

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TEK VE ÇİFT PERVANELİ GEMİLERDE NOMİNAL İZİN SAYISAL
OLARAK KARŞILAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Zeynep TACAR

Gemi İnşaatı ve Gemi Makinaları Mühendisliği Anabilim Dalı

**Gemi İnşaatı ve Gemi Makinaları Mühendisliği Yüksek Lisans
Programı**

HAZİRAN 2013

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TEK VE ÇİFT PERVANELİ GEMİLERDE NOMİNAL İZİN SAYISAL
OLARAK KARŞILAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Zeynep TACAR
(508101040)**

Gemi İnşaatı ve Gemi Makinaları Mühendisliği Anabilim Dalı

**Gemi İnşaatı ve Gemi Makinaları Mühendisliği Yüksek Lisans
Programı**

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Emin KORKUT

HAZİRAN 2013

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 508101040 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Zeynep TACAR**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**TEK VE ÇİFT PERVANELİ GEMİLERDE NOMİNAL İZİN SAYISAL OLARAK KARŞILAŞTIRILMASI**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Emin KORKUT**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Kadir SARIÖZ**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Ali Can TAKİNACI
İstanbul Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **03 Mayıs 2013**
Savunma Tarihi : **05 Haziran 2013**

Babama,

ÖNSÖZ

Tez çalışmam sırasında tüm bilgi ve deneyimini benimle paylaşarak her aşamada yanımda olan değerli hocam Sayın Prof. Dr. Emin KORKUT'a, göstermiş olduğu ilgi ve anlayış için çok teşekkür ederim.

Tez çalışmam süresince bilgi ve desteklerini esirgemeyen, gerekli olan verilerin temininde yardımcı olan Doç. Dr. Ali Can TAKİNACI, Y. Doç. Dr. Devrim Bülent DANIŞMAN, Y. Doç. Dr. Uğur Oral ÜNAL'a teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım sırasında bana her zaman destek olan çalışma arkadaşlarıma ve Y. Kaan İLTER'e çok teşekkür ederim.

Son olarak da hayatımın her aşamasında desteklerini arkamda hissettiğim aileme sonsuz teşekkür ederim.

Mayıs 2013

Zeynep Tacar
(Gemi İnşaatı ve Gemi Makinaları Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xvii
SUMMARY	xix
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı	2
1.2 Literatür Araştırması	2
1.2.1 Deneysel metodların tarihsel gelişmi	4
1.2.2 Hesaplmalı akışkanlar dinamiği metodlarının tarihsel gelişimi	5
2. İZ VE İZ DAĞILIMI.....	9
2.1 İz Tanımı	9
2.1.1 İz bileşenleri	11
2.1.2 İz alanı tanımlamaları.....	12
2.2 İz Alanı Parametrelerinin Belirlenmesi	13
2.3 Gemi İzinin Bağlı Olduğu Faktörler	13
2.3.1 Blok katsayısı	13
2.3.2 Draft	14
2.3.3 Gemi formu	14
2.3.4 Pervane çapı	15
2.3.5 Pervane sayısı.....	15
2.3.6 Pervane yükü.....	15
2.3.7 Dümen.....	15
2.3.8 Nozullar, koruyucular ve tüneller	16
2.3.9 Gemi hızı.....	16
2.3.10 Geminin durumu	17
2.4 İz İyileştirilmesi İçin Yapılan Çalışmalar - İz Düzenleyici Nozul	17
3. DENEYSEL AKIŞKANLAR DİNAMİĞİ METODLARI.....	19
3.1 Model ve Benzerlik Teorisi.....	20
3.1.1 Geometrik benzerlik.....	20
3.1.2 Dinamik benzerlik.....	21
3.1.3 Kinematik benzerlik	22
3.2 Deneysel Akışkanlar Dinamiğinde Ölçüm Metodları	22
3.2.1 Pitot tüpleri.....	23
3.2.2 Parçacık görüntülü akım ölçüm metodu (PIV)	24
3.2.3 Laser-Doppler hız ölçümü	25
3.2.4 Termal anemometreler	25
3.3 Deneysel Akışkanlar Dinamiğinde Akım Gözlemeleme Metodları	25
3.4 Model ve İz Ölçüm Deneyi	27
3.4.1 Modelin tanıtılması	27
3.4.2 Ata Nutku gemi model deney laboratuvarı	28
3.4.3 Deneyin yapılışı	29
4. HESAPLAMALI AKIŞKANLAR DİNAMİĞİ METODLARI	33
4.1 Hareket Denklemleri	33

4.2 Akışın Sınıflandırılması.....	34
4.3 Başlangıç ve Sınır Koşullarının Tanımlanması	34
4.4 Türbülans Modelleri	34
4.4.1 Cebrik modeller (Sıfır Denklemli)	35
4.4.2 Tek denklemliler modeller	35
4.4.3 İki denklemliler modeller	35
4.4.3.1 k- ϵ modelleri	35
4.4.3.2 k- ω modelleri	35
4.4.4 Lineer olmayan girdap- viskozite modelleri	35
4.4.5 Reynolds stress modeli.....	36
4.4.6 Direkt nümerik çözümler (LES, DNS).....	36
4.4.7 Analizlerimizde kullanılan türbülans modeli: SST k- ω model	36
4.5 Ağ Örgüsü (Mesh) Çeşitleri	36
4.6 Analizlerimizde Kullanılan Yazılım: Star CCM+	37
5. SAYISAL HESAPLAMA	39
5.1 Modelin Analiz İçin Hazırlanması	39
5.2 Fizik Modellerinin Seçimi	46
5.3 Sonuçların Görüntülenmesi	51
6. DENEY VE HESAPLAMALI AKIŞKANLAR DİNAMİĞİ SONUÇLARI VE ANALİZLERİ	59
6.1 Deney Sonuçları	59
6.2 Çift Pervaneli Durum İçin HAD Sonuçları	60
6.3 Tek Pervaneli Durum İçin HAD Sonuçları	68
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	75
KAYNAKLAR.....	79
EKLER.....	81
EK A: Belirsizlik Analizi	81
ÖZGEÇMİŞ	85

KISALTMALAR

CAD	: Computer Aided Design (Bilgisayar Destekli Tasarım)
CFD	: Computational Fluid Dynamics
DES	: Detached Eddy Simulations
DDES	: Delayed Detached Eddy Simulations
DNS	: Direct Numerical Simulations
DWT	: Dead Weight Tonnage
FVM	: Finite Volume Method (Sonlu Hacimler Yöntemi)
HAD	: Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği
ITTC	: International Towing Tank Conference (Uluslararası Çekme Tankı Konferansı)
LDV	: Laser Doppler Velocimetry (Lazer Doppler Hız Ölçümü)
LES	: Large Eddy Simulations
PIV	: Particle Image Velocimetry (Parçacık Görüntülü Hız Ölçümü)
RANS	: Reynolds Averaged Navier Stokes

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1 : Gemi ve modellerin dizayn draftındaki genel özellikleri.	27
Çizelge 3.2 : Model ölçeğinde pervane düzlemindeki aksenal hız dağılımları.	31
Çizelge 5.1 : Mesh sayılarına göre analizler.	43
Çizelge 5.2 : Çift pervaneli durum için mesh sayısal verileri.	43
Çizelge 5.3 : Tek pervaneli durumda mesh sayısına göre analizler.	46
Çizelge 5.4 : Hızın büyüklüğü ve i,j,k bileşenleri ($r/R=0.373, 0.493$ için).	53
Çizelge 5.5 : Hızın büyüklüğü ve i,j,k bileşenleri ($r/R=0.612, 0.731$ için).	54
Çizelge 5.6 : Hızın büyüklüğü ve i,j,k bileşenleri ($r/R=0.851, 0.970$ için).	55
Çizelge 5.7 : Hızın büyüklüğü ve i,j,k bileşenleri ($r/R=1.090, 1.209$ için).	56
Çizelge 6.1 : Çift pervaneli durumda deney sonucuna göre % olarak fark değerleri.	60

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Sınır tabaka ve akım ayrışması (Baykal, Dikili,2002).	10
Şekil 2.2 : İz alanı oluşumu (Carlton,2006).	13
Şekil 2.3 : Dümen şeklinde iki silindir etrafındaki akış (Harvald,1991).	16
Şekil 2.4 : İz düzenleyici nozul (Url-2).	17
Şekil 3.1 : Pitot tüpü çeşitleri (Url-3).	23
Şekil 3.2 : 5-Delikli pitot tüpü kullanımında koordinat sistemi (ITTC).	24
Şekil 3.3 : 1.5 Mach sayısında bir merminin gölge grafiği tekniği ile çekilmiş.fotoğrafı (Url-4).	26
Şekil 3.4 : 1.5 Mach sayısında bir merminin Schlieren tekniği ile çekilmiş fotoğrafı (Url-4).	26
Şekil 3.5 : Akımı görselleştirmek amacıyla kullanılan iplikler (Şalcı, 2007).	26
Şekil 3.6 : Çift pervaneli modelin 3-boyutlu görüntüsü.	28
Şekil 3.7 : Ata Nutku Gemi Model Laboratuvarı'ndan bir görünüm (Usta, 2012). ..	29
Şekil 3.8 : İz ölçümünde kullanılan polar diyagram (ITTC).	32
Şekil 4.1 : Mesh çeşitleri (Bakker, 2002).	36
Şekil 4.2 : (a) Yapısal mesh (b) Yapısal olmayan mesh (Url- 5).	37
Şekil 5.1 : Domain ve sınır koşulları.	40
Şekil 5.2 : Gemi modelinin meshli bir görüntüsü (hexahedral).	42
Şekil 5.3 : 7. durumdaki mesh (tetrahedral).	42
Şekil 5.4 : Hacimsel kontrol blokları.	44
Şekil 5.5 : Ağ örgüsünün belirli kesitlerdeki görünümü.	45
Şekil 5.6 : Tek pervaneli modele ait görüntüler.	45
Şekil 5.7 : Fizik model seçim ekranı.	47
Şekil 5.8 : Fizik model seçim ekranı-2.	48
Şekil 5.9 : Fizik model seçim ekranı-3.	49
Şekil 5.10 : Fizik model seçim ekranı-4.	50
Şekil 5.11 : Fizik model seçim ekranı-5.	51
Şekil 5.12 : Veri alma amacıyla tanımlanmış problemler.	52
Şekil 5.13 : Çift pervaneli modelde hızın vektörel gösterimi.	57
Şekil 5.14 : Tek pervaneli modelde hızın vektörel gösterimi.	58
Şekil 6.1 : Pervane düzlemi üzerindeki iz dağılımı.	59
Şekil 6.2 : Pervane düzlemindeki nominal iz.	60
Şekil 6.3 : $r/R=0.373$ için sonuçlar.	61
Şekil 6.4 : $r/R= 0.493$ için sonuçlar.	61
Şekil 6.5 : $r/R= 0.612$ için sonuçlar.	62
Şekil 6.6 : $r/R= 0.731$ için sonuçlar.	62
Şekil 6.7 : $r/R= 0.851$ için sonuçlar.	63
Şekil 6.8 : $r/R= 0.970$ için sonuçlar.	63
Şekil 6.9 : $r/R= 1.090$ için sonuçlar.	64
Şekil 6.10 : $r/R= 1.209$ için sonuçlar.	64
Şekil 6.11 : 1. Analiz.	65
Şekil 6.12 : 2. Analiz.	65
Şekil 6.13 : 3. Analiz.	66
Şekil 6.14 : 4. Analiz.	66
Şekil 6.15 : 5. Analiz.	67
Şekil 6.16 : 6. Analiz.	67

Şekil 6.17 : 7. Analiz.	68
Şekil 6.18 : $r/R= 0.373$ için sonuçlar.	68
Şekil 6.19 : $r/R= 0.493$ için sonuçlar.	69
Şekil 6.20 : $r/R= 0.612$ için sonuçlar.	69
Şekil 6.21 : $r/R= 0.731$ için sonuçlar.	70
Şekil 6.22 : $r/R= 0.851$ için sonuçlar.	70
Şekil 6.23 : $r/R= 0.970$ için sonuçlar.	71
Şekil 6.24 : $r/R= 1.090$ için sonuçlar.	71
Şekil 6.25 : $r/R= 1.209$ için sonuçlar.	72
Şekil 6.26 : 1. Analiz.	72
Şekil 6.27 : 2. Analiz.	73
Şekil 6.28 : 3. Analiz.	73

TEK VE ÇİFT PERVANELİ GEMİLERDE NOMİNAL İZİN SAYISAL OLARAK KARŞILAŞTIRILMASI

ÖZET

Bu çalışmada, İTÜ Ata Nutku Gemi Model Laboratuvarı'nda iz ölçüm deneyi yapılmış çift pervaneli bir modelin, hesaplamalı olarak nominal iz değerleri elde edilmiş ve karşılaştırılmıştır. Hesaplamalı yöntemden elde edilen sonuçların deney sonuçları ile karşılaştırılarak doğrulanmasından sonra, aynı yöntem kullanılarak tek pervaneli model için aynı hesaplamalar tekrarlanmış ve iz dağılımları polar diyagramlar üzerinde gösterilmiştir.

Kaimeler arası boyu 58 metre olan çift pervaneli gemi formunun 1/15 ölçeğinde modeli hazırlanarak Ata Nutku Gemi Model Laboratuvarı çekme tankında deneyleri yapılmıştır. İz ölçüm deneyi, aynı Froude sayısı sağlanacak şekilde, geminin seyir hızı olan 11 knot (5,66 m/s) hıza karşılık gelen 1,46 m/s'lik bir hızda, iz tıraşı kullanılarak yapılmıştır.

Geminin yüzey modeli hazırlanırken gemi inşa sektöründe yaygın olarak kullanılan bir yazılım kullanılmıştır. Hesaplamalı olarak yapılan çalışmalarda sıklıkla kullanılan yöntemlerden bir tanesi olan Sonlu Hacimler Yöntemi (FVM) kullanılmış ve ticari bir kod olan Star CCM+ yazılımı tercih edilmiştir. Deney ile benzerlik sağlaması amacı ile model ölçeğinde yüzey modeli oluşturularak, program içerisinde yer alan sonlu hacim ağı modelleri ile geminin sonlu hacim modeli oluşturulmuştur. Domain boyutları belirlenirken ITTC tarafından tavsiye edilen HAD prosedüründe de yer alan ve birçok çalışmada kullanılan oranlar kullanılmıştır. Domain boyutları, gemi önünde bir gemi boyu, arkasında da 2 gemi boyu kadar mesafe, blokaj etkilerini önlemek için ise yanlara ve tabana da yine bir gemi boyu kadar mesafe olacak şekilde tanımlanmıştır. Eleman sayısından tasarruf etmek ve daha iyi çözüm ağı oluşturabilmek için gemi simetri hattından kesilerek o sınıra simetri sınır koşulu uygulanmıştır. Ayrıca serbest su yüzeyi ile etkileri hesaba katılmayacağı için, yine eleman sayısından ve bilgisayar gereksinimlerinden tasarruf etmek amacıyla, literatürde "Çift Model" (Double Hull) yöntemi olarak geçen yöntem tercih edilmiştir. Temel amaç tekneyi su hattından keserek su hattı düzlemini simetri düzlemi olarak tanımlamak ve su hattı altında kalan bölgedeki akışı hesaplamaktır. Bu sayede serbest su yüzeyi ve hava fazı modellenmeyerek kullanılan denklem sayısı azaltılmıştır. Bu da ihtiyaç duyulan bilgisayar gereksinimlerini ve analiz sürelerini oldukça azaltmıştır.

Çözüm ağının sonuca olan etkilerini görebilmek için farklı meh yoğunluğunda ve farklı tiplerde elemanlar (düzgün dörtyüzlü ve düzgün altıyüzlü mesh tipi) kullanılarak durumlar analiz edilmiştir.

Hesaplama alanı oluşturulurken yine ITTC prosedüründe yer alan belirli bir y^+ aralığında kalmak hedeflenmiştir. Bu aralık, elemanın akışın sınır tabaka kalınlığı içinde, geçiş bölgesinde ya da sınır tabakadan yeterince uzak bir bölgede yer almasına göre belirlenmiştir. Sayısal çözüm geçiş bölgesinde hatalı sonuçlar verebileceğinden bu bölgeden kaçınılmaya çalışılmıştır.

Analizde fizik modelleri olarak sabit yoğunluk, yerçekimi, türbülanslılık, $k-\omega$ ve SST (Menter) $k-\omega$ türbülans modelleri, tek faz (su), RANS, daimi akış ve üç boyutlu olma modelleri seçilmiştir.

Analizler için başlangıç ve sınır koşulları olarak akışkan sıcaklığı için deneyin de yapıldığı sıcaklık olan 15°C, hız için de 1.46 m/s kullanılmıştır. Hesaplama modeli için tübülans modellerinden k- ω modeli seçilmiş ve hassasiyeti artırmak amacıyla Menter SST modeli ile birlikte (SST-k- ω) kullanılmıştır.

İz grafiklerini çıkarabilmek için, model deneyinde ölçüm alınan noktalar ile aynı lokasyonlara problar yerleştirilmiştir. Ayrıca silindirik koordinat sistemi tanımlanarak veri alınma işlemi kolaylaştırılmıştır. Elde edilen sayısal değerler, MS Office-Excel yazılımı kullanılarak belli bir formata çevrilmiş ve polar diyagramların çizdirileceği ticari yazılıma hazırlanmış bir kod yardımıyla aktarılmıştır. Bu veriler bu yazılımda işlenerek iz konturlarının görülebildiği polar grafikler oluşturulmuş ve deney sonuçları ile karşılaştırma yapılmıştır.

Orijinal hali çift pervaneli olan modelimiz, skeg kaldırılıp yerine şaftın içinden geçtiği yumru baş bir hacim eklenerek ve pervane ve dümen, merkez hattına taşınarak tek pervaneli bir gemi haline dönüştürülmüştür.

Aynı prosedür tek pervaneli form için de yinelenerek benzer şekilde grafikler ve polar diyagramlar çıkartılmıştır.

Çift pervaneli durumda, CFD metodundan elde ettiğimiz sonuçlar deney sonuçlarına oldukça yakın çıkmıştır. Deney sonucu ve analiz sonucu arasındaki fark yüzde olarak her durum için hesaplanmış ve hatanın kullanılan mesh sayısına göre adlandırılan (1-7) analiz durumlarında %1,80 ve %2,68 arasında çıktığı görülmüştür.

Tek pervaneli durumda ise elimizde modelin aynısı ve deneyi yapılmış gerçek bir gemi olmadığı için elde edilen sonuçlar deneysel verilerle karşılaştırılamamıştır. Ancak çok benzer forma sahip diğer gemilerin nominal iz değerleriyle karşılaştırılınca sonuçların olası sınırlar dahilinde olduğu görülmüştür.

Analizi yapılan tek ve çift pervaneli formlar iz yönünden karşılaştırıldığında ise iki durumun oldukça farklı olduğu görülmüştür. Çift pervaneli durumda pervaneler, potansiyel bölgede çalıştıklarından iz karakteristiği, viskoz bölgede çalışan tek pervaneli duruma göre daha farklı yapıda elde edilmiştir. Çift pervaneli durumda simetri söz konusu olmazken, tek pervaneli durumda pervanenin iki yarısında, beklenildiği gibi, simetrik iz değerleri elde edilmiştir.

NUMERICAL COMPARISON OF THE NOMINAL WAKE FIELD BETWEEN SINGLE AND TWIN SCREW SHIPS

SUMMARY

Engineers need reasonably accurate estimations at design stage to get acceptable results. To estimate power requirement of a ship, and for appropriate propeller selection or design, some methods have been used throughout history. Experimental and numerical methods are the ones we still use today.

The hydro-acoustic noise and the fluctuating pressure on the hull and cavitation are the problems that need to be solved at design stage. These problems depend on the propeller and the wake distribution behind the ship. Due to this reason, the wake field of a ship must be carefully investigated and form optimization and propeller design should be done in light of this wake field data. Therefore, wake measurement experiments and wake calculations by CFD methods are gaining importance.

Wake is defined as the disturbance flow field caused by the relative motion between a hull form and a uniform incident flow parallel to the hull longitudinal center plane. The wake is decomposed into three components. These are frictional wake, potential wake and wave wake. Frictional wake is the component that arises from viscosity and boundary layer. Potential wake is the wake component that would arise if the ship were in an ideal fluid. It can be computed mathematically. Wave wake component is the component due to wave action and is caused by the movement of water particles in the gravity waves set up by the ship. Also the wake field can be defined as nominal wake field or effective (total) wake field. The nominal wake field is the wake field that would be measured at the propeller plane without the presence or influence of the propeller. The wake field behind a ship with operating propeller is called total or effective wake field.

In this study the nominal wake field was measured experimental and computationally and CFD study was carried out to calculate the wake field. Then the results were compared for the single and twin screw configurations in order to get an insight into the nominal wake field.

The wake measurement tests were carried out at ITU Ata Nutku Ship Model Testing Laboratory. In the test, a 2400 DWT tanker model with the scale of 15, was used. The model was towed at the corresponding velocity of ship design speed which is 11 knots. All of the calculations and measurements were made for the design draught.

Velocity distribution at the propeller plane was measured, using a 1-D wake system that consists of eight pitot tubes enabling to measure both static and total pressure at each radius. The pitot tubes are connected to a serial of manometer where we can read the level of water. Total and static pressures can be calculated by using the water level values. Velocity distribution at each radius could be obtained, using Bernoulli's equation.

In this study eight radius values are taken into account, which are $r/R = 0.373; 0.493; 0.612; 0.731; 0.851; 0.970; 1.090; 1.209$. All velocity values were obtained for $0-360^\circ$. 0° points to the upper part of the propeller when viewed from aft, 180° points to the lower part of the propeller. 90° indicates the starboard side of the propeller.

Axial velocity/ ship velocity ratio have been measured for totally 288 points at the propeller plane of the twin screw configuration only. In computational method axial

velocity values were calculated for the same points and they have been compared. A good correlation was obtained between the CFD method and the experiments. In the next step the same ship model was modified to obtain the single screw configuration, and only CFD calculations were performed.

Computational Fluid Dynamics is a branch of fluid mechanics that uses numerical methods and algorithms to solve problems that involve fluid flows. Finite Volume Method (FVM) is one of the discretization methods of CFD. FVM was used for the computations. FVM is a common approach used in CFD codes. It has many advantages in memory usage and solution speed. FVM is convenient especially for high Reynolds number flow problems. In FVM method generally Navier-Stokes equations, the mass and energy conservation equations and the turbulence equations are used as governing equations. In FVM method governing equations are in a conservative form and then solved over discrete control volumes.

RANS (Reynolds Averaged Navier-Stokes) equations are time averaged equations for incompressible fluid flow. Reynolds decomposition is the main idea of the equation, whereby an instantaneous quantity is decomposed into its time-averaged and fluctuating quantities. The RANS equations are primarily used to describe turbulent flows.

In this thesis, a commercial CFD code STARCCM+ has been used. StarCCM+ is a computer aided engineering package developed by CD-Adapco. It has originally developed for CFD simulations and has been expanded to include additional continuum mechanics models especially heat transfer and solid stress models. StarCCM+ provides user an automatic-meshing option and selection opportunity of mesh cell type. These cell types are polyhedral and tetrahedral mesh types. Also it is possible to have prism layers to analyse boundary layer more easily. Additionally, for reliable solutions, selecting the appropriate physical model is highly important. StarCCM+ provides many physical model options.

A 3-dimensional CAD (ComputerAided Design) model was used for the computational method. The model is geometrically similar with the ship but it is at the model scale in order to reduce number of cells. In order to neglect all free surface effects, double hull method was used. In this method, the parts above the waterline were removed. The top surface of the computational domain was defined as a symmetry plane so the hull can be thought as it was reflected at the waterline. Then the flow was computed and the lower half of the hull gave the solution of the ship without free surface effects.

Our model originally has twin screw. Each shaft has one bracket and shafts are placed horizontally parallel to the base line. Model has a bulbous and bow thruster, bow thruster tunnel and bulbous had also been modeled and meshed for the computational analysis.

Volumetric blocks was used in order to increase mesh intensity in the locations that analyses had to be done more carefully. Different number of volumetric control blocks was used in each analysis. Besides, volumetric control blocks enable the user to make slow transition between fine mesh area to coarse mesh area.

Generating a good mesh configuration is very important to get reliable results. After having prepared a suitably meshed model, the analysis can be run. Required reports can be written during the analysis, reports can be monitored for each iteration step.

Residuals can be monitored to have opinion if the solution converges or not. In this study, resistance forces were reported and monitored during the analyses.

Stopping criteria is a point that should be mentioned. In order to make less iteration, a stopping criteria can be defined. When the specific number of iteration value converge until the criterion has satisfied, the analysis stops.

In the twin screw configuration, seven different mesh conditions were analyzed. Quadrilateral mesh type was used in 6 condition, in the last one tetrahedral mesh type was used. As physical models, constant density, gravity, turbulent flow ($k-\omega$ and SST Menter turbulence models), single phase (water), steady flow and 3-dimensionality were selected. The SST $k-\omega$ turbulence model is a two-equation eddy- viscosity model. The SST $k-\omega$ model can be used as a low Reynolds turbulence model without any extra damping functions.

In the analysis for the initial and boundary condition temperature and velocity values were defined as 15°C and 1.46 m/s, respectively.

In order to make an accurate comparison between test and CFD results measurements and calculations had been done for the same points. In propeller plane 288 points had been defined as probes in analyses. The results of the analyses were obtained from these points and tabulated. These numerical data were used for plotting polar wake diagrams and graphics for each radius and degree. Finally, the results were compared and differences in percentages were calculated for experiment and CFD results.

In second configuration some changes had been made at the stern of the original model. Originally the model had a skeg, in the single screw model bulbous stern is installed instead of skeg. The propeller had been removed to the centerline. In this case 3 mesh condition had been analyzed.

In conclusion, if the twin screw model results and single screw model results have to be compared, it can be seen that results are quite different. In the first case the propellers mainly work at potential region and the wake characteristics include the effect of the second propeller. In single screw ships, the propeller works at the viscous region. As a result they have different wake characteristics. Also in single screw model, wake distribution is symmetrical in port and starboard side but, in twin screw configuration wake distribution is not symmetrical due to the effect of the other propeller.

It should be mentioned that for the single screw configuration the CFD method requires more detailed boundary layer calculations, hence y^+ values should be reduced.

1. GİRİŞ

Dünyanın en eski ulaşım araçlarından biri gemilerdir. Diğer yöntemlerle taşınması mümkün olmayan yüklerin taşımacılığı gemiler aracılığıyla yapılmaktadır. Gemiler modern dünyanın vazgeçilmez bir parçasıdır. Yolcu taşımacılığında da gemilerin büyük bir payı vardır.

Günümüzde gemi inşaatı sektörü oldukça gelişmiştir ve gelişmeye devam etmektedir. Her geçen gün artan talepler gemi inşaatı sektörünü ilerlemeye zorlamıştır. Yakıt fiyatlarının artması ve son dönemlerde yaşanan ekonomik krizler gemilerin verimli ve tasarruflu olmaları yönünden çalışmaların artmasına ve daha ekonomik gemilerin inşa edilmesine neden olmuştur.

Bir geminin işletim maliyetlerinin daha düşük olabilmesi için daha az güç gereksiniminin olması gerekir. Böylece daha az güç gerektiren bir ana makine seçimi yapılabilir. Bunu gerçekleştirebilmenin en temel yolu da gemi direncini en aza indirebilmektir.

Daha hafif ve daha dayanıklı malzemeler sayesinde ağırlıktan kazanç sağlanabilmesi daha küçük bir ana makine seçimi yönünde olumlu etki yaparken, güç gereksinimini azaltmanın bir yolu da form optimizasyonundan geçer. Optimum formu elde etmek kimi zaman oldukça sıkıntılı olabilir. Her parametre için dizayna yeniden başlamak gerekebilir. Dizayn aşamasında daha doğru sonuçlara ulaşabilmek ve üretim aşamasına geçmeden gerekli değişiklikleri ve düzenlemeleri yapabilmek için çeşitli sayısal verilere ihtiyaç duyulabilir. Bu veriler de model deneyi ve hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) metodları kullanılarak elde edilebilir. Deneysel metod maliyetli ve zahmetli olmasından dolayı her zaman tercih edilmese de HAD metodu da bazı durumlarda doğru sonuç vermeyebilir. Deney ve HAD sonuçları karşılaştırılarak doğrulama yapılmalıdır. Her iki metodu birlikte kullanmak daha kesin sonuç elde edilmesinde oldukça yarar sağlamaktadır.

Her geminin kullanım amacına göre farklı özellikleri daha fazla önem kazanabilir. Günümüzde teknolojinin ilerlemesi ve metodların gelişimiyle bu farklı özelliklerin de optimize edilebilmesi için çalışmalar yapmak mümkün olmaktadır.

Optimizasyon çalışmaları kapsamında performans iyileştirmesi için pervane izinin incelenmesi de yapılması gereken çalışmalardan biridir.

1.1 Tezin Amacı

Gemi arkasındaki hız dağılımı, büyük ölçüde tekne kış formuna bağlıdır. Hız dağılımı incelenmesi kavitasyon, gürültü ve özellikle titreşim yönünden çok önemlidir. Bu etkilerin kaynağı gemi pervanesi olduğu için pervane düzlemi üzerindeki hız dağılımı yani iz dikkatle incelenmelidir.

Günümüzde gemiler, boyutlarına paralel olarak büyük güçlerle sevk edildiklerinden kavitasyon ve titreşim açısından istenilen düzeyde olmaları, gerek ekonomik gerekse emniyet ve konfor yönünden önem taşımaktadır. Askeri gemilerde ise güvenlik açısından izin araştırılması ve ona uygun pervane ve form dizaynı yapılması gerekmektedir.

Bu tezde amaçlanan ise çift pervaneli bir geminin iz dağılımını bir HAD metodu kullanarak hesaplamak ve deney sonuçlarıyla karşılaştırarak metodun doğruluğunu sağlamaktır. Aynı formu tek pervaneli olarak tekrar tasarlayıp yeni durumdaki iz dağılımını inceleyerek aradaki farklılıkların nedenlerini ortaya çıkarmaktır.

1.2 Literatür Araştırması

Gemilerin dizayn aşamasında, doğru sonuca ulaşmak için her zaman gerçekçi verilere ihtiyaç duyulmuştur. Geminin güç gereksinimi, istenilen hıza ulaşp ulaşamayacağı, pervane seçimi gibi konularda çeşitli yöntemlerle veri eldesi için çalışılmıştır.

Bir geminin hidrodinamik performansını; geminin direnç ve sevk, denizcilik ve manevra özellikleri belirler.

Pervane akımları ve pervane dizaynı, direnç ve sevkin alt konusu olarak görülebilir, ancak önemli olması ve özel teknikler içermesi sebebiyle ayrı bir konu olarak incelenir.

Morgan ve Lin (1998), bu konudaki tarihsel gelişimi güzel bir şekilde özetlemişlerdir.

Gemi direncini tahmin metodunu William Froude (Froude 1874)'a borçluyuz. Metodunda gemi direncini sürtünme ve dalga (yapma) direnci olarak ayırmıştır. Bu ustaca yapılmış kabul, Froude' a, ilk defa, tam ölçekli bir geminin direnç değerlerini, model deneyi sonuçlarını kullanarak hesaplama yapma imkanı vermiş oldu. Bu çıkır açan buluşun ardından Froude ilk gerçek model havuzunu 1879'da Torquay, İngiltere'de inşa etti. İngiltere'deki bu gelişme Avrupa ve Rusya'da oldukça merak uyandırdı ve model deneyleri yapılmak üzere yeni havuzların inşasına teşvik etti. Birkaç yıl sonra R.E Froude, William Froude'un oğlu, İngiltere 'de ikinci ve daha büyük havuzu inşa etti. Yüzüncü yılı 1994'te kutlanan A.N. Krylov havuzu, Mendeleyev tarafından St. Petersburg'da kurulmuştur. David Taylor Model Deney Havuzu'nun da yüzüncü yılı 1998'de kutlanmıştır. David W. Taylor (1864-1940), Amerikan Deniz Kuvvetleri'nde tümamiral ve gemi mühendisiydi. I. Dünya Savaşı'nda orduda yapım ve tamir bürosunun şefi olarak görev yapmıştır ama en çok Amerika Birleşik Devletleri'nin ilk model deney havuzunu kuran kişi olarak tanınmaktadır.

Geminin direnç ve sevk, denizcilik ve manevra özelliklerinin eldesi için de çeşitli yaklaşımlar vardır. Bunları ampirik/istatistiksel yaklaşımlar, deneysel yaklaşımlar ve nümerik yaklaşımlar olarak gruplandırabiliriz. Günümüzde en çok başvurulanan yaklaşımlar deneysel ve nümerik yaklaşımlardır. Ancak tarihsel gelişim açısından baktığımızda istatistiksel yöntemden de bahsetmekte yarar vardır.

Ampirik/İstatistiksel yaklaşım, basit bir fiziksel model ve bir ana gemi ya da gemi serisinden gerekli katsayıları belirlemek için yapılan regresyon analizini birleştirir. Katsayılar, sabitler halinde, formüller şeklinde ya da eğrilerle verilebilir.

Model deneylerinin başarısı sebebiyle, deneysel serilerde gövde formları değişken parametreler için geliştirilmiştir.

