

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**PODLU SEVK SİSTEMLERİNİN PERFORMANS
ANALİZİ VE ÇEVREYE OLAN ETKİLERİNİN
İNCELENMESİ**

Gemi İnş. ve Gemi Mak. Müh. Yasemin ARIKAN

**FBE Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Anabilim Dalında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Fahri ÇELİK

İSTANBUL, 2010

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	iv
KISALTMA LİSTESİ	v
ŞEKİL LİSTESİ	vi
ÇİZELGE LİSTESİ	viii
ÖNSÖZ	ix
ÖZET	x
ABSTRACT	xi
1. GİRİŞ	1
1.1 Podlu Pervaneler	2
1.2 Pervane Teorileri	5
2. PERVANE ETRAFINDAKİ AKIM ANALİZİNDE KULLANILAN YÖNTEMLER	6
2.1. Pervane Model Deneyleri	6
2.2. Hesaplmalı Akışkanlar Dinamiği Yöntemleri	10
2.2.1. Hesaplmalı Akışkanlar Dinamiğinde Yönetici Denklemler	12
2.2.2. Hesaplmalı Akışkanlar Dinamiği Teknikleri	14
2.2.3. Hesaplmalı Akışkanlar Dinamiğinde Sonuç Analizi	22
3. HESAPLAMALI AKIŞKANLAR DİNAMİĞİ YÖNTEMİNİN (FLUENT) DOĞRULANMASI	23
3.1. DTMB 4119 Model Pervanesinde Çözüm Ağı Bağımsızlığının İncelenmesi	24
3.2. DTMB 4119 Pervanesinde Pervane Gerisi Hızların İncelenmesi	28
3.3. Sonuç	31
4. AÇIK SU PERVANELERİNİN PERFORMANS KARAKTERİSTİKLERİNİN VE ÇEVREYE OLAN ETKİLERİNİN İNCELENMESİ	32
4.1. Podsuz Pervane	33
4.1.1. Podsuz Pervane İçin Pervane Açık Su Karakteristiklerinin İncelenmesi	35
4.1.2. Podsuz Pervane İçin Pervane Gerisi İndüklenmiş Hızların İncelenmesi	36
4.2. Podlu Pervane	39
4.2.1. Podlu Pervane İçin Pervane Açık Su Karakteristiklerinin İncelenmesi	39
4.2.2. Podlu Pervane İçin Pervane Gerisi İndüklenmiş Hızların İncelenmesi	41
4.3. Sonuç	43
5. GEMİ ARKASINDAKİ PODLU PERVANENİN ÇEVREYE OLAN ETKİLERİNİN İNCELENMESİ	46

6. STATİK ÇEKME DURUMUNDA PODLU PERVANENİN ÇEVREYE OLAN ETKİLERİNİN İNCELENMESİ	49
7. SONUÇLAR.....	51
KAYNAKLAR.....	52
ÖZGEÇMİŞ.....	55

SİMGE LİSTESİ

ρ	Yoğunluk
t	Zaman
u, v, w	Hız vektör bileşenleri
τ	Kayma gerilmesi
μ	Vizkozite
ϕ	Genel değişken
A	Alan
V	Hız alanı
P'	Düzeltilme basınç alanı
p^*	Başlangıç basınç alanı
S_{Mx}, S_{My}, S_{Mz}	Kütle kuvvetleri
k	Türbülans kinetik enerjisi
ε	Türbülans kinetik enerjisi kayıp oranı
ω	Türbülans kinetik enerjisi kayıp oranı
T	İtme
n	Devir sayısı
D	Pervane Çapı
K_T	İtme katsayısı
K_Q	Tork katsayısı
η	Pervane verimi
V_A	Pervaneye gelen suyun hızı
J	İlerleme katsayısı
μ_t	Eddy vizkozitesi
Pr_t	Enerji için türbülans Prandtl sayısı
β	Termal genişleme katsayısı
G_ω	ω 'nin üretimi
Γ_k	k 'nin difüzyon katsayısı
Γ_ω	ω 'nin difüzyon katsayısı
Y_k, Y_ω	Türbülans dolaylı kayıp
σ_k, σ_ω	Türbülans Prandtl sayısı
α^*	Düşük Reynolds sayısı düzeltmesine sebep olan katsayı

KISALTMA LİSTESİ

BEM	Boundary Element Methods (Sınır Elemanı Yöntemleri)
CRP	Contra Rotating Propeller (Zıt dönüşlü pervane)
FVM	Finite Volume Method (Sonlu Hacimler Yöntemi)
HAD	Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği
HSC	High Speed Craft (Yüksek Süratli Tekneler)
MCA	Maritime Coastguard Agency
PISO	The Pressure-Implicit with Splitting of Operators Pressure Velocity Coupling Scheme
SIMPLE	Semi-Implicit Method for Pressure Linked Equations

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1 Podlu pervane sisteminin görünümü (Oosterhuis, 2006)	3
Şekil 1.2 Podlu pervane sistemleri (Oosterhuis, 2006)	4
Şekil 2.1 Pervane ile modelinin geometrik benzerliğine bir örnek [1].....	6
Şekil 2.2 Konvansiyonel pervaneler için açık su pervane deneyi düzeneği (ITTC)	8
Şekil 2.3 Emmerson kavitasyon tüneli [2].....	8
Şekil 2.4 P noktası için bir boyutlu hacmin FVM'ye göre gösterimi (Tu, 2008).....	15
Şekil 2.5 PISO algoritmasının akış diyagramı [3].....	18
Şekil 2.6 SIMPLE algoritmasının akış diyagramı [3]	20
Şekil 2.7 Yakınsama Grafiği	22
Şekil 3.1 DTMB 4119 model pervanesinin görünümü.....	23
Şekil 3.2 DTMB 4119 model pervanesinin geometrisi	23
Şekil 3.3 DTMB 4119 Kontrol hacmi	24
Şekil 3.4 DTMB 4119 Kontrol hacmi boyutları.....	24
Şekil 3.5 DTMB 4119 (Durum 1) çözüm ağı görünümü	25
Şekil 3.6 DTMB 4119 (Durum 5) çözüm ağı görünümü	25
Şekil 3.7 DTMB 4119 (Durum 1) pervane üstünde çözüm ağı görünümü	26
Şekil 3.8 DTMB 4119 (Durum 5) pervane üstünde çözüm ağı görünümü	26
Şekil 3.9 Açık su pervane K_T değerleri (DTMB 4119).....	27
Şekil 3.10 Açık su pervane $10*K_Q$ değerleri (DTMB 4119).....	27
Şekil 3.11 Açık su pervane verimi (DTMB 4119)	27
Şekil 3.12 Pervane gerisi hızların incelendiği noktalar	28
Şekil 3.13 Nokta No:1'de çözüm ağı yoğunluğuna göre hız değişimi.....	29
Şekil 3.14 Nokta No:2'de çözüm ağı yoğunluğuna göre hız değişimi.....	29
Şekil 3.15 Nokta No:3'de çözüm ağı yoğunluğuna göre hız değişimi.....	29
Şekil 3.16 Boyutsuz basınç dağılımları (DTMB 4119, sırt).....	30
Şekil 3.17 Boyutsuz basınç dağılımları (DTMB 4119, yüz).....	30
Şekil 3.18 $x/D=0.328$ ve $r/R=0.70$ mesafesinde sayısal ve deneysel yöntemlere göre eksenel, radyal ve teğetsel hız değişimi.....	31
Şekil 4.1 Podlu pervane modeli (Wang vd., 2002).....	32
Şekil 4.2 Podsuz pervane kontrol hacmi boyutları	33
Şekil 4.3 Podsuz pervane çözüm ağı	33
Şekil 4.4 Pervane üzerindeki sayısal ağ görünümü	34
Şekil 4.5 Podsuz pervane çözüm ağı kesit görüntüsü.....	34

Şekil 4.6 Pervane etrafı sayısal ağı kesit görüntüsü	34
Şekil 4.7 Açık su pervane karakteristikleri (podsuz).....	35
Şekil 4.8 Podsuz pervane pervane gerisi hızların ölçüm noktaları	36
Şekil 4.9 Eksenel yönde indüklenmiş hızlar (podsuz).....	37
Şekil 4.10 Radyal yönde indüklenmiş hızlar (podsuz)	37
Şekil 4.11 Teğetsel yönde indüklenmiş hızlar (podsuz).....	37
Şekil 4.12 Boyutsuz basınç dağılımları (Podsuz durumda, sırt)	38
Şekil 4.13 Boyutsuz basınç dağılımları (Podsuz durumda, yüz).....	38
Şekil 4.14 Podlu pervane kontrol hacmi.....	39
Şekil 4.15 Podlu pervane çözüm ağından bir görüntü.....	39
Şekil 4.16 Podlu pervane çözüm ağı kesit görüntüsü.....	40
Şekil 4.17 Podlu pervane etrafı çözüm ağı kesit görüntüsü	40
Şekil 4.18 Açık su pervane karakteristikleri (podlu).....	41
Şekil 4.19 Podlu pervane orta simetri düzleminde eksenel hızların görüntüsü.....	41
Şekil 4.20 Eksenel yönde indüklenmiş eksenel hız değişimi	42
Şekil 4.21 Şaft boyunca indüklenmiş radyal hız değişimi.....	42
Şekil 4.22 Eksenel yönde teğetsel hız değişimi.....	42
Şekil 4.23 Açıksu pervane karakteristiklerinin karşılaştırılması (podlu-podsuz/Fluent)	43
Şekil 4.24 Deneyden elde edilen açıksu pervane karakteristikleri (podlu-podsuz).....	43
Şekil 4.25 Boyutsuz basınç dağılımları (Podlu durumda, sırt).....	44
Şekil 4.26 Boyutsuz basınç dağılımları (Podlu durumda, yüz)	44
Şekil 4.27 Pod üzerindeki basınç dağılımı	45
Şekil 4.28 Pod üzerindeki basınç dağılımı	45
Şekil 4.29 Pod üzerindeki basınç dağılımı (önden).....	45
Şekil 5.1 Gemi arkası durumu (Wang vd, 2002).....	46
Şekil 5.2 Gemi arkası iz dağılımı (Wang vd., 2002)	46
Şekil 5.3 Genişletilmiş hız dağılımı	46
Şekil 5.4 İndüklenmiş hız değerlerinin okunduğu noktalar.....	47
Şekil 5.5 Radyal yönde V_x değişimi	47
Şekil 5.6 Radyal yönde V_r değişimi.....	48
Şekil 5.7 Radyal yönde V_t değişimi	48
Şekil 6.1 Eksenel yönde indüklenmiş eksenel hız değerleri değişimi.....	49
Şekil 6.2 Eksenel yönde indüklenmiş radyal hız değerleri değişimi.....	49
Şekil 6.3 Eksenel yönde indüklenmiş teğetsel hız değerleri değişimi.....	50

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 3.1 Çözüm ağı özellikleri	25
Çizelge 3.2 Pervane gerisi hız için ölçüm noktaları	28
Çizelge 3.3 K_T , K_Q ve verim değerlerindeki hata miktarları	31
Çizelge 4.1 Podlu pervanenin özellikleri.....	32

ÖNSÖZ

Doğa dengelerinin bozulması ile günümüzde her alanda çevreye daha duyarlı sistemlerin geliştirilmesi mühendislik çalışmalarının amacını belirlemektedir. Gemi inşaatında da çevreye daha duyarlı teknolojilerin geliştirilmesi ve kullanılması önem taşımaktadır. Sevk sistemlerindeki iyileştirmeler hem emisyon oluşumu ve yakıt tüketimini azaltabilmekte hem de kıyı yapıları, diğer tekneler ve deniz canlıları üzerindeki olumsuz etkilerini hafifletebilmektedir. Bu amaçla mevcut çalışmada kullanımı oldukça yeni olan ve gittikçe yaygınlaşan podlu pervanelerin çevre üzerindeki etkileri incelenmiştir. Beni bu konuda çalışmaya teşvik eden ve yol gösteren danışman hocam Sayın Doç. Dr. Fahri Çelik'e ve eğitim hayatım boyunca beni destekleyen aileme teşekkürlerimi sunuyorum.

Mayıs 2010

Yasemin ARIKAN

ÖZET

Özellikle hızlı ve büyük pervaneli gemiler çevredeki diğer tekneler veya deniz canlıları üzerinde olumsuz etkilere neden olabilecekleri gibi dar kanal ve boğazlardan geçerken de kıyı yapılarında ya da kanal yataklarında erozyona neden olabilirler. Gemilerin oluşturduğu bu olumsuz etkilerin en önemli kaynağı pervane gerisi akımı ve gemi kaynaklı dalgalardan oluşan gemi izidir. Özellikle gemi pervaneleri gemi gerisindeki akımı hızlandırarak geniş bir etki bölgesi oluştururlar.

Bu çalışmada bir model pervane ile RO-RO gemisine ait diğer bir POD'lu pervane için pervane gerisi akımının çevreye olan etkileri bir hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) yöntemi ile incelenecektir. POD'lu pervanenin açık su ve gemi arkası durumları için hesaplamalar ayrı ayrı gerçekleştirilecektir. Ayrıca model pervane ve POD'lu pervanenin farklı ilerleme katsayılarındaki pervane karakteristikleri hesaplanacaktır. Uygulamalardan elde edilecek sonuçlar deney sonuçları ile karşılaştırılarak tartışılacaktır.

Anahtar Kelimeler: Pod, HAD, gemi pervanesi, pervane izi, model deneyi

ABSTRACT

Especially high speed crafts and vessels with large propellers have unfavorable effects on other vessels and on the marine life and can cause erosion on coastal structures and on the sea bed while they traverse narrow channels and straits. The most important source of this negative effects caused by ships is the propeller slipstream flow and the ship wake. Especially marine propellers can create a large effect area by accelerating the flow behind the ship. In this study the effects of the propeller slipstream on the marine environment will be investigated for a model propeller and a podded propeller of a RO-RO ship by the computational fluid dynamics methods. The computations will be made separately for the open water case and behind the hull conditions for the podded propeller. Additionally the propeller characteristics for the model and the podded propeller will be calculated for different advance coefficients. The values obtained will be compared with the experimental values and the results will be discussed.

Keywords: Pod, CFD, marine propellers, propeller wake, model experiment

1. GİRİŞ

Günümüzde deniz yolu ile yolcu ve araç taşımacılığındaki artış yüksek süratli feribotların kullanımını yaygınlaştırmaktadır. Özellikle açık denizlerde hız limitleri 50 knota yaklaşan yüksek süratli teknelerin (HSC) kullanımı söz konusudur (Parnell ve Kofoed-Hansen, 2001). Ülkemizde de feribot taşımacılığı artmakta olup, hızlı feribotlar şehirlerarası taşımacılık için çözüm sağlayabilecek etkili ulaşım araçlarıdır. Ancak taşımacılık alanında sağladıkları hız avantajına karşılık hızlı teknelerin özellikle durgun ve sığ sularda, körfezlerde, dar kanal ve geçişlerde oluşturdukları izlerin çevreye, kıyı yapılarına ve diğer teknelere olumsuz etkileri bulunabilmektedir.

Tekne formu ve pervanesine bağlı olarak gemiler artlarında bir iz bölgesi oluştururlar. Aynı zamanda pervaneler, hareketlerinden dolayı gemi arkasında akışkan üzerinde hız indükleyerek akışı hızlandırmaktadırlar. Pervanelerin çevreye olan başlıca etkileri şunlardır:

- Diğer tekne ve kıyı yapılarına olan etkileri
- Deniz yatağındaki erozyon etkileri
- Deniz canlılarına olan etkileri (Atlar vd., 2006)

Bu etkiler özellikle gemilerin limanlara giriş ve çıkışlarında ve sığ bölgelerde manevraları esnasında artabilmektedir. Yüksek süratli teknelerin faaliyetleri sonucunda küçük tekne kazalarına bir örnek olarak Parnell ve Kofoed-Hansen'in çalışmasında belirtildiği gibi 2000 yılında HSS 1500 Stena Discovery katamaranının oluşturduğu 4 metre yüksekliğindeki dalga sonucunda Purdy isimli küçük balıkçı teknesinin su alarak batması gösterilebilir (Marine Accident Investigation Branch, 2000). Aynı zamanda Parnell ve Kofoed-Hansen'in çalışmasında yüksek süratli teknelerin geçiş bölgelerinde deniz dibinde gemi kaynaklı dalgalardan dolayı taşların ve küçük kaya parçalarının hareketinin bazı deniz canlılarının ve bitkilerinin yer değiştirmesine ya da ezilmesine sebep olabildiği ve deniz canlılarının bu etkilerin görünmediği daha derin deniz katmanlarına göç etmesine sebep olabildiği belirtilmiştir (Danish Maritime Authority, 1997). Önemli olan bu etkilerin geri döndürülebilir ya da geri döndürülemez özelliklerinin gözlemlenmesi ve teknelerin oluşturduğu dalga ve iz karakterlerinin incelenmesidir. Bu amaçla HSC taşımacılığının yaygın olduğu İngiltere gibi ülkelerde feribot operatörlerinin MCA tarafından onaylanmış, tekneleri iz yönünden değerlendiren rota değerlendirme belgesi oluşturmaları gerekmektedir (Faltinsen, 2005). Aynı şekilde Danimarka'da Mayıs 1997'den itibaren HSC tekne operatörlerine çevre ve diğer teknelere etkileri yönünden teknenin iz değerlendirmesini inceleyen bir raporu takiben çalışma ruhsatı verilmektedir (Parnell ve Kofoed-Hansen, 2001).

Son dönemlerde kullanımı gittikçe yaygınlaşan bir pervane çeşidi ise bir geminin hem sevk hem de manevra görevini karşılayabilen podlu pervanelerdir. Hem işlevleri hem de pervane çapı ve geometrilerinden dolayı yüksek süratli feribotlarda podlu pervanelerin kullanımı artmaktadır. 1999 ve 2005 yılları arasında Avrupa’da 5. Çerçeve programları kapsamında podlu pervanelerin araştırılmalarına yönelik büyük projeler yürütülmüştür. Bunlardan ilki olan OPTIPOD projesinde 14 üye IMO kriterleri doğrultusunda podlu pervaneler ile sevk edilen gemiler için yönetmeliklerin oluşturulması için biraraya gelmiştir. Pods-in-Service projesinde 18 üye podlu pervanelerin çalışma şartlarında güvenilirliği araştırmak üzere biraraya gelmiştir. 2006 yılında 17 üye ile temel amacı elektrik ile sevk edilen podlu pervane sistemlerinin kullanımından elde edilebilecek verim, güvenlik ve çevre etkilerinin incelenmesi olan FASTPOD projesi tamamlanmıştır (ITTC, 2008).

Bu çalışmada Newcastle Üniversitesi’nde OPTIPOD projesi kapsamında Emmerson Kavitezyon Tüneli’nde yapılmış çalışmalar sonucunda elde edilmiş deney verileri hesaplamalı akışkanlar dinamiği programı FLUENT ile karşılaştırılmıştır.

1.1 Podlu Pervaneler

Gemi inşaatında podlu pervanelerin kullanımı gittikçe yaygınlaşmaktadır. Kullanımları ilk olarak buz kıran gemilerinin manevra kabiliyetlerini arttırmak üzere gerçekleşmiştir. 1990 senesinden itibaren ticari olarak kullanılmaya başlanan bu sevk sistemleri özellikle manevra kabiliyetlerinden dolayı feribot ve yolcu gemilerinde tercih edilmektedir. Sistem genel olarak pervaneye itme kuvveti veren ve podun içine yerleştirilmiş bir elektrik motorundan meydana gelmektedir. 2 ile 20 MW güç aralığında bulunan sistemler ile gemiler 30 knota ulaşabilmektedirler (ITTC, 2005). Podda bulunan payanda (strut) kısmı sisteme hareket kabiliyeti sağlamaktadır. Konvansiyonel pervane sistemlerine göre bu sistemlerin bir kazanımı da şaft sistemi ve aktarma elemanlarına ihtiyaç duymamasıdır. Bu sayede hem ağırlık ve yer kazancı elde edilir hem de aktarma organlarından kaynaklanan güç ve verim kayıplarının önüne geçilmiş olur.

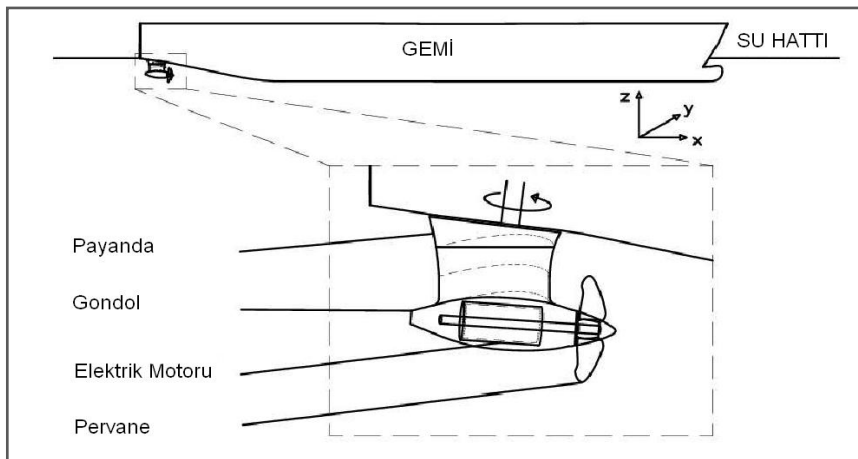
Podlu pervane kullanımının sağladığı başlıca kazanım ve kayıplar:

- Hareketli pervane
- Yüksek manevra kabiliyeti
- Şaft ve takıntı olamamasından dolayı pervaneye gelen akımın daha üniform karakterde olması
- Pervane kaynaklı titreşimin az olması
- Düşük gürültü seviyesi

- Makine yerleşiminde serbestlik
- Genel yerleşimde daha az sınırlama
- Elektrik motoru kullanımı
- Çok düşük hızlarda seyir imkanı
- Ek sevk sistemi olarak kullanım imkanı
- Hız artışı imkanı
- Diesel-elektrik sistemi düzenlemesi
- Doğrudan tahrikli diesel sistemlere oranla %5-8 güç kaybı
- Yüksek maliyet
- Elektrik motorunda tork limiti
- Yüksek devir sayısı ihtiyacı
- Optimal pervane veriminin bazı durumlarda sağlanamaması

olarak belirtilebilir [1].

Podlu pervaneler pervanenin podun önüne yerleştirilmesi ile çekici tipte, pervanenin podun arkasına yerleştirilmesi ile de itici tipte olmak üzere ikiye ayrılırlar. Çekici tipteki podlu pervanelerde pervaneye gelen akım konvansiyonel tipteki pervanelere göre daha düzgün olduğundan pervane ile gemi gövdesi arasındaki etkileşim asgari seviyede olmaktadır. Bundan dolayı podlu pervanelerde titreşim seviyeleri daha düşük olmaktadır. Zıt dönüşlü pervanelerin kullanımı ile zıt dönüşlü pod sistemleri de bulunmaktadır. Podlu bir pervanenin genel görünümü Şekil 1.1 ve kullanılan bazı podlu pervane sistemleri Şekil 1.2'de gösterilmiştir.



