

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ÇALIKLIĞIN PERVANE HİDRODİNAMİK KARAKTERİSTİKLERİNE ETKİSİNİN
SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ**

MURAT YAĞLI

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
GEMİ İNŞAATI VE GEMİ MAKİNELERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
GEMİ İNŞAATI VE GEMİ MAKİNELERİ MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI**

**DANIŞMAN
YRD. DOÇ. DR. SERKAN EKİNCİ**

İSTANBUL, 2011

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ÇALIKLIĞIN PERVANE HİDRODİNAMİK KARAKTERİSTİKLERİNE ETKİSİNİN
SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ**

Murat YAĞLI tarafından hazırlanan tez çalışması 19.12.2011 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Yrd. Doç. Dr. Serkan EKİNCİ
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Yrd. Doç. Dr. Serkan EKİNCİ
Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Fahri ÇELİK
Yıldız Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Tamer KEPÇELER
Yıldız Teknik Üniversitesi

ÖNSÖZ

Çalışmanın yürütülmesi sürecinde yorum ve düşüncelerinden sürekli yararlandığım danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Serkan EKİNCİ'ye, çalışmanın hazırlanmasına yardımcı olan ve devamlı destek veren değerli arkadaşım Y.Müh. Serdar SEBER'e ve bana büyük bir sabırla manevi desteklerini esirgemeyen sevgili aileme teşekkürü bir borç bilirim.

Aralık, 2011

Murat YAĞLI

İÇİNDEKİLER

Sayfa

SİMGE LİSTESİ.....	v
KISALTMA LİSTESİ.....	viii
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ	xi
ÖZET	xii
ABSTRACT.....	xiii
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	1
1.3 Hipotez	2
BÖLÜM 2	3
ÇALIKLIK İLE İLGİLİ ÇALIŞMALAR.....	3
BÖLÜM 3	12
PERVANE GEOMETRİSİ VE TEMEL KARAKTERİSTİKLERİ.....	12
3.1 Pervane Hidrodinamiğinde Kullanılan Koordinat sistemleri	12
3.2 Pervane Referans Hatları.....	13
3.3 Pervane Kısımları.....	15
3.3.1 Pervane Göbeği.....	15
3.3.2 Kama Yuvası	15
3.3.3 Pervane Kanatları	15
3.3.4 Kanat Yüzü ve Kanat Sırtı.....	16
3.3.5 Kanat Kökü ve Kanat Ucu	16

3.3.6	Pervane Kanat Giriş Ucu (Önder Kenar) ve Kanat Çıkış Ucu (Takip Kenar)	16
3.3.7	Pervanenin Dönüş Yönü (Sağa Pervane, Sola Pervane)	17
3.4	Pervane Ana Karakteristikleri	18
3.4.1	Pervane Çapı	18
3.4.2	Pervane Devir Sayısı	18
3.4.3	Hatve (Pitch)	19
3.5	Eğiklik (Rake)	21
3.6	Çalıklik (Skew)	23
3.7	Çalıklıklı Kanatlar	24
3.8	Yüksek Çalıklıklı Kanatlar	26
BÖLÜM 4		29
DÜZENSİZ AKIM ALANINDA ÇALIŞAN PERVANELER İÇİN KALDIRICI YÜZEY METODU		29
4.1	Pervane Kaldırıcı Yüzey Modeli	29
4.1.1	Kinematik Sınır Şartı	31
4.2	Pervane Kanadı Kaldırıcı Yüzey Modeli	32
4.2.1	İndüklenmiş Hızların Hesaplanması	36
4.2.2	Kaynak/Girdap Dağılımlarının Belirlenmesi.....	38
4.2.2.1	Anahtar Kanat Başlangıç Konumunda iken Kaynak/Girdap Dağılımlarının Belirlenmesi (İlk Yaklaşım)	38
4.2.2.2	Anahtar Kanadın Herhangi Bir Konumunda Pervane Girdap Dağılımlarının Belirlenmesi.....	39
4.2.3	Değişken Bölgede Serbest Girdapların Yenilenmesi	40
4.2.4	Basınç Dağılımlarının Hesaplanması	41
4.2.5	Pervane Kanadında Tabaka Kaviteasyonunun Tesbiti ve Analizi.....	42
4.2.6	Pervane Üzerindeki Kuvvet ve Moment Bileşenlerinin Hesaplanması	48
BÖLÜM 5		50
SAYISAL BULGULAR VE YORUMLAR		50
BÖLÜM 6		68
SONUÇ VE ÖNERİLER		68
KAYNAKLAR		70
EK-A		73
SEIUN-MARU CP PERVANESİNE AİT PERFORMANS KARAKTERİSTİKLERİ ANALİZ SONUÇLARI		73
EK-B		82
SEIUN-MARU CP PERVANESİNE AİT KAVİTASYON ANALİZ SONUÇLARI		82

EK-C	88
P1 PERVANESİNE AİT PERFORMANS KARAKTERİSTİKLERİ ANALİZ SONUÇLARI	88
EK-D	90
P1 PERVANESİNE AİT KAVİTASYON ANALİZ SONUÇLARI	90
ÖZGEÇMİŞ	91

