir ve zaman alır.

Bilgisayarların hayatın her alanına girdiği günümüzde, manevra hesapları da bilgisayarlar ile yapılabilmektedir. Ampirik yöntemlerin ve manevra denklerinin de bilgisayarla hesaplanabileceği gibi, sonlu elemanlar yöntemi kullanan programlar aracılığıyla da manevra hesaplanabilir. Hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) uzun zamandır kullanılan sonlu elemanlar yöntemlerinin başında gelmektedir. Bu çalışma kapsamında da hesaplamalar ticari bir CFD yazılımı olan Fluent ile yapıldı.

Çalışmaya ilk başlandığında amaç, dinamik olarak gemi manevra hareketinin modellenmesiydi. Yapılan araştırmalar ve denemeler sonucunda bu tip bir çalışmanın eldeki bilgisayar sistemleri ile çözülmesinin kabul edilebilir süreler içinde olmayacağı anlaşılmış ve dinamik modelden quasi-statik modele geçilmiştir.

CFD yönteminin kavranması için öncelikle daha basit denemeler yapıldı. Öncelikle Wigley formundaki bir tekne serbest su yüzeyi olmaksızın farklı açılarda denenip yöntemler üzerinde çalışıldı. Bu çalışmadan elde edilen deneyimlerle serbest su yüzeyi etkileri de hesaplara dahil edilmiştir.

Nümerik olarak oluşturulan model birebir sirkülasyon kanalında da oluşturuldu. Aynı hızlarda aynı açılarda oluşturulan koşullarda ölçümler yapıldı. İlk çalışmalarda serbest su yüzeyi ihmal edildi. Sonuçların tutarlılığı karşılaştırıldı. Serbest su yüzeyi etkisi için çift fazlı akım modellendi. Serbest su yüzeyi mevcut olmayan durumlar, mevcut olan durumdaki hatalardan yola çıkılarak elden geçirildi ve tekrar hesaplandı.

Sonuçta Serbest su yüzeyi mevcut olmaksızın yapılan hesaplar dahi, model deney sonuçları ile tutarlı çıktı. Sonuçta nümerik modelleme düzgün yapıldığı sürece CFD'nin tutarlı sonuçlar ortaya çıkardığı görüldü.

2. NÜMERİK MODELLEME NEDİR?

Nümerik akım modellemeleri çok uzun zamandır bilinmektedir. Ancak eldeki bilgisayar teknolojilerinin yeterli olmaması yüzünden geniş kapsamlı olarak kullanılamamaktaydı. Günümüzde bile sıradan bir bilgisayar sadece belli başlı problemlerin çözümlenmesinde yardımcı olabilmektedir. Özellikle üç boyutlu problemlerde bu bilgisayarlar yeterli olamamaktadır. Bu tezde hesaplamalı akışkanlar dinamiği (Computational fluid dynamics, CFD) tekne üzerine gelen kuvvetlerin ve momentlerin hesaplanmasında ve tekne etrafındaki akımın incelenmesinde kullanılmıştır.

2.1 CFD

CFD akışkanlar mekaniğinin problemleri nümerik metotlar ve algoritmalar yardımı ile çözüp analiz eden bir dalıdır. CFD çalışmalarında bilgisayarlar, verilen model ve simülasyonları hesaplayabilmek için milyonlarca matematik işlemini yapmak zorundadırlar. Özellikle de model ve akım karmaşıklaştıkça en basit denklemler için bile yüksek hızlı süper bilgisayarlar gerekmektedir. Süper bilgisayarlar olmaksızın ancak belli bir seviyeye kadar hesap yapılabilmektedir. Bütün bunların yanında kullanılan programın ve matematiksel yöntemin de model ya da simülasyonla uyumlu olması gerekmektedir. Bu özelliği yüzünden CFD sonuçlarının bir başka yöntemle doğruluklarının onaylanması gerekir.

2.1.1 CFD'nin tarihi

Her CFD probleminin temeli Navier-Stokes denklemlerine dayanır. CFD ilk olarak lineer potansiyel denklemleri çözmek için kullanılmıştır. 1930'larda kanat etrafındaki akımların iki boyutlu olarak incelenmesinde kullanılmaya başlamıştır. Bilgisayarlar devreye girene kadar üçüncü boyuta geçilememiştir. Zaman içinde bilgisayarların ve kodların gelişimiyle bugünkü seviyesine ulaşmıştır.

2.1.2 Kullanım amaçları ve artıları

Her geçen gün artan popülaritesini, kullanımının kolaylaşmasına ve çeşitli ihtiyaçlara yönelik yeni yazılımlar çıkmasına borçlu olan CFD, endüstriyel işlemlerin ve ürünlerin tasarımında vazgeçilmez bir eleman haline gelmiştir. Deneylere göre CFD'nin avantajlarını aşağıdaki gibi listeleyebiliriz;

-tasarım sürecinde maliyet açısından kolaylık sağlaması,

-deneysel olarak incelenmesi mümkün olmayan model ve simülasyonların oluşturulabilirliliği,

-incelenen problemle ilgili ayrıntılı bilgi sağlamasını sayabiliriz.

Özellikle de deneysel çalışmaların pek çoğunun maliyeti göz önüne alınırsa, özellikle de tasarım aşamasında başlangıç olarak uygun bir sistem ve yazılım maliyetinden öte bir gideri olmayan CFD, bu sebeple birçok uygulama alanı bulmaktadır. Bunların bazılarını sıralamak gerekirse;

-hava ve kara taşıtlarının aerodinamik tasarımı,

-gemilerin hidrodinamik tasarımı,

-binaların iç ve dış tasarımı,

-deniz teknolojisi mühendisliğinde açık deniz yapılarına gelen yüklerin hesabı,

-biyomedikal mühendisliği (Arter ve kalp kapakçıklarındaki kan akımının modellenmesi),

-askeri amaçlı su altı patlama modellemesi,

-meteorolojik olayların önceden tahmini sayılabilir. **(Gökçay, 2003)**

Son yıllarda artan popülaritesi nedeniyle birçok yazılım firması CFD yazılımları pazarına girmektedir. Aynı zamanda üniversiteler ve araştırma enstitüleri kendi ihtiyaçlarına cevap verecek yazılımlar üzerinde çalışmaktadır. Bu yazılımlardan bazılarının adlarını verecek olursak PHOENICS, FLUENT, FLOW3D, CFX ve STAR-CD sıralanabilir. Bu çalışma kapsamında Fluent yazılımının 6.3 versiyonu kullanıldı.

2.1.3 CFD programları ve kullanımı

CFD yazılımları esas olarak üç kısımdan oluşurlar. Bu kısımlar 3. bölümde açıklanmıştır.

2.1.3.1 Veri giriş modülü (Pre-processor)

Modelin ve sınır şartlarının oluşturulduğu kısımdır. Geometrik modeli, hesap matrisi, sınır koşul türleri bu bölümde tanımlanır. Genelde her ticari yazılım kendi modülü ile gelir. Fakat pek çoğu birbirini destekler. Örnek vermek gerekirse, FLUENT'in GAMBIT'ini ve CFX'in ICEM-CFD'si sayılabilir. Ama istenirse ICEM-CFD ile üretilmiş bir model de FLUENT'te çalıştırılabilir. Mevcut çalışma kapsamında GAMBIT kullanılmıştır.

2.1.3.2 Hesap modülü (Processor)

Genellikle sonlu hacimler yöntemini kullanarak bilinmeyen akım değişkenlerini basit fonksiyonlarla tahmin eder, mevcut modeldeki akım denklemlerine bu değişkenleri girer ve elde ettiği cebrik denklemleri çözer. Bu döngü iteratif olarak istenilen hata yüzdesi elde edilene kadar devam eder. Bu çalışmada kullanılan hesap modülü daha önce de bahsedildiği gibi FLUENT 6.3 yazılımıdır.

2.1.3.3 Değerlendirme modülü (Post-processor)

Çıkan sonuçların grafik olarak değerlendirilmesi daha rahat olacağı için elde edilen veriler değerlendirme modülleri tarafından görselleştirilir.

3. NÜMERİK MODELLEME

Modelleme sürecinin 3 farklı aşaması vardır. İlk olarak fiziksel durum, geometrik bir model olarak bilgisayar ortamında oluşturulur. Sonra bu modelin üzerine hesap matrisi ve sınır koşulları atanır. Son olarak sınır koşullarının ve çevresel etkenlerin sayısal değerleri girilir ve hesaplama sürecine hazır hale getirilir.

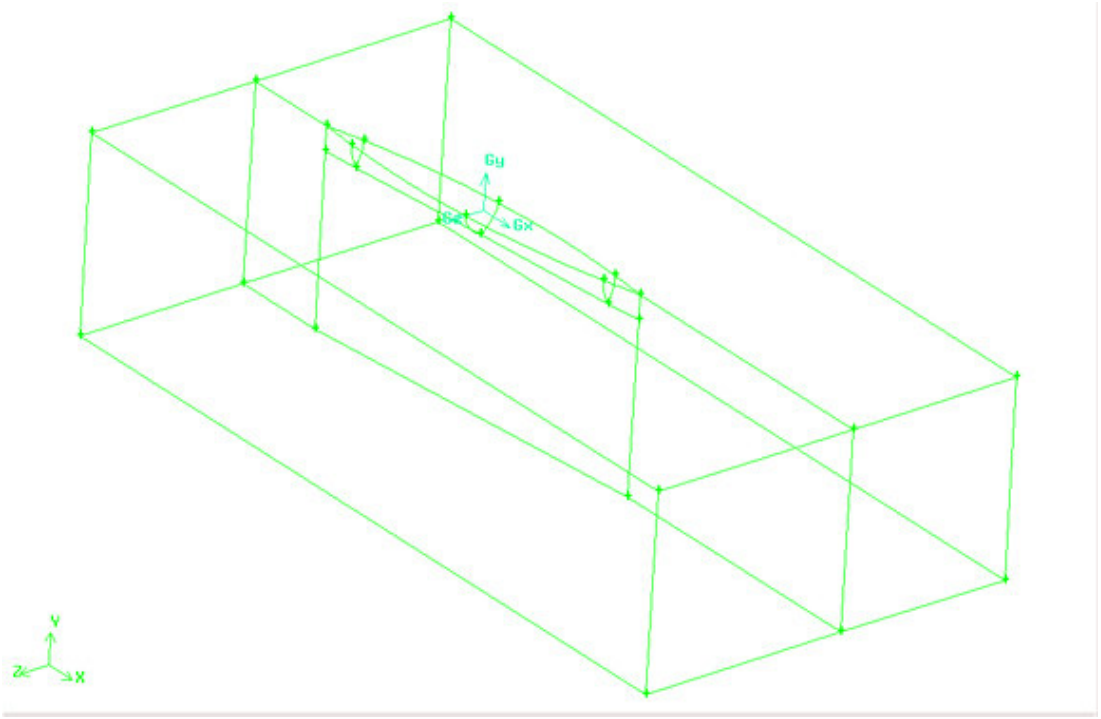
3.1 Serbest Su Yüzeyinin Mevcut Olmadığı Durum

3.1.1 Geometrik katı modelin hazırlanması

Geometrik katı model hazırlanırken öncelikle, gerçekte neyin modelleneceği göz önüne alınmalıdır. Bir gemi için düşünüldüğünde; açık denizde mi yoksa kapalı bir ortamda mı, ölçeklendirilmiş model mi yoksa gerçek gemi mi, elde edilmek istenen bilgiler serbest su yüzeyinden etkilenir mi etkilenmez mi ve buna benzer bir takım sorulara öncelikle cevap verilmesi gerekir.

Bu tez dahilinde yanal kuvvet önemli olduğu ve doğrulama amaçlı kullanılan veriler havuz deneylerinin sonuçları olduğu için geometrik model olarak havuz ortamı ve ölçeklenmiş gemi modeli oluşturulmuştur. Geometri ve hesap matrisinin kontrolü, sonlu elemanlar programının kapasitesi ve kullanılış biçimi, eldeki bilgisayarların kapasitesi göz önüne alınarak ilk hazırlanan modellere serbest su yüzeyi etkisi katılmamış, sonraki aşamalarda eklenmiştir.

İlk olarak Wigley formu ile yapılacak denemeler için, IGES formatındaki gemi formu, Gambit programına aktarılmıştır. Gambit ile teknenin etrafına su modellenmiştir. Su 2,0m x 1,0m x 0,5m, tekne 1,0m x 0,1m x 0,0625m boyutlarında ve tekne x ekseninde merkezden su giriş yönüne 0,25m mesafede konumlandırılmış şekilde modellenmiştir. Wigley formunun ve etrafındaki suyun Gambit programı içinde oluşturulmuş katı modeli Şekil 3.1'de verilmiştir.



Şekil 3.1: Wigley formunun ve etrafındaki suyun katı modeli

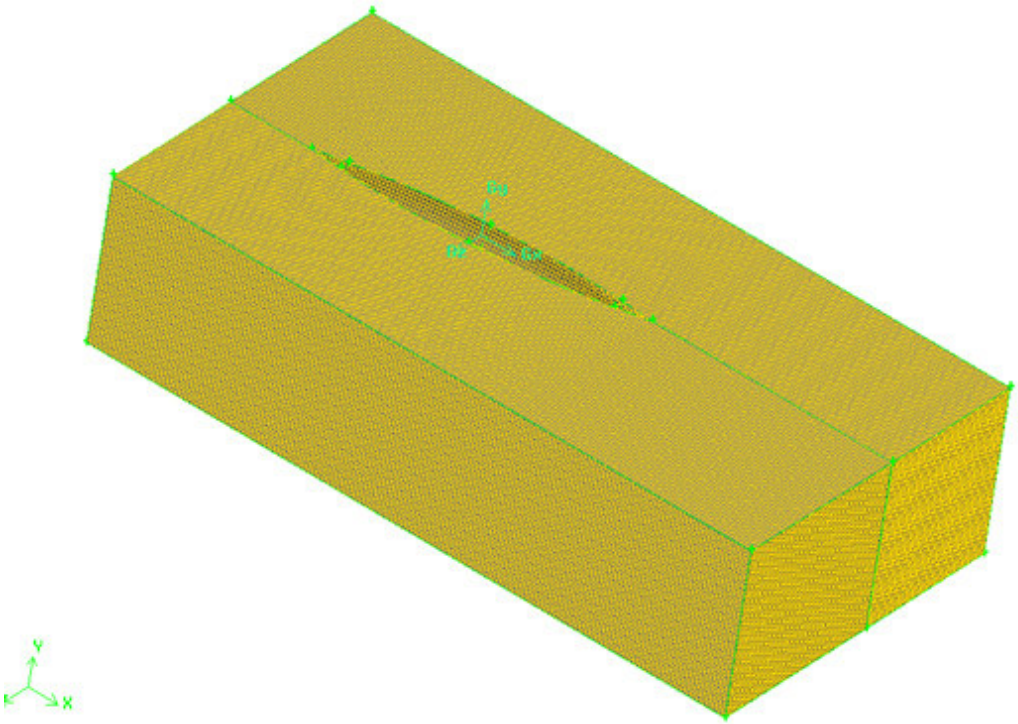
Modellemede koordinat merkezi teknenin LCB (Boyuna yüzme merkezi) değeri göz önüne alınarak yerleştirilmiştir. Ayrıca bu modelde serbest su yüzeyi etkileri göz ardı edilmiş, sadece su altı gövdesi modellenmiştir. Suyun içindeki tekne modeli daha sonradan istenen hücum açısına göre çevrilmiştir. Son işlem olarak da yerleştirilen tekne modeli su modelinden çıkartılarak, hesaplanacak akışkan modellenmiştir.

3.1.2 Hesap matrisi ve sınır koşulları

Hazırlanan geometrik modelin üzerinde hesap noktalarını belirlemek için Gambit programının Mesh ara yüzü kullanılmıştır. Bu ara yüz yardımı ile çok farklı çeşit ve sayıda isteğe ve ihtiyaca göre hesap matrisi oluşturmak mümkündür.

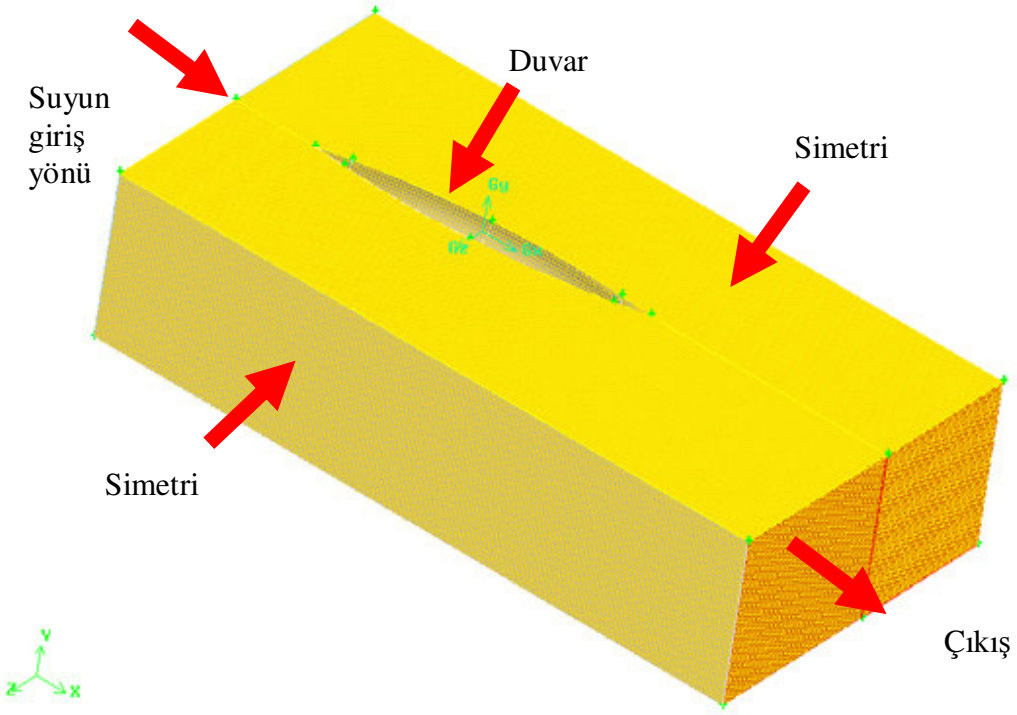
Wigley formu, düzgün yapısı sayesinde quadrilateral hücreler kullanılarak Map yöntemi ile oluşturulmuştur. Bu yöntem elemanları olabildiğince düzgün küplere benzetmeye çalışmaktadır. Küplerin ideal kenar uzunlukları 0,01 metredir. Kenar uzunluğu seçiminde tekne üzerindeki dağılım ve eleman sayısının, hesap makineleri kapasitelerinde kalması gerekliliği göz önüne alınmıştır. Bu şekilde hesaplanacak eleman sayısı olabildiğince minimum düzeyde kalmaktadır. Hacim üzerinde küplerin düzgün dağılması amacıyla gerekli görüldüğü yerlerde hacim iki ayrı parçaya ayrılmıştır. Ayrıca hücum açısının 0° olduğu ilk durumda, işlem zamanından

kazanmak amacıyla modelin sadece yarısı kullanılmış, sınır koşullarından simetri sınır koşulu kullanılarak diğer yarısının etkileri hesaba katılmıştır. Wigley formunun Gambit programı içinde tanımlanmış 5° hücum açısındaki hesap matrisi Şekil 3.2'te verilmiştir.



Şekil 3.2: Wigley formunun 5° hücum açısındaki hesap matrisi

Hesap matrisi işleminden sonra Gambit programının sınır koşul ara yüzü ile suyun giriş, çıkış yüzeylerine, tekne yüzeyine, üst yüzeye ve havuz duvarları kabul edilen yan yüzeylere gerekli sınır koşulları girilmiştir. Fakat Gambit programındaki sınır koşulu ara yüzü sadece, sınır koşulunun türünü belirtmek için kullanılmakta olup sayısal bir nitelik içermemektedir. Suyun giriş yönü "velocity inlet" olarak adlandırılan sabit hızlı akım vermeye yarayan sınır koşulu olarak belirlenmiştir. Suyun çıkış yönüne "outflow" adı altında gelen akımın hiçbir etkiye maruz kalmadan hesap bölgesini terk ettiği ve geri dönemediği sınır koşulu atanmıştır. Tekne yüzeyi "wall" düz sabit yüzey sınır koşulu ile ve yan havuz duvarları "symmetry" adı verilen, simetri yüzeyi sınır koşulu ile tanımlanmışlardır. Gambit programı içinde atanmış sınır koşulları Wigley formu için Şekil 3.3'te verilmiştir.



Şekil 3.3: Wigley formunun Gambit programı ile atanmış sınır koşulları

Hesap matrisi ve sınır koşulu oluşturma aşamasının son adımı ise bütün bu geometrik modelin hangi bölgelerinin katı hangi bölgelerinin sıvı olduğunu belirleyen atamaların yapılmasıdır. Geometri aşamasında katı sıvıdan çıkartıldığı için, bütün hacim "fluid" akışkan olarak tanımlanmıştır.

Tüm modelleme işlemleri bittikten sonra hesaplamaya hazır hale gelen model, "export mesh" komutu aracılı ile Fluent programının anlayıp, üzerinde işlem yapabileceği formatta çıktısı alınır.

3.1.3 Sınır koşulları ve çevresel etkenlerin sayısal değerlerinin girilmesi

Gambit programı ile hazırlanan model, Fluent programı ile açılır. Fluent, çok kapsamlı bir sonlu hacim elemanları hesap programıdır. Fluent aracılığı ile modele sayısal sınır koşulları çevresel etkenler atanır, hesap yöntemi ve gerekli kabuller uygulanır ve sonlu hacim elemanları yöntemlerinden seçilen birisi ile istenilen akım hesaplanır. Bu akım mutlaka sıvı olmak zorunda değildir. Isı, hava ve benzeri her türlü akımın hesaplanmasında Fluent programı rahatlıkla kullanılabilir.

İlk zamanlarda modele çevresel etken olarak 9,81 m/s^2 yerçekimi ivmesi, 101.325 pascal açık hava basıncı tanımlanmıştı. Suyun yoğunluğu 998,2 kg/m^3, viskozitesi 0,001003 kg/m.s alınmıştı. Bu değerlerin yeterli olacağı düşünülmüştü. Fakat

sonradan suyun hidrostatik basıncının hesaba katılmadığı fark edilince, Fluent'in "Custom Field Function" menüsü ile "ρ.g.h" hidrostatik basınç formülü tanımlanmış ve bu fonksiyon ile modelin su kütlesi yamanmıştır. Bu şekilde başlangıç anında sudaki hidrostatik basınç hesaba eklenmiştir.

Modele suyun giriş hızı olarak Froude sayısının 0.32 değerine karşılık gelen 1 m/s atanmıştır.

Çözüm sistemi olarak bu hesaplar doğrudan tez sonucunu etkilemeyeceği için daha düşük işlem gücü gerektiren Spart-Allmaras 1. derece sonlu elemanlar denklem sistemi kullanılarak çözülmüştür.

3.2 Serbest Su Yüzeyinin Mevcut Olduğu Durum

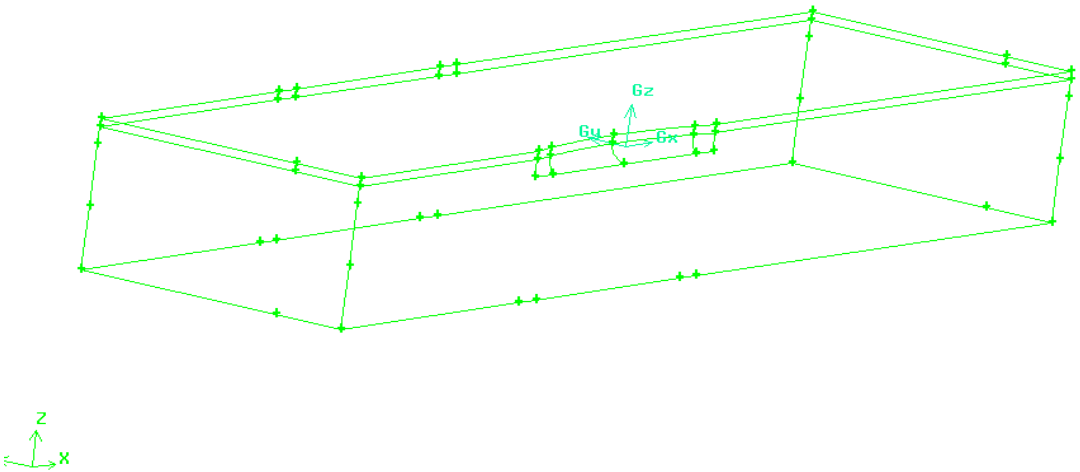
3.2.1 Geometrik katı modelin hazırlanması

Serbest su yüzeyinin mevcut olduğu durum yine Wigley tekne formu için modellenmiş ve hesaplanmıştır. Fakat bu sefer havuz deneylerinin yapılacağı eldeki model su hattının üstünde kalan bölümünü de içerecek şekilde Gambit programında oluşturulmuş, katı modelleme bu form üzerinden devam etmiştir.

Serbest su yüzeyi mevcut olmayan modellerden farklı olarak bu modelde iki farklı giriş, su için ve hava için, kullanılmıştır. Aynı şekilde çıkışlar da su ve hava için iki ayrı çıkıştır.