Şekil 1.1 Podlu pervane sisteminin görünümü (Oosterhuis, 2006)



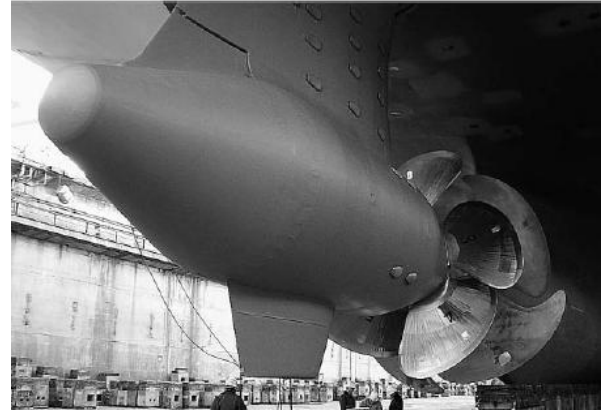
a)



b)



c)



d)



e)



f)

Şekil 1.2 Podlu pervane sistemleri (Oosterhuis, 2006)

- a) Finlandya (ABB) tarafından üretilmiş bir azipod b) Finlandya (ABB) tarafından üretilmiş bir kompakt azipod c) Siemens-Schottel tarafından üretilmiş bir çift pervaneli pod sistemi d) CRP Pod sevk sistemi (Ueda, 2004) e) Rolls-Royce-Kamewa tarafından üretilmiş bir podlu pervane f) Wartsila tarafından üretilmiş bir podlu pervane

1.2 Pervane Teorileri

Geçmişten günümüze pervane dizaynı ve pervane karakteristiklerini hesaplamak için pek çok yöntem geliştirilmiştir. Bunların başlıcaları aşağıdaki gibidir:

- Momentum Teorisi
- Kanat Elemanı Teorisi
- Buril Analiz Yöntemi
- Lerbs Analiz Yöntemi
- Eckhardt ve Morgan Dizayn Yöntemi
- Kaldırıcı Yüzey Yöntemi
- Vorteks-Lattice Yöntemi
- Sınır Elemanı Yöntemleri
- Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Yöntemleri

Bu çalışmada açık su pervane deneyleri ve hesaplamalı akışkanlar dinamiği yöntemleri ile elde edilen sonuçlar karşılaştırılacaktır. Pervane analizlerinde kullanım alanı gittikçe yaygınlaşan HAD analiz programı FLUENT kullanılacaktır. Çalışmanın ikinci bölümünde pervane model deneyleri performans karakteristikleri ile hesaplamalı akışkanlar dinamiği yöntemleri hakkında bilgiler sunulacaktır. Üçüncü bölümde DTMB 4119 model pervanesi, pervane karakteristik eğrilerinin elde edilmesi ve çözüm yönteminin doğrulanması amacı ile kullanılacaktır. Çözüm ağı bağımsızlığı incelenerek benzer boyuttaki bir pervane için uygun eleman büyüklüğü belirlenecektir. Çalışmanın dördüncü bölümünde podlu bir pervane ve podsuz durumunun karakteristik eğrileri elde edilerek deney sonuçları ile karşılaştırılacaktır. Her iki durum için de pervane gerisi hızları incelenecektir. Podlu pervane için gemi arkası durumu beşinci bölümde incelenerek indüklenmiş hız değerleri elde edilecektir. Statik çekme durumu için pervane gerisi indüklenmiş hız değerleri elde edilip altıncı bölümde incelenecektir.

2. PERVANE ETRAFINDAKİ AKIM ANALİZİNDE KULLANILAN YÖNTEMLER

2.1. Pervane Model Deneyleri

Pervane karakteristikleri ile ilgili tahmin yapabilmek amacıyla pervane açık su deneyleri yapılmaktadır. Bu deneylerde üniform akış içinde çalışan pervanenin itmesi, torku ve verimi belirlenmeye çalışılır. Deneylerden elde edilen sonuçlar model ile gerçek pervane arasında sağlanan benzerlik kanunlarından hareketle gerçek değerler için hesaplanır. Pervane hesaplarındaki benzerlik kanunları aşağıdaki gibidir:

- Geometrik benzerlik
- Kinematik benzerlik
- Dinamik benzerlik

Geometrik benzerlik şekil benzerliğini tanımlar (Şekil 2.1). Pervane modelleri oluşturulurken en büyük zorluk kanat uçlarında yeterli inceliğin sağlanmasıdır.



Şekil 2.1 Pervane ile modelinin geometrik benzerliğine bir örnek [1]

Kinematik benzerlik şartında model ile gerçek pervanenin ilerleme hızı ile dönel hız oranlarının aynı olması gerekmektedir.

$$\frac{V_A}{\pi \cdot n \cdot D} = \text{sabit} \quad (2.1)$$

Burada;

V_A : Pervane ilerleme hızı (m/s)

n : Devir sayısı (rps)

D : Pervane çapı (m) dir.

Pervane ilerleme katsayısı $J = \frac{V_A}{n.D}$ şeklinde tanımlanmıştır.

Dinamik benzerlik şartının sağlanabilmesi için model ve gerçek pervanenin Froude ve Reynolds sayılarının eşit olması gerekmektedir.

Pervane için Froude sayısı:

$$F_n = \frac{n.D}{\sqrt{g.D}} \quad (2.2)$$

şeklinde tanımlanmıştır. Model (m) ve gerçek pervane (s) için Froude benzerliğini yazacak olursak;

$$F_{nm} = F_{ns} \quad (2.3)$$

$$\frac{n_m.D_m}{\sqrt{g.D_m}} = \frac{n_s.D_s}{\sqrt{g.D_s}} \quad (2.4)$$

ifadeleri elde edilir. λ benzerlik oranı olmak üzere model ile pervane arasında devir sayısına bağlı olarak aşağıdaki ifade yazılabilir:

$$n_m = n_s \sqrt{\frac{D_s}{D_m}} = n_s \sqrt{\lambda} \quad (2.5)$$

Buradan, Froude kanununun sağlanabilmesi için pervane modelinin, gerçek pervanenin devir sayısı ve benzerlik oranının karekökünün çarpımı ile bulunacak n_m devir sayısında test edilmesi gerektiğini göstermektedir.

Pervane için Reynolds sayısı:

$$R_n = \frac{n.D^2}{\nu} \quad (2.6)$$

şeklinde ifade edilir. ν kinematik viskoziteyi simgeler. Pervane ve modeli için Reynolds sayısı eşitliğini yazacak olursak;

$$R_{nm} = R_{ns} \quad (2.7)$$

$$\frac{n_m.D_m^2}{\nu_m} = \frac{n_s.D_s^2}{\nu_s} \quad (2.8)$$

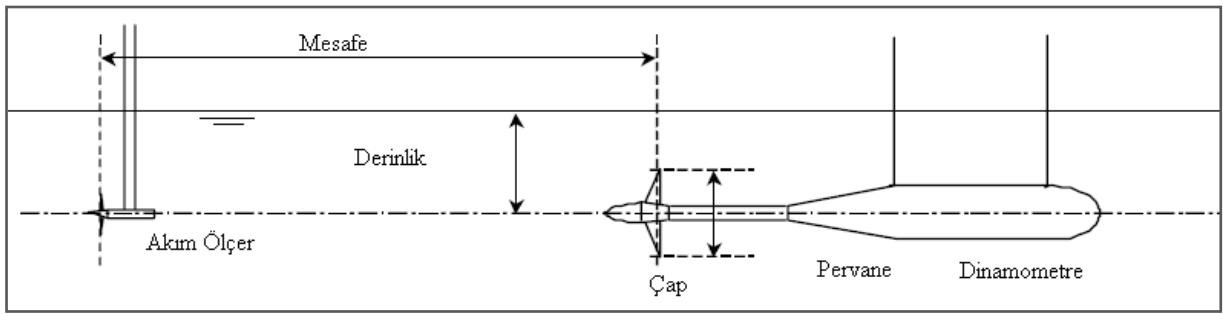
ifadeleri elde edilir. Model ile gerçek pervanenin aynı akışkan içinde çalıştığı düşünülürse kinematik viskozite eşit olacaktır ($\nu_m = \nu_s$). λ benzerlik oranı olmak üzere modele göre devir sayısı ifade edilecek olursa;

$$n_m = n_s \left(\frac{D_s}{D_m} \right)^2 = n_s \cdot \lambda^2 \quad (2.9)$$

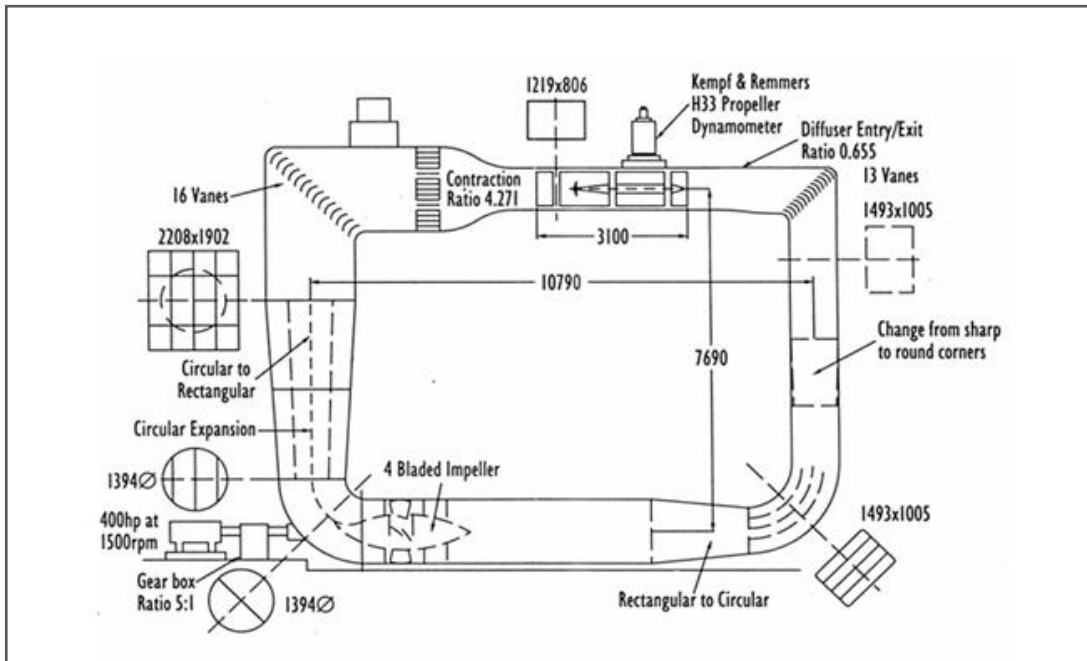
yazılır. Bu ifade ise Reynolds benzerliğinin sağlanabilmesi için model pervanesinin devir sayısının gerçek pervanesinin devir sayısı ile benzerlik oranının karesinin çarpımına eşit olacak şekilde seçilmesi gerekliliğini gösterir.

Froude kanununa göre model pervanesinin devir sayısının gerçek pervanesinin devir sayısının benzerlik oranının karekökü ile çarpımına eşitlenmesi gerekmektedir. Bu iki ifadeden Froude ve Reynolds sayılarının aynı anda sağlanmalarının mümkün olmadığı görülmektedir.

Açık su pervane deneyleri çekme havuzunda yapılabilecekleri gibi kavitasyon tankında da yapılabilmektedir. Şekil 2.2’de açık su pervane deneyi için model düzeneği Şekil 2.3’de ise bir kavitasyon tankının özellikleri gösterilmiştir.



Şekil 2.2 Konvansiyonel pervaneler için açık su pervane deneyi düzeneği (ITTC)



Şekil 2.3 Emmerson kavitasyon tüneli [2]

Açık su pervane deneylerinde itme, tork, devir ve akış hızı değerleri elde edilerek itme katsayısı, tork katsayısı ve pervane verimi hesaplanır. Bu karakteristikler ilerleme katsayısına bağlı olarak çizdirilirler.

$$\text{İtme katsayısı:} \quad K_T = \frac{T}{\rho \cdot n^2 \cdot D^4} \quad (2.10)$$

$$\text{Tork katsayısı:} \quad K_Q = \frac{Q}{\rho \cdot n^2 \cdot D^5} \quad (2.11)$$

$$\text{İlerleme katsayısı:} \quad J = \frac{V_A}{n \cdot D} \quad (2.12)$$

$$\text{Açık su pervane verimi:} \quad \eta_o = \frac{T \cdot V_A}{2\pi n Q} = \frac{J \cdot K_T}{K_Q \cdot 2\pi} \quad (2.13)$$

Ayrıca itme yüklenme katsayısı da aynı grafikte gösterilebilmektedir.

$$C_{TH} = \frac{T}{\frac{1}{2} \rho V_A^2 \frac{\pi}{4} D^2} = \frac{8 K_T}{\pi J^2} \quad (2.14)$$

V_A :Pervaneye gelen akım hızı

T :İtme kuvveti

Q :Açık su dönme momenti

n :Devir sayısı

2.2. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Yöntemleri

Gemi pervanelerinin analizinde hesaplamalı akışkanlar dinamiği yöntemlerinin kullanımı geçtiğimiz on senelik süreçte gittikçe önem kazanmıştır. HAD yöntemleri pervane karakteristiklerinin incelenmesinin yanı sıra kavitasyon analizleri için de kullanım alanı bulmaktadır. HAD yöntemlerindeki gelişmelere rağmen bu yöntemler ile elde edilen sonuçlardaki hata oranları hala model deneylerinin önemini korumasına neden olmaktadır.

HAD yöntemlerinde akışkan fiziğini modellemek için birçok yaklaşım geliştirilmiştir. Kavitasyonlu ya da kavitasyonsuz gemi pervaneleri etrafındaki akışı inceleyebilmek için kullanılan metodlar Navier-Stokes (RANS) metodları, LES (Large Eddy Simulation) teknikleri, DES (Detached Eddy Simulations) ve DNS (Direct Numerical Simulations) metodlarıdır. Bu metodların kullanımı bilgisayar kapasitelerine bağlı olarak sınırlıdır. Bu bağlamda, RANS kodları çözüm zamanlarının daha kısa olması ile daha etkili bir kullanım sağlarlar. RANS metodları sonlu hacimler yöntemlerini kullanmaktadırlar. $k-\epsilon$, $k-\omega$ ve Reynolds stres modelleri gibi kullanılan türbülans modellerinden özellikle son ikisi deney sonuçları ile iyi eşleşme göstermektedir (Carlton, 2006).

Gemi pervanelerinin analizinde özellikle çözüm ağı oluşturulmasında zorluklar bulunmaktadır. Akım alanında bulunan shaft ve braketlerin modellenmesi önem taşımaktadır. Bu yaklaşımlar pervane uç girdabı gibi akımların modellenebilmesi için de önem taşımaktadır. Model üzerindeki sadeleştirmeler de uygun çözüm ağı oluşturulmasında önem taşır. Watanabe vd.'nin çalışması pervane göbek ve shaftının basitleştirmeler yapılarak modellenmesinin tam olarak modellenmesine göre pervane performansının değerlendirilmesinde sadece %0.3 oranında sapma meydana getirdiğini göstermiştir (Watanabe vd., 2003).

Gemi pervanelerinin çözüm ağlarının modellenmesi sürecinde yapılandırılmış (structured) ağların kullanılması hem eleman sayısını arttırmakta hem de oluşturulmaları çok karmaşık ve zaman alıcıdır. Bundan dolayı karmaşık geometrilerin çözüm ağlarının oluşturulmasında yapılandırılmamış (unstructured) ağların kullanımı yaygınlaşmıştır. Rhee ve Joshi beş kanatlı bir pervanenin açık su pervane karakteristiklerini incelerken yapılandırılmamış çözüm ağı kullanmışlar ve sınır tabakada prizmatik, akışın diğer bölgelerinde tetrahedral elemanlar kullanmışlardır. Türbülans modeli olarak $k-\omega$ türbülans modelini kullanmışlardır. Sayısal sonuçların deney sonuçları ile karşılaştırılması sonucunda K_T değerlerinde %8 ve K_Q değerlerinde %11 değerinde sapmalar gözlenmiştir. Ayrıca aksel ve teğetsel hızlarda uyum gözlenirken radyal hızlarda sapmalar tespit edilmiştir (Carlton, 2006).

Podlu pervaneler ile BEM ve RANS metodları kullanılarak birçok sayısal çalışma yapılmıştır. Sanchez-Caja vd. (2003) pervane ile pod arasındaki etkileşimi RANS metodlarını kullanarak incelemiştir. 7.5 milyon elemanlık bir çözüm ağı ile k-epsilon türbülans modeli uygulanarak duvar şartları kullanılmadan çözüm yapılmıştır. Podlu pervanenin dönen ve sabit parçalarını modellemek için kayan ağ (sliding mesh) yöntemi kullanılmıştır. Podlu pervanelerin hidrodinamik özelliklerini incelemek üzere potansiyel temelli metodların tek başına kullanıldığı çalışmalar (Greco vd., 2006; Ma vd., 2006; Bal vd., 2006) ve RANS/Euler denklemleri ile beraber kullanıldığı çalışmalar (Ohashi ve Hino, 2004; Mishra, 2005; Kinnas vd., 2006; Krasilnikov vd., 2006; Deniset vd., 2006; Lovatchev, 2008; vb.) dikkat çekmektedir. Sadece RANS metodları kullanılarak yapılan çalışmalar (Sanchez-Caja vd., 2003&2006) da bulunmaktadır.

Viskoz olmayan akış teorisine göre pod etrafındaki akım panel metodları ile (Nakatake vd., 2004; Islam vd., 2004; Deniset vd., 2006) veya Euler yöntemleri ile (Grupta, 2004; Mishra, 2005 ve Kinnas vd., 2004&2006) modellenmiştir. Podlu pervaneler ile ilgili başlıca inceleme konuları pervane ve pod arası etkileşim, akım düzensizliği, iz, pervane ve pod sistemi üzerindeki kuvvetler olarak sayılabilir. Kuvvetlerin ölçeklendirilmesi viskoz olmayan teoriye göre viskoz etkilerden dolayı mümkün olamamaktadır. Bundan dolayı ölçek etkilerinin değerlendirilmesi RANS metodlarının kullanımı ile sağlanmaktadır. Hibrit viskoz-potansiyel metodlar, potansiyel teoriyi pervaneyi dönen disk, kaldırıcı hat (Lovatchev vd., 2001&2008) kaldırıcı yüzey vorteks lattice ya da panel yöntemlerine (Krasilnikov vd., 2006) göre modellemek için kullanılmaktadır. Ayrıca pod gövdesi etrafındaki akış RANS denklemlerinin çözümü ile modellenebilmektedir. Ohashi ve Hino (2004) hibrit bir RANS metodu ile yapılandırılmamış çözüm ağında zıt dönüşlü bir pervane etrafındaki akımı incelemiştir. Pod direnci üzerindeki ölçek etkileri hibrit bir yöntem kullanılarak Lotachev vd. (2001&2008) ve RANS yöntemleri ile tüm podlu pervane sistemi için Sanchez-Caja vd. (2003&2006) tarafından incelenmiştir (ITTC-Proceedings of the 25th ITTC-Volume II, (2008)).

2.2.1. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiğinde Yönetici Denklemler

Hesaplamalı akışkanlar dinamiği formülasyonları akışkanlar dinamiğinin temel denklemlerine dayanır. Bu denklemler fiziksel kanunları matematiksel olarak tasvir eder. HAD yöntemlerinde kullanılan temel denklemler:

- Kütlenin korunumu denklemi
- Newton'un ikinci kanunu, momentumdaki değişimin akışkana etkiyen toplam kuvvete eşitliği
- Termodinamiğin birinci kanunu, enerjideki değişimin akışkana verilen toplam ısı ve işe eşitliği

Bu bölümde kütlenin korunumu ve momentumun korunumu kanunlarından bahsedilmektedir. Kütlenin korunumu, momentum ve enerji denklemleri konservatif şekildeki genel korunum denkleminde türetilmektedir. Genel korunum denklemi:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho\phi) + \text{div}(\rho\phi\vec{V}) = \text{div}(\Gamma\text{grad}\phi) + S_\phi \quad (2.15)$$

Burada ϕ hacmin içindeki toplam özelliktir.

2.2.1.1. Kütlenin Korunumu Denklemi

$\phi=1$, $\Gamma=0$ ve $S_\phi=0$ olması ile 2.15 denkleminde kütlenin korunumu denklemi elde edilir:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{div}(\rho\vec{V}) = 0 \quad (2.16)$$

Sıkıştırılmaz akım için;

$$\text{div}(\rho\vec{V}) = 0 \quad (2.17)$$

Aynı denklem kartezyen koordinat sisteminde aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$\frac{\partial}{\partial x}(\rho u) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho v) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho w) = 0 \quad (2.18)$$

2.2.1.2. Momentum Denklemleri

$$(m_x) : \phi=u, \Gamma = \mu \Rightarrow \frac{\partial}{\partial t}(\rho u) + \text{div}(\rho u\vec{V}) = -\frac{\partial P}{\partial x} + \text{div}(\mu\text{grad}u) + S_{mx} \quad (2.19)$$

$$(m_y) : \phi=v, \Gamma = \mu \Rightarrow \frac{\partial}{\partial t}(\rho v) + \text{div}(\rho v\vec{V}) = -\frac{\partial P}{\partial x} + \text{div}(\mu\text{grad}v) + S_{my} \quad (2.20)$$

$$(m_z) : \phi=w, \Gamma = \mu \Rightarrow \frac{\partial}{\partial t}(\rho w) + \text{div}(\rho w\vec{V}) = -\frac{\partial P}{\partial x} + \text{div}(\mu\text{grad}w) + S_{mz} \quad (2.21)$$

Bu denklemlerde S_{mx} , S_{my} , S_{mz} ifadeleri kütle kuvvetlerini temsil etmektedir.

