

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KONTROL EDİLEBİLİR HATVELİ BİR PERVANE İÇİN FARKLI
HATVE GEÇİŞLERİNDEKİ HİDRODİNAMİK DAVRANIŞININ
SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ

Kaan AKTAY

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Anabilim Dalı
Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Programı

Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Ahmet YURTSEVEN

Haziran, 2022

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KONTROL EDİLEBİLİR HATVELİ BİR PERVANE İÇİN FARKLI
HATVE GEÇİŞLERİNDEKİ HİDRODİNAMİK DAVRANIŞININ
SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ**

Kaan AKTAY tarafından hazırlanan tez çalışması 04.07.2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Anabilim Dalı, Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Dr. Öğr. Üyesi Ahmet YURTSEVEN

Yıldız Teknik Üniversitesi

Danışman

Jüri Üyeleri

Dr. Öğr. Üyesi Ahmet YURTSEVEN, Danışman

Yıldız Teknik Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Taner ÇOŞGUN, Üye

Yıldız Teknik Üniversitesi

DOÇ. Dr. Ömer Kemal KINACI, Üye

İstanbul Teknik Üniversitesi

Danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Ahmet YURTSEVEN sorumluluğunda tarafımca hazırlanan Kontrol Edilebilir Hatveli Bir Pervane için Farklı Hatve Geçişlerindeki Hidrodinamik Davranışının Sayısal Olarak İncelenmesi başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Kaan AKTAY

İmza



Bu çalışma Yıldız Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından FYL-2021-4594 nolu proje kapsamında desteklenmiştir.



Biricik Eşime

ve

Aileme

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam sırasında kıymetli bilgi, birikim ve tecrübeleri ile bana yol gösterici ve destek olan değerli danışman hocam sayın Dr. Öğretim Üyesi Ahmet YURTSEVEN' e ve yüksek lisans eğitimim boyunca yardım, bilgi ve tecrübeleri ile bana sürekli destek olan tüm hocalarıma sonsuz teşekkür ve saygılarımı sunarım.

Hayatım boyunca destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan hayat arkadaşım, değerli eşim Melis AKTAY ve kıymetli aileme de sonsuz teşekkürler ederim.

Kaan AKTAY

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ	vii
KISALTMA LİSTESİ	viii
ŞEKİL LİSTESİ	ix
TABLO LİSTESİ	x
ÖZET	xi
ABSTRACT	xii
1 GİRİŞ	1
1.1 Literatür Özeti.....	1
1.2 Tezin Amacı	4
1.3 Hipotez	4
2 SAYISAL METOT	5
2.1 Matematik Model.....	5
2.2 Sayısal Model.....	7
2.2.1. Geometrik Ayrıntılar	7
2.2.2. Çözüm Hacmi Ayrıntıları.....	8
2.2.3. Çözüm Ağı Ayrıntıları.....	9
2.2.4. Doğrulama Çalışması	11
2.2.5. Sınır Şartları.....	14
3 SONUÇLAR	17
3.1 Hidrodinamik Sonuçlar	17
3.1.1 İlk Katman Analizler	17
3.1.2 İkinci Katman Analizler	21
3.1.3 Üçüncü Katman Analizler	22
4 SONUÇ VE ÖNERİLER	25
4.1 Sonuç.....	25
KAYNAKÇA	27
TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR	28

SİMGE LİSTESİ

D	Pervane Çapı
j	İlerleme Katsayısı
KT	İtme Katsayısı
KQ	Tork Katsayısı
KQ_b	Kanat Tork Katsayısı
n	Rotation Per Second (Saniyedeki Dönüş Sayısı)
Z	Kanat Sayısı
η	Pervane Verimi

KISALTMA LİSTESİ

CFD	Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği
CPP	Controllable Pitch Propeller (Kontrol Edilebilir Hatveli Pervane)
FPP	Fixed Pitch Propeller (Sabit Hatveli Pervane)
HAD	Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği
RANS	Reynolds-Ortalamalı Navier-Stokes Denklemleri
RBM	Rigid Body Motion (Sert Gövde Hareketi)



ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1	DTMB 4119 modeli FPP pervane.....	7
Şekil 2.2	a) DTMB 4119 FPP model, b) DTMB 4119 CPP model.....	8
Şekil 2.3	Kullanılan çözüm hacmi.....	9
Şekil 2.4	Çözüm ağı rüntüsü.....	10
Şekil 2.5	Çözüm ağı bağımsızlık çalışması.....	11
Şekil 2.6	Doğrulama çalışması sonuçları (Sezen S. et al. INT-NAM 2018).....	12
Şekil 2.7	Sabit hatveli pervane ile kontrol edilebilir hatveli pervane verileri.....	13
Şekil 2.8	DTMB 4119 CPP pervane için a) Tam ileri hatve pozisyonu, b) Sıfır hatve pozisyonu.....	14
Şekil 2.9	Kılıçlama pozisyonu.....	15
Şekil 3.1	Tam ileri hatve pozisyonundan kılıçlama konumuna geçişte kanat tork katsayısı.....	17
Şekil 3.2	Sıfır hatve pozisyonundan kılıçlama konumuna geçişte kanat tork katsayısı.....	18
Şekil 3.3	$J=0.500$ için tam ileri hatve pozisyonundan kılıçlama pozisyonuna geçişte a) 0° , b) 14° , c) 31° , d) 48° ve e) 62° yatma açısında pervane kanadının ön ve arka yüzündeki basınç (Pa) dağılımı.....	19
Şekil 3.4	$J=0.500$ ilerleme katsayısında tam ileri hatve pozisyonundan kılıçlama konumuna a) 14° , b) 48° ve c) 62° dönme açılarında arka yüzündeki 60000 pa için vakum bölgeleri.....	20
Şekil 3.5	Tam ileri hatve pozisyonundan kılıçlama pozisyonuna dönüşte a) $\square=1$, b) $\square=0.707$ ve c) $\square=0.500$ ölçek faktörlerinde kanat tork katsayıları.....	21
Şekil 3.6	Tam ileri hatve pozisyonundan kılıçlama pozisyonuna dönüşte a) $\Omega=1$, b) $\Omega=0.707$ ve c) $\Omega=0.500$ zaman ölçeği faktörlerinde kanat tork katsayıları.....	22
Şekil 3.7	Kanat manevrası sırasında pervane karakteristik eğrileri.....	23
Şekil 3.8	a) $J=0.500$ için tam ileri hatve pozisyonundan kılıçlama pozisyonuna geçişte a) 0° , b) 14° , c) 31° , d) 48° & e) 62° yatma açısında pervane arkasındaki akışın akım hatları ile elde edilen görseli	24
Şekil 3.9	a) $J=0.500$ için tam ileri hatve pozisyonundan kılıçlama pozisyonuna geçişte a) 0° , b) 14° , c) 31° , d) 48° ve e) 62° yatma açısında pervane arkası ve yakın bölgesindeki Q-kriteri = 1000 1/s ² değerindeki eş yüzey görünümü.....	24

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1 DTMB 4119 ana özellikleri.....	7
Tablo 2.2 İlk katman analizlerde ilerleme katsayısına bağlı pervane devri.....	15
Tablo 2.3 İkinci katman ölçeklenen modeller için pervane devirleri.....	16



Kontrol Edilebilir Hatveli Bir Pervane için Farklı Hatve Geçişlerindeki Hidrodinamik Davranışının Sayısal Olarak İncelenmesi

Kaan AKTAY

Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Ahmet YURTSEVEN

Günümüzde daha yüksek hız ve verim için kontrol edilebilir hatveli pervaneler (CPP) sabit hatveli pervanelere (FFP) göre daha fazla tercih edilmektedir. Kontrol edilebilir hatveli pervanelere en büyük ihtiyaç, bu pervanelerde kanatlara etki eden kuvvetin hidrolik olarak modellenmesidir. Bu çalışmada, açık su koşullarında pervane kanatlarına etki eden tork değeri elde edilmeye çalışılmıştır. DTMB 4119 tipi sabit hatveli pervane modifiye edilerek kontrol edilebilir hatveli pervaneye dönüştürülmüş ve bu pervane üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Analizler beş farklı ilerleme katsayısında, ilerleme katsayılarına uygun olarak belirlenmiş farklı gemi hızlarında, temelde tam ileri yol ile sıfır hatve olacak şekilde iki farklı kanat başlangıç pozisyonunda gerçekleştirilmiştir. RANS (Reynolds-Averaged Navier-Stokes Equations) denklemlerinin çözümü ile sayısal teknikler elde edilmiştir. Sayısal sonuçlar, kanatta zamana bağlı tork, pervane itiş, akış hızı ve akım çizgileri ile mevcuttur.

Anahtar Kelimeler: Kontrol edilebilir hatveli pervane, CPP, hesaplamalı akışkanlar dinamiği, CFD, geçiş yumuşatma manevrası

Numerical Investigation of Hydrodynamic Behavior at Different Pitch Transitions for a Controllable Pitch Propeller

Kaan AKTAY

Department of Naval Architecture and Marine Engineering

Master of Science Thesis

Supervisor: Assist. Prof. Ahmet YURTSEVEN

Today, controllable pitch propellers (CPP) are preferred more than fixed pitch propellers (FFP) for higher speed and efficiency. The greatest need for controllable pitch propellers is hydraulic modeling of the force acting on the blades in these propellers. In this study, it was tried to obtain the torque value affecting the propeller blades in open water conditions. DTMB 4119 type fixed pitch propeller has been modified to controllable pitch propeller and studies have been carried out on this propeller. The analyzes were carried out in five different propagation coefficients, at different ship speeds determined in accordance with the propagation coefficients, in two different wing starting positions, basically full forward path and zero pitch. Numerical techniques were obtained by solving RANS (Reynolds-Averaged Navier-Stokes Equations) equations. Numerical results are available with time-dependent torque at the blade, propeller thrust, flow velocity, and streamlines.

Keywords: Controllable pitch propeller, CPP, computational fluid dynamics, CFD, feathering maneuver

1.1 Literatür Özeti

Pervane tahriki, tüm ticari ve askeri gemiler için büyük önem taşımaktadır. Deniz araçlarının büyük çoğunluğu pervaneli tahrik sistemlerine sahiptir. Pervane sevk sistemlerinde yüksek hız ve manevra kabiliyetini artırmak için kontrol edilebilir hatveli pervaneler tercih edilmektedir. Kontrol edilebilir hatveli pervaneler birçok farklı tasarımda mevcuttur. Sistemin mekanik elemanları dışında sistemin hareketini sağlayan hidrolik kuvvetin tespiti en önemli unsurdur. Pervanenin dönüşü sırasında denizde kanatlara etkileyen direnç kuvvetini yenmek için oluşturulan hidrolik kuvvet etkisini analiz etmek gereklidir.