SİMGELİSTESİ

A_c	Pervane kanadında oluşan tabaka kavitasyonunun süpürme (swept) alanı
A_d	Pervane disk alanı
$\overline{B}_p$	Bağlı girdap elemanı
C	Kontrol noktası
C_D	Kesit direnç katsayısı
C_{LI}	İdeal kesit kaldırma katsayısı (viskozitesiz)
C_{LV}	Viskoz kesit kaldırma katsayısı
C_p	Basınç katsayısı
D	Pervane çapı
F	Kuvvet
F_n	Devire bağlı Froude sayısı
f	Frekans
g	Yerçekimi ivmesi
h	Kontrol noktasının derinliği
J	İlerleme katsayısı
J_s	Gemi hızına bağlı ilerleme katsayısı
K_t	Boyutsuz itme katsayısı
$\vec{L}$	Girdap elemanının uzunluk vektörü
K_q	Boyutsuz tork katsayısı
L_s	Gürültü düzeyi
M	Moment
n	Pervane devir sayısı
$\vec{n}$	Yüzeye dik birim vektör
p_a	Atmosferik basınç
p_c	Kritik buhar basıncı
P	Hatve miktarı
P_D	Pervaneye iletilen güç
P_v	Suyun buharlaşma basıncı
Q_{cv}	Kavitasyonun dinamik davranışını temsil eden tek bir kaynağın yoğunluğu

Q_{pc}	Kanat kalınlığını temsil eden kaynak
q_p	Pervane kanat kalınlığını temsil eden kaynak dağılımları
q_{pc}	Pervane kanadı üzerindeki tabaka kavitasyonu kalınlığını temsil eden kaynak dağılımları
R	Pervane yarıçapı
$ \vec{R} $	Girdap veya kaynak elemanı ile kontrol noktası arasındaki uzaklık vektörünün büyüklüğü
R_l	Kavitasyon tabakasına ait yüzeyin yerel eğrilik yarıçapı
R_n	Tabaka kavitasyonunu başlatacak kavitasyon çekirdeğinin yarıçapı
r	Yarıçap boyunca pervane kesitlerini gösteren koordinat
r_i	Kaynaktan kontrol noktasına olan uzaklık
r_p	Alan elemanı dS ile hesap yapılacak nokta arasındaki uzaklık
r / R	Boyutsuz yarıçap
S	Suyun yüzey gerilimi
S_{BF}	Katı sınır faktörü
S_p	Pervane kanatlarının alanı
S_{ps}	Pervane serbest girdap sisteminin sürekli bölgesinin alanı
S_{pv}	Pervane serbest girdap sisteminin değişken bölgesinin alanı
T_c	Düzeltilmiş kavitasyon kalınlığı
T_j	j. kanat pozisyonundaki kavitasyon kalınlığı
$\vec{T}_p$	Takip eden girdap elemanı
t	Zaman parametresi
$\vec{t}$	Yüzeye teğet birim vektör
V_A	Pervane ilerleme hızı
V_{DF}	Kavitasyon yüzeyinin deformasyon hızı
V_{IN}	Kaynak elemanına gelen ortalama akım hızı (pervane dönmesi dahil)
V_{kaynak}	Kaynak elemanına gelen akım hızı
$\vec{V}_Q$	Kaynak elemanı tarafından indüklenen hız
$\vec{V}_\Gamma$	Girdap elemanı tarafından indüklenen hız
V_S	Gemi ilerleme hızı (dizayn hızı)
$\vec{W}_p$	Radyal girdap elemanı
w	İz katsayısı
x / c	Boyutsuz kort oranı
Z	Kanat sayısı
α	Hücum açısı
α_o	Sıfır kaldırma kuvveti açısı (viskozitesiz kaldırma kuvveti açısı)
α_{ov}	Viskoz kesit kaldırma açısı
$\vec{\gamma}_p$	Pervane kanatları üzerindeki girdap dağılımları
$\vec{\gamma}_{ps}$	Pervane serbest girdap sisteminin sürekli bölgesine ait girdap dağılımları

$\vec{\gamma}_{pv}$	Pervane serbest girdap sisteminin değişken bölgesine ait girdap dağılımı
Γ	Sirkülasyon şiddeti
μ	Suyun dinamik viskozitesi
ρ	Suyun yoğunluğu
η	Pervane verimi
σ	Kavitasyon sayısı
σ_i	Kavitasyon başlangıç sayısı
σ_n	Devire bağlı kavitasyon sayısı
θ	Kanat pozisyon açısı
ΔC_p	Emme ve basınç tarafları arasındaki basınç katsayısı farkı
ΔP	Gemi gövdesi üzerinde indüklenen basıncın dalgalanan kısmı
ΔR	Kanadın üzerindeki kavitasyon tabakasının kort yönündeki şeridinin genişliği
ΔX	Q kaynağı yerine geçen V_p kanat hacim elemanın boyu
$\vec{\omega}$	Pervane açısal hızı
φ	Anahtar kanat üzerindeki yük dağılımını temsil eden hız potansiyeli
φ_c	Kavitasyonun süreksiz davranışını temsil eden hız potansiyeli
φ_p	Pervane ile ilgili değişik süreksiz etkileri ifade eden hız potansiyeli
φ_{pa}	Pervane pozisyon açısı

KISALTMA LİSTESİ

ABD	Amerika Birleşik Devletleri
BEM	Boundary Element Method
CFD	Computational Fluid Dynamics
CP	Conventional Propeller
CPP	Controllable Pitch Propeller
DWT	Dead Weight Tonnage
FEM	Finite Element Method
HSP	Highly Skewed Propeller
ITTC	International Towing Tank Conference
LDV	Laser Doppler Velocimetry
NSRDC	US Navy Ship Research and Development Center
PIV	Particle Image Velocimetry
RANS	Reynolds Averaged Navier-Stokes
RPM	Revolutions Per Minute
SST	Shear Stress Transport
TEU	Twenty Foot Equivalent Unit