Konservatif formda Navier-Stokes denklemleri aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$(m_x) : \frac{\partial}{\partial t}(\rho u) + \nabla(\rho u\vec{V}) = -\frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} + \rho f_x \quad (2.22)$$

$$(m_y) : \frac{\partial}{\partial t}(\rho v) + \nabla(\rho v\vec{V}) = -\frac{\partial P}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial z} + \rho f_y \quad (2.23)$$

$$(m_z) \quad \frac{\partial}{\partial t}(\rho w) + \nabla(\rho w \vec{V}) = -\frac{\partial P}{\partial z} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zz}}{\partial z} + \rho f_z \quad (2.24)$$

Burada;

$$\tau_{xx} = \lambda(\nabla \cdot V) + 2\mu \frac{\partial u}{\partial x} \quad (2.25)$$

$$\tau_{yy} = \lambda(\nabla \cdot V) + 2\mu \frac{\partial v}{\partial y} \quad (2.26)$$

$$\tau_{zz} = \lambda(\nabla \cdot V) + 2\mu \frac{\partial w}{\partial z} \quad (2.27)$$

$$\tau_{xy} = \tau_{yx} = \mu \left[\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right] \quad (2.28)$$

$$\tau_{xz} = \tau_{zx} = \mu \left[\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right] \quad (2.29)$$

$$\tau_{yz} = \tau_{zy} = \mu \left[\frac{\partial w}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial z} \right] \quad (2.30)$$

2.2.1.3. Türbülanslı Akımlar

Yapılan model pervane deneyinde Reynolds sayısı $0.7 \cdot 10^6$ olarak hesaplanmıştır. Bundan dolayı akış türbülanslı olup, pervane akışlarında kullanımından iyi sonuçlar elde edilen k- ω türbülans modeli kullanılmıştır. Aşağıda k- ω türbülans modeli ve yönetici denklemleri açıklanmaktadır:

k- ω türbülans modeli

Standart k- ω türbülans modeli D.C. Wilcox, (1998) tarafından geliştirilmiş bir türbülans modeli olup düşük Reynolds sayısı etkisini, sıkıştırılabilirliği ve kayma yayılmalarını göz önüne alır. Standart k- ω türbülans modelinde türbülans kinetik enerjisi (k) ve türbülans kinetik enerjisi kayıp oranı (ω) için taşınım denklemleri aşağıdaki gibidir:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\Gamma_k \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) + G_k - Y_k \quad (2.31)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \omega) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \omega u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\Gamma_\omega \frac{\partial \omega}{\partial x_j} \right) + G_\omega - Y_\omega \quad (2.32)$$

Bu denklemlerde görülen G_k ortalama hız gradyanlarından dolayı kinetik enerjinin üretimini, G_ω ise ω 'nın üretimini ifade eder. Γ_k ve Γ_ω ise k ve ω 'nın difüzyon katsayılarını gösterir. Y_k ve Y_ω türbülansstan dolayı k ve ω için kaybı gösterir.

$$\Gamma_k = \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \quad (2.33)$$

$$\Gamma_\omega = \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\omega} \quad (2.34)$$

σ_k ve σ_ω türbülans Prandtl sayıları olup (k ve ω için) türbülans viskozitesi aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\mu_t = \alpha^* \frac{\rho k}{\omega} \quad (2.35)$$

α^* düşük reynolds sayısı düzeltmesine sebep olan bir katsayıdır.

$$\alpha^* = \alpha_{\infty}^* \left(\frac{\alpha_0^* + Re_t/k}{1 + Re_t/R_k} \right) \quad (2.36)$$

$$Re_t = \frac{\rho k}{\mu \omega} \quad (2.37)$$

$$R_k = 6 \quad (2.38)$$

$$\alpha_0^* = \frac{\beta}{3i} \quad (2.39)$$

$$\beta_i = 0.072 \quad (2.40)$$

Yüksek Re sayılı akışlarda k- ω modelinde $\alpha^* = \alpha_0^* = 1$ 'dir.

$$G_k = -\rho \overline{u'_i u'_j} \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \quad (2.41)$$

Boussinesq yaklaşımı bağlamında G_k 'yi değerlendirmek gerekirse;

$$G_k = \mu_t S^2 \quad (2.42)$$

S ise ortalama rate-of-strain tensörüdür.

$$G_w = \alpha \frac{\omega}{k} G_k \quad (2.43)$$

2.2.2. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Teknikleri

2.2.2.1. Yönetici Denklemlerin Ayrıklaştırılması-Sonlu Hacimler Yöntemi

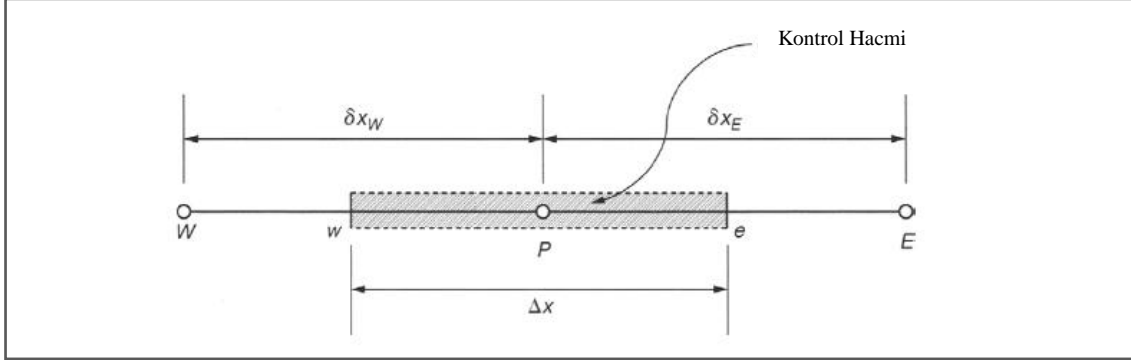
Sonlu hacimler yöntemi ilk olarak McDonald (1971) ve MacCormack ve Paullay (1972) tarafından iki boyutlu zamana bağlı Euler denklemlerinin çözümü için geliştirilmiştir. Daha sonra Rizzi ve Inouye (1973) tarafından üç boyutlu hale getirilmiştir. Kısmi diferansiyel denklemlerin çözümünde kullanılan bu yöntemde korunumlu değişkenlerin değerleri kontrol hacmi üzerinde hesaplanır. Sonlu hacimler yöntemi integral formdaki korunum denklemlerini kontrol hacimleri üzerinde ayrıklaştırmaktadır. Hacim integrasyonu esnasında diverjans içeren terimler diverjans teoremi ile yüzey integrallerine dönüştürülür. Daha sonra bu terimler her bir sonlu hacmin yüzeylerindeki akılar olarak değerlendirilir. Bir hacime giren akı miktarı ona komşu hacimden çıkan akı miktarına eşit olacağından yöntem korunumlu bir yöntemdir. Sonlu hacimler yöntemi kontrol hacimleri ile çalıştığından dolayı yapılandırılmış ağlarla çözüm yaptığı gibi yapılandırılmamış ağlar ile de çalışabilmektedir. Akışı yöneten genel korunum denklemi kontrol hacmi üzerinde integre edilmektedir:

$$\int_{CV} \text{div}(\rho \phi \vec{V}) dV = \int_{CV} \text{div}(\gamma \text{grad } \phi) dV + \int_{CV} \phi dV \quad (2.44)$$

Yukarıdaki hacim integrasyonu üzerinde diverjans teoremini kullanırsak elde edilen denklem bir kontrol hacmindeki akı dengesini göstermektedir. Sol taraftaki terim net taşınım akısını, sağ taraftaki terimleri ise net difüzyon akısını ve hacimdeki ϕ kaynağını gösterirler. Daha sonra elde edilen bu denklem kullanılarak ayrıklaştırılmış ifadeler bulunur. Problem bir

boyutlu olarak düşünülürse, denklemin kontrol hacmi üzerinde integrale edilmesi ve diverjans teoreminin uygulanması ile denklem aşağıdaki şekle dönüşür:

$$\int_A n(\rho u \phi) dA = \int_A n \left(\gamma \frac{d\phi}{dx} \right) dA + \int_{CV} f_\phi dV \quad (2.45)$$



Şekil 2.4 P noktası için bir boyutlu hacmin FVM'ye göre gösterimi (Tu, 2008)

Şekil 2.4'de bir boyutlu kontrol hacminin gösterimi görülmektedir. Kontrol hacmi üzerinde integrale edilmiş denklemden ayrıklaştırma işlemi aşağıdaki şekilde yapılabilir:

$$(\rho u A \phi)_{i+\frac{1}{2}} - (\rho u A \phi)_{i-\frac{1}{2}} = \left(\gamma A \frac{\partial \phi}{\partial k} \right)_{i+\frac{1}{2}} - \left(\gamma A \frac{\partial \phi}{\partial k} \right)_{i-\frac{1}{2}} + f \Delta V \quad (2.46)$$

$\frac{\partial \phi}{\partial x}$ için merkezi fark yaklaşımını kullanırsak ve $A_{i+1/2}=A_{i-1/2}=A$ olduğunu düşünürsek, yukarıdaki ayrıklaştırılmış denklem şu hale gelir:

$$(\rho u \phi)_{i+1/2} - (\rho u \phi)_{i-1/2} = \frac{\gamma}{\Delta x} (\phi_{i+1} - \phi_i) - \frac{\gamma}{\Delta x} (\phi_i - \phi_{i-1}) + f_\phi \quad (2.47)$$

Hücre kenarlarındaki değişken değerleri için de aşağıdaki şekilde lineer interpolasyon kullanılabilir:

$$\phi_{i+1/2} = \frac{\phi_i + \phi_{i+1}}{2} \quad (2.48)$$

$$\phi_{i-1/2} = \frac{\phi_{i-1} + \phi_i}{2} \quad (2.49)$$

Bu değerler yukarıdaki (2-47) eşitliğinde yerine yazıldığında ayrıklaştırılmış ifade aşağıdaki şekle dönüşür:

$$\frac{\gamma}{\Delta x} \left(2 - \rho \left(\frac{u_{i-1/2} + u_{i+1/2}}{2} \right) \right) \phi_i = \left(\frac{\gamma}{\Delta x} + \frac{\rho u_{i-1/2}}{2} \right) \phi_{i-1} + \left(\frac{\gamma}{\Delta x} - \frac{\rho u_{i+1/2}}{2} \right) \phi_{i+1} + f_\phi \quad (2.50)$$

İki ve üç boyutlu problemler için ayrıklaştırılmış ifadeler bir boyutlu durumdakine benzer şekilde elde edilebilir.

2.2.2.2. Denklemlerin Sayısal Çözümleri

Bu bölümde genelleştirilmiş transport denklemlerinin çözümü için PISO ve SIMPLE algoritmalarından bahsedilecektir. Bu denklemlerin çözümü için genel yaklaşım aşağıdaki gibidir:

1. Geometrinin tanımlanması
2. Sayısal çözüm hacminin kontrol hacimlerine bölünmesi
3. Denklemin her kontrol hacmi için integre edilmesi
4. Çözüm matrisinin oluşturulması
5. Her zaman adımı için işlemlerin tekrarı (opsiyonel)

Vektörel notasyonda Navier-Stokes denklemleri aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$\nabla \vec{u} = 0 \quad (2.51)$$

$$\frac{\partial u_x}{\partial t} + \nabla \cdot (\vec{u} u_x) = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \nu \nabla^2 u_x$$

$$\frac{\partial u_y}{\partial t} + \nabla \cdot (\vec{u} u_y) = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \nu \nabla^2 u_y \quad (2.52)$$

$$\frac{\partial u_z}{\partial t} + \nabla \cdot (\vec{u} u_z) = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \nu \nabla^2 u_z$$

(2.51) denkleminde gösterilen momentum denklemleri bir kaynak teriminden;

$$-\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} \quad (2.53)$$

ve difüzyon terimlerinden oluşan sağ taraf matrisinden meydana gelmektedir. Bu denklemlerin çözümündeki temel sorunlar:

1. Denklemlerin non-lineer olması, u_x 'i hesaplayabilmek için \vec{u} terimini bilmemizin gerekmesi
2. Kaynak teriminin bir bilinmeyen olan p , basınç terimini içermesi

Navier-Stokes denklemlerini içeren bu dört denklemin dördünde de hız teriminin tüm bileşenleri bulunmakta son üçünde de basınç terimi bulunmaktadır. Basıncı bilmeden hızı belirleyemeyeceğimiz gibi hızı bilmeden de basıncı belirleyemeyiz. İki terim için bir çözüme ulaşabilmek için biri hakkında tahminde bulunup diğerini çözmeli ardından geri dönerek diğeri için bir düzeltme yapmamız gerekmektedir. İşlemlere basıncı tahmin ederek başlarsak, hız için tahmini bir değer bulur ve bu değeri daha sonra tekrar basıncı hesaplamak için kullanır ve işlemlere bu şekilde devam ederiz.

Hesaplamalı akışkanlar dinamiğinde bu işlemleri uygulayabilmek için iki yöntem vardır. Bunlar zamana bağlı çözümler için PISO ve zamandan bağımsız çözümler için SIMPLE algoritmalarıdır.

PISO algoritmasında (2.52) denkleminde p ve \vec{u} terimlerini biliyorsak u_x değerini hesaplayabiliriz. (2.52) ve (2.51) denklemleri p basınç terimini elde etmek için kullanılır. Hız (akı) için terim:

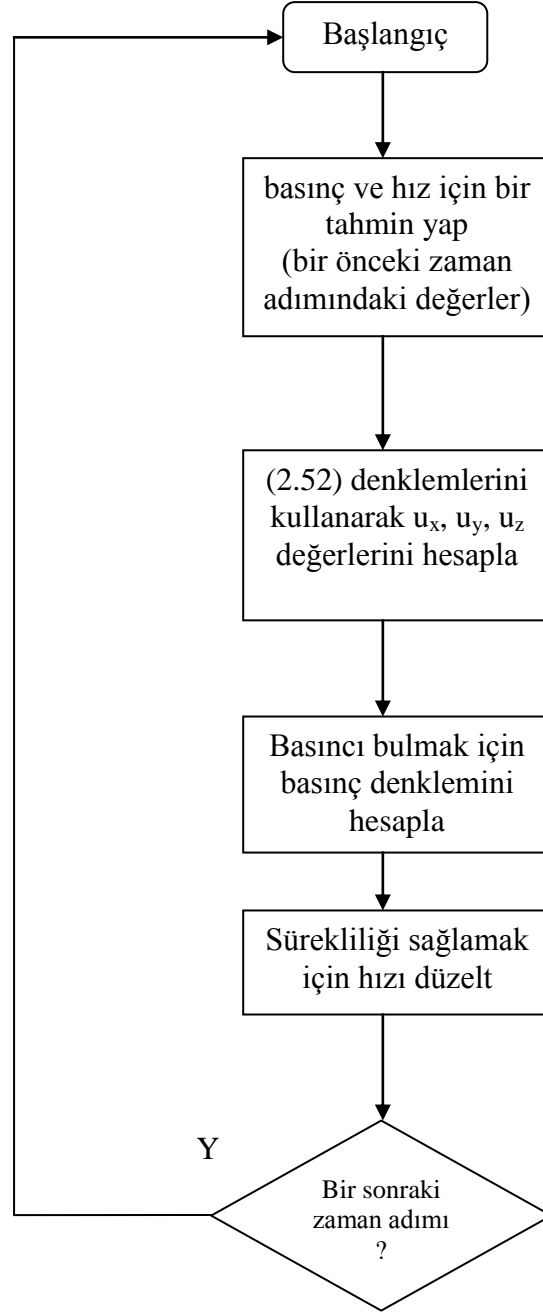
$$\nabla \cdot \left[\frac{1}{A} \nabla p \right] = \text{akı terimi} \quad (2.54)$$

Akı teriminin süreklilik denklemini (2.51) sağlaması gerekmektedir.

PISO algoritması aşağıdaki gibidir:

1. Basınç ve hız değerlerinin tahmin edilmesi (sonraki zaman adımlarında bir önceki zaman adımından elde edilen değerler kullanılır).
2. u_x , u_y , u_z terimlerini elde etmek için momentum denklemleri (2.52) kullanılır.
3. Basıncı hesaplamak için basınç denklemi çözülür.
4. Süreklilik denklemini sağlamak üzere akı (hız) düzeltilir.

Gerekli olduğu takdirde 3. ve 4. adımlar tekrar edilir. Yukarıdaki işlemlerin yapılması çözümün bir zaman adımı ilerlemesini sağlar. 1'den 4'e kadar olan işlemler bir sonraki zaman adımı için tekrarlanır. PISO algoritmasının akış diyagramı Şekil 2.5'de gösterilmiştir.



Şekil 2.5 PISO algoritmasının akış diyagramı [3]

Zamandan bağımsız problemlerin çözümünde SIMPLE algoritması kullanılır. SIMPLE, “basınç bağlantılı denklemler için yarı-kapalı yöntem”in kısaltmasıdır. Algoritma ilk olarak Patankar ve Spalding (1972) tarafından önerilmiştir. Hesap işlemleri basıncın tahmini ve düzeltilmesi esasına dayanır.

Zamandan bağımsız çözümler için Navier-Stokes denklemlerini aşağıdaki gibi ifade edebiliriz:

$$\nabla \vec{u} = 0 \quad (2.55)$$

$$\nabla \cdot (\vec{u} u_x) = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \nu \nabla^2 u_x$$

$$\nabla \cdot (\vec{u} u_y) = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \nu \nabla^2 u_y \quad (2.56)$$

$$\nabla \cdot (\vec{u} u_z) = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \nu \nabla^2 u_z$$

Navier-Stokes denklemlerinde yine yukarıda bahsedildiği gibi hız ve basıncın bilinmemesinden kaynaklanan çözüm problemleri vardır. SIMPLE algoritmasında bu problemi çözmek için p^* ve \vec{u}^* olmak üzere yaklaşık değerler tayin edilir ve bu değerleri düzeltmek üzere p' ve \vec{u}' değerleri atanır. Bu algoritmada izlenen yol aşağıdaki gibidir:

1. Başlangıç basınç değeri p^* tahmin edilir.
2. (2.56) denklemleri kullanılarak bu basınç değerinden bir \vec{u}^* hız değeri tahmini yapılır.
3. Basınç için p' basınç düzeltme değeri bulunur.

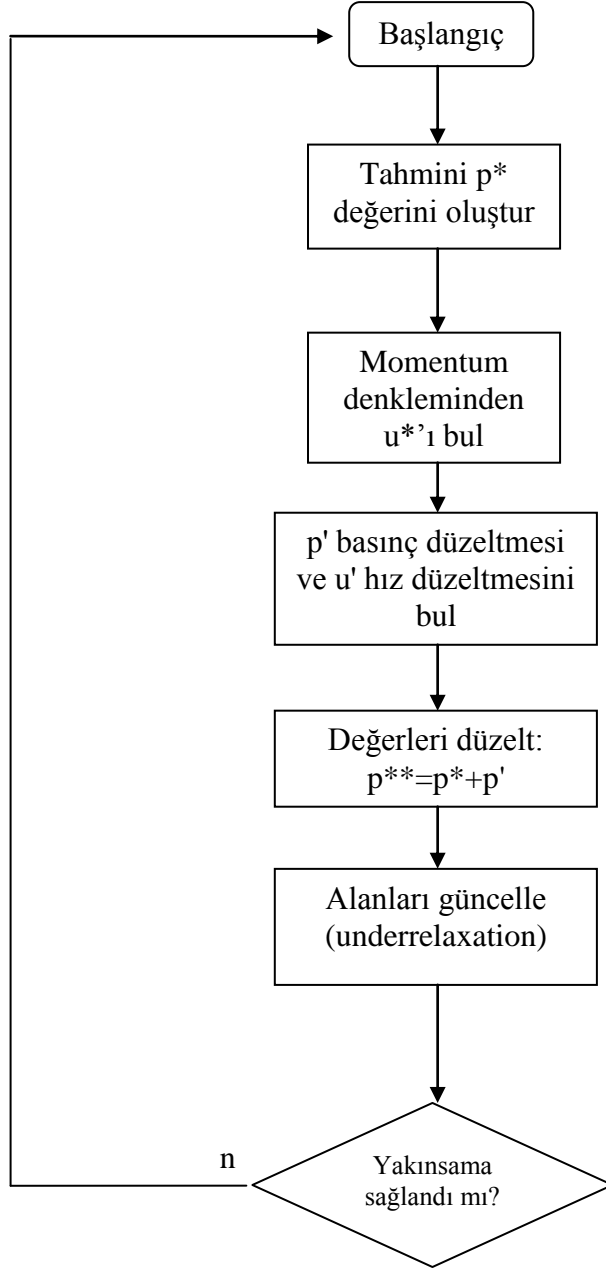
$$p^{**} = p^* + p' \quad (2.57)$$

4. Hız (akı) değeri süreklilik denklemini sağlamak üzere düzeltilir.

Hız denklemlerinin non-lineer yapısından dolayı bu işlemlerden uygun bir sonuç elde edilene kadar hesaplamalar iteratif bir süreç olarak tekrarlanarak p ve \vec{u} değerleri elde edilir. Ayrıca her adımda kullanılan yeni sonuçlar p^{**} ve \vec{u}^{**} dolayısıyla çözüm kararsız bir yapıya kavuşabilir. Bu sorunu düzeltebilmek için underrelaxation (rahatlatma) denilen bir teknik kullanılmaktadır. Yenilenmiş basınç değeri için ;

$$p^{n+1} = \alpha p^{**} + (1 - \alpha) p^n \quad (2.58)$$

Burada α underrelaxation parametresidir. İterasyonun her adımında, hesaptaki hata (artık) azalmaktadır. Bu azalmanın gözlenmesi için her değişken için artıkların çizdirilmesi gerekmektedir.



Şekil 2.6 SIMPLE algoritmasının akış diyagramı [3]

Çözüm esnasında tanımlanması gereken diğer bir husus sınır koşullarıdır. Problemin çözümünde akışkan içinde tüm noktalarda başlangıç şartlarında p ve \vec{u} 'nin durumunun belirlenmesi gerekir. Akışkan problemlerinin çoğu parabolik ya da hiperbolik karakterdedir. Bundan dolayı her hangi bir t anında çözüm, bölge için tanımlanmış başlangıç koşullarına bağlıdır. Hesaplamalara başlarken bu başlangıç koşullarının tanımlanması gerekmektedir. Bunun için başlangıçta p ve u ifadeleri için bir değer belirtmemiz gerekmektedir (başlangıçta tüm hacim için $u=0$ değerinin yazılması gibi). Zamandan bağımsız viskoz akımlar eliptik karakterde olup normalde başlangıç koşullarına ihtiyaç duymazlar. Ancak SIMPLE algoritmasında p ve \vec{u} için başlangıç değerlerinin tanımlanması gerekmektedir. Başlangıç değerlerinin doğru seçilmesi sonucun yakınsayıp yakınsamamasını etkiler.

Aynı zamanda sınır koşullarının da tanımlanması gerekmektedir. Sınır koşulları doğrudan çözümün sonucunu belirlemektedir. Üç çeşit sınır koşulu tanımlıdır. Bunlar duvar (wall), giriş (inlet) ve çıkış (outlet) sınır koşullarıdır. Laminer akışlar için bunlar aşağıdaki gibi tanımlıdır:

- Duvar sınır koşulu (wall): $u=0$ duvara paralel (duvarın hareketli olması durumu hariç bu durumda akışkan hareketi paylaşacaktır)
- Akışkan girişi- u belirlenir
- Akışkan çıkışı- p belirlenir

Sınır koşullarının doğru seçilmesi problemin doğru çözümünün elde edilmesinde büyük önem taşımaktadır.

2.2.3. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiğinde Sonuç Analizi

2.2.3.1.Uyumluluk

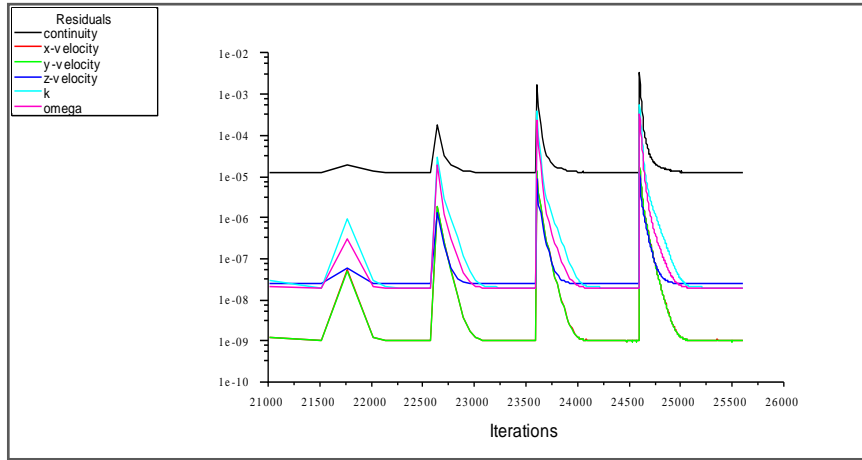
Çözüm ağı noktalarının sayısı sonsuza gittiğinde $\Delta x \rightarrow 0$ ve $\Delta t \rightarrow 0$ fark denklemi orjinal denkleme yaklaşıyorsa (sistemik hata olan kesme hataları sıfıra gidiyorsa) fark denklemi ile orijinal denklem uyumludur denir.

2.2.3.2.Kararlılık

Sayısal çözüm sırasında oluşan yuvarlama hataları hesaplama süresince büyüyorsa sayısal yöntem kararsız, hatalar küçülüyor ya da değişmiyorsa sayısal yöntem kararlıdır denir.

2.2.3.3.Yakınsama

Sayısal çözümün analitik tam çözüm sonucuna doğru yaklaşmasına yakınsama adı verilir. Bir sayısal yöntem uyumluluk ve kararlılık şartlarını sağlarsa, yakınsama şartını da sağlar. Bu çalışmada yakınsama faktörü 10^{-5} seçilmiş ve açık su pervane karakteristikleri elde edilirken zamandan bağımsız olarak yapılan hesaplamalarda 1000 iterasyonda yakınsama gözlenmiştir. Zamana bağımlı yapılan hesaplamalarda da 1000 iterasyonda yakınsama gözlenmiştir.