Bu nedenle hatve kontrollü pervanelerin kanatlarına etki eden kuvveti matematiksel olarak incelemek için literatürde mevcut çalışmalar incelenmiştir.

Altosole M ve ark. tarafından yapılan çalışmada esas olarak, pervane kanadı konum değişikliğini gerçekleştirebilen ve CPP göbeğinde üretilen yağ basınçları hakkında uygun bilgiler verebilen, kontrol edilebilir bir hatveli pervane (CPP) için kontrol hatvesi mekanizmasının matematiksel modeline odaklanmaktadır. Aslında, mekanik arızadan çok yüksek basınçlar sorumlu olabilir bu nedenle daima bu basınçların gemi otomasyonu tarafından incelenmesi gerektiği belirtilmiştir. Literatürde rapor edilen birkaç mil torku verisinin geleneksel temsili ile ilgili olarak, önerilen matematiksel modelde, pervane kanadına etki eden taşıyıcı atalet kuvvetleri ve Coriolis atalet kuvvetleri, geminin yalpa hareketi dikkate alınarak değerlendirilir. Pervane hızı (şaft hızlanmaları ve yavaşlamaları dâhil) ve hatve değişimi sırasında kanat dönüşü. Tanıtılan prosedür nedeniyle, CPP modeli, çift pervaneli hızlı bir geminin dinamik davranışını temsil eden genel bir sevk simülatörünün parçası olarak geliştirilmiştir. Çalışmanın amacı, otomasyon tasarımcılarının çeşitli sevk kontrol seçeneklerini geliştirip test

edebildiği bir ortam oluşturmak, gemi sevk dinamiklerini temsil etmektir. Bu makalenin sonunda gemi çarpışma durdurma için benimsenen benzetim yaklaşımının kısa bir açıklaması gösterilmektedir. Özellikle, tahrik kontrol eylemi, izin verilen kuvvetler ve basınçlar açısından kontrol hatve mekanizması geri bildirimi dahil olmak üzere makine performansı ve kısıtlamaları dikkate alınarak incelenmiştir. (Altosole M. et al. 2011)

Dullens F. P. M. ve ark. yaptığı çalışmada sistemin dinamik davranışı ile ilgili olduğu düşünülen alt sistemler modellenmiştir. Daha sonra bu kapsamda geliştirilen bir test tezgâhında bazı ölçümler yapılarak model doğrulanmıştır. Test tezgâhının bir CPP' yi temsil edip etmediğini doğrulamak için bir karşılaştırma yapılmıştır. Doğrusal olmayan sistemler için gözlemcilere genel bir bakış verilmiştir. Performans, test tezgâhında test edilmiştir. Yeni bir kontrol stratejisi geliştirilmiş ve iki yeni adım kontrolörü tasarlanmıştır. Bu yeni kontrolörler geleneksel oransal kontrolörler ile karşılaştırılmış ve ilgili sonuçlar simülasyon ve deneylerle verilmiştir. (Dullens F. P. M. et al. 2009)

Tarbiat S. ve ark, CPP pervanenin hidrodinamik ve sürtünme kuvvetlerini tahmin etmek için çalışmışlardır. CPP kanatlarının yatağında oluşan sürtünme aşınma sorunları araştırılmıştır. Çalışmada kullanılan ana denklemler Reynolds ortalama Navier-Stokes denklemleridir. Sürtünme kuvvetleri pratik mekanik formüller kullanılarak hesaplanmıştır. Açık suda ve pervanenin arkasındaki izde hidrodinamik katsayıları elde etmek için, kanatlar sabit dönüş hızı ile farklı ilerleme hızları kullanılmıştır. Pervanenin üç boyutlu modellemesinin ayrıntılı sayısal sonuçları, hidrodinamik özellikleri ve pervanedeki sürtünme aşınma durumları verilmiştir. Sonuçlar, sürtünme aşınma durumunun hatve ile ilgili olduğunu göstermiştir. (Tarbiat S. et al. 2014)

Godjevac M. ve ark, CPP pervanedeki sürtünmeye, bir CPP sisteminde aşınma oluşumuna ve bunların birbirine bağımlılığına odaklanmışlar, yalnızca triboloji yönlerini araştırmak yerine, bir CPP' nin hidrodinamik ve mekanik yönlerini içeren problemin genel bir tanımını elde etmeye çalışmışlardır. Bunu yaparak, toplam aşınmanın birkaç aşınma mekanizmasının sonucu olduğu, ancak ilk etapta

sürtünme ve kayma aşınması olduğu sonucuna varmışlardır. Gemi denizde seyir halindeyken palet hızındaki çok yüksek salınımlar nedeniyle aşınmanın varlığı açıklanmaya çalışılmıştır. Sunulan aşınma deneyleri, sürtünme aşınmasının CPP' deki diğer aşınma mekanizmalarından daha tehlikeli olduğunu göstermiştir. Son olarak, deneylere ve önceki analizlere dayanarak, bir CPP için toplam aşınma modelini sunmuşlardır. (Godjevac M. et al. 2009)

Martelli M. ve ark. çalışmalarında bir askeri geminin sevk kontrol sisteminin tasarımı için simülasyon tekniklerinin geliştirilmesi ve kullanılmasını amaçlamışlardır. Sevk kontrolörünü gemiye kurulumdan önce test etmek için böyle bir simülasyon platformunun kullanılması, otomasyon sağlayıcısının deniz denemeleri sırasında kurulum süresini önemli ölçüde azaltmasını sağlamıştır. Ek olarak, simülasyon platformu, tepki verme, yakıt tüketimi ve güvenlik açısından sevk tesisi performansının optimizasyonuna izin vermiştir. Deniz denemelerinden sonra, farklı modeller doğrulanmıştır. Deneysel ve simüle edilmiş veriler arasında iyi bir korelasyon gözlemlenmiştir. (Martelli M. et al. 2014)

Nguyen C. ve ark. çalışmalarında, hatve oranının kontrol edilebilir bir hatveli pervanenin itme özellikleri üzerindeki etkilerini incelemek için HAD (Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği) tekniğini kullanmışlardır. Pervanenin itme karakteristiğine etki eden hatve oranı için çeşitli sonuçlar analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, kontrol edilebilir hatveli pervanenin temel tasarımında iyileştirmeler ve verimliliğinde artış elde edilmiştir. (Nguyen C. et al. 2018)

Zarbock O. ve ark. çalışmalarında, uyarlanmış bir pervanenin tasarım sürecine kısa bir genel bakış sunmayı ve matematiksel modellerin kısa bir tarihsel gelişimini vermeyi amaçlamışlardır. Hidrodinamik pervane tasarımının olanaklarını ve sınırlamalarını tartışmışlar, kanat mukavemetinin de dikkate alınması gerektiğinin öneminden bahsetmişlerdir. Kontrol edilebilir sistemin kanatlarının ve bileşenlerinin yorgunluğunun analiz edilmesinin önemli olduğundan bahsetmişlerdir. (Zarbock O. ve ark 2009)

Önceki yapılan çalışmalar değerlendirildiğinde bu çalışmada, sabit hatveli (FPP) bir pervaneden modifiye edilerek elde edilen CPP pervanenin, kanat

manevralarının hidrodinamik analizi yapılmış, kanatların tork değerine odaklanılmıştır. Kanatlarda elde edilen tork değerlerinin CPP pervanede kanat hareketlerini sağlayan hidrolik yapının ortaya çıkarılması ve hidrolik ünitenin çalışma karakteristiklerini açıklamak için hayati önemde olduğu düşünülmüştür. CPP pervane manevraları incelendiğinde en kötü senaryodaki manevranın, farklı hatve açılarında kanatların aksenal akışa uygun olarak en düşük projeksiyon alanı elde edecek şekilde kılıçlama pozisyonuna geçmesi olduğu söylenebilir. Bu nedenle CPP pervane kanatlarının farklı başlangıç pozisyonlarından kılıçlama pozisyonuna geçişleri esnasında kanat üzerine gelen tork değerlerinin araştırılması amaçlanmıştır.

1.2 Tezin Amacı

Sabit hatveli bir pervanenin hatve kontrollü olarak modifiye edilmesi sonucunda yapacağı farklı kanat manevralarının sayısal olarak incelenmesi ile elde edilecek kanat üzerine etkiyen tork değerine göre hatve kontrollü bir pervanenin kanatlarını hareket kabiliyeti sağlayan hidrolik sistem hakkında fikir edinmek ve sonra ki çalışmalar için referans olmaktır.

1.3 Hipotez

Hatve kontrollü olarak modifiye edilen bir pervanenin yapacağı farklı kanat manevralarının hidrolik sistem üzerinde oluşturacağı kuvvetlerin benzerlik ve farklılığının incelenmesi amacı.

2.1 Matematik Model

Pervane etrafındaki akış; üç boyutlu, zamana bağlı, sıkıştırılamaz ve türbülanslı bir akış olarak modellenmiştir.

Bu akışı modellerken kullanılan yönetici denklemler, süreklilik denklemi ve üç boyutlu, sıkıştırılamaz akış için RANS denklemleridir.

Zamana bağlı süreklilik denklemi denklem 1’de verilmiştir.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

Momentum korunum denklemleri üç boyutlu olarak her eksen için denklem 3,4 ve 5 de verilmiştir.

$$\rho \left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right) = -\frac{\partial P}{\partial x} + \rho g_x + \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) \quad (2)$$

$$\rho \left(\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} \right) = -\frac{\partial P}{\partial y} + \rho g_y + \mu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) \quad (3)$$

$$\rho \left(\frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} \right) = -\frac{\partial P}{\partial z} + \rho g_z + \mu \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) \quad (4)$$

Ayrıca kullanılan $k - \varepsilon$ türbülans modeli için denklem 5 ve 6 ‘da türbülans kinetik enerji ve disipasyon denklemleri verilmiştir.

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \nabla \cdot (\rho k \bar{v}) = \nabla \cdot \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \nabla k \right] + P_k - \rho(\varepsilon - \varepsilon_0) + S_k \quad (5)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \varepsilon) + \nabla \cdot (\rho \varepsilon \bar{v}) = \nabla \cdot \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \nabla \varepsilon \right] + \frac{1}{T_\varepsilon} C_{\varepsilon 1} P_\varepsilon - C_{\varepsilon 2} f_2 \rho \left(\frac{\varepsilon}{T_\varepsilon} - \frac{\varepsilon_0}{T_0} \right) + S_\varepsilon \quad (6)$$

Pervane hidrodinamiği çalışmalarında sıklıkla kullanılan boyutsuz katsayılar, ilerleme katsayısı, itme katsayısı ve tork katsayısıdır.

İlerleme Katsayısı;

$$J = \frac{V_a}{nD} \quad (7)$$

İtme Katsayısı;

$$KT = \frac{T}{\rho n^2 D^4} \quad (8)$$

Tork Katsayısı;

$$KQ = \frac{Q}{\rho n^2 D^5} \quad (9)$$

Olarak tanımlanabilir.