1940'lı yıllarda ve takip eden 20 yıl içerisinde çok çeşitli seriler test edilmiştir. Bu seriler, iyi bir formun ana gemi olarak seçilip, diğer formların ana gemiden üretilmesiyle elde edilmiştir. Blok katsayısı gibi temel form katsayılarının etkisi, bu katsayıların sistematik varyasyonlarından belirlenmiştir.

Günümüzde ise model deneylerinin pahalı olmasından dolayı modern gövde formlarına sahip gemi serileri bulunmamaktadır ve geleneksel serilerin demode olduğu kabul edilmelidir.

1.2.1 Deneysel metodların tarihsel gelişimi

Model deneylerinin temel fikri, ölçekli bir modeli test ederek elde edilen verilerin tam ölçeğe dönüştürülmesidir.

İlk karşılaştırmalı gemi model deneyi Leonardo da Vinci dönemine kadar uzanmaktadır. Daha sonra, birçok kişi artan tecrübelerle deneylere devam etmiştir. 18. yüzyılda deneyler hidrodinamik alanda yapılmıştır. Bu konuda ilk büyük teorisyen, İngiliz gemi mühendisi Fredrick Henrik Chapman olarak düşünülebilir. Chapman, model testi yapan ilk kişidir. Deneylerini tarih öncesi bir deney tankında gerçekleştirmiştir. Her ne kadar bu çalışmadan bir teori çıkartamasa da bir seri plan elde etmiştir.

1865'te ikinci büyük teorisyen W. Macquoron, boru içindeki suyun hareketinin direncini ölçmek için çalışmalar yapmıştır.

1874'te William Froude, benzerlik yasasını mükemmelleştirmiştir. İlk havuz Froude tarafından inşa edilmiştir.

Daha sonra resmi olarak açılışı 1900'de yapılan Washington'daki, 140 m uzunluk, 13 m genişlik ve 4 m derinliğe sahip havuz Froude ve Taylor'ın işbirliği sonucunda inşa edilmiştir (Fossati, 2009).

Günümüze kadar model deney sonuçlarından yararlanılarak, tam ölçekli bir geminin direncini belirlemede kullanılabilecek birçok yöntem geliştirilmiştir. Froude'dan sonra, Telfer'in geosim yöntemi, Hughes yöntemi, Prohaska yöntemi, ITTC 1957 ve 1978 yöntemleri model deneyi gelişiminde önemli yapı taşlarını oluşturmaktadır.

Telfer 1927'de geometrik olarak benzer ancak ölçekleri farklı modellerden seri deneyler yapmayı teklif etmiştir. Burada modellerin Froude sayılarının aynı, Reynolds sayılarının farklı olması söz konusudur. Elde edilen toplam direnç sonuçları Reynolds sayısının bir fonksiyonu olarak grafiğe dökülmüştür ve gemi ölçeğindeki sonuçlar için değerle kolaylıkla ekstrapole edilebilir (Bertram, 2000).

Froude'dan bu yana yana temel gemi direnci metodolojisinde çok az değişim olsa da, çok çeşitli tekniklerde ilerleme kaydedilmiştir.

Günümüzde takıntılı bir gemi etrafındaki üç boyutlu akışları özellikle de sınır tabaka etkilerini daha iyi anlayabilmekteyiz. Ayrıca LDV tekniği, pervane dizaynını geliştirmek üzere gemi izindeki hız alanını ölçmeye olanak vermektedir.

Sevk deneylerinde, ölçümler çekme hızı ve itme, tork, devir gibi pervane özelliklerini içerir. Pervane açık su testleri pervane dizaynına yardımcı olmak üzere belirli katsayıları elde etmek amacıyla yapılır. Gemi güç tahmini yapılırken açık su pervane testi tek başına yeterli değildir. Model pervane, genellikle gerçek pervaneye en yakın değerlere sahip olarak seçilir. Sevk deneyleri, geminin sevk parametreleri olan iz katsayısını, itme azalma katsayısını ve bağıl dönme verimlerinin saptanması için yapılır. Böylece geminin istenen dizayn hızındaki gerekli ana makine gücü, direnç sonuçları ve sevk parametreleri de kullanılarak hesaplanabilir. Ayrıca pervane düzlemindeki iz dağılımının ölçülmesi de ize uygun pervane dizaynı için veri teşkil eder. Pervane dizaynı için de gerekli olan iz dağılımı gemi modelinin arkasında pitot tüpleri ya da LDV tekniği kullanılarak ölçülür.

Yarı ampirik metodlar birçok gemi formu için iyi sonuç veriyor gibi görünse de, kıçta önemli ölçüde akım ayrılmasının görüldüğü durumlarda model ile tam ölçekli gemi arasında ölçek etkisi görülmektedir. Bir dereceye kadar HAD ölçek etkisini tahmin etmekte yardımcı olabilmektedir.

Modelden tam ölçekli geminin direncini tahmin etmede kullanılan prosedürlerin kabul görmüş olmasına rağmen doğrulama için tam ölçekteki veriler oldukça sınırlı ve elde edilmesi zordur. Bir geminin güç performansı genellikle sakin havalarda yapılan seyir tecrübeleriyle doğrulanır. Ölçülen parametreler genellikle tork, devir ve hızdır. İtme ise ölçümünün zor olmasından ve kesin değerler elde edilmesi için ilave masraf gerektirmesinden dolayı sadece gerekli durumlarda ölçülür. Düzeltmenin uygun ve mümkün olduğu durumlarda dalga, akıntı, rüzgar ve sığ su etkileri üzerinde düzeltmeler yapılabilmektedir.

1.2.2 Hesaplamalı akışkanlar dinamiği metodlarının tarihsel gelişimi

Akışkanlar dinamiğinin tarihi antik çağlara kadar uzanır. Akışkanlar dinamiği antik çağlarda su kemeri, su kanalları, limanlar, hamamlar gibi su ile ya da suyun taşınması ile ilgili yapılarda karşımıza çıkmaktadır. Tarihsel sürece baktığımızda suyun kaldırma kuvvetini keşfeden Archimedes (M.Ö 287-212), statik, hidrostatik, piknometri (cisimlerin yoğunluk ve hacim ölçümleriyle ilgili bilim dalı) alanlarının kurucusu sayılmaktadır.

Leonardo Da Vinci (1452-1519), bütün fiziksel olayları gözlemlemiş ve resmetmiştir. Akışkanlar dinamiği alanında da birçok buluş ve icatı vardır.

Isaac Newton (1643-1727), bugün de kullandığımız hareket ve korunum yasalarını bulmuştur.

18. ve 19. yüzyıla baktığımızda akışkan hareketlerini matematiksel olarak tanımlamak için çok sayıda çalışma yapıldığını görmekteyiz.

Daniel Bernoulli (1700-1782), Bernoulli denklemini bulmuştur.

Leonhard Euler (1707-1783), viskoz olmayan akışkanlar için momentumun ve kütleinin korunumunu içeren Euler denklemini bulmuştur. Hız potansiyeli teorisini öne sürmüştür.

Claude Navier (1785-1836) ve George Stokes (1819-1903), Euler denklemine viskoziteyi de ekleyerek, Navier – Stokes denklemini bulmuşlardır. Navier – Stokes denklemi bugünkü HAD’ın temelini oluşturmaktadır.

Ayrıca d’Alembert, Poisson, Lagrange, Poiseuille, Rayleigh, Couette, Laplace gibi bilim adamlarının da katkılarını unutmamak gerekir.

Reynolds (1842-1912), Reynolds sayısını bulmuştur. Bilindiği gibi Reynolds sayısı atalet kuvvetlerin viskoz kuvvetlere olan oranıdır. Akışın türbülanslı ya da laminar olduğuna Reynolds sayısı değerine bakılarak karar verilir.

20. yüzyılda sınır tabaka teorileri üzerinde çalışılmıştır.

Prandtl (1875-1953), sınır tabaka ve sıkıştırılabilir akışlarla ilgili çalışmıştır. Prandtl sayısını bulmuştur.

von Karman (1881-1963), von Karman girdaplılığını analiz etmiştir.

Geoffrey Ingram Taylor (1886-1975), türbülans ve Taylor mikro ölçeği üzerinde çalışmıştır.

Batchelor (1920-2000), homojen türbülans teorisine katkıları vardır.

HAD’ın asıl başlangıcını ya da HAD için elzem metodların gelişim göstermeye başladığı tarihi tam olarak kestirmek biraz zordur. 1910’da Richardson’un Laplace denklemini ve biharmonik denklemi nümerik olarak çözmeye yarayan iteratif yöntemi HAD için önemli adımlardan biridir. Richardson, taş bir barajdaki gerilme dağılımını hesaplamıştır. Ayrıca Laplace denklemini çözmek için rahatlatma (relaxation) metodunu geliştirmiştir.

HAD konusundaki önemli adımlardan biri 1928'de yaptıkları çalışmayla Courant, Friedrichs ve Lewy isimlerinin başharflerinden oluşan CFL numarasının bulunmasıdır. Bu çalışmada kısmi diferansiyel denklemlerin nümerik çözümlerinin varlığı ve tekliği sorgulanmıştır (Anderson, Tannehill, Pletcher, 1984).

1930-1950 yılları arasında silindir etrafındaki akışın nümerik çözümleri üzerinde çalışılmıştır.

A. Thom, 1933 yılında “Düşük Hızlarda Silindir Etrafındaki Akış” makalesini yayımlamıştır.

M. Kawaguti, 1953'te haftada 20 saat ve 18 ay süreyle çalışan mekanik masaüstü hesap makinesiyle silindir etrafındaki, $Re = 40$ olan akışın nümerik sonuçlarını elde etmiştir.

1954'te Lax, akışta süreksizlik meydana getiren şok dalgasını içeren akışları hesaplayabilmek için bir teknik geliştirmiştir.

1960larda, günümüzde de hala kullanılmakta olan nümerik yöntemler bulunmuştur. Bunlara örnek olarak; particle in cell (hücre içinde parçacık metodu), marker and cell (işaretleyici ve hücre metodu), girdap- akım hatları fonksiyonu metodu, keyfi Lagrange- Euler metodu ve $k-\epsilon$ türbülans modeli verilebilir.

1970lerde, parabolik akış kodları (GENMIX), girdap- akım hatları fonksiyonları temelli kodlar, SIMPLE algoritması ve TEACH kodu, $k-\epsilon$ denklemlerinin günümüzde kullanıldığı şekli ve upwind şeması metod ve kodları üzerinde çalışmalar yapılmıştır.

1980li yıllarla birlikte 2-boyutlu, daha sonra da 3-boyutlu Euler denklemi uygulanabilir hale gelmiştir. Süper bilgisayarların sürekli artan hızları sayesinde çeşitli nümerik yöntemlerle bir hava taşıtı etrafındaki ya da bir turbomakinanın içindeki viskoz akışı çözebilmek mümkün olmuştur. 1980'lerin ortalarında viskoz akışların Navier-Stokes denklemleriyle çözüldüğü akış simülasyonlarına olan ilgi artmıştır. Bununla beraber, farklı sayısal karmaşıklık ve doğruluk derecesine sahip çeşitli türbülans modelleri zaman içinde gelişmiştir. Bu modellerin öncüleri Direct Numerical Simulation (DNS) ve Large Eddy Simulation (LES) modelleridir (Blazek, 2001).

1980-1990 yılları arasında, HAD, akademik alanda ve ticari olmayacak şekillerde kullanılmaya başlandı. Ancak HAD kullanmak isteyenler kod yazmak zorundaydı. Bu

dönemde günümüzde de kullanılan ticari kodların temelleri atılmıştır. Bu kodlar; Fluent (İngiltere, Amerika), CFX (İngiltere, Kanada), Polyflow (Belçika), Phoenix (İngiltere), Star CD (İngiltere), Flow 3D (Amerika), ESI/CFDRC (Amerika) ve SCRYU (Japonya) kodlarıdır (Bakker, 2002).

HAD günümüze kadar en çok talep gören hesaplamalı alanlardan biri olmuştur. Daha güçlü bilgisayara olan gereksinimi sürekli artırmıştır. Tek işlemcili bilgisayarlarla başlayan süreç, 80'lerde vektör bilgisayarları ile, 90'lardan itibaren ise paylaşımlı bilgisayarların kullanılması ile devam etmiş, günümüzde ise performansı yetişilemeyecek hızda gün geçtikçe artan süper bilgisayarlar kullanılmaktadır.

HAD kod paketlerinin günümüzdeki versiyonları, basit akışlar için kesin çözüm vermektedir. Bunun yanında çok kompleks geometriler ve endüstriyel problemlerin çözebilmek için tasarlanmışlardır. Bilinçli kullanıcılar tarafından kullanıldığı zaman, HAD kodları çok kıymetli dizayn araçlarıdır.

2. İZ VE İZ DAĞILIMI

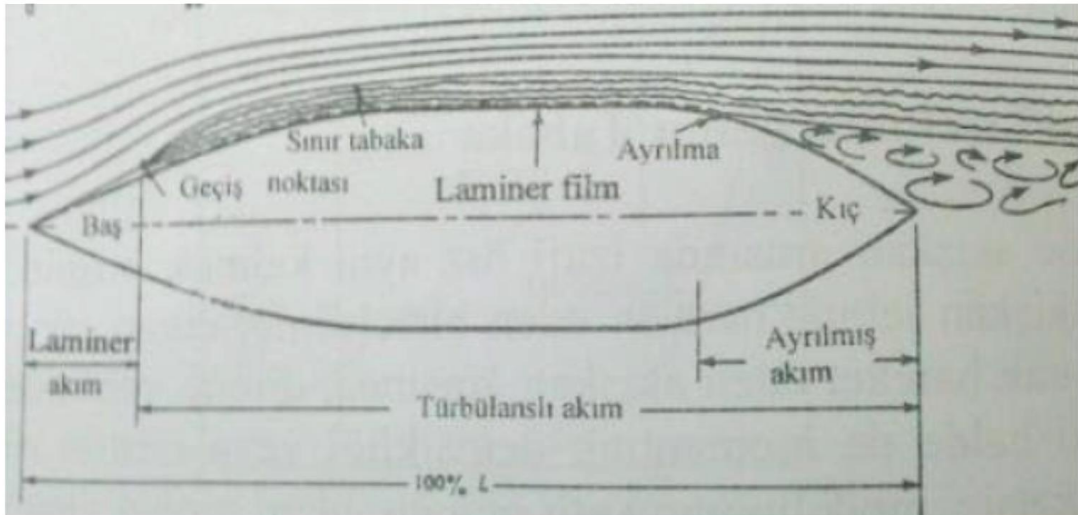
2.1 İz Tanımı

İz, gemi hızı ile pervaneye gelen akım hızının arasındaki fark olarak tanımlanır. Bu farkın oluşum sebebi geminin formu ve pervane ile arasındaki etkileşimdir.

Gemilerin genel sevk özellikleri incelenirken olayın basitleştirilmesi açısından tekne ve pervane bağımsız olarak ele alınır. Daha sonra bu iki sistemin birlikte çalışma durumunda yaratacakları karşılıklı etkiler değerlendirilir. Teknenin pervanesiz olarak su içindeki hareketlerine ait tüm özelliklerine direnç karakteristikleri denir. Pervanenin de tekne arkasında olmaksızın düzgün akımda test edildiğinde elde edilen değerler pervane açık su karakteristikleri olarak tanımlanır. Bunlar devir sayısı, itme, moment ve verim değerleridir. Gemi ile pervanenin etkileşimi sonucu ise iz, itme azalması ve bağıl dönme verimi kavramları ortaya çıkar. Bunların yanı sıra iz ve iz bölgesi tanımlamaları yapılırken sınır tabaka kavramı da bahsedilmesi gereken oluşumlardan biridir.

Gerçek akışkanda, cisim yüzeyi ile akışkan arasında kayma olmaz. Akışkanın viskozitesi ne kadar düşük olursa olsun, akışkan partikülleri yüzeye yapışırlar ve hareket etmezler. Yüzeyde akışkan hızı sıfırdır. Yüzeyden uzaklaştıkça akışkan moleküllerinin birbirini çekme etkisi azalır. Akışkan hızı artar ve belli bir mesafede üniform akım hızına eşit olur. Yüzeyden başlayıp, akışkan hızının üniform akım hızına eşit olduğu bölgeye sınır tabaka denir.

Viskoz etkiler nedeniyle gemi yüzeyinde oluşan sınır tabaka, pervaneye gelen akımın özelliklerini de etkiler. Akım hatlarında meydana gelen ayrışmalar ve oluşan girdaplar gemi arkasında oldukça değişik karakterli bir hız alanı oluşturur.



Şekil 2.1 : Sınır tabaka ve akım ayrışması (Baykal, Dikili,2002).

Uluslararası Çekme Tankı Konferansı (ITTC) ‘na göre iz, bir gövde formu ile bu gövdenin boyuna merkezi hattına paralel gelen üniform akım arasındaki bağıl hareket sebebiyle akım alanındaki bozulma olarak tanımlanmıştır.

Pervane düzlemine gelen akım hızı ile gemi hızı arasındaki farkı gemi hızına ya da pervaneye gelen akımın hızına bölerek iki katsayı elde edilmektedir. Birinci katsayı;

$$w = (V - V_A) / V \quad 2.1$$

Taylor iz katsayısı olarak tanımlanır. Diğer katsayı ise Froude katsayısı olarak bilinir. Aşağıdaki şekilde tanımlanır.

$$w_F = (V - V_A) / V_A \quad 2.2$$

Froude ve Taylor katsayıları (yöntemleri) haricinde iz alanı verilerini tanımlayabileceğimiz metodlar da mevcuttur. Bunlar hız alanı metodu ve ortalama hız/iz oranı metodudur.

Hız alanı metodunda eş hız konturları gemi hızının (V_s) akım hızına oranı şeklinde ifade edilir. Pervane düzlemindeki suyun hızı eksenel, teğetsel ve radyal bileşenlerle tanımlanır.

Ortalama hız/iz oranı metodunda pervane düzlemine gelen ortalama eksenel hız aşağıdaki denklemde ifade edildiği şekilde integre edilerek hesaplanır.

$$\overline{w_T} = \frac{\int_{r_h}^R r \cdot \int_0^{2\pi} w_T d\phi dr}{\pi(R^2 - r_h^2)} \quad 2.3$$

$$\left(\frac{\overline{v_a}}{\overline{v_s}}\right) = \frac{\int_{r_h}^R r \cdot \int_0^{2\pi} \left(\frac{\overline{v_a}}{\overline{v_s}}\right) d\phi dr}{\pi(R^2 - r_h^2)} \quad 2.4$$

2.1.1 İz bileşenleri

İz; 3 ana elemandan oluşmaktadır.

1. Akım, gemi etrafından geçerken değişim gösterir, gemi arkasında genelde ortalama hızdan daha düşük bir hıza sahiptir.
2. Viskoz etkiler sebebiyle, gövde bir miktar suyu kendisiyle birlikte sürükler, sınır tabaka oluşur.
3. Gemi dalga oluşturur ve dalga içerisindeki su partikülleri dairesel orbital hareketlere sahiptir.

İlk iki maddede bahsedilen olaylar sebebiyle pervaneye gelen akım hızını düşürür, son madde ise dalga tepesi ya da çukuru olmasına bağlı olarak hızı artırıcı ya da azaltıcı yönde etki yapabilir.

İz bileşenlerini potansiyel iz bileşeni, sürtünme iz bileşeni ve dalga iz bileşeni olarak adlandırabiliriz.

$$w = w_P + w_F + w_W \quad 2.5$$

w_P : Potansiyel iz katsayısı

w_F : sürtünme iz katsayısı

w_W : dalga iz katsayısı

Potansiyel iz: Geminin ideal bir akışkan içerisinde sürtünme ve dalga yapma iz bileşenleri olmadan elde edilen izdir. Başka bir şekilde ifade edilecek olunursa,

potansiyel iz matematiksel olarak hesaplanabilen iz bileşenidir. Potansiyel iz gemi hızından ve sevk yönünden bağımsızdır.

Dalga İzi: Su parçacıklarının dalga içindeki hareketinden kaynaklanan iz bileşenidir. Gemi, suda ilerlerken bir dalga sistemi oluşturur. Dalga tepesindeki su partikülleri orbital hareketleri dolayısıyla ileri bir hıza sahipken, dalga çukurundaki partiküller geri yönde bir hıza sahiptir. Bu orbital hareketi pervane yakınında dalga sisteminin pozisyonuna göre akımda yerel değişikliklere sebep olur. Pervane üzerine gelen dalga tepesi dalga izini arttırır, dalga çukuru ise azaltıcı yönde etkilemektedir.

Sürtünme izi: Viskozite sebebiyle akım hızının sınır tabakada yavaşlaması ve özellikle gemi kıçına doğru akım ayrışmaları görülmesi sebebiyle oluşan iz bileşenidir.

Tek pervaneli gemilerde sürtünme izi baskın olmaktadır. Sadece Froude sayısının 0.3 değerinden büyük olduğu durumlarda dalga izi önem kazanmaktadır. Model deneyleri sadece Froude sayısı benzerliğine göre yapılıp Reynolds benzerliği sağlanamadığından modelde rölatif olarak daha kalın bir sınır tabaka elde edilmektedir. Bu sebeple model deneylerinde ölçülen sürtünme izi tam ölçekli durumdan daha büyük çıkmaktadır.

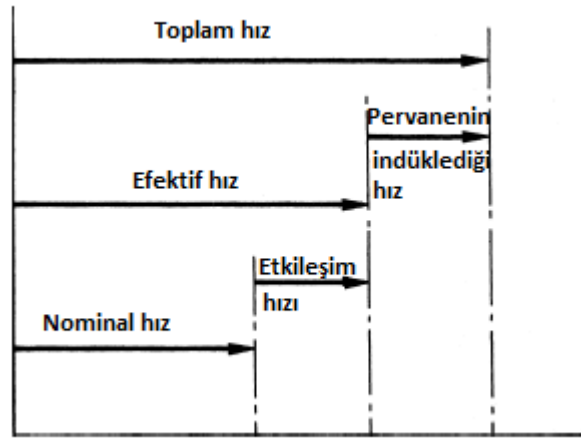
2.1.2 İz alanı tanımlamaları

İz alanı ölçümler sırasında gemi arkasında pervane bulunup bulunmamasına göre farklı şekillerde tanımlanır. Pervane düzleminde pervane yokken ya da pervanenin etkisi yokken ölçülen iz alanı nominal iz alanı olarak adlandırılmaktadır. Arkasında çalışan bir pervanenin varlığıyla birlikte oluşan iz alanı toplam iz ya da efektif iz alanı olarak tanımlanmaktadır.

Klasik pervane teorileri akımı irrotasyonel ve sınırsız kabul ederler ancak gerçekte gemi arkasında pervane çalıştığından akımın irrotasyonel ve sınırsız olduğu kabulü çoğu zaman geçerli olmamaktadır. Nominal durumdaki ize pervanenin indüklediği hız eklenerek efektif iz elde edilememektedir. Uygulamada, çok değişik bir etkileşim söz konusudur. Aşağıdaki şekilde toplam iz alanını oluşturan hız bileşenleri gösterilmiştir. Pervane dizaynı açısından önemli olan efektif hız alanıdır. Efektif hız aşağıdaki gibi iki şekilde tanımlanabilir:

Efektif hız= nominal hız + etkileşim hızı ya da,

Efektif hız= toplam hız – pervanenin indüklediği hız



Şekil 2.2 : İz alanı oluşumu (Carlton,2006).

İkinci bağıntı kullanılırken, eğer toplam hız alanı biliniyorsa efektif izi belirlemek için iteratif bir prosedür kullanılabilir.

2.2 İz Alanı Parametrelerinin Belirlenmesi

Pervane dizaynı açısından, pervanenin nasıl bir iz alanında çalışacağını bilmek oldukça önemlidir. Ortalama iz alanı ve bununla birlikte güç, devir sayısı, gemi hızı, pervane dizayn boyutları ve iz alanındaki değişimler, pervane kanat kesiti dizaynı ve yerel hatveyi belirler.

Pervane tasarımcısında model ve iz deneyi verileri yoksa, başka tahmin metodları kullanılmalıdır. Bunlar regresyon denklemleri, model ya da tam ölçekli deneylerden elde edilen tarihsel veriler ya da tasarımcının kendi sezgi ve tecrübesidir. Tecrübeyi kesinlikle azımsamamak gerekir.

2.3 Gemi İzinin Bağlı Olduğu Faktörler

2.3.1 Blok katsayısı

İz katsayısını en çok etkileyen faktörlerin başında geminin dolgunluğu gelir. İki ve üç boyutlu akımlarla yapılan çalışmalarla belirlenen potansiyel iz katsayıları, geminin dolgunluğunun arttıkça iz katsayısının arttığını göstermiştir. Ancak dolgunluk ve iz katsayısı arasında belli bir orantı yoktur. Asıl soru, hangi dolgunluk katsayısının izi belirlemek için kullanılacağıdır. Akla ilk gelen seçenekler blok katsayısı, yatay

prizmatik katsayı ve düşey prizmatik katsayıdır. Ancak çeşitli deneme ve hesaplamalardan sonra blok katsayısının kullanılması uygun görülmüştür.

Nordström (1949) ve Schaffran (1919) yaptıkları birçok model deneyinde ana boyutları, katsayıları ve kesit şekilleri aynı fakat deplasman dağılımları farklı modellerle çalışmışlardır. Sephiye merkezinin her % 1 oranında kıça doğru kaydırılması sonucu iz katsayısının 0.01 artış göstermiş olduğu sonucuna ulaşmışlardır (Harvald,1991).

2.3.2 Draft

Harvald'ın elipsoidler üzerindeki çalışmasında görüldüğü üzere genişlik/ draft oranındaki değişiklikler iz katsayısını çok fazla etkilememektedir. B/T oranındaki bir miktar azalma iz katsayısında artışa sebep olmaktadır. Bu artış pervane boyutuyla da alakalıdır.

2.3.3 Gemi formu

Gemi formu, özellikle de gemi kıç formu iz dağılımı üzerinde büyük etkilere sahiptir. Uniform olmayan bir akış sevk verimini düşürür. Pervane verimini azaltmanın yanısıra, düzensiz bir iz titreşime de sebep olmaktadır. Pervane kanadının sabit bir yarıçaptaki çeşitli dönme açılarına gelen akımın uniformluğuna özel olarak dikkat etmek gerekir. Pervane düzlemine gelen akımdaki radyal değişimler pervane hatvesinin ayarlanmasıyla düzeltilebilir.

Pervanenin hemen önündeki gemi formu iz dağılımını büyük ölçüde etkilemektedir. Burada önemli olan gemi kıç kesitleri ve pervane önder kanat ucu ile pervane-gemi arasındaki yatay açıklıktır. Çift pervaneli gemilerde kıç formunun yanısıra izi etkileyen başka faktörler de bulunmaktadır. Bunlar şaft pozisyonu (yatay ya da eğimli olması), şaft montajı (braketler, bosa, grim tip şaftlar), pervanenin merkez hattına olan mesafesi ve açıklık boyutlarıdır.

Gemilerin kıç formları U formda, V formda ya da U formuyla entegre yumrubaş formda olabilir. Direnç yönünden bir kıyaslama yapılmak istenirse, tek pervaneli gemilerde, V kesitli gemiler en düşük direnç gösterirken, U form daha yüksek dirence sebep olmaktadır. En yüksek direnç değeri ise yumrubaş kıç formunda görülmektedir. Ancak kıç formu V kesitli gemilerde en uniform olmayan akış görülürken, yumrubaş kıç formunda en uniform iz dağılımı görülür(Schneekluth, Bertram, 1998). Tek

pervaneli gemilerde V form yerine U ya da yumrubaş kış formu tercih edilir. Ancak yumrubaş formun ilk maliyeti yüksektir.

Çift pervaneli gemilerde kış formunun sevk verimi ve vibrasyon üzerinde küçük etkileri vardır. V form daha iyi direnç özelliklerine sahip olduğu için çift pervaneli gemilerde daha çok tercih edilmektedir (Schneekluth, Bertram, 1998). Ancak son yıllarda çok dolgun yük gemilerinde pervaneye gelen akımı daha düzgün ve hızlı hale getirmek için U forma entegre yumrubaş formlar kullanılmaktadır.

2.3.4 Pervane çapı

Pervane çapının ya da çapın gemi boyuna oranının iz üzerinde büyük etkisi vardır. Model deneylerinden de bilindiği üzere viskoz bölge kalınlığı model boyuyla orantılıdır. Pervane çapı/ gemi boyu oranı pervanenin ne ölçüde viskoz bölgede çalışacağını bir ölçüsüdür. Taylor (1930-1931), Kempf (1937-1938) ve Yamagata (1937-1938) tarafından yapılan çalışmalar çapın boya oranının arttıkça iz katsayısının azaldığını göstermiştir (Harvald.1991).

2.3.5 Pervane sayısı

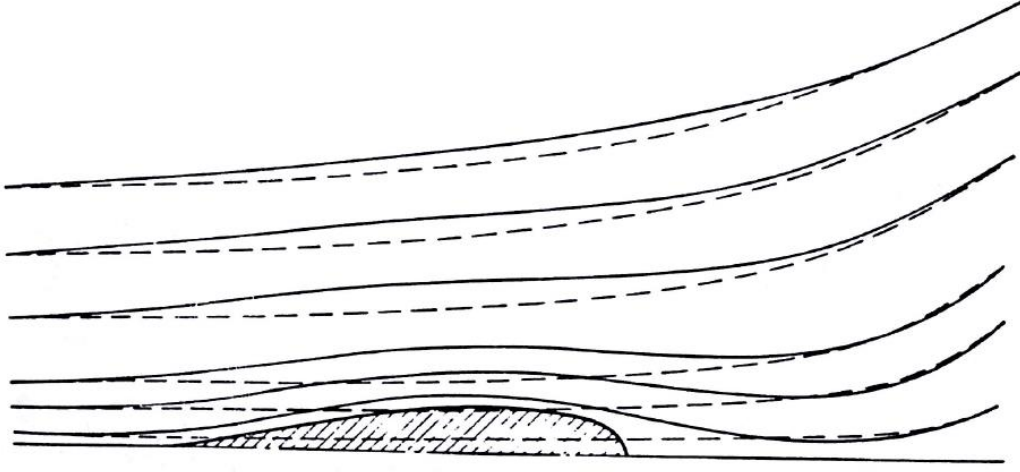
Gemiler çeşitli nedenlerden dolayı tek pervaneli ya da birden çok sayıda pervaneli olarak inşa edilebilirler. Pervanenin montajında braket, bosa, mil yatağı gibi elemanlar kullanılır. Bunlar da akışı değiştirici faktörlerdir. İzin, her durumda nasıl değiştiğini anlayabilmek için ayrı inceleme yapmak gerekmektedir.

2.3.6 Pervane yükü

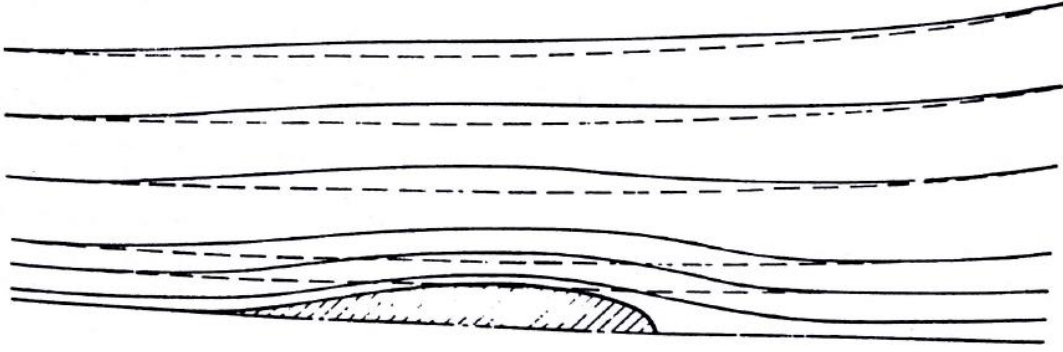
Genelde, pervane yükünün iz üzerindeki etkisi çok küçüktür. Ancak çok büyük yüklemelerde iz, yüke bağlı olarak değişim gösterebilir. Bu da izin, pervanenin değişen ilerleme katsayısına göre değiştiğinin göstergesidir.

2.3.7 Dümen

Dümenin, iz katsayısı üzerinde hatırı sayılır derecede etkisi vardır. Aşağıdaki şekilde pervanenin arkasındaki iki farklı forma sahip dümenlerin etrafındaki potansiyel akış gösterilmiştir. Kesikli çizgiler dümen kaldırıldığında akışı göstermektedir. İzdeki değişimi anlayabilmek için, akım hatlarındaki değişim gözlenebilir.



(a)



(b)

Şekil 2.3 : Dümen şeklinde iki silindir etrafındaki akış (Harvald,1991).

2.3.8 Nozullar, koruyucular ve tüneller

Bazı durumlarda pervanenin nozul, koruyucu ya da tünel gibi yapıların içinde olduğu görülür. Bunlar akımı hızlandırıcı ve daha homojen hale getirici yapılardır. Bu durumda iz alanına da etkileri vardır. Pervane bu yapılarla birlikte kullanılacaksa, açık su testlerinde bu yapılar da modellenip pervaneyle birlikte test edilmelidir.