Şekil 2.7 Yakınsama Grafiği

3. HESAPLAMALI AKIŞKANLAR DİNAMİĞİ YÖNTEMİNİN (FLUENT) DOĞRULANMASI

Bu bölümde DTMB 4119 ve benzer boyuttaki pervanelerin analizi yapılırken kullanılacak çözüm ağı yoğunluğu ile ilgili bir inceleme yapılmaktadır. Pervane üzerine gelen kuvvet ve tork değerlerinden yola çıkarak pervane açık su karakteristikleri elde edilmekte ve pervane gerisi akım hızları koordinatları verilmiş üç noktada okunmaktadır. Belirlenen çözüm ağı yoğunluğuna göre mesafeleri belirtilmiş bir eksenle 5 derece aralıklar ile hız değerleri okunarak değerler deney sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

Pervane itme kuvveti ve tork değerlerinin sayısal olarak bulunması amacı ile şimdiye kadar potansiyel temelli kodların doğrulanması amacıyla sıklıkla kullanılmakta olan DTMB 4119 model pervanesinin deney sonuçlarından faydalanılmıştır. DTMB 4119 pervanesi David Taylor Madel Basin'de tasarlanmış bir pervanedir. Pervane modifiye edilmiş Naca 66 hidrofoil kesitlerinden oluşmakta ve $a=0.8$ sehim hattına sahiptir. Pervane sağa dönüşlü olup uniform akımda çalışmaktadır. DTMB 4119 model pervanesinin görünümü Şekil 3.1'de görülmekte olup pervane geometrisi Şekil 3.2'de verilmiştir. Model pervanesinin özellikleri aşağıdaki gibidir:

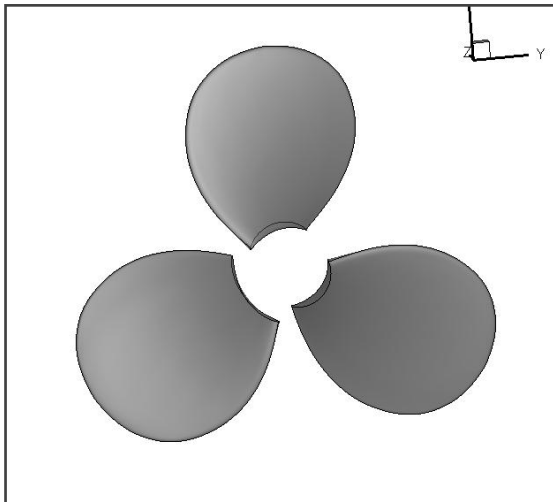
DTMB 4119

İlerleme katsayısı: $J=V/nD= 0.833$

İlerleme hızı: $V=2.54$ m/s

Devir: $n=10$ rps / 600 RPM

Çap: $D=0.3048$ m.



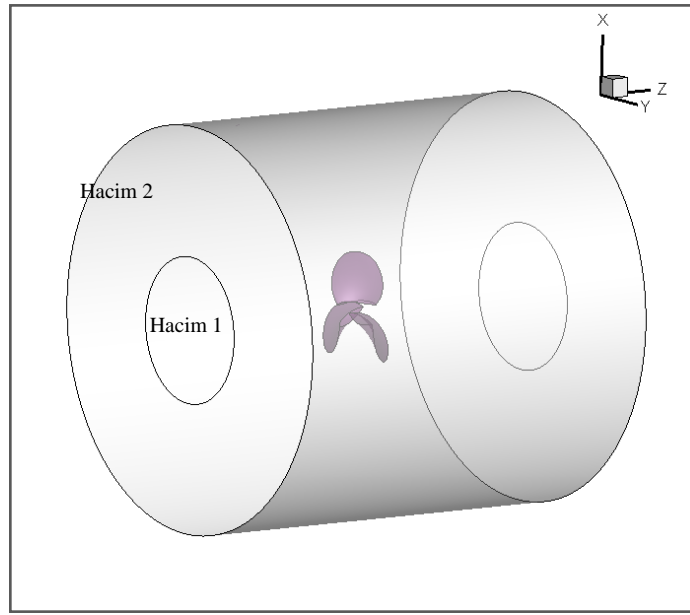
Şekil 3.1 DTMB 4119 model pervanesinin görünümü

r/R	c/D	rk/D	$sk[^\circ]$	P/D	t_{max}/c	f_{max}/c
Prop				4119		
0.20	0.3200	0.00	0.00	1.1050	0.2055	0.0143
0.30	0.3635	0.00	0.00	1.1022	0.1553	0.0232
0.40	0.4048	0.00	0.00	1.0983	0.1180	0.0230
0.50	0.4392	0.00	0.00	1.0932	0.0902	0.0218
0.60	0.4610	0.00	0.00	1.0879	0.0696	0.0207
0.70	0.4622	0.00	0.00	1.0839	0.0542	0.0200
0.80	0.4347	0.00	0.00	1.0811	0.0421	0.0197
0.90	0.3613	0.00	0.0000	1.0785	0.0332	0.0182
0.95	0.2775	0.00	0.00	1.0770	0.0323	0.0163
0.98	0.2045	0.00	0.00	1.0761	0.0321	0.0145
1.00	0.0800	0.00	0.00	1.0750	0.0316	0.0118

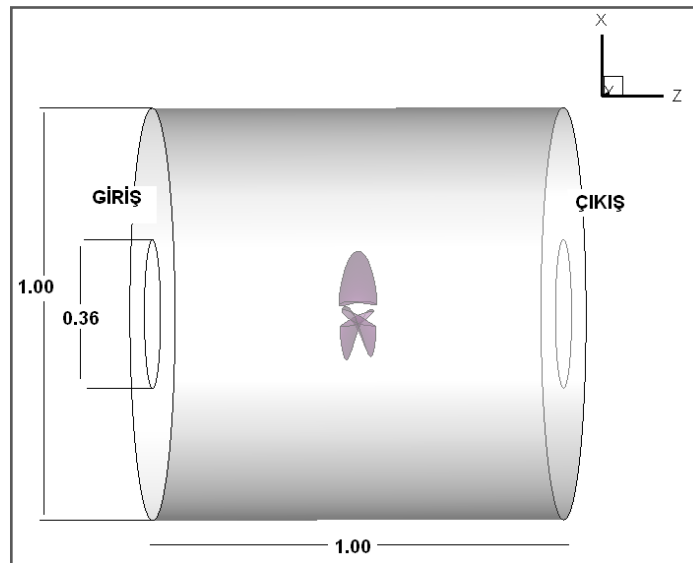
Şekil 3.2 DTMB 4119 model pervanesinin geometrisi

3.1. DTMB 4119 Model Pervanesinde Çözüm Ağı Bağımsızlığının İncelenmesi

Bu çalışmada amaç, Şekil 3.3’de gösterilen kontrol hacmi için en uygun çözüm ağı yoğunluğunu bulmaktır. Bunun için aynı kontrol hacminde beş farklı çözüm ağı için hesaplamalar yaptırılarak karşılaştırılmıştır. Kontrol hacmi pervanenin içinde bulunduğu ve yapılandırılmamış hücrelerden oluşan bir iç hacim (Hacim 1) ile yapılandırılmış hücrelerden oluşan bir dış hacimden (Hacim 2) oluşmaktadır. Kontrol hacminin boyutları metre cinsinden Şekil 3.4’de gösterilmiştir. Çözüm algoritması olarak SIMPLE algoritması seçilmiştir. Sınır koşulları olarak giriş, hız girişi (velocity-inlet) çıkış ise basınç çıkışı (pressure outlet) olarak seçilmiştir. Pervane kanatları duvar (wall) olarak tanımlanmıştır.



Şekil 3.3 DTMB 4119 Kontrol hacmi



Şekil 3.4 DTMB 4119 Kontrol hacmi boyutları

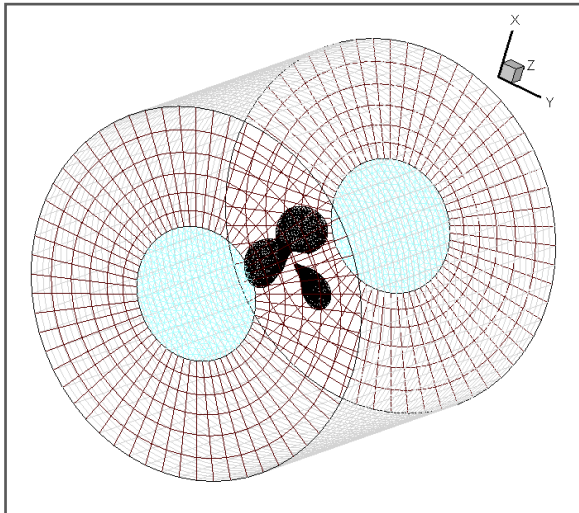
Hesaplar sadece birinci hacmin hareketli referans sisteminde döndürülmesi ile gerçekleştirilmiştir. Açık su pervane tecrübeleri verileri doğrultusunda sekiz farklı ilerleme hızına göre hesaplamalar yapılarak sonuçlar karşılaştırılmıştır. Kullanılan eleman sayısı ve boyutları Çizelge 3.1’de belirtilmiştir:

Çizelge 3.1 Çözüm ağı özellikleri

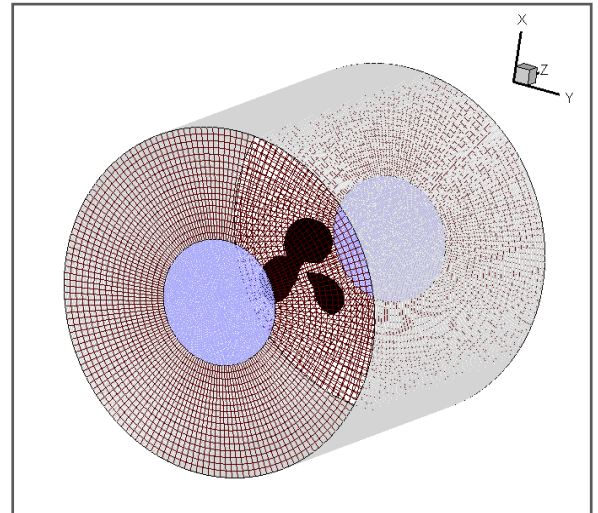
Durum	Eleman Sayısı	En küçük elemanın boyutu (m ³)	En büyük elemanın boyutu (m ³)
1	85.674	10 ⁻⁶	9.4*10 ⁻⁵
2	103.495	6*10 ⁻⁷	5.16*10 ⁻⁵
3	632.495	10 ⁻⁷	9.3*10 ⁻⁶
4	1.149.286	6*10 ⁻⁸	5.16*10 ⁻⁶
5	2.181.481	3*10 ⁻⁸	2.55*10 ⁻⁶

Pervane için oluşturulan yoğunluğu en az olan çözüm ağı Durum 1 Şekil 3.5’de ve yoğunluğu en fazla olan çözüm ağı Durum 5 ise Şekil 3.6’da gösterilmektedir.

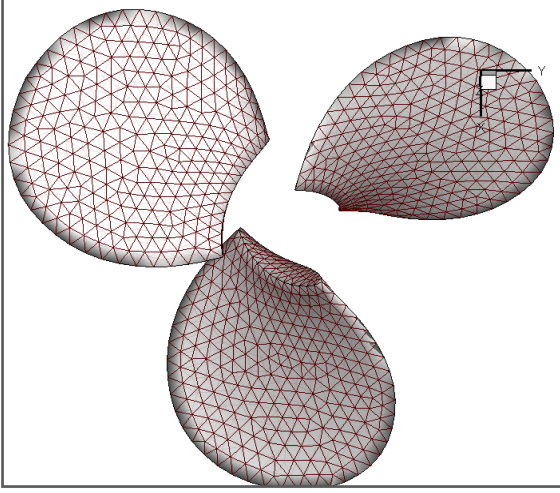
Pervane üzerindeki çözüm ağı yoğunluğu ise Şekil 3.7-8’de gösterilmiştir.



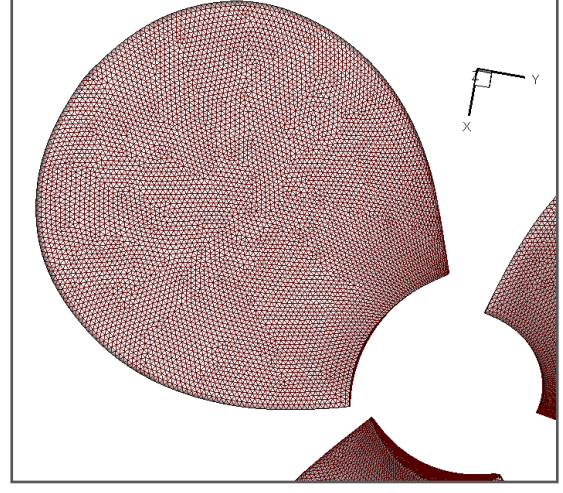
Şekil 3.5 DTMB 4119 (Durum 1) çözüm ağı görünümü



Şekil 3.6 DTMB 4119 (Durum 5) çözüm ağı görünümü

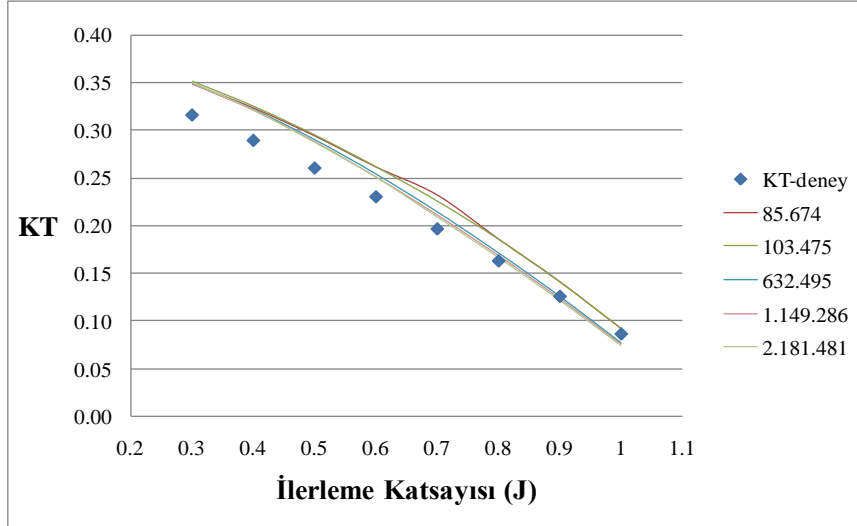


Şekil 3.7 DTMB 4119 (Durum 1) pervane
üstünde çözüm ağı görünümü

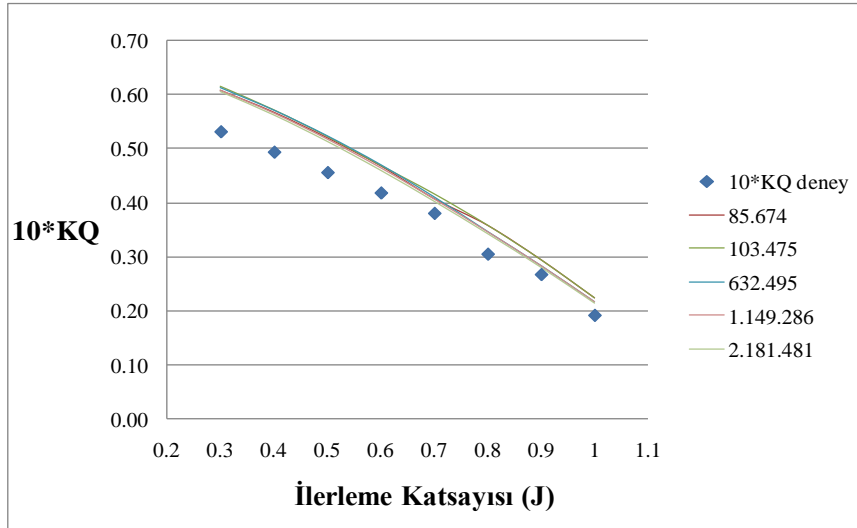


Şekil 3.8 DTMB 4119 (Durum 5) pervane
üstünde çözüm ağı görünümü

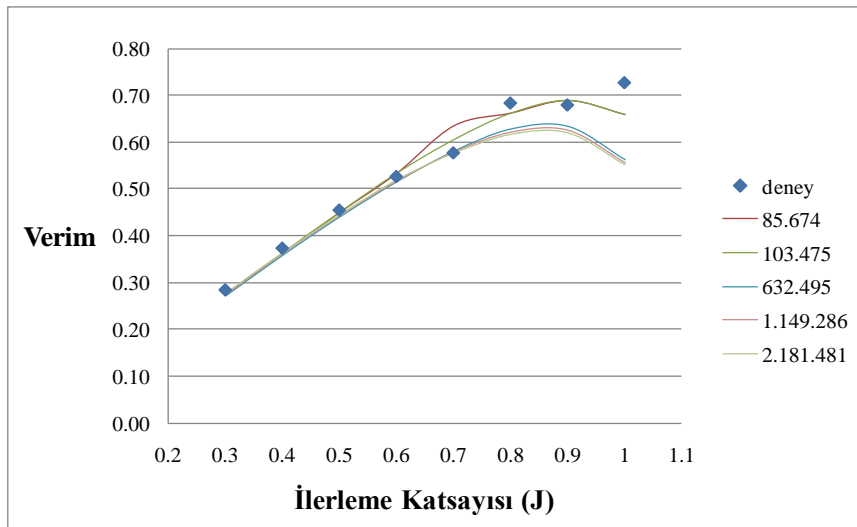
Hesaplamalar yakınsama kriteri 10^{-5} seçilerek 1000 iterasyon için yapılmıştır. Elde edilen kuvvet ve tork değerlerinden boyutsuz katsayılara geçilerek Şekil 3.9-11'da gösterilmiş olan pervane açık su diyagramları elde edilmiştir.



Şekil 3.9 Açık su pervane K_T değerleri (DTMB 4119)



Şekil 3.10 Açık su pervane $10 \cdot K_Q$ değerleri (DTMB 4119)



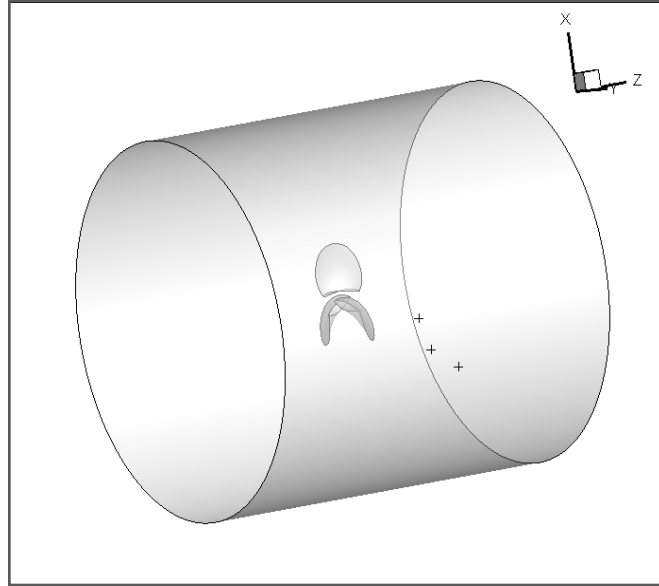
Şekil 3.11 Açık su pervane verimi (DTMB 4119)

3.2 DTMB 4119 Pervanesinde Pervane Gerisi Hızların İncelenmesi

Pervanenin ürettiği itme kuvveti ve tork değerlerinin yanı sıra pervane gerisi hızların doğru olarak hesaplanabilmesi çözüm ağı yoğunluğunun seçiminde daha belirleyici bir etkindir. Bu amaçla pervane gerisinde seçilmiş olan üç farklı noktada hız değerleri okunarak, farklı çözüm ağı yoğunluğuna göre değişimi incelenmiştir. Pervane gerisinde incelenen noktaların koordinatları Çizelge 3.2’de belirtilmiş ve Şekil 3.12’de gösterilmiştir.

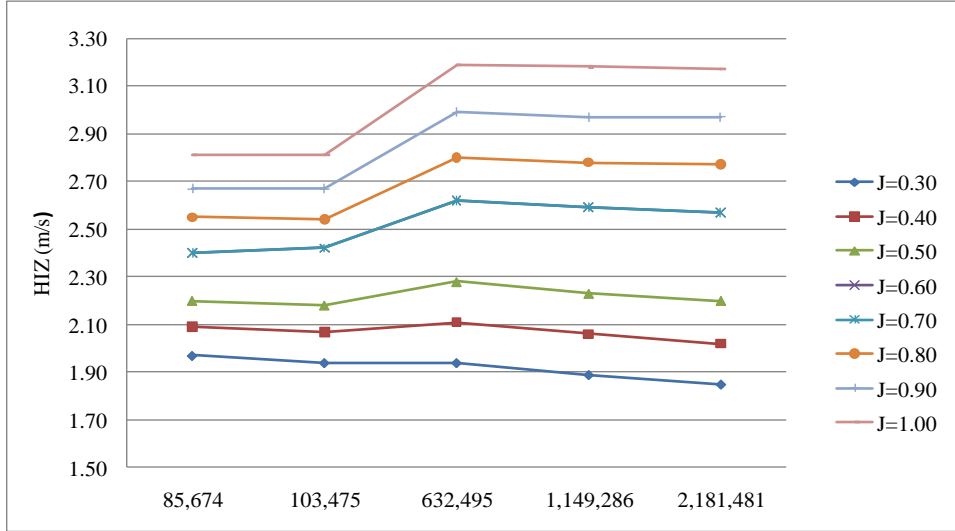
Çizelge 3.2 Pervane gerisi hız için ölçüm noktaları

Nokta Numarası	X koordinatı	Y koordinatı	Z koordinatı
1	0.1	-0.1	0.3
2	0.1	-0.2	0.3
3	0.2	0.2	0.5

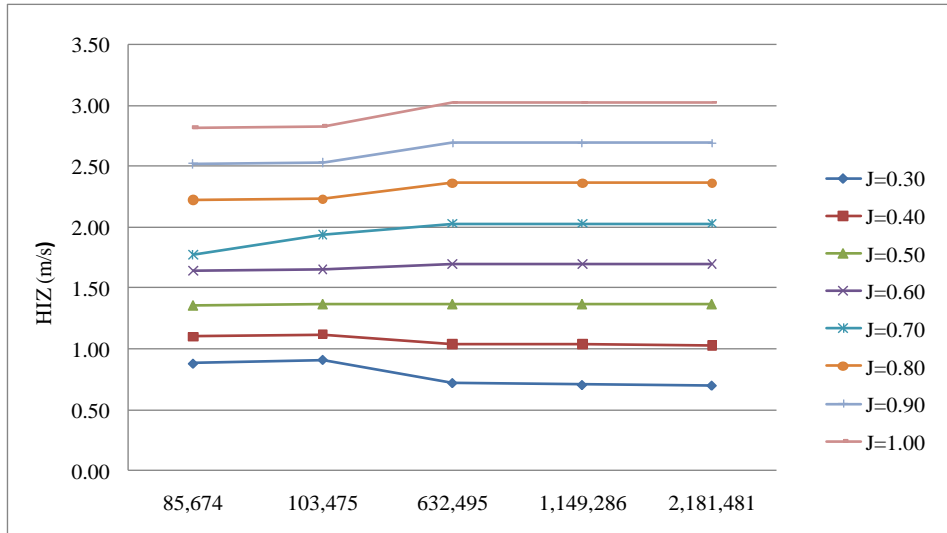


Şekil 3.12 Pervane gerisi hızların incelendiği noktalar

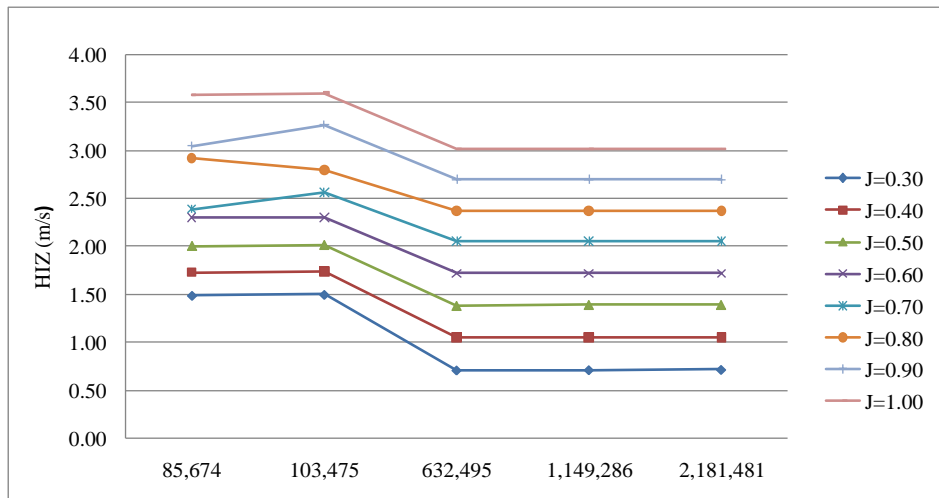
Elde edilen pervane gerisi teğetsel hız değerleri her bir noktada incelenmiş ve Şekil 3.13-15’de dağılımları gösterilmiştir.