Model, hesap matrisinin çok fazla sayıda elemandan oluşmasını engellemek için alt bölgelere ayrılmış, mümkün olduğunca quadrilateral map mesh kullanımına uygun hacimler yaratılmaya çalışılmıştır.

Serbest su yüzeyi mevcut olmayan modelden farklı olarak tekne boyutları 2.0m x 0.1m x 0.125m su altı gövdesi ve 0.06m yüksekliğinde su üstü gövdesi yaratılmıştır ki bu yükseklik aynı zamanda deneylerde kullanılacak teknenin fribord yüksekliğidir. Wigley formunun, etrafındaki suyun ve havanın Gambit programı içinde oluşturulmuş katı formu Şekil 3.4'de verilmiştir.

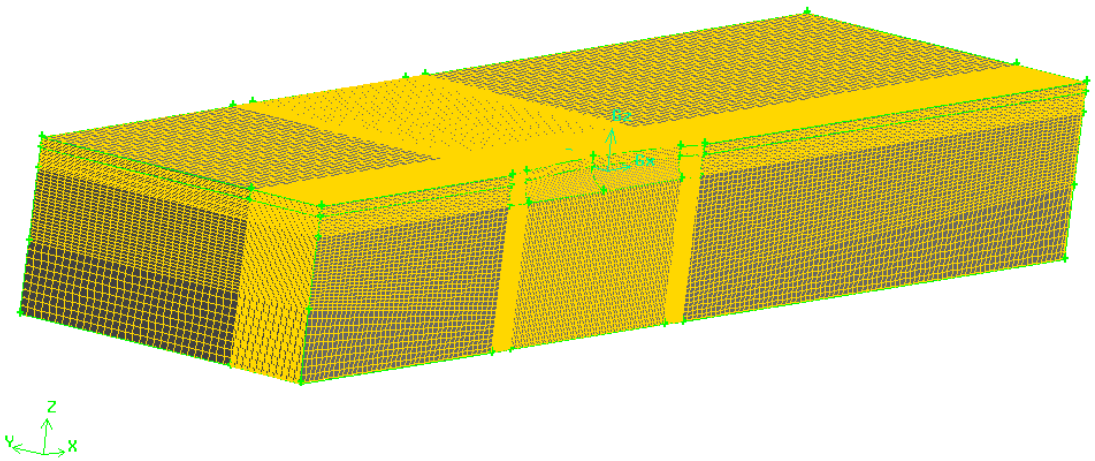


Şekil 3.4: Serbest su yüzeyi mevcut formun, etrafındaki suyun ve havanın katı modeli

3.2.2 Hesap matrisi ve sınır koşulları

Wigley formunun düzgün matematiksel yapısı sayesinde tüm hacimler quadrilateral map mesh yöntemi ile hesap elemanlarına ayrılmıştır. 0° hücum açısının simetri özelliğinden yine faydalanılmış, bu açıdaki modelin sadece yarısı işleme sokularak, işlem zamanından kazanılmıştır. Hücre kenarları, elemanların yer ve önemlerine göre 0.01m, 0.02m, 0.05m kullanılmıştır. Kısa hücre kenarları tekne etrafında, uzun hücre kenarları tekneye uzak bölgelerde, 0.02m kenar uzunluğu ise geçiş bölgelerinde kullanılmıştır. Şekil 3.8'de 0° hücum açısı için hesap matrisinin son hali görünmektedir.

Diğer hücum açılarında da aynı yöntemler kullanılmıştır. Fakat tekne döndükçe akımın karıştığı bölgeler arttığı için eleman sayısı gitgide artmıştır. Bu durum hesap yükünü arttırdığı için derinlik Froude sayısı hesaplanıp su hacmi hesabı bozmayacak şekilde küçültülmüştür. Şekil 3.5'te teknenin 0° hücum açısındaki hesap matrisi görülmektedir.



Şekil 3.5: Serbest su yüzeyi mevcut modelin 0° hücum açısındaki hesap matrisi

Bu modele de aynı serbest su yüzeyi mevcut olmayan modellerdeki gibi, Gambit programı aracılığı ile sınır koşulu tanımlaması gerekmektedir. Öncelikle tüm hacim seçilip akışkan olarak tanımlanır. Daha sonra su ve hava girişleri ayrı ayrı "velocity inlet" hıza bağlı akış girişi olarak tanımlanır. Tekne ve havuz duvarları "Wall" duvar sınır koşulu tanımlanır. Son olarak hava ve su çıkışları ayrı ayrı "pressure outlet" belirgin basınçlı akışkan çıkış sınır koşulu ile tanımlanır.

3.2.3 Sınır koşulları ve çevresel etkenlerin sayısal değerlerinin girilmesi

Modele çevresel etken olarak 9,81 m/s^2 yerçekimi ivmesi, 101.325 pascal açık hava basıncı tanımlanmıştır. Suyun yoğunluğu 998,2 kg/m^3, viskozitesi 0,001003 kg/m.s alınmıştır. Bunların dışında yine Fluent'in "Custom Field Function" menüsü ile "ρ.g.h" hidrostatik basınç formülü tanımlanmış ve bu fonksiyon ile modelin su kütlesi yamanmıştır.

Serbest su yüzeyi mevcut durum için seçilen çıkış tipi olan pressure outlet, çıkış anında tüm basınçları sabit bir değere getirmeye çalıştığı için o bölgeye de bir düzeltme yapma zorunluluğu vardır. Bu yüzden bir "User defined function" (kullanıcı tarafından tanımlanan fonksiyon) hazırlanmış, "pressure outlet" sınır koşuluna bu fonksiyon tanımlanmıştır. Fonksiyon aşağıdaki gibidir:

```
#include "udf.h"
DEFINE_PROFILE(pressure_outlet, thread, index)
{
real x[ND_ND];
real z;
face_t f;
  begin_f_loop(f, thread);
  {
  F_CENTROID(x,f,thread);
  z=x[2];
  F_PROFILE(f, thread, index)=998.2*9.81*z*(-1);
  }
  end_f_loop(f, thread)
}
```

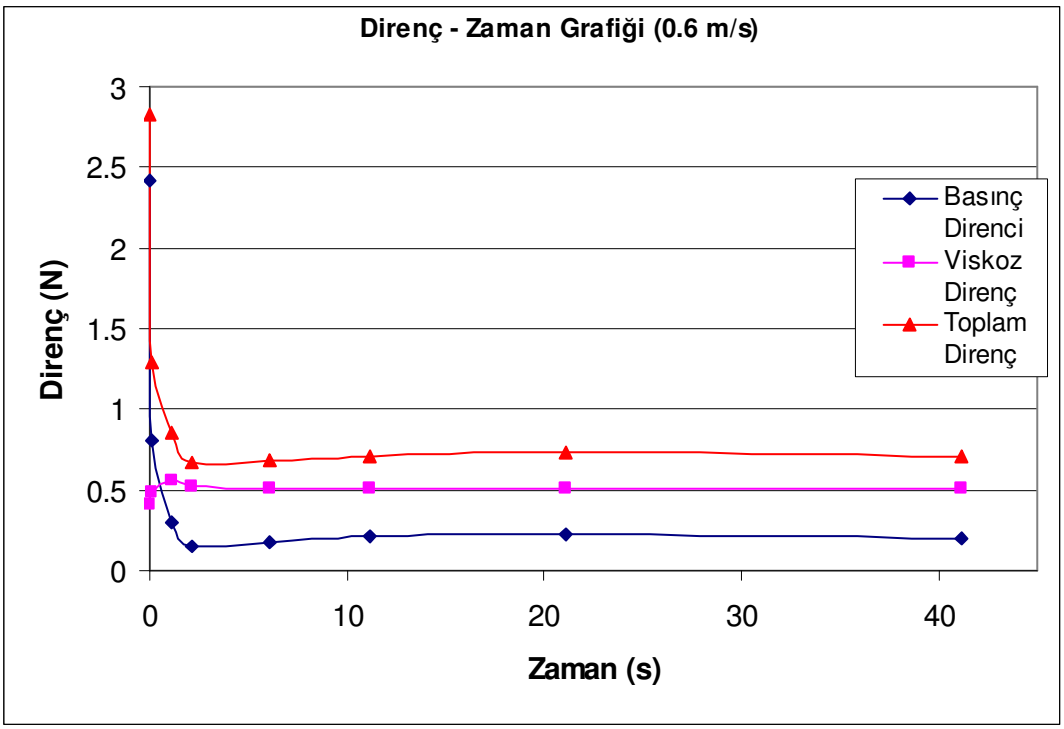
Bu fonksiyon sayesinde çıkış basınçlarının hidrostatik basınç ile etkileşimli olarak modeli terk etmesi sağlanmıştır. Fakat bu fonksiyon sadece suyun çıkış bölgesine tanımlanmıştır. Havanın çıkıştaki statik basıncı zaten açık hava basıncı olarak tanımladığından ve değişimi göz ardı edilebilecek kadar düşük olduğundan hava için bu fonksiyon kullanılmamıştır.

3.2.4 Hesap süreci

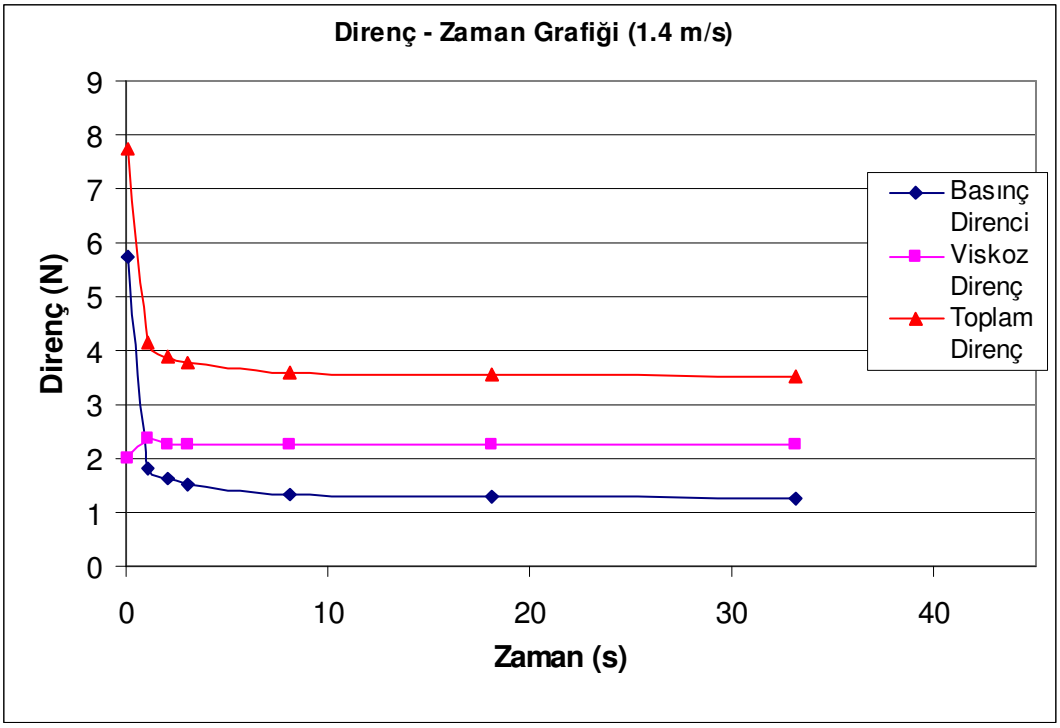
Nümerik hesaplar 0.6 m/s, 1.0 m/s, 1.4 m/s, 1.8 m/s, 2.2 m/s hızları için; 0°, 5°, 10°, 15°, 20° hücum açılarında koşulmuştur **(Longo ve Stern,2000)**. Türbülans modeli olarak ikinci derece K- Ω modeli seçilmiştir. Bu modelin sıvı gaz girişimlerinde diğer ikinci derece denklemlerden daha iyi sonuçlar verdiği bilinmektedir. Daha yüksek mertebeli türbülans modellerinin ise eldeki işlem gücü kapasitesi ve hesap hücre sayısı göz önünde bulundurulduğunda, işlem süresini çok fazla uzatacağı anlaşılmıştır.

Serbest su yüzeyi hesaplamalarında, kesin yaklaşımlar için zamana bağlı çözümler (unsteady solver) her zaman için daha başarılıdır. Bu şekilde yüzeydeki dalga oluşumu gözlemlenebilir, formun etkileri sonuçlara daha belirgin yansır.

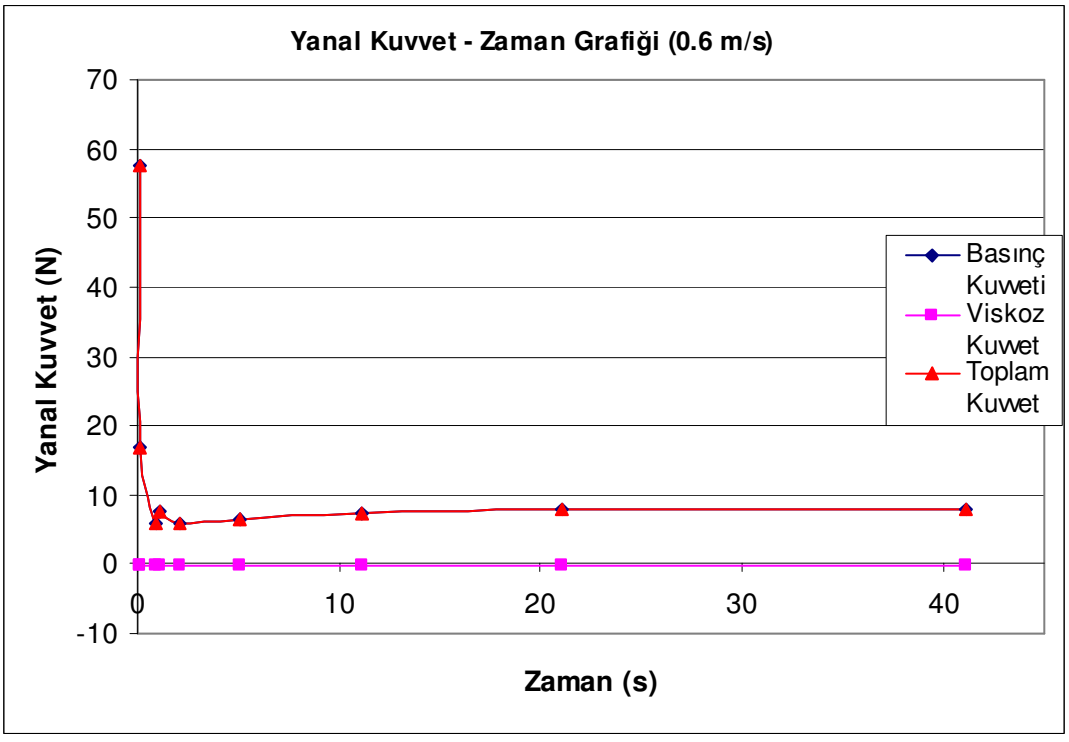
Zamana bağlı çözümlerde tek bir zaman adımının kendi içinde yakınsaması yeterli değildir. Tüm zaman adımları aynı zamanda genel hesap mertebesinde zamana bağlı olarak da yakınsar. Şekil 3.6, 3.7, 3.8 ve 3.9'da zamana bağlı yakınsamaya örnek grafikler görülmektedir.



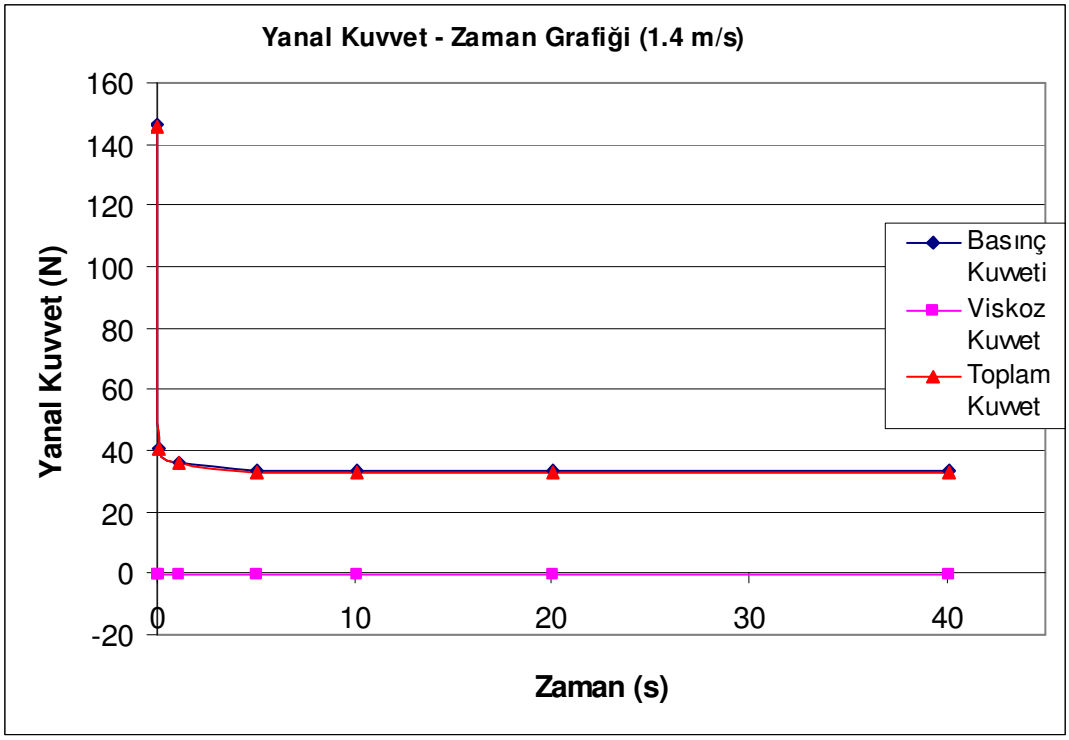
Şekil 3.6: 0° hücum açısındaki teknenin 0.6 m/s hızdaki zamana bağlı direnç yakınsama grafiği



Şekil 3.7: 0° hücum açısındaki teknenin 1.4 m/s hızdaki zamana bağlı direnç yakınsama grafiği



Şekil 3.8: 10° hücum açısındaki teknenin 0.6m/s hızdaki zamana bağlı yanal kuvvet yakınsama grafiği

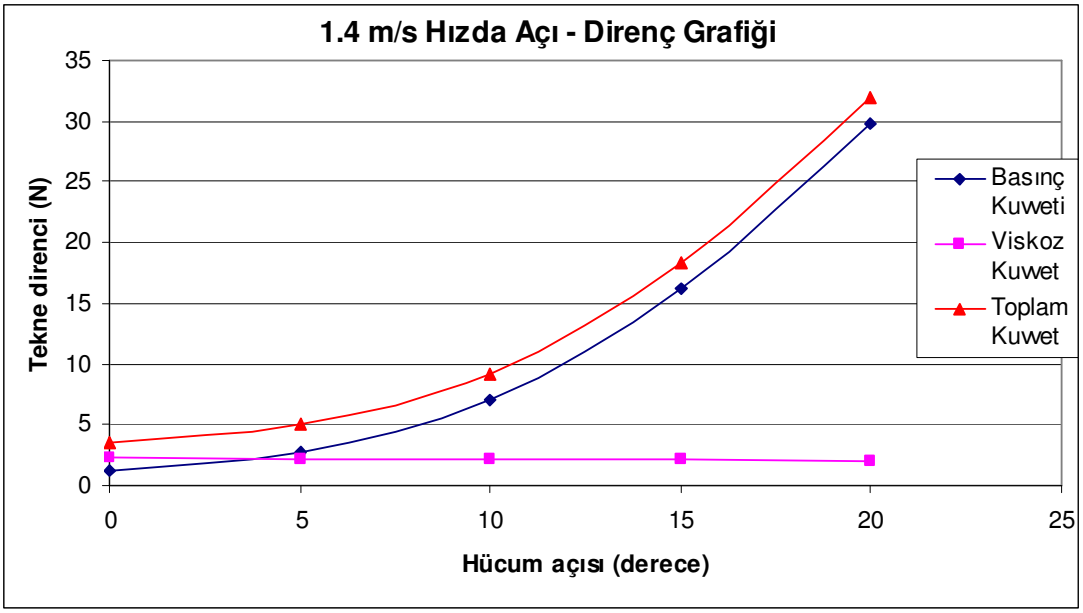


Şekil 3.9: 10° hücum açısındaki teknenin 1.4 m/s hızdaki zamana bağlı yanal kuvvet yakınsama grafiği

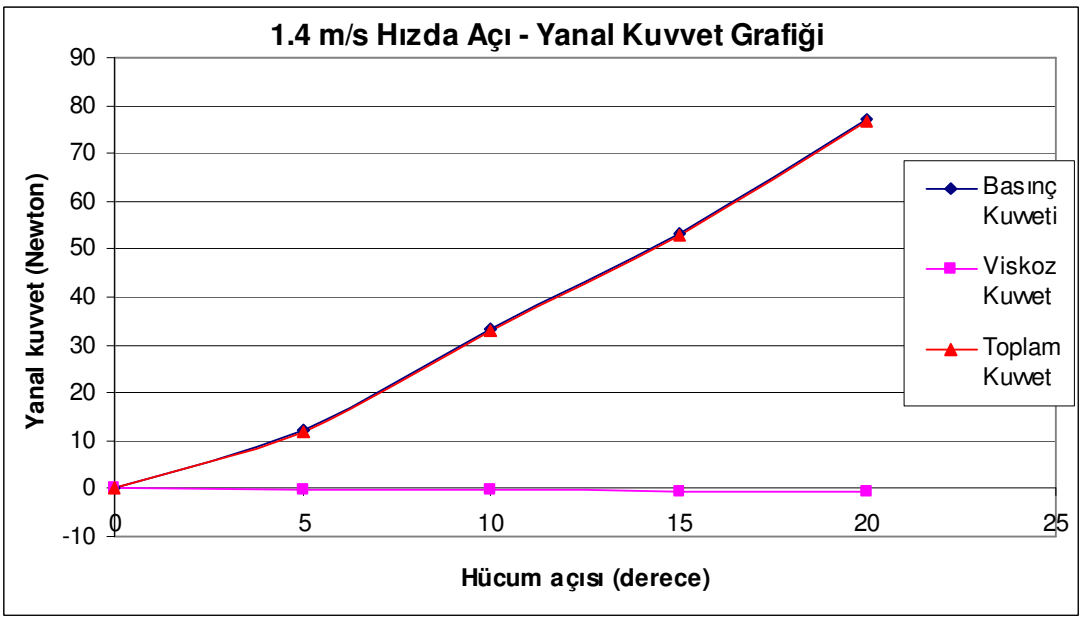
Yakınsamayı hızlandırmak için öncelikle küçük zaman adımları alınmalı, adımlar azar azar büyütülmelidir. Bu tezdeki hesaplarda ilk iki zaman adımı 0.05 s, sonraki 5 adım 1 s ve geri kalan adımlar 5 s olarak alınmıştır. 5 s'lik adımların yakınsamadığı durumlarda 1s'lik adımlara geri dönülüp işlemler yeniden koşulmuştur.

3.3 CFD Sonuçları

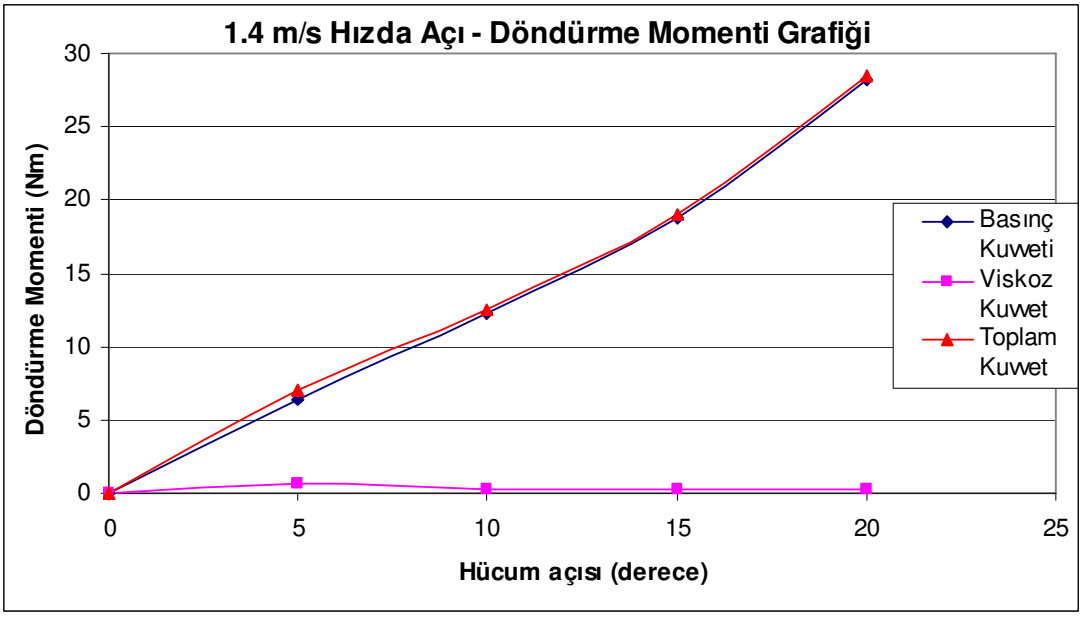
5 hızda 5 farklı açıda yapılan 25 farklı nümerik modelin hesaplarının sonuçları, büyük ölçüde tatminkar çıkmıştır. Bazı noktalarda ufak boyutta hatalar mevcut olsa da, eğrilerin genel karakteristiklerini etkilememektedirler. Şekil 3.10, 3.11 ve 3.12'de 1.4 m/s hız için açıya bağlı direnç, yanal kuvvet ve moment grafikleri görülebilmektedir.