2.3.9 Gemi hızı

Gemi hızı değiştikçe, gemi arkasında oluşan dalga, iz katsayısı ve sürtünme iz bileşeni değişir. Harvald (1950), çalışmasında deneylerin %65'inde hız arttıkça iz katsayısının azaldığını, %25'inde sabit kaldığını, %10'unda ise arttığını görmüştür. Farklar çok büyük olmamakla birlikte, her 0.1 m/s'lik hız artışına karşılık iz katsayısında 0.004 düşüş görülmüştür.

2.3.10 Geminin durumu

Tek pervaneli gemilerde gemi yenyken ve yüzeyi pürüzsüzken iz katsayısı en düşük çıkar. Ancak zamanla yüzeyin kirlenmesi, boyanın eskimesi, erozyon ve korozyon oluşumu ve yüzeye yapışan canlılar sebebiyle iz katsayısı artar. Bu sebepler izde 0.05 kadar bir artışa sebep olabilmektedir.

Çift pervaneli gemilerde böyle bir problem görülmemektedir. Çünkü çift pervaneli gemilerde pervanenin büyük bir bölümü viskoz bölgesinin dışında çalışır.

2.4 İz İyileştirilmesi İçin Yapılan Çalışmalar - İz Düzenleyici Nozul

Bir önceki bölümde anlatıldığı gibi gemi izi birçok faktöre bağlıdır ve herbirinin aynı anda iyileştirilmesi düşünülemez. En ideal durum çeşitli optimizasyonlar sonucunda ortaya çıkmaktadır. İstenilen, gemi inşa edilmeden deneyler ve sayısal hesaplamalar doğrultusunda pervane düzlemine gelen akımın en ideal formda olmasının sağlanmasıdır. Ancak bazı durumlarda iz iyileştirmesi amacıyla daha farklı bir form geliştirilmesi mümkün olmayabilir. İnşa edilmiş bir gemide de pervane düzlemine gelen akımın iyileştirilmesine gerek duyulabilir. Bu durumda en yaygın olarak kullanılan sistem Prof. Schneekluth 'un iz düzenleyici nozuludur.

İz düzenleyici nozul, Çelik'in makalesinde (2007) şu şekilde tanımlanmıştır. "İz düzenleyici nozul yarım halka şeklinde iki aerofilden oluşmaktadır. Pervanenin üst bölgesinin ön tarafına yerleştirilmektedir. İz düzenleyici nozulun verimliliğini etkileyen önemli parametreler ise nozul ekseninin geminin simetri düzlemiyle yaptığı açı, boyuna konumu, iç çapları, profil kesit şekilleri, nozul eksenine olan kesit açıları ve yarım halka nozulların uzunluğudur."



Şekil 2.4 : İz düzenleyici nozul (Url-2).

3. DENEYSEL AKIŞKANLAR DİNAMİĞİ METODLARI

Günlük hayatta gözlemlediğimiz ya da vücudumuz içerisinde gerçekleşen çoğu olay akışkanlar mekaniğinin konusudur. Akışkan hareket halinde olduğunda akışkanlar dinamiği söz konusu olmaktadır. Akışkanlar dinamiği, hareket halinde olan akışkanların, katı yüzeylere ya da diğer akışkanlarla ara yüzey şeklinde olan sınırlara etkilerini inceler. Solunum, kan akışı, yüzme, pompalar, vantilatörler, uçaklar, gemiler, nehirler, rüzgar türbinleri, borular, füzeler, buzdağları, motorlar, filtreler, jetler gibi gazlar ve sıvılarla ilgili mühendislik uygulamaları akışkanlar dinamiğinin uğraşı alanına girer.

Fiziğin temel kanunlarının geçerli olduğu akışkanlar dinamiği konusunda da teorik yaklaşımlar yeterli olmayabilir ve deneye ihtiyaç duyulabilir. Bu nedenle dinamik problemleri teorinin yanında deneyle de desteklenmelidir.

Konumuz olan gemiler de akışkan içerisinde hareket ettiğinden dolayı akışkanlar dinamiği uğraşı alanına girer. Bu sebeple çeşitli ölçeklerdeki gemi modelleri deney havuzlarında test edilerek dizayn için gereken veriler elde edilmeye çalışılmaktadır. Model deney havuzunda ve sirkülasyon kanalında ve kavitasyon tüneline yapılan deneyler sonucunda modelin direnç, sevk, kavitasyon ve pervane izi özellikleri ile ilgili veriler elde edilir.

Model deneyleri, gerçekleştirilmesi pek de kolay olmayan, geçerli sonuçların elde edilmesi için dikkatli planlama ve düzenleme gerektiren çalışmalardır. Modellerin dikkatli ve doğru olarak imal edilmesi, ölçülecek olan olayın kritik bölgelerine dair yeterli bilgiye sahip olunması gerekir. Deneyde kullanılacak olan sistem ve cihazların düzgünce hizalanmış ve kalibre edilmiş olması gerekmektedir. Modelin deneye olanak verecek şekilde yeterli sağlamlığa ve rijitliğe sahip olacak derecede imal edilmiş olması ve ölçülecek fiziksel olaya engel olmayacak şekilde olması gerekmektedir.

Deney laboratuvarları iyi bir şekilde tasarlanmış ve inşa edilmiş olmalıdır. Akışın kalitesi kayıt altına alınarak belgelenmiş olmalıdır.

Model deneylerinde model ile ilgili olarak da, modelin yapım aşamasından itibaren dikkat edilmesi gereken pek çok nokta bulunmaktadır. Model deneylerinde sağlanması gereken en önemli benzerlik geometrik benzerliktir. Deney havuzlarının boyutlarından ve arabanın ulaşabileceği en yüksek hız değerinin kısıtlı olmasından dolayı dinamik benzerlik genellikle sağlanmaz ancak geometrik ve kinematik benzerliğin sağlanması beklenir.

Başlangıçta geometrik benzer model imal etmek zor görünmese de birçok zorlukla karşılaşmaktadır. Özellikle gemi yüzeyindeki pürüzlülükleri model yüzeyinde modellemek oldukça zordur. Bu sebeple model yüzeyi pürüzsüz olarak imal edilir ve daha sonra çeşitli düzenlemeler yapılarak akışın istenilen yerde türbülanslı olması sağlanır.

ITTC'nin gemi modeli imalatı için hazırladığı kılavuz ve prosedürde model imalatında dikkat edilmesi gereken noktalar anlatılmaktadır. Model boyutlarında genişlik ve draftta $\pm 1.0\text{mm}$, boyda $\pm 0.05\%$ ya da $\pm 1\text{mm}$ (hangisi büyükse) tolerans verilmiştir. Pervane modelinde ise çap ve kalınlık toleransı $\pm 0.1\text{mm}$ iken, kanat genişliğinde tolerans $\pm 0.2\text{ mm}$ dir. Her yarıçaptaki ortalama hatve değeri (P/D) de dizayn değerinin $\pm 0.5\%$ 'i kadar toleransta imal edilmelidir. Önder ve takip kenar kanat kesitlerinde ayrıca titizlik gösterilmelidir.

3.1 Model ve Benzerlik Teorisi

3.1.1 Geometrik benzerlik

Geometrik benzerlik, geminin fiziksel boyutlarının belli bir ölçek oranında küçültülerek fiziksel benzer bir model oluşturulmasıyla sağlanmış olur. Burada uzunluklar arasındaki oran ölçek (λ) oranıdır. Alanlar arasında λ^2 , hacimler arasında ise λ^3 oranında eşitlik vardır.

$$\lambda = \frac{L_s}{L_m} \quad 3.1$$

$$\lambda^2 = \frac{A_s}{A_m} \quad 3.2$$

$$\lambda^3 = \frac{\nabla_s}{\nabla_m} \quad 3.3$$

3.1.2 Dinamik benzerlik

Dinamik benzerlik, kuvvetler arasında sabit bir oranın bulunmasıyla sağlanmış olur. Geometrik benzer iki sistemin karşıt noktalarındaki kuvvetler arasındaki oran sabitse, sistemler dinamik olarak benzerdir. Bunun için model ve geminin Reynolds sayılarının eşit olması gerekmektedir. Reynolds sayısı hıza, gemi ya da model boyuna ve akışkanın viskozitesine bağlı boyutsuz bir sayıdır.

$$Re = \frac{V.L}{\nu} \quad 3.4$$

Eşitliğin sağlanabilmesi için ya model boyunun büyük olması ya da deney hızının yüksek olması gerekir. Ancak deney havuzunun boyutları ve arabanın maksimum hızının kısıtlı olması bu şartların sağlanmasını zorlaştırır ve çoğu durumda bu sağlanamaz.

Modelin ve geminin Renolds sayılarını oranlayarak aşağıdaki ifade elde edilir.

$$\frac{Re_s}{Re_m} = \frac{\nu_m}{\nu_s} \cdot \sqrt{\frac{L_s^3}{L_m^3}} = \frac{\nu_m}{\nu_s} \cdot \lambda^{1.5} = 1 \quad 3.5$$

Model ölçeğini ve hızını değiştiremediğimiz durumda tek seçenek akışkanın viskozitesini değiştirmektir. Ancak yukarıdaki bağıntıyı sağlayabilecek akışkanın mevcut olmaması ya da çok maliyetli olacağı yüksek bir ihtimaldir. Söding (1994), “sauna tank” önerisinde bulunmuştur. Burada amaçlanan suyu 90°C gibi yüksek bir sıcaklıkta sabit tutarak, daha küçük boyutlu bir model ile soğuk sudaki Reynolds sayısına ulaşabilmektir. Ancak suyu o kadar yüksek sıcaklığa getirebilmek ve o sıcaklıkta sabit tutabilmek, deney tanklarının boyutları düşünüldüğünde, pek mümkün gözükmemektedir. Bu sebeple bu fikir uygulamaya geçememiştir.

Ancak, modelin küçük bir Reynolds sayısına sahip olması nedeniyle akım tam ölçekli gemideki gibi türbülanslı olmadığından akışı daha doğru modellemek adına model üzerinde çeşitli düzenlemeler yapılmaktadır.

Gemi model deneylerinde, model baş bodoslaması boyunca veya 11 posta sisteminde 9_{1/2}. postaya tel, kum şeridi veya (pin)başı çivi yerleştirilerek model etrafındaki

düzgün akım hatlarının bozulup birbirine karışması sağlanır. Böylelikle modelin sınır tabakası içinde yapay olarak türbülanslı akım oluşur (Çelik,2007).

3.1.3 Kinematik benzerlik

Kinematik benzerlik hareketin benzerliğidir. Geometrik ve zaman benzerliği vardır. Başka bir deyişle, gemi ve modelde karşıt hızlar arasında sabit bir oran olmalıdır.

Eğer bir pervane modeli test ediliyorsa model pervane ile gerçek pervanenin ilerleme hızları ve herhangi bir pervane kanadındaki rotasyonel hızları arasında sabit bir oran olmalıdır.

3.2 Deneysel Akışkanlar Dinamiğinde Ölçüm Metodları

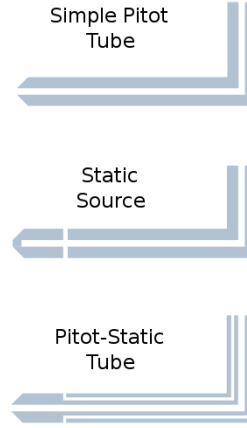
Akışkanlar mekaniğinin ana uygulama alanlarından biri de akışkanlarının debi ve hız değerlerinin belirlenmesidir. Akış ölçmek için yıllar boyunca çok sayıda teknik ve cihaz geliştirilmiştir. Akış ölçerler karmaşıklık, büyüklük, fiyat, çok yönlülük, kapasite, basınç düşüşü ve çalışma prensiplerine göre farklılık göstermektedirler. Debi ve hız ölçmede yaygın olarak kullanılan cihazlar şu şekilde sıralanabilir.

1. Pitot ve pitot statik tüpleri
2. Engelli akış ölçerler
3. Türbinli akış ölçerler
4. Çarklı akış ölçerler
5. Değişken alanlı akış ölçerler
6. Ultrasonik akış ölçerler
7. Elektromanyetik akış ölçerler
8. Çeviri oluşturan akış ölçerler
9. Termal anemometreler
10. Lazer-Doppler Hız Ölçümü (LDV)
11. Parçacık Görüntülü Akım Ölçümü (PIV)

Burada iz ölçüm deneyinde daha sıklıkla kullanılan pitot tüplerinden, PIV, LDV metodlarından ve termal anemometrelerden bahsedilecektir.

3.2.1 Pitot tüpleri

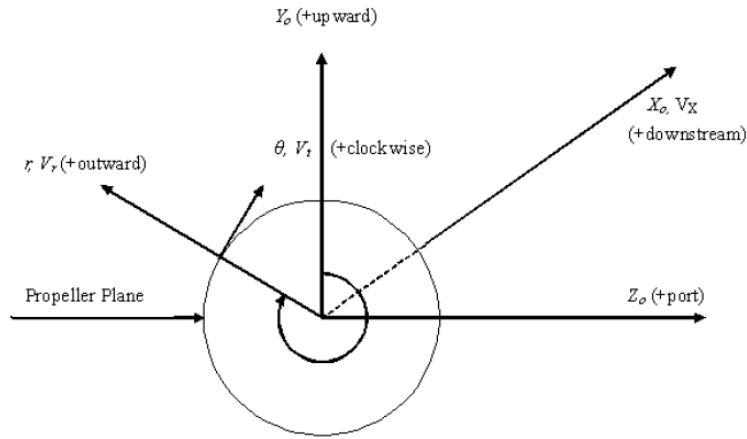
Adını Fransız mühendis Henri Pitot'dan alan pitot tüpü, akışkanın yarattığı basıncı, buna bağlı olarak da hızını ölçen cihazdır. Pitot – statik tüpü ise durma basıncı deliği ve çevresel statik basınç delikleri sayesinde durma basıncını ve statik basıncı ölçebilmektedir. Aşağıdaki şekilde şematik olarak pitot tüpü çeşitlerini görmekteyiz.



Şekil 3.1 : Pitot tüpü çeşitleri (Url-3).

Pitot tüpleri Bernoulli denklemini kullanarak istenilen noktalardaki basınç ve hız verilerine ulaşmamızda yarar sağlar.

İz ölçümünde en yaygın olarak 5-delikli pitot tüpü kullanılmaktadır. Sonuçların tutarlılığı ve doğru nominal iz alanı eldesi amacıyla ITTC, 7.5-0.2-0.3-02.4 nolu prosedürü önermiştir. Karışıklıkların önlenmesi ve standart bir dil oluşturulması amacıyla koordinat sistemi Şekil 3.2’de gösterildiği gibi tanımlanmıştır. x ekseninde pozitif yön pervane düzlemine gelen akımın yönü olarak alınmıştır. Eksenel hız V_x de bu yönde pozitif kabul edilmiştir. y ekseninde yukarı yön pozitif kabul edilirken, z ekseninde iskele yönü pozitif kabul edilmiştir. Teğetsel hız V_t , tanımlamasında pozitif dönüş yönü saat yönünde alınırken, hızın radyal bileşeni V_r , radyal doğrultuda dışarı doğru pozitif olarak tanımlanmıştır.



Şekil 3.2 : 5-Delikli pitot tüpü kullanımında koordinat sistemi (ITTC).

Çok delikli pitot tüplerinin çeşitleri mevcuttur ancak bunların içinde 5- delikli pitot tüpünün hızın 3 bileşenini ölçme kapasitesi vardır ve çekme tankı deneylerinde sıklıkla kullanılmaktadır. 5- delikli pitot tüpünün de çeşitleri bulunmaktadır. Küresel problu, Conrad tip, konik tip ve piramid tip, çeşitler arasında sayılabilir. Her çeşitin kendine göre avantajı ve dezavantajı vardır. Örneğin, 5- delikli pitot tüpünün küçük boyutlarda yapılması pek mümkün olmamaktadır.

3.2.2 Parçacık görüntülü akım ölçüm metodu (PIV)

Parçacık görüntülü akım ölçüm metodu, çok kısa zaman aralığında, akış düzlemindeki parçacıkların yer değiştirmesini fotoğrafik olarak belirlemek suretiyle, aynı düzlemdeki anlık hız dağılımını bulmak için kullanılan çift darbeli lazer tekniğidir.

PIV yöntemi 1980'lerin ortalarından bu yana kullanılmaktadır ve son yıllarda kare yakalayıcı ve yük etkileşimli cihaz gibi kamera teknolojilerindeki gelişmelerden sonra kullanımı ve kabiliyetleri artmıştır.

Hız ölçümleri için PIV yöntemi iki adımdan oluşur; görselleştirme ve görüntü işleme. İlk adım akışkan hareketini izlemesi için uygun parçacıklar ile akışa tohum ekmektir. Sonrasında darbe halinde bir adet lazer ışığı tabakası, istenen düzlemdeki akış alanının ince bir dilimini aydınlatır ve ışık tabakasına dik açılarda yerleştirilmiş dijital video veya fotoğrafik kamerada parçacıkların saçtığı ışık algılanarak bu düzlemdeki parçacıkların konumları belirlenir. Çok kısa bir zaman periyodundan sonra parçacıklar ikinci bir lazer ışığı tabakası ile tekrar aydınlatılır ve yeni konumları kaydedilir. Üst üste bindirilmiş bu iki kamera görüntüsündeki bilgiyi kullanarak bütün parçacıkların

yer değiştirmeleri bulunur. Daha sonra lazer ışığı perdesi düzlemdeki parçacıkların hızları hesaplanır. Düzlemdeki hızın iki bileşenin hesaplanması için parçacıkların hareket yönleri de iki konumdan belirlenir.(Çengel, Cimbala, 2008)

3.2.3 Laser-Doppler hız ölçümü

Lazerli hız ölçümü veya Lazer Doppler anemometresi olarak da bilinen Lazer Doppler hız ölçüm metodu, istenen noktada akışı bozmadan akış hızını ölçmek için kullanılan problara ve tellere ihtiyaç duymayan, harici bir optik yöntemdir. Küçük hacimlerde hızı hassas bir şekilde ölçebilir ve dolayısıyla türbülans da dahil akışın ayrıntıları hakkında inceleme yapmak için kullanılabilir ve akışa müdahale etmez.

3.2.4 Termal anemometreler

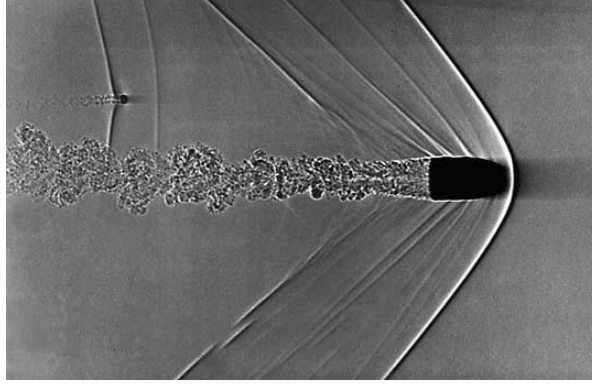
Termal anemometreler elektrikle ısıtılan sensörlere sahiptir ve akış hızını ölçmek için termal etkiyi kullanmaktadırlar. Termal anemometrelerin çok küçük sensörleri vardır ve akışa kayda değer bir rahatsızlık vermeksizin akışın herhangi bir noktasındaki anlık hızı ölçmek için kullanılabilir.

Termal anemometre, sensörü tel ise sıcak-tel anemometresi, ince metal film ise sıcak-film anemometresi olarak adlandırılır.

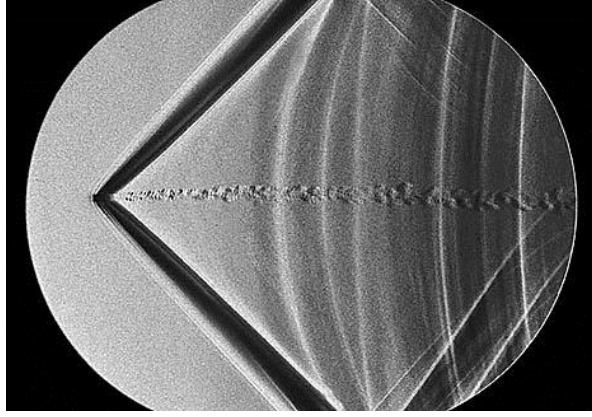
3.3 Deneysel Akışkanlar Dinamiğinde Akım Gözlemeleme Metodları

Akışkanlar dinaminde doğru sonuç elde etmekten sonra gelen en önemli konu akımı görselleştirmektir. Olayı anlamak, modeli ya da teoriyi doğrulamak, dizayn açısından daha kolay ölçüm yapabilmek ve deneyden elde edilecek sonuca dair ön bilgi edinebilmek ya da sonucu daha iyi yorumlayabilmek için akım görselleştirme metodlarına başvurulmaktadır. Gaz akışlarda duman, partikül ya da gölge grafiğı teknikleri ve Schlieren tekniğı kullanılırken, sıvı akışlarda boya, gölge grafiğı teknikleri ve Schlieren tekniğı, partiküller, kabarcıklar, florasan ve fosforesans kullanılmaktadır.

Gölge grafiğı ve Schlieren teknikleri, havanın, kırılma indisinin yoğunluk ile değiştiğı gerçeğine dayanır.

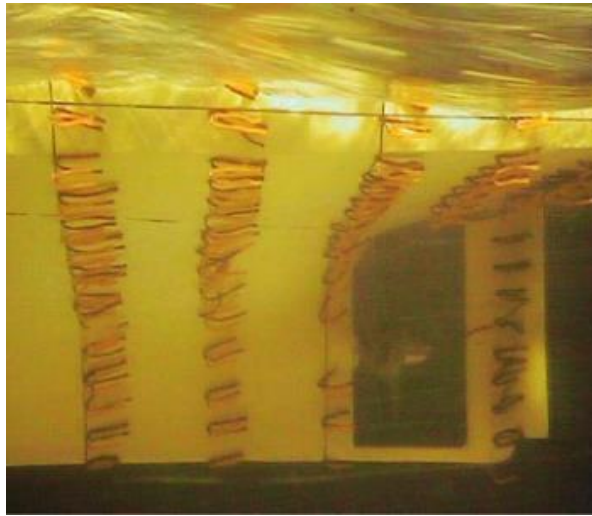


Şekil 3.3 : 1.5 Mach sayısında bir merminin gölge grafiği tekniği ile çekilmiş fotoğrafı (Url-4).



Şekil 3.4 : 1.5 Mach sayısında bir merminin Schlieren tekniği ile çekilmiş fotoğrafı (Url-4).

Gemi modeli deneylerinde ise daha çok akım hatlarının incelenmek istendiği yerlere boya sürerek ya da iplik konularak görselleştirme yapılmaktadır.



Şekil 3.5 : Akımı görselleştirmek amacıyla kullanılan iplikler (Şalcı, 2007).

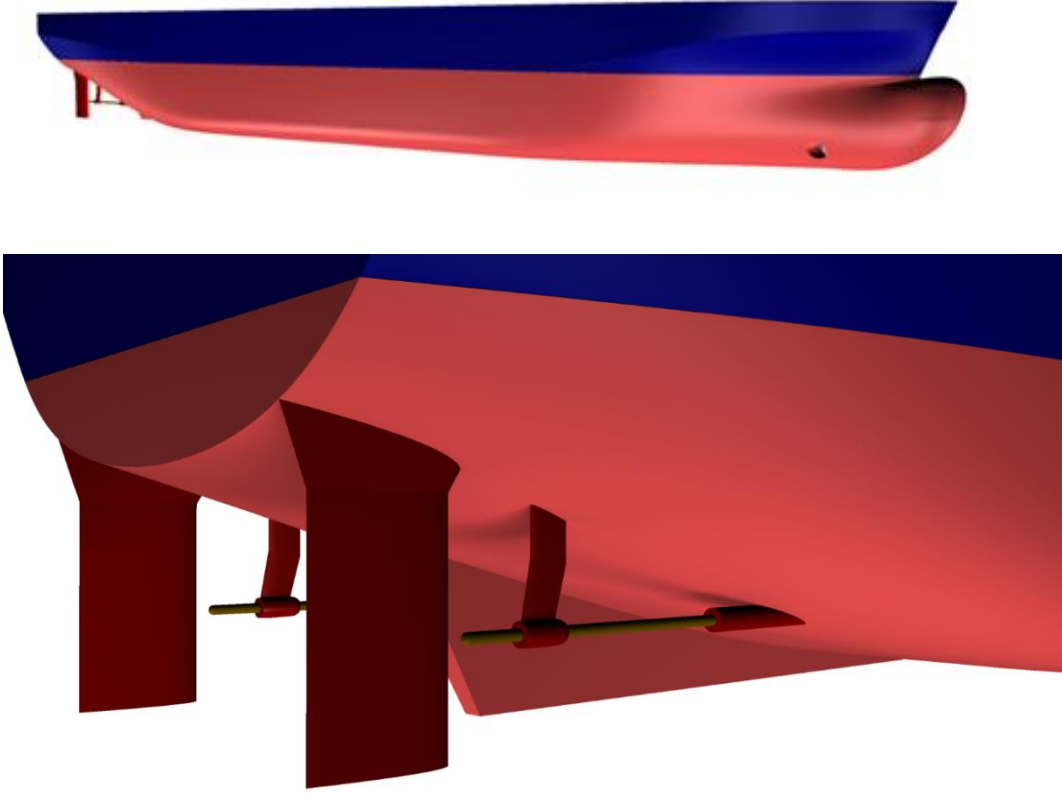
3.4 Model ve İz Ölçüm Deneyi

3.4.1 Modelin tanıtılması

Bu çalışmada çift pervaneli, kaimeler arası 58 metre uzunluğa sahip bir tankerin 1/15 ölçeğindeki ağaç modeli kullanılmıştır. Gemiye, tek ve çift pervaneli modellere ait genel bilgiler aşağıda tablo halinde verilmiştir.

Çizelge 3.1 : Gemi ve modellerin dizayn draftındaki genel özellikleri.

Test durumu	Dizayn	Gemi	Çift Pervaneli Model	Tek Pervaneli Model
Kaimeler arası boy	L_{BP} (m)	58.000	3.867	3.867
Su hatı boyu	L_{WL} (m)	59.300	3.953	3.953
Islak uzunluk	L_{WS} (m)	61.236	4.082	4.082
Genişlik	B (m)	12.00	0.8	0.8
Draft (mastori)	T (m)	4.300	0.287	0.287
Draft (AP)	T_A (m)	4.300	0.287	0.287
Draft (FP)	T_F (m)	4.300	0.287	0.287
Deplasman hacmi	∇ (m ³)	2397.11	0.71	0.712
Deplasman	Δ (ton)	2457.04	0.71	0.730
Islak alan	A_{WS} (m ²)	1051.17	4.672	4.826
Dümenlerin yüzey alanı	A_R (m ²)	22.00	0.098	0.098
Yumrubaş kesit alanı	A_B (m ²)	4.99	0.022	0.022
Yumrubaş orta kesit alanı	H_B (m)	2.55	0.17	0.17
Ayna kış alanı	A_T (m ²)	7.53	0.033	0.033
Ayna kış alan merkezi	H_T (m)	3.88	0.259	0.259
Blok katsayısı	C_B	0.801	0.801	0.807
Prizmatik katsayı	C_P	0.808	0.808	0.813
Ortakesit alan katsayısı	C_M	0.991	0.991	0.992
Su hattı alan katsayısı	C_{WP}	0.908	0.908	0.908
Sephiye merkezi boyuna yeri	LCB (m) (+ fwd)	-0.735	-0.049	-0.014
Yüzme merkezi boyuna yeri	LCF (m) (+ fwd)	-2.431	-0.162	-0.114
Seyir hızı	V_S	11.0 kn	1.46 m/s	1.46 m/s



Şekil 3.6 : Çift pervaneli modelin 3-boyutlu görüntüsü.

Model ve gemide geometrik benzerliğin sağlanmasının yanında Froude sayısı eşitliği sağlanmasıyla kinematik benzerlik sağlanmıştır.

3.4.2 Ata Nutku Gemi Model Deney Laboratuvarı

Deneyler, İTÜ Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri Fakültesi bünyesinde yer alan eski adıyla Gemi Enstitüsü, günümüzdeki adıyla Ata Nutku Gemi Model Deney Laboratuvarı'nda yapılmıştır.

Laboratuvarda büyük deney tankı, küçük deney tankı, sirkülasyon kanalı, kavitasyon tüneli, stabilite tankı ve atölyeler bulunmaktadır. Büyük deney tankı 160m x 6m x 4.5 m (LxBxD) boyutlarındadır (su yüksekliği 3.40 m)



Şekil 3.7 : Ata Nutku Gemi Model Laboratuvarı'ndan bir görünüm (Usta, 2012).

3.4.3 Deneyin yapılışı

Gemi arkasındaki pervane diskindeki akımın kalitesini tayin amacı ile iz tarağı yardımı ile iz ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Ölçümlerin yapıldığı pitot tüpleri hidrofoil bir profil ile şafta bağlanmaktadır. Şaftın model ucundaki kısmında bir açı ayar başlığı vardır. Bu başlık yardımıyla tarak değişik açılarda konumlarında sabitlenir.

Pitot tüplerinde oluşan basınçlar bir manometre dizisine elastik şeffaf hortumlarla bağlanmıştır. Bağlantı üzerinde yer alan elektromagnetik valfler bütün tüplerin aynı anda kumanda edilmesini sağlayarak önemli ölçüm avantajları sağlar.

İz deneyinde sistem iz tarağı, bağlantı hortumları elektromagnetik valfler ve manometre dizisinden oluşmaktadır.

İlk olarak iz tarağının şaftı modele yerleştirilir. Bu şaftın ucundaki açı ayar başlığı ile iz tarağı 360° döndürülebilir. Bu ayar başlığına bağlı şeffaf hortumlar ilk önce elektromagnetik valfe gelir buradan da model arabasının üzerindeki sekiz cam tüpten oluşan manometreye ulaşır.

Deneye başlamadan önce hortumların tüm bağlantı yerleri kontrol edilerek sistemin hava almaması sağlanır. Elektromagnetik valflerin hava kaçırp kaçırmadıkları kontrol edilir. Bir vakum pompası ile sistemdeki tüm hava çekilir, hortumlarda hava kabarcığı

kalmamasına dikkat edilir. Basınç değerlerinin daha rahat okunabilmesi için manometre dizisine renkli su alınır ve 8 ayrı cam tüpteki su seviyelerinin aynı hizaya gelmeleri sağlanır. Suyun farklı seviyelerde kalması pitot tüplerinde meydana gelen bir tıkanıklığın habercisi olabilir, bu sebeple dikkat edilmelidir.

İz tarağında çapları 3'er mm olan 4 statik ve 4 de dinamik basıncı ölçen toplam 8 adet pitot tüpü bulunmaktadır. Ölçüm tüplerinin uç kısımları delik olan 4 tanesi toplam basıncı, bunlara aşırıtmalı olarak yerleştirilmiş diğer 4 tanesi ise statik basıncı ölçmektedir. Tüplerin bağlandığı profilin maksimum kalınlığı 6,5mm'dir. İz tarağının r değerleri ise sırasıyla şu şekildedir. $r_1=24$ mm; $r_2= 32$ mm; $r_3= 40$ mm; $r_4= 48$ mm; $r_5= 56$ mm; $r_6=64$ mm; $r_7=72$ mm; $r_8= 80$ mm. İz tarağının şaftı 30mm'dir. Burada r_1, r_3, r_5 ve r_7 statik basıncı ölçerken r_2, r_4, r_6 ve r_8 toplam basınç değerlerini vermektedir.

Pervane diskindeki basınçlar 0 dereceden 350 dereceye kadar 10'ar derece aralıklarla ölçülmektedir. 0 derece konumu model arkasından başa doğru bakılırken üst tarafı, 180 derece konumu ise yine aynı konumdan bakılırken alt tarafı göstermektedir. 90 derece konumu ise model arkasından başa doğru bakılırken sancak tarafına yönelmiştir.

Basınç ölçümlerinden pervane diskinin herhangi bir noktasındaki eksenel yönde akım hızı V_x , Bernoulli Prensibi uyarınca hesaplanır.

$$V_x = \sqrt{2g(P_t - P_s)} \quad 3.6$$

Burada P_t and P_s toplam ve statik basınçları, g ise yerçekimi ivmesini göstermektedir. Nominal eksenel hız oranı ise aşağıdaki bağıntı yardımı ile bulunur.

$$\frac{V_x}{V_s} \quad 3.7$$

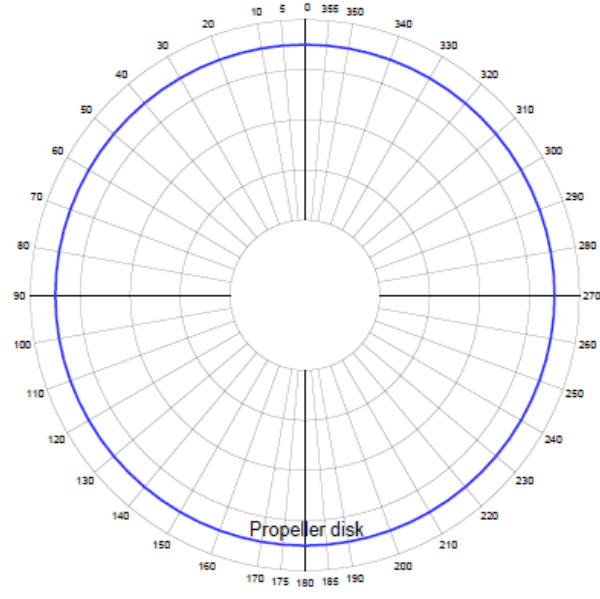
İz ölçümü, geminin seyir hızı 11 knota karşılık gelen 1,46 m/s' lik model hızında yapılmıştır. İz, $D=2$ m çaplı pervanenin boyutsuz yarıçapları (r/R) cinsinden ifade edilmiştir. Sonuçlar 8 ayrı r/R değeri için verilmiştir. Bunlar $r/R= 0.373; 0.493; 0.612; 0.731; 0.851; 0.970; 1.090; 1.209$ değerleridir. Deneyler dizayn draftında yapılmıştır.