Şekil 3.13 Nokta No:1'de çözüm ağı yoğunluğuna göre hız değişimi

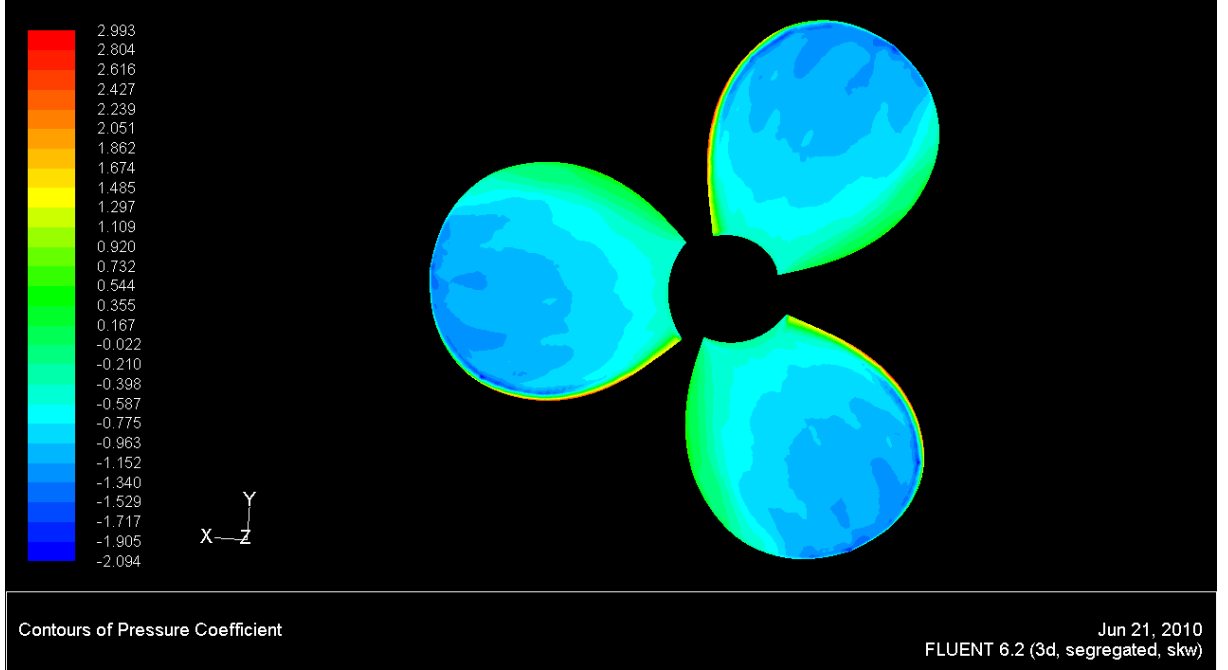


Şekil 3.14 Nokta No:2'de çözüm ağı yoğunluğuna göre hız değişimi

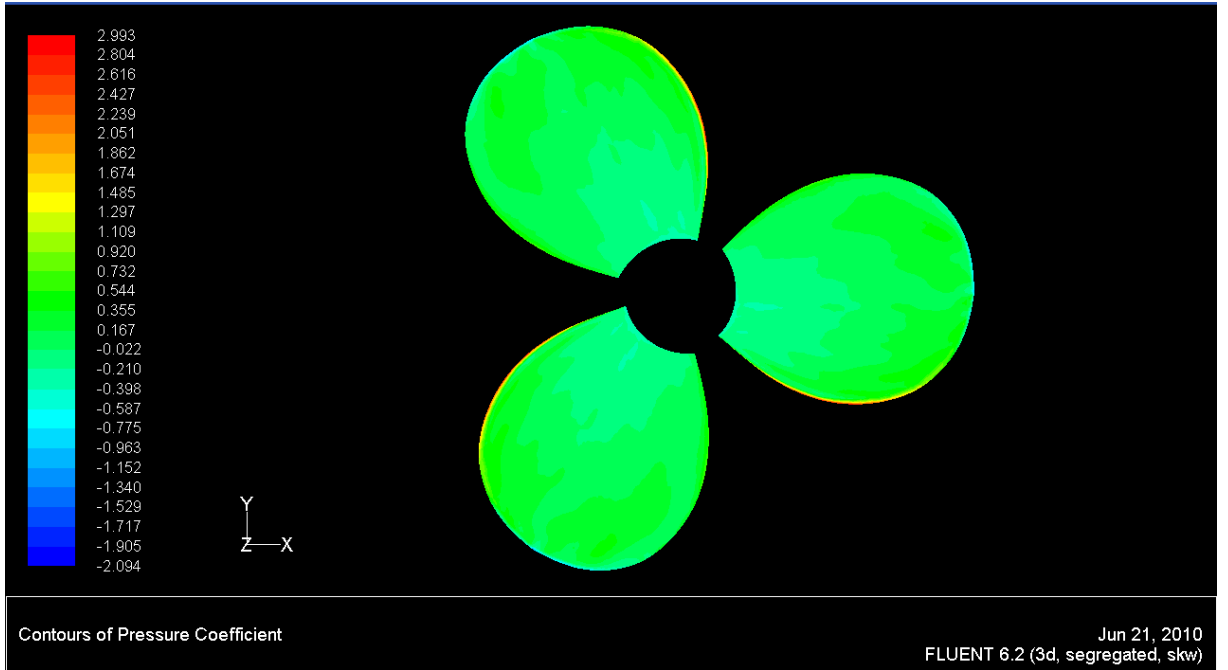


Şekil 3.15 Nokta No:3'de çözüm ağı yoğunluğuna göre hız değişimi

Pervane üstünde elde edilen boyutsuz basınç dağılımı pervane sırtı için Şekil 16'da ve pervane yüzü için Şekil 3.17'de gösterilmiştir.



Şekil 3.16 Boyutsuz basınç dağılımları (DTMB 4119, sırt)



Şekil 3.17 Boyutsuz basınç dağılımları (DTMB 4119, yüz)

3.3 Sonuç

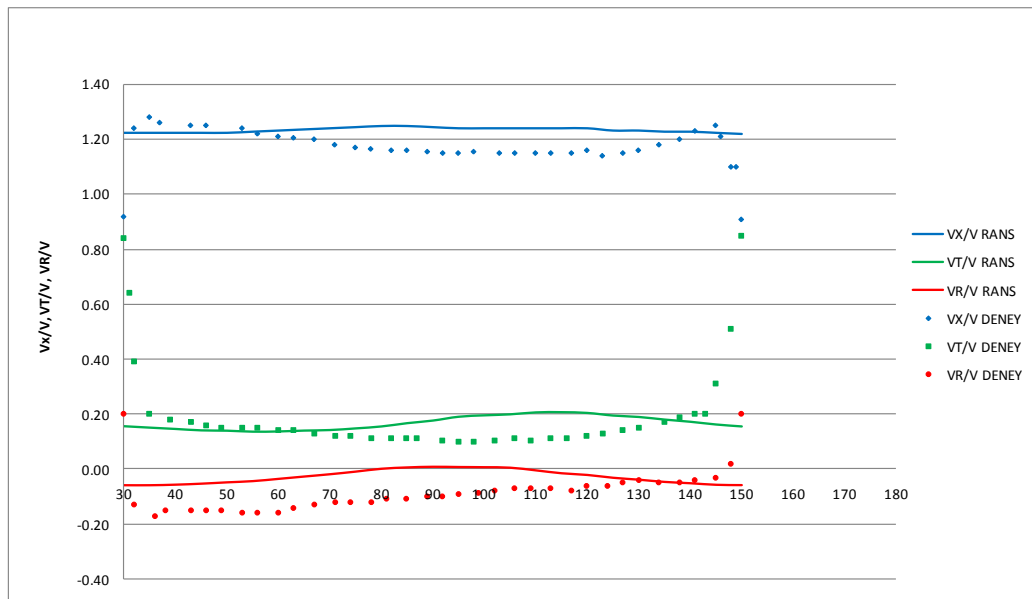
Pervane açık su karakteristiklerinin belirlenebilmesi ve pervane gerisi hızlarının doğru bir şekilde elde edilebilmesi için uygun çözüm ağı yoğunluğunun belirlenmesi önem taşımaktadır. Bu amaçla bu bölümde beş farklı çözüm ağı yoğunluğuna göre hesaplamalar yapılmış ve elde edilen sonuçlar hata miktarlarına göre Çizelge 3.3’de karşılaştırılmıştır.

Çizelge 3.3 K_T , K_Q ve verim değerlerindeki hata miktarları

Durum	K_T	K_Q	Verim
1	0.12	0.13	0.01
2	0.12	0.14	0.01
3	0.06	0.13	0.06
4	0.04	0.12	0.07
5	0.04	0.11	0.06

Pervane açık su karakteristiklerine oranla pervane gerisi hızların değerlendirilmesinde daha yoğun bir çözüm ağı gerekliliği görülmektedir. Çözüm ağlarında kullanılan eleman boyutlarına bağlı olarak DTMB 4119 ve benzer boyuttaki bir pervane için 4. durumda kullanılan eleman boyutlarının yeterli olacağı gösterilmiştir.

Elde edilen sonuçlardan hareketle 4. durum için $x/D=0.328$ ve $r/R=0.70$ mesafelerinde 5 derece aralıklar ile oluşturulan noktalarda eksenel, radyal ve teğetsel hızlar incelenmiş ve deney sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Buradan elde edilen sonuçlar ise Şekil 3.18’de gösterilmiştir.



Şekil 3.18 $x/D=0.328$ ve $r/R=0.70$ mesafesinde sayısal ve deneysel yöntemlere göre eksenel, radyal ve teğetsel hız değişimi

4. AÇIK SU PERVANELERİNİN PERFORMANS KARAKTERİSTİKLERİNİN VE ÇEVREYE OLAN ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Pervane açık su karakteristiklerinin incelenmesi ve pervane gerisi indüklenen hızların karşılaştırılması amacı ile pervanenin podlu ve podsuz durumları için yapılan deney sonuçları ile FLUENT programından elde edilmiş olan değerler karşılaştırılmıştır. Pervane açık su karakteristikleri incelenirken DTMB 4119 modelinde olduğu gibi hareketli referans sisteminde zamandan bağımsız çözümler yapılarak kuvvet ve tork değerleri elde edilmiş, pervane gerisi hızları ölçülmüştür. Kullanılan podlu pervanenin ana boyutları Çizelge 4.1’de belirtilmiştir. Deneyde kullanılan model Şekil 4.1’de görülmektedir.

Çizelge 4.1 Podlu pervanenin özellikleri

	Gerçek Boyutlar	Model
Çap (m)	5.299	0.23
Göbek çapı (m)	1.333	0.0533
0.7R’de hatve oranı	1.389	1.389
Kanat açılım oranı	0.756	0.756
Kanat sayısı	4	4
Ölçek	23	1
Pod çapı (m)	2.875	0.125
Pod uzunluğu (m)	9.43	0.41

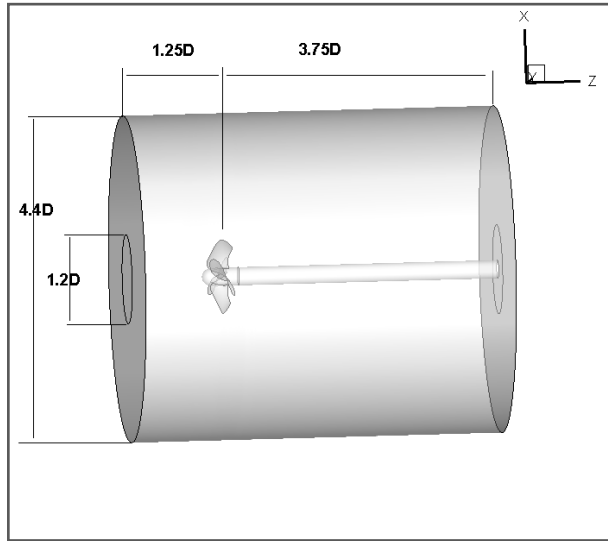


Şekil 4.1 Podlu pervane modeli (Wang vd., 2002)

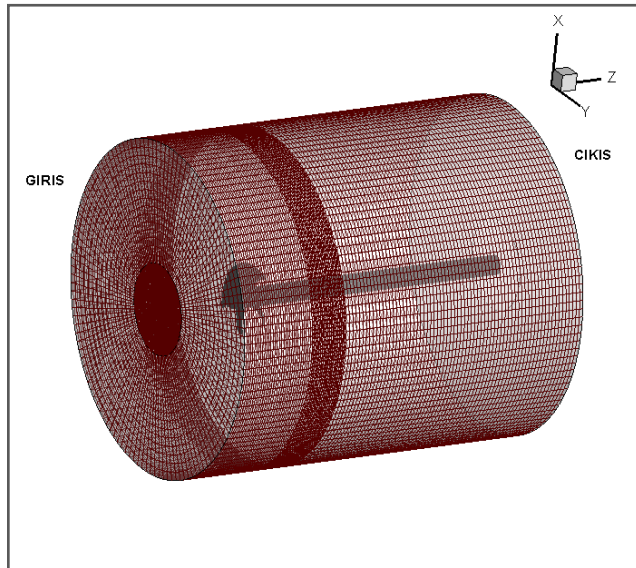
Pervane açık su tecrübelerinde pervane çalışma şartları pervane tork katsayısı $K_Q=0.0559$ değeri sağlanacak şekilde belirlenmiştir. Geminin hızı 28.34 knot, devir sayısı 142.1 dev/dak. ve shaft gücü 20000 kW ‘tır. Bu değerler ışığında pervane yükleme katsayısı $C_T=0.487$ ve Reynolds sayısı $Re=0.7 \cdot 10^6$ olarak verilmiştir.

4.1. Podsuz Pervane

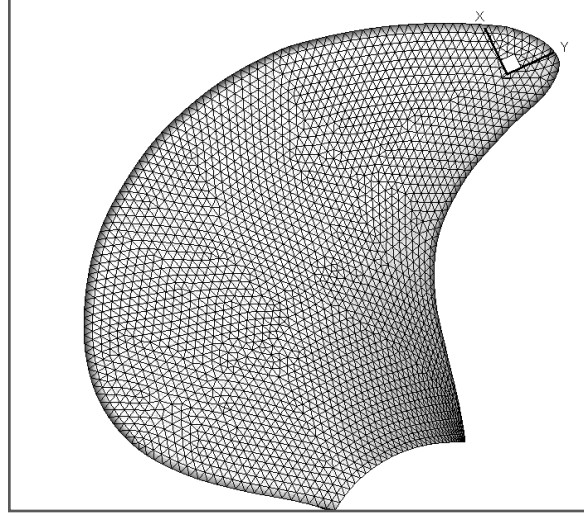
Podsuz pervane durumu incelenirken pervanenin gerisinde pod kaldırılarak aynı kontrol hacminde şaft yerleştirilerek incelenmiştir (Şekil 4.2). Kontrol hacminde 1 130 000 hacim elemanı oluşturulmuştur (Şekil 4.3). Pervanenin içinde çalıştığı iç hacim bölgesi 860.000 hacim elemanından dış bölge ise 270.000 hacim elemanından oluşmaktadır. Kullanılan en büyük elemanın boyutu $7.36 \cdot 10^{-6}$ (m³) ve en küçük elemanın boyutu ise $8 \cdot 10^{-8}$ (m³)'dür. Pervane kanadı üzerindeki çözüm ağı ve kontrol hacmi kesitinde çözüm ağı dağılımları Şekil 4.4-6 arasında görülmektedir.



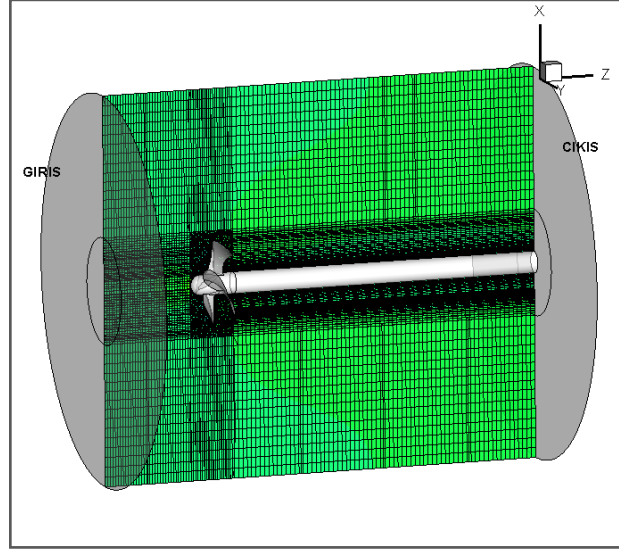
Şekil 4.2 Podsuz pervane kontrol hacmi boyutları



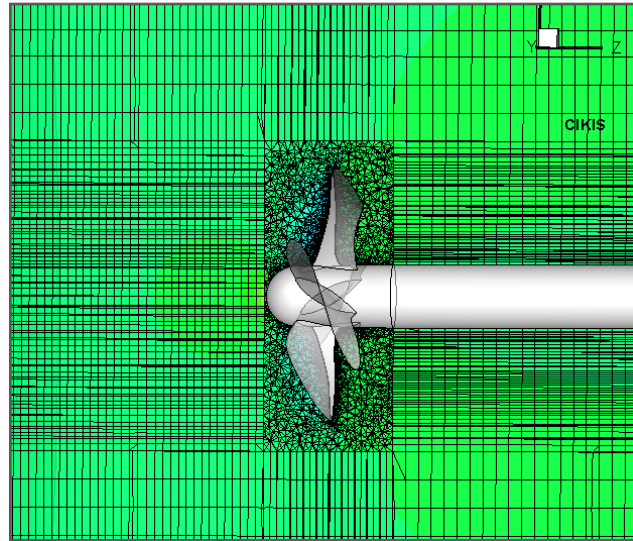
Şekil 4.3 Podsuz pervane çözüm ağı



Şekil 4.4 Pervane üzerindeki sayısal ağ görünümü



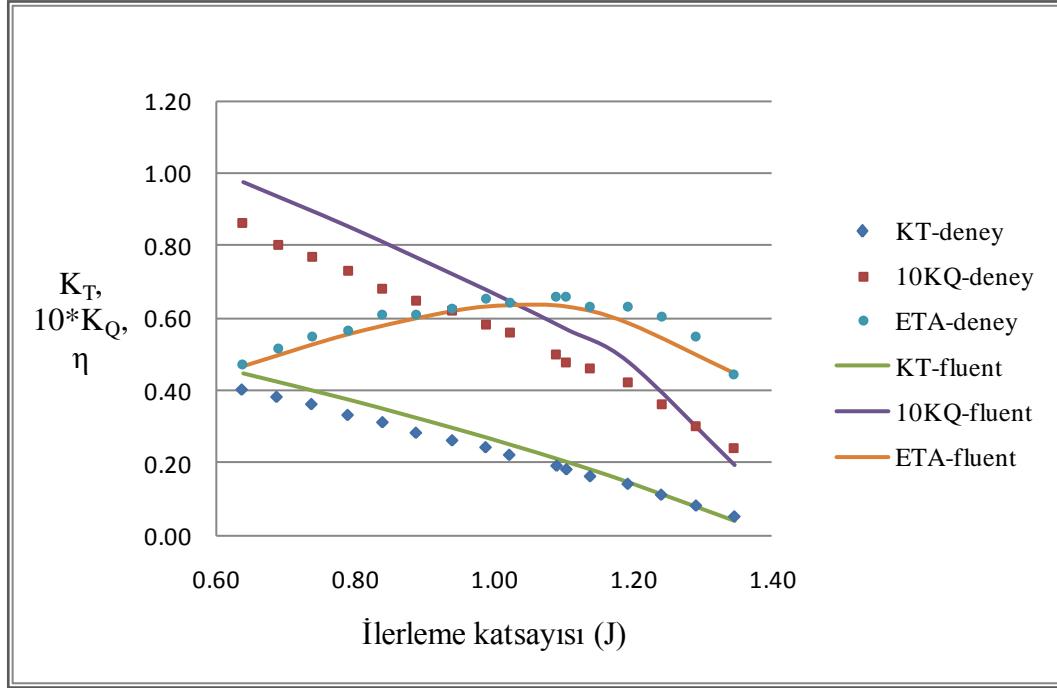
Şekil 4.5 Podsuz pervane çözüm ağı kesit görüntüsü



Şekil 4.6 Pervane etrafı sayısal ağı kesit görüntüsü

4.1.1. Podsuz Pervane İçin Pervane Açık Su Karakteristiklerinin İncelenmesi

Podsuz pervane için pervane açık su tecrübeleri 3 m/s akım hızında devir sayısı değiştirilerek yapılmıştır. Elde edilen karakteristik eğrileri Şekil 4.7’de gösterilmiştir.

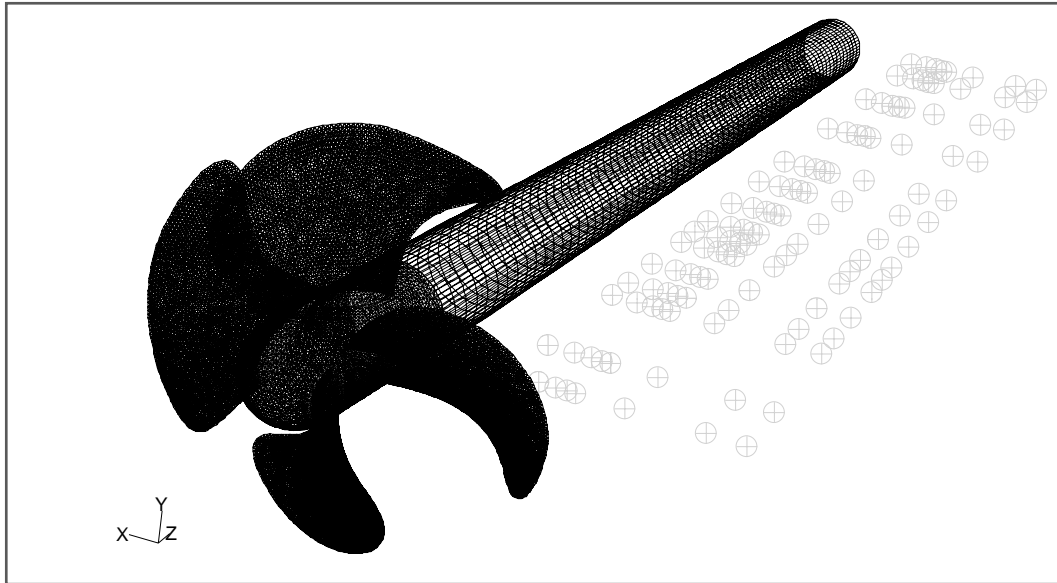


Şekil 4.7 Açık su pervane karakteristikleri (podsuz)

4.1.2. Podsuz Pervane İçin Pervane Gerisi İndüklenmiş Hızların İncelenmesi

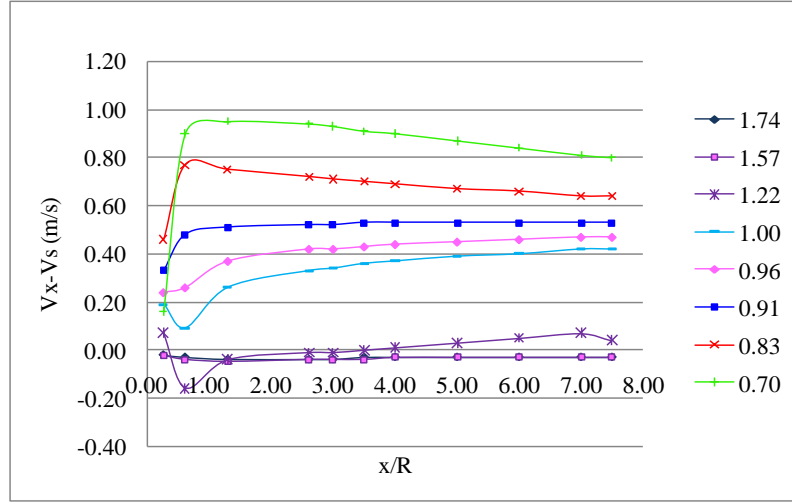
Podsuz pervane için pervane gerisi indüklenmiş hızlar, podlu pervane durumu ile karşılaştırılmak üzere pervane gerisinde kontrol hacmi boyunca ölçülmüştür. Ölçümde akış hızı 4m/s ve pervane devri tork katsayısı 0.0559' a karşılık gelen 945 RPM olarak seçilmiştir. Deney esnasında ölçülen aksenal doğrultudaki dört mesafe Şekil 4.8'de gösterildiği gibi $x/R=0.26, 0.61, 1.30$ ve 2.61 dir. Bunlara ek olarak daha uzak mesafede indüklenmiş hız değerleri için bir tahmin yapabilmek amacıyla 3, 3.5, 4, 5, 6, 7, 7.5 x/R mesafelerinde de r/R oranı 0.70, 0.83, 0.91, 0.96, 1.00, 1.22, 1.57, 1.74 olacak şekilde aksenal, radyal ve teğetsel hız değerleri ölçülmüştür . Aksenal hız değerleri belirlenirken pervanenin indüklediği hızlar kullanılmıştır. Burada FLUENT programından elde edilen hızlar gemi hızına göre indüklenmiş hızlardır. Hızlar karadaki bir gözlemciye göre verilmiştir.