Ayrıca çalışmanın sonuçlar bölümünde ele alınan pervane dönüşü dışında, kanatların kendi eksenini etrafında dönüşü ile elde edilen kanat tork katsayısı;

$$KQb = \frac{Q_b}{\rho n^2 D^5 J^2} \quad (10)$$

Olarak tanımlanır.

Pervane verimi;

$$\eta = \frac{KT}{KQ} \frac{J}{2\pi} \quad (11)$$

Olarak tanımlanır.

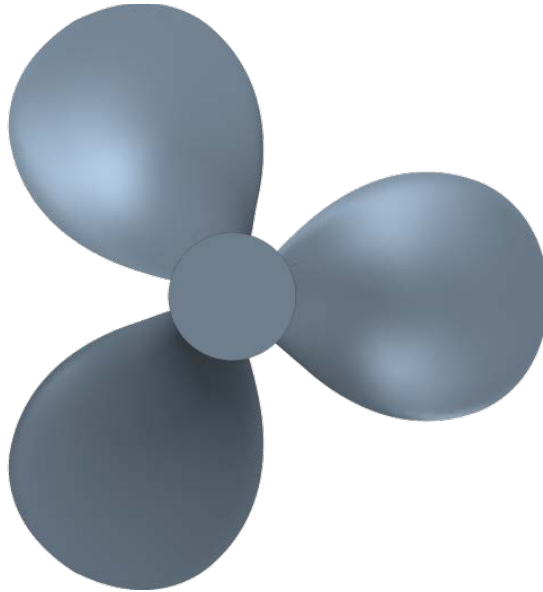
2.2 Sayısal Model

2.2.1. Geometrik Ayrıntılar

Hidrodinamik performans tahmini için DTMB 4119 model sabit hatveli bir pervane (FPP) seçilmiştir. Model pervanenin geometrik özellikleri Tablo 2.1'de verilmiştir. Model pervanenin üç boyutlu görünümü Şekil 2.1'de verilmiştir. Çalışmanın asıl üzerine kurulduğu model ise DTMB 4119 FPP pervanesinin kanatlarının kanat merkez hattı etrafında dönebilmesinin sağlandığı modifiye edilmiş DTMB 4119 CPP modelidir.

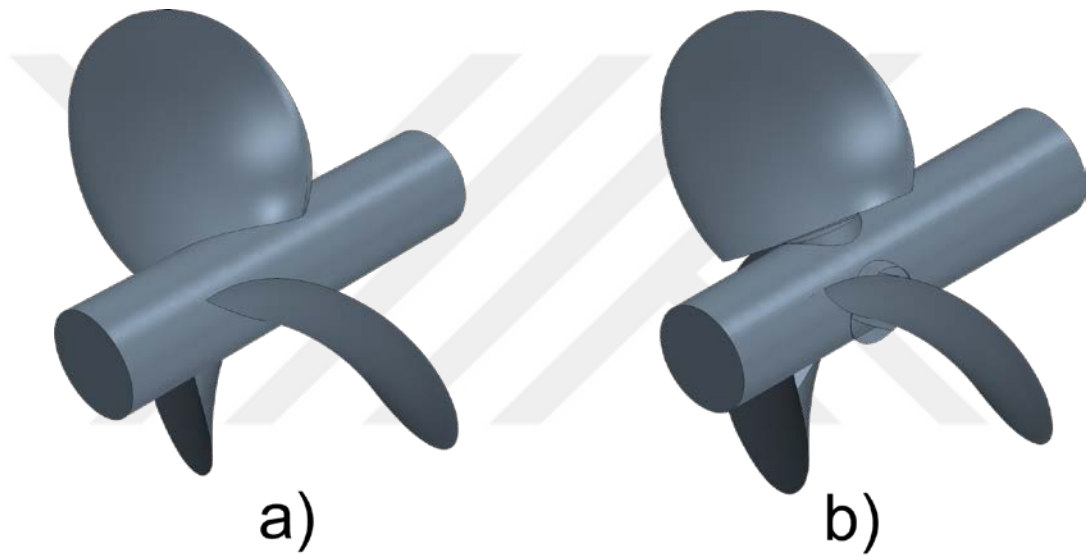
Tablo 2.1 DTMB 4119 ana özellikleri

DTMB4119	
D (m)	0.3048
Z	3
Kanat Kesiti	NACA66a=0.8
Dönüş Yönü	Sağ



Şekil 2.1 DTMB 4119 modeli FPP pervane

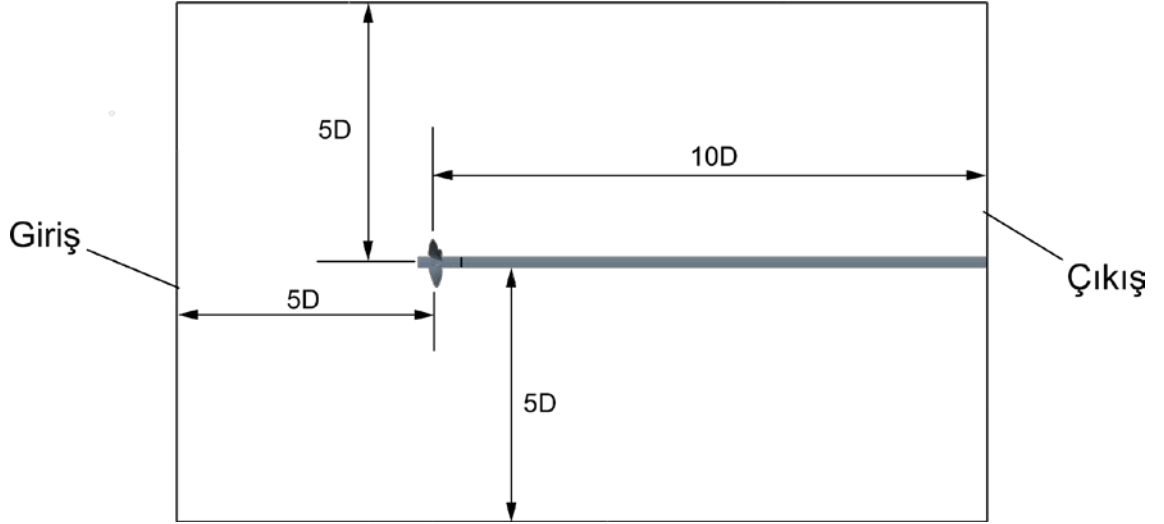
Çalışmada, hatvesi kontrol edilemeyen sabit hatveli bir pervane modeli olan DTMB 4119 model FPP pervanesinin hatvesi bilgisayar destekli tasarım araçları ile güncellemeler yapılarak kontrol edilebilir hale getirilmiştir. Güncellemelerle birlikte kullanılan modifiye edilmiş pervaneye DTMB 4119 CPP adı verilmiştir. Sabit hatveli versiyon ve CPP model DTMB 4119 pervane Şekil 2.2’ de gösterilmektedir. Hareketli kanatlar kanat köklerinin pervane şaftına çarpmayacağı şartlarda minimum değişikliklerle elde edilmiştir.



Şekil 2.2 a) DTMB 4119 FPP model, b) DTMB 4119 CPP model

2.2.2. Çözüm Hacmi Ayrıntıları

Hesaplamalı akışkanlar dinamiği analizlerinin gerçekleştirilmesi için geometrinin etrafındaki akış bölgesini temsil eden bir akış hacminin oluşturulması gerekmektedir. Akış hacmi HAD analizinde kullanılmak üzere giriş yüzeyi ile üst ve alt kenarlar ana geometriden 5 pervane çapı uzaklıkta, çıkış yüzeyi ise 10 pervane çapı uzaklıkta olacak şekilde kurgulanmıştır.



Şekil 2.3 Kullanılan çözüm hacmi

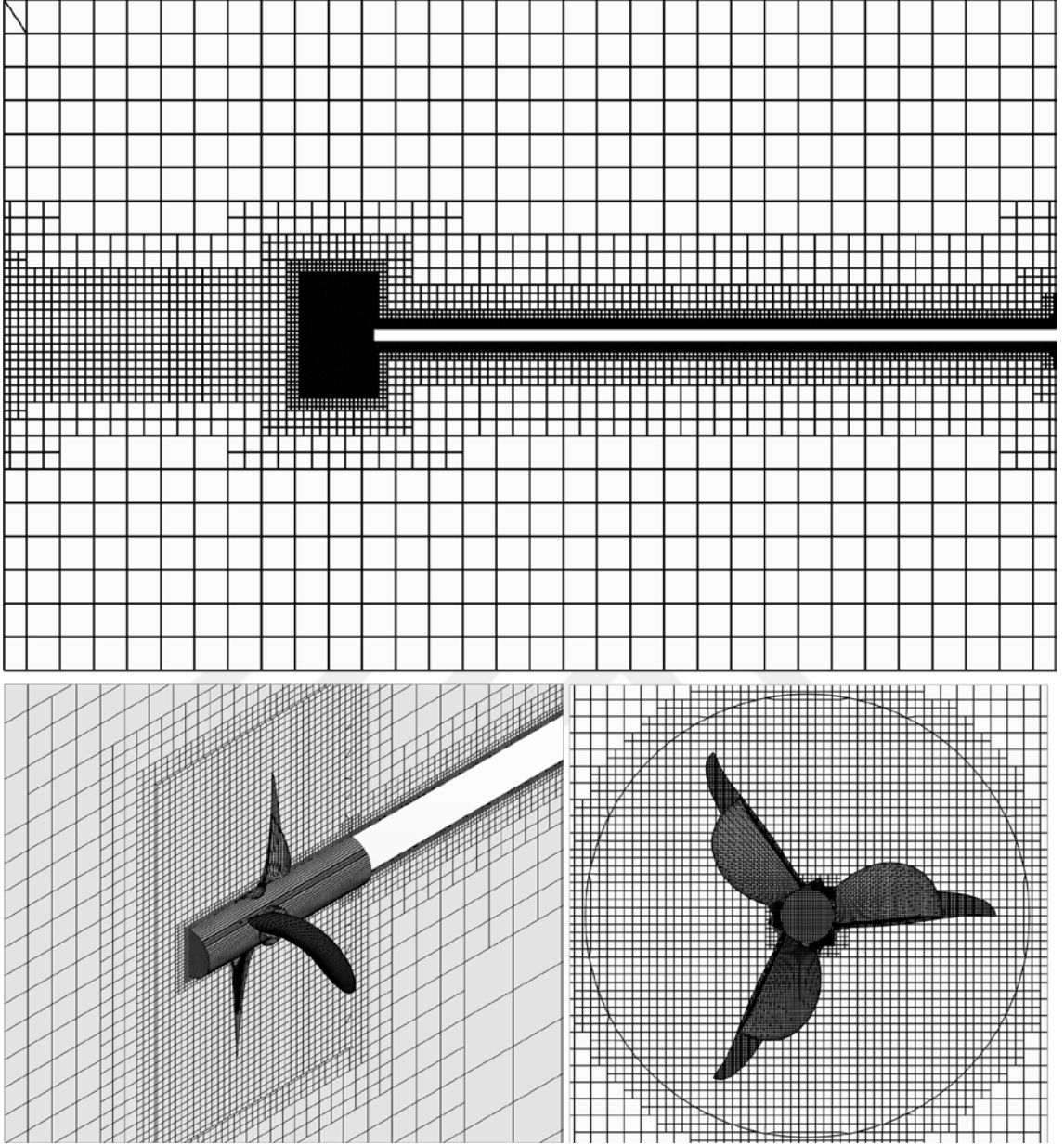
Şekil 2.3 çalışma sırasında kullanılan çözüm hacmini göstermektedir. Giriş yüzeyi hız girişi, çıkış yüzeyi basınç çıkışı ve diğer tüm dış yüzeyler simetri sınır koşulu ile kullanılmıştır. Çalışmada pervanenin ana gövdesi ve kanatlar RBM (Rigid Body Motion) hareket modeli ile modellenmiştir ve kanatların hatve değişimi için gerekli olan kendi eksenine etrafındaki hareketler kayar çözüm ağı hareket modeli ile modellenmiştir. Bu şekilde kurgulanan toplam hareket modeli için hibrit hareket modeli ismi verilebilir.