Çizelge 3.2'de 1,46 m/s'lik hızda pervane düzlemine gelen eksenel hızların gemi hızına oranları verilmiştir.

Çizelge 3.2 : Model ölçeğinde pervane düzlemindeki eksenel hız dağılımları.

Açı	V_x/V_s							
0	0.271	0.546	0.576	0.468	0.403	0.397	0.415	0.439
10	0.242	0.636	0.718	0.638	0.579	0.551	0.531	0.510
20	0.230	0.693	0.803	0.737	0.685	0.660	0.643	0.630
30	0.232	0.723	0.839	0.777	0.730	0.706	0.689	0.675
40	0.203	0.738	0.864	0.803	0.761	0.742	0.725	0.705
50	0.125	0.742	0.899	0.842	0.796	0.777	0.763	0.750
60	0.066	0.756	0.935	0.881	0.833	0.814	0.803	0.793
70	0.049	0.769	0.954	0.901	0.854	0.838	0.830	0.820
80	0.047	0.781	0.970	0.925	0.879	0.862	0.857	0.857
90	0.048	0.783	0.966	0.935	0.895	0.878	0.874	0.879
100	0.048	0.777	0.943	0.934	0.914	0.904	0.898	0.894
110	0.048	0.777	0.935	0.940	0.929	0.923	0.921	0.921
120	0.048	0.780	0.937	0.948	0.942	0.942	0.946	0.954
130	0.048	0.785	0.946	0.957	0.954	0.956	0.962	0.971
140	0.049	0.794	0.966	0.968	0.959	0.958	0.961	0.964
150	0.049	0.800	0.979	0.975	0.960	0.961	0.969	0.977
160	0.048	0.788	0.959	0.963	0.957	0.958	0.960	0.961
170	0.048	0.778	0.939	0.953	0.955	0.957	0.957	0.958
180	0.048	0.775	0.931	0.947	0.950	0.956	0.959	0.961
190	0.050	0.779	0.935	0.949	0.951	0.959	0.969	0.979
200	0.066	0.788	0.943	0.956	0.953	0.957	0.966	0.975
210	0.110	0.805	0.952	0.966	0.967	0.974	0.984	0.995
220	0.153	0.818	0.952	0.960	0.960	0.967	0.978	0.988
230	0.159	0.820	0.958	0.967	0.964	0.968	0.976	0.984
240	0.188	0.829	0.961	0.970	0.969	0.971	0.975	0.977
250	0.233	0.836	0.959	0.970	0.970	0.972	0.973	0.973
260	0.237	0.829	0.954	0.964	0.964	0.964	0.964	0.963
270	0.199	0.819	0.967	0.971	0.970	0.973	0.975	0.977
280	0.144	0.804	0.984	0.981	0.970	0.973	0.981	0.990
290	0.110	0.779	0.972	0.958	0.940	0.939	0.945	0.953
300	0.084	0.738	0.937	0.931	0.914	0.912	0.918	0.923
310	0.079	0.679	0.875	0.889	0.889	0.892	0.887	0.872
320	0.083	0.606	0.778	0.803	0.825	0.845	0.843	0.825
330	0.064	0.531	0.673	0.689	0.719	0.758	0.777	0.775
340	0.059	0.484	0.596	0.594	0.619	0.669	0.718	0.761
350	0.126	0.487	0.563	0.533	0.541	0.577	0.612	0.638
r/R	0.373	0.493	0.612	0.731	0.851	0.970	1.090	1.209

İz ölçümü sonuçları görselleştirme amacıyla genellikle polar diyagramlar üzerinde gösterilirler. Ölçümler pervanenin belirli yarıçaplardaki (r/R) kesitlerinde, 10 ar derecelik açı aralıklarıyla yapılır. Daha hassas görüntülenmek istenilen bölgelerde 5°lik dilimlerle de ölçülebilir. Şekil 3.4’de ITTC’nin 5-delikli pitot tüpleriyle yapılacak iz ölçümü deneyleri için önerdiği polar diyagram görülmektedir.



Şekil 3.8 : İz ölçümünde kullanılan polar diyagram (ITTC).

4. HESAPLAMALI AKIŞKANLAR DİNAMİĞİ METODLARI

Genel olarak hesaplamalı akışkanlar dinamiği, her türlü akışkan ve akışının değişik koşullardaki analizini yapmaya yarayan bir yöntemdir. Bu yöntemde temel olarak 3 ana denklem (süreklilik, momentum ve enerji denklemleri) esas alınır ve akış içindeki süreklilik, momentum (Navier Stokes denklemleri) ve enerji denklemlerinin, uygun başlangıç ve sınır koşulları ile beraber çözülmesi gerekir.

4.1 Hareket Denklemleri

Viskoz, sıkıştırılamaz, serbest yüzey etkileri olmayan Newton tipi akışkanın daimi, laminar akışı için hareket denklemleri süreklilik ve Navier-Stokes denklemleridir.

Süreklilik denklemi:

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{V} = 0 \quad 4.1$$

Navier – Stokes Denklemi:

$$(\vec{V} \cdot \vec{\nabla}) \cdot \vec{V} = -\frac{1}{\rho} \vec{\nabla} P' + \nu \nabla^2 \vec{V} \quad 4.2$$

Tam olarak ifade etmek gerekirse ilk denklem korunum denklemi, ikinci ise hesaplama bölgesi boyunca doğrusal momentumun taşınmasını temsil eden transport denklemdir. Burada V akışkanın hızını, ρ yoğunluğunu, ν kinematik viskozitesini göstermektedir. Serbest yüzey etkilerinin olmaması, değiştirilmiş basınç P' 'nin kullanılmasına ve böylelikle ikinci denklemden yerçekimi teriminin çıkarılmasına imkan verir. İlk denklem skaler, ikinci ise vektörel bir denklemdir. Bu denklemler ρ ve ν 'nün sabit olduğunu kabul ettiğimiz sadece sıkıştırılamaz akışlara uygulanır (Çengel, Cimbala, 2008).

4.2 Akışın Sınıflandırılması

- Viskoz ya da viskoz olmayan akışlar
- İç ya da dış akış
- Türbülanslı ya da Laminer akış
- Sıkıştırılabilir ya da sıkıştırılamaz akış
- Tek fazlı ya da çok fazlı akış
- Termal/ yoğunluk etkisi olan akışlar
- Serbest yüzey akışları ve yüzey gerilmesi
- Kimyasal reaksiyonlar ve yanma

4.3 Başlangıç ve Sınır Koşullarının Tanımlanması

Başlangıç koşulları sonucu etkilemezler fakat sonuca yakınsamak için daimi akışlarda gerekli iterasyon sayısını, zamana bağlı akışlarda zaman adım sayısını etkiler. Doğru başlangıç koşulları verilmesi, analizin sonuca daha çabuk yakınsamasını sağlar.

Çok karmaşık akışlarda HAD kodu birkaç iterasyon daimi akış modunda çalıştırılır ve burada yakınsadığı sonuç başlangıç koşulu olarak verilebilir.

Sınır koşulları ise kaymanın olmadığı (no-slip wall) ya da kaymanın olduğu (Slip free on wall) sınırlar, periyodik sınırlar, girişin olduğu, çıkışın olduğu, konvektif ve yansıma olmayan sınırlardır.

4.4 Türbülans Modelleri

Hesaplamalı akışkanlar dinamiği ile laminer akışlar kolayca çözülebilir iken, uygulamadaki türbülanslı akışları türbülans modellerini kullanmaksızın çözmek imkansızdır. Ancak, genel bir türbülans modeli yoktur ve bir türbülanslı HAD çözümü sadece türbülans modelinin uygunluğu kadar iyidir. Bu sınırlamaya rağmen, standart türbülans modelleri uygulamadaki çoğu problemde makul çözümler vermektedir (Çengel, Cimbala, 2008).

4.4.1 Cebrik modeller (Sıfır Denklemli)

Çözüm için ek denklemlere gerek duymadan direkt olarak akış değişkenlerini kullanarak çözüm verir. Türbülans için çok kullanışlı değillerdir ancak basit akış modelleri veya karmaşık bir modelin başlangıç değerlerinin hesabı için oldukça kullanışlıdır. En çok bilinen sıfır denklemli modeller Baldwin-Lomax modeli ve Cebeci-Smith modelidir.

4.4.2 Tek denklemli modeller

Türbülanslı taşınım denklemini, genellikle türbülanslı kinetik enerjiyi çözmek için kullanılan modellerdir. Orijinal olan model Prandtl'ın tek denklemli türbülans modelidir. Diğer yaygın olanlar ise Baldwin-Barth model, Spalart-Allmaras modelidir.

4.4.3 İki denklemli modeller

En yaygın olarak kullanılan türbülans modellerindendir. Özellikle k - ε ve k - ω endüstrinin standart olarak kullandığı modeller haline gelmiştir. Ancak hala aktif bir çalışma konusu olup, gün geçtikçe yeni modeller geliştirilmektedir. İki denklemli denmesinin sebebi türbülans özelliklerini temsil etmek için fazladan iki taşınım denkleminin kullanılmasıdır. En çok kullanılan iki denklemden bir tanesi “ k ” ile ifade edilen türbülans kinetik enerjisi terimidir. İkinci değişken ise modelin adını belirleyen kısımdır. Yaygın olarak ε ve ω kullanılır.

4.4.3.1 k - ε modelleri

Bu model de kendi içinde Standart k - ε modeli, Realizable k - ε modeli, RNG (Re-normalisation group) k - ε modeli, Near wall (yakın duvar) yaklaşımı olarak ayrılır.

4.4.3.2 k - ω modelleri

k - ω modelleri, Wilcox k - ω modeli, Wilcox modifiye edilmiş k - ω modeli, SST k - ω modeli ve near wall model olarak sınıflandırılabilir.

4.4.4 Lineer olmayan girdap- viskozite modelleri

Lineer olmayan girdap-viskozite modelleri; Explicit lineer olmayan bünye denklemi, Cubic k - ε , EARSM ve V2-f modelleri olmak üzere sınıflandırılır.

4.4.5 Reynolds stress modeli

Launder'in 1975 'te yaptığı bir çalışmadan ortaya çıkan bir modeldir. Girdap-viskozite yaklaşımı bu modelde atılır, onun yerine Reynolds gerilmeleri doğrudan hesaplanır.

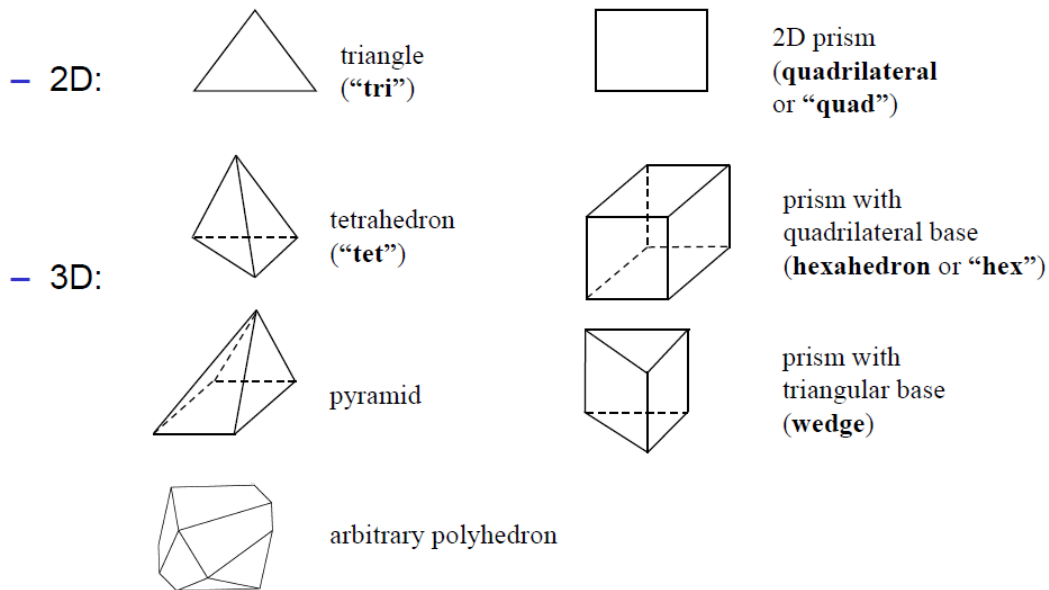
4.4.6 Direkt nümerik çözümler (LES, DNS)

Direct Numerical simulation (direkt nümerik simülasyon)'da türbülans modeli kullanılmadan Navier- Stokes denklemleri doğrudan çözülürler.

4.4.7 Analizlerimizde kullanılan türbülans modeli: SST k- ω model

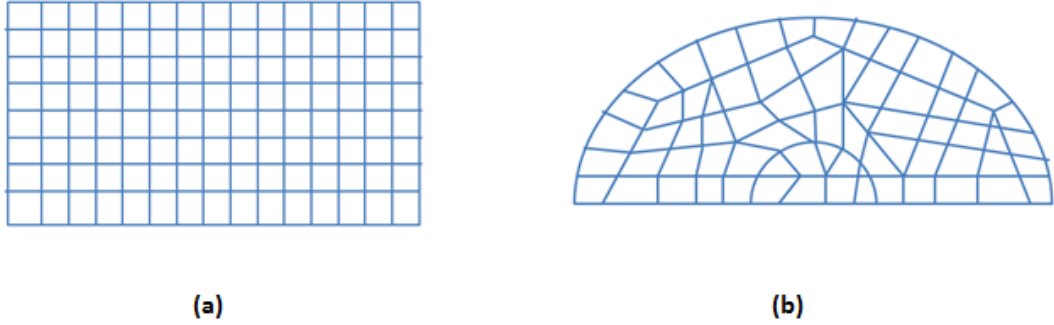
SST (Shear Stress Transport) k- ω türbülans modelinde, k- ω model kısmı Wilcox tarafından geliştirilmiştir (1998). Burada k türbülans kinetik enerjisini, ω da sınıra yakın yerlerdeki büyük girdapların frekansını ve dağılımını temsil eder. SST varyasyonu Menter tarafından (1993,1996) geliştirilmiştir. SST-k- ω modeli düşük Reynolds türbülans modelleri olarak da kullanılabilmektedir, herhangi bir sönüm fonksiyonuna ihtiyaç duymadan çözebilmektedir. SST formülasyonu modele serbest akış içerisinde k- ϵ çözümlemesine geçiş imkanı sağlayarak daha hassas bir çözüm elde edilmesine olanak verir.

4.5 Ağ Örgüsü (Mesh) Çeşitleri



Şekil 4.1 : Mesh çeşitleri (Bakker, 2002).

Ayrıca ağ örgüsünü yapısal (düzgün) ve yapısal olmayan mesh olarak da sınıflandırabiliriz.



Şekil 4.2 : (a) Yapısal mesh (b) Yapısal olmayan mesh (Url- 5).

4.6 Analizlerimizde Kullanılan Yazılım: Star CCM+

Modellemeden son işlem aşamasına kadar olan tüm HAD aşamaları STAR-CCM+ ile tek bileşik bir ara yüzde sunulmaktadır. STAR-CCM+ içinde sıfırdan model oluşturulabileceği gibi, dışarıdan okunan geometrinin HAD çözümüne uygun temizlenmesi, çözüm ağının ve sınır koşulları ayarları, önceki modellerin çözüm ayarları kullanılarak otomatik olarak yapılabilir. Yeni model üzerine uygunlaştırılmış çözüm başlangıç şartı olarak kabul edilmekte ve çözüm süresini azaltmaktadır. Farklı modeller arasında çözüm ağı ayarları ve diğer ayarlar kolayca “kopyalanıp yapıştırılabildiği” için, çok karmaşık mühendislik problemlerinin yeniden modellenmesinde süre kaybını azaltmakta ve kullanıcı tarafından yapılması mümkün olan hataları azami derecede düşürmektedir.

STAR-CCM+ yazılımı bunun dışında, çok geniş özelliklere sahip yüzey tamir araçlarını da içermektedir. Bu araçlar kullanıcıya içeri okunan ve sonradan oluşturulan yüzey çözüm ağlarının kalitesini etkileşimli iyileştirebilmesini sağlamaktadır.

STAR-CCM+ yazılımının sahip olduğu gelişmiş otomatik çözüm ağı üretme teknolojisi ile hem çokyüzlü (polyhedral) hem de çoğunluğu altıyüzlü elemanlardan (hexahedral) oluşan kontrol hacimlere sahip sayısal çözüm ağı üretilebilmektedir. Bu çözüm ağı çok hızlı, kontrollü ve hassas bir şekilde oluşturulmaktadır. Çoklu referans hareketlerine sahip, katı-sıvı etkileşimli ve bileşik ısı transferi içeren problemler için STAR-CCM+ otomatik uygun (conformal) çözüm ağı üretebilmektedir. Daha hassas

HAD benzetimleri için sayısal çözüm ağı üretmedeki en önemli sorunu duvara yakın bölge, öteleme tabakaları oluşturmaktadır. STAR-CCM+ var olan bölge içindeki tüm duvarlar için yüksek kaliteli öteleme tabakası çözüm ağı oluşturmaktadır. Buna ek olarak, kullanıcı bu tabakaların yerlerini, büyüklüklerini, büyüme oranlarını ve kaç tabakadan oluşacağını kontrol edebilmektedir. Çok büyük sayısal çözüm ağlarının etkili şekilde idare edilmesi, günümüz endüstrisinin karşılaştığı mühendislik meydan okumalarından bir tanesidir. STAR-CCM+ özellikle büyük modelleri hızlı ve etkili idare etmek için tasarlanmış bir yazılımdır.

STAR-CCM+ yazılımının sahip olduğu bazı fizik modelleri; yanma, kavitasyon, çok fazlı akışlar, Lagrangian Particle Tracking (Lagrange Partikül İzleme), Volume Of Fluid (Akışkan Hacmi) (sıkıştırılabilir ve sıkıştırılmaz akışkanlar için), sıkıştırılabilirlik, tepkimeli akışlar, ısıtım, yüzeyden yüzeye termal ısıtım, solar ısıtım, discrete ordinate (ayrık ordinat), sınır tabaka geçişi, bileşik ısı transferi, hareketli çözüm ağı, çoklu döner sistemler, doğal taşınım, araç ısı yönetimi, gözenekli bölge modelleme v.b. gibidir.

Yazılım pek çok türbülans modeline sahiptir. k-epsilon (Standard, V2F, Realizable, Two-layer), k-omega (Standard, SST, BSL), Reynolds Stress (RSM – linear, quadratic) ve Spalart-Almaras türbülans modellerinin bilinen tüm çeşitlerini içermektedir. Ayrıca viskoz olmayan akışkanlar, sınır tabaka geçişi, Large Eddy Simulation (LES) ve Detached Eddy Simulation (DES, yeni olarak Delayed Detached Eddy Simulation veya DDES formülasyonu) gibi modellemelerde yazılım içerisinde bulunmaktadır.

STAR-CCM+, HAD benzetimlerinden gerekli sonuçları elde edebilmek için çok geniş son işlem araçları ile desteklenmektedir. Basınç kaybından akış hatlarına, kütle akısından yüzey görüntülemelerine, XY grafiklerinden animasyonlara STAR-CCM+ kullanıcıya çözümü anlaşılır hale getirecek çok seçenek sunmaktadır.

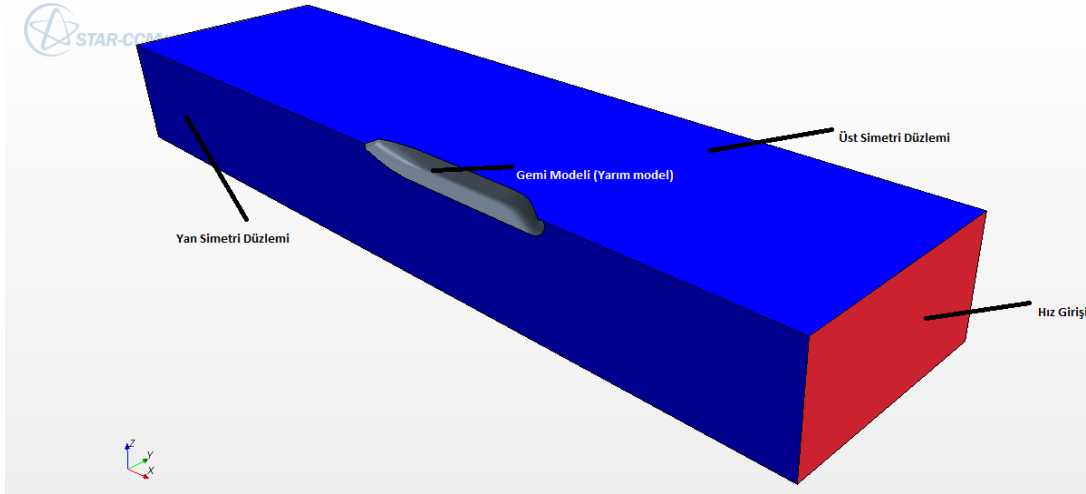
STAR-CCM+ masaüstü bilgisayarlarında aynı veya başka bilgisayarda bulunan sunucuya bağlanacak şekilde hafif Java istemci ile çalışmaktadır. İstemcide yapılan değişiklik anında çözücüde yansımaktadır. Güncellenen akış alanı, her bir iterasyon için görülmektedir. STAR-CCM+ şu an için her dört ayda bir yenilenen sürümü ile pazarda en hızlı gelişen HAD yazılımıdır.

5. SAYISAL HESAPLAMA

5.1 Modelin Analiz İçin Hazırlanması

Hesaplamalı akışkanlar dinamiğinde analizler belirli bir hesaplama alanı (domain) içerisinde gerçekleştirilir. Bu alanın sınırları duvar etkisi olmayacak ve akışı etkilemeyecek şekilde yeterince büyük seçilmelidir. Ancak hacmi çok büyütmek hücre sayısını ve işlem zamanını arttıracığından dolayı, bir optimizasyon yapılması söz konusudur. Daha küçük bir hesaplama alanı ve dolayısıyla daha az sayıda çözüm ağı yani mesh kullanabilmek için yarım modelle çalışılmıştır. Diğer yarısı ise simetri düzlemi olarak tanımlanarak, sanki varmış gibi çözüm yapılmıştır. Bu çalışmada domain boyu $4L$ kadar (L , model boyu) alınmıştır. Model önünde L kadar, arkasında ise $2L$ kadar mesafe bırakılmıştır. Domainin yarım genişliği ve derinliği L kadar alınmıştır. Domain boyutları seçilirken ITTC'nin HAD analizleri için önerdiği 7.5-0.3-0.2-0.3 nolu güncel prosedürün tavsiyesine uyulmuştur.

Domain yüzeyleri istenilen sınır özelliklerine göre isimlendirilir ve tipleri belirlenir. Analizlerde gemi sabit tutulup akım gemiye doğru gönderilmiştir. Burada akımın domaine girdiği yüzey, hız girişi olarak adlandırılır. Akımın çıktığı yüzey ise basınç çıkışı olarak tanımlanır. Çözümümüzde serbest su yüzeyi etkileri hesaba katılmamıştır. Bunu sağlayabilmek için “double hull model” yani çift model metodu kullanılmıştır. Çift model, modelin su hattından üstünün kesilip atılması ve su hattı altında kalan kısmın ayna simetriği alınarak modelin üstüne yapıştırılmasıyla elde edilir. Bu metod 26.ITTC İz Komitesi sonuç raporunda da önerilmiştir.



Şekil 5.1 : Domain ve sınır koşulları.

Şekil 5.1’de domainin yüzeylerine yapılan tanımlamalar gösterilmiştir. Taban ve akımın çıkış yüzeyi görülememektedir. Taban, duvar olarak seçilmiştir, Şekilde göremediğimiz diğer yüzey ise basınç çıkışı olarak tanımlanır. Üst yüzeyi simetri düzlemi olarak tanımlayarak çift model modellemesi yapıldı. Yan yüzeyi simetri düzlemi olarak tanımlamak da gemi modelinin domaine almadığımız yarısını temsil etmektedir.

Ayrıca Star CCM ortamına aldığımız model yüzeylerinde açıklık olmaması gerekir. Eğer kapanmamış bir yüzey varsa mesh atılamaz ve program hata verir.

HAD analizlerinde en önemli nokta mesh özellikleridir. Model düzgün meshlenemediyse doğru sonuç vermesi beklenemez.

Çözüm ağı oluşturmak için program içerisinde yer alan hazır mesh algoritmalarından, düzenli yapıda çözüm ağı oluşturan “Trimmer” mesh algoritması kullanılmıştır. Ayrıca sınır tabakadaki akışı düzgün çözebilmek için “prism layer” mesh modeli de tercih edilmiştir.

Domainin her bölgesi aynı mesh özelliklerine sahip değildir. Bu çalışmada incelenmek istenen pervane düzlemine gelen akım olduğu için gemi kış bölgesine daha küçük (sık) mesh atılmıştır. Domainin gemi gövdesinden uzak bölgeleri daha büyük meshlerle bölünmüştür. Bu çözümün hızı ve bilgisayar kapasitesinde avantaj sağlamaktadır. Aksi takdirde çok daha yüksek sayıda meshle çalışmak, daha uzun zamanlarda analiz yapmak zorunda kalınacaktı.

Daha sık (fine) mesh atılmak istenilen bölgeler, prizmatik bloklar oluşturularak, özel hacimsel kontrol bölgeleri içine alınmıştır. Bu bölgeler Star CCM+ yazılımında “volumetric control” olarak adlandırılmaktadır. Mesh boyut ayarlamaları yapılırken, tanımlanan bu hacimsel kontrol bloklarına da özel değerler girilerek o bölgelerdeki mesh özellikleri değiştirilebilmektedir. Ayrıca iç içe bloklar kullanılarak meshler arasındaki geçişlerin yavaş olması sağlanmıştır. Hızlı geçişler istenmeyen durumlardır ve sonucun doğruluğunu etkileyebilmektedir.

HAD analizlerinde dikkat edilmesi gereken noktalardan biri de y^+ değerleridir. y^+ duvara (bu çalışmada gemi yüzeyine) olan mesafeyi ifade etmektedir. Sınır tabaka oluşacağı için y^+ değerlerinin sınır tabaka kalınlığına uygun şekilde seçilmesi gerekmektedir. Duvara en yakın hücrenin boyutunun yaklaşık hesabını yapabilmek için hangi y^+ aralığında çalışılacağı belirlenerek y değeri hesaplanmalıdır. Bunun için aşağıdaki ifededen yararlanılabilir.

$$y / L_{pp} = y^+ / (Re \sqrt{C_f / 2}) \quad 5.1$$

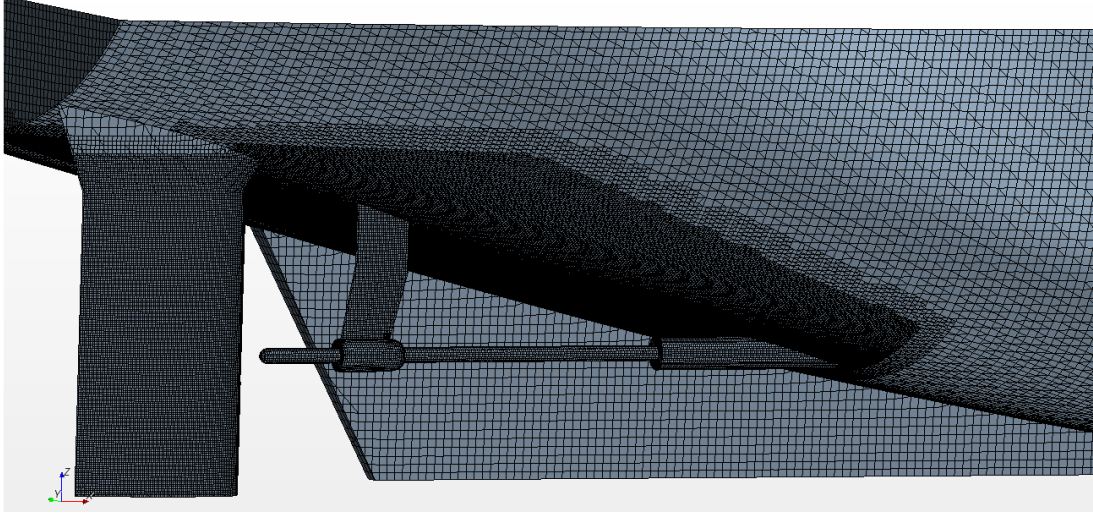
Burada L_{pp} geminin kaimeler arası boyunu, Re Reynolds sayısını C_f ise sürtünme direnç katsayısını ifade etmektedir. Sürtünme direnç katsayısı ise aşağıdaki gibi hesaplanabilmektedir.

$$C_f = 0.075 / (\log_{10} Re - 2)^2 \quad 5.2$$

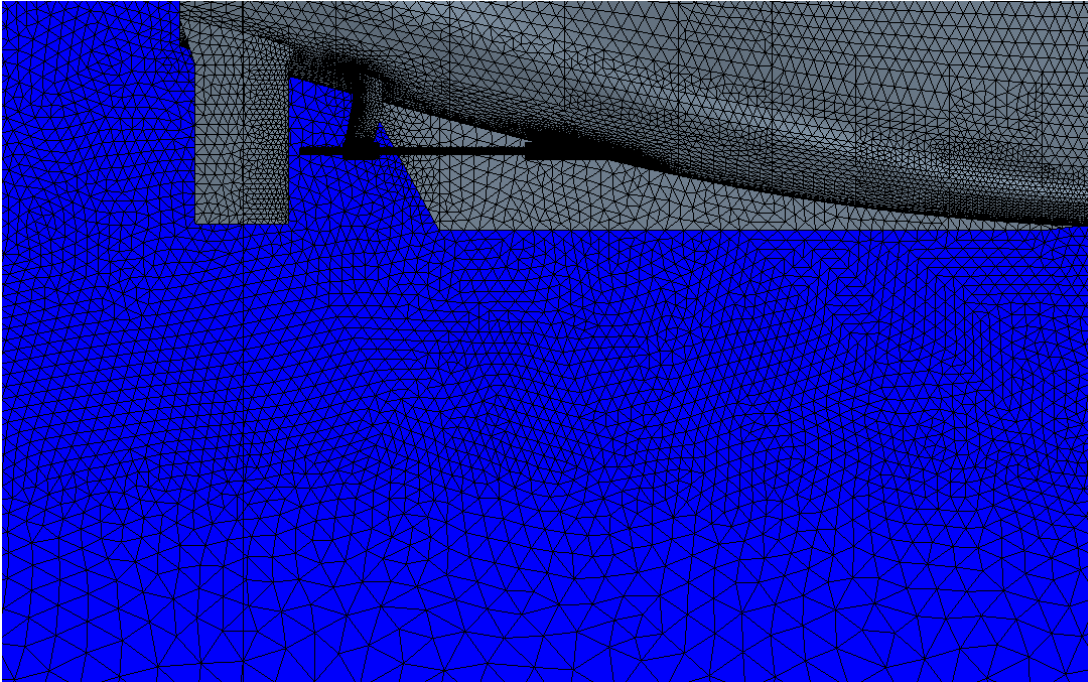
1,46m/sn’lik hız değeri için Re sayısı 5.95×10^5 , C_f katsayısı 3.3×10^{-3} olarak hesaplanmıştır. Doğru sonuç elde edebilmek için y^+ değerinin $0 \leq y^+ \leq 5$ aralığında ya da $y^+ > 30$ aralığında seçilmesi gerekir. $5 \leq y^+ \leq 30$ aralığı geçiş bölgesidir. Geçiş bölgesi için hız dağılımını doğru veren bağıntı bulunmamaktadır. Bu sebeple izin inceleneceği bölgede y^+ değerleri 0-5 aralığında elde edilecek şekilde hücre boyutları küçük seçilmiştir. Ancak tüm model boyunca hücrelerin bu kadar küçük olması mesh sayısını çok fazla arttıracığından gemi izini etkilemeyecek olan bölgelerde daha büyük boyutlarda hücre kullanılmıştır. Gemi kıç bölgesinde y^+ değerleri sıfıra oldukça yakındır ve y değerleri 0.00116 m ile 0.000299 m arasında değişmektedir.

Bu çalışmada çift ve tek pervaneli olmak üzere iki ana durum incelenmiştir. Orijinal model çift pervanelidir ve deney sonuçları bu durum için mevcuttur. Tek pervaneli formun oluşturulması daha sonra anlatılacaktır.