- İndüklenmiş aksenal hız değeri: $V_x=U_x-V_s$
 İndüklenmiş radyal hız değeri: $V_r=U_r$
 İndüklenmiş teğetsel hız değeri: $V_t=U_t$

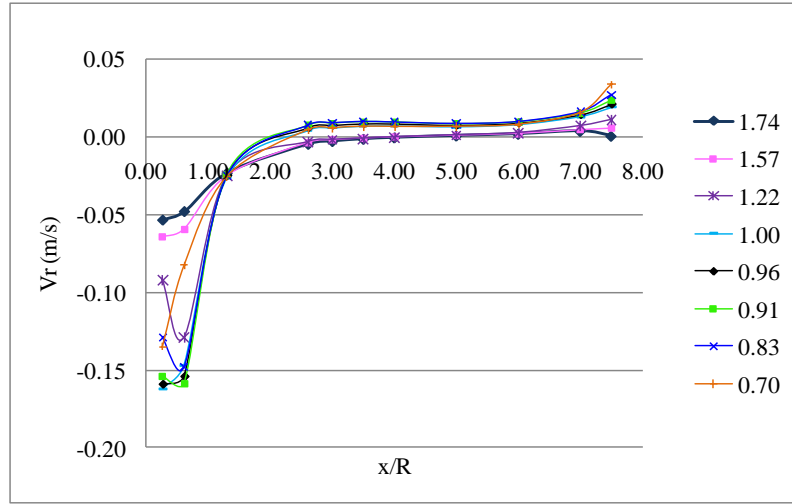


Şekil 4.8 Podsuz pervane pervane gerisi hızların ölçüm noktaları

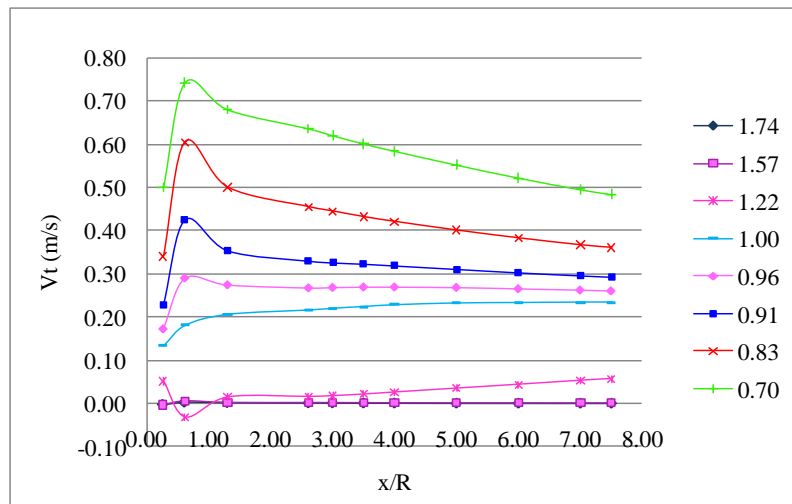
Podsuz pervane için indüklenmiş aksenal, radyal ve teğetsel hız değerleri Şekil 4.9-11 arasında gösterilmiştir.



Şekil 4.9 Aksel yönde indüklenmiş hızlar (podsuz)

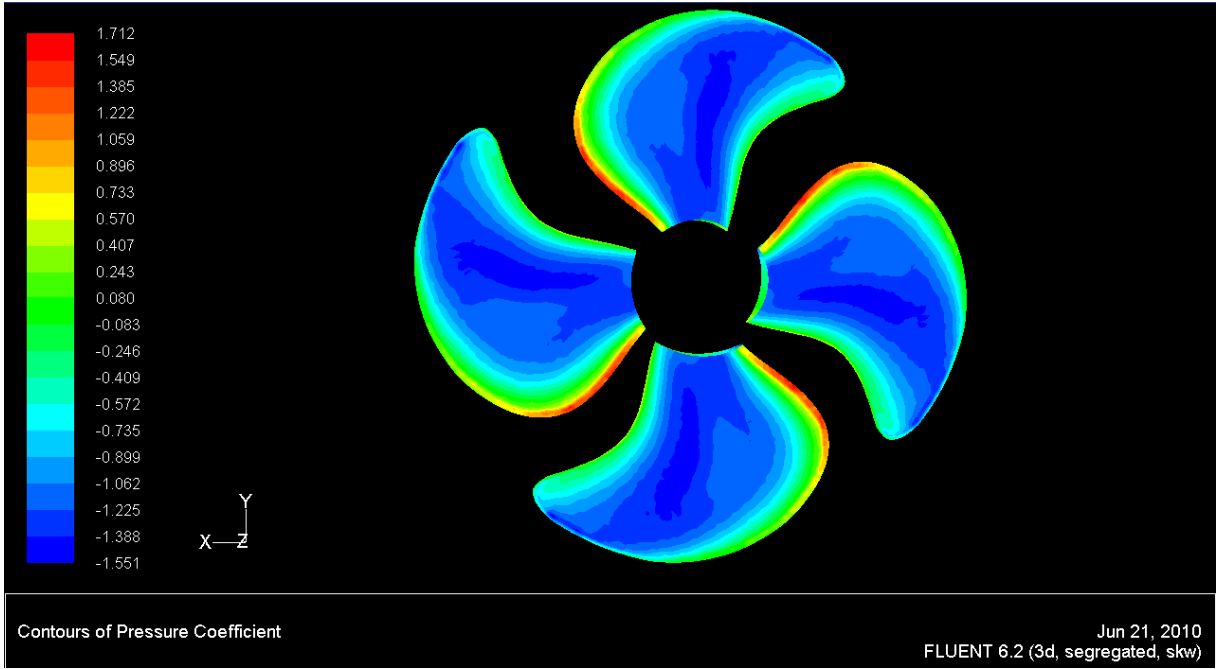


Şekil 4.10 Radyal yönde indüklenmiş hızlar (podsuz)

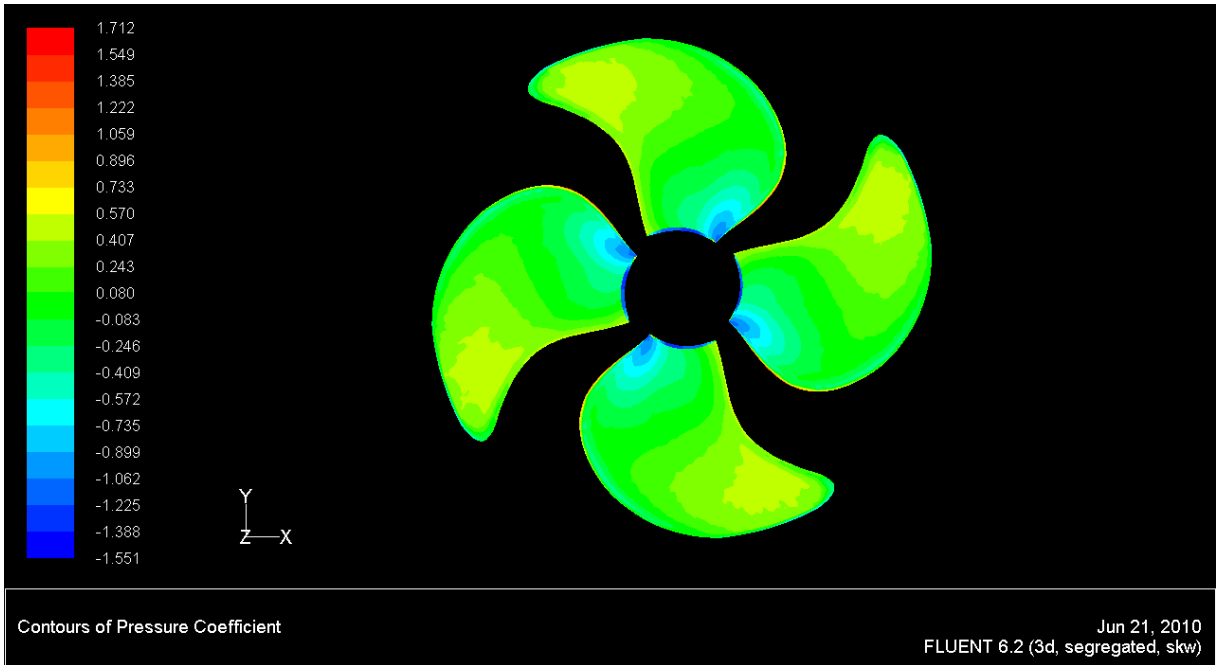


Şekil 4.11 Teğetsel yönde indüklenmiş hızlar (podsuz)

4 m/s akış hızında podsuz pervane üzerindeki boyutsuz basınç dağılımları Şekil 4.12 ve 4.13'de gösterilmiştir.



Şekil 4.12 Boyutsuz basınç dağılımları (Podsuz durumda, sırt)

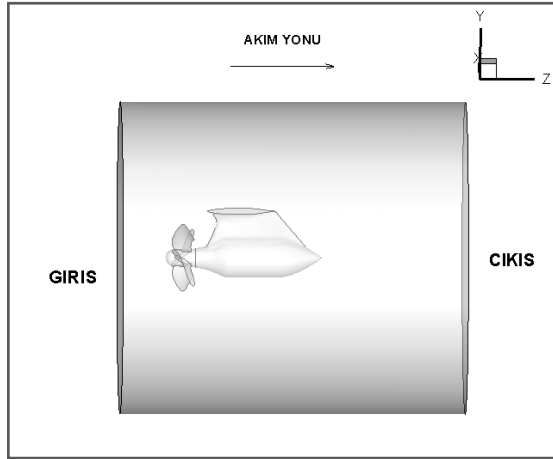


Şekil 4.13 Boyutsuz basınç dağılımları (Podsuz durumda, yüz)

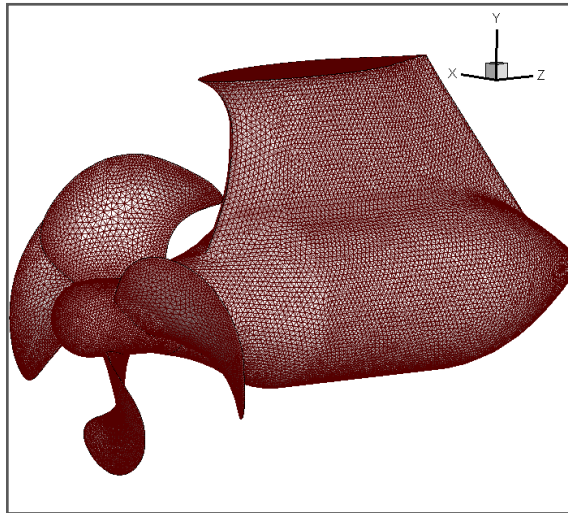
4.2. Podlu Pervane

4.2.1. Podlu Pervane İçin Pervane Açık Su Karakteristiklerinin İncelenmesi

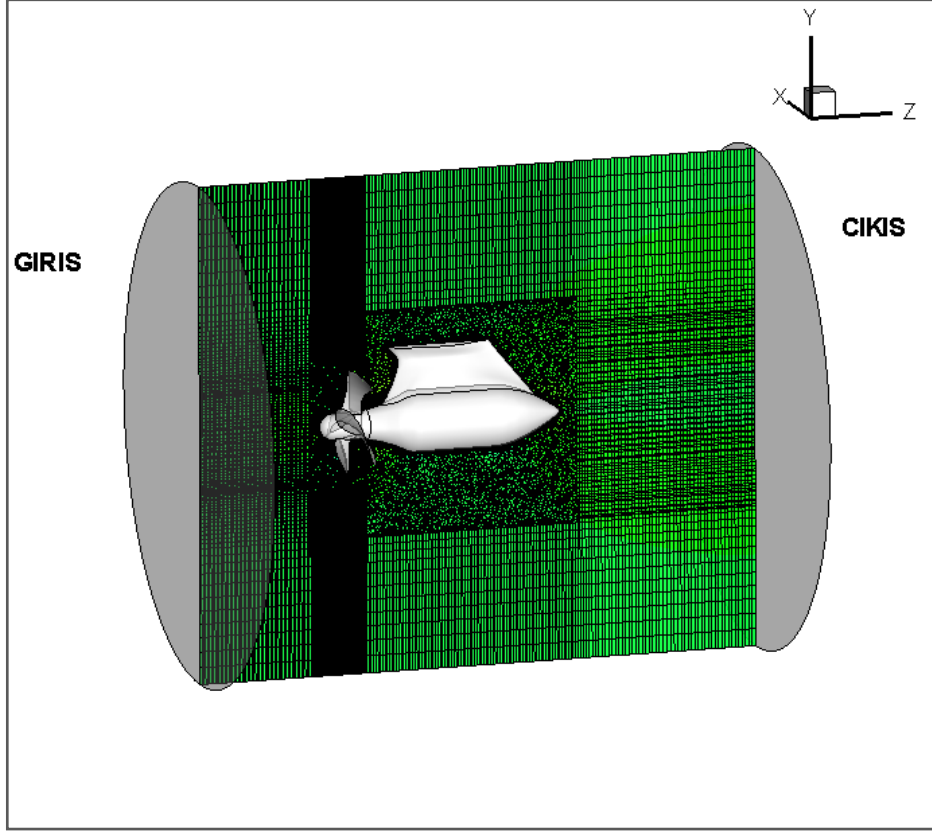
Podlu pervane deney sonuçlarının karşılaştırılması amacı ile kontrol hacmi içinde çözüm ağı sayısını azaltmak amacı ile üç farklı hacim bölgesi oluşturulmuştur. Bu hacimlerden pod ve pervane geometrisini kapsayan hacimler yapılandırılmamış çözüm ağından oluşurken en dış hacim yapılandırılmış çözüm ağından oluşmaktadır. Kontrol hacminin görünümü Şekil 4.12’de verilmiştir. Toplam hacimde kullanılan eleman sayısı 2 006 871 adettir. Kullanılan en küçük elemanın boyutu $2.52 \cdot 10^{-10}$ (m³) olup en büyük eleman $2.77 \cdot 10^{-6}$ (m³)’dür. Podlu pervane üzerindeki çözüm ağının bir görüntüsü Şekil 4.15’de ve kesit görüntüleri 4.16-17’de verilmiştir. Hareketli referans sisteminde dönme hareketi pervanenin içinde bulunduğu hacime verilmiştir. Podlu pervane için 3 m/s tünel akış hızında devir sayısı değiştirilerek dokuz farklı ilerleme katsayısına göre elde edilen pervane karakteristik eğrileri aşağıda Şekil 4.18’de görülmektedir.



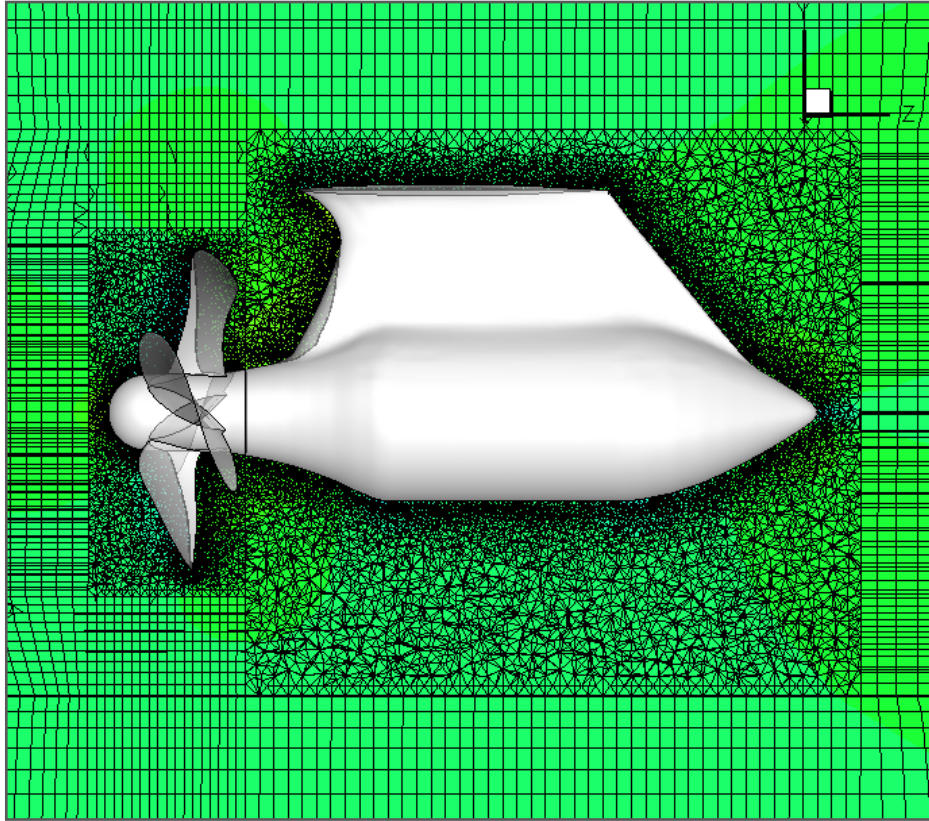
Şekil 4.14 Podlu pervane kontrol hacmi



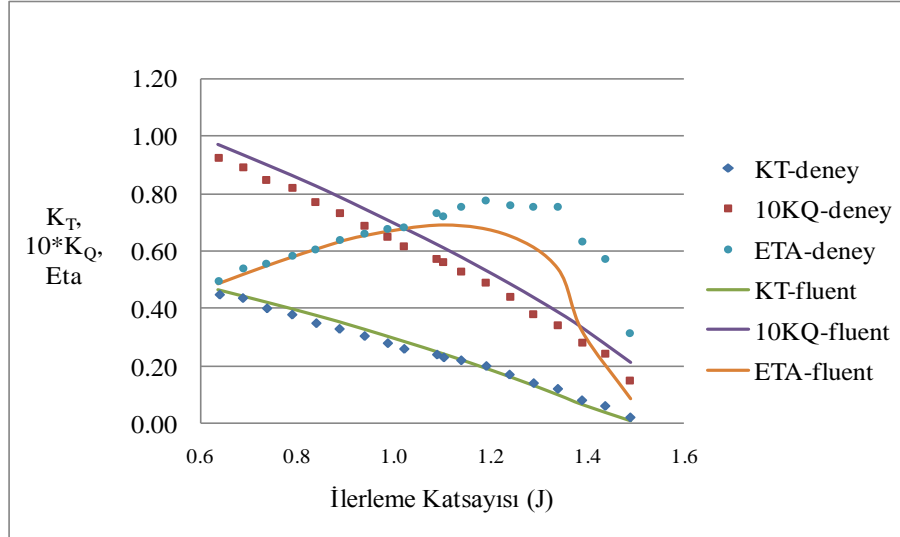
Şekil 4.15 Podlu pervane çözüm ağından bir görüntü



Şekil 4.16 Podlu pervane çözüm ağı kesit görüntüsü



Şekil 4.17 Podlu pervane etrafı çözüm ağı kesit görüntüsü

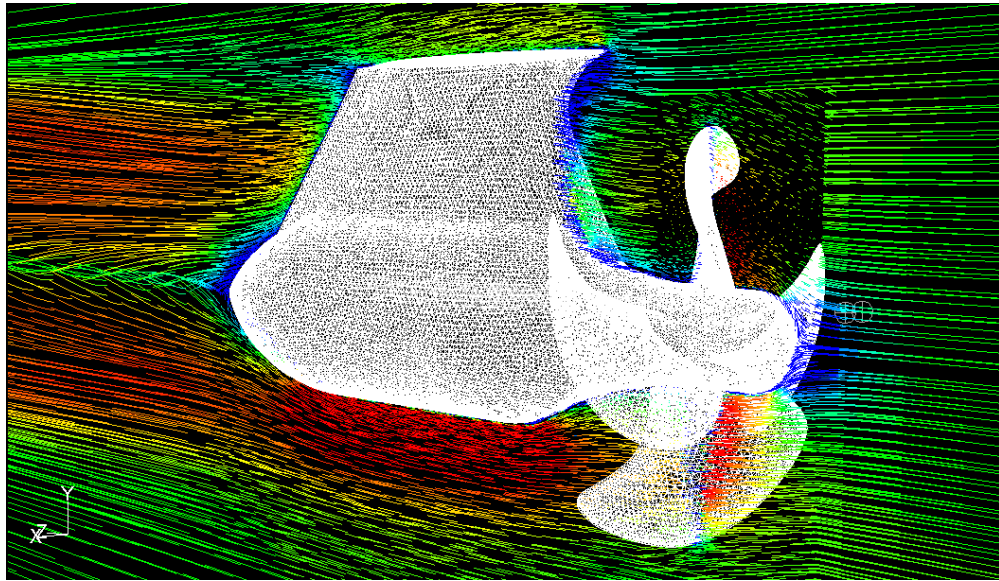


Şekil 4.18 Açık su pervane karakteristikleri (podlu)

Açık su pervane karakteristiklerinden (Şekil 4.18) görüleceği gibi elde edilen değerler deney sonuçları ile uyum içindedir. Bu uyum düşük ilerleme katsayılarında daha yüksek iken ilerleme katsayısı değeri arttıkça hata oranı da artmaktadır.

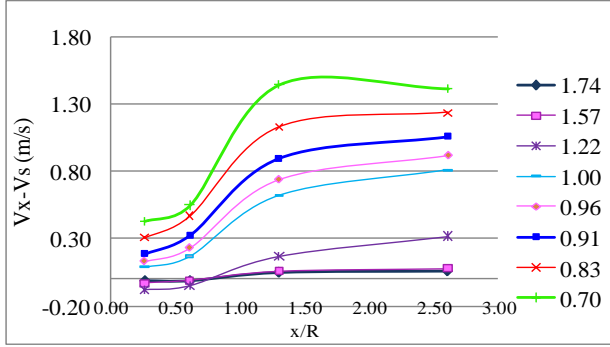
4.2.2. Podlu Pervane İçin Pervane Gerisi İndüklenmiş Hızların İncelenmesi

Podlu pervanede podsuz pervanede olduğu gibi tork katsayısı eşitliğinden yola çıkarak 4 m/s akış hızında 945 RPM devir sayısında pervane gerisi indüklenmiş hızları ölçmek üzere hesaplama yapılmıştır. Orta simetri eksenini üzerinde aksenal hız dağılımı Şekil 4.19'da gösterilmiştir.