2.2.3. Çözüm Ağı Ayrıntıları

Çözüm hacminin HAD metotlarıyla analiz edilebilmesi için bilinen sonlu boyutlardaki geometrik elemanlar kullanılarak oluşturulmuş bir çözüm ağına ihtiyaç bulunmaktadır. Çözüm ağında özellikle geometri yüzeylerine yakınlaşılan kısımlarda duvar hızlarının doğru tahmin edilebilmesi için sınır tabakaya uygun şekilde genişleyen tipte sınır tabakası ağ elemanları tercih edilmektedir.

Şekil 2.4'de analiz çalışmalarında kullanılan çözüm ağının görüntüsü bulunmaktadır. Pervane önü ve arkasında oluşacak iz bölgelerindeki hidrodinamik yapıların daha doğru tahmini için çevresel çözüm ağından daha hassas çözünürlükte çözüm elemanı kullanılmıştır. En küçük boyutlu elemanların

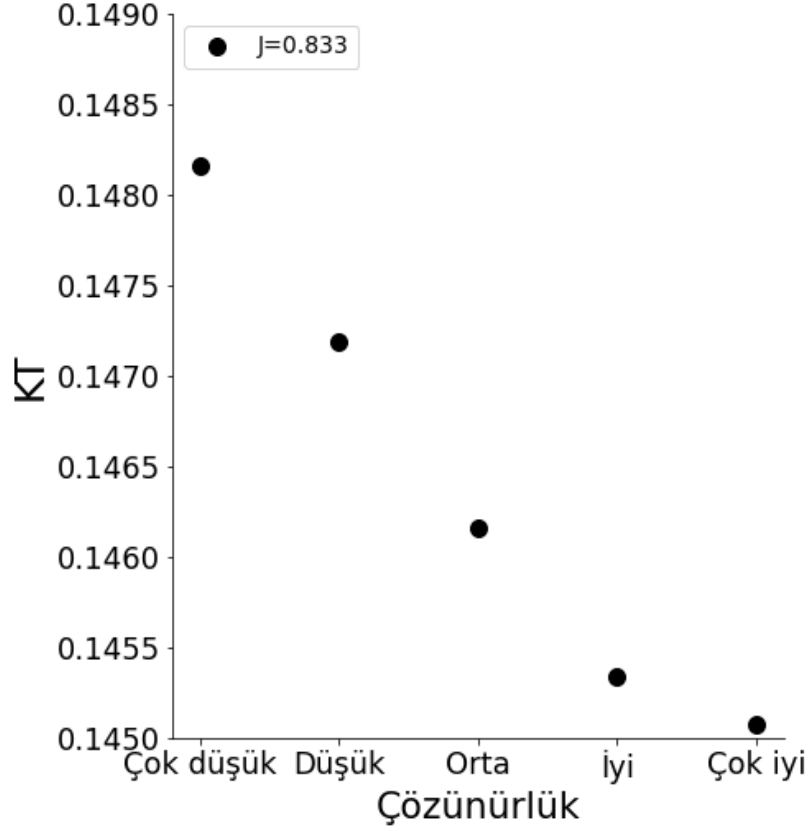
pervane yüzeyinde kullanılması sağlanarak bu boyuttan çevresel çözüm ağı boyutuna tedrici olarak geçişi sağlanmıştır.



Şekil 2.4 Çözüm ağı görüntüsü

Analiz sonuçlarının çözüm ağından bağımsızlaşmış olması gerekir. Bu durum için farklı çözünürlükte çözüm ağlarının analizde test edilmesi gerekmektedir. Bu çalışmaya çözüm ağı bağımsızlığı çalışması ismi verilmektedir.

Çalışmada yapılan çözüm ağı bağımsızlık çalışmasının sonuçları Şekil 2.5’de verilmiştir.

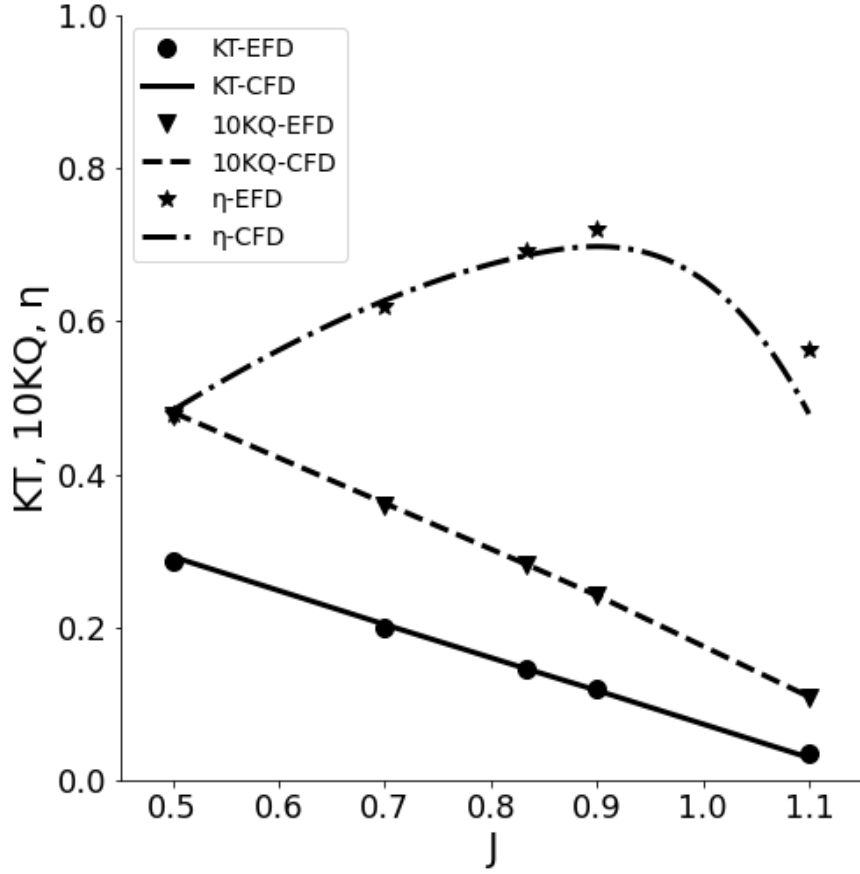


Şekil 2.5 Çözüm ağı bağımsızlık çalışması

Şekildeki grafik incelendiğinde ilerleme katsayısı 0.833 için yapılan analiz kurgusunda 5 farklı çözüm ağı test edilmiştir. Sırasıyla 285000, 463000, 953000, 1833000 ve 4056000 elemandan oluşan ağ yapıları kullanılmıştır. Sonuçların görece yakınlığı dikkate alınarak “İyi” isimli 1833000 adet çözüm elemanına sahip çözüm ağı kurgusu sonraki tüm çalışmada temel alınmıştır.

2.2.4. Doğrulama Çalışması

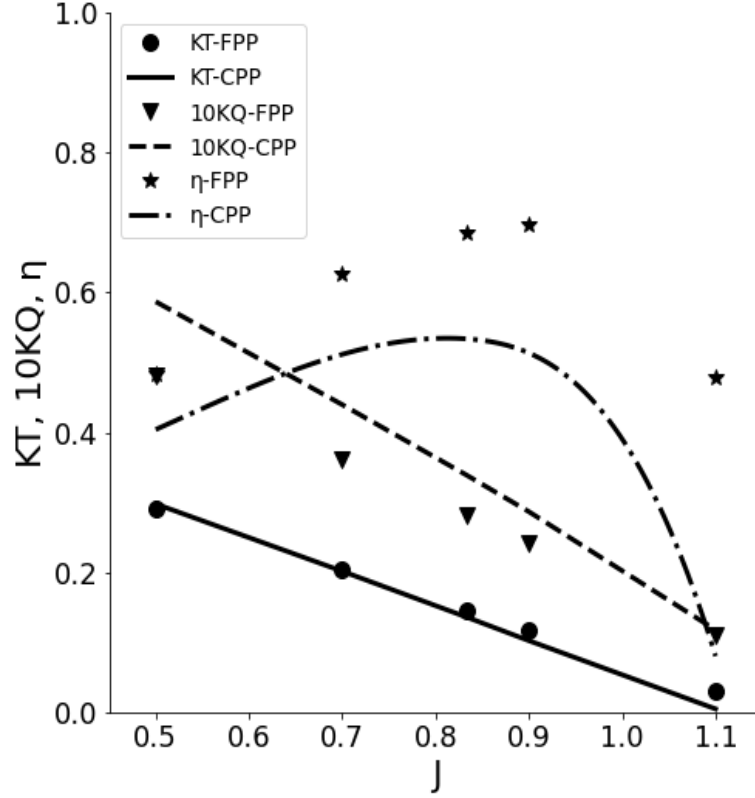
Çalışmada, sabit hatveli (FPP) modelin deneysel verileriyle uyumlu olması için $J=0.500$, $J=0.700$, $J=0.833$, $J=0.900$, $J=1.100$ olmak üzere beş farklı ilerleme katsayısı sağlayacak sınır koşulları seçilmiştir. Yapılan doğrulama çalışmasının sonuçları Şekil 2.6’da gösterilmiştir.