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2. 1 İlk geliştirilen yüksek çalıklıklı pervanelere bir örnek [2]	3
Şekil 2. 2 İran donanmasına ait yüksek çalıklıklı bir denizaltı pervanesi [5]	4
Şekil 2. 3 Yüksek çalıklıklı ve hatve kontrollü pervane örneği [20]	8
Şekil 3. 1 Referans hatları : (a) global referans hatları ve (b) yerel referans hatları [30]	13
Şekil 3. 2 Kanat referans hatları [30]	14
Şekil 3. 3 Kanat referans hatları [30]	15
Şekil 3. 4 Pervanenin genel görünümü	16
Şekil 3. 5 Pervane kanat kesitinin genel tanımları [33]	17
Şekil 3. 6 Çift pervaneli bir gemiye kıçtan bakış: (a) Sola dönüşlü pervane (b) Sağa dönüşlü pervane [32]	17
Şekil 3. 7 Hatvenin tanımı [30]	20
Şekil 3. 8 Sabit hatveli bir pervane yüzeyindeki değişik (α) kanat açıları [32]	20
Şekil 3. 9 Eğikliğın tanımı [30]	22
Şekil 3. 10 Toplam eğikliğın tanımı [34]	22
Şekil 3. 11 Çalıklığın tanımı [30]	24
Şekil 3. 12 "Solea" isimli balık arama gemisine ait çalıklıklı pervane [35]	25
Şekil 3. 13 ABD donanmasına ait bir destroyerde çalıklıklı pervane uygulaması [36]	27
Şekil 4. 1 Pervane kanadı kaldırıcı yüzey modeli	33
Şekil 4. 2 Kaldırıcı yüzey modeline ait koordinat sistemi [37]	35
Şekil 4. 3 Bir girdap/kaynak elemanının kontrol noktasında indüklediğı hız [37]	37
Şekil 4. 4 Değişken serbest girdap bölgelerinin yenilenmesi [37]	41
Şekil 4. 5 Pervane tabaka kavitasyonu kaynak modeli [37]	45
Şekil 4. 6 Tabaka kavitasyon modeli [37]	47
Şekil 4. 7 Pervane kanadına etkiyen kuvvet ve moment bileşenleri [37]	48
Şekil 5. 1 Seiun-Marı CP pervanesine ait nominal iz dağılımı	51
Şekil 5. 2 Çeşitli çalıklık açılara sahip Seiun-Marı pervaneleri	53
Şekil 5. 3 Farklı eğiklik ve çalıklık durumlarının Seiun-Marı CP pervanesinin performans karakteristiklerine olan etkisi	55
Şekil 5. 4 Farklı çalışma koşullarında Seiun-Marı CP pervanesinin tabaka kavitasyonu alanları	56
Şekil 5. 5 Farklı çalışma koşullarında Seiun-Marı CP pervanesinin tabaka kavitasyonu hacimleri	56

Şekil 5. 6	Farklı çalışma koşullarında Seiun-Maru pervanesinin tabaka kavitasyonu alanları	57
Şekil 5. 7	Seiun-Maru CP pervanesine ait kanat üzerindeki basınç dağılımı ($\phi=0^\circ$)	58
Şekil 5. 8	Seiun-Maru CP pervanesine ait kanat üzerindeki basınç dağılımı ($\phi=23^\circ$) ..	58
Şekil 5. 9	Orijinal çalıklıktaki Seiun-Maru pervanesinin farklı eğiklik açılarında ve $J=0.790$ çalışma koşuluna ait verim değerleri.....	59
Şekil 5. 10	Orijinal eğiklikteki Seiun-Maru pervanesinin farklı çalıklık açılarında ve $J=0.790$ çalışma koşuluna ait verim değerleri.....	59
Şekil 5. 11	P1 pervanesine ait nominal iz dağılımı.....	61
Şekil 5. 12	Çeşitli çalıklık açılara sahip P1 pervaneleri	62
Şekil 5. 13	Farklı çalıklık açılarında P1 pervanesinin performans karakteristikleri.....	63
Şekil 5. 14	Farklı çalışma koşullarında P1 pervanesinin tabaka kavitasyonu alanları....	64
Şekil 5. 15	Farklı çalışma koşullarında P1 pervanesinin tabaka kavitasyonu hacimleri.	64
Şekil 5. 16	Farklı çalışma koşullarında P1 pervanesinin tabaka kavitasyonu alanları....	65
Şekil 5. 17	Çalıklık açısı 0° olan P1 pervanesi kanadı üzerinde basınç dağılımı	66
Şekil 5. 18	Çalıklık açısı 56° olan P1 pervanesi kanadı üzerinde basınç dağılımı.....	66
Şekil 5. 19	P1 pervanesinin farklı çalıklık açılarında ve $J=0.8$ çalışma koşuluna ait verim değerleri.....	67