Şekil 5.2 ‘de çift pervaneli modelin meshli bir görüntüsü görülmektedir. Görüldüğü gibi daha hassas sonuç elde etmek istenilen bölgelerde daha sık mesh bulunmaktadır. Şekil 5.4’te oluşturulan hacimsel kontrol blokları gösterilmiştir. Bir numaralı blok kıç bölgesinde daha sık mesh oluşturmak için kullanılmıştır.



Şekil 5.2 : Gemi modelinin meshli bir görüntüsü (hexahedral).



Şekil 5.3 : 7. durumdaki mesh (tetrahedral).

Çift pervaneli durumda en uygun çözüm ağı durumunu bulabilmek için 7 ayrı durum denenmiştir. Bunlardan bir tanesi (7. durum), Şekil 5.3’te de görüldüğü gibi, yapısal

olmayan mesh “unstructured mesh” olarak tanımlanan üçgen yüzeylere sahip dörtyüzlülerden (tetrahedral) oluşan ağ yapısına sahiptir.

Çizelge 5.1 : Mesh sayılarına göre analizler.

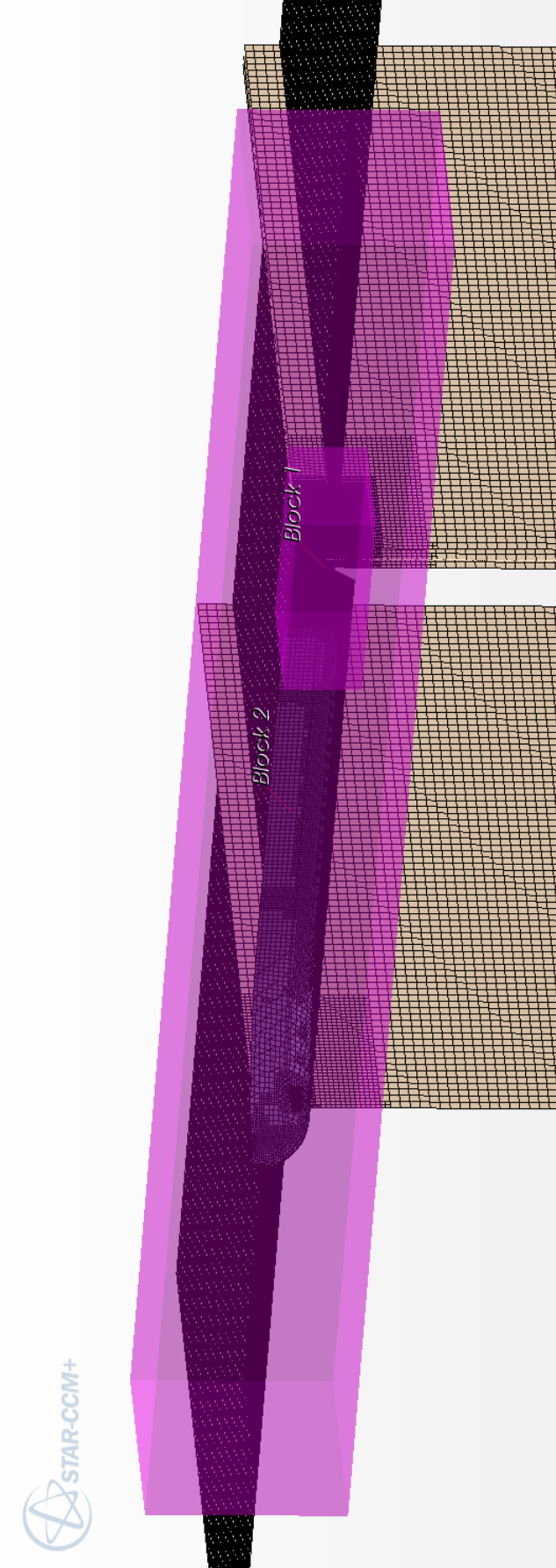
Çift Pervaneli Durum	
No	Mesh Sayısı ($\times 10^3$)
1	2.700
2	4.800
3	6.338
4	8.975
5	9.012
6	15.418
7	8.292

Çizelge 5.2’de çift pervaneli durum için mesh ile ilgili sayısal bilgiler verilmiştir.

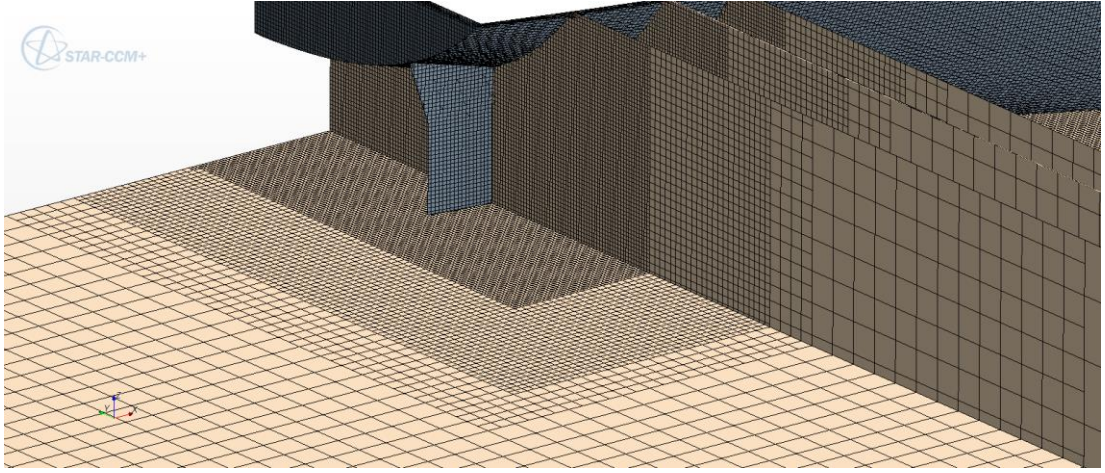
Çizelge 5.2 : Çift pervaneli durum için mesh sayısal verileri.

	1	2	3	4	5	6	7
Ana Boyut (m)	0.2	0.1	0.15	0.1	0.1	0.1	0.25
Yüzey Hedef Mesh Boyutu (%)	5	1	1.5	0.6	0.6	1.5	6
Yüzey Hedef Mesh Boyutu (m)	0.01	0.001	0.00225	0.0006	0.0006	0.0015	0.015
Prism Layer Sayısı	0	0	0	2	3	3	0
Prism Layer Kalınlığı (%)	-	-	-	1.6	1	0.8	-

Burada ana boyut “base size”, hücre boyutlarını belirlemek için verilen bir referans değerdir. Diğer değerler ana boyutun belli bir yüzde değeri olarak girilir. Böylece ana boyut değiştirildiğinde diğer değerler de otomatik olarak güncellenir. Çizelgede, yüzey hedef mesh boyutu, en sık mesh atılmak istenen hacimsel kontrol bloğunun değerleri olarak verilmiştir. Diğer blokların değerleri nispeten daha büyük olduğu için Çizelge 5.2’de ayrıca gösterilmeye gerek görülmemiştir. Yüzey hedef mesh boyutu, o bölgede atılmak istenen meshin sahip olabileceği en büyük boyutlarını belirtmektedir. Prism layer ise sınır tabakanın daha iyi modellenmesi açısından bazı durumlarda tercih edilmiştir.

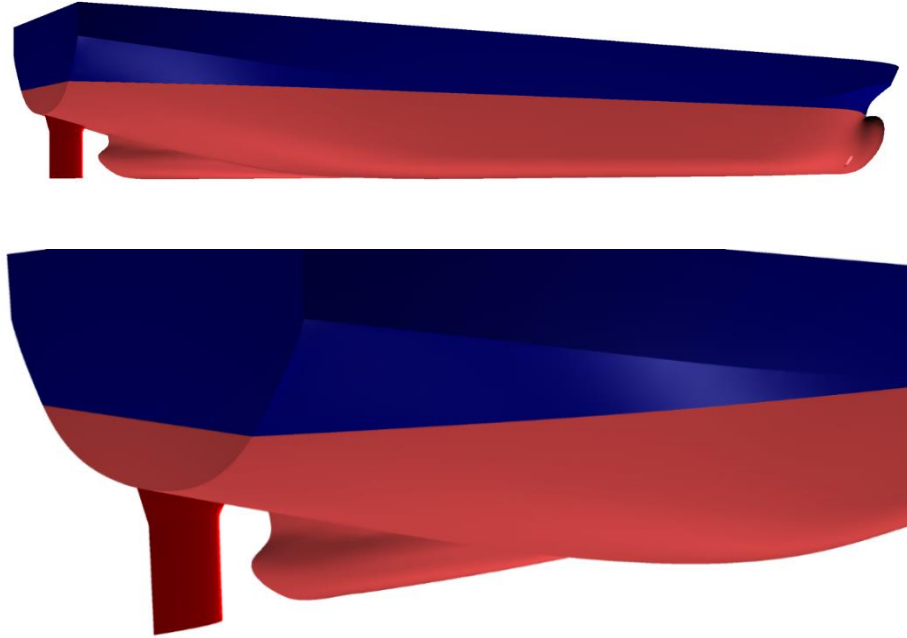


Şekil 5.4 : Hacimsel kontrol blokları.



Şekil 5.5 : Ağ örgüsünün belirli kesitlerdeki görünümü.

Karşılaştırma amaçlı olarak tek pervaneli durum üzerinde de çalışılmıştır. Burada çift pervaneli durumda mevcut olan skeg kaldırılıp yerine yumrubaş form yerleştirilmiştir. İskele ve sancakta olan dümenler sayıca bir taneye indirilip, merkez hattına taşınmıştır. Bu duruma ait model aşağıdaki şekilde görülmektedir.



Şekil 5.6 : Tek pervaneli modele ait görüntüler.

Tek pervaneli durumda da çok sayıda mesh durumu analiz edilmiştir. Çizelgede gösterilen üç durumun en iyi sonuç verdiği görülmüştür.

Çizelge 5.3 : Tek pervaneli durumda mesh sayısına göre analizler.

Tek Pervaneli Durum	
No	Mesh Sayısı ($\times 10^3$)
1	1.342
2	1.672
3	2.072

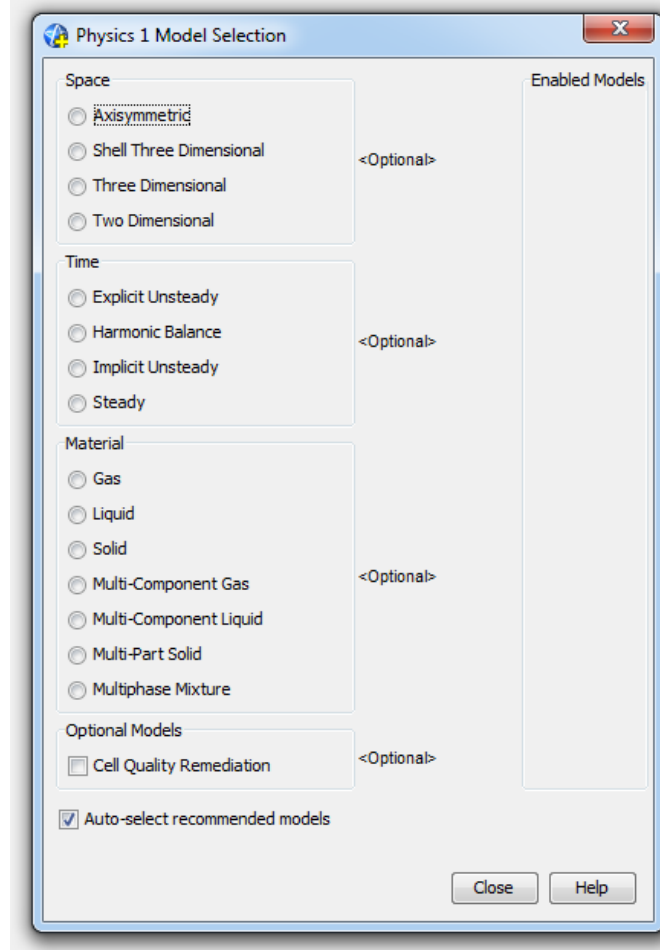
5.2 Fizik Modellerinin Seçimi

Hesaplamalı akışkanlar dinamiği yöntemlerinde çözüm ağı oluşturmaktan sonraki en önemli aşama fiziksel modellerin seçimidir. Meshin kalitesinin çözümleri etkilediği kadar doğru fiziksel model seçmemek de çözümü o derecede etkiler.

Doğada akışkanlar dinamiği konusu içerisine giren pek çok olay mevcuttur. Bilindiği gibi her birinin akış özellikleri farklıdır. HAD metodlarında da doğada karşılaştığımız bu olayların sayısal çözümleri yapılmaktadır. Dolayısıyla seçilen model de doğada karşılaşılan fiziksel olayı sağlamak zorundadır.

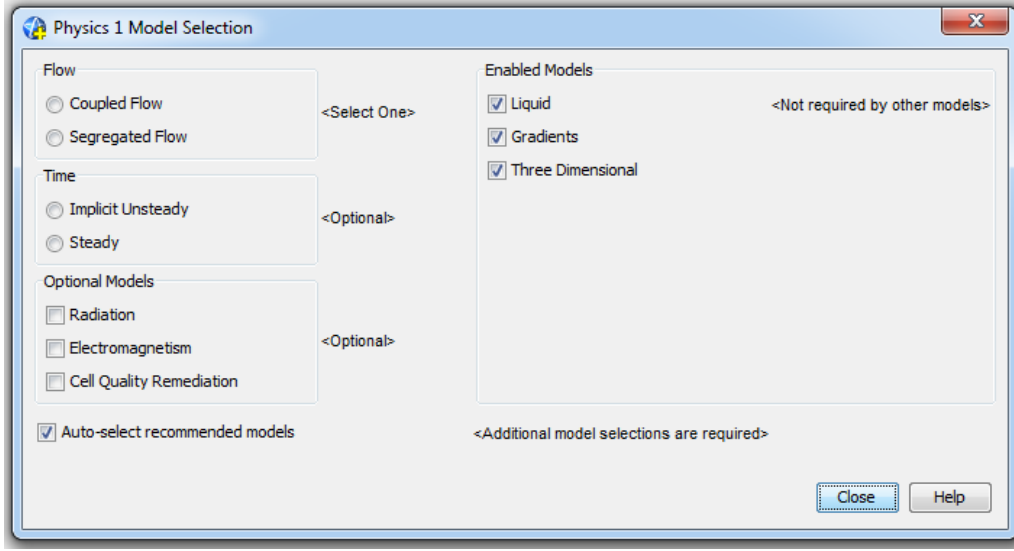
Her akış tipine ve çözümlenmek istenilen olayın fiziğine uygun modeller seçilmelidir. Star CCM+, kullanıcıya birçok fizik modeli seçme imkanı tanımaktadır. Aşağıdaki şekilde Star CCM+ ortamında seçilebilecek fizik modelleri görülmektedir.

Fizik modeli seçerken karşımıza ilk çıkan ekran Şekil 5.6'da görülen fizik model seçim ekranıdır.



Şekil 5.7 : Fizik model seçim ekranı.

Bu çalışmada uzay tanımını 3 boyutlu (three dimensional) olarak seçilmiştir. Çözümümüz zamana bağlı olmadığı için daimi (steady) olarak seçilmiştir. Akışkan olarak sıvı (liquid) seçilmiştir. İşaretlenen her seçenekle birlikte, seçtiğimiz modele bağlı olarak yeni seçim ekranı karşımıza çıkmaktadır. Şekil 5.7’de karşımıza çıkan ikinci ekran görülmektedir. Burada birleşik (coupled) akış yerine ayırık (segregated flow) akış seçilmiştir.

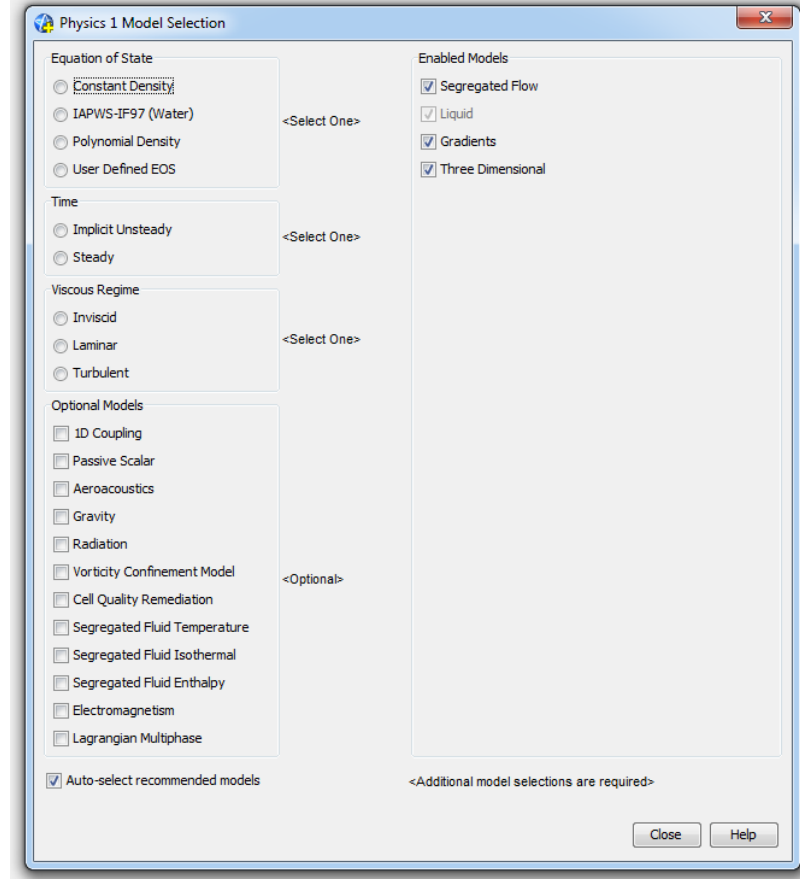


Şekil 5.8 : Fizik model seçim ekranı-2.

Karşımıza çıkan üçüncü ekranda da Şekil 5.8’de görüldüğü gibi akışımızın sabit yoğunlukta (constant density) olduğunu belirtiyoruz. Yine zamandan bağımsız olduğu için steady seçeneği işaretlenmektedir. Opsiyonel model seçenekleri arasında da sıcaklığı 15°C olarak belirleyebilmek için ayrık akışkan sıcaklığı (segregated fluid temperature) seçeneği işaretlenir. Bu seçenek işaretlenmemiş olsaydı program tarafından varsayılan değer, 300°K (~26°C) fizik ortamın özelliği olarak kabul edilmiş olacaktı. Ancak model deneylerinde elde edilen sonuçlar 15°C için verildiğinden ve suyun viskozite değeri bizim için önemli bir kavram olduğundan analiz için sıcaklık 15°C olarak ayarlanmıştır.

Gemi etrafındaki akış türbülanslı olacağı için fizik modeli olarak da türbülanslı (turbulent) seçeneği işaretlenmektedir.

Akışı türbülanslı seçtiğimiz anda program otomatik olarak RANS (Reynolds Averaged Navier Stokes) denklemlerini hesaba katmaktadır. Türbülans modelleri Şekil 5.9’da görülmektedir. Bu çalışmada türbülans modeli olarak k-omega modeli seçilmiştir.

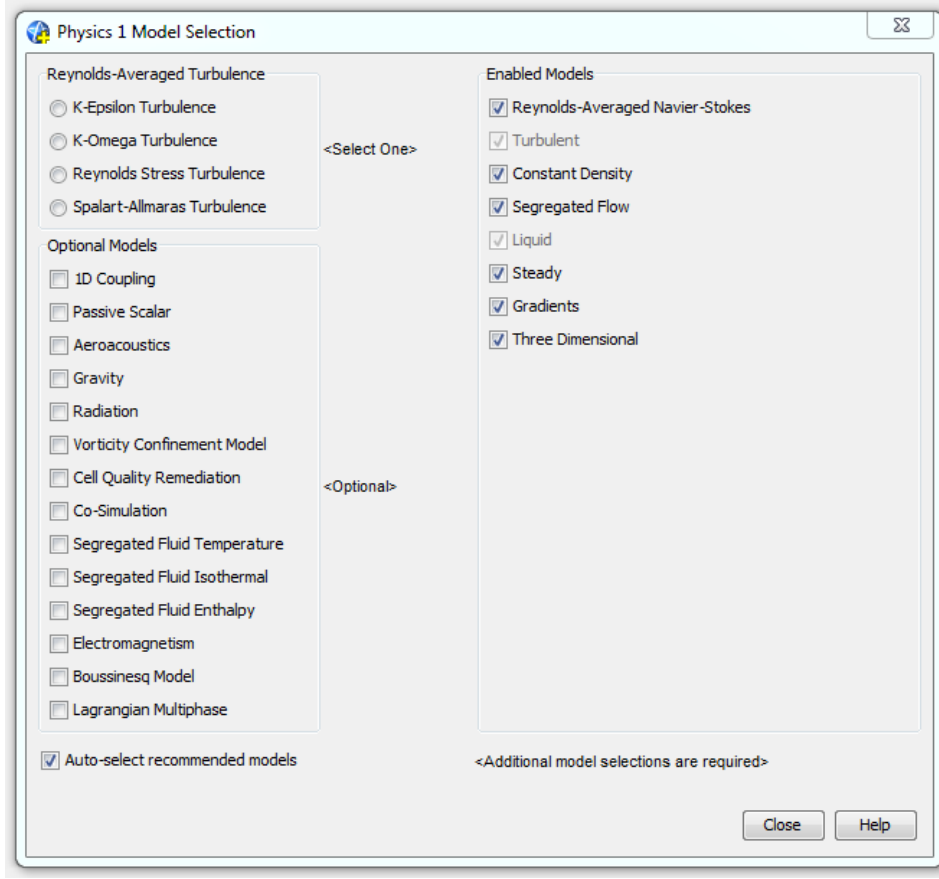


Şekil 5.9 : Fizik model seçim ekranı-3.

k-omega modeli yanısıra SST (Menter) k-omega modeli de program tarafından analize eklenmiştir.

Tüm fizik modelleri seçildiğinde karşımıza gelen ekran Şekil 5.10’da görüldüğü gibidir. Burada “kapat” sekmesini tıklayarak fizik model seçim ekranından çıkmış olmaktadır.

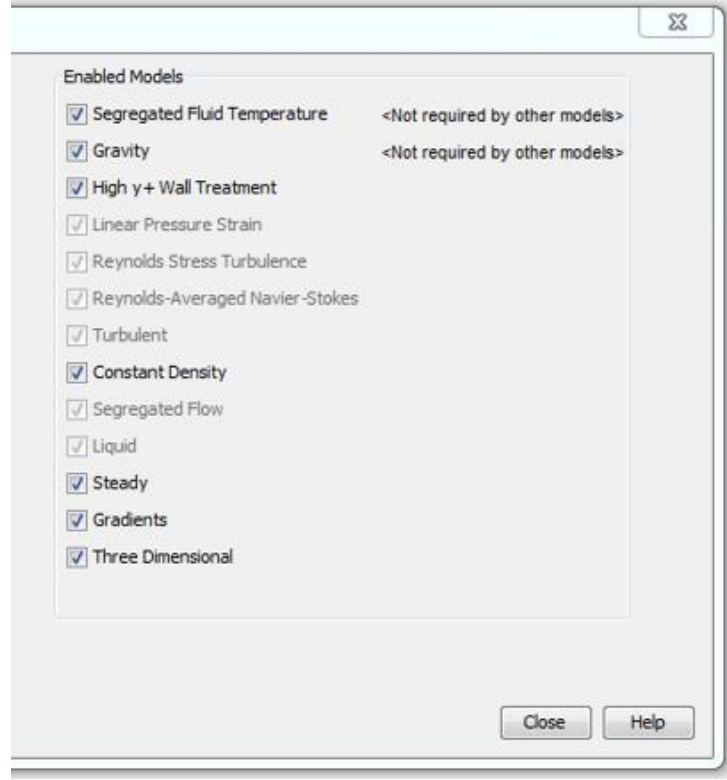
Analizi başlatmadan önce yapılacak tek işlem solution (çözüm) menüsünden “initialize solution” seçeneğini seçerek analizi başlangıç durumuna getirmektir. Eğer analiz sorunsuz olarak başlangıç konumuna getirilebiliyorsa analizi başlatabiliriz. Sorun çıkıyorsa bu aşamaya kadar yapılan işlemler gözden geçirilir ve sorun çözümlendikten sonra çözüm başlatılabilir.



Şekil 5.10 : Fizik model seçim ekranı-4.

Bahsedilmesi gereken önemli bir konu da “stopping criteria” yani analizin yakınsadığı durumda iterasyonları durdurma seçeneğidir. Burada istenirse belli bir iterasyon sayısı belirtilebilir. Bu stopping criteria (durdurma kriteri) sekmesinin altındaki maximum steps (maksimum adım) seçeneğinden yapılabilir. Örneğin 5000 iterasyon değeri girilirse analiz 5000 iterasyonu tamamlar ve durdurma kriteri sağlandığı için durur. Bunun dışında kullanıcı da durdurma kriteri oluşturabilir. Bu çalışmada modele gelen kuvvetleri görebilmek için raporlar kısmında “force” (kuvvet) raporu oluşturulmuştur. Durdurma kriteri olarak da bu kuvvet raporunun iterasyonlar arasındaki yakınsaması seçilmiştir. Burada “standard deviation” standart sapma seçeneği işaretlenmiştir ve standart sapma değeri 0.001 N seçilmiştir. İterasyonlar arasında girdiğimiz sapma değeri kadar fark oluştuğunda analizin belli bir örnek sayısı sonra durması istenmiştir. Bunun için de “number of samples” kısmına da 10 değeri girilmiştir. Böylece sonuç, girdiğimiz sapma değerine yakınsadığında ve ard arda 10 iterasyonda bu kriter değişmiyorsa yakınsama kriteri sağlanmış demektir.

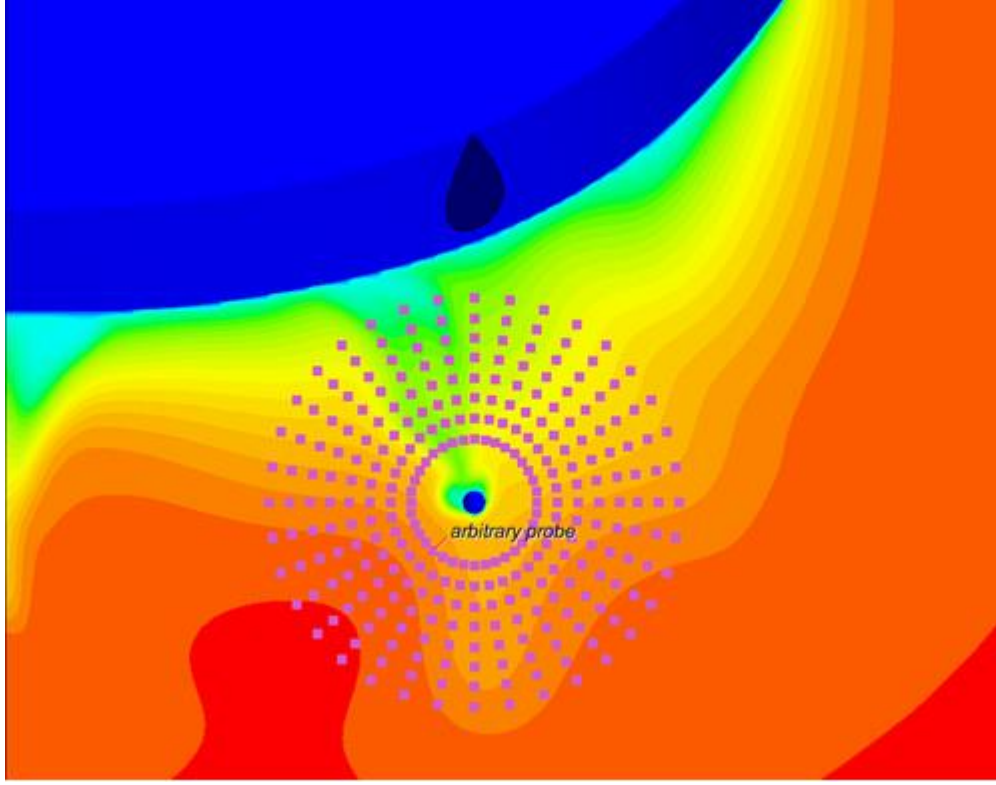
Zamana bağılı durumlarda (unsteady) ise iterasyon yerine zaman adımı ifadesi gelmektedir.



Şekil 5.11 : Fizik model seçim ekranı-5.

5.3 Sonuçların Görüntülenmesi

Analiz sonunda sonuçların çıktısının alınabilmesi için çeşitli son işlemler (post processing) yapılmaktadır. Bu çalışmada pervane düzlemi üzerindeki hız dağılımı incelenmek istendiği için, sayısal değer almak istenilen noktalara (8 ayrı çap değerinde 10 derece aralıklarla 0°’den 360°’ye kadar toplamda 288 nokta) “probe” tanımlanmıştır. Burada problemlerin bulunduğu düzlem pervane düzlemi, orijin noktaları da shaftın merkezi olacak şekilde tanımlanmıştır. Daha sonra bu problemlerde okunan değerler Star CCM+ yazılımı tarafında tablo haline dönüştürülmüştür. *.csv uzantılı olarak alınan bu veri dosyaları düzenlenerek polar iz diyagramları çizdirilmiştir. Aşağıdaki şekilde “arbitrary probe” olarak tanımladığımız noktalar gösterilmektedir.



Şekil 5.12 : Veri alma amacıyla tanımlanmış problemler.

Tanımlanan bu problemlerden istenilen verileri sayısal olarak almak mümkündür. Bu noktalardaki mutlak basınç, toplam basınç, statik basınç, alan, ısı akısı, hücre en-boy oranı, yoğunluk, viskozite değerleri, akış yönü, debi, sıcaklık, türbülans kinetik enerjisi, eksenel hız, hız büyüklüğü ve hızın i, j, k bileşenleri, kuvvet katsayıları ve hesaplanmak istenen birçok değer yazılım tarafından kullanıcıya sunulabilmektedir. Bu çalışmada pervane düzlemine gelen hız incelendiği için hız ile ilgili veriler alınmıştır. Bu veriler hızın büyüklüğü ve hız vektörel bir büyüklük olduğu için i, j ve k bileşenleridir.

İz ölçüm deneyinde pervane düzlemine gelen eksenel hızlar ölçülmüştür. HAD sonuçlarıyla da karşılaştırılırken eksenel hız (i bileşeni) kullanılmıştır. Her açı değerinde her yarıçapa karşılık gelen hız bileşenleri ve hızın büyüklüğü örnek olması açısından Çizelge 5.4'te verilmiştir. Çizelgedeki değerler çift pervaneli modele ait 6 nolu analize ait sonuçlardır.

Çizelge 5.4 : Hızın büyüklüğü ve i,j,k bileşenleri (r/R=0.373, 0.493 için).

Açı (°)	Hız (m/s)	i	j	k	Hız (m/s)	i	j	k
0	1.067	-1.043	0.138	0.180	1.040	-1.009	0.138	0.212
10	1.093	-1.067	0.136	0.194	1.064	-1.035	0.129	0.211
20	1.099	-1.073	0.129	0.198	1.072	-1.045	0.119	0.211
30	1.114	-1.089	0.121	0.202	1.092	-1.066	0.109	0.210
40	1.133	-1.108	0.112	0.206	1.121	-1.096	0.102	0.209
50	1.149	-1.125	0.106	0.208	1.146	-1.123	0.098	0.207
60	1.171	-1.148	0.099	0.208	1.177	-1.155	0.094	0.205
70	1.193	-1.171	0.093	0.207	1.203	-1.182	0.091	0.203
80	1.211	-1.190	0.088	0.206	1.225	-1.206	0.088	0.200
90	1.229	-1.209	0.084	0.204	1.252	-1.233	0.084	0.197
100	1.242	-1.223	0.081	0.201	1.266	-1.249	0.081	0.195
110	1.256	-1.237	0.080	0.198	1.284	-1.267	0.078	0.192
120	1.260	-1.242	0.081	0.197	1.293	-1.276	0.076	0.190
130	1.264	-1.246	0.084	0.195	1.296	-1.280	0.075	0.188
140	1.264	-1.246	0.089	0.195	1.294	-1.278	0.078	0.187
150	1.262	-1.243	0.100	0.195	1.287	-1.271	0.086	0.187
160	1.259	-1.238	0.116	0.197	1.280	-1.262	0.102	0.188
170	1.261	-1.238	0.135	0.199	1.277	-1.256	0.124	0.191
180	1.272	-1.246	0.161	0.203	1.284	-1.260	0.156	0.196
190	1.283	-1.253	0.180	0.208	1.302	-1.274	0.179	0.201
200	1.304	-1.270	0.199	0.215	1.331	-1.300	0.196	0.208
210	1.320	-1.285	0.206	0.221	1.352	-1.319	0.201	0.216
220	1.332	-1.296	0.209	0.228	1.367	-1.333	0.199	0.225
230	1.337	-1.300	0.209	0.234	1.373	-1.340	0.194	0.233
240	1.337	-1.299	0.206	0.244	1.374	-1.340	0.187	0.242
250	1.336	-1.296	0.199	0.253	1.368	-1.333	0.179	0.249
260	1.319	-1.278	0.193	0.264	1.353	-1.317	0.172	0.256
270	1.311	-1.270	0.181	0.269	1.336	-1.300	0.167	0.259
280	1.287	-1.247	0.166	0.272	1.312	-1.276	0.160	0.258
290	1.270	-1.233	0.156	0.263	1.286	-1.251	0.158	0.254
300	1.241	-1.207	0.145	0.249	1.252	-1.218	0.158	0.245
310	1.189	-1.161	0.136	0.221	1.179	-1.148	0.157	0.220
320	1.065	-1.043	0.113	0.179	0.952	-0.932	0.122	0.150
330	0.814	-0.801	0.078	0.127	0.799	-0.788	0.091	0.097
340	0.735	-0.720	0.074	0.130	0.809	-0.790	0.103	0.138
350	0.865	-0.843	0.103	0.163	0.865	-0.834	0.116	0.195
r/R		0.373				0.493		

Çizelge 5.5 : Hızın büyüklüğü ve i,j,k bileşenleri ($r/R=0.612, 0.731$ için).