Şekil 3.10: 1.4 m/s hızdaki açıya bağlı direnç grafiği



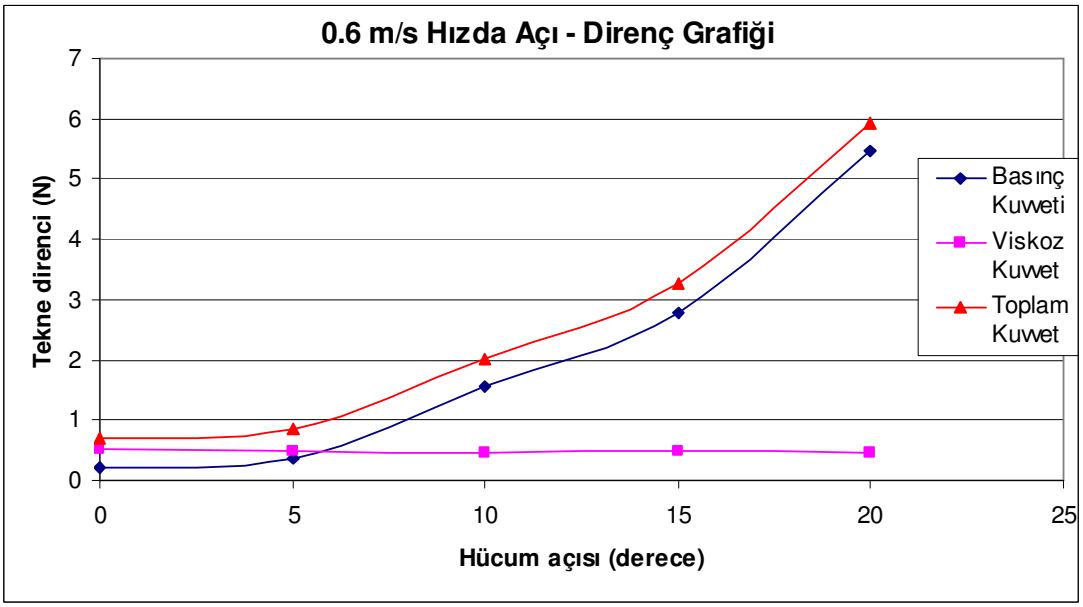
Şekil 3.11: 1.4 m/s hızdaki açıya bağlı yanal kuvvet grafiği



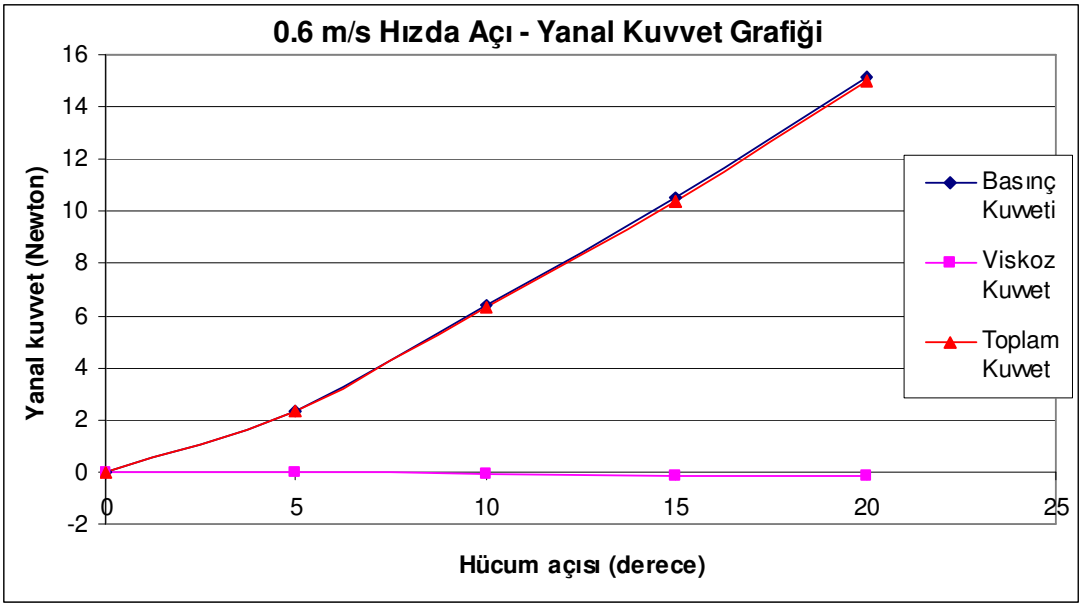
Şekil 3.12: 1.4 m/s hızdaki açıya bağlı döndürme momenti grafiği

Şekillerde de görüldüğü gibi bazı noktalarda değerler, olmaları gerekenden farklı çıkmış durumdalar, fakat yine de eğrilerin karakteristikleri etkilenmemiştir.

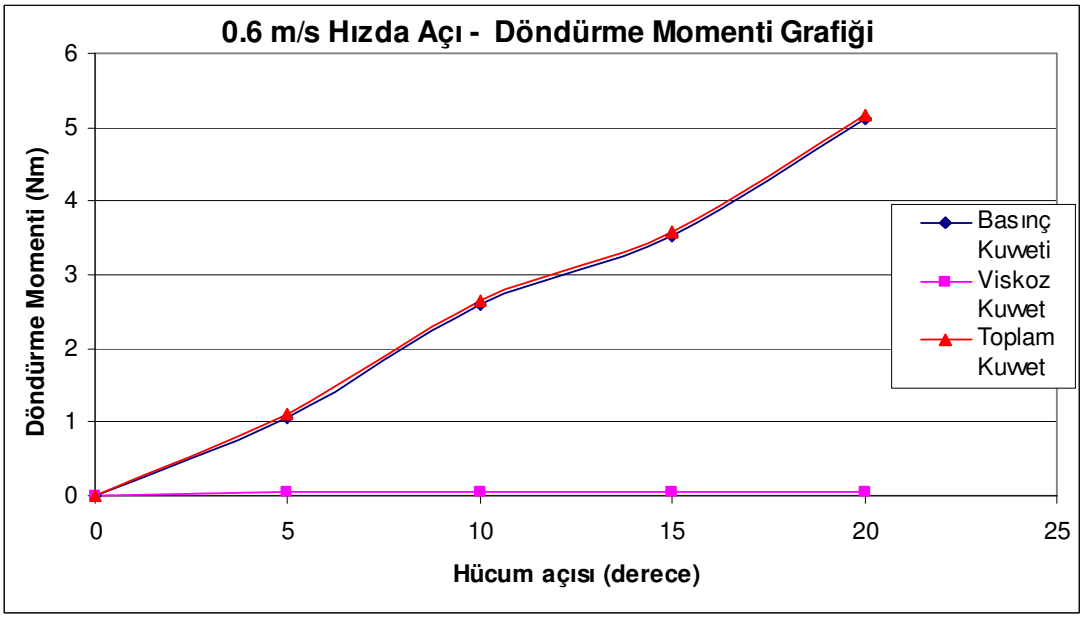
Gözlemlenen bir başka olay da, hızın azalmasıyla beraber yakınsama sorunlarının artmasıdır. Şekil 3.13, 3.14 ve 3.15'te de görüleceği üzere 0.6 m/s'nin değerleri 1.4 m/s'nin değerlerine göre daha tutarsızdır. Fakat bu tutarsızlık dahi, eğrilerin karakteristiklerini büyük ölçüde etkileyememektedir. Nümerik hesapların tüm grafikleri Ek A'da görülebilir.



Şekil 3.13: 0.6 m/s hızdaki açıya bağlı direnç grafiği



Şekil 3.14: 0.6 m/s hızdaki açıya bağlı yanal kuvvet grafiği



Şekil 3.15: 0.6 m/s hızdaki açıya bağlı döndürme momenti grafiği

4. LABORATUVAR DENEYLERİ

CFD ile hesaplanan değerlerin doğruluğunu karşılaştırmak amacıyla İ.T.Ü. Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri Fakültesi Ata Nutku Gemi Model Deney Laboratuvarı'nda bir takım deneyler yapılmıştır. Deneylerde nümerik olarak modellenen duruma olabildiğince yakın koşullar oluşturulmaya çalışılmıştır.

4.1 Deneylerde Kullanılan Deney Sistemi

Deneyler, sirkülasyon kanalı içinde, 6 bileşenli bir dinamometre ve CFD'de kullanılan teknenin tamamen aynı boyutlara sahip ahşap bir modeli kullanılarak yapılmıştır.

4.1.1 Sirkülasyon kanalı

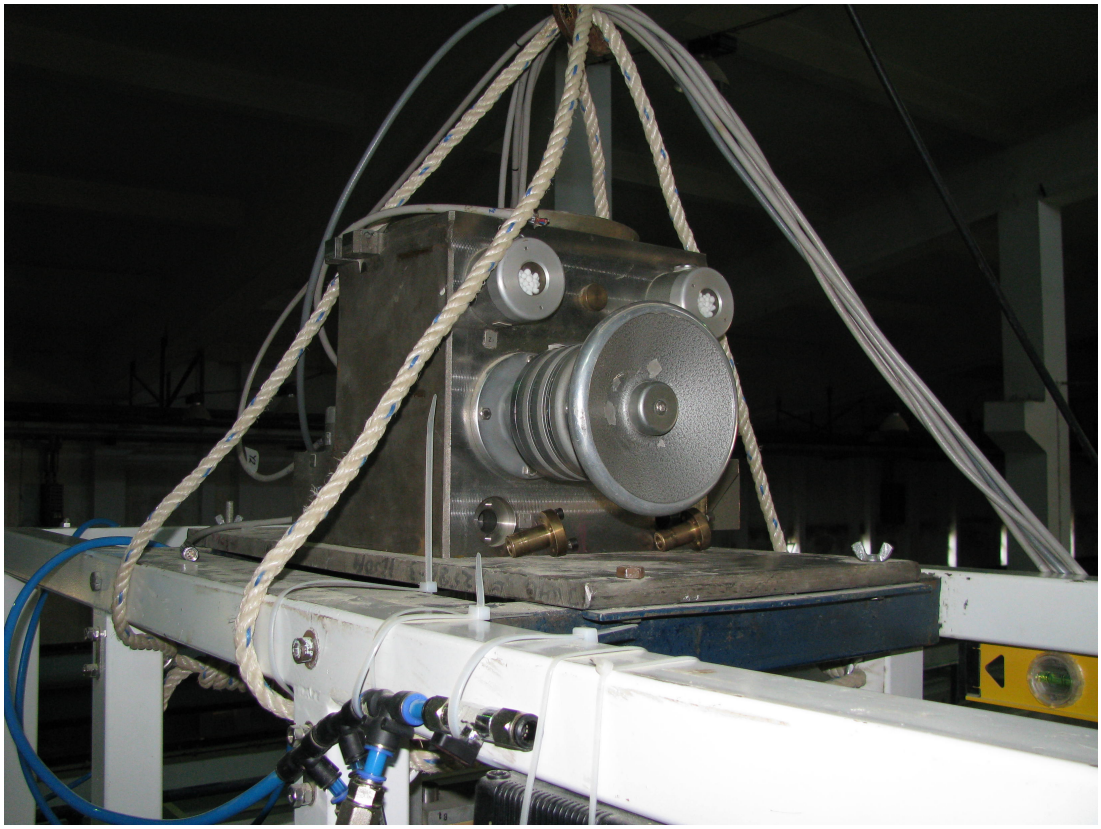
İ.T.Ü Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri Fakültesi Ata Nutku Gemi Model Deney Laboratuvarı'nda bulunan sirkülasyon kanalının resmi Şekil 4.1'de verilmiştir. Kanalın ölçüm bölümünün boyutları 6 m x 1.5 m ve su derinliği 0.75 m'dir. Teorik olarak daha yüksek hızlara çıkması mümkün gözükse de deneylerde 1.6 m/s akım hızından sonrasının güvenli olmayacağı gözlemlenmiştir.



Şekil 4.1: İ.T.Ü Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri Fakültesi Ata Nutku Gemi Model Deney Laboratuvarı'nda bulunan sirkülasyon kanalı

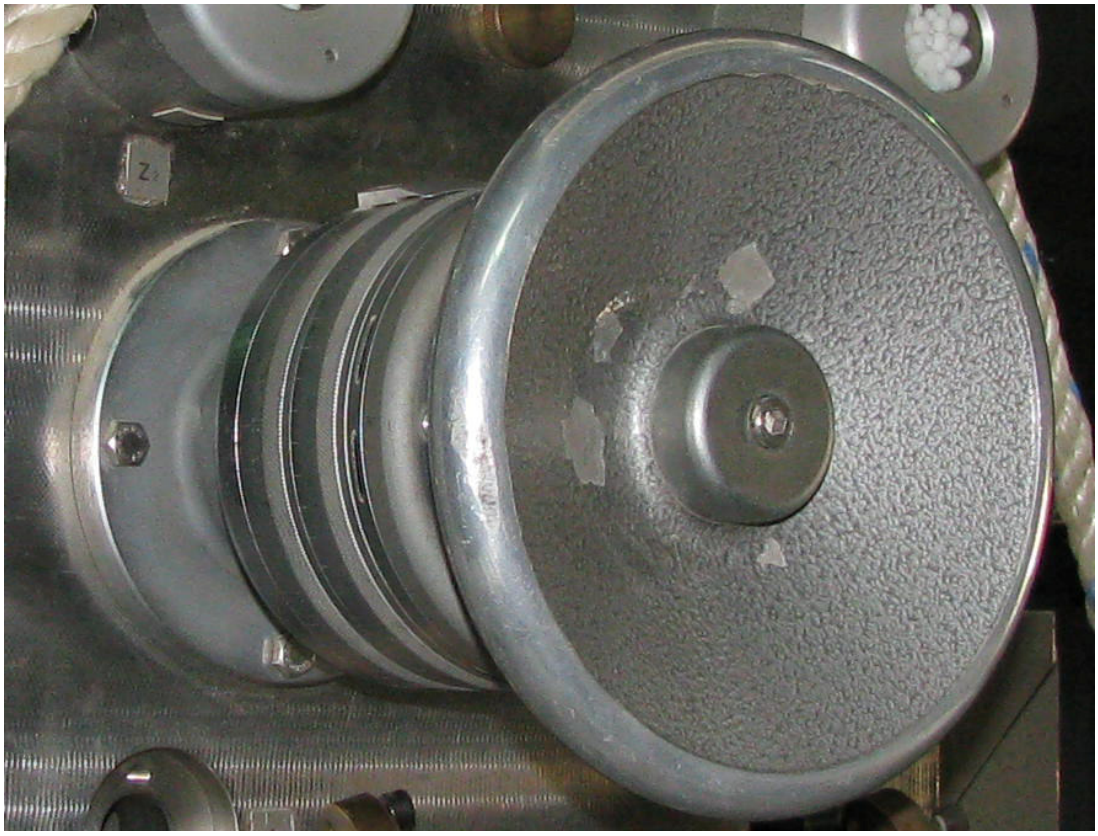
4.1.2 Dinamometre

1974 yılında kavitasyon tünelinde kullanılmak üzere alınan, Kempf & Remmers marka 6 bileşenli dinamometre, bu çalışmanın laboratuvar deneyleri bölümünde kuvvet ve moment ölçümü için kullanılmıştır. Sistem, test diskine bağlanan modele etkileyen kuvvet ve momentleri mekanik olarak altı bileşene ayırarak ölçer. Ölçüm noktalarında birleşme çubukları ve çubukların ucunda Strain-gauge transducerlar bulunur. Elde edilen bu altı kuvvet bileşeni daha sonra dik Kartezyen koordinat sisteminde üç yönde kuvvet ve üç yönde moment değerine dönüştürülür **(Dayı, 1993)**. Şekil 4.2'de dinamometre görülmektedir.



Şekil 4.2: Kempf & Remmers 6 Bileşenli Dinamometre

Modelin hücum açısı dinamometre üzerindeki bir ayar parçası sayesinde kolaylıkla ve hassas bir biçimde ayarlanabilmektedir. Bu sayede deneyler sırasında model, dinamometreden ayrılmadan istenilen hücum açısına getirilmiştir. Açısal ayarlamada maksimum hata 0.05°'dir. Bununla beraber modelin hücum açısı değişse bile kuvvet bileşenleri ölçüm doğrultusunda sabit kalır. Açı ayar kolu Şekil 4.3'te detaylı olarak görülmektedir.



Şekil 4.3: Dinamometre hücum açısı ayar kolu

Model direnci kuvvetlerin X bileşeni ile ölçülür. Y_1 ve Y_2 bileşenleri birbirlerinden 200mm uzaklığa konulmuş iki paralel çubuktur. Her üç bileşen flençten 30mm uzaktaki X-Y düzlem diskinden ölçülür. Z_1, Z_2, Z_3 kuvvet bileşenleri ise flencin dinamometreye bağlandığı düzleme dik olarak birleşmektedir. Kuvvet bileşenleri aşağıdaki bağıntılar yardımı bulunur.

$$F_X = X$$

$$F_Y = Y_1 + Y_2$$

$$F_Z = Z_1 + Z_2 + Z_3$$

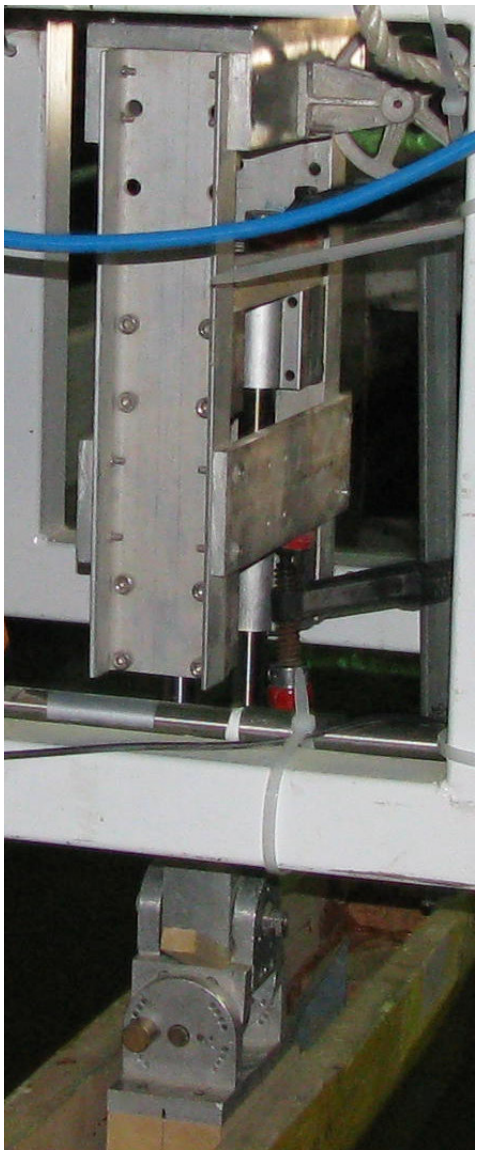
$$M_X = (Z_3 - Z_2 - Z_1) \times 100$$

$$M_Y = (Z_2 - Z_1) \times 100$$

$$M_Z = (Y_2 - Y_1) \times 100$$

Bu çalışmada yapılan kabuller ve modelleme gereği sadece F_X, F_Y ve M_Z hesaplanmıştır.

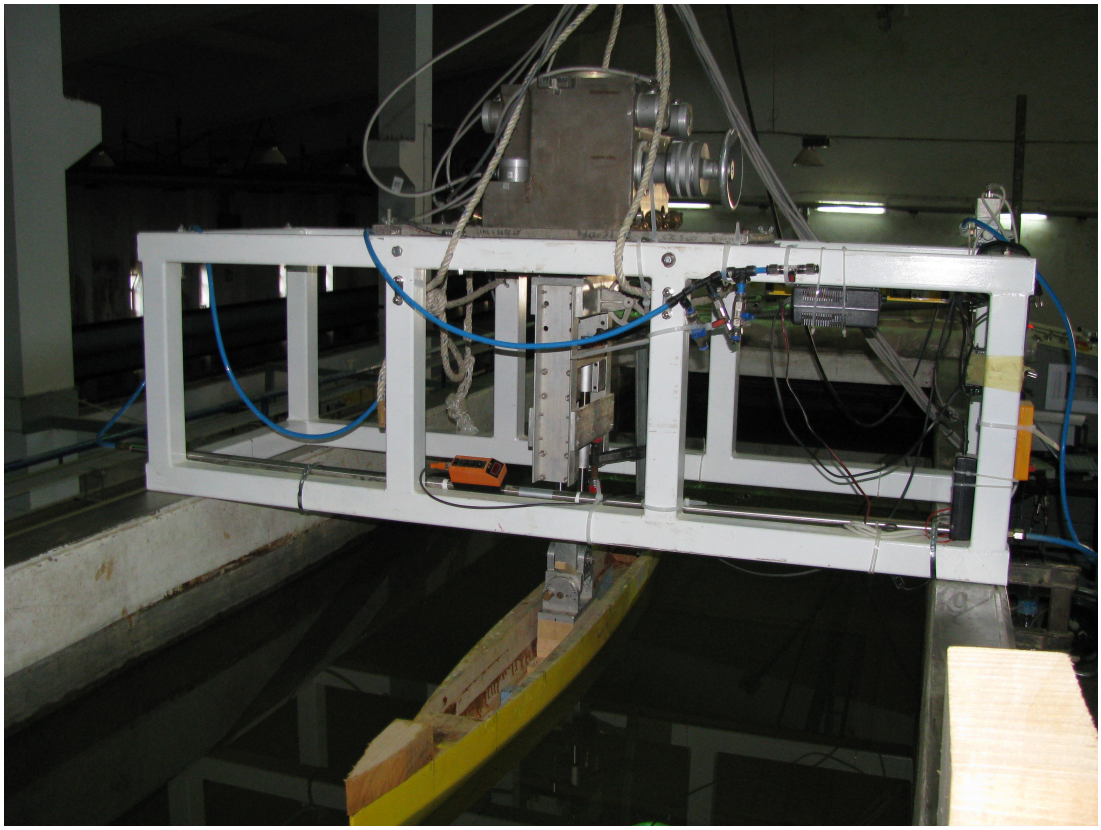
Deney sırasında dinamometre taşıyıcı bir çerçeve üzerine konulup, bağlantı parçaları ile tekneye bağlanmaktadır. CFD modellemede tekne trim ve batmaya karşı sabit tutulduğu için, deneysel benzerliğin sağlanabilmesine olanak vermek için model deneyleri de modeli baş kıç vurmaya/trim ve dalıp çıkmaya/dinamik batma sabitleyerek yapılmıştır. Bağlantı parçaları tam serbestlik sağlayacak şekilde tasarlandıkları ve nümerik model quasi-statik olduğu için, öncelikle bağlantı parçaları sabitlenmelidir. Model, uygun drafta getirilip, 0° trim açısı ve 0° meyil açısı ile dinamometreye sabitlenmiştir. Sabitleme parçaları Şekil 4.4'te görülebilir.



Şekil 4.4: Modeli sabitlemek için kullanılan takozlar

Dinamometrenin ölçtüğü değerler öncelikle bir yükselticiden geçirilip sinyalleri kuvvetlendirilir, sonra da dijital-analog çevirici kart aracılığı ile bilgisayar ortamına aktarılır. Bu şekilde değerler gerçek zamanlı olarak bilgisayara kaydedilir.

Şekil 4.5 ve 4.6'da dinamometre ve ölçüm sistemleri ayrıntılı olarak görülebilir.



Şekil 4.5: Dinamometre, taşıyıcı çerçeve ve model



Şekil 4.6: Dinamometre, yükseltici ve verilerin toplandığı bilgisayar

4.1.3 Kalibrasyon

Dinamometre çerçeveye ve tekneye bağlanmadan önce özel sehpasında kalibre edilmiştir. Kalibrasyon için sehpaya konulan dinamometreye 90 derecelik açılar ile 4 yönden ağırlığı belirli yükler asılmış, asılan yüklerden elde edilen değerler ile yükler bilindiği için, kalibrasyon eğrisi çizilmiştir. Kalibrasyon eğrisinin eğim değeri deneyler sırasında ölçüm programına girilerek, okunan gerçek zamanlı değerlerin gerçek kuvvet değerleri olması sağlanır.

4.2 Deney Aşaması

Deneyler, sirkülasyon kanalının hızı sabit tutulup, hücum açısı değiştirilerek hem 0 dereceden +20 dereceye, hem de 0 dereceden -20 dereceye yapıldı. Sabit hız değişken hücum açısı kullanılmasının sebebi, akımın rejime girmesi için minimum zaman kaybını sağlamaktır.

4.2.1 Deney sıfırı

İlk olarak deney sıfırı olarak adlandırılan durgun suda 0° hücum açısındaki değerler okundu. Deney sıfırı değerleri, ölçüm sırasında 0 çıkması beklenen fakat çevresel etkenler nedeniyle 0 çıkmayan değerlerin, esas deneyin sonuçlarını etkilememesi için yapılan bir tür kalibrasyondur. Elde edilen deney sıfırı değerleri diğer bütün deneylerdeki ilgili değerlerden çıkarılarak gerçek değerlere ulaşılır.