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 5. 1	Seiun-Marı CP pervanesine ait çalışma koşulları	50
Çizelge 5. 2	Orijinal Seiun-Marı CP pervanesine ait geometri.....	51
Çizelge 5. 3	Orijinal Seiun-Marı CP pervanesinin yeni çalıklık miktarları.....	52
Çizelge 5. 4	Orijinal Seiun-Marı CP pervanesinin yeni eğiklik miktarları	52
Çizelge 5. 5	P1 pervanesinin çalışma koşulları.....	60
Çizelge 5. 6	Orijinal P1 pervanesinin geometrisi	60
Çizelge 5. 7	Orijinal P1 pervanesinin yeni çalıklık miktarları	61

**ÇALIKLIĞIN PERVANE HİDRODİNAMİK KARAKTERİSTİKLERİNE ETKİSİNİN
SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ**

Murat YAĞLI

Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Serkan EKİNCİ

Gemilerin sevkinde yaygın olarak kullanılan uskur pervanelerin hidrodinamik açıdan verimli olması tekne performansına büyük derecede etki etmektedir. Bu nedenle pervane imal edilmeden dizaynı sırasında veya mevcut pervanenin analiz edilmesi durumunda; pervaneye ait geometri, pervane-tekne etkileşimi (iz dağılımı), çalışma ortamı, tekne kış formu vb. özellikler ön plana çıkmaktadır. Bunlar arasında pervane geometrisi ile ilişkili olan çalıklık (eğrilik) parametresi, özellikle yüksek hızlarda titreşim ve gürültü etkisini azaltmak amacı ile gemi pervanelerinde tercih edilmektedir.

Bu çalışmada, çalıklığın pervanelerin itme, tork, verim, kavitasyon gibi hidrodinamik karakteristiklerine olan etkisinin sayısal olarak incelenmesi amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Çalıklık, kavitasyon, pervane

ABSTRACT

NUMERICAL INVESTIGATION OF THE SKEW EFFECT ON PROPELLER HYDRODYNAMIC CHARACTERISTICS

Murat YAĞLI

Department of Naval Architecture and Marine Engineering

MSc. Thesis

Advisor: Assist. Prof. Dr. Serkan EKİNCİ

The hydrodynamical efficiency of the screw propellers that are commonly used for the propulsion of the ships, has a great effect on the ship performance. Therefore, some features of the propeller like geometry, propeller-hull interaction (wake distribution), operating environment, form of the stern, etc. stand out during the design of the propeller before it was manufactured or during the analyzation of the existing propeller. Among these features, the skew parameter related to propeller geometry is preferred in the ship propellers in order to decrease the effects of noise and vibration at high speeds.

The purpose of this study is a numerical analyzation of the impact of skewness to the hydrodynamic characteristics of propellers such as thrust, torque, efficiency and cavitation.

Key words: Skew, cavitation, propeller

YILDIZ TECHNICAL UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE

1.1 Literatür Özeti

Her geçen gün artan petrol fiyatları her sektörde olduğu gibi denizcilik sektöründe de yeni arayışlara yol açmaktadır. Gemi formlarında yapılan iyileştirmelerle, daha az yakıt sarfiyatına sahip yeni motorlarla veya aynı yakıt miktarıyla daha yüksek performans elde etmeye yönelik çalışmalarla bu sorun aşılmaya çalışılmaktadır.

Bilindiği üzere pervane verimi tekne performansına etkiyen başlıca unsurdur. Dizayn aşamasında pervane verimini arttırmaya yönelik çalışmalardan bir tanesi de çalıklık optimizasyonudur. Çalıklık, pervane kanadının arkaya veya yana doğru eğriliğinin olmasıdır. Çalıklıklı pervaneler için, normal pervanelere göre hidrodinamik analiz ile yapısal dizayn ve analizinden daha karmaşık ve detaylı analiz gerekmektedir. Aynı zamanda üretimleri de maliyetlidir. Ancak bu pervaneler, kavitasyon, gürültü ve titreşimi azaltıcı yönde önemli avantajlara sahiptirler. Bu çalışmada, çalıklığın pervanelerin itme, tork, verim, kavitasyon gibi hidrodinamik karakteristiklerine olan etkileri sayısal olarak incelenmiştir.

1.2 Tezin Amacı

Uygulama olarak, temeli Szantyr'ın kaldırıcı yüzey metoduna dayanan ve geliştirilmekte olan bir metot ile tam ölçekte Seiun-Maru CP ve P1 pervanesi sayısal olarak incelenmek üzere seçilmiştir. Bu pervaneler ana pervane kabul edilerek farklı çalıklık açılarında yeni pervane geometrileri elde edilmiştir. Elde edilen bu yeni pervanelerin hidrodinamik

karakteristikler ve kavitasyon yönünden değişimleri sayısal olarak analiz edilmiş ve elde edilen sonuçlar sunulmuştur.

1.3 Hipotez

Bu çalışmada, pervanelerde çalıklık açısının artışının, pervanelerin itme, tork, verim, kavitasyon gibi hidrodinamik karakteristiklerine olan olumlu etkileri belirlenmiştir.

BÖLÜM 2

ÇALIKLIK İLE İLGİLİ ÇALIŞMALAR

Henderson [1] çalışmasında çalıklıklı pervane kanatlarının dizaynı için Lerbs'in ve Prandtl'in kaldırıcı hat metodunu içerecek şekilde bir metot öne sürmüştür. Bu metotta, akışın yüzeye teğet koşulu kabul edilmiştir. Bağlı ve takip eden girdap sistemlerinin indüklemiş olduğu hızlar Biot-Savart kanunu ile hesaplanmıştır.