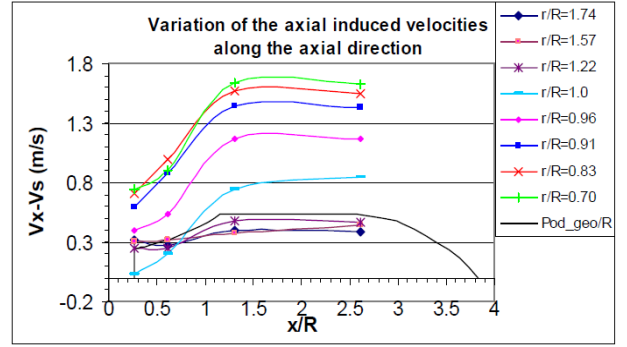


Şekil 4.19 Podlu pervane orta simetri düzleminde aksenal hızların görüntüsü

Elde edilen pervane gerisi hızlar deney sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Hesaplamalar sonrasında ölçüm yapılan noktalar podsuz pervanedeki ile aynıdır. Elde edilen aksel, radyal ve teğetsel yöndeki indüklenmiş hızlar Şekil 4.20-22 arası gösterilmiştir.

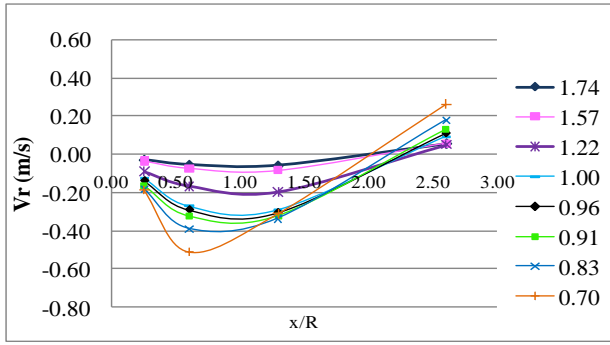


a) Fluent

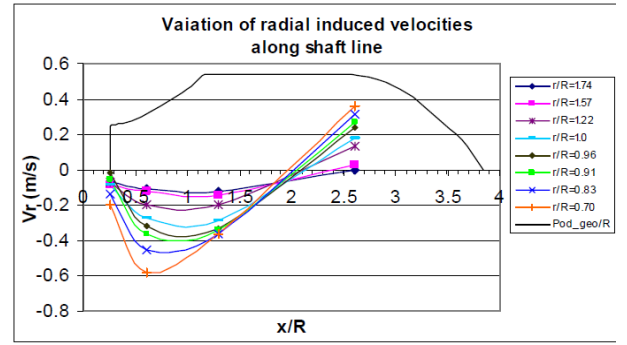


b) Deney (Wang vd., 2002)

Şekil 4.20 Aksel yönde indüklenmiş aksel hız değişimi

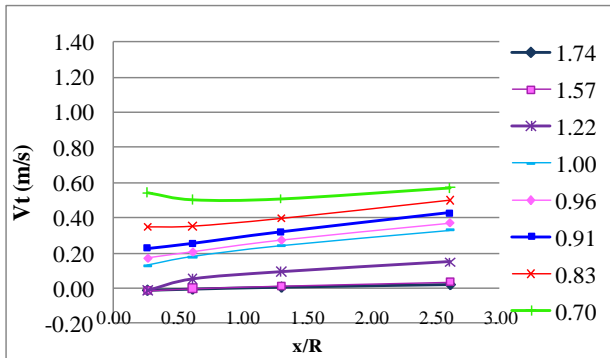


a) Fluent

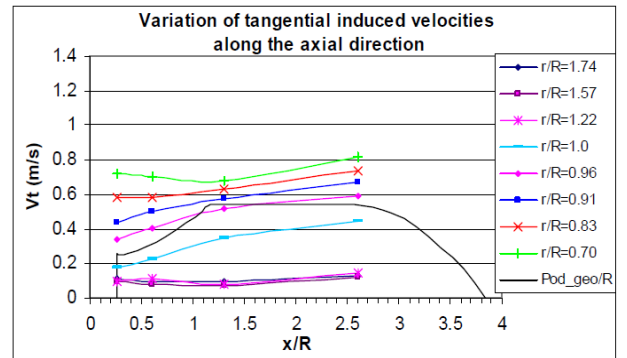


b) Deney

Şekil 4.21 Şaft boyunca indüklenmiş radyal hız değişimi



a) Fluent

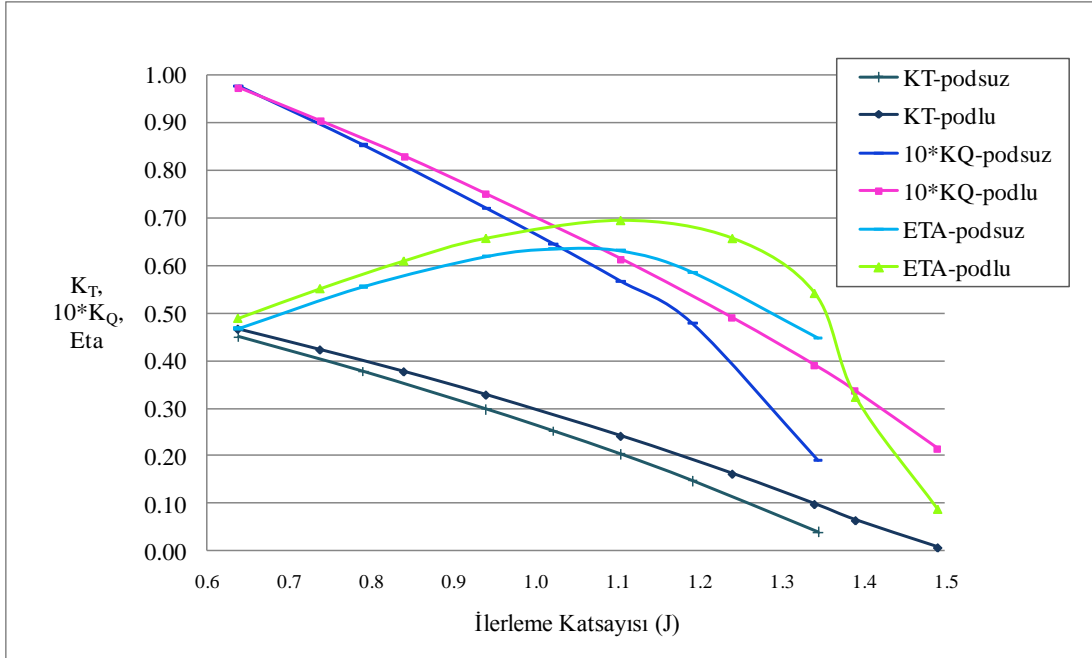


b) Deney

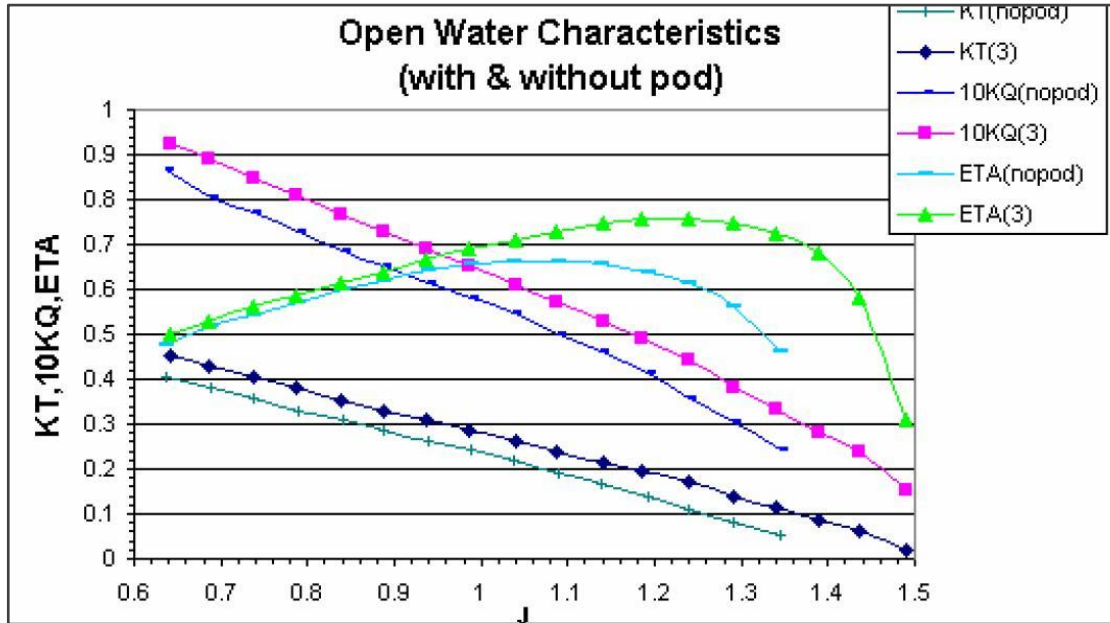
Şekil 4.22 Aksel yönde teğetsel hız değişimi

4.3.Sonuç

Podlu ve podsuz durum için elde edilen açık su pervane karakteristikleri Şekil 4.23'de gösterilmektedir. Sonuçların, Şekil 4.24'de gösterilen deney sonuçları ile uyum içinde olduğu gözlenmektedir.

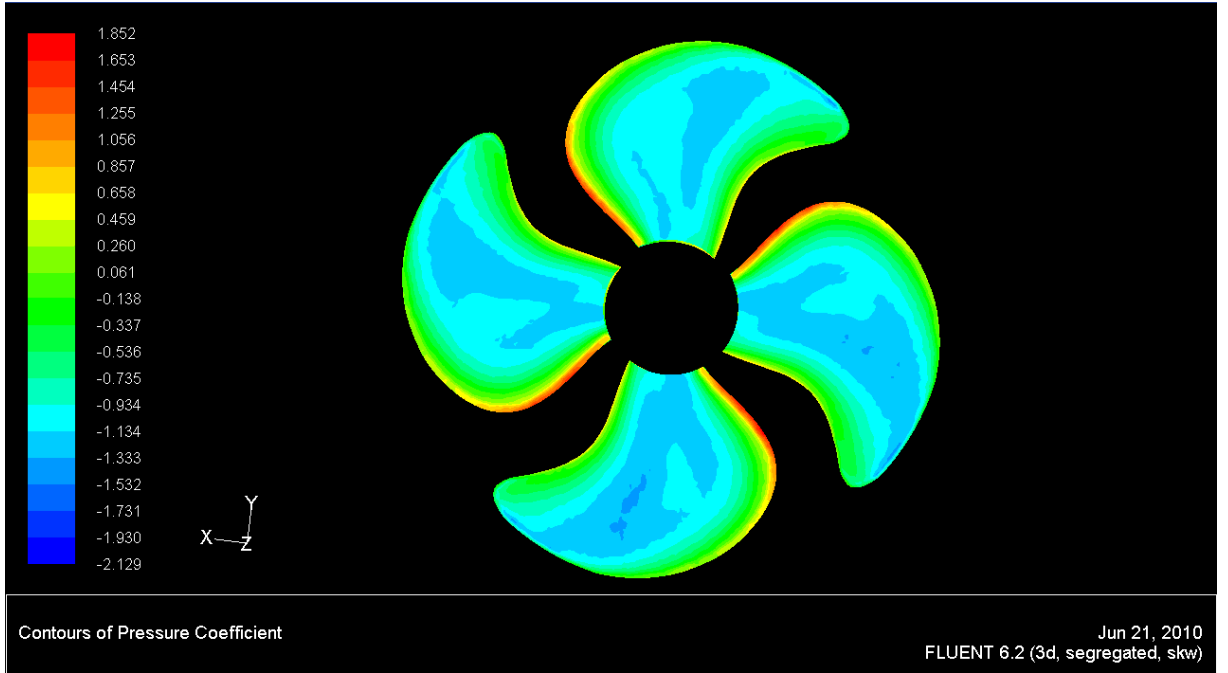


Şekil 4.23 Açıksu pervane karakteristiklerinin karşılaştırılması (podlu-podsuz/Fluent)

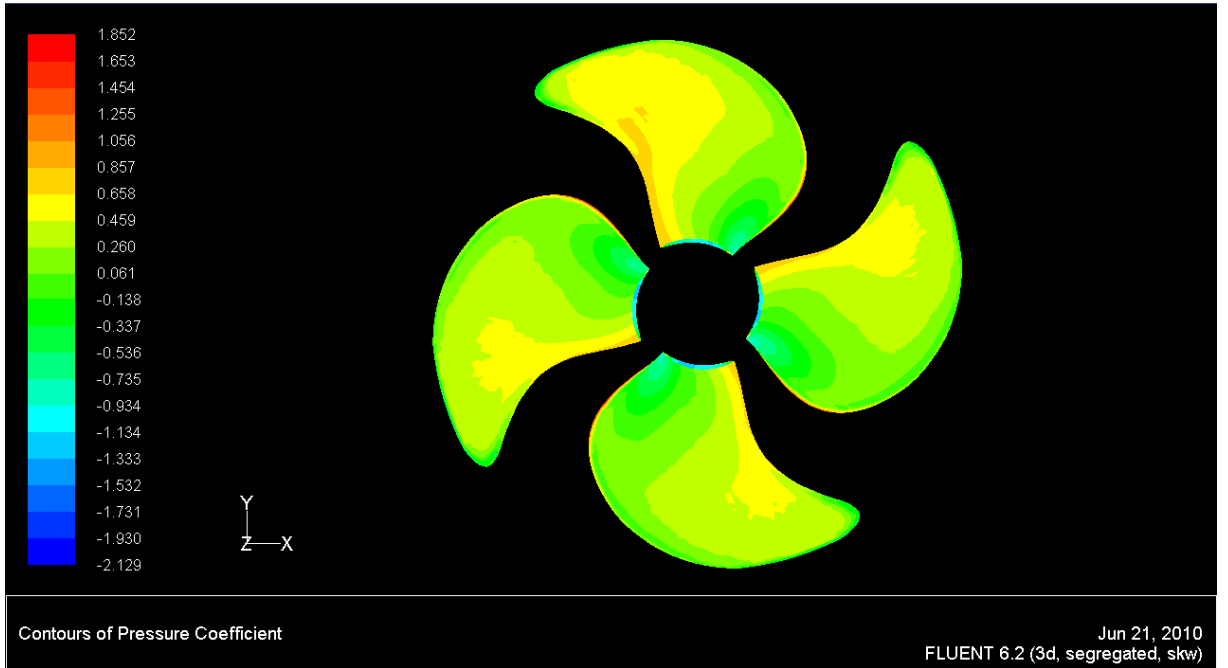


Şekil 4.24 Deneyden elde edilen açıksu pervane karakteristikleri (podlu-podsuz)
(Wang vd., 2002)

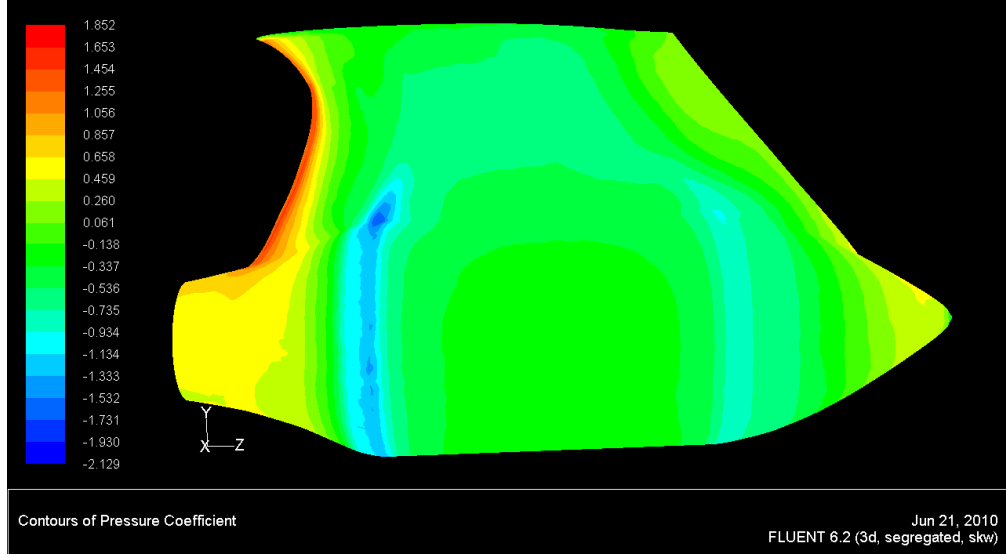
Podlu pervane kanatları üzerindeki boyutsuz basınç dağılımı Şekil 4.25 ile 4.26'da pod üzerindeki boyutsuz basınç dağılımları Şekil 4.27-29 arasında gösterilmiştir.



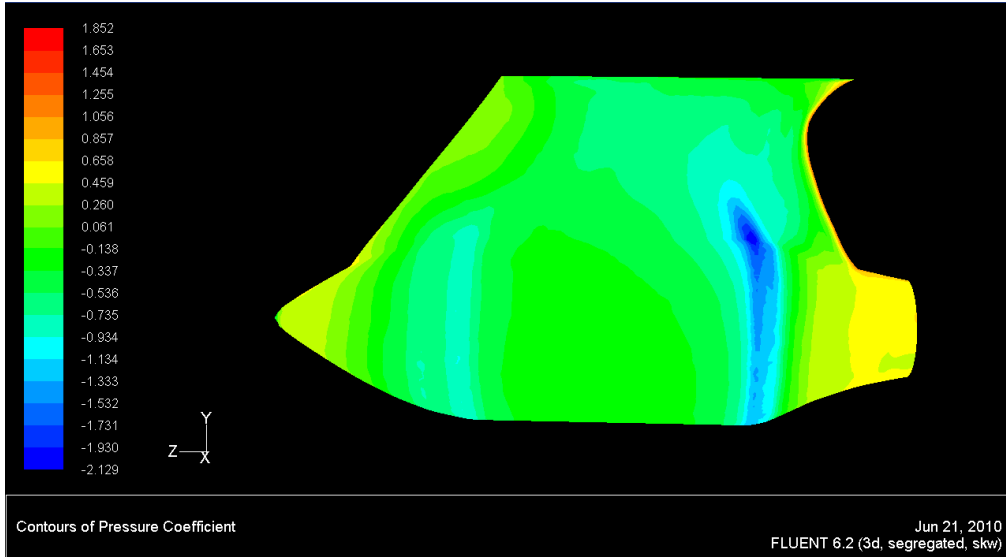
Şekil 4.25 Boyutsuz basınç dağılımları (Podlu durumda, sırt)



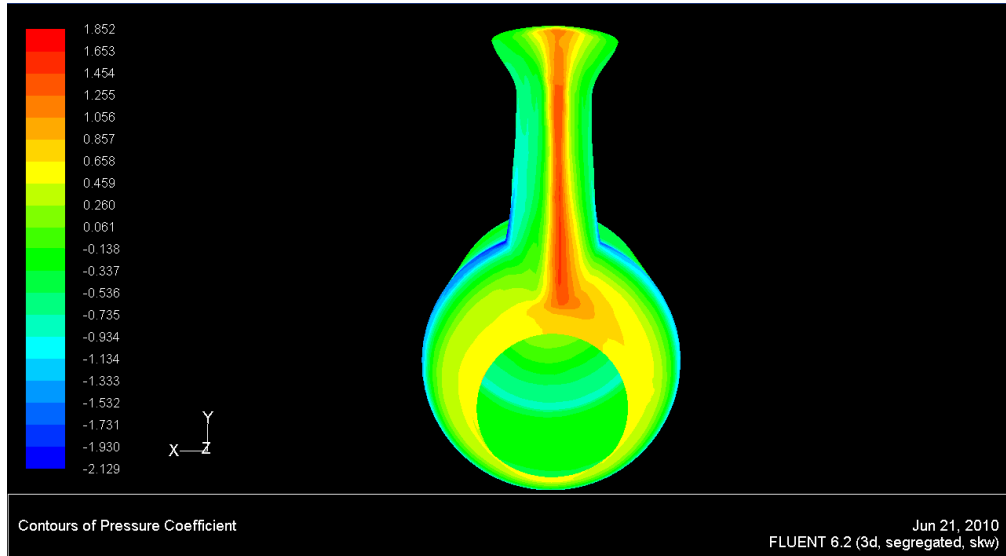
Şekil 4.26 Boyutsuz basınç dağılımları (Podlu durumda, yüz)



Şekil 4.27 Pod üzerindeki basınç dağılımı



Şekil 4.28 Pod üzerindeki basınç dağılımı



Şekil 4.29 Pod üzerindeki basınç dağılımı (önden)

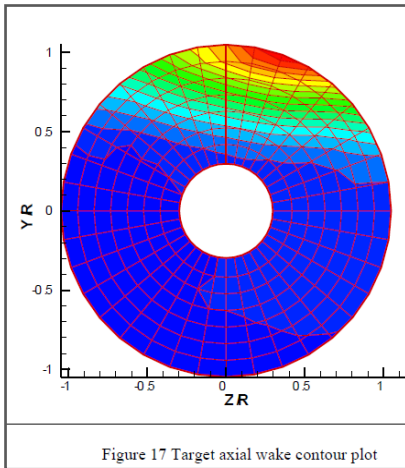
5. GEMİ ARKASINDAKİ PODLU PERVANENİN ÇEVREYE OLAN ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Bu bölümde pervanenin gemi arkası durumu için pervane gerisi akım hızları hesaplanmıştır. Gemi arkası durumu deneysel olarak hesaplanmış iz bölgesindeki akım hızlarının FLUENT'te giriş koşullarında tanımlanması ile sağlanmıştır. Hesaplamalar deney koşullarında olduğu gibi 706.5 RPM devirde, tork katsayısı değeri 0.0559'a denk olacak şekilde 3 m/s akım hızında yapılmıştır. Gemi arkası durumu için deney görünümü Şekil 5.1'de görülmektedir.

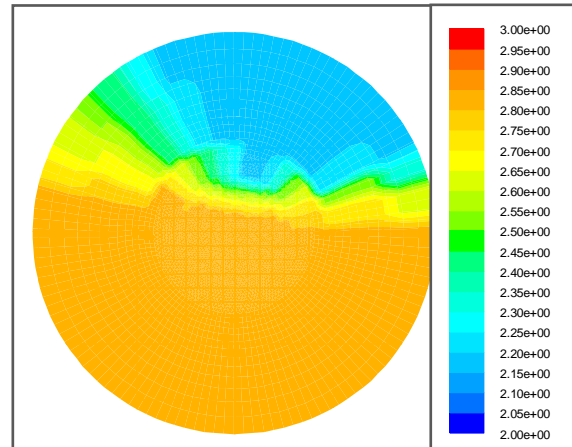
Şekil 5.2'de deneyden elde edilen gemi gerisi iz bölgesi diyagramı görülmektedir. Bu diyagramdaki değerlerin FLUENT programında tanımlanan giriş bölgesi değerlerine göre genişletilmesi ile tüm giriş bölgesi için bir iz bölgesi tanımlanmış ve hızlar $(1-w)*V$ formülüne göre hesaplanmıştır. Burada V akım hızını tanımlamaktadır. Giriş için elde edilen hız dağılımı Şekil 5.3'de görülmektedir.