Açı (°)	Hız (m/s)	i	j	k	Hız (m/s)	i	j	k
0	1.020	-0.983	0.149	0.230	0.989	-0.946	0.161	0.242
10	1.027	-0.993	0.132	0.227	0.990	-0.952	0.140	0.235
20	1.044	-1.014	0.117	0.221	1.018	-0.985	0.120	0.228
30	1.073	-1.046	0.106	0.217	1.058	-1.028	0.111	0.222
40	1.109	-1.084	0.102	0.212	1.098	-1.071	0.108	0.216
50	1.143	-1.120	0.099	0.208	1.139	-1.115	0.107	0.209
60	1.176	-1.154	0.098	0.204	1.175	-1.152	0.107	0.203
70	1.211	-1.190	0.095	0.199	1.211	-1.190	0.104	0.197
80	1.237	-1.218	0.092	0.196	1.248	-1.229	0.100	0.190
90	1.268	-1.250	0.089	0.191	1.281	-1.263	0.095	0.186
100	1.288	-1.271	0.084	0.189	1.311	-1.296	0.091	0.182
110	1.310	-1.294	0.080	0.185	1.331	-1.316	0.086	0.179
120	1.322	-1.307	0.077	0.182	1.344	-1.330	0.080	0.176
130	1.325	-1.311	0.073	0.180	1.349	-1.336	0.075	0.173
140	1.321	-1.307	0.072	0.179	1.344	-1.332	0.070	0.170
150	1.313	-1.298	0.075	0.177	1.334	-1.321	0.070	0.167
160	1.296	-1.281	0.089	0.178	1.315	-1.303	0.077	0.165
170	1.287	-1.269	0.113	0.180	1.296	-1.281	0.103	0.168
180	1.294	-1.272	0.150	0.185	1.300	-1.281	0.144	0.173
190	1.321	-1.294	0.181	0.193	1.332	-1.307	0.178	0.183
200	1.350	-1.321	0.193	0.201	1.365	-1.339	0.187	0.193
210	1.374	-1.344	0.194	0.212	1.392	-1.364	0.184	0.205
220	1.392	-1.361	0.187	0.221	1.408	-1.381	0.173	0.217
230	1.399	-1.368	0.179	0.230	1.415	-1.387	0.163	0.228
240	1.397	-1.365	0.171	0.239	1.414	-1.385	0.154	0.238
250	1.391	-1.359	0.162	0.246	1.406	-1.377	0.147	0.245
260	1.374	-1.341	0.157	0.252	1.391	-1.361	0.143	0.250
270	1.356	-1.323	0.151	0.255	1.368	-1.337	0.138	0.254
280	1.326	-1.293	0.150	0.256	1.336	-1.304	0.137	0.257
290	1.298	-1.264	0.150	0.255	1.300	-1.267	0.137	0.258
300	1.253	-1.218	0.156	0.250	1.262	-1.227	0.143	0.259
310	1.183	-1.148	0.160	0.237	1.206	-1.170	0.148	0.255
320	0.957	-0.934	0.128	0.162	1.033	-1.006	0.121	0.203
330	0.866	-0.855	0.106	0.094	0.907	-0.894	0.105	0.118
340	0.909	-0.886	0.139	0.150	0.934	-0.908	0.148	0.158
350	0.881	-0.848	0.137	0.195	0.869	-0.836	0.143	0.193
r/R		0.612				0.731		

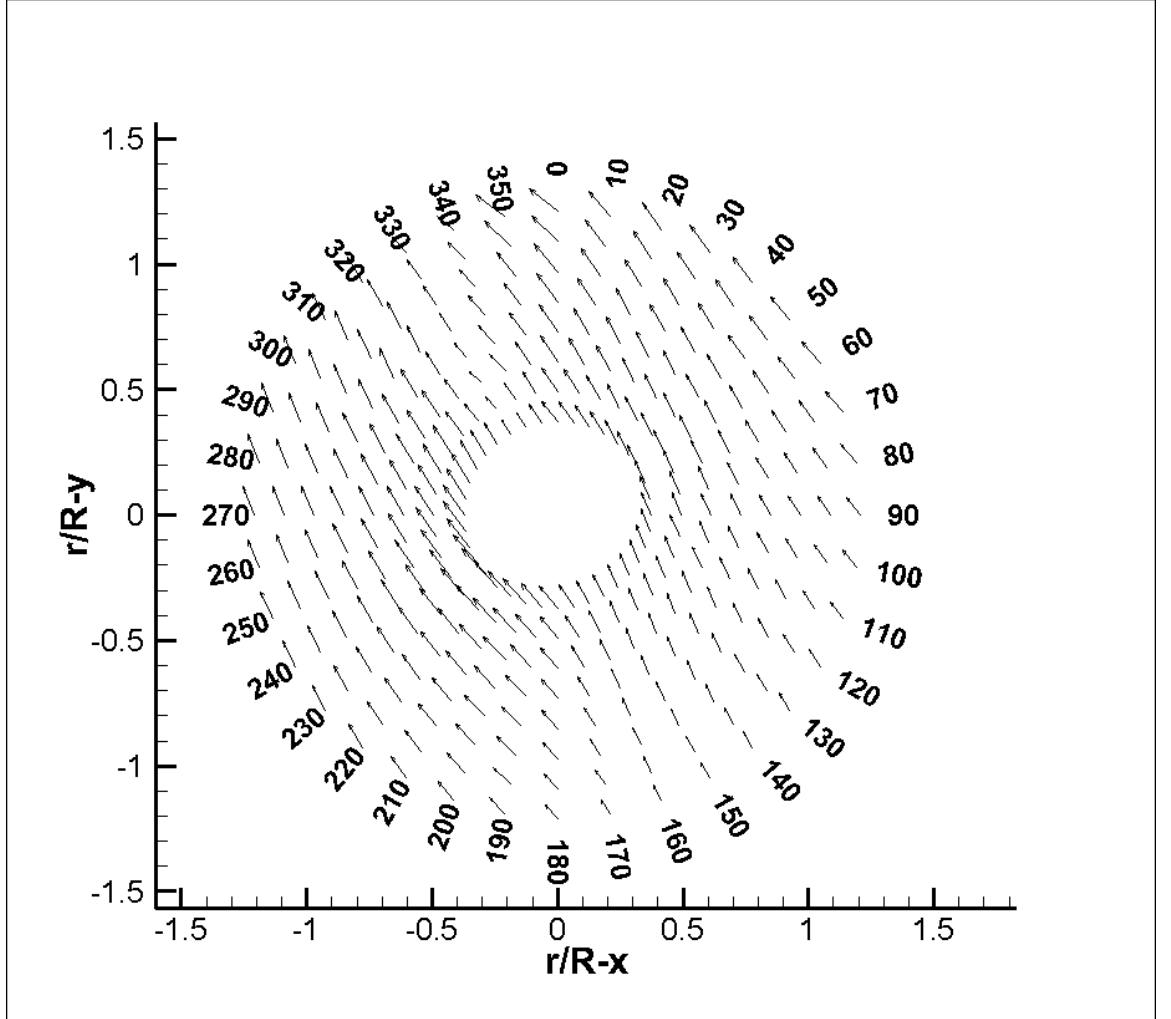
Çizelge 5.6 : Hızın büyüklüğü ve i,j,k bileşenleri (r/R=0.851, 0.970 için).

Açı (°)	Hız (m/s)	i	j	k	Hız (m/s)	i	j	k
0	0.942	-0.890	0.182	0.250	0.894	-0.834	0.208	0.247
10	0.951	-0.908	0.152	0.239	0.913	-0.865	0.167	0.239
20	0.991	-0.955	0.130	0.232	0.971	-0.931	0.142	0.236
30	1.040	-1.007	0.123	0.227	1.034	-0.998	0.136	0.232
40	1.089	-1.060	0.120	0.219	1.087	-1.055	0.137	0.224
50	1.132	-1.106	0.122	0.211	1.139	-1.111	0.136	0.211
60	1.176	-1.153	0.119	0.201	1.179	-1.154	0.133	0.200
70	1.214	-1.193	0.115	0.193	1.218	-1.196	0.127	0.189
80	1.253	-1.234	0.109	0.186	1.258	-1.239	0.119	0.181
90	1.291	-1.274	0.104	0.180	1.298	-1.281	0.112	0.174
100	1.324	-1.309	0.098	0.176	1.334	-1.319	0.105	0.170
110	1.348	-1.334	0.092	0.173	1.361	-1.347	0.099	0.167
120	1.366	-1.353	0.086	0.168	1.379	-1.367	0.091	0.163
130	1.369	-1.356	0.079	0.166	1.383	-1.371	0.083	0.159
140	1.363	-1.352	0.072	0.162	1.377	-1.366	0.075	0.156
150	1.351	-1.339	0.068	0.158	1.365	-1.355	0.069	0.151
160	1.331	-1.320	0.071	0.154	1.345	-1.336	0.069	0.145
170	1.307	-1.295	0.094	0.153	1.321	-1.310	0.087	0.139
180	1.307	-1.290	0.137	0.159	1.317	-1.302	0.130	0.145
190	1.342	-1.321	0.171	0.170	1.353	-1.334	0.162	0.159
200	1.378	-1.354	0.178	0.184	1.392	-1.370	0.167	0.180
210	1.407	-1.382	0.170	0.202	1.415	-1.392	0.157	0.198
220	1.419	-1.394	0.159	0.214	1.426	-1.402	0.146	0.212
230	1.425	-1.399	0.148	0.226	1.430	-1.406	0.137	0.224
240	1.424	-1.397	0.141	0.235	1.429	-1.404	0.128	0.235
250	1.416	-1.388	0.134	0.245	1.421	-1.395	0.124	0.244
260	1.402	-1.373	0.129	0.250	1.408	-1.380	0.118	0.251
270	1.376	-1.346	0.126	0.255	1.381	-1.352	0.116	0.255
280	1.342	-1.311	0.123	0.257	1.343	-1.314	0.113	0.258
290	1.301	-1.269	0.124	0.259	1.296	-1.265	0.115	0.259
300	1.259	-1.225	0.130	0.261	1.249	-1.216	0.117	0.260
310	1.209	-1.173	0.132	0.261	1.200	-1.165	0.124	0.258
320	1.103	-1.072	0.119	0.232	1.119	-1.086	0.125	0.238
330	0.939	-0.921	0.105	0.154	0.920	-0.898	0.112	0.164
340	0.906	-0.880	0.142	0.163	0.841	-0.815	0.137	0.151
350	0.842	-0.805	0.146	0.197	0.752	-0.705	0.162	0.205
r/R		0.851				0.970		

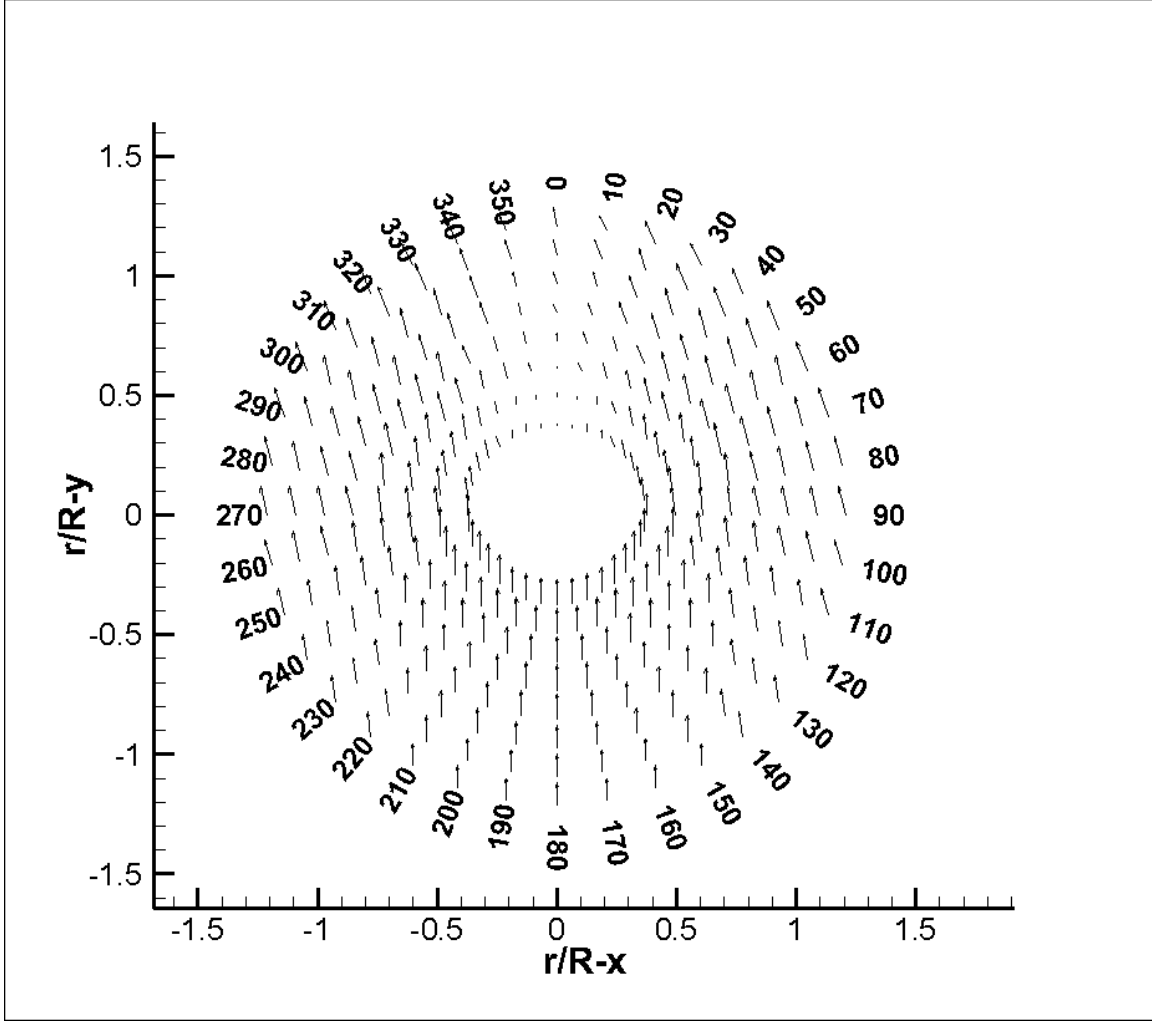
Çizelge 5.7 : Hızın büyüklüğü ve i,j,k bileşenleri (r/R=1.090, 1.209 için).

Açı (°)	Hız (m/s)	i	j	k	Hız (m/s)	i	j	k
0	0.842	-0.776	0.233	0.231	0.784	-0.714	0.252	0.201
10	0.882	-0.831	0.180	0.234	0.853	-0.800	0.191	0.225
20	0.960	-0.917	0.156	0.239	0.959	-0.913	0.168	0.243
30	1.037	-0.998	0.152	0.237	1.046	-1.004	0.169	0.243
40	1.095	-1.060	0.156	0.228	1.119	-1.081	0.176	0.229
50	1.149	-1.118	0.157	0.212	1.172	-1.140	0.175	0.210
60	1.188	-1.162	0.148	0.198	1.210	-1.183	0.166	0.193
70	1.228	-1.206	0.140	0.184	1.246	-1.224	0.153	0.179
80	1.265	-1.246	0.129	0.176	1.280	-1.261	0.140	0.169
90	1.305	-1.288	0.120	0.169	1.316	-1.300	0.128	0.163
100	1.343	-1.328	0.111	0.164	1.352	-1.338	0.118	0.158
110	1.374	-1.360	0.104	0.160	1.382	-1.369	0.109	0.155
120	1.389	-1.377	0.095	0.157	1.397	-1.385	0.100	0.152
130	1.394	-1.382	0.088	0.153	1.401	-1.390	0.092	0.148
140	1.388	-1.378	0.079	0.150	1.398	-1.388	0.083	0.144
150	1.378	-1.369	0.071	0.143	1.389	-1.380	0.075	0.138
160	1.360	-1.352	0.069	0.136	1.375	-1.367	0.072	0.130
170	1.338	-1.329	0.084	0.127	1.357	-1.349	0.083	0.121
180	1.334	-1.323	0.122	0.130	1.356	-1.345	0.114	0.122
190	1.366	-1.350	0.151	0.149	1.381	-1.367	0.139	0.144
200	1.401	-1.381	0.153	0.174	1.408	-1.391	0.138	0.170
210	1.420	-1.399	0.142	0.193	1.423	-1.405	0.128	0.190
220	1.429	-1.407	0.132	0.209	1.430	-1.410	0.119	0.207
230	1.433	-1.410	0.124	0.223	1.434	-1.412	0.112	0.221
240	1.432	-1.408	0.117	0.234	1.433	-1.410	0.107	0.234
250	1.426	-1.401	0.113	0.243	1.428	-1.403	0.104	0.244
260	1.412	-1.385	0.109	0.251	1.414	-1.388	0.101	0.252
270	1.384	-1.356	0.106	0.256	1.386	-1.359	0.098	0.256
280	1.343	-1.314	0.103	0.258	1.341	-1.312	0.095	0.258
290	1.289	-1.259	0.104	0.258	1.280	-1.250	0.096	0.257
300	1.232	-1.200	0.109	0.256	1.202	-1.171	0.101	0.252
310	1.164	-1.130	0.118	0.251	1.123	-1.090	0.115	0.244
320	1.088	-1.055	0.131	0.235	1.034	-0.999	0.140	0.227
330	0.862	-0.839	0.120	0.160	0.735	-0.711	0.125	0.137
340	0.761	-0.734	0.145	0.137	0.667	-0.638	0.154	0.120
350	0.696	-0.619	0.226	0.223	0.682	-0.598	0.265	0.193
r/R		1.090				1.209		

Yukarıda çift pervaneli durumda 6 nolu analizden elde edilen hız bileşenleri çizelge halinde verilmiştir. Bunun yanında bu hız bileşenleri vektörel olarak polar diyagram üzerinde Şekil 5.13'te gösterilmiştir. Tek pervaneli durum için de 3 nolu analizden elde edilen hız değerleri vektörel olarak çizilmiştir ve Şekil 5.14'te görülebilmektedir.



Şekil 5.13 : Çift pervaneli modelde hızın vektörel gösterimi.



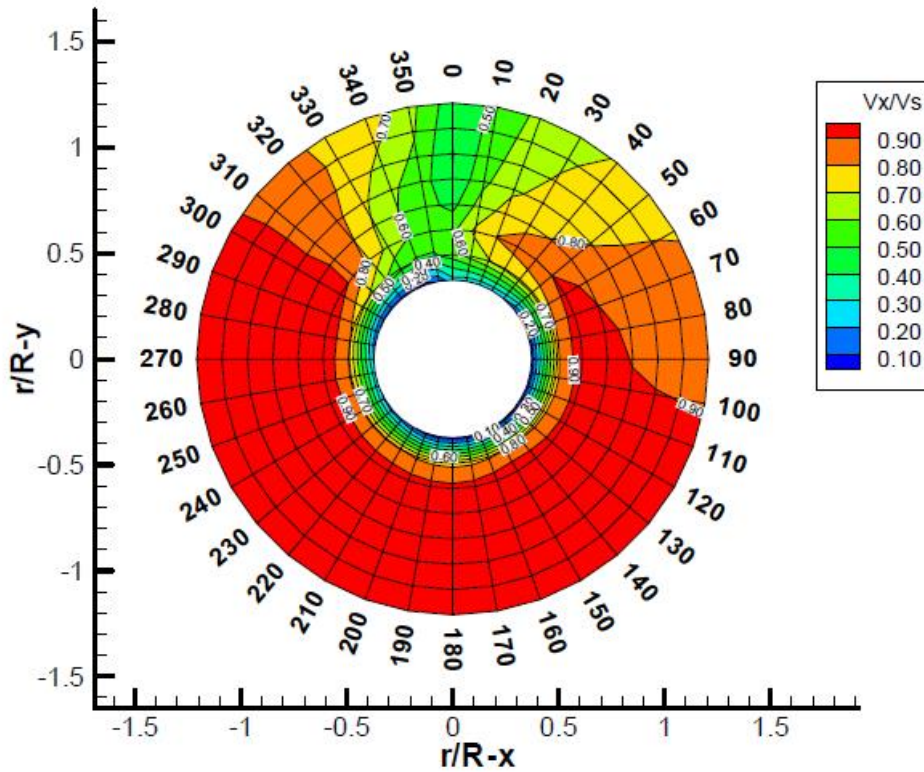
Şekil 5.14 : Tek pervaneli modelde hızın vektörel gösterimi.

6. DENEY VE HESAPLAMALI AKIŞKANLAR DİNAMİĞİ SONUÇLARI VE ANALİZLERİ

Bu bölümde, iz ölçümü deneyinden ve HAD analizlerinden elde edilen sonuçlar verilecektir.

6.1 Deney Sonuçları

Deneyin yapılışı Bölüm 3.4.3’de anlatılmış ve pervane düzlemindeki belirli çaplarda 10 derecelik aralıklarla belirlenmiş noktalarda eksenel hızın gemi hızına oranı Çizelge 3.2’de verilmiştir. Burada iz dağılımı polar diyagram üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 6.1 : Pervane düzlemi üzerindeki iz dağılımı.

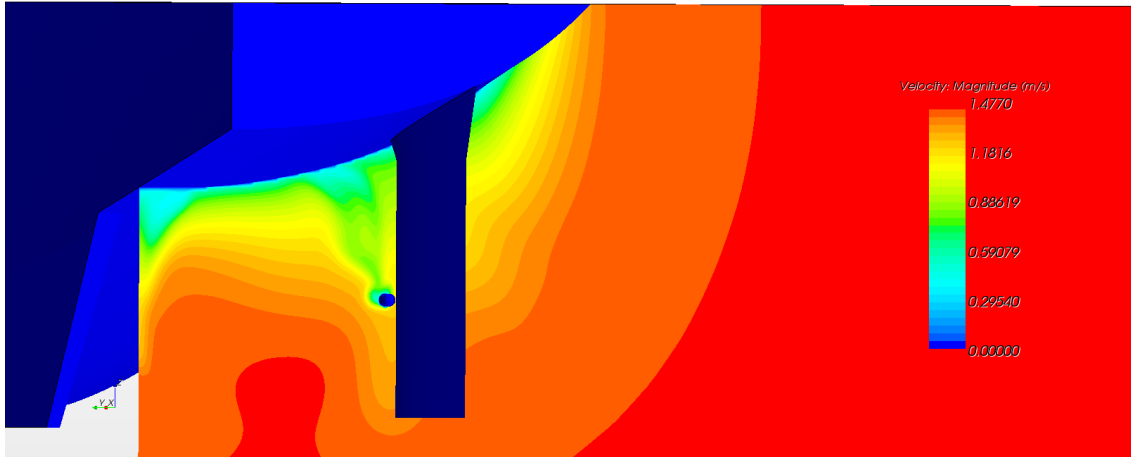
6.2 Çift Pervaneli Durum İçin HAD Sonuçları

Mesh sayısına göre numaralandırdığımız 7 durum için hesaplanmış deney sonucuna göre yüzde olarak fark değerleri Çizelge 6.1’de verilmiştir.

Çizelge 6.1 : Çift pervaneli durumda deney sonucuna göre % olarak fark değerleri.

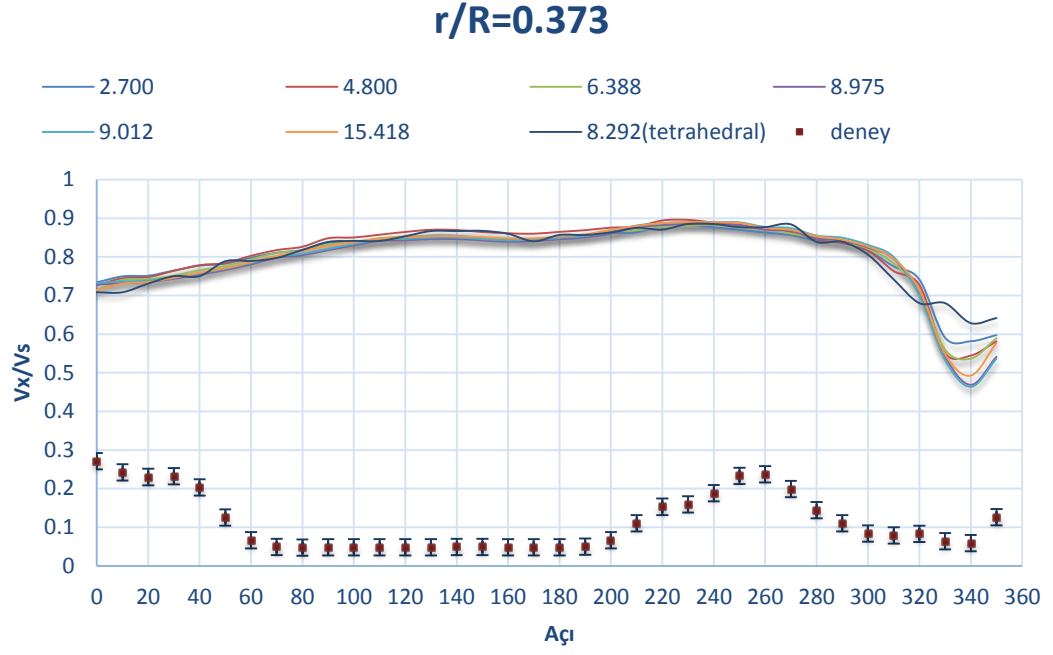
Durum No	Mesh Sayısı ($\times 10^3$)	Fark(%)
1	2.700	1.801
2	4.800	2.678
3	6.388	2.312
4	8.975	2.252
5	9.012	2.159
6	15.418	2.408
7	8.29(tetrahedral)	2.385

Pervane düzlemindeki hız dağılımları çift pervaneli durum için benzer çıkmaktadır. Aşağıda örnek olarak 2. durum için elde edilen hız dağılımı gösterilmiştir.

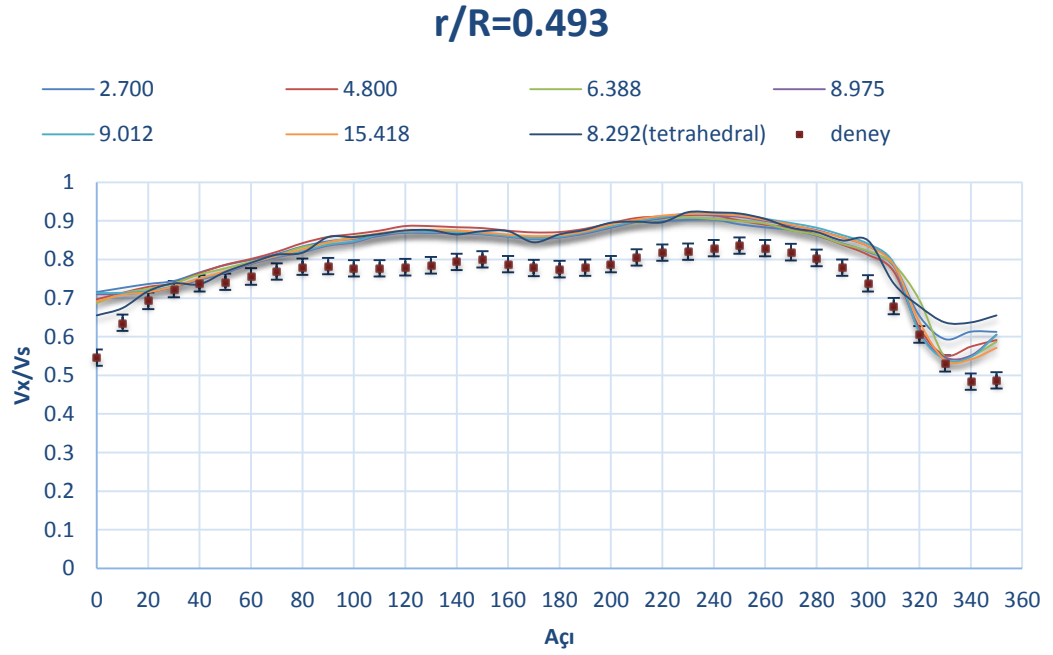


Şekil 6.2 : Pervane düzlemindeki nominal iz.

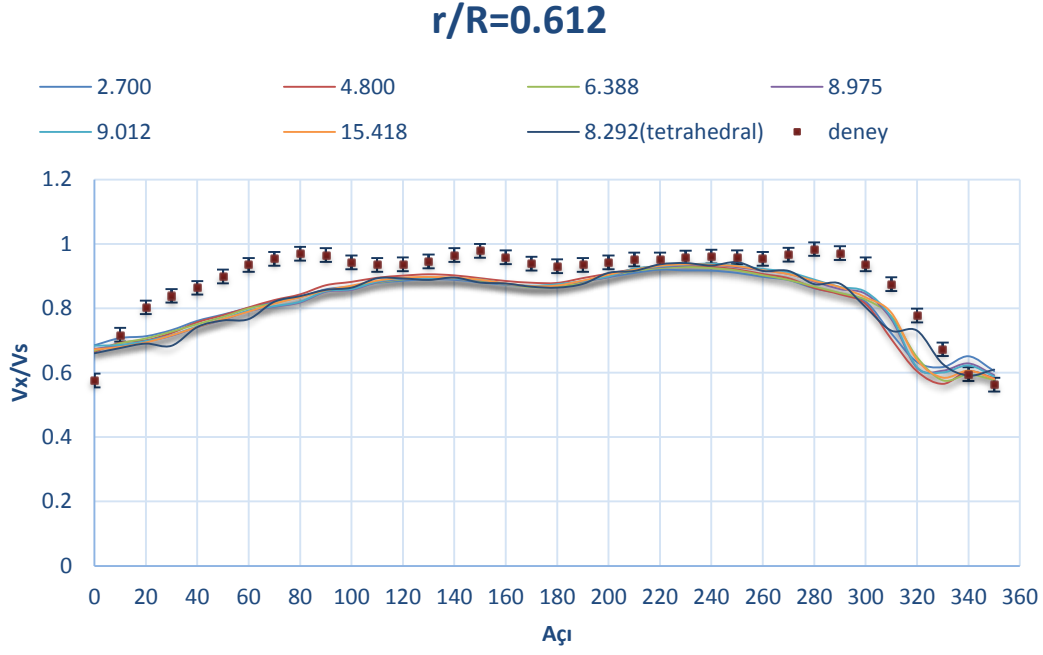
Aşağıda analizlerin her yarıçap değeri için deney sonuçlarıyla karşılaştırmalı olarak grafikleri verilmiştir.



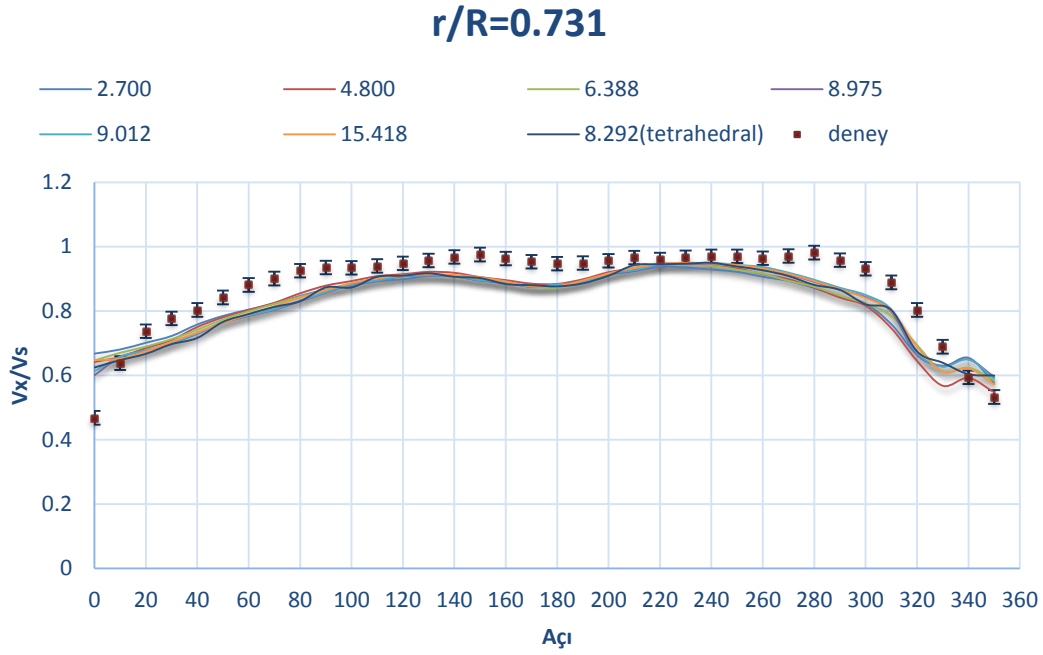
Şekil 6.3 : $r/R=0.373$ için sonuçlar.