Şekil 2. 1 İlk geliştirilen yüksek çalıklıklı pervanelere bir örnek [2]

Nelka [3] çalışmasında, hem eğikliğe (rake) hem de çalıklığa sahip olan bir seriye ait pervanelerin (warped propellers) açık su karakteristikleri, kavitasyon performansı, indüklediği basınç dalgalanmaları ve pervane yüklemeleri üzerinde çalıklık ve eğikliğin etkisini deneysel olarak incelemiştir.

Boswell vd. [4] çalışmalarında, bir kargo gemisi için yüksek çalıklı bir pervanenin dizayn ve model aşamalarını ele almışlardır. Bu pervanenin dizayn aşaması; mukavemet, kavitasyon ve titreşim yönünden ayrıntılı bir şekilde açıklanmıştır. Hesaplamalar, kaldırıcı yüzey metoduna dayalı olarak elde edilmiştir. Oluşturulan yüksek çalıklı pervane ile gemide mevcut çalışır durumda bulunan pervane karşılaştırılmıştır. Çalışma sonunda yüksek çalıklı pervanenin kavitasyona karşı daha az eğilimli ve yeterli dayanıma sahip olduğu görülmüştür. Ayrıca, yüksek çalıklı pervanenin, mevcut pervaneye göre, % 90 oranında kanat frekans itme ve torkunu azalttığı, % 60 oranında enine kanat yatak kuvvetlerini azalttığı ve dikey yöndeki kanat kuvvetini % 2 arttırdığı tespit edilmiştir.



Şekil 2. 2 İran donanmasına ait yüksek çalıklı bir denizaltı pervanesi [5]

Valentine ve Chase [6] çalışmalarında, AO-177 sınıfı donanma destek gemisi için çalıklı bir pervane dizaynı ve bu dizayna ait yöntemi detaylı bir şekilde sunmuşlardır. Çalıklı pervane tasarımıdaki amacın pervanenin verimini olumsuz yönde

etkilemeden pervane kaynaklı titreşimi en aza indirmek olduğunu belirtmişlerdir. Elde edilen sonuçlardan, tam güç durumunda 7 kanatlı, 6.4 m. çapındaki çalıklı pervane dizaynının, daimi olmayan (unsteady) itmeyi daimi (steady) itmenin yaklaşık %0.28'i kadar , daimi olmayan torku da daimi torkun yaklaşık %0.35'i kadar düşürdüğü görülmüştür.

Parsons ve Greenblatt [7] pervanelerde çalıklık optimizasyonu için "Skewopt" isimli interaktif bir program geliştirmişlerdir. Pervane tarafından üretilen daimi olmayan kuvvet ve momentleri azaltmanın bir yolunun da çalıklık optimizasyonundan geçtiğini vurgulamışlardır.

Berg [8] çalışmasında, ilk olarak hatve kontrollü pervanelerde (CPP), yüksek çalıklı pervane kullanarak kavitasyonun ve kavitasyona bağlı titreşimin azaltılabileceği, aynı zamanda, şaft yolu ile gemi bünyesine iletilen dinamik kuvvetlerin de azaltılabileceği sabit hatveli bir pervane için elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılarak gösterilmiştir. Yüksek çalıklı pervanede, sabit hatveli pervaneye göre pervane kaynaklı titreşimin %50 daha az olduğu görülmüştür. Çalışmada aynı zamanda çalıklısız dört kanatlı hatve kontrollü bir pervane için değişik kanat frekanslarındaki basınç darbelerinin , tam ölçekteki sonuçların regresyon analizi değerleri, kaldırıcı yüzey metodu ve seyir tecrübelerinden elde edilen değerleri karşılaştırılmıştır. Bu basınç darbeleri için genel bir maksimum değer tavsiye edilmesinin güç olduğu belirtilmiş ve tek pervaneli gemiler için (kanat frekansında tek genlikte) bu değer 600 - 700 kp/m²'yi geçmemesi tavsiye edilmiştir. Dengeli bir kanat dizaynı ile yüksek çalıklı pervanelerin torkunun klasik sabit hatveli pervaneler ile aynı seviyede tutulabileceği belirtilmiştir. Yüksek çalıklı pervanelerin, yolcu gemileri gibi konfor aranan gemilerde uygulanabileceği, ayrıca basınç darbeleri ve dinamik yatak kuvvet karakteristiklerini iyileştirerek yakıt tasarrufu sağlanabileceği, maksimum titreşim seviyesinin verilmediği durumlarda, pervane devrini düşürüp çapını arttırarak sevk veriminin iyileştirilebileceği belirtilmiştir.

Mautner [9] çalışmasında daimi olmayan akım ortamında çalışan gemi pervanelerine ait farklı kanat kesitlerindeki hücum açısındaki dalgalanmalara bağlı olarak, düzensiz kanat yüklenmeleri ve gürültü oluşumuna dikkat çekmiştir. Özellikle pervane devir sayısının artması ile gürültü ve titreşimlerin arttığı belirtilmiş, bu olumsuz etkileri

azaltmak için pervane kanatlarına çalıklık verilmesinin etkili olduğu açıklanmıştır. Buna dayalı olarak, çalışmada çalıklık optimizasyonu uygulaması yapılmıştır.

Zhang ve Wang [10] çalışmalarında, 80000 DWT'lik bir tanker için, kaldırıcı hat metodu ve kaldırıcı yüzey metodunu kullanarak yüksek çalıklıklı bir pervane dizayn etmişlerdir. Teorik olarak elde edilen bu pervanenin öngörülen performans karakteristikleri, hem açık su hem de kendiliğinden tahrikli (self propelled) model test sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçların ölçülen sonuçlar ile iyi uyum gösterdiği görülmüştür.