4.2.2 Hücum açılı deneyler

Hücum açılı kuvvet ölçüm deneyleri 0.4, 0.6, 0.8, 1.0, 1.2 ve 1.4 m/s akım hızları için, 20°, 15°, 10°, 5°, 2.5°, 0°, -2.5°, -5°, -10°, -15° ve -20° açılarında yapılmıştır. Akım hızı sabit tutulmuş, hücum açısı ayarlanmış ve 10 s ölçüm alınmıştır. Daha sonra bu 10 s'lik dilimlerin ortalamaları alınarak o açıdaki kuvvet değeri bulunmuştur. Değer okuma işleminden sonra, yeni açı ayarlanıp, akıma rejime girmesi için süre tanınır ve yeni ölçüm alınır. Bir hızdaki tüm ölçümler bitince akım hızı arttırılır ve tekrar her açı ölçülmeye başlar. Şekil 4.7'de hücum açılı teknenin çerçeve üzerinden çekilmiş bir fotoğrafı görülebilir.



Şekil 4.7: Hücum açılı teknenin taşıyıcı çerçeveden görünüşü

4.2.3 Direnç ölçümü

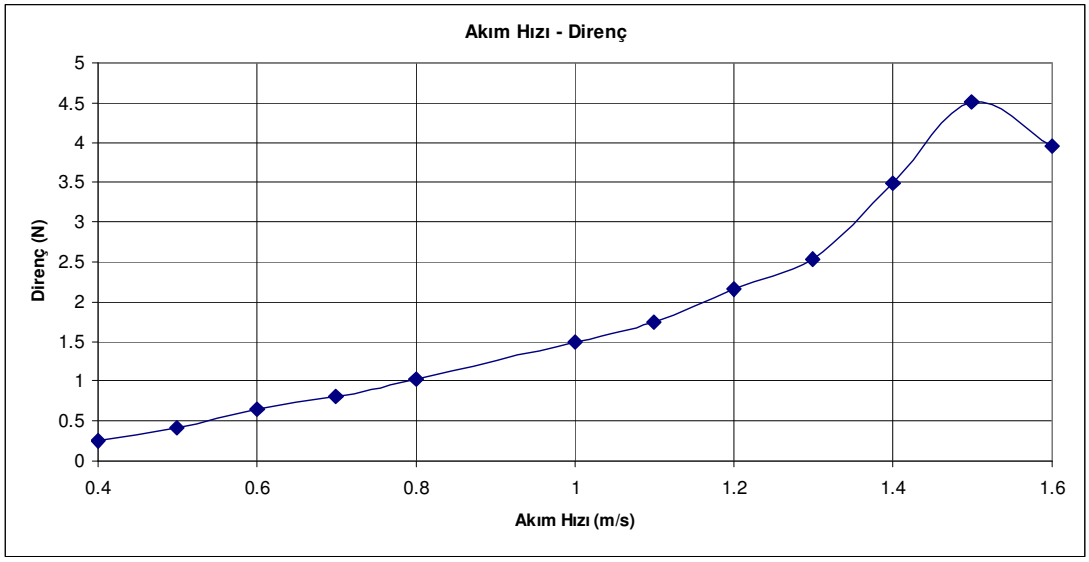
Hücum açılı kuvvet ölçümlerinden sonra, akım hızı tekrar 0.4 m/s'ye düşürülmüş ve akımın hız rejimine oturması beklenmiştir. Akım rejime girdikten sonra hücum açısı 0°'de tutulup 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1.0, 1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 1.5 ve 1.6 m/s hızları için tekne direnci ölçülmüştür. 1.6 m/s'den daha yüksek hızlara güvenlik nedeniyle çıkılamamıştır.

4.3 Deney Sonuçları

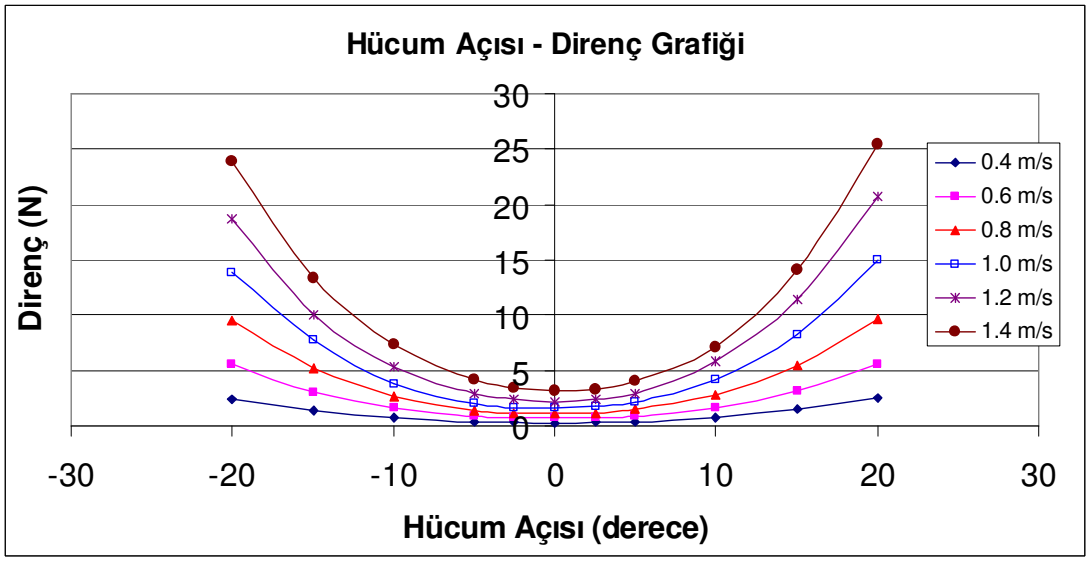
Deneyler sonunda elde edilen veriler derlenip grafiklere döküldüğünde, sonuçların tutarlı olduğu görülmüştür.

Şekil 4.8'de akım hızı – direnç grafiği görülmektedir. Direnç hıza bağlı olarak artmış, 1.5 m/s hızdan sonra düşüşe geçmiştir. Düşüşün nedeni, modelin statik olması dolayısı ile su akımına göre batıp-çıkma ve baş-kıç vurma hareketi yapamadığından sürtünme yüzeyinin azalmasıdır.

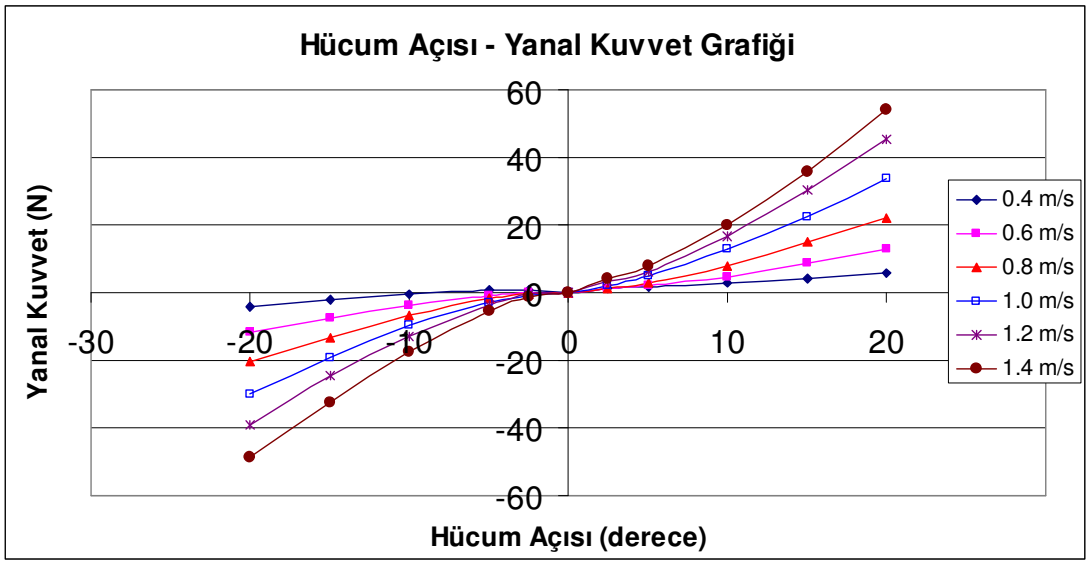
Şekil 4.9, 4.10 ve 4.11'de ise hücum açısına bağlı direnç, yanal kuvvet ve döndürme momenti değerleri görülmektedir.



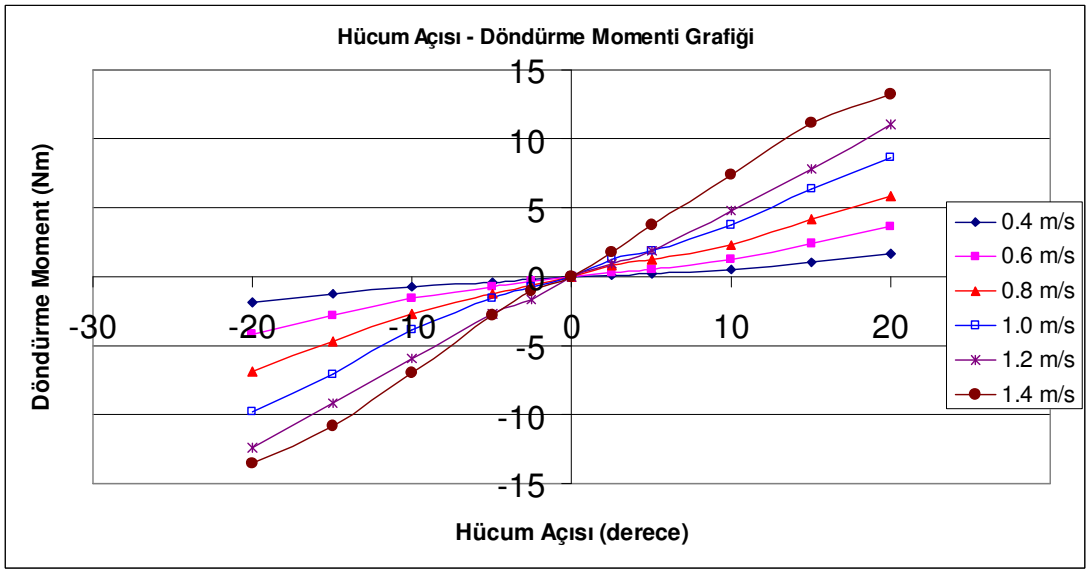
Şekil 4.8: 0° hücum açılı teknenin 0.4 – 1.6 m/s hızları arasındaki direnç grafiği



Şekil 4.9: -20° +20° arasındaki hücum açılarında 0.4 - 1.4 m/s hız aralığındaki, hücum açısı – direnç grafiği

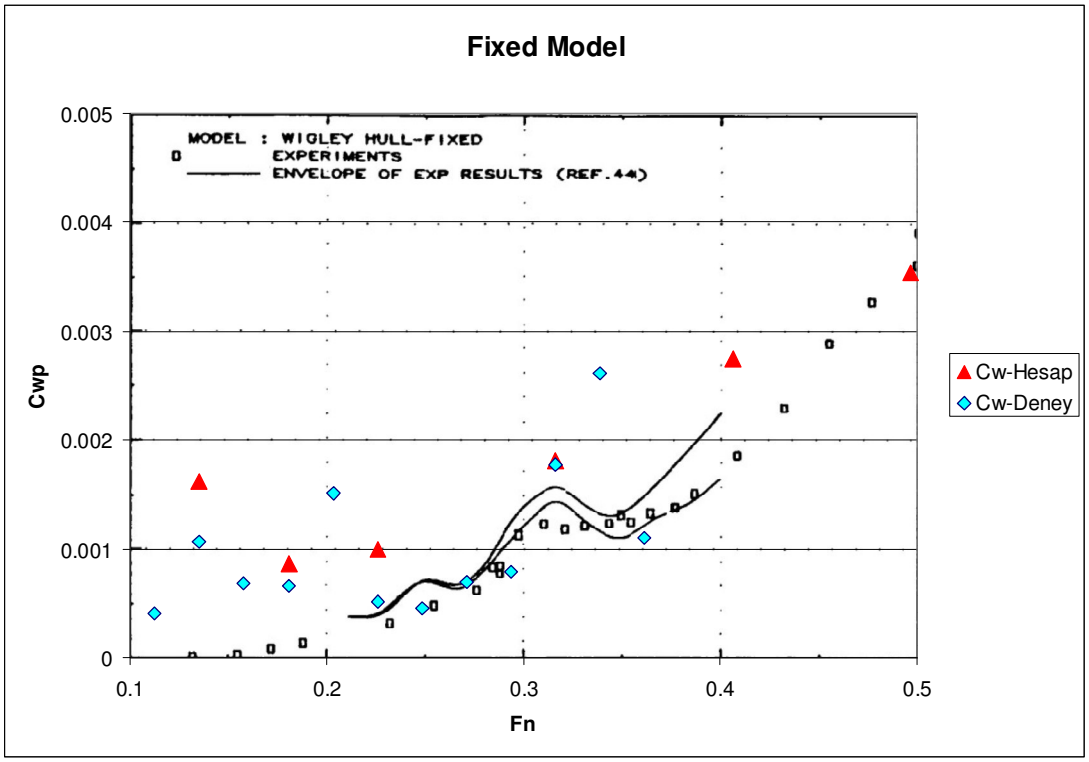


Şekil 4.10: -20° +20° arasındaki hücum açılarında 0.4 - 1.4 m/s hız aralığındaki, hücum açısı – yanal kuvvet grafiği

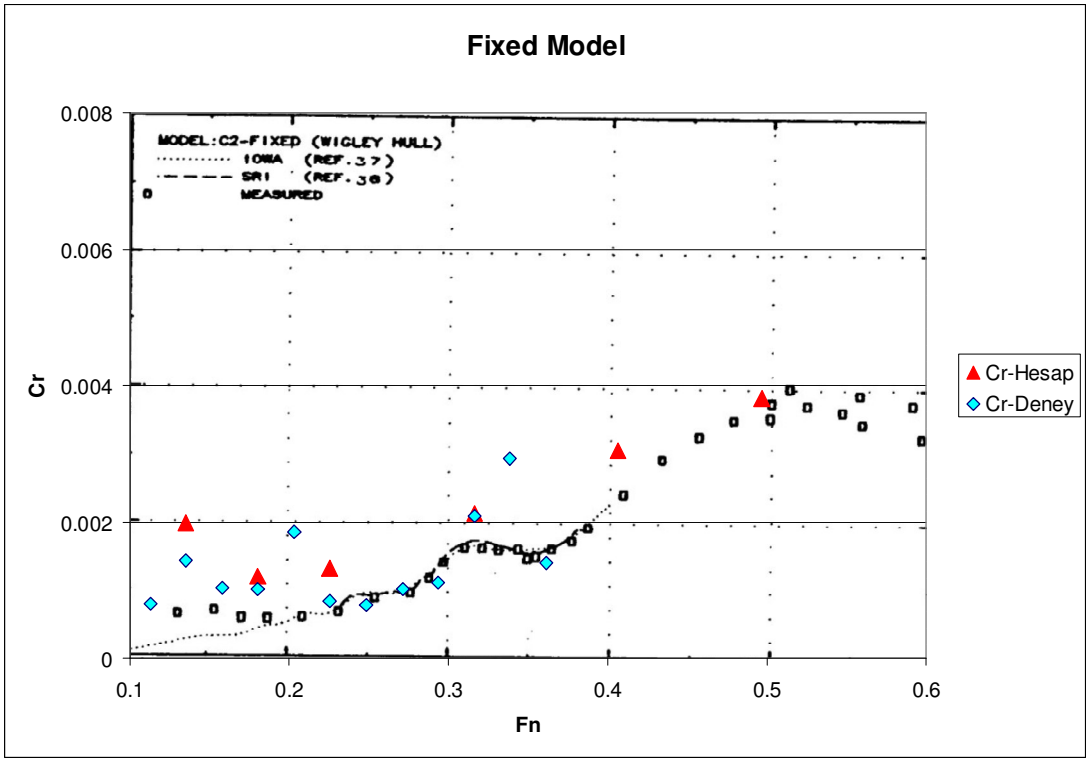


Şekil 4.11: -20° +20° arasındaki hücum açılarında 0.4 - 1.4 m/s hız aralığındaki, hücum açısı – döndürme momenti grafiği

Şekil 4.12 ve 4.13'de ise literatürdeki başka bir benzer çalışma ile sonuçların karşılaştırmalı grafiklerini görülüyor **(İnsel,1990)**.



Şekil 4.12: Ölçülen direnç deney sonuçlarının literatürdeki sabit trim ve sabit draft deney sonuçları ile karşılaştırması

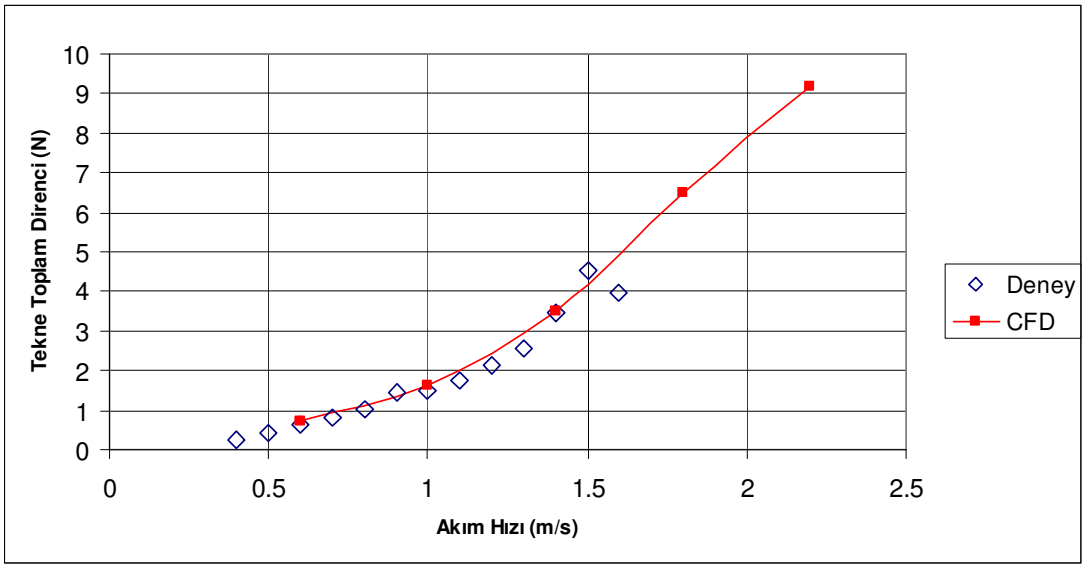


Şekil 4.13: Ölçülen direnç deney sonuçlarının literatürdeki sabit trim ve sabit draft deney sonuçları ile karşılaştırması

5. DENEY VE HESAP SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

Elde edilen hesap sonuçları düzenlenen deneyler ile karşılaştırılarak hesapların doğruluk dereceleri elde edilmiştir.

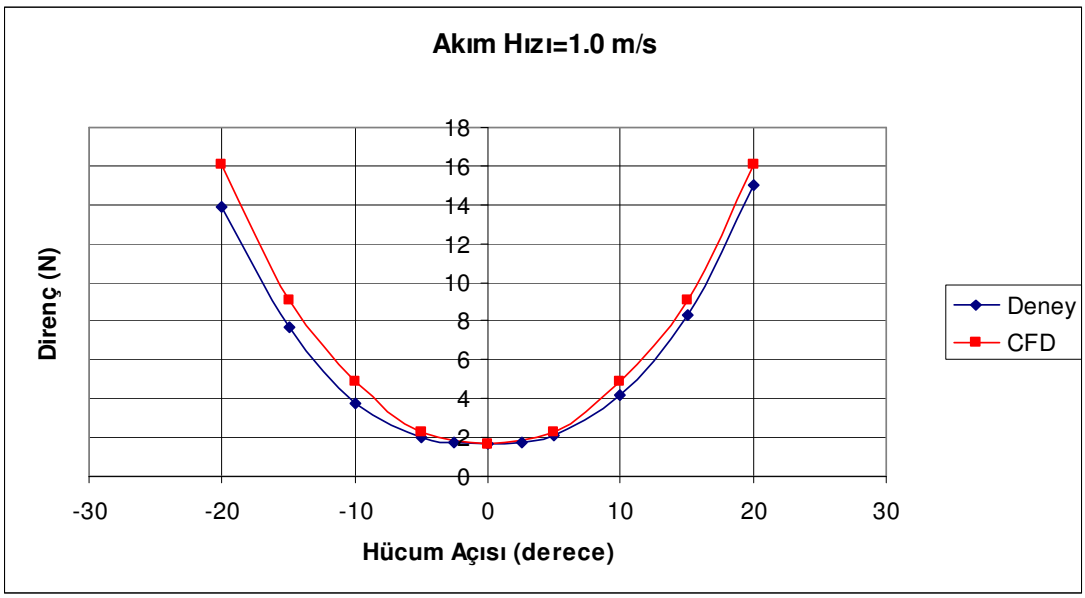
Düz durumdaki direnç sonuçlarının karşılaştırması Şekil 5.1'de verilmiş olup, hesap ile deney uyumu göze çarpmaktadır. 1.5 m/s hız ve üstü sirkülasyon kanalının yetersizlikleri nedeniyle yeterli hassasiyetle ölçülememekte olmasından dolayı farklar mevcuttur.



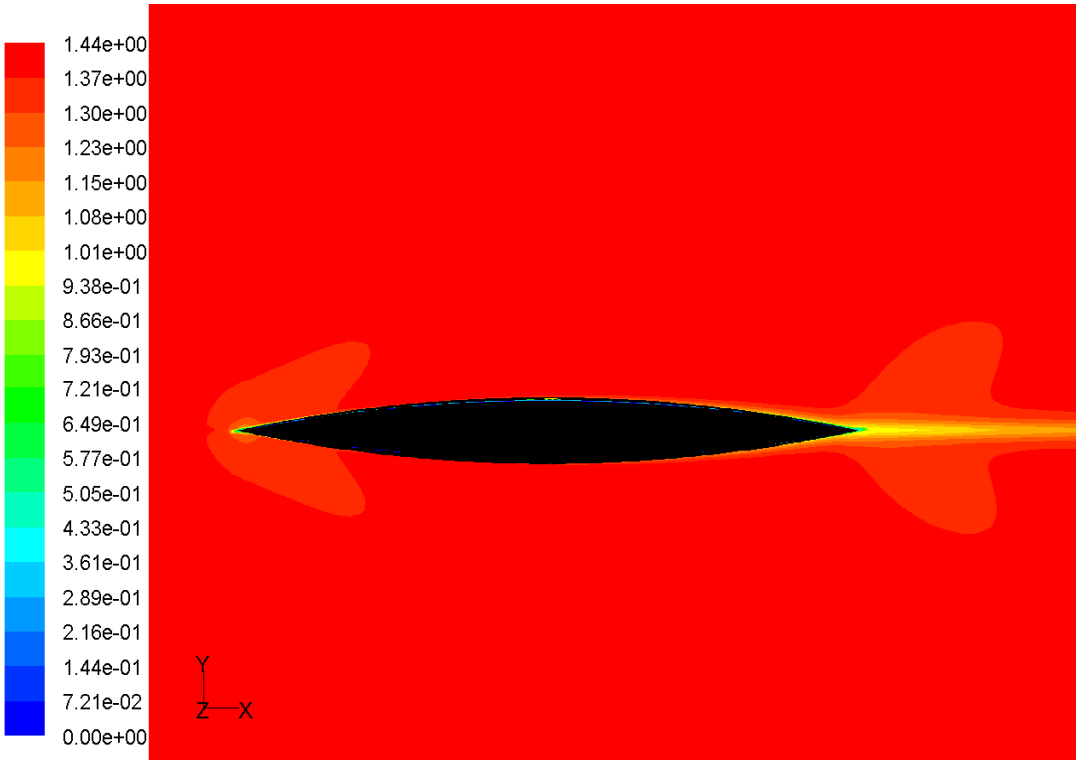
Şekil 5.1: Akım hızı – tekne direnci karşılaştırması

Direnç ölçüm karşılaştırması Şekil 5.2'de 1 m/s su hızı için yapılmıştır. Genel bir uyum sağlanmakla beraber özellikle yüksek açılarda CFD hesapları deneysel sonuçlardan % 6 civarında yüksektir. Bu durum sirkülasyon kanalının duvar etkilerinden kaynaklanabileceği tahmin edilmektedir.