Şekil 5.1 Gemi arkası durumu (Wang vd, 2002)

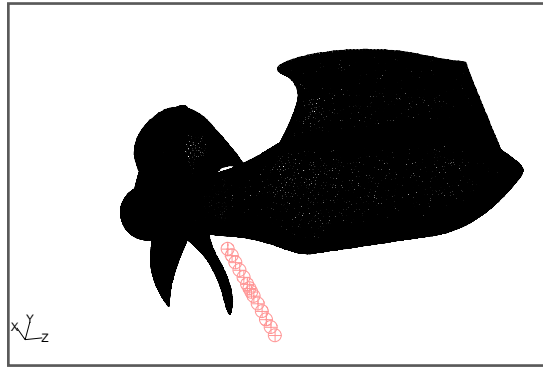


Şekil 5.2 Gemi arkası iz dağılımı (Wang vd., 2002)

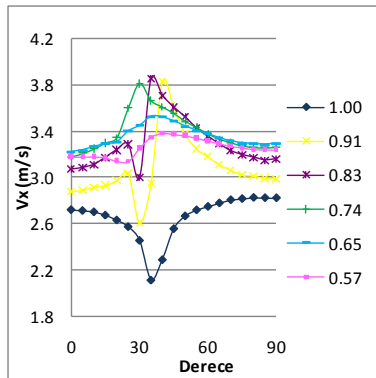


Şekil 5.3 Genişletilmiş hız dağılımı

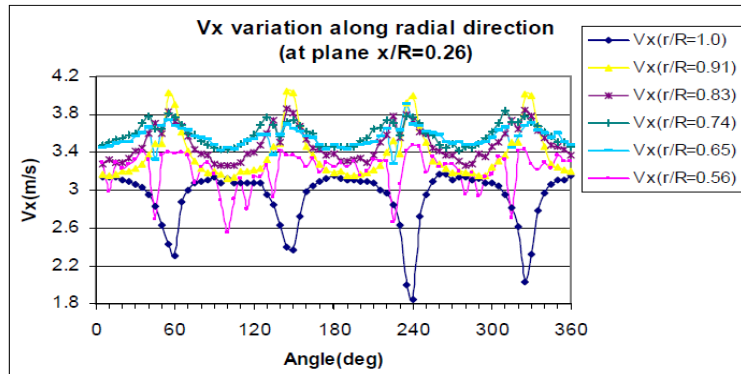
Çözüm algoritması olarak zamana bağlı akışlar için kullanılan PISO algoritması seçilmiştir. Hesaplama pervane hareketi, hareketli çözüm ağına (moving mesh) göre sağlanmıştır. Zaman adımı pervane devrinden yola çıkılarak beş derece için tanımlanmıştır. Çözümler pervanenin 0 ile 90 derece hareket aralığı için yapılmıştır. Her zaman adımında 1000 iterasyon yapılmış olup yakınsama sağlanmıştır. Değerler x/R oranı 0.26 olmak üzere r/R oranı 0.57, 0.65, 0.74, 0.83, 0.91, 1.00, 1.04, 1.09, 1.13, 1.22, 1.30, 1.39, 1.48 ve 1.57 noktalarında (Şekil 5.4) okunmuştur. Sonuçlar Şekil 5.5-7 arası gösterilerek deney sonuçları ile karşılaştırılmıştır.



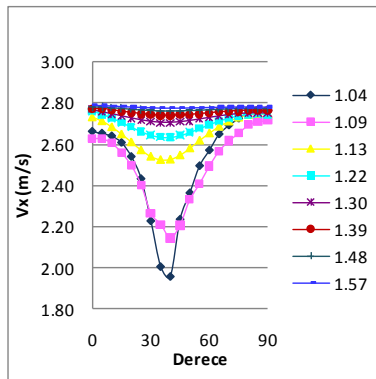
Şekil 5.4 İndüklenmiş hız değerlerinin okunduğu noktalar



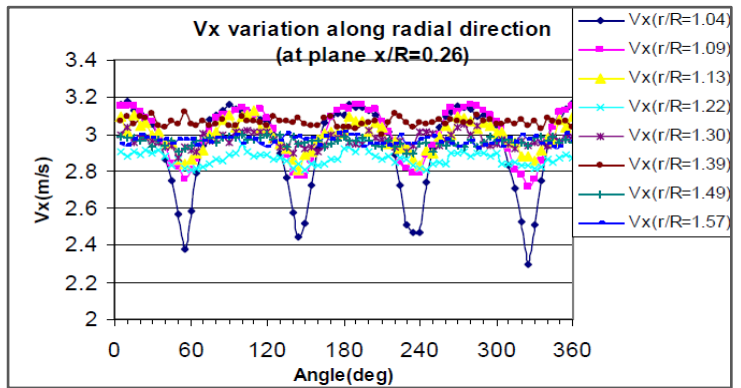
a)fluent



b)deney (Wang vd., 2002)

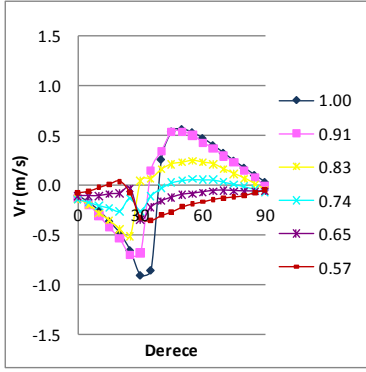


c)fluent

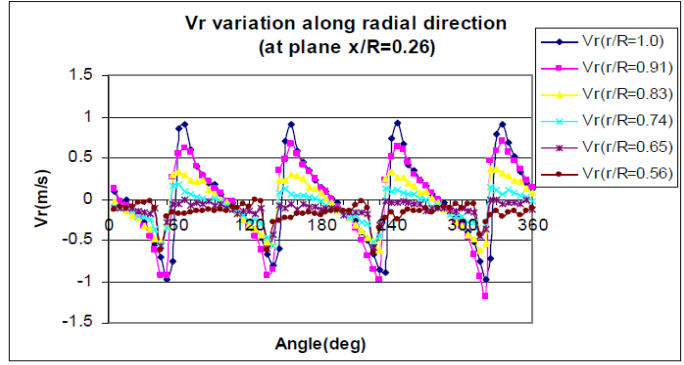


d)deney

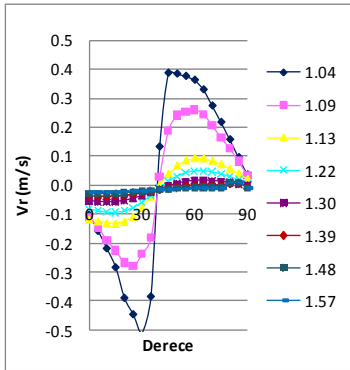
Şekil 5.5 Radyal yönde Vx değişimi



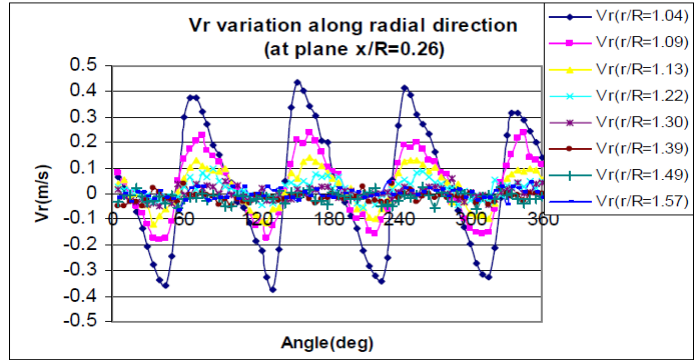
a)fluent



b)deney

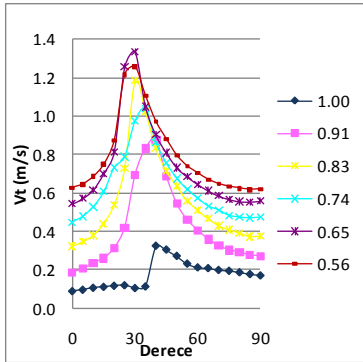


c)fluent

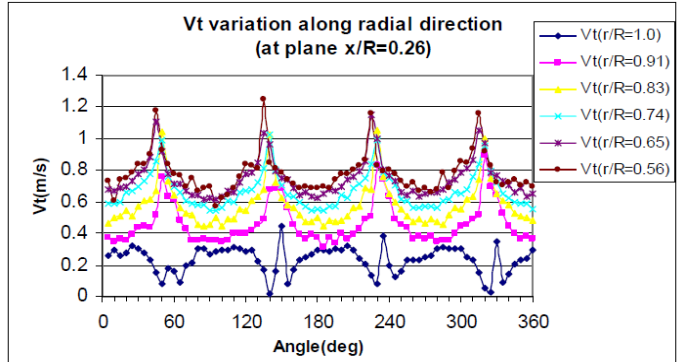


d)deney

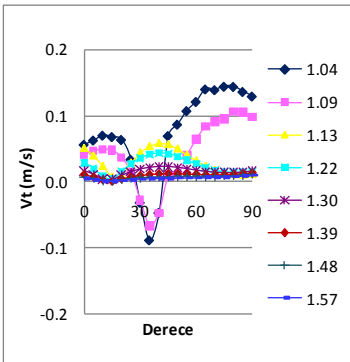
Şekil 5.6 Radyal yönde Vr değişimi



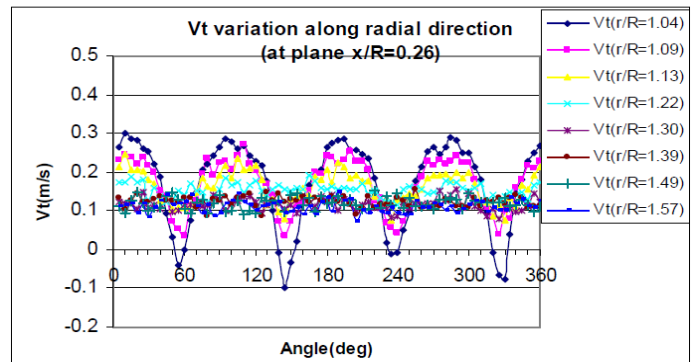
a)fluent



b)deney



c)fluent

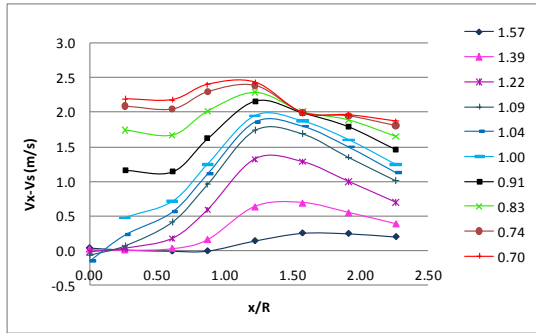


d)deney

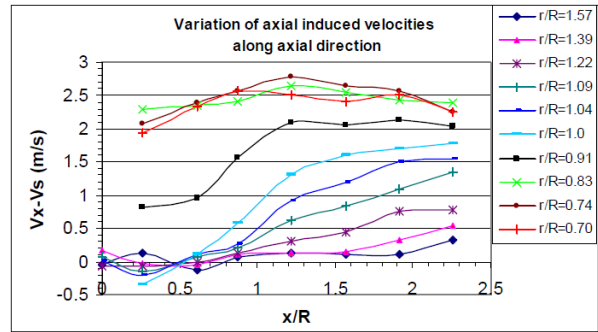
Şekil 5.7 Radyal yönde Vt değişimi

6. STATİK ÇEKME DURUMUNDA PODLU PERVANENİN ÇEVREYE OLAN ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Açık deniz tedarik gemileri, kablo döşeme gemileri, platform tedarik gemileri, romorkörler, balıkçı gemileri gibi çok sayıdaki özel teknelerde podlu pervane kullanımı yaygındır. Bu gemiler, operasyon profilleri gereği sıfır hız ya da çok düşük seyir hızlarında çalışmalarını sürdürmektedirler. Sıfır ya da çok düşük seyir hızında bulunan teknelerin bu durumuna statik çekme durumu denir. Bundan dolayı statik çekme durumunda gemilerin limana varış ve limandan kalkış durumları ile yukarıda bahsedilen özel teknelerin çalışma koşulları incelenmektedir. Düşük seyir hızlarına rağmen kıyı yapılarına çok yakın manevralar yapılmasından dolayı pervane gerisi akımının kıyıya ve deniz yatağına doğrudan etkisi olabilmektedir. Bu etkilerin incelenmesi amacıyla statik çekme durumu incelenmiştir. Hesaplamalar 5.07 Nm. tork değeri elde edilecek şekilde sıfır akım hızında yapılmıştır. Pervane devri 580 RPM olarak seçilmiştir.

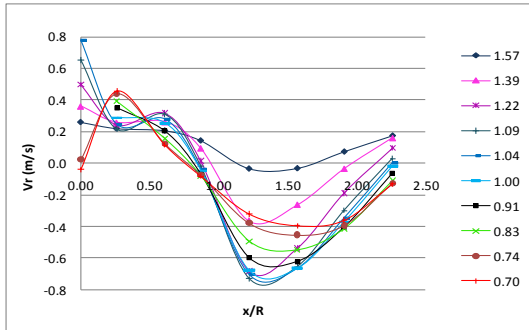


a) Fluent

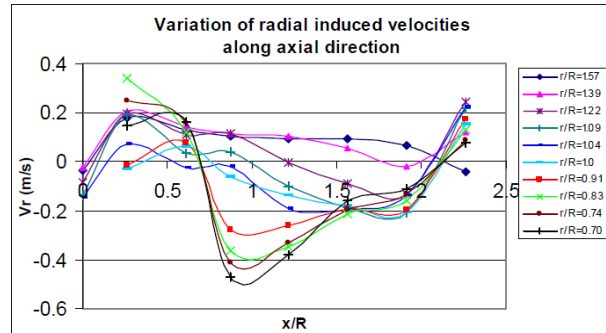


b) Deneysel (Wang vd., 2002)

Şekil 6.1 Eksenel yönde indüklenmiş eksenel hız değerleri değişimi

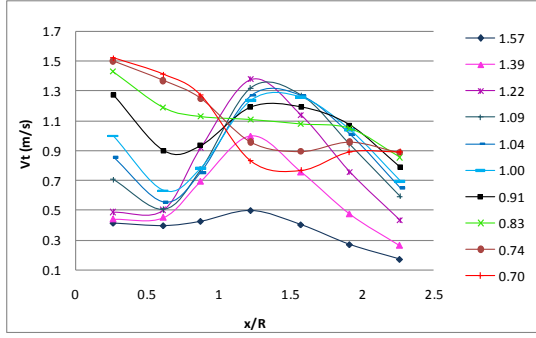


a) Fluent

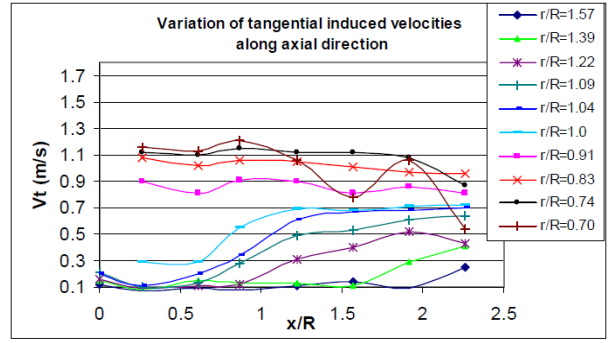


b) Deneysel

Şekil 6.2 Eksenel yönde indüklenmiş radyal hız değerleri değişimi



a) Fluent



b) Deney

Şekil 6.3 Eksenel yönde indüklenmiş teğetsel hız değerleri değişimi

7. SONUÇLAR

- Pervaneler hareketleri esnasında bir iz bölgesi oluşturur ve artlarındaki akış üzerinde hız indüklerler. Bu çalışmada pervane kaynaklı akış hızlarının çevreye olan etkileri incelenmiştir. Hesaplamalar podlu ve podsuz bir pervane için yapılarak karşılaştırılmıştır. Ayrıca pervanelerin karakteristik eğrileri elde edilmiştir. Pervane açık su çalışma şartlarının yanında gemi arkası ve statik çekme durumları da incelenmiştir.
- Çözümler hesaplamalı akışkanlar dinamiği programı olan FLUENT ile yapılarak, elde edilen sonuçlar deney sonuçları ile karşılaştırılmıştır.
- Podlu ve podsuz pervane durumlarının sayısal olarak çözümünde ilk aşama olan çözüm ağı oluşturulması için deney sonuçları bilinen benzer boyutta DTMB 4119 model pervanesinden faydalanılmış ve eleman boyutu belirlenmiştir.
- Açık su pervane deneylerinden elde edilen karakteristik eğrileri podlu pervane ve podsuz pervane için karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.
- Podsuz durum için deney sonuçları ile karşılaştırıldığında elde edilen ortalama hata değerleri K_T değerinde %7, K_Q değerinde %10 verim değerinde %3 'dür,
- Podlu durumda deney ile HAD arasındaki ortalama hata K_T değerinde % 7, K_Q değerinde % 12 verim değerinde %15 dir.
- Bu hata değerleri düşük ilerleme katsayıları için podlu pervanede K_T için %3, K_Q için %7 verim değerinde %1 civarında iken yüksek ilerleme hızlarında artış gözlenmektedir.
- Elde edilen iz değerlerinde uygunluk gözlenmektedir.
- Podlu durum için elde edilen pervane gerisi izlerde aksel, radyal ve teğetsel hızlar deney sonuçları ile benzerlik göstermektedir.
- Gemi arkası durumunda aksel, radyal ve teğetsel hız değerleri deney sonuçlarına yaklaşmaktadır.
- Çalışmanın bundan sonraki bölümünde çözüm ağında, özellikle sınır tabaka bölgelerinin daha iyi modellenmesi ile, iyileştirmeler yapılarak deney sonuçlarına daha yakın değerler elde edilmesi hedeflenmektedir.

KAYNAKLAR

Atlar, M., Wang, D. ve Glover, E.J., (2006), "Experimental Investigation into the Impact of Slipstream Wash of a Podded Propulsor on the Marine Environment", *Journal of Engineering for the Maritime Environment*, 221 (2/27):67-79.

Bal, Ş., Akyıldız, H. ve Güner, M., (2006), "Preliminary Results of a Numerical Method for Podded Propulsors", T-POD 2006 2nd International Conference on Technological Advances in Podded Propulsion, Brest, France

Brizzolara, S., Villa, D. ve Gaggero, S., (2008), "A Systematic comparison between RANS and Panel Methods for Propeller Analysis", *Proceedings of the 8th International Conference on Hydrodynamics*, Nantes.

Carlton, J., (2006), *Marine Propellers and Propulsion*, Elsevier, Oxford.

Danish Maritime Authority, (1997), *Report on Environmental Impacts Caused by Fast Ferries*, Unpublished Danish Maritime Authority Report, Copenhagen.

Deniset, F., Laurans J.-M., ve Romon, S., (2004), "RANS-BEM Approach for Analysis of Strut Behaviour of Podded Propulsors ", T-POD 2006 2nd International Conference on Technological Advances in Podded Propulsion, Brest, France.

Faltinsen, O.M., (2005), *Hydrodynamics of High-Speed Marine Vehicles*, Cambridge University Press, New York.

Greco, L., Colombo, C., Salvatore, F. ve Felli, M., (2006), "An unsteady inviscid flow model to study podded propulsor hydrodynamics", T-POD 2006 2nd International Conference on Technological Advances in Podded Propulsion, Brest, France

Gupta, A., (2004), "Numerical prediction of flows around podded propulsors", *Ocean Engineering Group Report no: 04-6*, The University of Texas at Austin, USA.

Güner, M., Kükner A. ve Baykal, M. A., (1999), *Gemi Pervaneleri ve Sevk Sistemleri*, İ.T.Ü. Kütüphanesi Kataloğu.

Islam, M.F., Taylor, R., Quinton, J., Veitch, B., Bose, N., Colbourne, B. ve Liu, P., (2004), "Numerical investigation of propulsive characteristics of podded propeller", *First International Conference on Podded Propulsors*, University of Newcastle, UK.

ITTC-Proceedings of the 24th ITTC-Volume II, (2005), *The Specialist Committee on Azimuthing Podded Propulsion*.

ITTC-Proceedings of the 25th ITTC-Volume II, (2008), *The Specialist Committee on Azimuthing Podded Propulsion*.

ITTC-Recommended Procedures and Guidelines, (2008), *Testing and Extrapolation Methods Propulsion, Propulsor Open Water Test*.

Kinnas, S. A., Lee, H. S., Gu, H. ve Gupta, A., (2004), "Prediction of performance of ducted and podded propellers", *Twenty-Fifth Symposium on Naval Hydrodynamics*, St. John's, Newfoundland and Labrador, Canada.

Kinnas, S.A., (2006), "Prediction of performance and design of propulsors: Recent advances and applications", T-POD 2006 2nd International Conference on Technological Advances in Podded Propulsion, Brest, France.

Krasilnikov V.I., Ponkratov, D.V., Achkinadze, A.S., Berg, A. ve Sun, J., (2006). "Possibilities of a viscous/potential coupled method to study scale effects on open-water

characteristics of podded propulsors”, T-POD 2006 2nd International Conference on Technological Advances in Podded Propulsion, Brest, France

Lobatchev, M.P. ve Chicherin, I.A., (2001), “The Full Scale Resistance Estimation for Podded Propulsion System by RANS Method”, Lavrentiev Lectures, Proceeding of International Symposium on Ship Propulsion, St.Petersburg, pp.3944.

Marine Accident Investigation Branch, 2000, Report on the Investigation of the Man Overboard Fatality from the Angling Boat Purdy at Shipwash Bank, off Harwich on 17 July 1999, Report MAIB 1/10/194. Southampton, England.

Mishra, B., (2005), “Prediction of performance of podded propulsors via coupling of a vortex–lattice method with an Euler or a RANS solver”, Ocean Engineering Group Report no: 05-1, The University of Texas at Austin, USA.

Nakatake, K., Ando, J., Yoshitake, A. ve Tamashima, M., (2004), “On Propulsive Performance of a Small Bulk-Carrier model with Twin Podded Propellers”, First International Conference on Podded Propulsors, University of Newcastle, UK.

Oosterhuis, G., (2006), “Model-scale Podded Propellers for Maritime Research”, PhD Thesis, Technische Universiteit Eindhoven.

Ohashi, K. ve Hino, T., (2004), “Numerical simulations of flows around a ship with podded propulsor”, In Proc. of the 1st International Conference on Technological Advances in Podded Propulsion, University of Newcastle, UK, 211-221.

Özdemir, Y.H., (2007), “Gemi Etrafındaki Akışın Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Yöntemi Kullanılarak İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.

Parnell, K.E. ve Kofoed-Hansen, H., (2001), “Wakes from Large High-Speed Ferries in Confined Coastal Waters: Management Approaches with Examples from New Zealand and Denmark”, Coastal Management, 29(3):217-237.

Rhee, S.H. ve Joshi, S., (2003), “CFD validation for a Marine Propeller using an unstructured mesh based RANS method”, Proc. FEDSM’03, Honolulu.

Sanchez-Caja, A., Oryi E., Salminen, E., Pylkkanen, J. ve Siikonen, T., (2003), “Simulation of Incompressible Viscous Flow Around a Tractor Thruster in Model and Full Scale”, The 8th International Conference on Numerical Ship Hydrodynamics, Busan, Korea.

Sanchez-Caja, A., Veikonheimo, T. ve Pylkkanen, J.V., “RANS Predictions for Flow Patterns around a Compact Azipod”, Proceedings of the T-POD Conference 2006, Brest

Tu, J., Yeoh, G. H. ve Liu, C., (2008), “Computational Fluid Dynamics A Practical Approach”.

Uçar, G., (2005), “Helikopter Etrafındaki Akışın Solu Hacimler Yöntemiyle Analizi”, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.

Ueda, N., Oshima, A., Unseki, T., Fujita, S., Takeda, S. ve Kitamura, T., (2004), “The First Hybrid CRP-POD Driven Fast ROPAX Ferry in the World”, Mitsubishi Heavy Industries, Ltd. Technical Review,41(6).

Wang, D, Atlar, M. ve Paterson, I., (2002), “Optimal Design and Implementation of Azimuthing Pods for the Safe and Efficient Propulsion of Ships”.

Watanabe, T., Kawamura, T., Takekoshi, Y., Maeda, M. ve Rhee, S.H., (2003), “Simulation of Steady and Unsteady Cavitation on a Marine Propeller Using a RANS CFD Code”, 5th International Symposium on Cavitation (CAV 2003), Osaka, Japan.

İnternet Kaynakları

[1] www.hsva.de

[2] www.research.ncl.ac.uk/cavitation/

[3] www.projects.exeter.ac.uk/fluidflow/ComputationalFluidDynamics/notes3web/notes3se1.html#x2-2000III.1

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 20.04.1982

Doğum yeri Siegen, Almanya

Lise 1993-2000 İzmir Özel Tevfik Fikret Lisesi

Lisans 2000-2003 Siegen Üniversitesi
İşletme Bölümü (tamamlanmamış)

Lisans 2004-2008 Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Fakültesi
Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri
Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans 2008-2010 Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği

Çalıştığı kurumlar

2007-2009 Dearsan Tersanesi, Askeri Projeler Dizayn Mühendisi
2009- YTÜ Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri
Mühendisliği Bölümü, Araştırma Görevlisi