Zhang vd. [11] çalışmalarında, girdap kafes yöntemi (vortex-lattice method) ile yüksek çalıklıklı pervanelerin karakteristiklerini ve kanat üzerindeki basınç dağılımlarını öngörebilmek için teorik bir hesaplama yöntemi sunmuşlardır. Yöntemin değerlendirilebilmesi için çalışmada DTNSRDC çalıklıklı pervane serisinden AU5-50 pervane modeli kullanılmıştır. Hesaplama sonuçları ile pervane modelinin test sonuçlarını karşılaştırmışlardır.

Hanjin [12] çalışmasında üç adet konteyner gemisinde, on adet pervane modelini sistematik açıdan incelemiştir. Çalışmada yüksek çalıklıklı pervaneler için boyuna eğrilik ile kanat kesit profili arasındaki optimum ilişkinin dairesel dağılımı verilmiştir. Testler sırasında kanat sayısı ile Reynold sayısı arasında bir ilişkinin mevcut olduğu keşfedilmiştir. Bu yol izlenerek dizayn edilen pervanelerde, benzer pervanelere göre %7 oranında verim artışının olabileceği belirtilmiştir.

Ye ve Yang [13] çalışmalarında, lineerleştirme olmaksızın bir hızlanma potansiyeline dayalı yeni bir pervane dizayn metodu geliştirmişlerdir. Bu metoda göre dizayn edilen altı adet değişik çalıklık miktarlarına sahip pervaneleri dört değişik tipte gemide test etmişlerdir. Elde edilen sonuçlar deneysel sonuçlar ile karşılaştırılmış ve tatmin edici sonuçlar elde edilmiştir. Dizayn edilen çalıklıklı pervaneler, konvensiyonel MAU serisi pervaneler ile aynı yüksek hızlara ulaşmanın yanı sıra pervane tarafından ek olarak üretilen daimi olmayan basınç değerlerinin konvensiyonel pervanelerden elde edilen değerlere oranla %30 daha az olduğu görülmüştür.

İlginç ve gemi hidrodinamiği ile bağlantılı olan bir çalışma ise Kubo [14] tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada, yapay kalplerdeki eksenel kan pompalarıyla deniz

pervanelerinin çalışma prensiplerinin aynı olmasından yola çıkarak, pervane kanatlarındaki kaviteasyonun ve pervane üzerine gelen yüklerin azaltılması için kan pompalarında kullanılan süper elastik ve yüksek çalıklıklı kanatların deniz pervanelerine uygulanabilirliği tartışılmıştır.

Yue vd. [15], demirli haldeki 2800 TEU'luk konteyner gemisinin 500 ve 750 rpm ile dönen yüksek çalıklıklı pervanesindeki açılal deformasyonu 48 ölçüm noktasında fotoelektronik metoda dayalı olarak elde etmişlerdir. Yöntemin çalışma prensibi şu şekilde açıklanmıştır. İnce bir lazer ışını küçük bir yansıtıcı reflektör yardımı ile kanat üzerindeki ölçülmek istenen noktaya düşürülmüştür. Yansıyan ışık buzlu bir cama odaklanmış ve cam üzerinde bir benek oluşmuştur. Ölçüm noktasındaki açılal deformasyon beneğin hareket etmesini sağlamış ve hareket, görüntü işleme sistemiyle saptanmıştır. Çalışma sonunda açılal deformasyon ile oluşan beneğin hareketi arasındaki ilişki açıklanmıştır.

Ganea [16] gemi pervanelerinde özellikle tornistan veya ani durma operasyonlarında titreşim ve ayrışma gibi olumsuz etkileri incelemek için, yapısal hesaplamalarda sonlu elemanlar metodunu (FEM), hidrodinamik hesaplamalar için sınır elemanları metodunu (BEM) ve kanat esnekliği (flexibility) hesaplamaları için de matematiksel bir modeli, Boswell yüksek çalıklıklı pervane serilerine uygulamıştır.

Tingshou ve Dexun [17] yüksek çalıklıklı pervanelerin hidrodinamik performansını öngörebilmek için yüzey panel yöntemini (surface panel method) uygulamışlardır. Pervane yüzeyi ve onu takip eden girdap, sabit kaynak ve dipol dağılımı küçük hiperboloidal dörtgensel paneller ile ayrılmıştır. Yüksek çalıklıklı pervaneler için geleneksel metot yardımı ile üretilen ve sabit yarıçap boyunca yerleştirilen gridlerin, yüksek bir çalıklığa, burkulmaya ve kanat üzerinde pervane ucuna yakın bir girdap oluşumuna neden olduğu görülmüştür. Bunun sonucunda kanat yüzeyindeki hızın hesabında kolayca yanlışlık yapılabileceği hatta iterasyonda sapma olabileceği görülmüştür. Bu sorunlardan kaçınmak için özel bir grid tekniği geliştirmişlerdir. Bu grid tekniğinin, yüksek çalıklıklı pervaneler için hesaplama ve yakınsama sorununu etkili olarak çözebildiği görülmüştür. Çıkış ucunda alt ve üst taraftaki basınç eşitliğini ifade eden lineer olmayan Kutta koşulu bu iteratif yöntem ile sağlanmıştır.