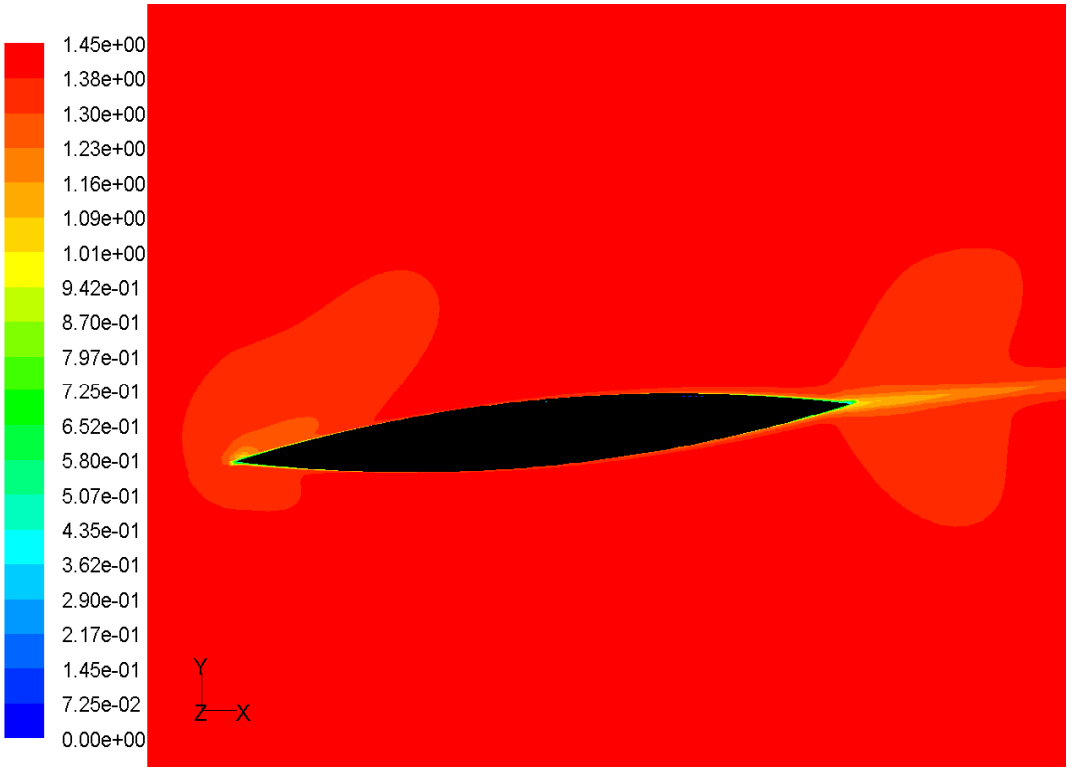
Hesaplarda elde edilen yerel değerlerin gösterimi Şekil 5.3 ila 5.7 arasındaki hız kesit karşılaştırmasından gözlemlenebilir. Hesaplamalar teknenin sürüklenme açısının etkisini önemli ölçüde bulmuş, baş tarafta akım yönünde (windward side) ve kıç tarafta akımın ters yönünde (leeward side) görülen hız değişimleri açı ile doğrudan orantılıdır.



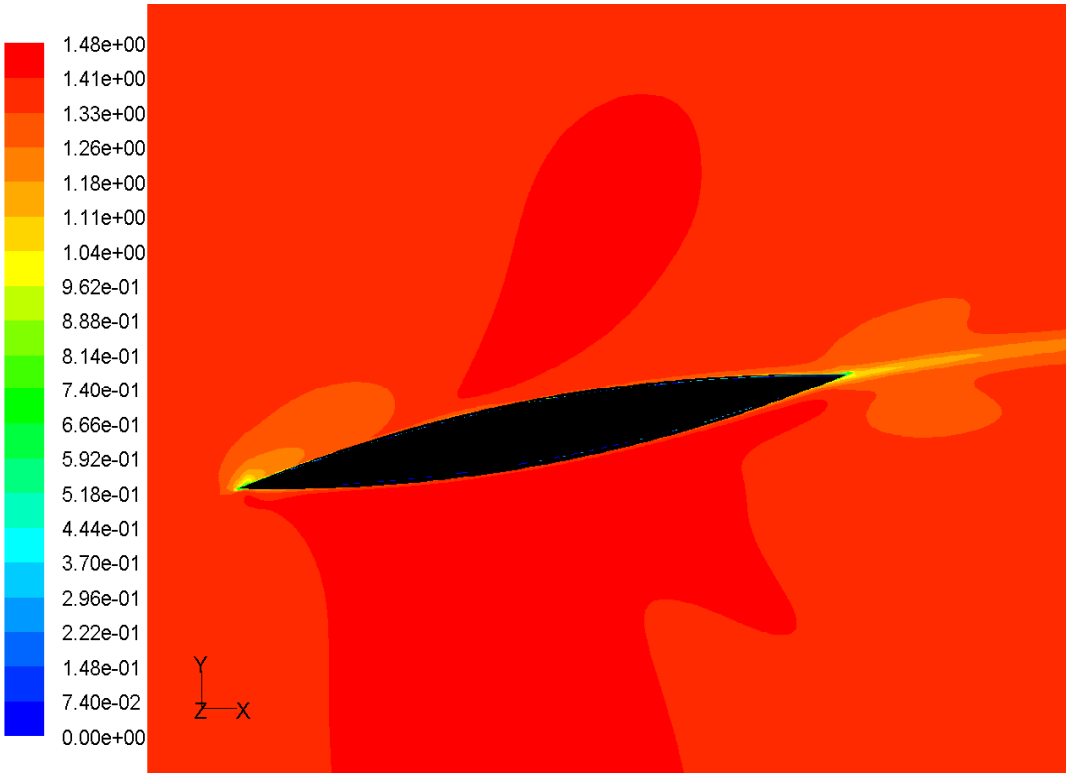
Şekil 5.2: 1.0 m/s akım hızında hücum açısı – tekne direnci karşılaştırması



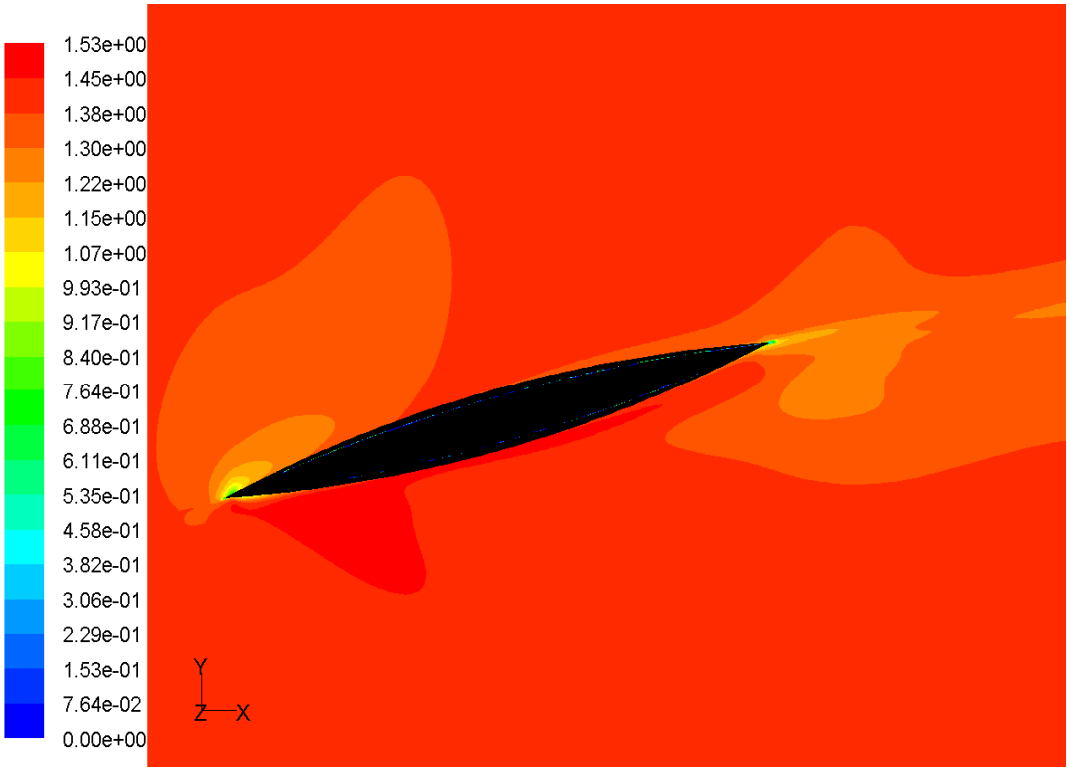
Şekil 5.3: 0° 1.4 m/s akım hızındaki CFD ile hesaplanan hız alanları



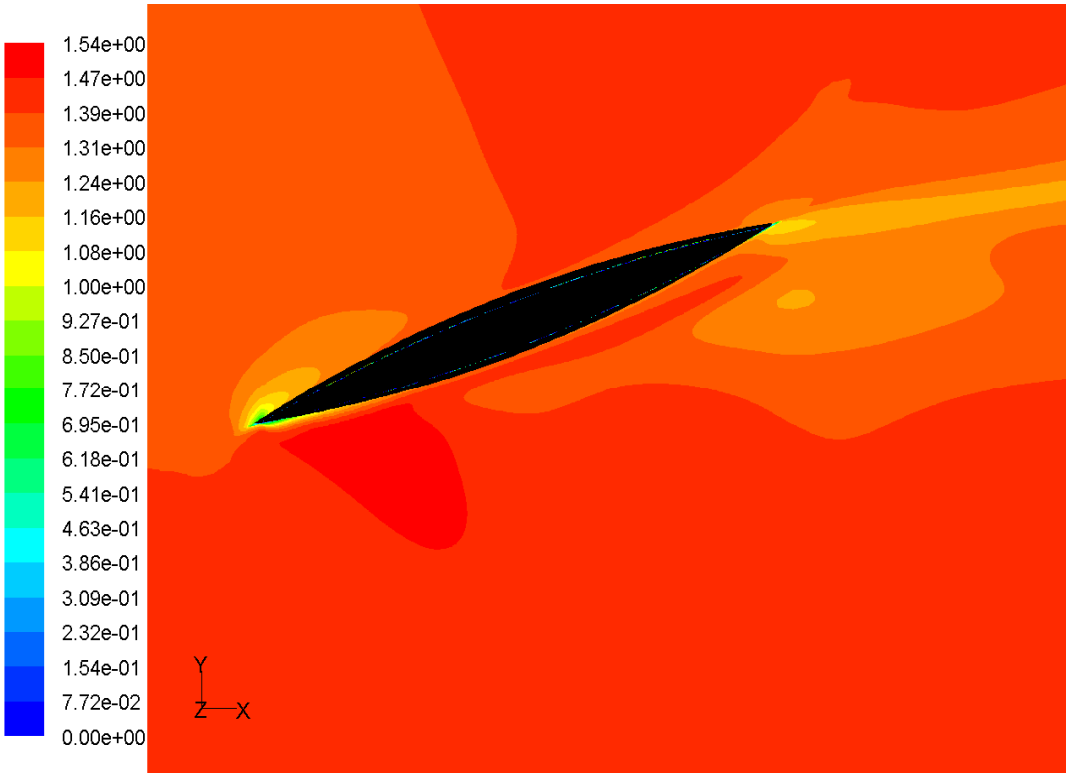
Şekil 5.4: 5° 1.4 m/s akım hızındaki CFD ile hesaplanan hız alanları



Şekil 5.5: 10° 1.4 m/s akım hızındaki CFD ile hesaplanan hız alanları

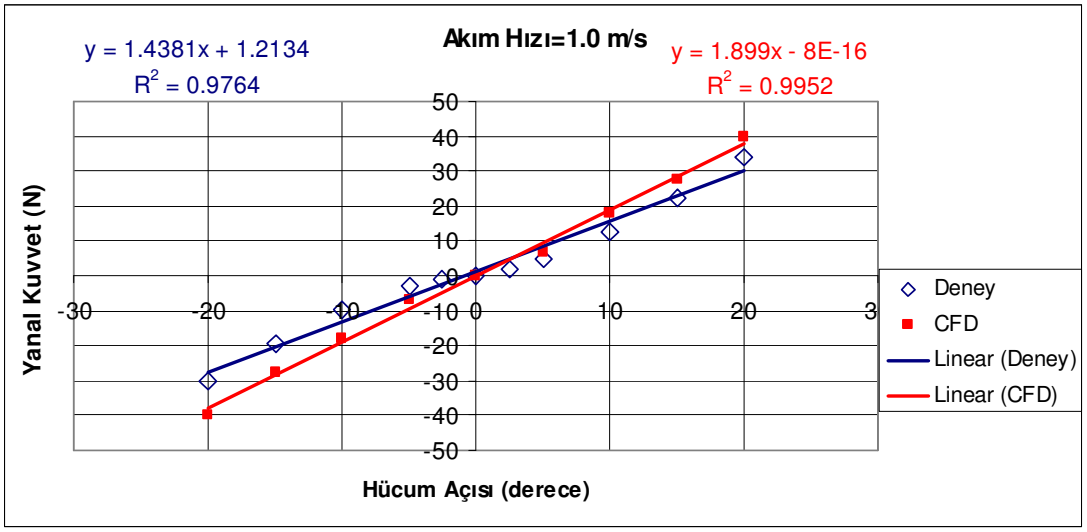


Şekil 5.6: 15° 1.4 m/s akım hızındaki CFD ile hesaplanan hız alanları

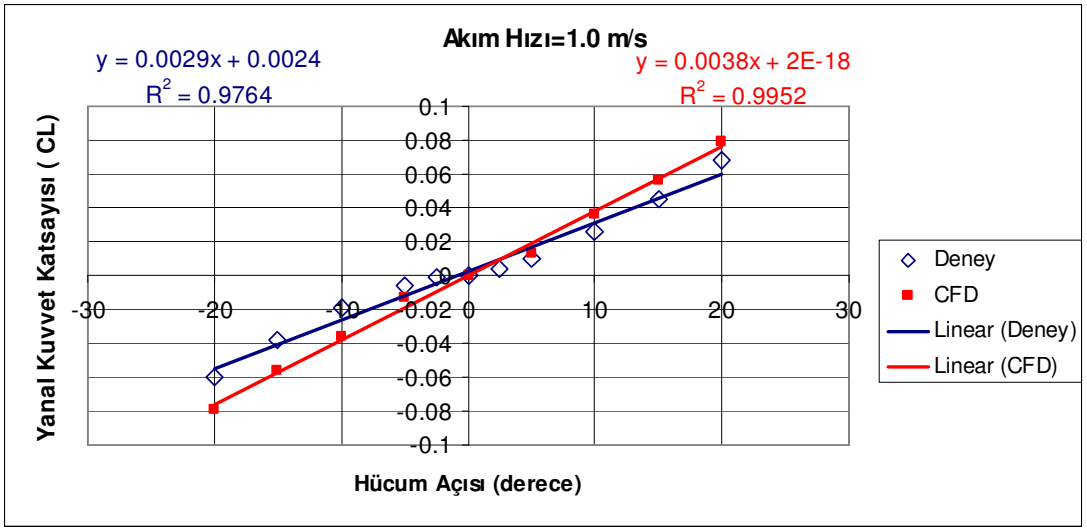


Şekil 5.7: 20° 1.4 m/s akım hızındaki CFD ile hesaplanan hız alanları

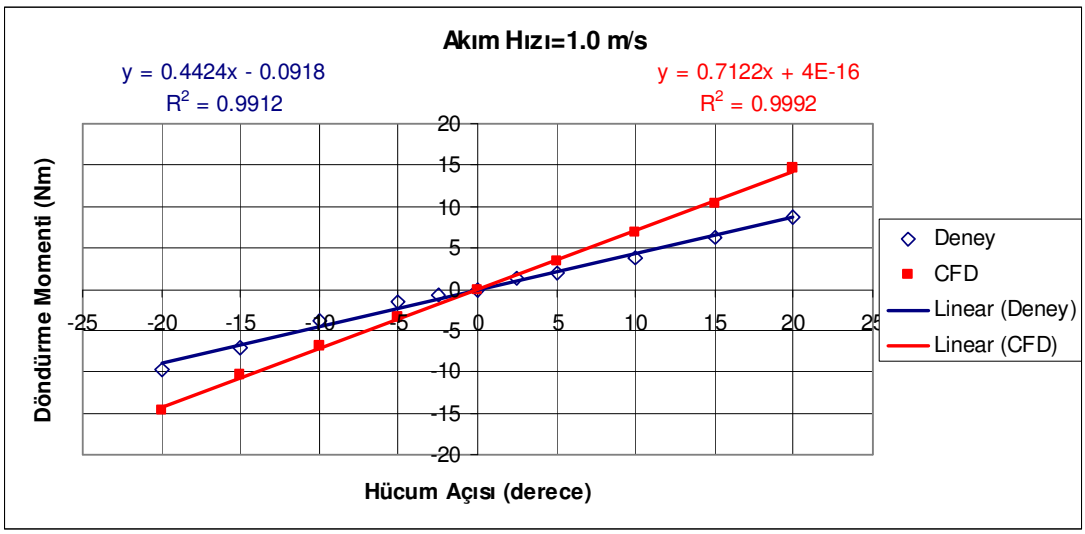
Hesaplarda ve deneylerde elde edilen yanal kuvvet, yanal kuvvet katsayıları, moment ve moment katsayıları Şekil 5.8 ila 5.11 arasında verilmiştir. Yanal kuvvetin deneylerden daha yüksek tahmin edildiği, dolayısı ile moment değerlerinin de bu farka uyduğu gözlemlenmiştir. Yanal kuvvet ve moment katsayıları üzerine yapılan doğru regresyon sonucu yanal kuvvet ve moment doğrusunun hızdan hemen hemen hiç etkilenmediği sonucunu ortaya çıkarmıştır. Bu eğim değeri doğrudan manevra hesaplarında kullanılabilecek değerdir **(Jensen,1997)**.



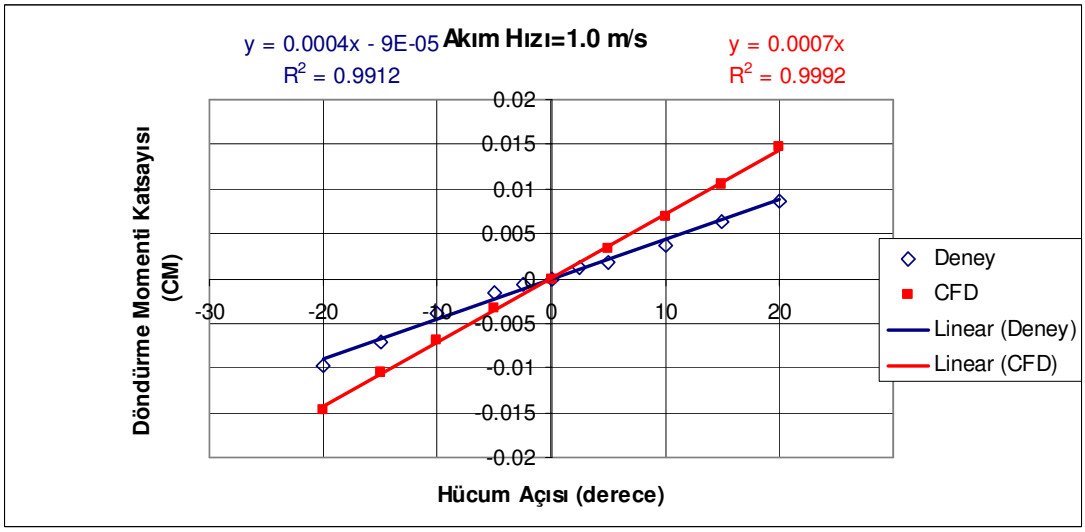
Şekil 5.8: 1.0 m/s akım hızında hücum açısı – yanal kuvvet karşılaştırması



Şekil 5.9: 1.0 m/s akım hızında hücum açısı – yanal kuvvet katsayısı karşılaştırması

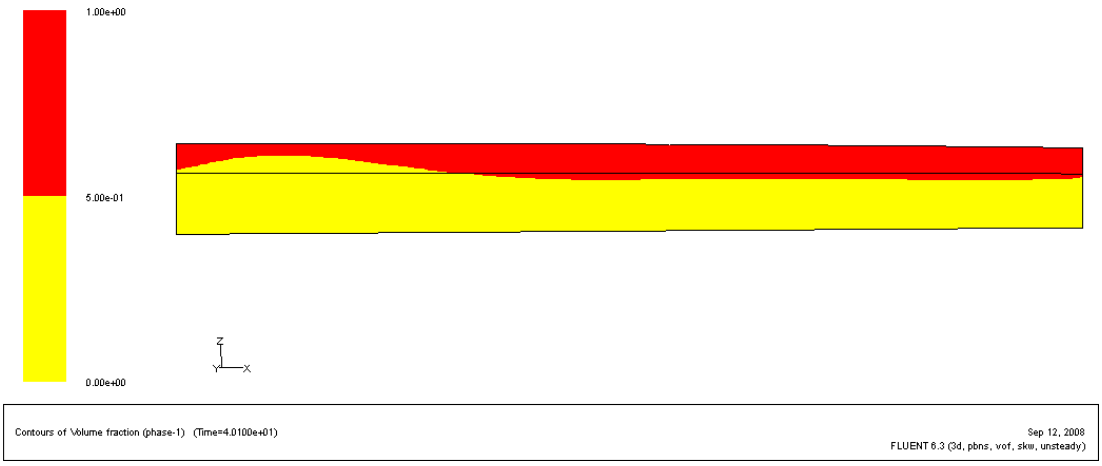


Şekil 5.10: 1.0 m/s akım hızında hücum açısı – döndürme momenti karşılaştırması



Şekil 5.11: 1.0 m/s akım hızında hücum açısı – döndürme momenti katsayısı karşılaştırması

Şekil 5.12'de hesaplarda elde edilen baş dalga, Şekil 5.13'te ise deneylerde yapılan baş dalga gözlemlenmesi verilmiştir. İki dalga arasındaki karşılaştırma hesaplardaki doğruluğu göstermektedir.