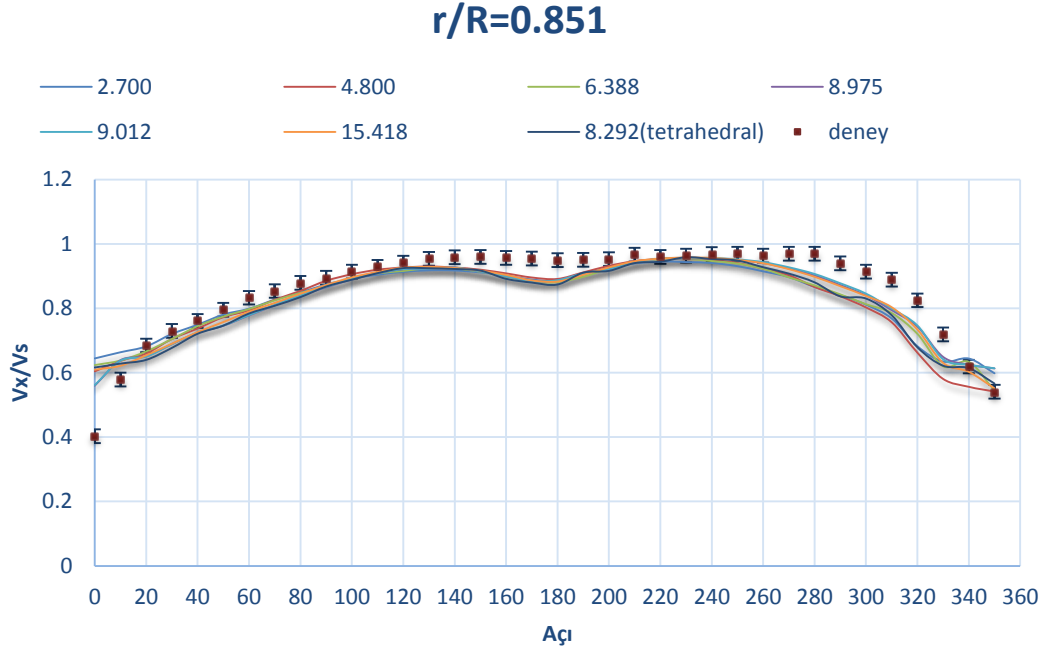
Şekil 6.4 : $r/R=0.493$ için sonuçlar.



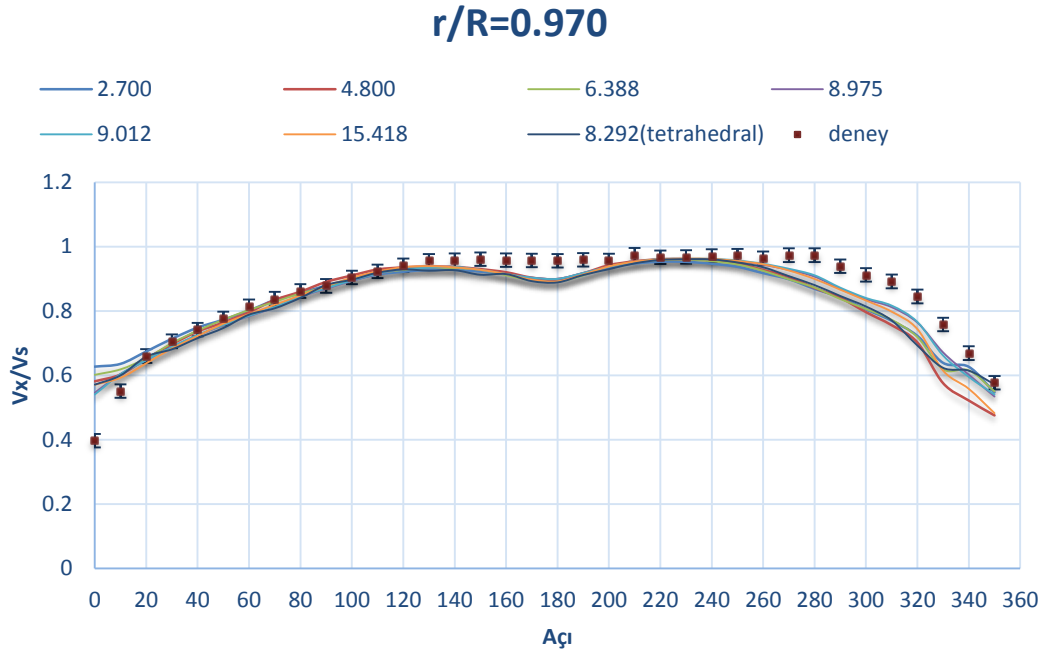
Şekil 6.5 : $r/R= 0.612$ için sonuçlar.



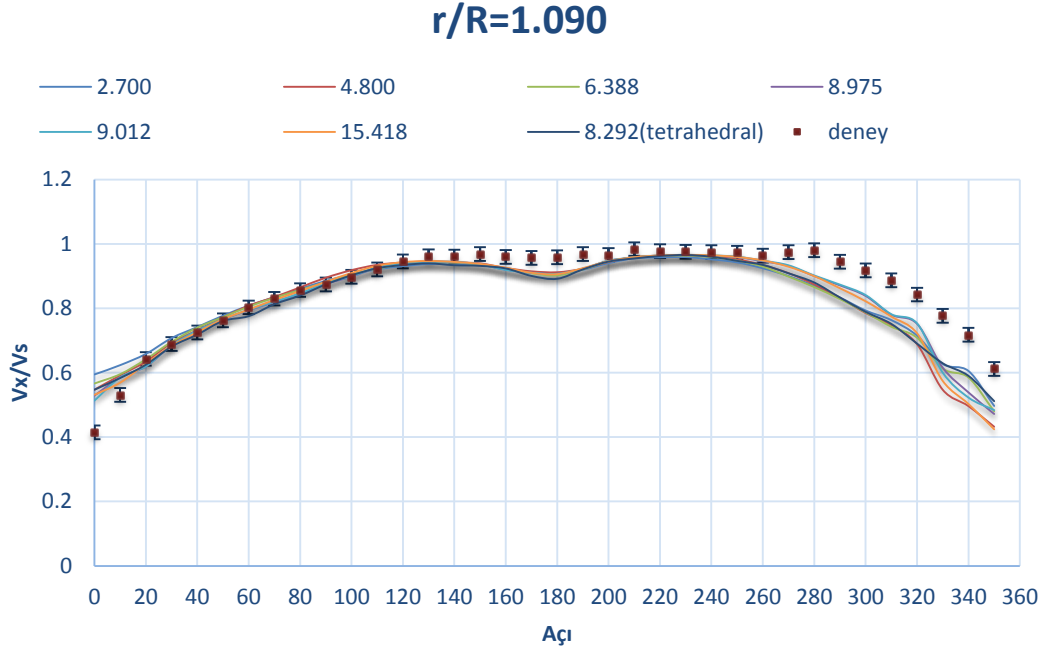
Şekil 6.6 : $r/R= 0.731$ için sonuçlar.



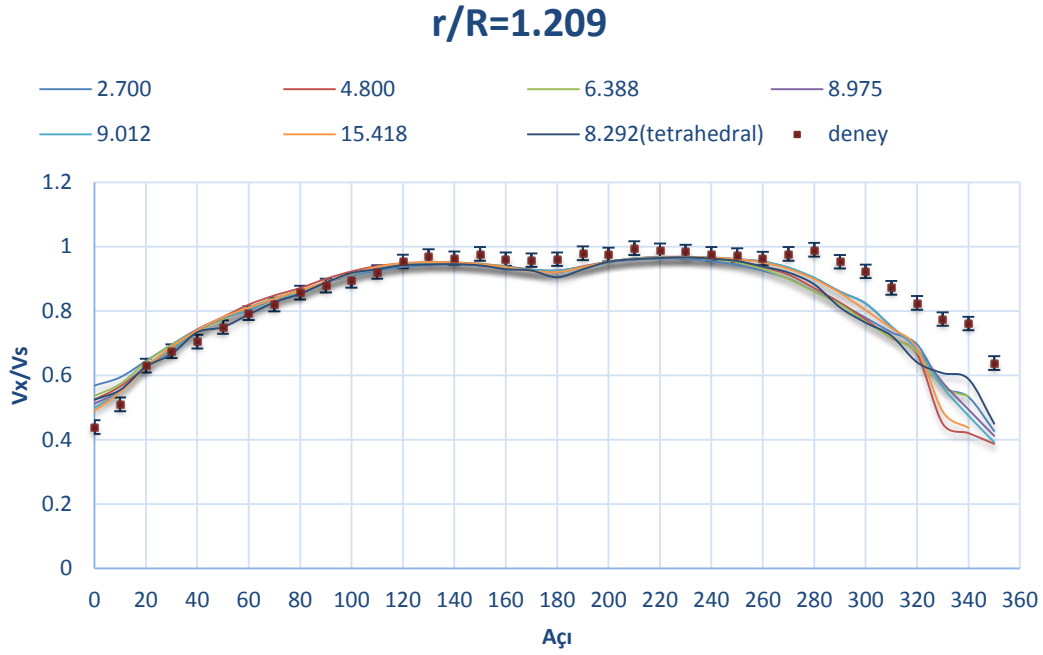
Şekil 6.7 : $r/R= 0.851$ için sonuçlar.



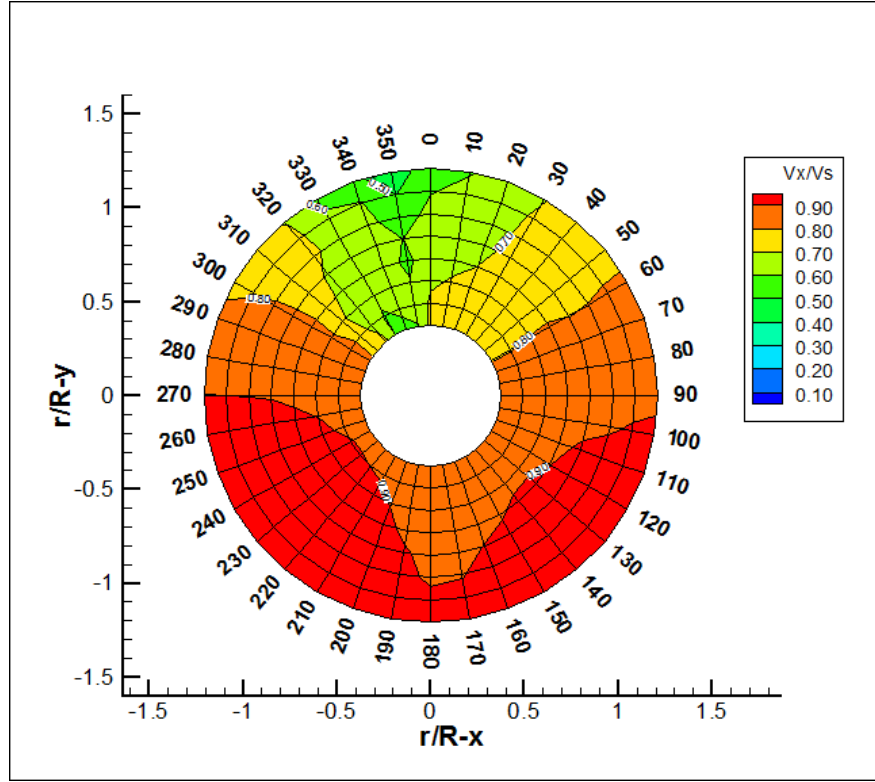
Şekil 6.8 : $r/R= 0.970$ için sonuçlar.



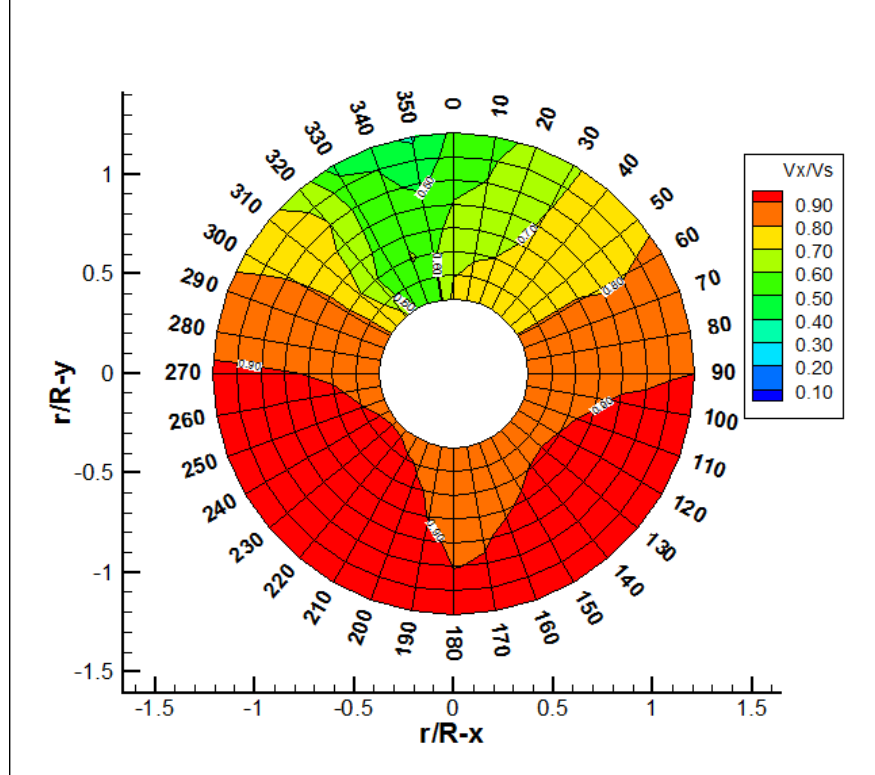
Şekil 6.9 : $r/R= 1.090$ için sonuçlar.



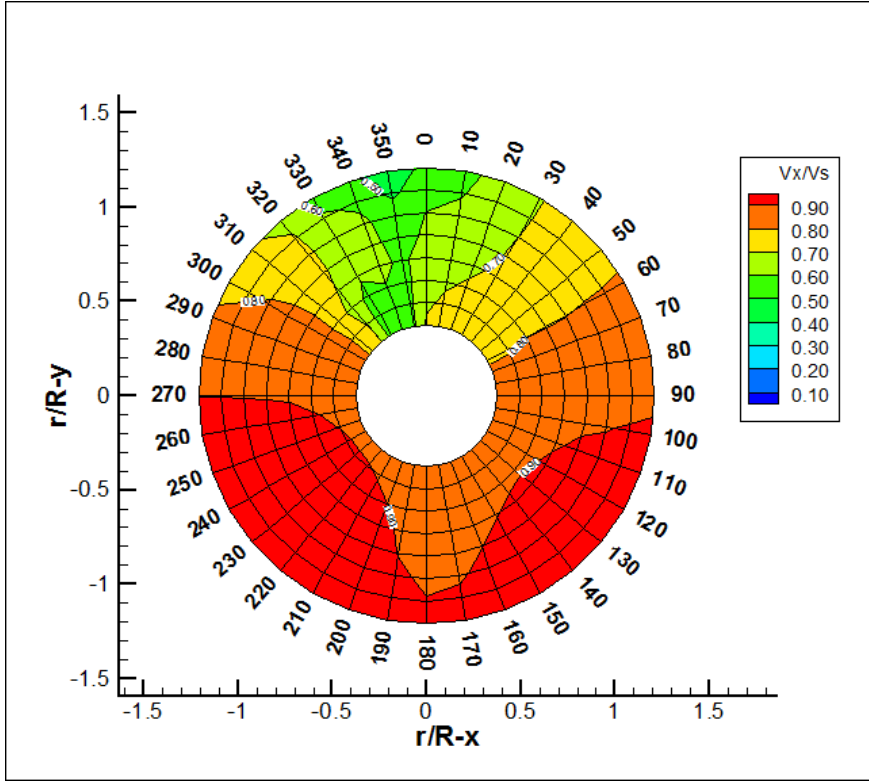
Şekil 6.10 : $r/R= 1.209$ için sonuçlar.



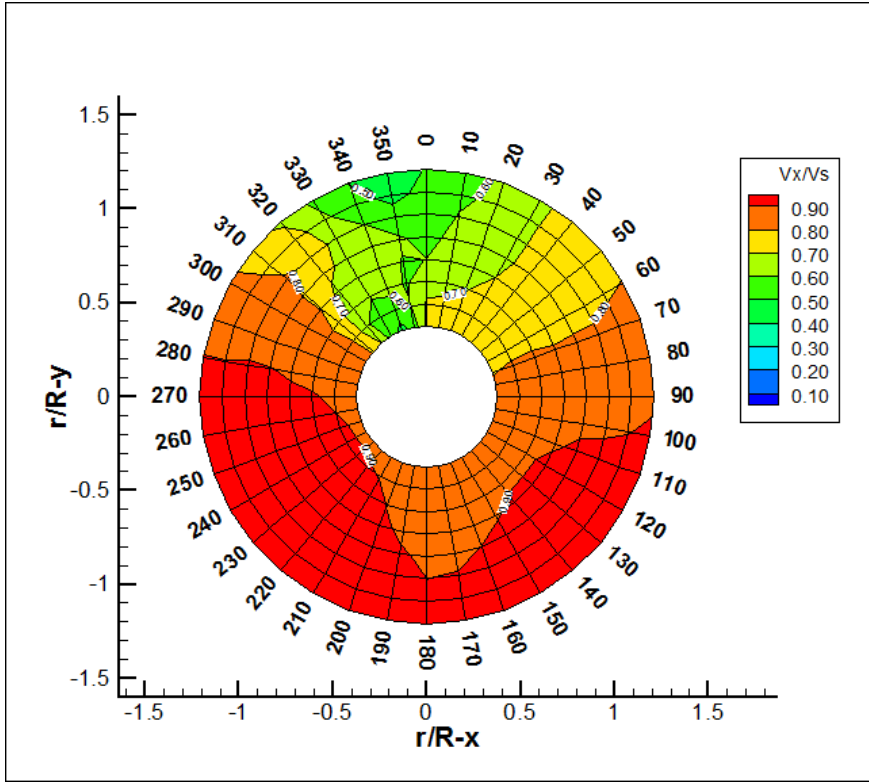
Şekil 6.11 : 1. Analiz.



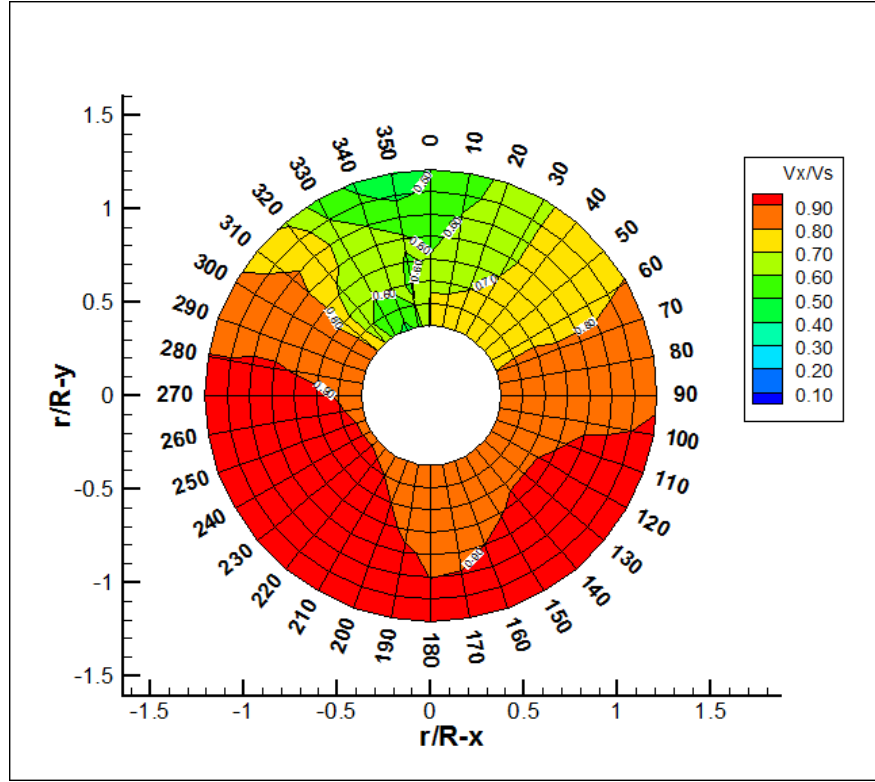
Şekil 6.12 : 2. Analiz.



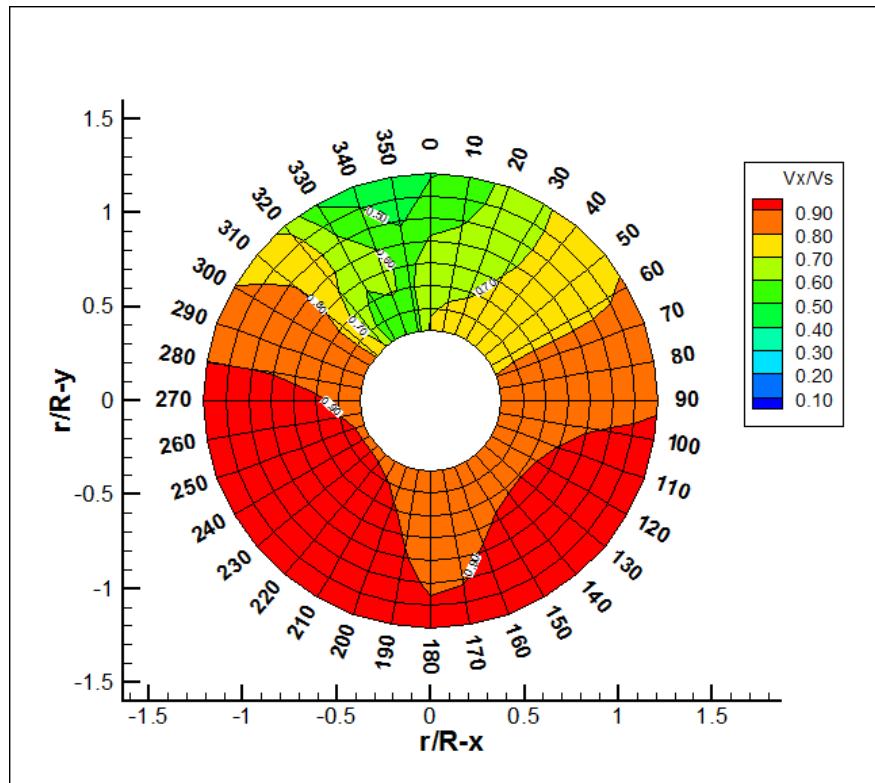
Şekil 6.13 : 3. Analiz.



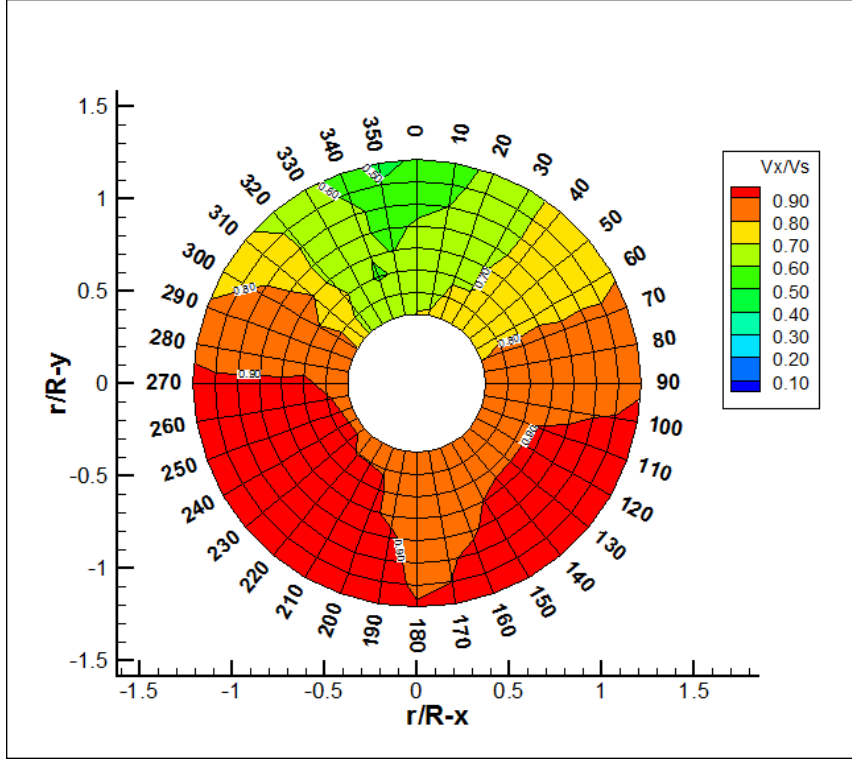
Şekil 6.14 : 4. Analiz.



Şekil 6.15 : 5. Analiz.



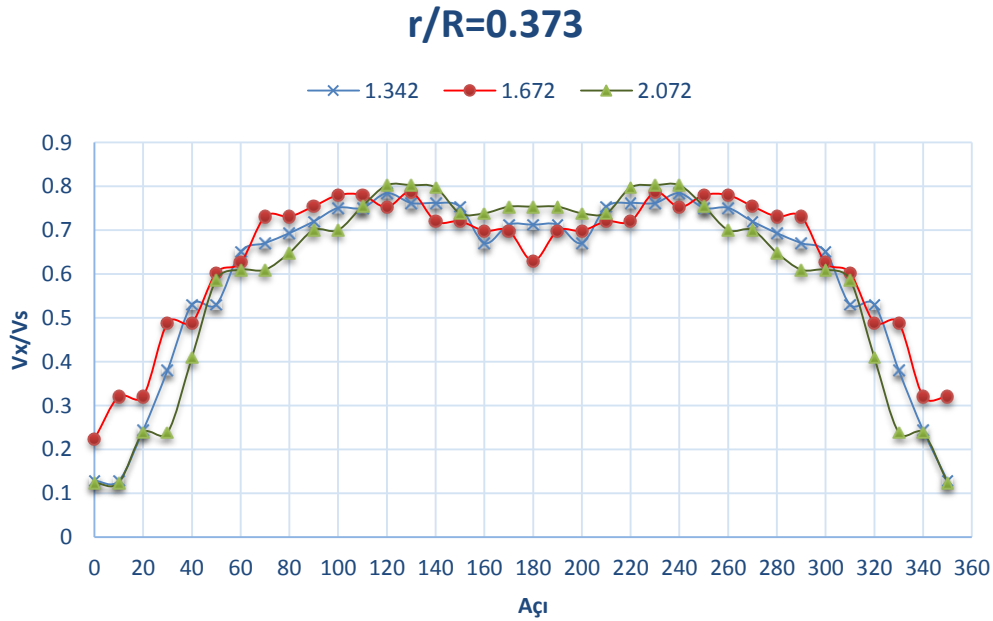
Şekil 6.16 : 6. Analiz.



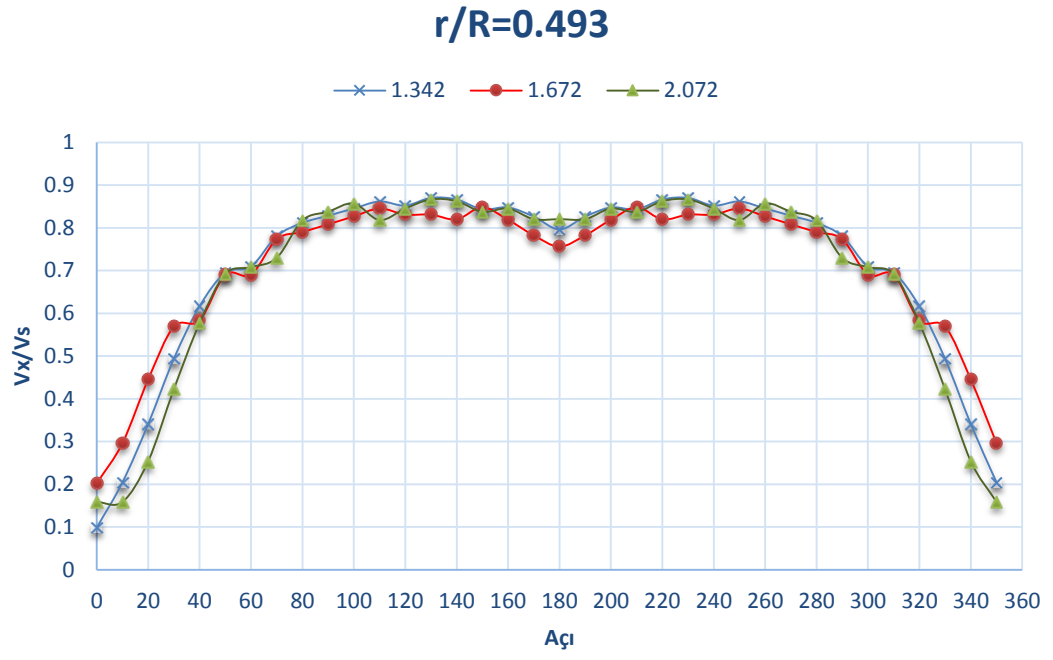
Şekil 6.17 : 7. Analiz.

6.3 Tek Pervaneli Durum İçin HAD Sonuçları

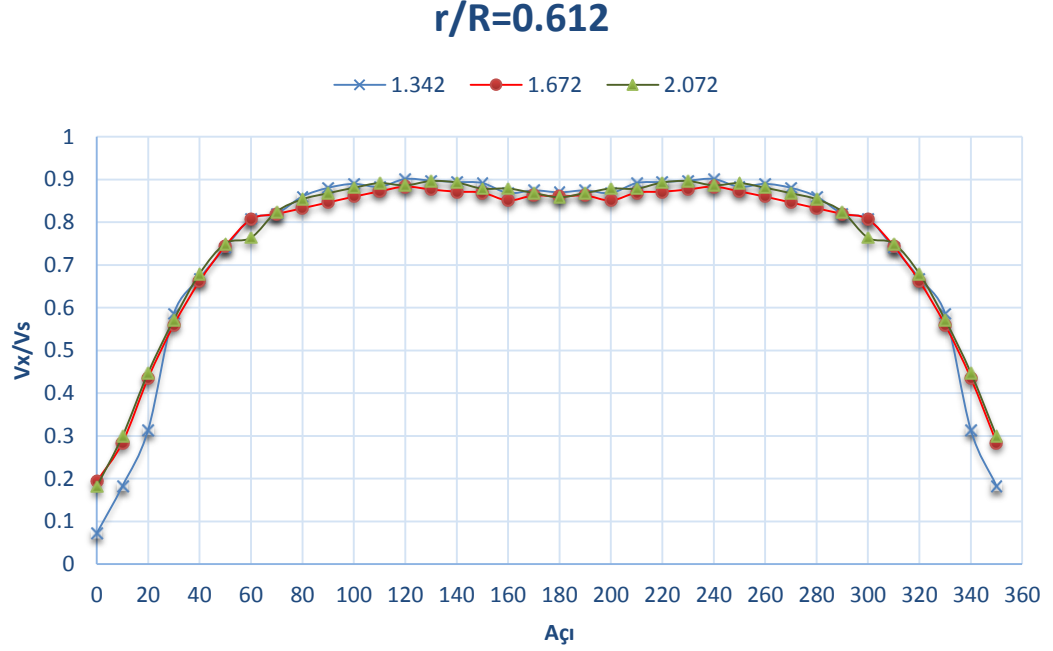
Tek pervaneli durum için deneysel veri bulunmadığından deney sonuçlarıyla arasındaki fark hesaplanmamıştır. Aşağıdaki grafiklerde ise analizlerin her yarı çap değerine göre sonuçları karşılaştırmalı olarak verilmiştir.