Searle vd. [18] çalışmalarında, yüksek çalıklıklı bir pervanenin buz ile etkileşimini incelemek için bir buz tankında bazı testler yapmışlardır. Deneysel çalışmada kullanılan düzenek, farklı buz derinliklerinin ve farklı pervane devir sayılarının, pervanenin itme ve tork değerleri üzerindeki etkisini incelemek için dizayn edilmiştir. Çalışma sonucunda buz içerisinde çalışan yüksek çalıklıklı pervanelerin dizaynında mukavemetin önemi ortaya konulmuştur.

Funeno [19] çalışmasında, ilk olarak uniform akış ortamında çalışan yüksek çalıklıklı bir pervanenin analiz sonuçlarını sunmuştur. Daha sonra bu pervanenin uniform olmayan akım ortamında viskozite etkilerini de içerecek şekilde hareketli sayısal ağ (sliding mesh) yöntemini kullanarak elde edilen sonuçları deneysel sonuçlar ile karşılaştırmıştır.



Şekil 2. 3 Yüksek çalıklıklı ve hatve kontrollü pervane örneği [20]

Moore [21] çalışmasında, yüksek çalıklıklı kanatlara sahip iki adet hatve kontrollü pervane modelini hem açık su ortamında hem de bir buz tankı içinde buzla kaplı bir suda test etmişlerdir. Her iki pervane de aynı çalıklığa ancak farklı hatve dağılımına sahiptir. Her iki ortamda da deney şartları, dört farklı ilerleme katsayısı ve hatve

oranlarında yapılmıştır. Deneylerde buz tabakasının mukavemeti ve buz kalınlığı değişkenlik göstermektedir. Deneylerin asıl amacının bu değişkenlerin pervane yüküne, shaft yüküne etkisini ölçmek ve hatve dağılımlarının bu etkileri nasıl değiştirdiğini tespit etmek olduğu vurgulanmıştır. Ayrıca, açık su deneyinde elde edilen eğilme momenti, itme ve tork değerlerinin buz tankından elde edilen değerlere göre on kat fazla olduğu görülmüştür.

Felli [22] çalışmasında, sirkülasyonlu büyük bir su kanalında, çift pervaneli bir gemi modelinin, yüksek çalıklıklı dört kanatlı pervanesinin önünde ve arkasındaki akım analizi için LDV (Laser Doppler Velocimetry) faz ölçüm tekniğini geliştirmiştir.

Da-Qing [23] geniş bir devir sayısı aralığında yüksek çalıklıklı bir pervanenin açık su karakteristiklerinin öngörüsü için RANS metoduna dayalı bir çalışma yapmıştır. Aynı yükleme koşullarında ele alınan pervanenin RANS sonuçları ile açık su sonuçları boya testi, kavitasyon başlangıcı testi ve PIV ölçümleri karşılaştırılarak uygun sonuçlar elde edilmiştir. Ancak iki çok yüksek yükleme koşulu dışında, teorik olarak öngörülen sonuçlar ve deney sonuçları arasındaki farkın, geniş devir sayıları aralığında K_T için %3'ten az ve K_Q için %5'ten az olduğu görülmüştür. Sonuçlar arasındaki yakınlık kabul edilir olmasına karşın RANS metodu için yapılan kabuller ışığında elde edilen sonuçların dikkatli bir şekilde yorumunun yapılmasının gerekliliği bu çalışmada vurgulanmıştır.

Dymarski [24] çalışmasında, gemi pervanesi etrafındaki viskoz akışın hesaplanması ve kavitasyon olayının modellenmesi için teorik bir modele dayalı olan "Solaga" adlı bir bilgisayar yazılımından yararlanmıştır. Bu çalışmada geleneksel ve çalıklıklı pervaneler için itme ve tork karakteristikleri hesaplanmıştır. Çalıklıklı pervaneler için ayrıca kavitasyon hesabı yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar deneysel sonuçlar ile karşılaştırılmıştır.

Yang vd. [25] çalışmalarında ilerleme katsayıları 0.2 - 0.9 arasında değişen yüksek çalıklıklı pervanelerin açık su performanslarını ve akım profillerini, Reynold ve Navier-Stokes denklemlerinin hareketli ve sabit koordinat sistemlerindeki çözümüne dayalı şekilde sayısal olarak analiz etmişlerdir. Elde edilen sonuçları deneysel sonuçlar ile karşılaştırmışlardır.

Ghassemi [26] çalışmasında akış izinin ve çalıklık açısının pervane performansına etkisi sınır elemanları metoduna (BEM) dayalı bir yaklaşıma bağlı olarak incelenmiştir. Uygulama olarak bir konvensiyonel pervane (CP) ile bir yüksek çalıklıklı pervane (HSP) iki ayrı geminin akış izinde (Seiun-Marı ve MS689) incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar, pervanelerin tek bir kanadı ve bütün kanatları tarafından indüklenen basınç dağılımını, pervane açık su karakteristiklerini ve itme dalgalanmalarını içermektedir. Deneysel veriler ile sonuçların uyumlu olduğu görülmüştür. Ek olarak pervane çalıklık açısının pervane itmesi ve torkuna olan etkisi incelenmiştir.

Yang vd. [27] çalışmalarında, yüksek çalıklıklı bir pervanenin hidrodinamik performans ve iz karakteristiklerini RANS metoduna (CFD) göre sayısal olarak incelemişlerdir. J ilerleme katsayısı 0.33-0.95 aralığındayken, CFD ile açık su deney sonuçları arasındaki farkın %3 olduğu görülmüştür.