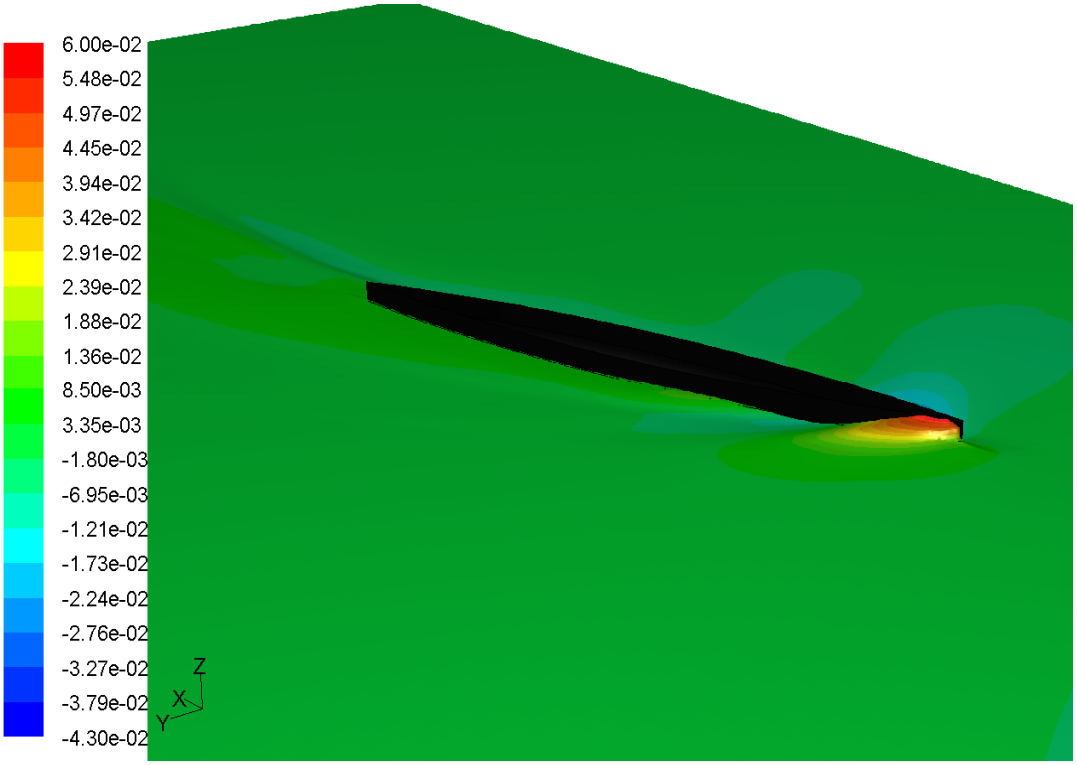


Şekil 5.12: 1.4 m/s akım hızı 0° hücum açısında CFD ile oluşturulan dalga

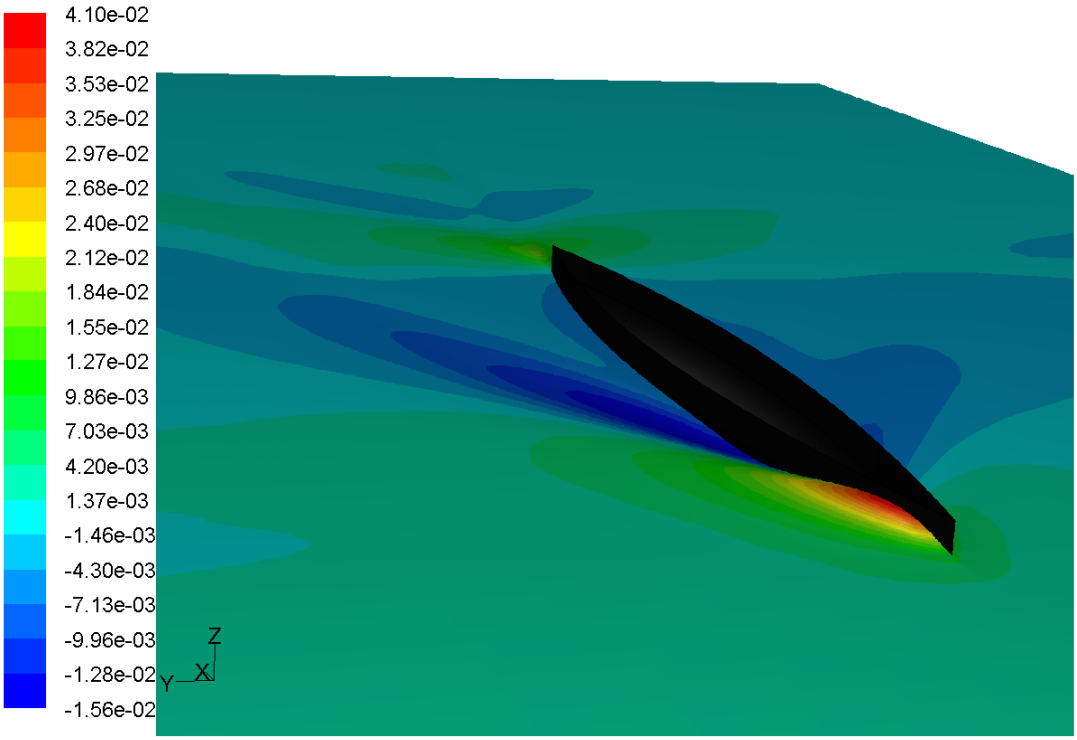


Şekil 5.13: 1.4 m/s akım hızı 0° hücum açısında deneyde oluşan dalga

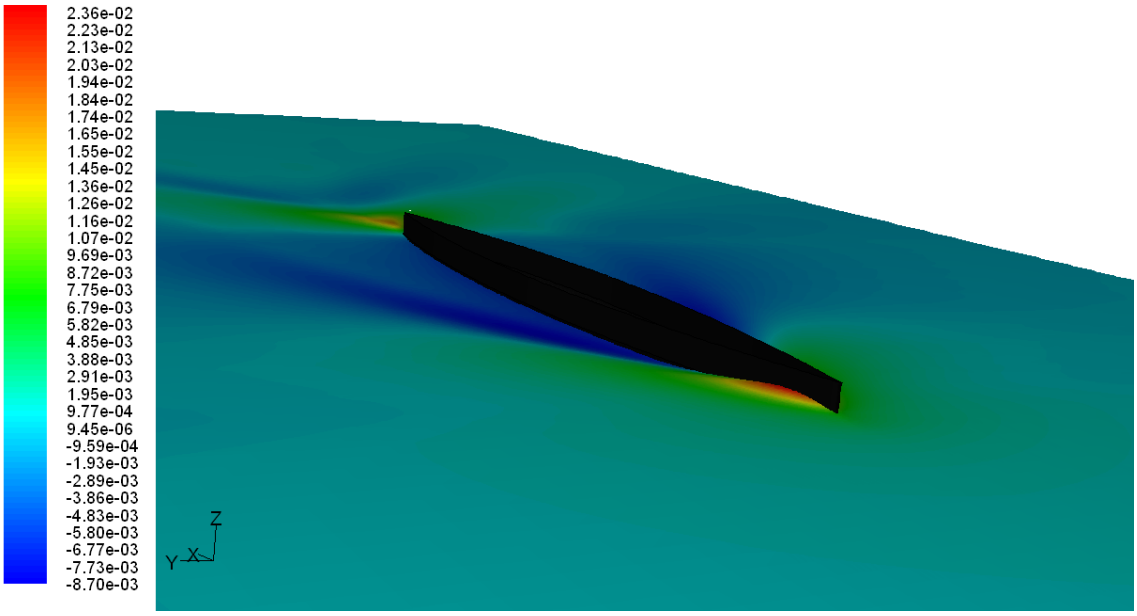
Şekil 5.14 ila Şekil 5.16 arasında değişik hız ve sürüklenme açılarında dalga oluşumu verilmiştir. Deneyler sırasında yapılan gözlemler hesapların baş dalga yüksekliği hesabında başarılı olduğunu ortaya koymaktadır.



Şekil 5.14: 1.0 m/s akım hızı 20° hücum açısında CFD ile oluşturulan dalganın 3 boyutlu izohips görüntüsü.



Şekil 5.15: 1.4 m/s akım hızı 5° hücum açısında CFD ile oluşturulan dalganın 3 boyutlu izohips görüntüsü.



Şekil 5.16: 1.4 m/s akım hızı 0° hücum açısında CFD ile oluşturulan dalganın 3 boyutlu izohips görüntüsü.

6. SONUÇLAR

Bu çalışmada, sürüklenme açısı altındaki tekneye gelen yükler, hem CFD ile nümerik olarak hesaplanmış hem de deney ile ölçülmüş ve sonuçları karşılaştırılmıştır.

Çalışma süresince, CFD konusunda karşılaşılan problemlerin büyük çoğunluğu geometrik modelleme safhasında görülmüştür. Hesaplanacak form karmaşıklaştıkça, ağ hücreleme (mesh) kaplama zorlaşmaktadır. Yüzeyler ve hacimler düzgün ağ hücreleri (mesh) kaplanmadığında ise çıkan sonuçlar tutarsız ve işe yaramaz olmaktadır. Karmaşık formlara ağ hücreleri (mesh) ile kaplamak için ise daha küçük hücre boyutları gerekmektedir. Hücre boyutunun küçülmesi ise beraberinde hücre sayısının artması sorununu getirir. But tip bir çalışma yapılacak ise eldeki hesaplama kapasitesi imkanları iyice değerlendirilmeli, imkanlar dahilinde bir model oluşturulmalıdır. Çalışma sırasında üçgen tabanlı mesh kaplamalarının sorunsuz gibi gözükmelerine rağmen yanlış sonuçlar verdikleri görülmüştür. Bunun nedeninin, sınır tabaka kaynaklı olduğu düşünülmektedir. Quadri-lateral ağ hücreleri (mesh) ile kaplamak için ise ya form çok düzgün olmalı, örneğin wigley formu gibi, ya da çok küçük hücre kullanılmalıdır. Seri 60 tekne ile aynı çalışma denendiğinde gemi boyunun 300'de 1'i boyutundaki hücreler ile dahi sonuç alınamamıştır –ki bu boyuttaki hücrelerin sayısı wigley formunun hesaplarında kullanılan hücre sayısına yakındır.

CFD konusunda diğer dikkat edilmesi gereken nokta, kullanılacak yöntemin seçilmesidir. K – Ω yönteminin seçilme nedeni, 2. derece bir yöntem olarak, su – hava girişimi problemlerine daha kolay ve iyi sonuç vermesidir. 7. derece Reynold's Stress modeli kullanılsa sonuçlar daha iyi de olabilirdi. Fakat denklem sayısının artması işlem süresini arttırmaktadır. 7. derece yöntem kullanıldığında iterasyon sayısı artar, bir iterasyon için gereken süre artar ve 2. derece yöntemin rahatlıkla çözdüğü yoğunluktaki ağ hücreleri (mesh) kaplamaları yetersiz gelebileceği için, her zaman olmamakla beraber, hücre sayısının artması gerekebilir.

Fluent programının yardım dosyalarına bakıldığında, açık kanalda akış için zamana bağlı olmaksızın bir çözüm yöntemi tarif edilir. Bu çalışmada o şekildeki, zamana

bağlı olmayan çözümlerin de yetersiz kaldığı gözlemlenmiştir. Zamana bağlı yöntem kullanılmalı ve zaman boyutunda da yakınsama sağlanmalıdır. Yakınsama süresini hızlandırmak için öncelikle küçük zaman adımları kullanılmalı, adım boyutları yavaş yavaş yükseltilmelidir.

Serbest su yüzeyi modellemek ise bu çalışma için bir zorunluluktur. Bu durum ise hesaplama zamanında yaklaşık 10 katı bir süre gereksinimine yol açmaktadır.

Deneyler yapılırken karşılaşılan güçlükler ise daha çok ekipmanla ilgilidir. Ölçüm sistemi bu çalışmada kullanılan gibi eski bir sistem ise, aksaklıklar ile karşılaşmak işten değildir. CFD'de oluşturulan modelin olabildiğince benzeri sirkülasyon kanalında da oluşturulmuştur. Fakat kanalın akım hızı CFD ile aynı seviyeye gelememiştir. Veri kablolarında zaman zaman temassızlıklar olmuş ve deneyler yinelenmiştir. Akım hızının rejime girmesi beklenmek zorundadır.

Deney konusunda tecrübeli ekiple deneyler, CFD konusunda tecrübeli ekiple CFD hesabı yapılırsa görülecektir ki deneyler çok daha kısa sürede sonuçlanmaktadır. Fakat CFD, deney laboratuvarı gibi sınırlara sahip değildir. Daha özgür denemeler yapılabilir. Ayrıca form üzerinde yapılacak değişiklikler genelde CFD ile daha kolay ve süre dışında masrafsız halledilir.

Sonuç olarak çalışma değerlendirilecek olursa, nümerik hesap uygun ve yeterli oluşturulmuş bir model ile yeterli işlem gücüne sahip makineler ile yeterli hassasiyette yapıldığında deney sonuçlarına yakın tatminkar sonuçlar vermektedir. Bu çalışmadaki sonuçları geliştirmek için daha da hassas ağ hücreleri (mesh) hazırlanabilir. Sonuçların tutarsızlık gösterdiği noktalar daha küçük zaman adımları ile daha hassas hesaplanabilir. 7. derece yöntemler ile hesaplamalar yapılabilir. Elde edilen sonuçların deneye daha yakın olması beklenir ki daha da kötü çıkma ihtimali CFD'de her zaman mevcuttur.

KAYNAKLAR

Dayı, Ş., 1993. Yelkenli Teknelerde Direnç Deneyleri, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Gökçay, S., 2003. Yapay Hava Kavitesinin İncelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi,* İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Jensen, A.G., 1997. Fluid dynamic derivatives: Marine and wind engineering approaches, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, **69-71**, 777-793

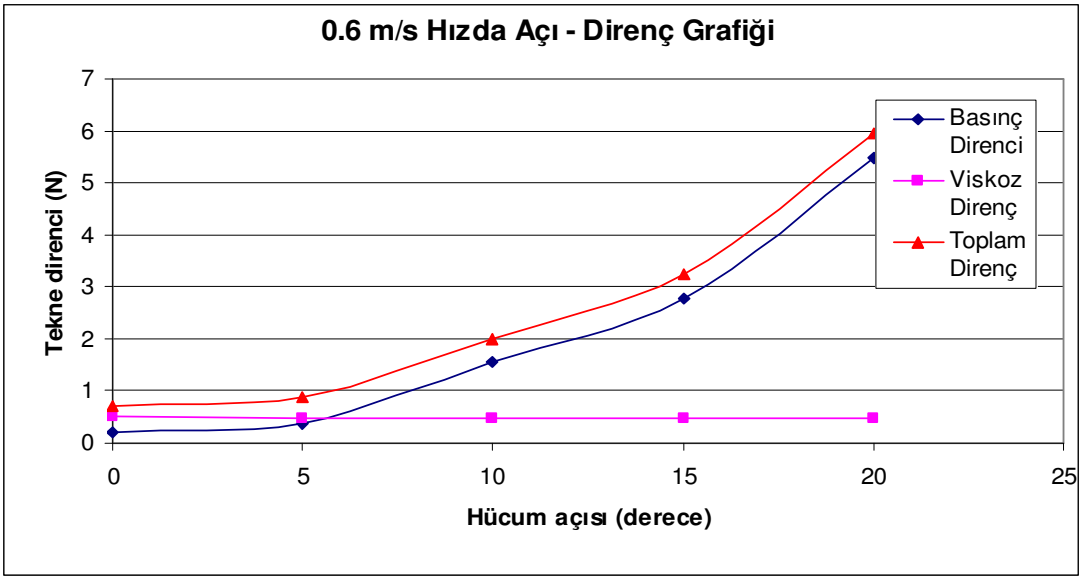
İnsel, M., 1990. An Investigation into the Resistance Components of High Speed Displacement Catamarans, *Doktora Tezi*, University of Southampton Faculty of Engineering and Applied Science, Southampton.

Longo, J. and Stern F., 2000. Yaw Effects on Model-Scale Ship Flows, *Twenty-First Symposium on Naval Hydrodynamics,* The National Academy of Sciences, Washington DC, s. 312-327.

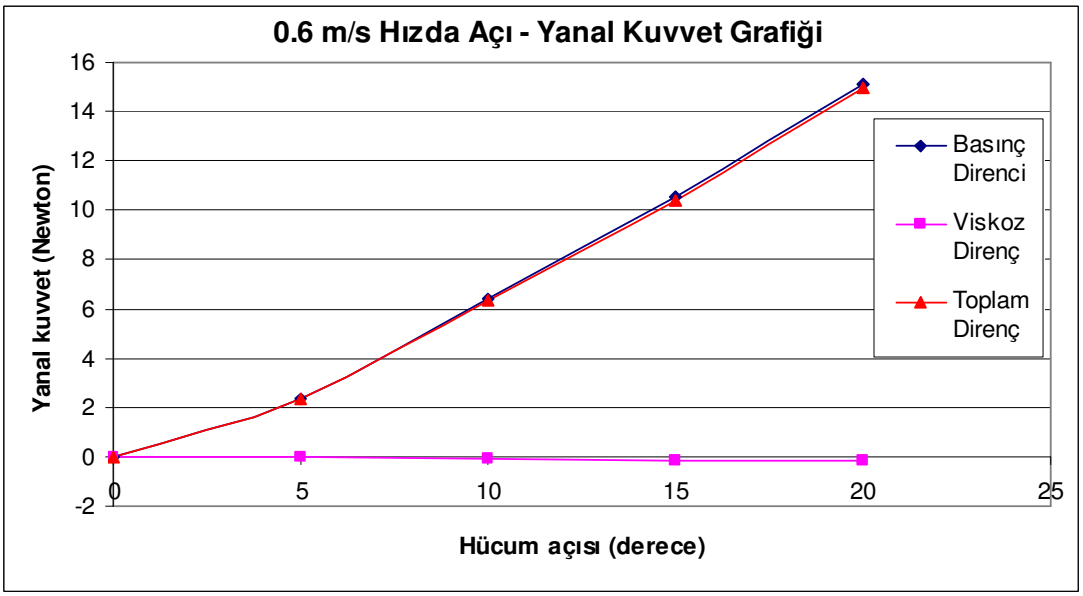
ÖZGEÇMİŞ

Evrim ALÖZKAN, Temmuz 1982 İstanbul doğumlu olup 2000 yılında girdiği İTÜ Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri Fakültesi, Gemi İnşaatı Mühendisliği Bölümünden 2005 yılında mezun olmuştur. Aynı yıl İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Gemi İnşaatı programında yüksek lisans eğitimine başlamış ve halen de devam etmektedir.

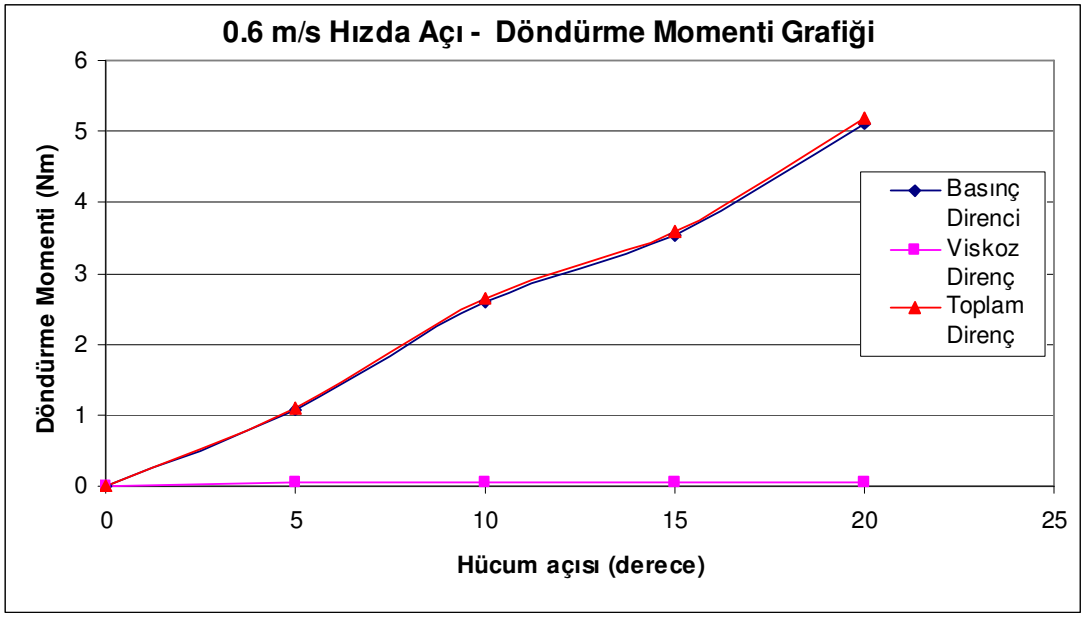
EK A CFD GRAFİKLERİ



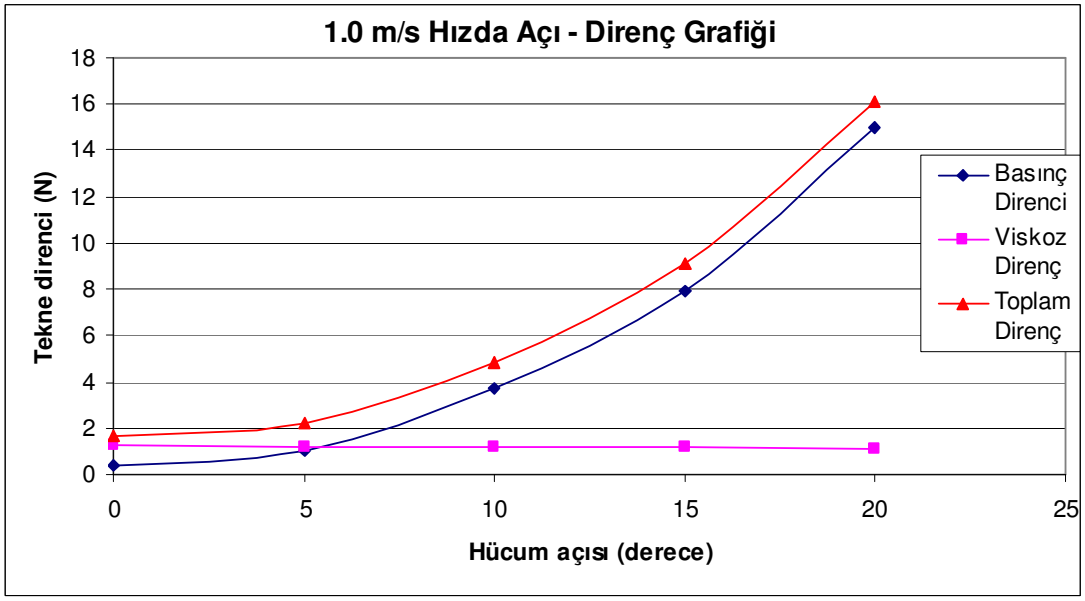
Şekil A1: 0.6 m/s hızdaki açıya bağlı direnç grafiği



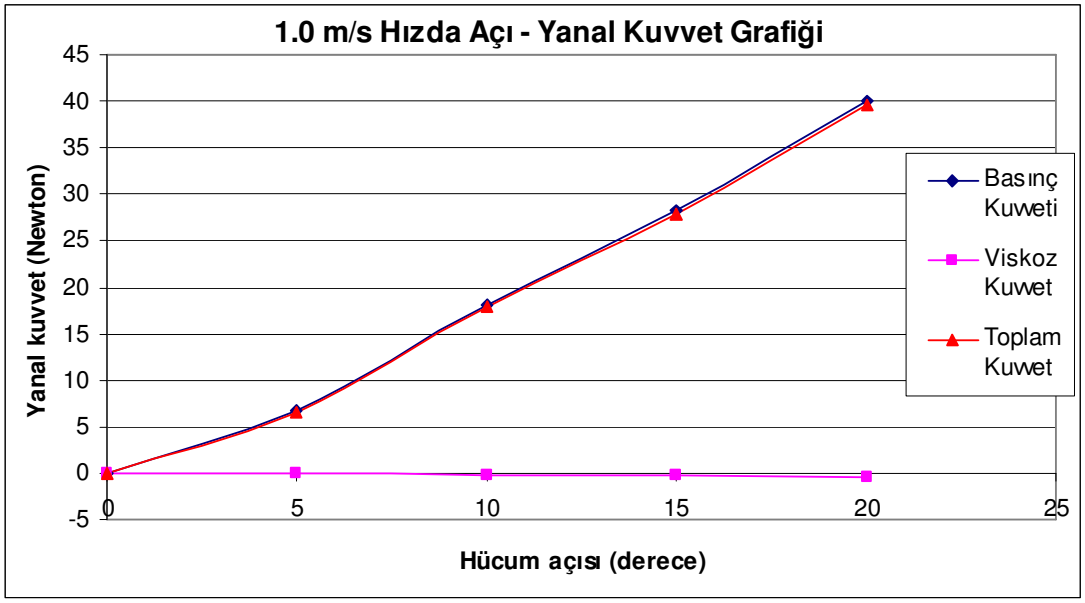
Şekil A2: 0.6 m/s hızdaki açıya yanal kuvvet grafiği



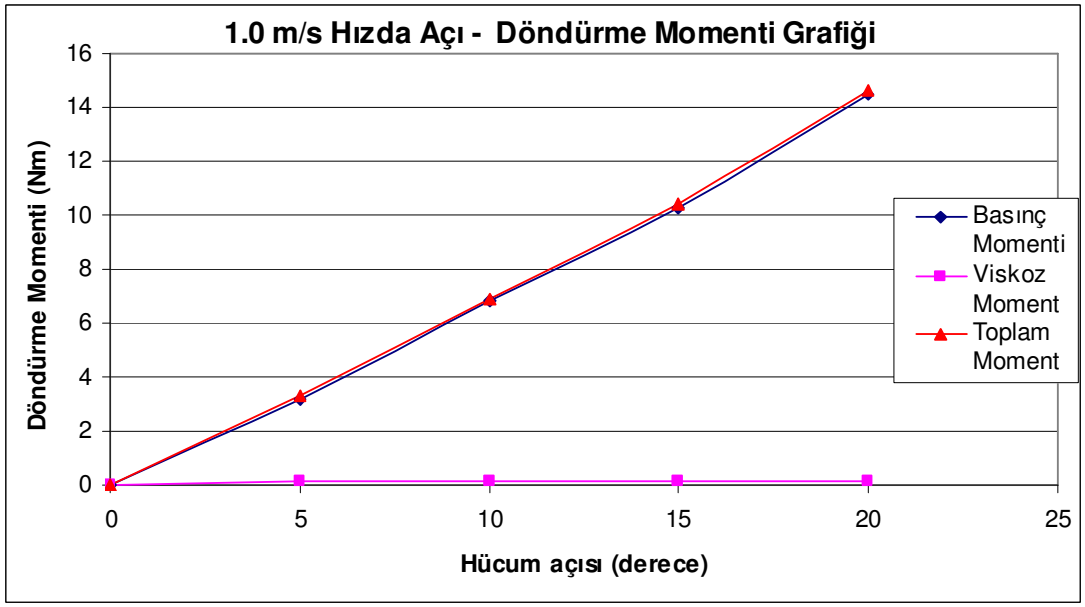
Şekil A3: 0.6 m/s hızdaki açıya döndürme momenti grafiği



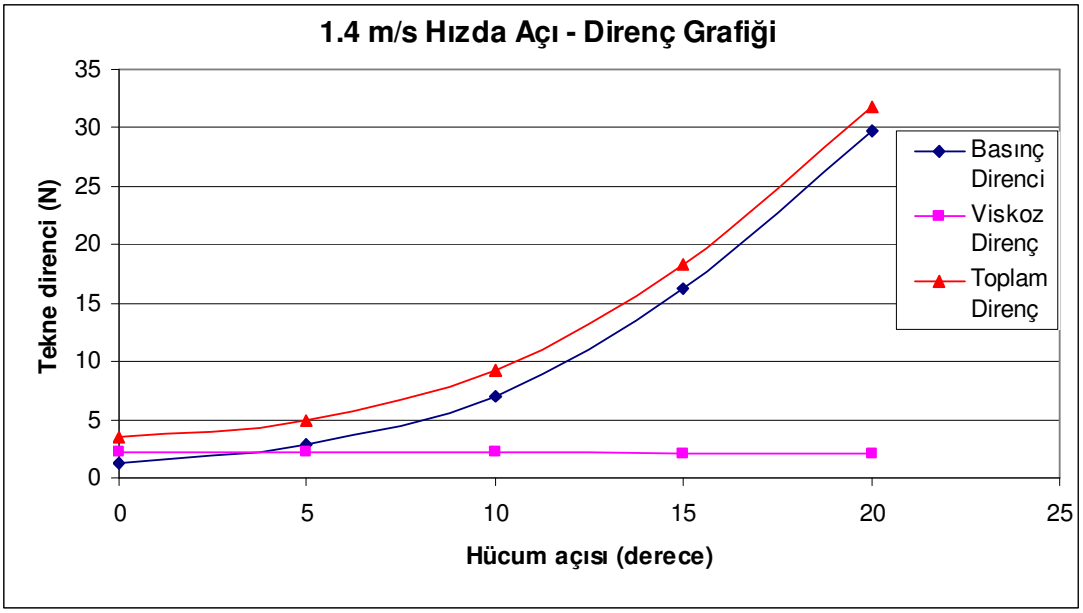
Şekil A4: 1.0 m/s hızdaki açıya bağlı direnç grafiği