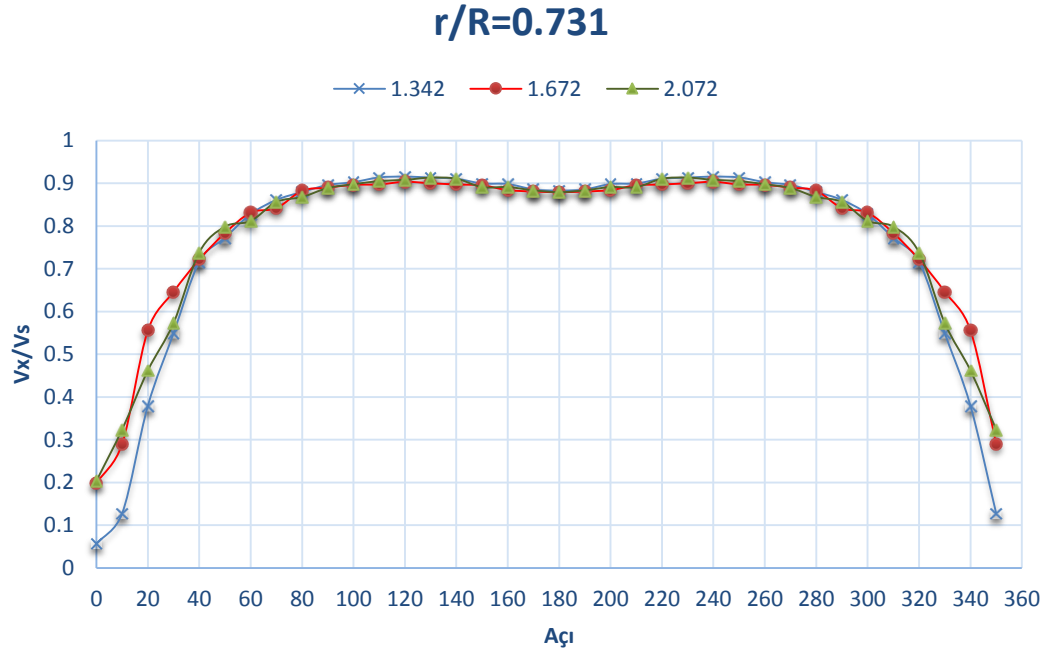
Şekil 6.18 : $r/R= 0.373$ için sonuçlar.



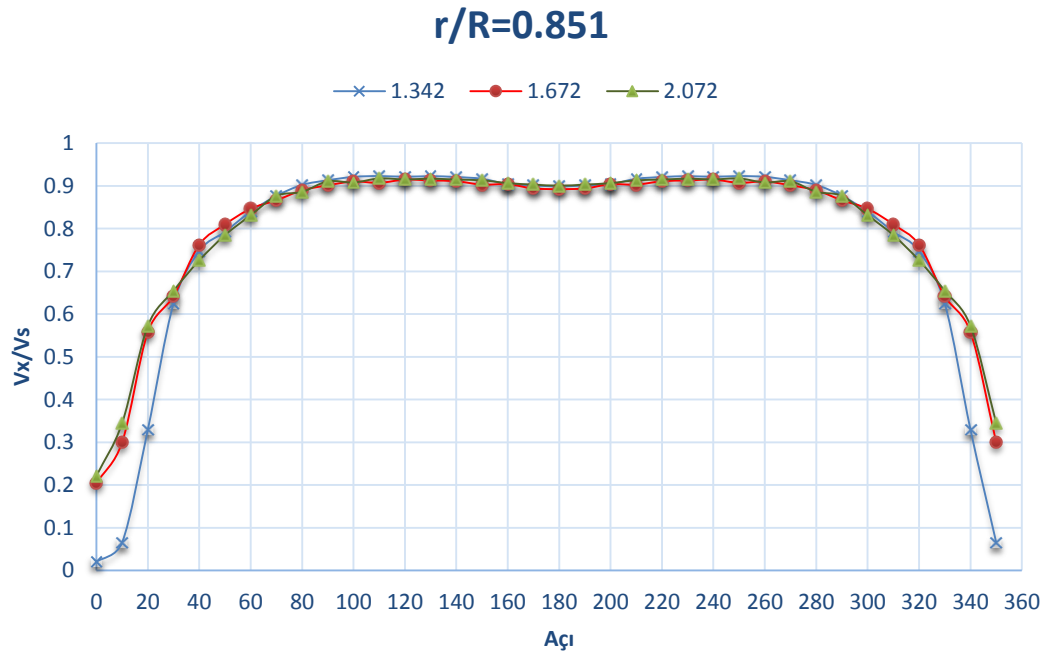
Şekil 6.19 : $r/R= 0.493$ için sonuçlar.



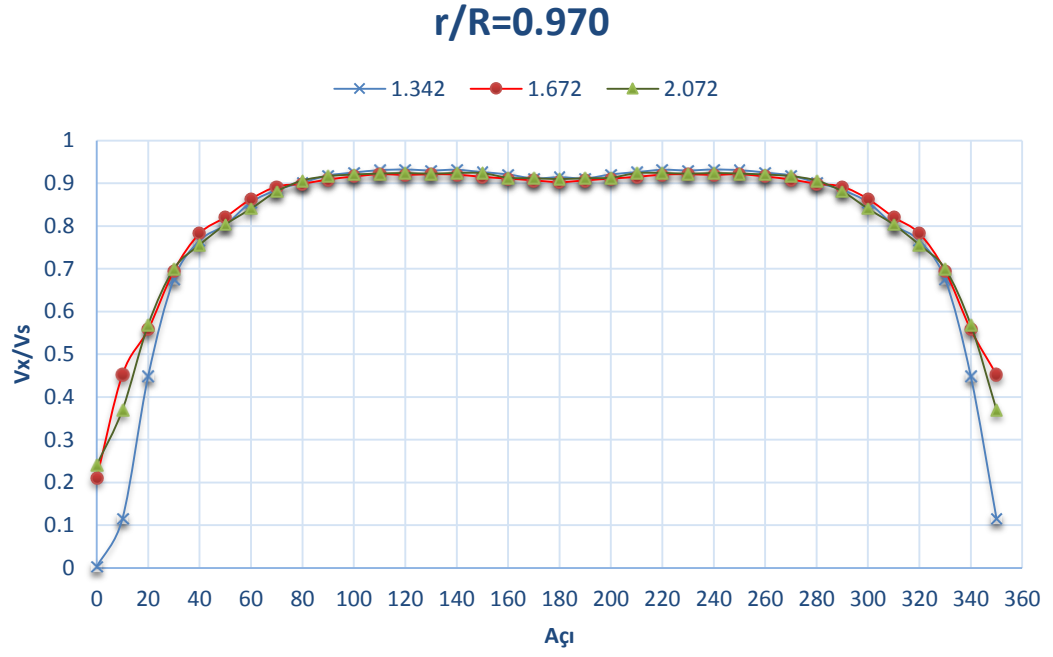
Şekil 6.20 : $r/R= 0.612$ için sonuçlar.



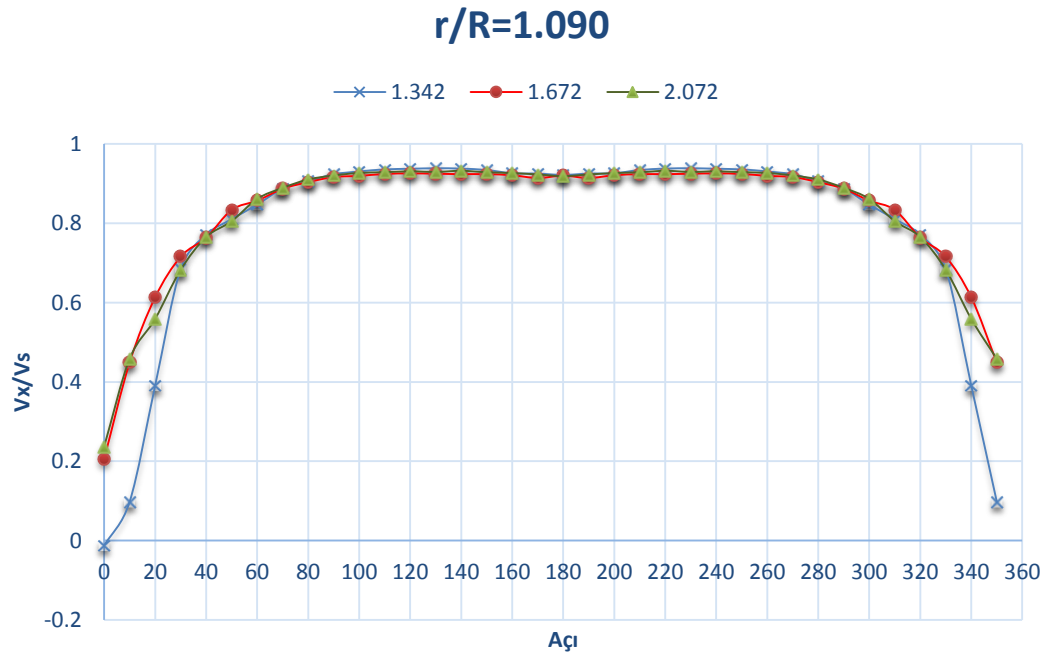
Şekil 6.21 : $r/R= 0.731$ için sonuçlar.



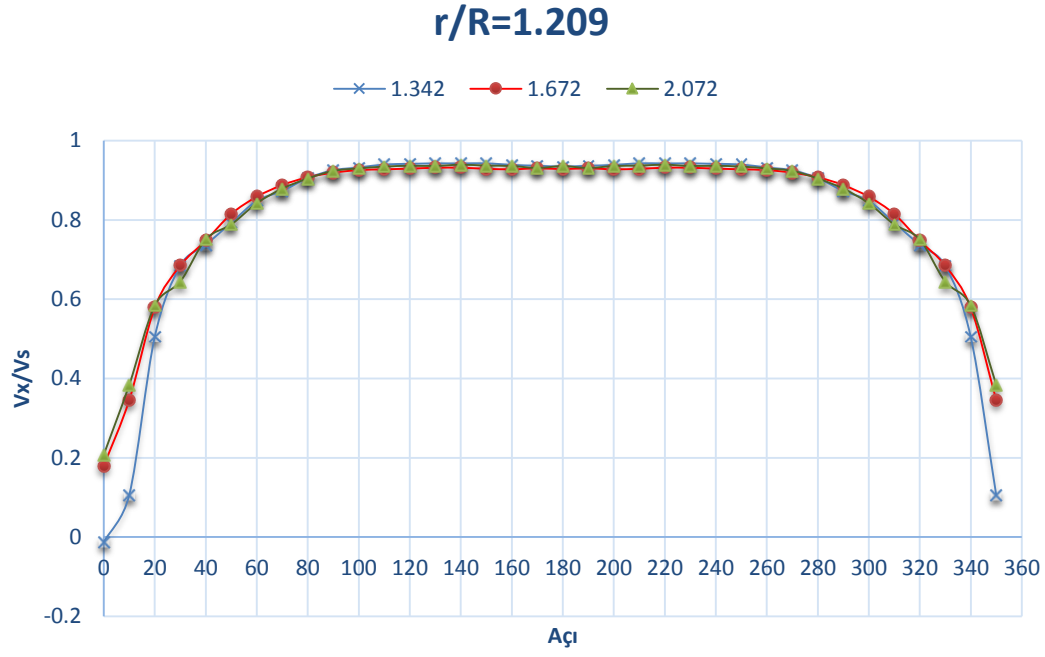
Şekil 6.22 : $r/R= 0.851$ için sonuçlar.



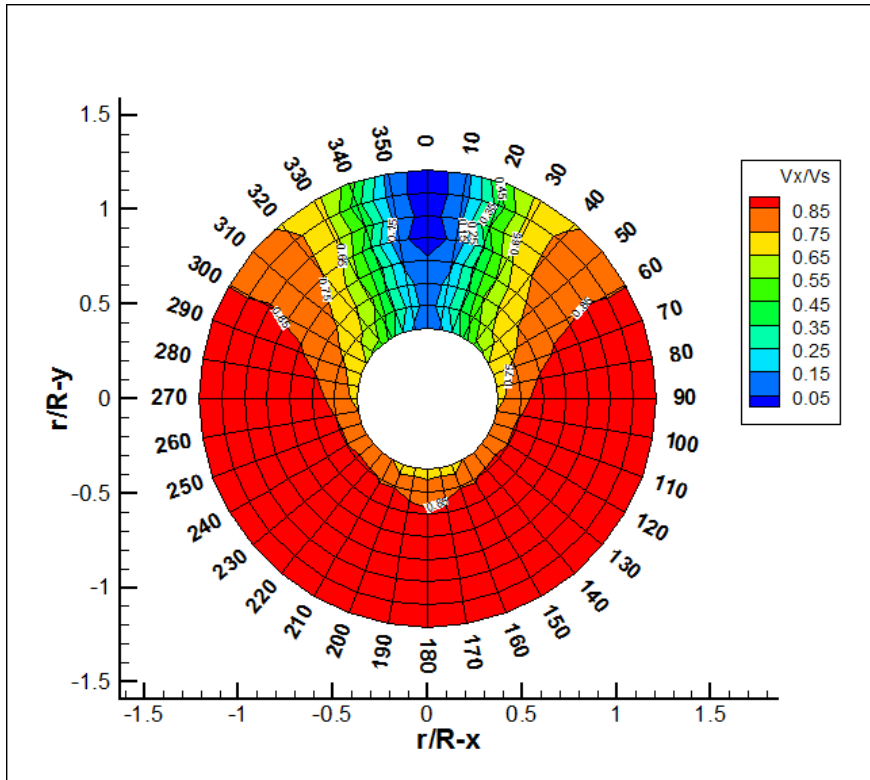
Şekil 6.23 : $r/R= 0.970$ için sonuçlar.



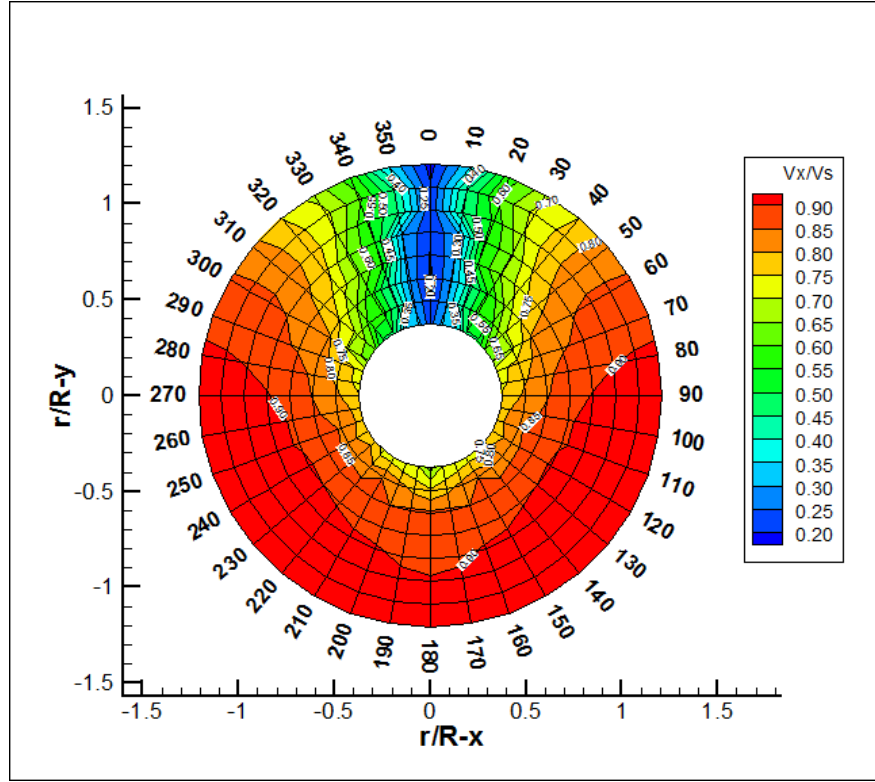
Şekil 6.24 : $r/R= 1.090$ için sonuçlar.



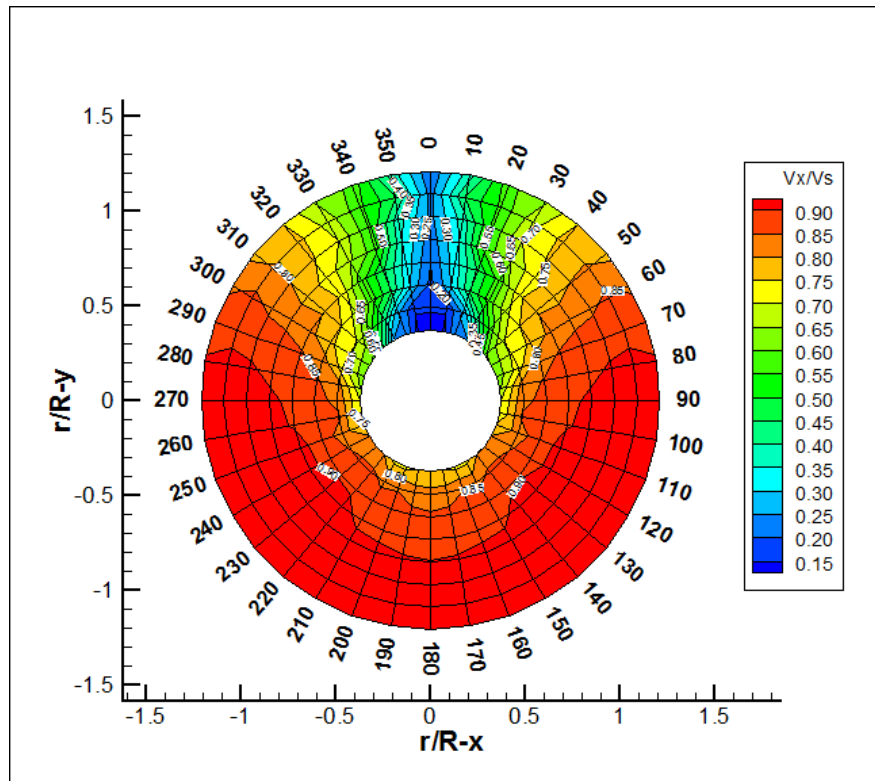
Şekil 6.25 : $r/R= 1.209$ için sonuçlar.



Şekil 6.26 : 1. Analiz.



Şekil 6.27 : 2. Analiz.



Şekil 6.28 : 3. Analiz.

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada pervane düzlemindeki nominal iz hem deneysel olarak ölçülmüş hem de hesaplamalı akışkanlar dinamiği metodu kullanılarak hesaplanmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Bunun için çift pervaneli, 2400 DWT'lık bir tankerin 1/15 ölçeğindeki modeli kullanılmıştır. Hesaplamalı akışkanlar dinamiği sonuçlarının deney sonuçlarıyla uyumlu olduğu görüldükten sonra form tek pervaneli hale dönüştürülmüş ve bu haliyle analiz edilmiştir. Tek pervaneli durum, çift pervaneli modelden skeg kaldırılıp yerine gemi formuyla uyumlu bir yumrubaş formun yerleştirilmesiyle oluşturulmuştur. Bu durumda şaft bu yumrubaş formun içerisinden geçmektedir. Tek pervaneye sahip olacağı için de dümen sayısı bire indirilip merkez hattına taşınmıştır. Çift ve tek pervaneli modellere ait özellikler Çizelge 3.1'de görülebilir.

İz ölçüm deneyinde tek bileşenli iz ölçümüne olanak veren iz tarağı sistemi kullanılmıştır. Burada 8 yarıçap değeri ve bu yarıçaplarda 10'ar derecelik açı aralıklarında (0°-360°) ölçüm yapılmıştır. HAD analizlerinde de aynı noktalardaki değerler hesaplanmıştır. Deneyler gemi dizayn hızına karşılık gelen 1,46m/s'lik hızda gerçekleştirilmiştir. HAD analizleri de aynı hız değerinde yapılmıştır.

Deney sonuçlarına ait polar iz diyagramı Bölüm 6'da verilmiştir. Ayrıca analizlere ait polar diyagramlar da Bölüm 6'da görülmektedir. Deneyin ve analizlerin her yarıçap değerindeki nominal iz değerleri ise yine Bölüm 6'da verilen grafiklerde gösterilmiştir.

Çift pervaneli durum için yedi analiz yapılmıştır. Çift pervaneli model için verilen grafiklerde deney ve HAD analizlerinin sonuçlarının arasındaki benzerlik ve farklar görülebilmektedir. Sonuçların en küçük (ilk) çap değeri hariç oldukça uyumlu olduğu görülmektedir. Ayrıca HAD analizlerinin de kendi içlerinde tutarlı olduğu ve 0-20° ile 320-350° aralıkları hariç bölümde oldukça uyumlu olduğu görülmektedir. Bu aralık pervane düzleminin üst bölümüne karşılık gelen aralıktır. Bu farklılıkların bu bölgedeki akımın çok karmaşık olmasından ve bu bölgede kullanılan mesh yoğunluğuna göre sonuçların gerçeğe yakınlığının değişkenlik göstermesinden

kaynaklandığı düşünülmektedir. Her analizin her yarıçaptaki değerleri ile deney sonuçları arasındaki farklar da sayısal olarak hesaplanmıştır.

İlk çap değeri için HAD sonuçları kendi içinde uyum gösterirken deney sonuçlarıyla oldukça farklı değerlere sahiptir. $r/R=0.373$ için % fark değerleri %930-950 arasında elde edilmiştir. Farkın bu kadar fazla olması sebebiyle bu yarıçap değeri için deneylerin tekrar yapılması düşünülebilir.

$r/R=0.493$ için fark değerleri her analiz için sırasıyla % 10.54; 10.43; 9.79; 9.50; 9.83; 9.70; 10.91 olarak hesaplanmıştır.

$r/R=0.612$ için fark değerleri her analiz için sırasıyla % 7.24; 7.56; 7.72; 7.39; 7.17; 7.28; 7.26'dır.

$r/R=0.731$ için fark değerleri her analiz için sırasıyla % 4.69; 5.35; 4.86; 4.95; 4.73; 4.61; 5.08'dir.

$r/R=0.851$ için ise fark değerleri her analiz için sırasıyla % 2.15; 3.29; 2.71; 2.52; 2.37; 2.50; 3.29 olarak hesaplanmıştır.

$r/R=0.970$ için fark değerleri her analiz için sırasıyla %2.14; 3.52; 2.59; 2.52; 2.46; 3.05; 3.14 olarak hesaplanmıştır.

$r/R=1.090$ için fark değerleri her analiz için sırasıyla % 2.85; 4.21; 3.56; 3.56; 3.63; 4.13 ve 4.09 olarak elde edilmiştir.

Son olarak $r/R=1.209$ için fark değerleri her analiz için sırasıyla %4.08; 5.26; 4.54; 4.34; 4.59; 4.98; 4.74 olarak hesaplanmıştır.

Çift pervaneli durumda her analiz için verilen polar iz diyagramlarında pervane düzlemindeki iz dağılımları görülebilmektedir. İz dağılımlarının deney sonuçlarıyla uyumlu olduğu görülmektedir. Eksenel hızın gemi hızına oranı (V_x/V_s) tüm diyagramlarda aynı aralıkta (0.10-0.90) verilmiştir. Böylece renk dağılımından her analizde aynı açı aralıklarında hız oranının aynı olduğu görülebilmektedir.

Tek pervaneli durum için üç analiz yapılmıştır ancak model deneyi yapılmamıştır. Çift pervaneli durumda yapılan analizlerle kullanılan yöntem doğrulandığı için aynı yöntemin tek pervaneli durum için de doğru sonuç vereceği öngörülmüştür. Tek pervaneli durum için verilen grafiklerden de analiz sonuçlarının oldukça uyumlu oldukları görülmüştür. Grafiklerde sonuçların 60° - 300° arasında birbirine oldukça yakın çıktığı görülmektedir. İlk yarıçap değeri ($r/R=0.373$) için verilen grafikten bu

bölgede hızların oldukça değişken olduğu, geçişlerin hızlı olduğu görülmektedir. Diğer çaplarda ise hız geçişleri yavaş ve sonuçlar birbirine çok yakın elde edilmiştir. Çift pervaneli durumda da görülen, pervane düzleminin üst bölümündeki analiz sonuçları arasındaki farklılıklar burada da mevcuttur. Bu farklılıkların deneydeki hızların düşük olmasına bağlı belirsizliklerden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Analizi yapılan tek ve çift pervaneli formlar iz yönünden karşılaştırıldığında ise iki durumun oldukça farklı olduğu görülmüştür. Çift pervaneli durumda pervaneler, potansiyel bölgede çalışıklarından iz karakteristiği, viskoz bölgede çalışan tek pervaneli duruma göre daha farklı yapıda elde edilmiştir. Çift pervaneli durumda simetri söz konusu olmazken, tek pervaneli durumda pervanenin iki yarısında, beklenildiği gibi, simetrik iz değerleri elde edilmiştir.

Ayrıca tek pervaneli durumda hesaplamalarda sınır tabakanın etkilerini daha iyi görmek için çift pervaneli duruma göre daha yoğun mesh uygulaması yapmak ve y^+ değerlerini daha düşük elde etmek doğru sonuç için önerilir.

Daha ileri bir çalışma olarak bu iki formun genel sevk karakteristiklerinin karşılaştırılarak hangi formun kullanılmasının daha uygun olacağına ya da nasıl bir form optimizasyonu yapılacağına karar verilmesi düşünülebilir.

KAYNAKLAR

- Anderson, D.A., Tannehill, J.C., Pletcher, R.H.** (1984). Computational Fluid Mechanics and Heat Transfer, McGraw-Hill Book Company, sf. 10-12
- Bakker, A.** (2002). Applied Computational Fluid Dynamics Ders Notları.
- Baykal, R., Dikili, A.C.** (2002). Gemilerin Direnci ve Makina Gücü, 1.baskı. İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Matbaası.
- Bertram, V.** (2000). Practical Ship Hydrodynamics, Butterworth-Heinemann Linacre House, Jordan Hill, Oxford.
- Blazek, J.** (2001). Computational Fluid Dynamics: Principles and Applications Elsevier, sf.1-4.
- Carlton, J.S.** (2006). Marine Propellers and Propulsion, Second Edition, Butterworth-Heinemann.
- Çelik, F.** (2007). A numerical study for effectiveness of a wake equalizing duct. Ocean Engineering 34 (2007) 2138-2145
- Çelik, F.** Gemi Direnci ve Sevki ders notları; bölüm 4 sürtünme direnci, türbülans yapıcılar, pürüzlülük ve kirlenme, dalga yapma (dalga direnci), hava ve rüzgar direnci, takıntıların direnci, alıntı tarihi 24 Nisan 2013
- Çengel, Y.A., Cimbala, J.M.** (2008). Akışkanlar Mekaniği Temelleri ve Uygulamaları, Güven Bilimsel, sf 378-381.
- Fossati, F.** (2009). Aero-hydrodynamics and the Performance of Sailing Yachts, London: Adlard Coles Nautical, 2009.
- Hacıyev, Ç.** (2010). Deney Verilerinin İşlenme Yöntemleri ve Mühendislik Uygulamaları, Nobel Yayın Dağıtım, sf 7-26.
- Harvald, S.A.** (1991). Resistance and propulsion of ships. Reprint edition. Krieger Publishing Company, Malabar, Florida, sf 150-180.
- ITTC Proceedings of 26 th ITTC** The Specialist Committee on Scaling of Wake Field, Eylül 2011
- ITTC Recommended Procedures 7.5-0.2-0.1-0.1**, Testing and Extrapolation Methods, General Uncertainty Analysis in EFD Uncertainty Assessment Methodology, Efektif tarihi 1999
- ITTC Recommended Procedures 7.5-0.3-0.2-0.3**, Practical Guidelines for Ship CFD Applications, Efektif tarihi 2011
- ITTC Recommended Procedures 7.5-0.2-0.3-0.2.4**, Nominal Wake Measurement by a 5-Hole Pitot Tube, Efektif tarihi 2011
- Kanıpek, Y. Z.** (1993). Tek Pervaneli Yük Gemilerine Uygulanan Asimetrik Kıç Formları İle Merkezden Kaçık Şaft Düzenine Ait Sevk

Korkut, E. Ship Hydrodynamics, Ders Notları.

Morgan, W. B. ve Lin, W. C. (1998). Predicting ship hydrodynamic performance in today's World, Naval Engineers J., Eylül, Sf. 91-98

Pritchard, P.J., Leylegian, J.C. (2011). Fox and McDonalld's Introduction to Fluid Mechanics, 8. Baskı, John Wiley and Sons, Inc. Sf.317

Schneekluth, H., Bertram, V. (1998).Ship Design for Efficiency and Economy, Second Edition, Butterworth-Heinemann, sf. 180-190.

Şalcı, A. (2007). Türkiye sularına uygun bir balıkçı gemisinin akım görüntüleme deneylerinin analizi. *İTÜ Dergisi*, Cilt 6 sayı. 5-5, Sf. 16-23.

Usta, O. (2012). Tekne yüzey pürüzlülüğünün sınır tabaka ve gemi direncine etkisi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.

Url-1 <<http://gidb.itu.edu.tr/laboratuvarlar/>>, alındığı tarih: 10.04.2013.

Url-2 <<http://www.schneekluth.com/en/index.php>>, alındığı tarih: 21.04.2013.

Url-3 <http://en.wikipedia.org/wiki/Pitot_tube>, alındığı tarih: 21.04.2013.

Url-4 <<http://efluids.com>>, alındığı tarih: 25.04.2013.

Url-5 <http://en.wikipedia.org/wiki/Types_of_mesh>, alındığı tarih: 27.04.2013.

Url-6 <<http://a-ztech.com.tr>>, alındığı tarih: 30.04.2013.

Url-7 <<http://cfd-online.com>>, alındığı tarih: 30.04.2013.

EKLER

EK A: Belirsizlik Analizi

Ölçümlerdeki ve bu ölçümlerden hesaplanan deneysel sonuçlardaki belirsizliği hesaplamada kullanılan belirsizlik analizi metodu, istatistiksel ve mühendislik kavramları bir araya getiren ve belirsizliği hesaplamanın her adımında sistematik olarak uygulanabilen bir yapıda olmalıdır.

Belirsizlik analizi verinin kalitesinin ölçülmesine olanak sağlar, hatanın kaynaklarını tanımlar ve sonuçlar üzerindeki etkisinin sınırlarını belirler.

Test sonuçlarının belirsizliğinin kaynağı, rastlantısal ve sistematik hatalardır. Rastlantısal hata aynı değişkenin tekrar ölçümlerinde rastgele bir biçimde değişir. Sistematik hatalar ise aynı değişkenin tekrar ölçümlerinde ya sabit kalır ya da belirli bir kurala göre değişir. Rastlantısal hata çevre şartları, veri indirgeme yöntemleri ve ölçüm tekniklerinden kaynaklanır. Sistematik hata ise kalibrasyonun iyi yapılmamasından, veri toplama sisteminden ve veri indirmek için kullanılan yöntemlerden kaynaklanır.

Toplam belirsizlik toplam sistematik hatanın ve rastlantısal hatanın toplanmasıyla hesaplanır. Aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$U_i = \sqrt{(B_i)^2 + (P_i)^2} \quad \text{A.1}$$

Burada U_i sistemin toplam belirsizliğini, B_i sistemin toplam sistematik hatasını, P_i de toplam rastlantısal hatayı ifade etmektedir.

İz tarağı ile iz ölçüm deneylerinde hata, deney arabasının hızındaki belirsizlikten, su yoğunluğundaki belirsizlikten ve manometre dizisinden basınç hesaplamak için okunan yükseklik değerlerinin belirsizliğinden kaynaklanmaktadır.

Belirsizlik analizinde sistematik hata hesaplanırken aşağıdaki denklemler kullanılacaktır.

$$B_v = \sqrt{\left(\frac{\partial V}{\partial P_T} \cdot B_{PT}\right)^2} \quad A.2$$

$$\frac{\partial V}{\partial P_T} = \frac{\sqrt{2g}}{2\sqrt{P_T - P_{ST}}} = 0.3296$$

$$B_{PT} = \sqrt{\left(\frac{\partial P_{ST}}{\partial \rho} \cdot B_\rho\right)^2 + \left(\frac{\partial P_{ST}}{\partial h} B_h\right)^2} \quad A.3$$

$$\frac{\partial P_{ST}}{\partial \rho} = 1.9958$$

$$\frac{\partial P_{ST}}{\partial h} = 0.655$$

$B_\rho=0.6663$ ve $B_h= 0.0005$ olarak hesaplanmıştır. Bu durumda;

$$B_{PT} = \sqrt{(1.9958 \times 0.6663)^2 + (0.655 \times 0.0005)^2} = 1.9413$$

$$B_v = \sqrt{(0.3296 \times 1.9413)^2} = 0.6399$$

Rastlantısal hata ise şu şekilde hesaplanacaktır.

$$P_v = \frac{K \cdot SDev}{\sqrt{M}} \quad A.4$$

Burada K değeri ITTC tarafından önerildiği gibi 2 olarak alınmıştır. M ölçüm sayısıdır ve bu analiz için 5'tir. SDev ise standart sapmayı ifade etmektedir. Standart sapma şu şekilde hesaplanmıştır.

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \quad A.5$$

$\bar{X}$ değerlerin aritmetik ortalamasını belirtmektedir. Aşağıdaki çizelgede 90°’de her yarıçap değeri için ölçülen yükseklik değerleri milimetre olarak verilmiştir.

Çizelge A.1 : Manometre yükseklik değerleri.

r1	r2	r3	r4	r5	r6	r7	r8
175	189	175	205	175	261	174	271
176	187	178	203	174	260	172	272
174	187	176	203	175	260	180	271
174	188	174	205	177	259	178	272
175	187	177	204	179	260	176	270

Bu değerler kullanılarak standart sapma değeri SDev= 2.02 olarak hesaplanmıştır.

Toplam hata ise;

$$U_i = \sqrt{(B_i)^2 + (P_i)^2} = \sqrt{(0.6399)^2 + (2.02)^2} = 2.1189 \text{ olarak hesaplanır.}$$

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Zeynep TACAR

Doğum Yeri ve Tarihi: İzmir, 13 Şubat 1989

E-Posta: ztacar@itu.edu.tr

Lisans: Yıldız Teknik Üniversitesi, Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği
(2006-2011)