Şekil 2.6 Doğrulama çalışması sonuçları (Sezen S. et al. INT-NAM 2018)

Grafik incelendiğinde yapılan sayısal analiz sonuçlarının deneysel sonuçlar ile iyi derece yakınlıkta eşleştiği görülmüştür. Bu doğrulama çalışması ile kurgulanan sayısal modelin çalışmanın devamında temel alınmasına karar verilmiştir.

Çalışmada test modeli olarak kullanılan sabit hatveli (FPP) pervane, modifiye edilerek kontrol edilebilir hatveli (CPP) bir pervane elde edilmiştir. Bu pervanenin herhangi bir test verisi olmadığından mevcut FPP pervanenin sayısal sonuçları ile elde edilen CPP pervanenin sayısal sonuçları karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sonuçları Şekil 2.7’de gösterilmiştir.



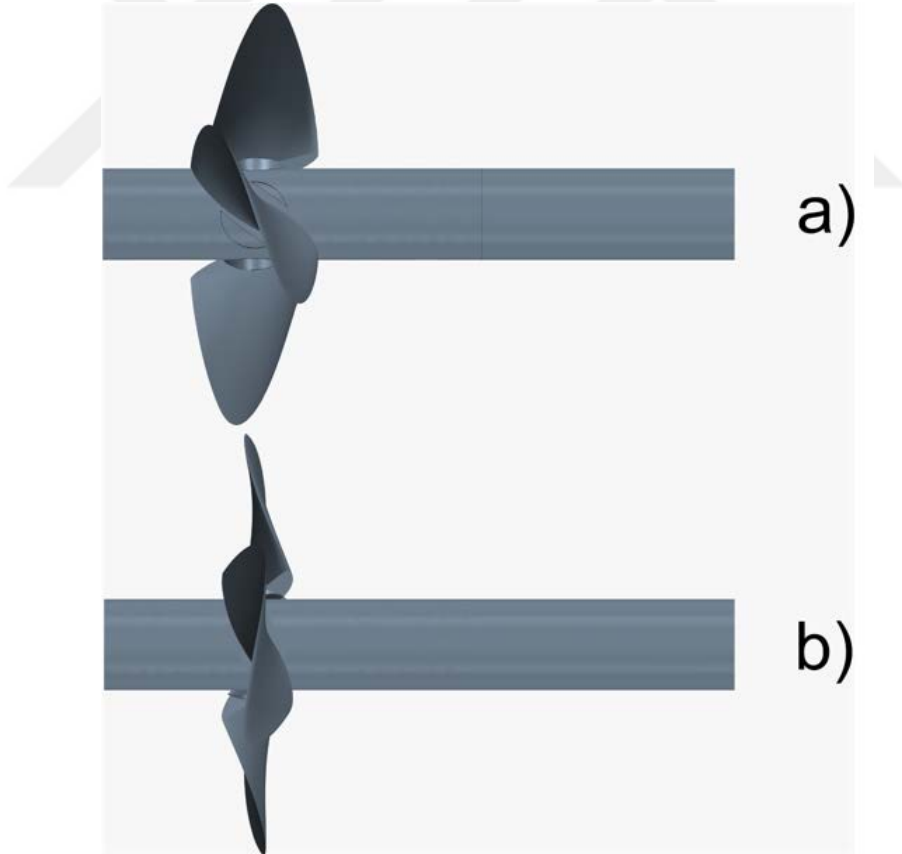
Şekil 2.7 Sabit hatveli pervane ile kontrol edilebilir hatveli pervane verileri

Grafik incelendiğinde itme katsayısının oldukça yakın değerler gösterdiği ancak tork katsayısının yüksek ilerleme hızlarında yakın sonuçlar verirken düşük ilerleme katsayılarında bir miktar farklı değerler elde edildiği görülmektedir. Bu nedenle pervane verim değerlerinde eğri davranışı korunurken değer olarak çok daha düşük bir verim değeri hesaplandığı görülmektedir. Bu durum kanat kökünde yapılan düzeltmeler, geometrik olarak kanatlarda neden olunan alan kayıpları ve kanat köklerinde akımı bozucu etkiler nedeniyle olağan karşılanmıştır.

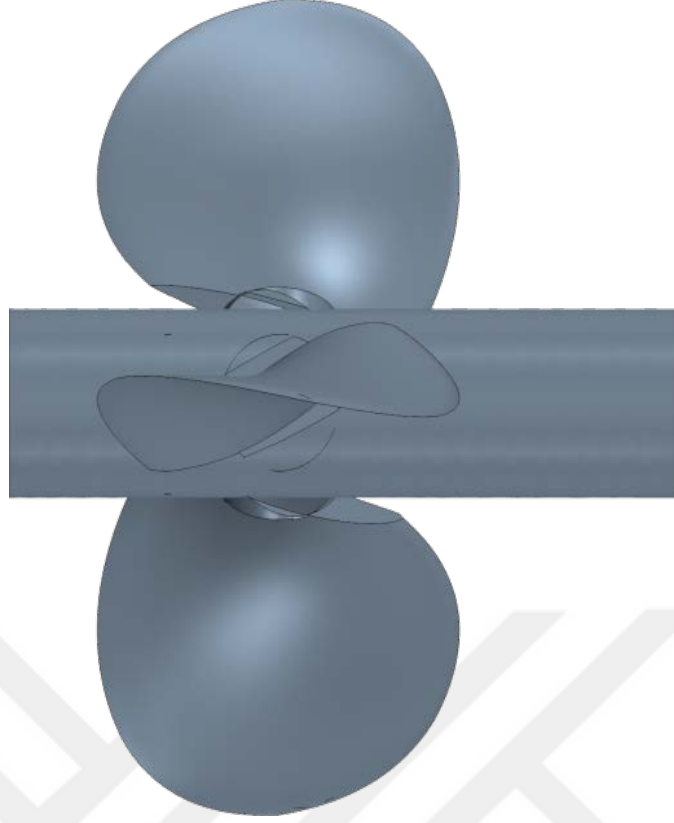
2.2.5. Sınır Şartları

Çalışma açık su pervane testi şartlarında kurgulanmış ve tüm analizler bu şarta uygun şekilde çözülmüştür. Açık su pervane testinde pervane belirli bir devirde dönerken pervane üzerine geminin sevki sırasında oluşacak eksenel akışın uygulanması sağlanmaktadır. Eksenel akış pervanesinin üzerine itmede azaltıcı bir etki olarak dahil olmaktadır. Eksenel hız ile pervanesinin devri ve çapına bağlı pervane hızının oranı ilerleme katsayısını oluşturmaktadır. Çalışmanın tüm katmanlarında, önceki bölümde belirtilen, beş farklı ilerleme katsayısında çözümler gerçekleştirilmiştir.

Çalışma temelde üç katman olarak ele alınmıştır. İlk katmanda test boyutlarında olan modifiye edilmiş CPP pervanesi kullanılmıştır. Bu katmandaki analizler Şekil 2.8’de görünüşleri verilen tam ileri hatve pozisyonu ve sıfır hatve pozisyonundan Şekil 2.9’da gösterilen kılıçlama pozisyonuna geçişi içermektedir.



Şekil 2.8 DTMB 4119 CPP pervane için a) Tam ileri hatve pozisyonu, b) Sıfır hatve pozisyonu



Şekil 2.9 Kılıçlama pozisyonu

Analizlerde farklı ilerleme katsayıları elde etmek için gemi hızı sabit tutulmuş ve pervane devri değiştirilmiştir. Gemi hızı 2.57 m/s ve pervane çapı 0.3048 m olarak, pervane devri ise Tablo 2.2’de gösterildiği şekilde seçilmiştir.

Tablo 2.2 İlk katman analizlerde ilerleme katsayısına bağlı pervane devri

J	n [rps]
0.500	16.86
0.700	12.05
0.833	10.12
0.900	9.37
1.100	7.67

ilk katman analizler tam ileri hatve ve sıfır hatve olmak üzere iki farklı kanat başlangıç pozisyonu ile çözülmüştür. Tam ileri hatve pozisyonu için kanatların kılıçlama pozisyonuna geçiş hızı 0.019 rps, sıfır hatve pozisyonu için 0.028 rps olarak kullanılmıştır.

İkinci katman analizlerde pervane geometrisi iki farklı benzer oranı (0.707, 0.5) ile küçük ölçekli olarak yeniden modellenerek analizler gerçekleştirilmiştir. Geometri ölçeklenirken pervane devrinin benzeştirilmesi için Froude benzerliği kullanılmıştır. Ölçeklenen modeller için ilerleme katsayılarına bağlı pervane devirleri Tablo 2.3’de verilmiştir.

Tablo 2.3 İkinci katman ölçeklenen modeller için pervane devirleri

	0.707	0.500
J	n [rps]	n [rps]
0.500	28.36	23.85
0.700	20.26	17.03
0.833	17.02	14.31
0.900	15.76	13.25
1.100	12.89	10.84

İkinci katman analizlerde 0.707 ölçek oranı ile ölçeklenen modelde pervane çapı 0.2155 m ve eksenel hız 3.0557 m/s, 0.500 ölçek oranı ile ölçeklenen modelde pervane çapı 0.1524 m ve eksenel hız 1.8170 m/s kullanılmıştır. Her iki ölçekli modelde de kanatların kılıçlama pozisyonuna geçme hızları 0.019 rps olarak seçilmiştir.

Üçüncü katman analizlerde geometrik ölçek olarak ilk katmanda kullanılan ölçek kullanılırken, kanatların kılıçlama pozisyonuna geçme hızları 0.0134 rps ve 0.0095 rps olmak üzere iki farklı hızda alınmıştır. Geometrik ölçek ilk katmanda kullanılan ile aynı seçildiği için ilerleme katsayılarına karşılık pervane devir hızları da aynı katman değerleri ile kullanılmıştır.

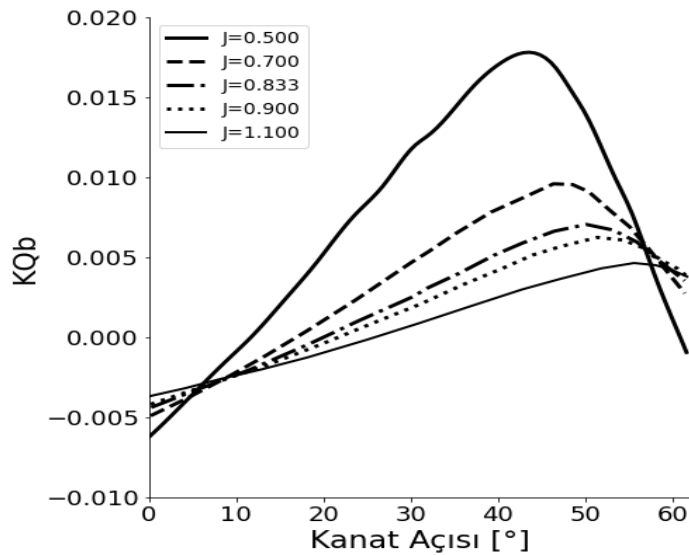
3.1 Hidrodinamik Sonuçlar

Çalışmada geliştirilen DTMB 4119 CPP pervanesinin başlangıç pozisyonundan kılıçlama pozisyonuna geçişi sırasında her bir kanadın kendi eksenine göre tork değerleri incelenmiştir. Tork değerleri önceki kısımda bahsedilen boyutsuz kanat tork sayısı ile ifade edilmiştir. Kanatların farklı hızlarda kılıçlama pozisyonuna geçmesi nedeniyle boyutsuz kanat tork sayısı kanat yatma açısına bağlı olarak verilmiştir.