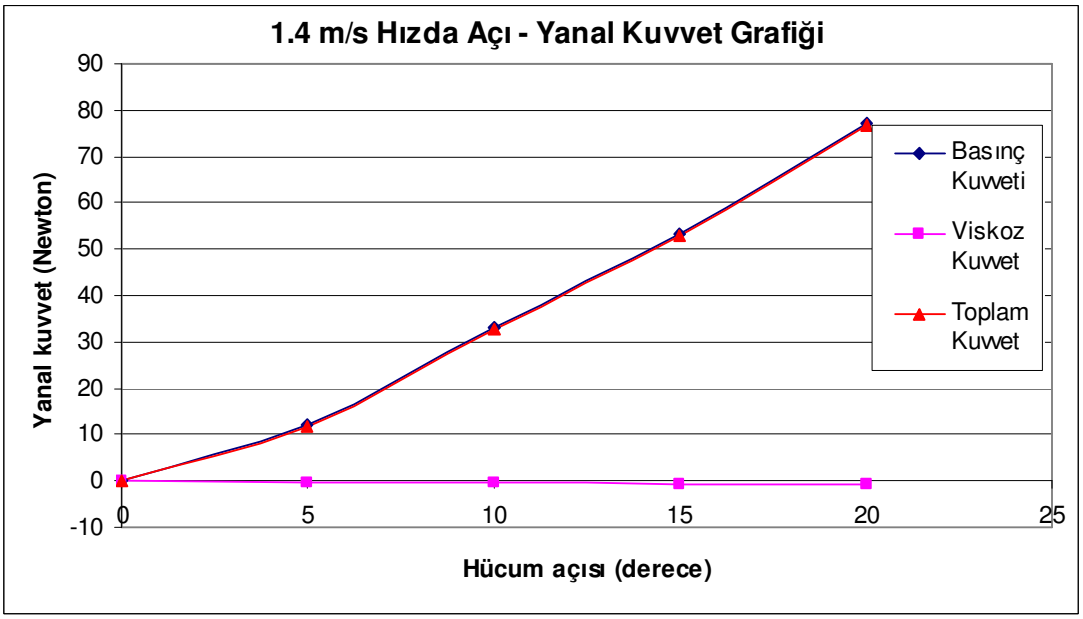
Şekil A5: 1.0 m/s hızdaki açıya yanal kuvvet grafiği



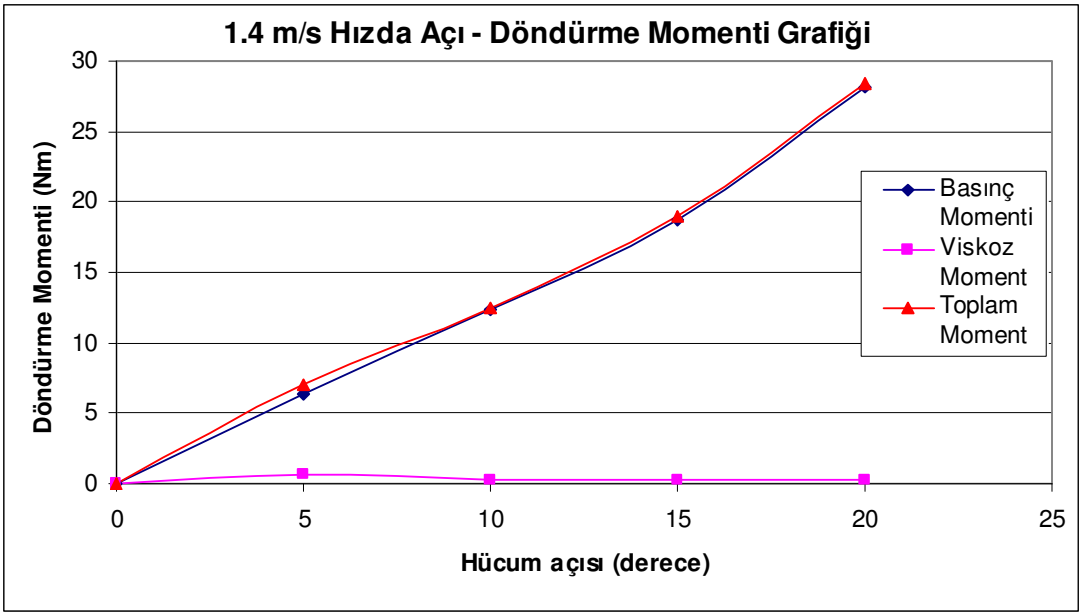
Şekil A6: 1.0 m/s hızdaki açıya döndürme momenti grafiği



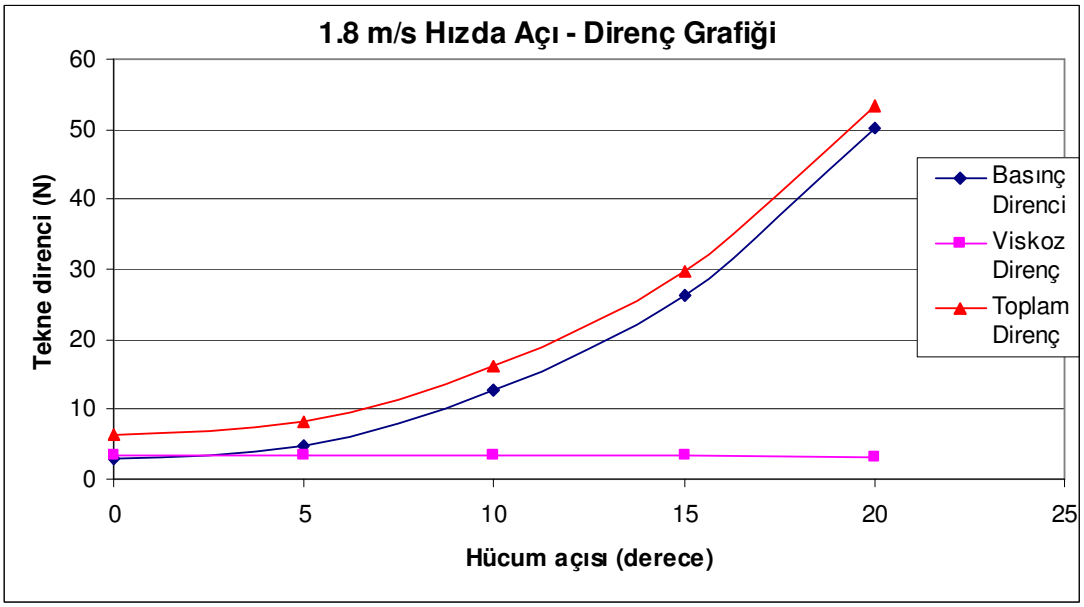
Şekil A7: 1.4 m/s hızdaki açıya bağlı direnç grafiği



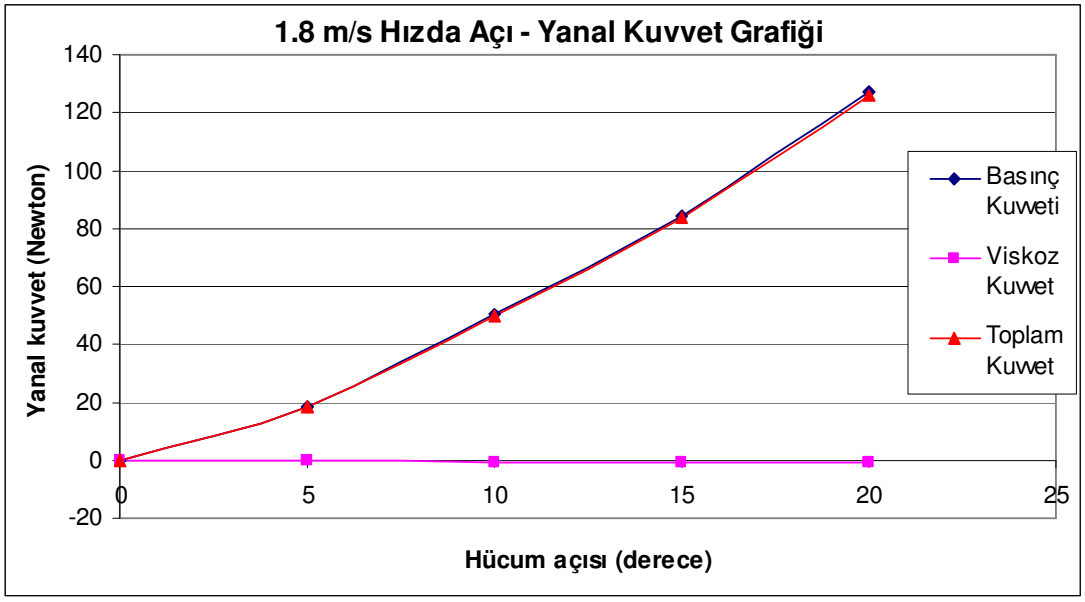
Şekil A8: 1.4 m/s hızdaki açıya yanal kuvvet grafiği



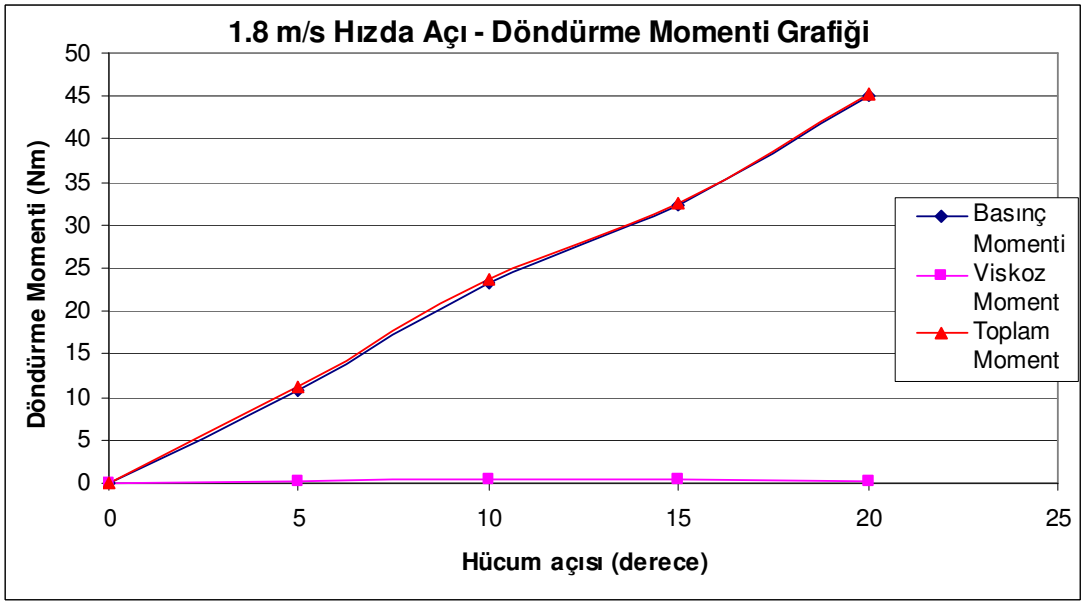
Şekil A9: 1.4 m/s hızdaki açıya döndürme momenti grafiği



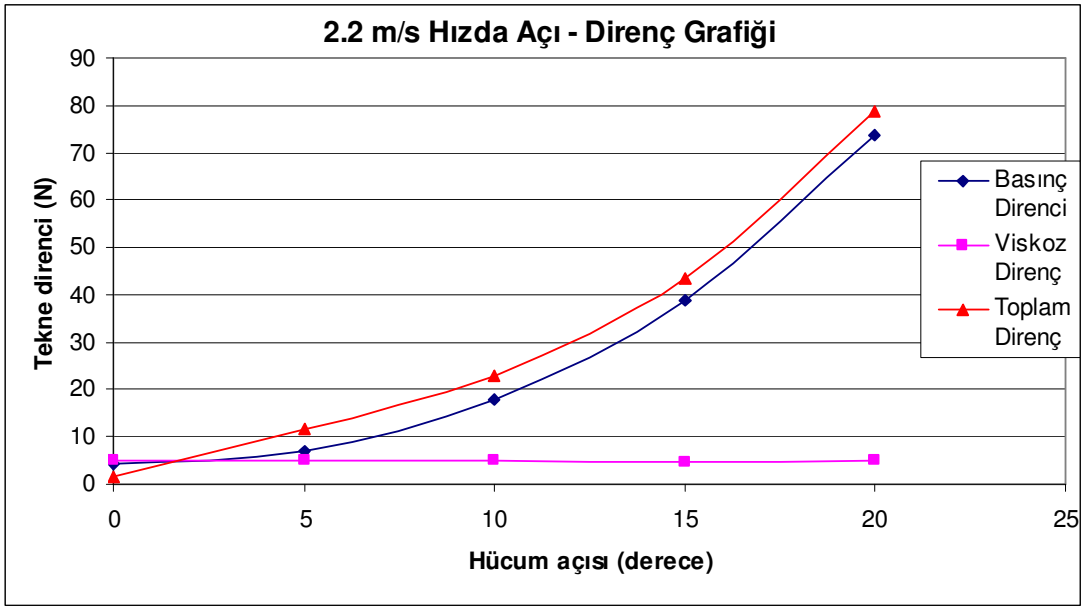
Şekil A10: 1.8 m/s hızdaki açıya bağlı direnç grafiği



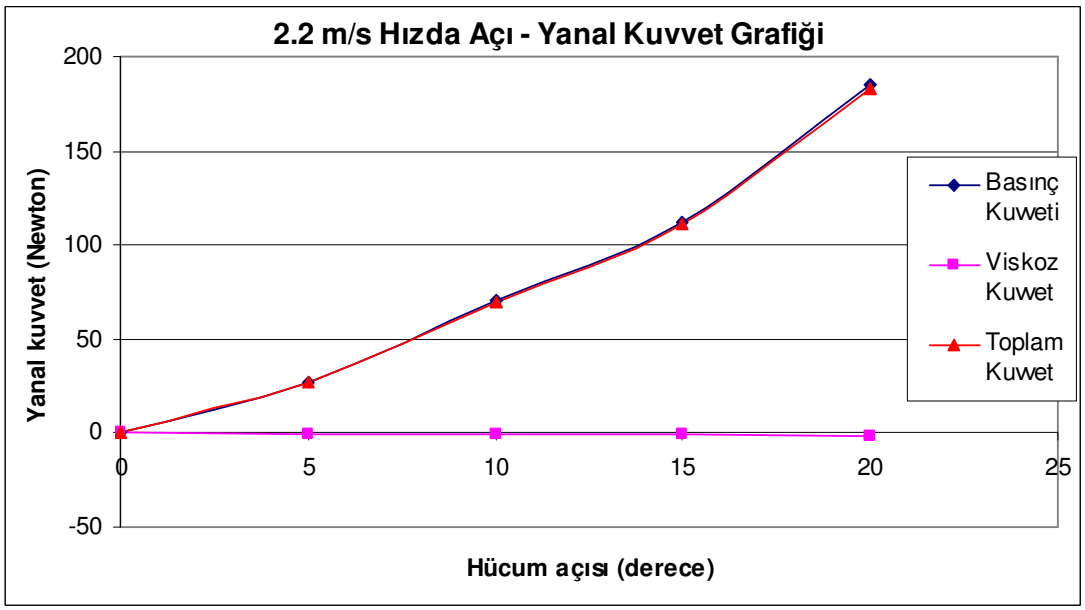
Şekil A11: 1.8 m/s hızdaki açıya yanal kuvvet grafiği



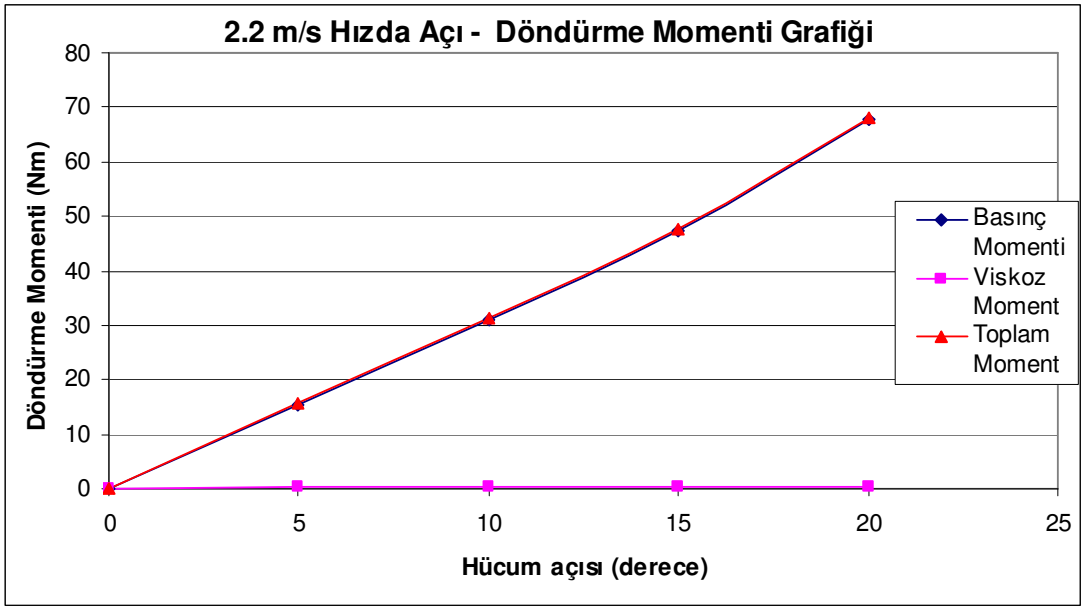
Şekil A12: 1.8 m/s hızdaki açıya döndürme momenti grafiği



Şekil A13: 2.2 m/s hızdaki açıya bağlı direnç grafiği

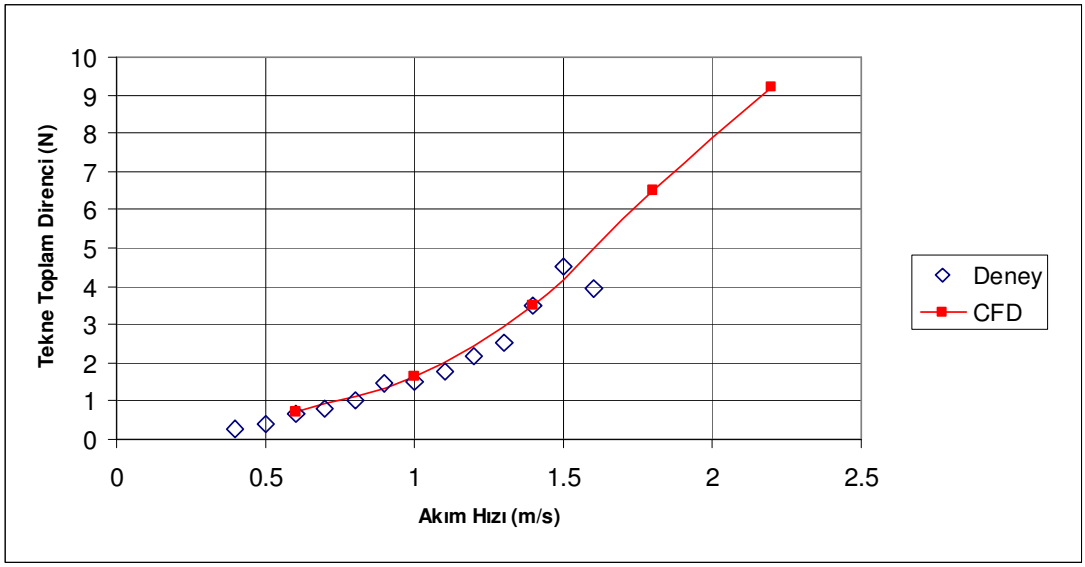


Şekil A14: 2.2 m/s hızdaki açıya yanal kuvvet grafiği

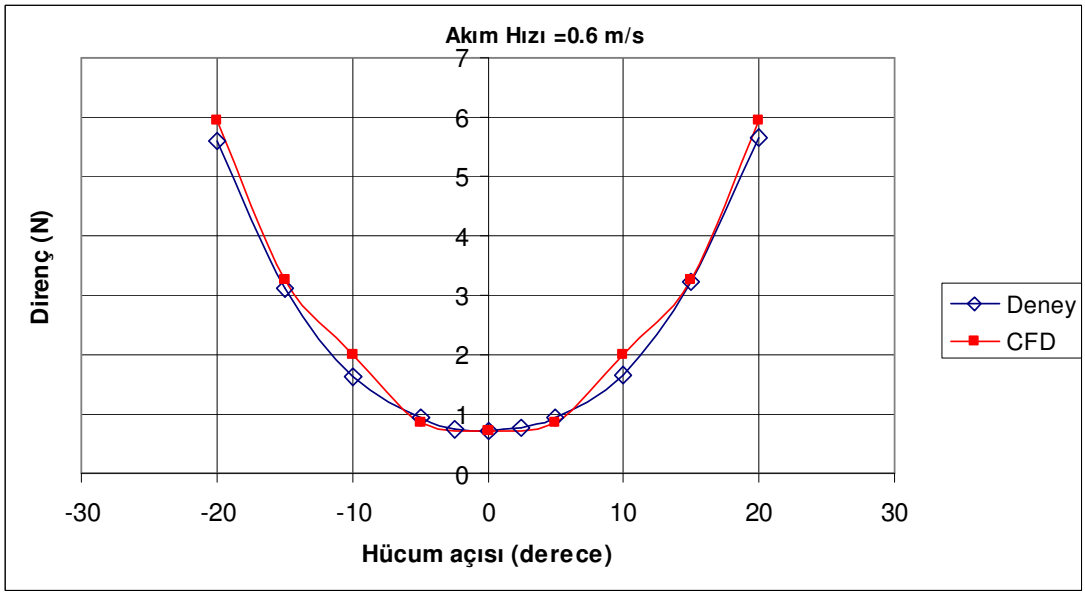


Şekil A15: 2.2 m/s hızdaki açıya döndürme momenti grafiği

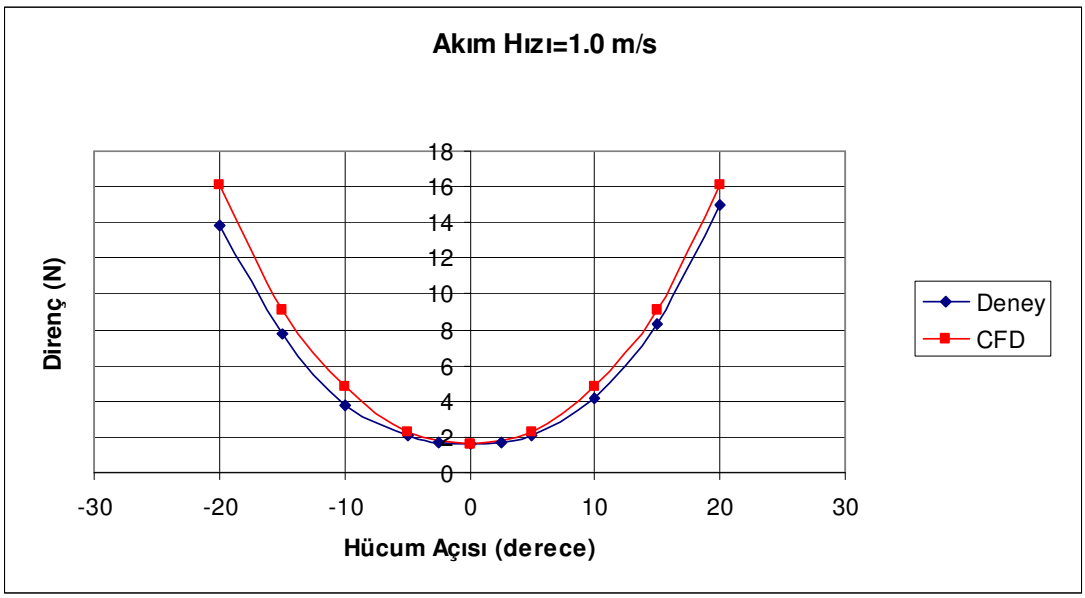
EK B CFD VE DENEY KARŞILAŞTIRMASI GRAFİKLERİ



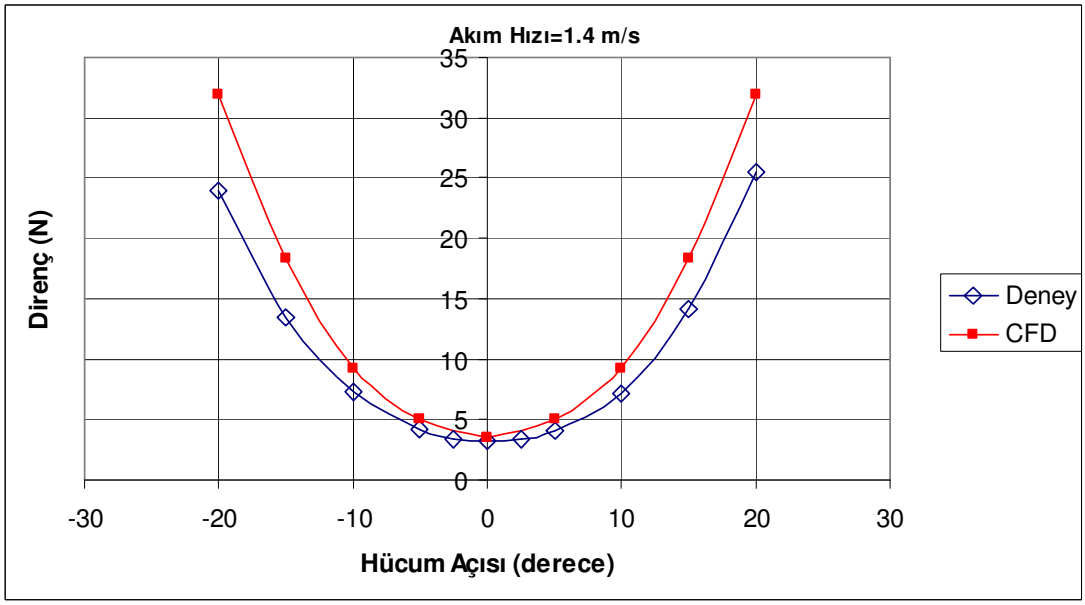
Şekil B1: Akım hızı – tekne direnci karşılaştırması



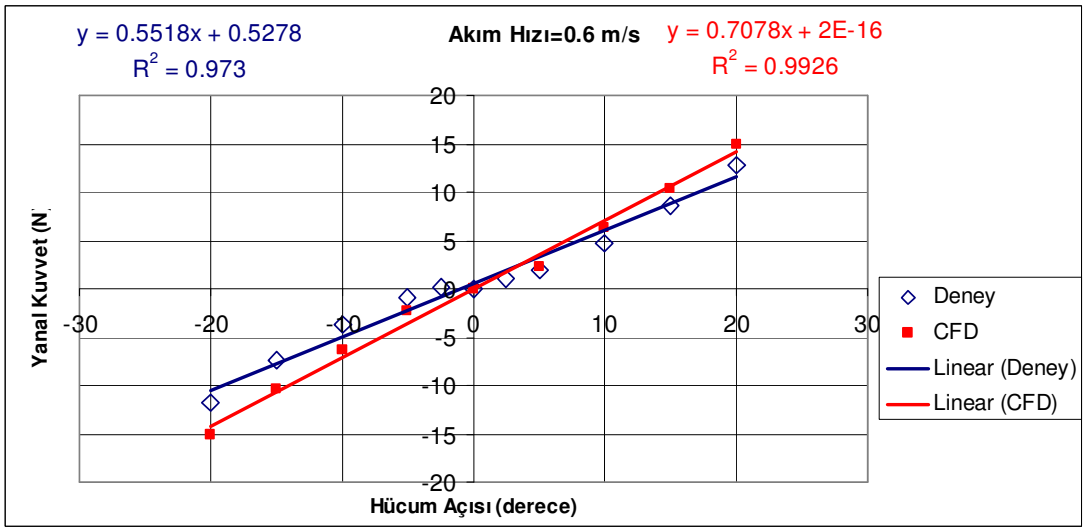
Şekil B2: 0.6 m/s akım hızında hücum açısı – tekne direnci karşılaştırması



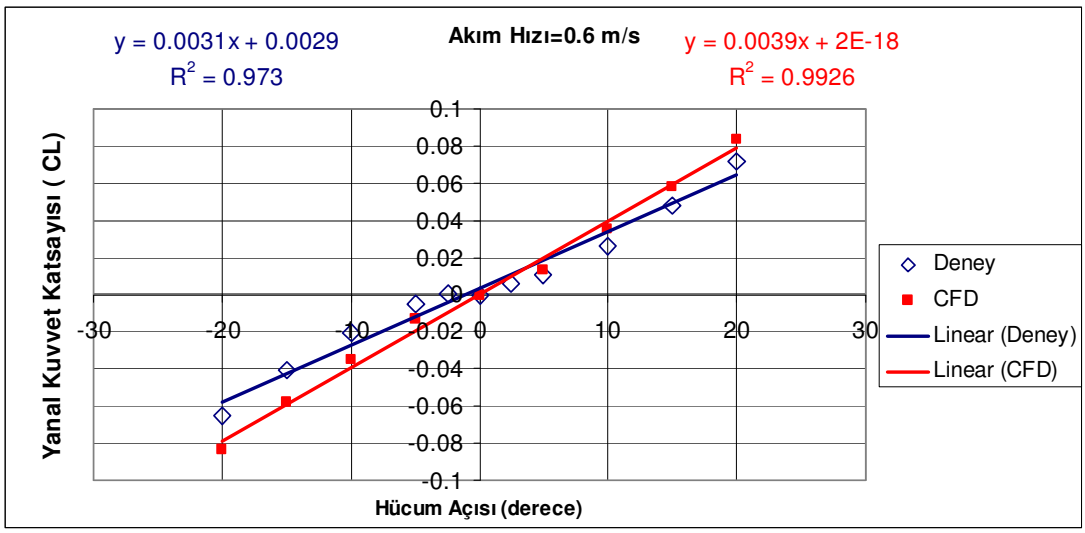
Şekil B3: 1.0 m/s akım hızında hücum açısı – tekne direnci karşılaştırması



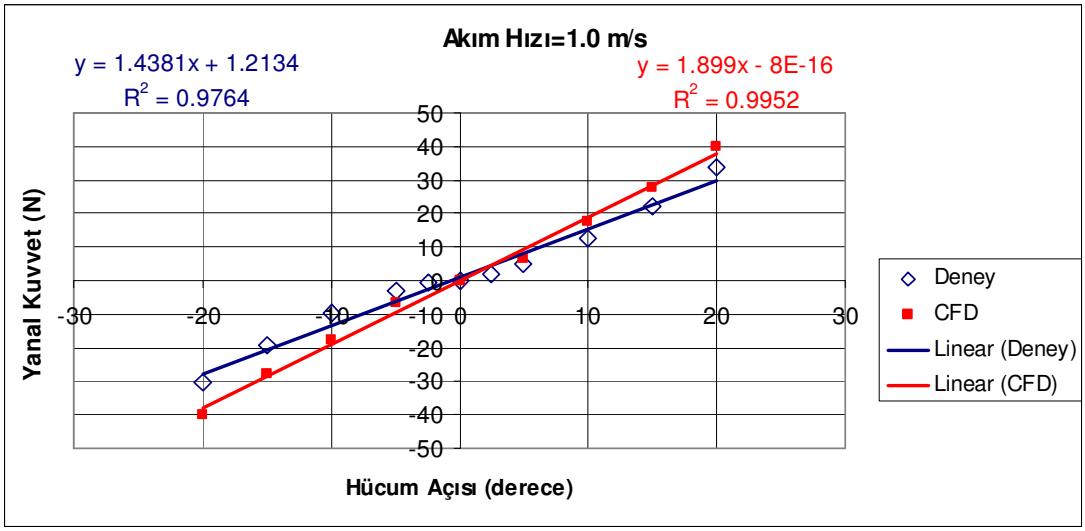
Şekil B4: 1.4 m/s akım hızında hücum açısı – tekne direnci karşılaştırması



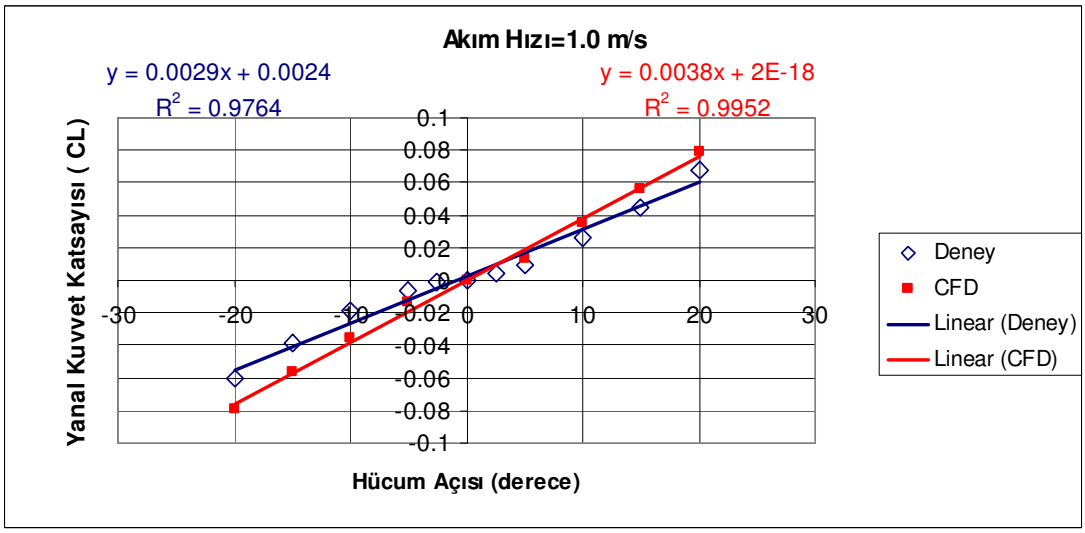
Şekil B5: 0.6 m/s akım hızında hücum açısı – yanal kuvvet karşılaştırması



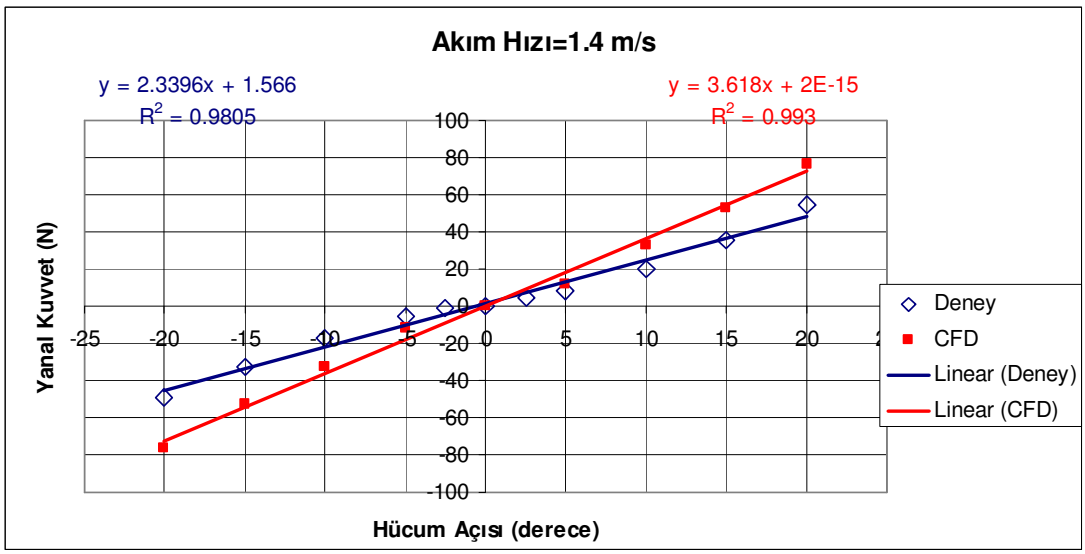
Şekil B6: 0.6 m/s akım hızında hücum açısı – yanal kuvvet katsayısı karşılaştırması



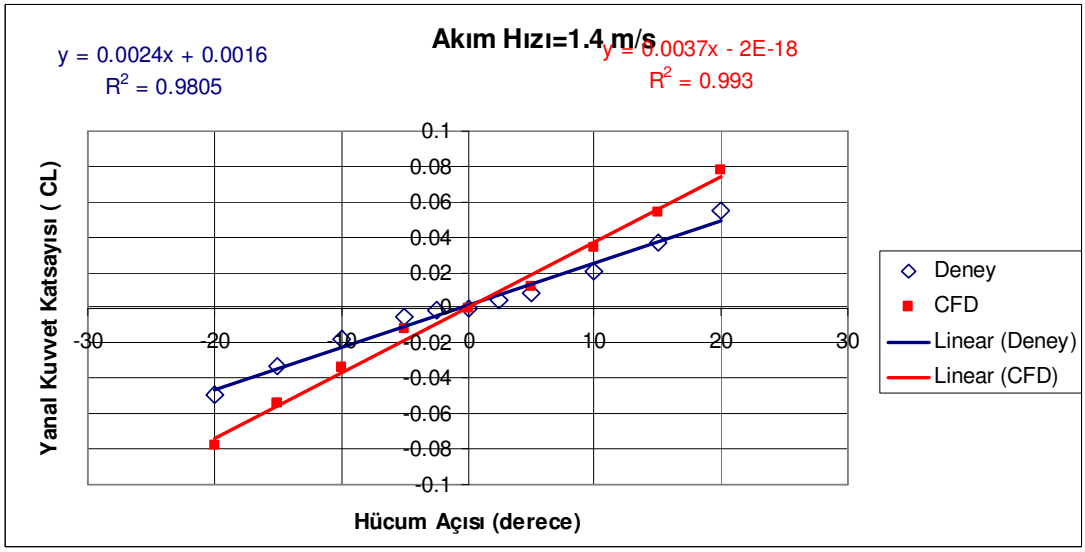
Şekil B7: 1.0 m/s akım hızında hücum açısı – yanal kuvvet karşılaştırması



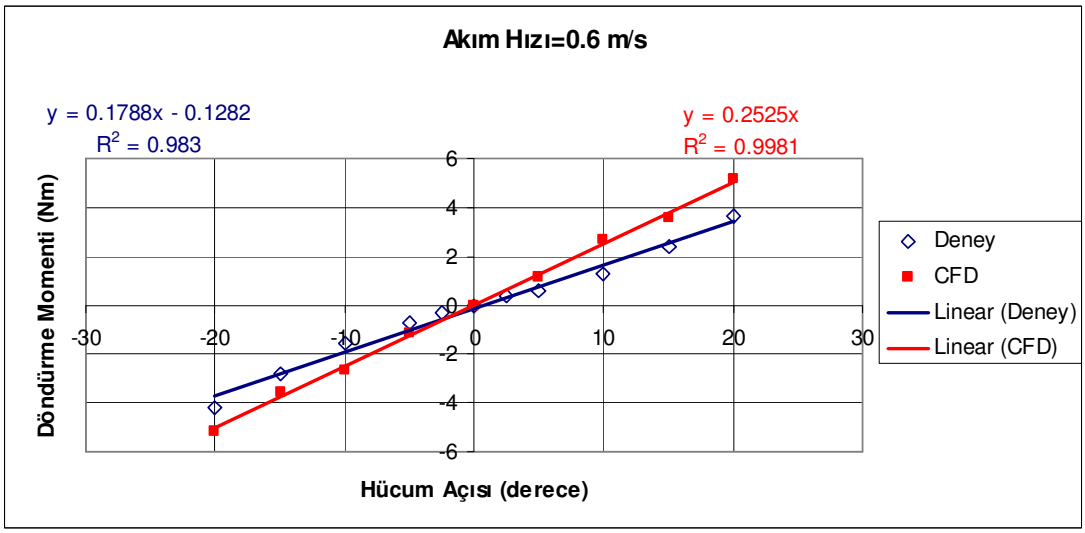
Şekil B8: 1.0 m/s akım hızında hücum açısı – yanal kuvvet katsayısı karşılaştırması



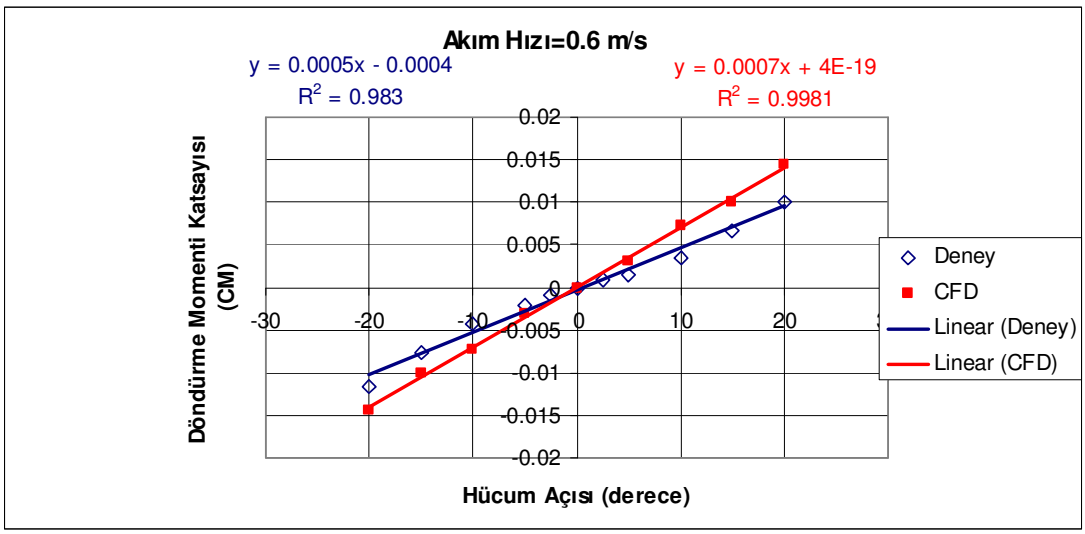
Şekil B9: 1.4 m/s akım hızında hücum açısı – yanal kuvvet karşılaştırması



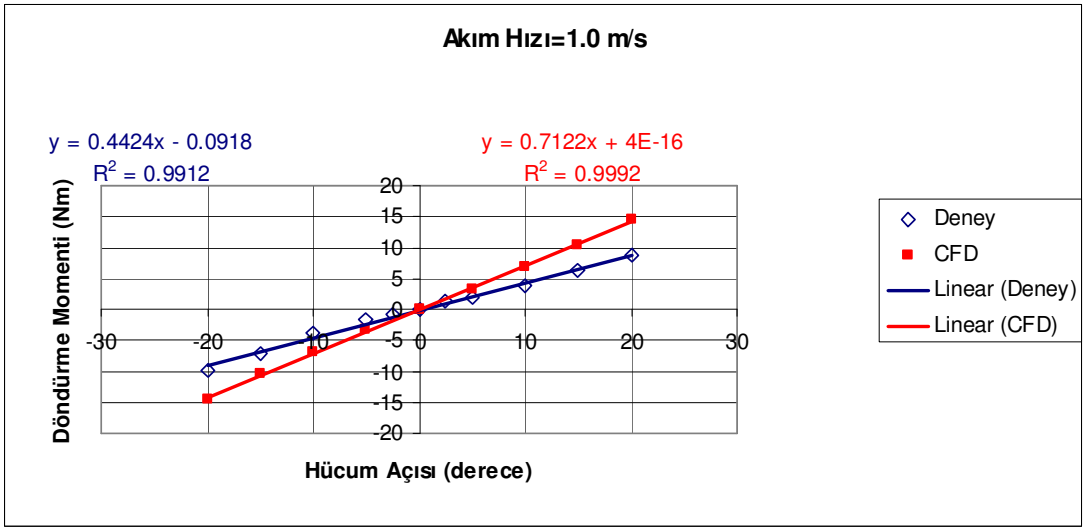
Şekil B10: 1.4 m/s akım hızında hücum açısı – yanal kuvvet katsayısı karşılaştırması



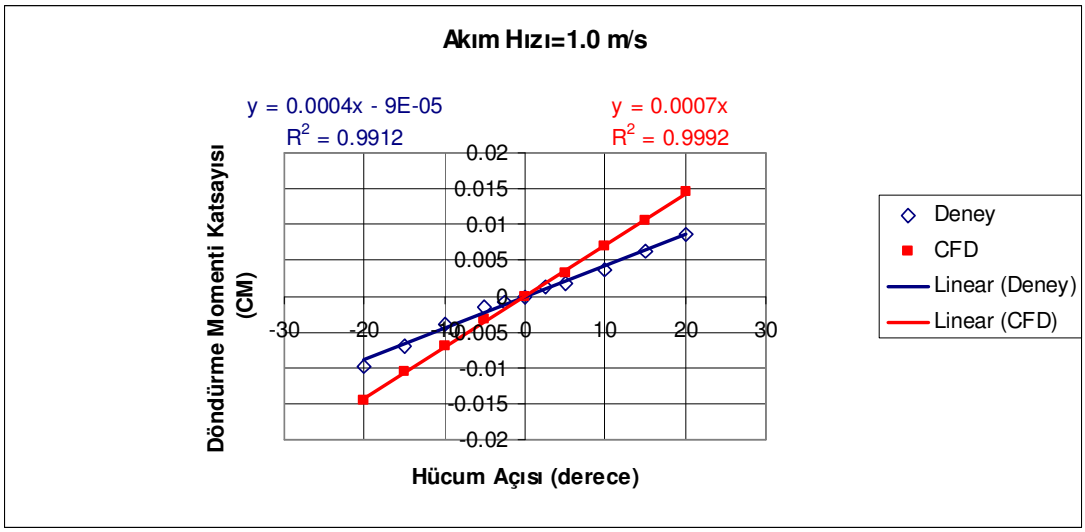
Şekil B11: 0.6 m/s akım hızında hücum açısı – döndürme momenti karşılaştırması



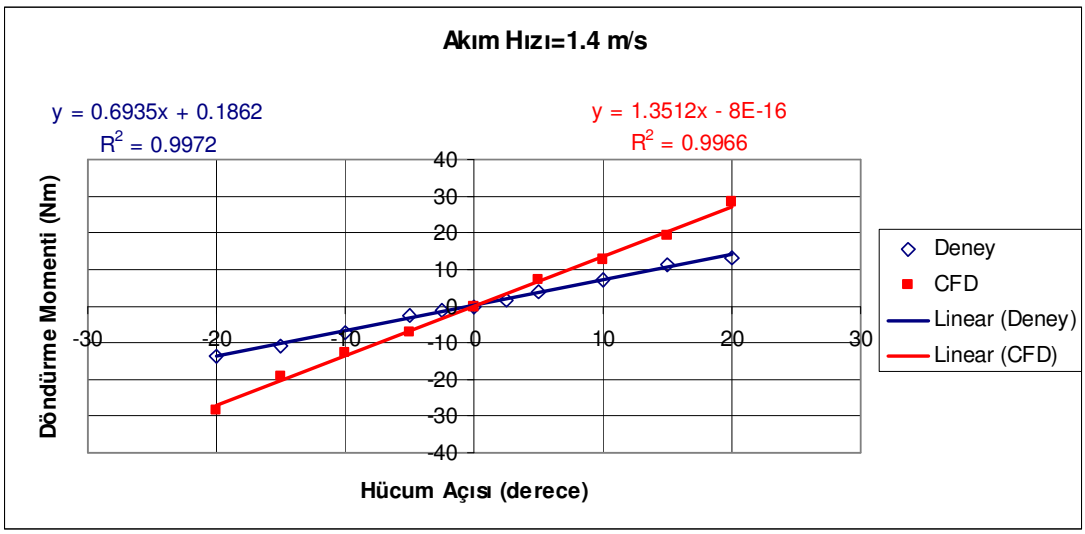
Şekil B12: 0.6 m/s akım hızında hücum açısı – döndürme momenti katsayısı karşılaştırması



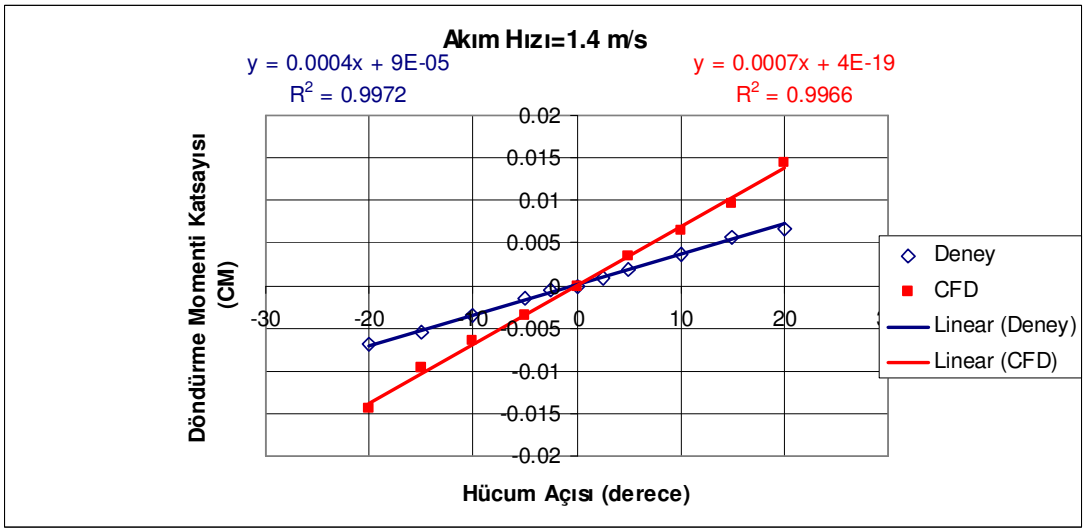
Şekil B13: 1.0 m/s akım hızında hücum açısı – döndürme momenti karşılaştırması



Şekil B14: 1.0 m/s akım hızında hücum açısı – döndürme momenti katsayısı karşılaştırması



Şekil B15: 1.4 m/s akım hızında hücum açısı – döndürme momenti karşılaştırması



Şekil B16: 1.4 m/s akım hızında hücum açısı – döndürme momenti katsayısı karşılaştırması