3.1.1 İlk Katman Analizler

İlk katman analizlerde tam ileri hatve pozisyonu ve sıfır hatve pozisyonu olmak üzere iki ayrı başlangıç konumu kullanılmıştır.

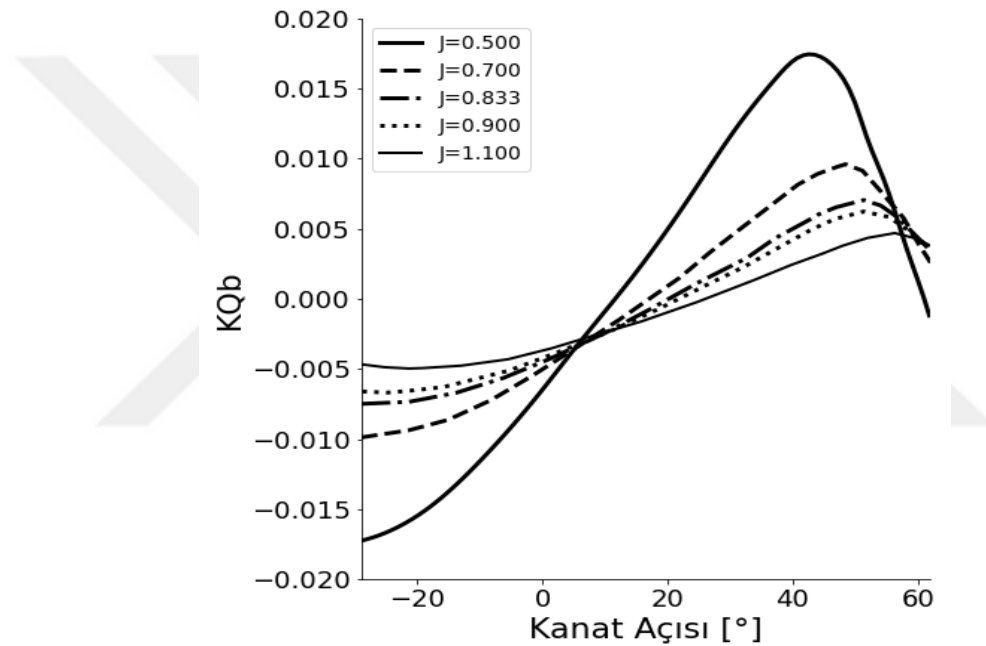
Tam ileri hatve pozisyonundan kılıçlama konumuna geçişte kanatların kendi dönme eksenlerine göre elde edilen tork değerleri ile hesaplanmış olan kanat tork katsayısı (KQb) değişimi Şekil 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.1 Tam ileri hatve pozisyonundan kılıçlama konumuna geçişte kanat tork katsayısı

Grafik farklı ilerleme katsayılarına göre çizdirilmiştir. Eğri karakteri incelendiğinde negatif yönde başlayan tork değerleri pozitif bir pik noktaya kadar artış göstermekte, belirli bir kanat açısı pozisyonunda pik değer elde edilip yeniden azaldığı görülmektedir. İlerleme katsayısının artışıyla kanat tork katsayısındaki pik değer azaldığı, bununla birlikte bu değer yakalandığı kanat açısı değeri de büyümektedir.

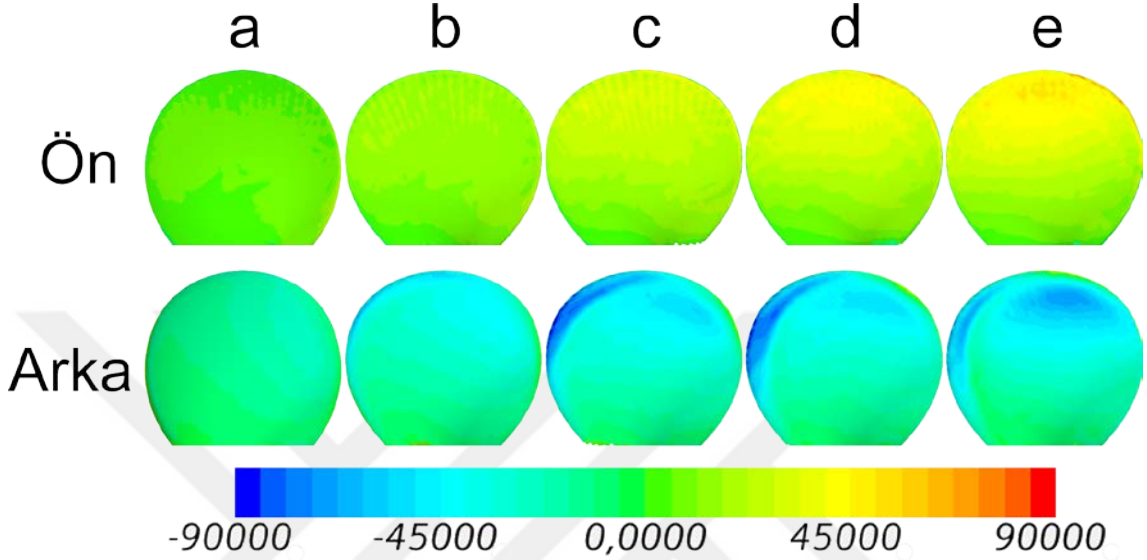
Sıfır hatve pozisyonundan kılıçlama konumuna geçişte kanatların kendi dönme eksenlerine göre elde edilen tork değerleri ile hesaplanmış olan kanat tork katsayısı (KQb) değişimi Şekil 3.2’de verilmiştir.



Şekil 3.2 Sıfır Hatve Pozisyonundan Kılıçlama Konumuna Geçişte Kanat Tork Katsayısı

Tam ileri hatve konumundan önceki kanat açıları, kanat üzerindeki tork değeri hakkında bilgi bu grafikte görülebilmektedir. Genel olarak ilerleme katsayısının artışı ile başlangıç şartlarındaki tork değeri azalmaktadır. Sıfır hatve pozisyonunda başlangıç şartlarındaki tork değeri ile kanadın kılıçlama konumuna dönerken görülen pik tork değerinin yaklaşık olarak aynı değer olduğu yalnızca işaretinin ters olduğu görülebilir.

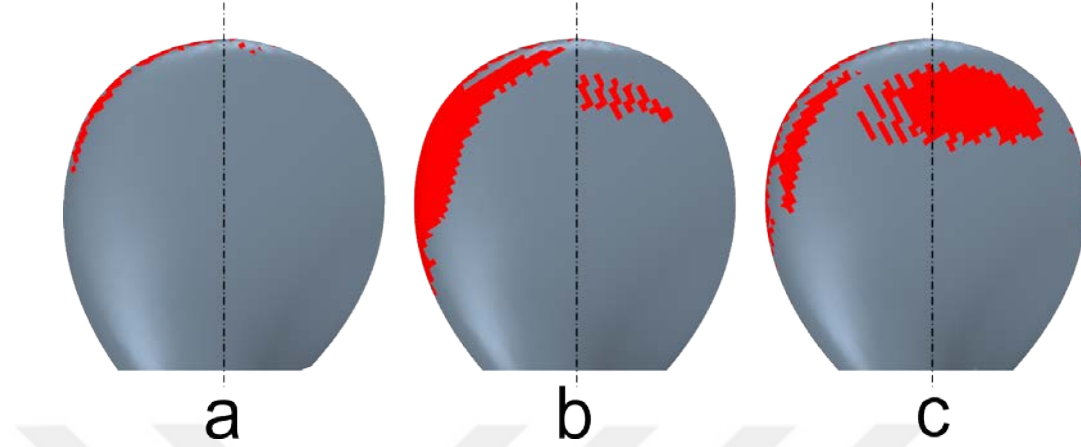
Grafiklerde dikkat çekici en önemli nokta eğrilerin bir pik tork değerine ulaşır yeniden değerlerin azalıyor olmasıdır. Bu durum kanatların hareketinde belirli bir açı noktasında maksimum tork değerinin elde edildiğini göstermektedir. Kanatların kılıçlama konumuna dönerken belirli açılardaki ön ve arka yüzlerinin basınç dağılımları Şekil 3.3’de gösterilmiştir.



Şekil 3.3 $J=0.500$ için tam ileri hatve pozisyonundan kılıçlama pozisyonuna geçişte a) 0° , b) 14° , c) 31° , d) 48° ve e) 62° yatma açısında pervane kanadının ön ve arka yüzündeki basınç (Pa) dağılımı

Şekilde kanat ön yüzünde basınç değerlerinin kılıçlama konumuna dönerken arttığı, arka yüzünde ise azaldığı görülebilmektedir. Özellikle kanatların dönme eksenine göre tork değerleri araştırıldığı için tork değerini en çok etkileyen kanat uçlarına yakın bölgelerdeki basınç değişimleridir. Şekilden de görüldüğü gibi kanatın kılıçlama konumuna dönmesi sırasında pervane dönüş yönüne bağlı olarak ön yüze bakıldığında sağ kenar ve arka yüzden bakıldığında sol kenar yakınlarında basınç değişimlerinin arttığı görülmektedir. Bu kenar pervane dönüşüne göre hücum kenarıdır. Özellikle hücum kenarının arka yüz bölgesinde yüksek vakum basınç alanlarının olması burada tork değerlerinin arttığını göstermektedir. Bu bölgedeki vakum hacmi hücum kenarın arkasındaki ayrılma bölgesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Şekil 3.4’de $J=0.500$ ilerleme katsayısındaki analiz modelinde tam ileri hatve pozisyonundan kılıçlama konumuna döndüğü farklı kanat açılarında arka yüzdeki vakum bölgesinin görseli sunulmuştur.



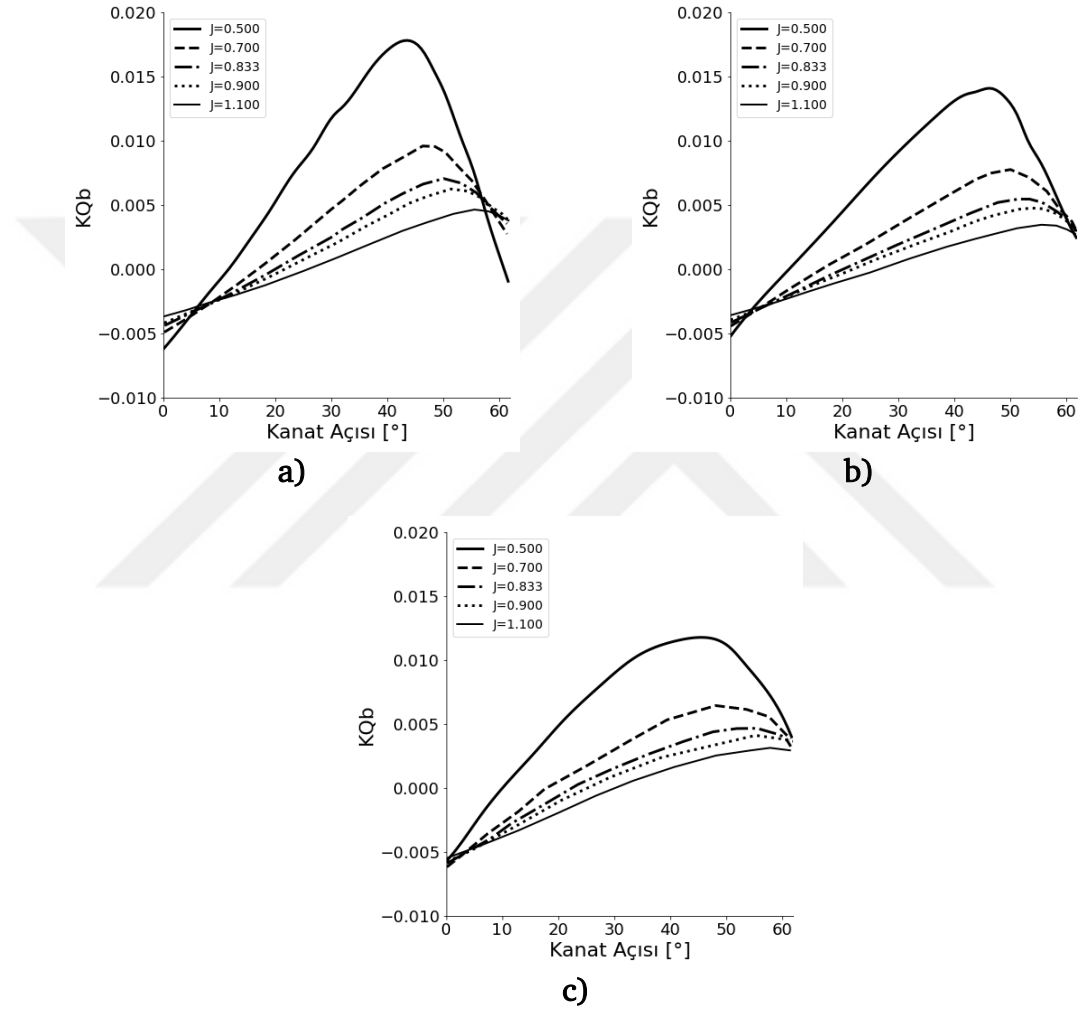
Şekil 3.4 $J=0.500$ ilerleme katsayısında tam ileri hatve pozisyonundan kılıçlama konumuna a) 14° , b) 48° ve c) 62° dönme açılarında arka yüzündeki -60000 Pa için vakum bölgeleri

Şekilde tam ileri hatve pozisyonundan kılıçlama konumuna dönerken açının artması ile öncelikle vakum bölgelerinin arttığı ve özellikle bu bölgelerin kanadın hücum kenarına yakın yerlerde gerçekleştiği görülmektedir. Kanadın hücum ve firar kenarları dönme eksenine göre en uzak noktalar olduğu bilinerek bu bölgelerde gerçekleşecek olan basınç değişimlerinin kanat torku üzerinde en fazla etkiye sahip olacağı söylenebilir. Böylece hücum kenarın etrafında gerçekleşen vakum bölgesi artışları kanada uygulanan torkun artmasına neden olduğu anlaşılmıştır.

Şekil 3.1 ve 3.2’de görüleceği gibi ilerleme katsayısının pik tork değerinin açısal yerini etkilemektedir. Pik tork değerinde kanat hücum kenarına yakın bölgede maksimum vakum alanı oluşmuş, bu noktadan sonraki kanat dönme açılarında vakum bölgesinin hücum kenarından dönme eksenine yakın kanat ortası bölgelere kaydığı görülmüştür. Bu durumda her ne kadar vakum bölgesinin büyüklüğü artarsa veya sabit kalırsa bile tork değerinin düştüğü görülmektedir. Burada tork değerini vakum bölgesinin eksene olan uzaklığının etkilediği anlaşılmıştır.

3.1.2 İkinci Katman Analizler

İkinci katman analizler, tam ileri hatve pozisyonundaki modelin 0.707 ve 0.500 ölçek faktörleri ile geometrik ölçek düşürmesi uygulanan farklı boyutlardaki pervane modelleri ile gerçekleştirilmiştir. Farklı geometrik ölçeklerdeki kanat tork katsayısının değişimleri Şekil 3.5’de verilmiştir.



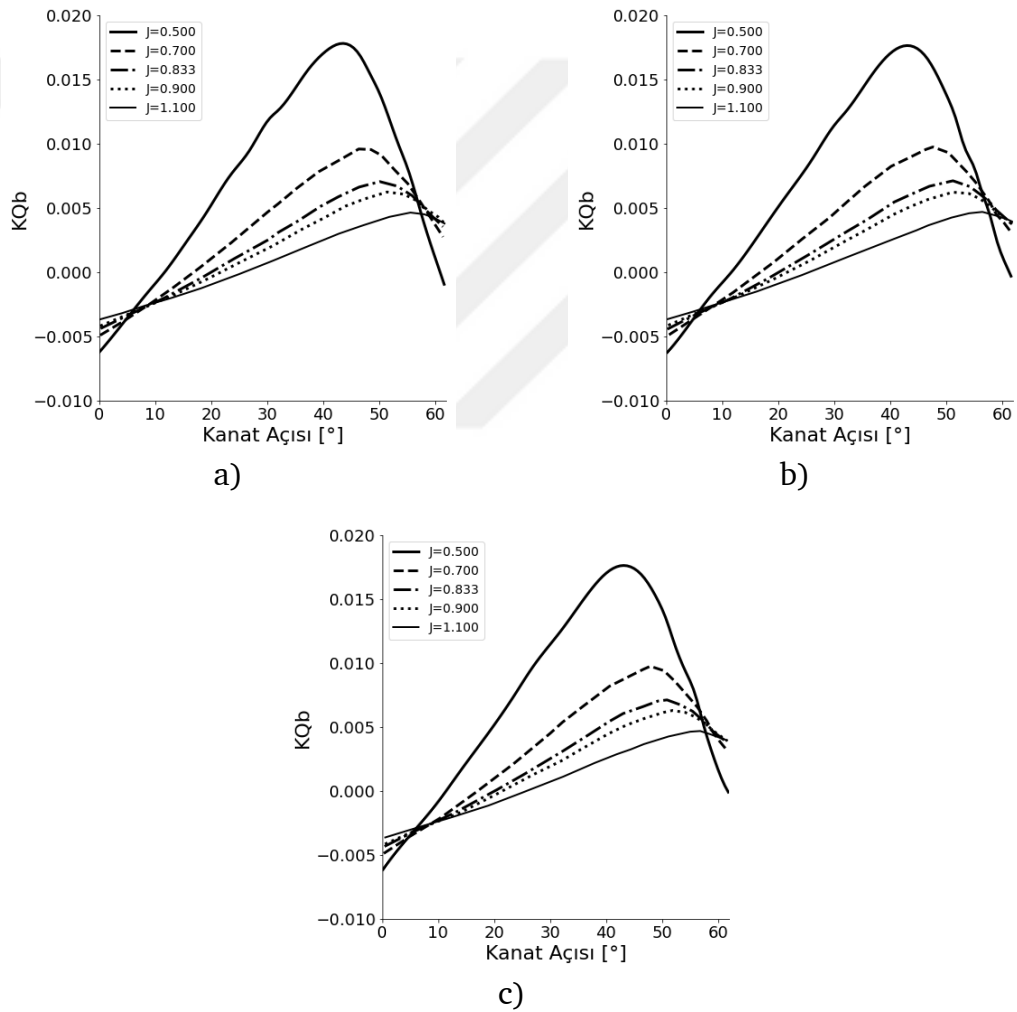
Şekil 3.5 Tam ileri hatve pozisyonundan kılıçlama pozisyonuna dönüşte a) $\square=1$,
b) $\square=0.707$ ve c) $\square=0.500$ ölçek faktörlerinde kanat tork katsayıları

Şekilde boyutsuz olarak verilen kanat tork katsayısının ölçeklenen modellerde eğri davranışının benzer olduğu ancak değerlerin azaldığı görülmektedir. Pervanelerin geometrik olarak küçültme işlemi sonrasında kanat tork katsayılarının ölçekden etkilendiği anlaşılmaktadır. Hatve kontrolü esnasında kullanılan hidrolik sürüş

hattının pervanede kullanılan ölçek faktörü dikkate alınıp aynı şekilde ölçeklenmesinin sağlıklı olmadığı ön görülmektedir. Ölçekleme etkisinin tasarlanacak hidrolik sürüş hattında dikkate alınması gerekmektedir.

3.1.3 Üçüncü Katman Analizler

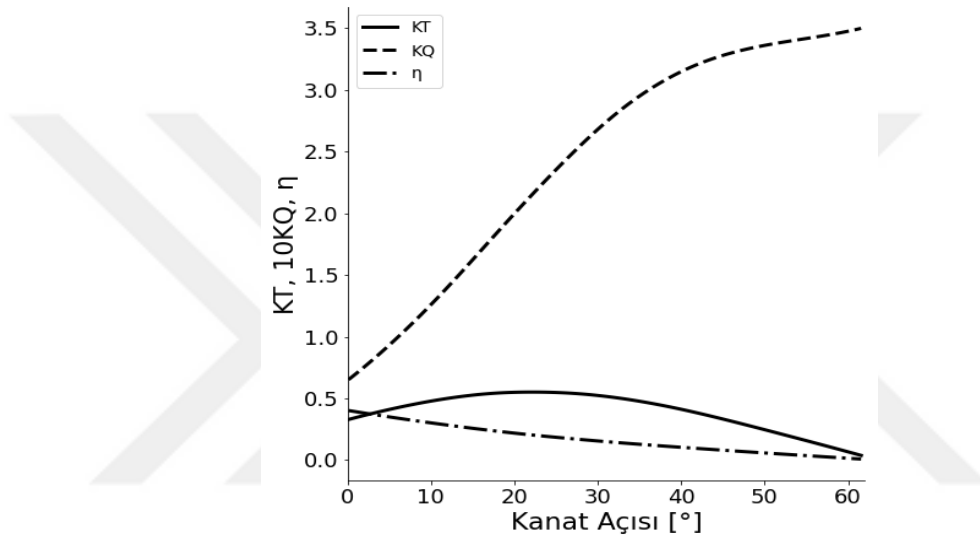
Üçüncü katman analizlerde ise tam ileri hatve pozisyonundan kılıçlama konumuna dönen kanatların dönme hızları, ilk katman analizlere göre 0.707 ve 0.500 zaman ölçeği faktörleri ile yavaşlatılarak kullanılmıştır. Kanat dönme hızında farklı zaman ölçeği kullanılarak yapılan analizlerin sonuçları Şekil 3.6'da gösterilmektedir.



Şekil 3.6 Tam ileri hatve pozisyonundan kılıçlama pozisyonuna dönüşte a) $\Omega=1$, b) $\Omega=0.707$ ve c) $\Omega=0.500$ zaman ölçeği faktörlerinde kanat tork katsayıları

Şekilden kanatların kılıçlama konumuna dönmesindeki kanat hızlarının kanat tork katsayıları üzerinde herhangi bir etki göstermediği, sonuçların neredeyse aynı çıktığı görülebilmektedir. Bu nedenle kanatların hangi hızda kılıçlama konumuna geçtiklerinin kanat torku yönünden herhangi bir öneme sahip olmadığı anlaşılmıştır.

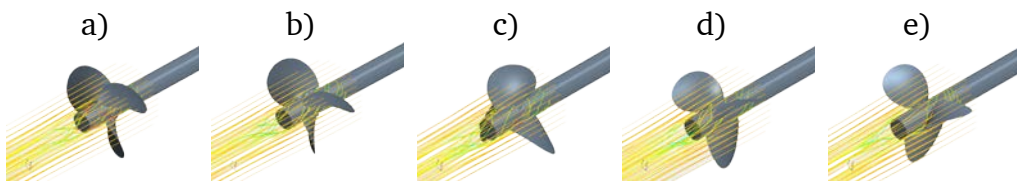
Tam ileri hatve pozisyonundan kılıçlama konumuna doğru manevra sırasında $J=0.500$ ilerleme katsayısı için pervane karakteristik eğrileri Şekil 3.7’de verilmiştir.



Şekil 3.7 Kanat Manevrası Sırasında Pervane Karakteristik Eğrileri

Kanatların dönüşünde itme katsayısı belirli bir miktar artarken tork katsayısındaki artışın çok daha fazla olduğu görülmüştür. Belirli bir açıdan sonra itme katsayısı azalırken tork katsayısındaki artış devam etmektedir. Böylece kanat verimi sürekli olarak azalmakta ve kılıçlama pozisyonunda sıfıra yaklaşmıştır.

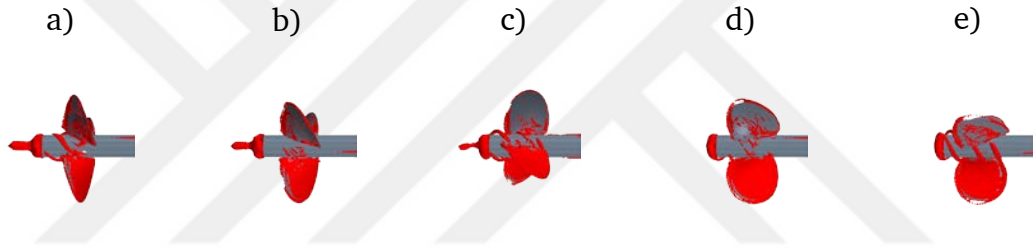
Farklı kanat açılarında pervane arkasında oluşan akışın akım hatları ile görsellenmesi Şekil 3.8’de yapılmıştır.



Şekil 3.8 a) $J=0.500$ için tam ileri hatve pozisyonundan kılıçlama pozisyonuna geçişte a) 0° , b) 14° , c) 31° , d) 48° ve e) 62° yatma açısında pervane arkasındaki akışın akım hatları ile elde edilen görseli

Şekilden de görüleceği gibi pervane arkasındaki iz bölgesinde akış kanatların kılıçlama pozisyonuna yatması ile düzeldiği ve göbek girdabının da küçüldüğü görülebilmektedir.

Pervane arkasındaki ve yakın bölgedeki bir diğer önemli parametre özellikle akış kaynaklı akustik çalışmalarında kullanılan ve pervane tarafından oluşturulan girdaplılığın bir ifadesi olan Q kriteridir. Şekil 3.9'da $J=500$ ilerleme katsayısında kanatların tam ileri hatve pozisyonundan kılıçlama konumuna yatarken farklı kanat açılarında elde edilmiş Q kriter = 1000 1/s^2 değerindeki eş yüzey görünümü verilmiştir.



Şekil 3.9 a) $J=0.500$ için tam ileri hatve pozisyonundan kılıçlama pozisyonuna geçişte a) 0° , b) 14° , c) 31° , d) 48° ve e) 62° yatma açısında pervane arkası ve yakın bölgesindeki Q -kriteri = 1000 1/s^2 değerindeki eş yüzey görünümü

Şekilden de görüleceği gibi kılıçlama konumuna dönerken kanatlar tarafından oluşturulan girdaplı akış bölgesi pervane arkasında daralmakta ve daha çok kanat yüzeyinde sınırlanmaktadır. Her ne kadar bu bölge azalsa da akustik bir iz için buradaki girdaplılık değişikliği tespit için önem taşımaktadır.

4.1 Sonuç

Sabit hatveli DTMB 4119 pervanesi modifiye edilerek konsept bir CPP pervaneye dönüştürülmüştür. Literatürde sıkça kullanılan FPP pervane verileri ile simülasyon sonuçları doğrulanmış, ardından doğrulanan FPP verileri ile üretilen CPP verileri kıyaslanmıştır.

Üretilen CPP modelinin FPP modeline göre ciddi bir itme katsayısı değişimi göstermezken tork katsayısı değerlerindeki artış nedeniyle pervane veriminde düşüş görülmüştür.

Çalışmada pervane kanat manevraları sırasında kanat üzerine gelen kuvvetlerin davranışı incelenerek hidrolik sürüş ünitelerinin tasarımında ihtiyaç duyulacak bilgilerin üretilmesi hedeflenmiştir. Bu kapsamda en bilinen ve hidrolik ünite için en zorlayıcı manevra olan tam ileri hatve pozisyonundan kılıçlama konumuna dönme manevrası tercih edilmiştir.

Bu manevra sırasında kanatların kendi dönme eksenlerine göre elde edilen tork değerleri önceki bölümlerde ayrıntısı verildiği şekli ile boyutsuzlaştırılmıştır. Kanat tork katsayısı ismi verilen boyutsuz sayının değişimi kanat açısına göre verilmiştir. Tork değerlerinde önce bir artış ile pik bir nokta elde edilmiş ardından bu değerlerin kılıçlama konumuna doğru azaldığı görülmüştür.

Pik değerlerin pervane ilerleme katsayısına bağlı olduğu, ilerleme katsayısının artışı ile bu değerlerin azaldığı görülmüştür.

CPP pervaneye farklı ölçek faktörleri ile küçültme işlemi yapılmış, farklı ebatlardaki versiyonların da kanat tork katsayısının değişimi incelenmiştir. Boyutlardaki değişiklikler ile tork katsayısının değiştiği bu kapsamda geometrik

ölçek faktörünün hidrolik ünitenin tasarımı için aynı şekilde kullanılamayacağı bulunmuştur.

Son olarak kanatların kılıçlama pozisyonuna dönüş hızları değiştirilmiş, kanat hızlarının kanat tork katsayısında herhangi bir değişikliğe neden olmadığı görülmüştür. Bu durumda kanatların farklı hızlarda kılıçlama pozisyonuna geçerken benzer hidrolik basınçlar ile sürüleceği yalnızca hidrolik debinin değişeceği düşünülmüştür. Bu bilgiler ışığında hidrolik sürüş ünitesinin tasarlanması gerektiği önerilmektedir.

Bu çalışmadan sonra yapılacak ileriki çalışmalarda, CPP pervanelerin manevraları sırasında oluşacak akustik değişiklikler ve kavitasyon davranışlarının araştırılmasının önemli olduğu söylenebilir. Yalnız verim ve itme odaklı CPP manevralarında kavitasyon ve akustik amaçlarının da eklenebileceği düşünülebilir.

- [1] Altosole M¹, Martelli M.¹ & Vignolo S.², "A mathematical model of the propeller pitch change mechanism for the marine propulsion control design " ¹Department of Naval Architecture & Electrical Engineering, ²Department of Production Engineering, Thermal Energetic & Mathematical Models, Genoa, İtalya, Eylül 2011.
- [2] Dullens F.P.M., "Modeling and control of a controllable pitch propeller" Technische Universiteit Eindhoven Department Mechanical Engineering Dynamics & Control Group Eindhoven, 2009.
- [3] Ghassemi S. T. H., & Fadavie M., "Numerical prediction of hydromechanical behavior of controllable pitch propeller" Department of Ocean Engineering, Amirkabir University of Technology, Tahran, İran, Temmuz 2014.
- [4] Godjevac M., "Wear and friction in a controllable pitch propeller" Universiteit Belgrad, Sırbistan, 2009.
- [5] Martelli M, "Marine propulsion simulation" Chapter-6 Propeller & Pitch Change Mechanism, Sayfalar: 46-61. ISBN 978-3-11-040149-3, 2014.
- [6] Nguyen C.¹, Luong N2 & Ngo V.², "A study on effects of blade pitch on the hydrodynamic performances of a propeller by using CFD" Vietnam Marine University¹ Haiphong 180000 Vietnam, Hanoi University², 2018.
- [7] Sezen Savas¹, Delen Cihad², Dogrul Ali¹, Bal Sakir² " Hydro-Acoustic Performance Prediction of DTMB 4119 Propeller" Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye¹, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye² (INT-NAM 2018).
- [8] Zarbock O., "Controllable pitch propellers for future warships & mega yachts" Andritz Hydro, Ravensburg, Germany, 2009.

TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

Konferans Bildirileri

1. 2. International Congress of Engineering & Natural Sciences Studies "The Numerical Hydrodynamic Investigation of Different Maneuver of a Controllable Pitch Propeller" 07-09 Mayıs 2022 Ankara -Türkiye

Kitaplar

1. Current Debates on Natural and Engineering Sciences 3, "The Numerical Hydrodynamic Investigation of Different Maneuver of a Controllable Pitch Propeller", Editör, Bilgin Kültür Sanat Yayınları, Ankara-Türkiye, Sayfalar: 102 - 112, 2022, ISBN: 978-625-7799-53-9