Liu ve Doucet [28] çalışmalarında çalıklıklı pervaneler için kavitasyon karakteristiklerini kendi yazdıkları ve adını PROPELLA verdikleri panel metoduna dayalı bir kod kullanarak elde etmişlerdir. Uygulama olarak NSRDC'nin (US Navy Ship Research and Development Center) kullandığı çalıklıklı pervaneler seçilmiştir. Açık su ortamında ve tam ölçekteki koşullar için kanat torku, eğilme momentleri ve bunların dalgalanmaları uygun iz dağılımında öngörülmüştür. Dizayn hızında, itme ve tork dağılımlarını hesap ederken kavitasyon performansı, hem açık su ortamındaki hem de tam ölçekteki durumlar için değerlendirilmiştir.

Bin vd. [29] çalışmalarında yüksek çalıklıklı bir model gemi pervanesi etrafındaki kavitasyonlu akışı, hem üniform akım hem de üniform olmayan akım ortamında analiz eden sayısal bir metot sunmuşlardır. Burada, Rayleigh-Plesset denklemi ve k-omega kayma gerilmesi transport türbülans modeline (SST) dayanan bir "kütle transfer kavitasyon modeli" kurulmuştur. Deney sonuçları ile sayısal sonuçlar karşılaştırıldığında, pervaneye ait öngörülen itme ve moment katsayılarının kabul edilebilir mertebede olduğu, sayısal sonuçlardan elde edilen karakteristikler ile deneyler sonucu gözlemlenen uç girdap ve tabaka kavitasyonu karakteristiklerinin uyumlu olduğu görülmüştür. Aynı zamanda, pervane devir sayısının yanında kavitasyonun ek olarak meydana getirdiği basınç dalgalanmalarının çevreye olan

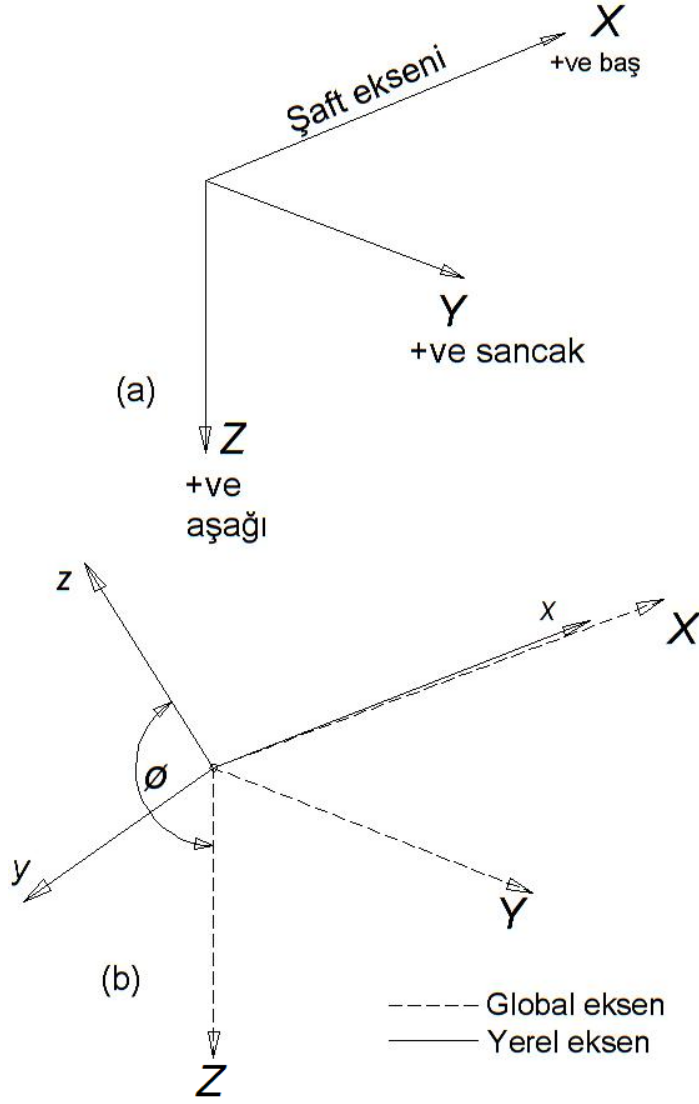
etkisini incelemek için, pervane üzerinde üç farklı noktada hesaplar yapılmış ve deney sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Baskın olan pervane kanat genliklerinin birinci, ikinci ve üçüncü kanat frekanslarında meydana geldiği öngörülmüştür. Gözlemlenen ve hesaplanan basınç dalgalanması arasındaki maksimum farkın %20 mertebesinde olduğu ve bu farkın mühendislik uygulamaları için kabul edilebilir düzeyde olduğu belirtilmiştir.

PERVANE GEOMETRİSİ VE TEMEL KARAKTERİSTİKLERİ

Deneysel veya teorik açıdan pervane hidrodinamiğini tam olarak anlamak için temel pervane geometrisinin ve kavramlarının bilinmesi gerekmektedir. Bu temel pervane bilgileri, pervane dizaynı ve analizi ile uğraşan kişiler için önemli olup, farklı tanımlamalar yapılabilmektedir. Bu bölümde genel pervane geometrisi sunulacaktır.

3.1 Pervane Hidrodinamiğinde Kullanılan Koordinat sistemleri

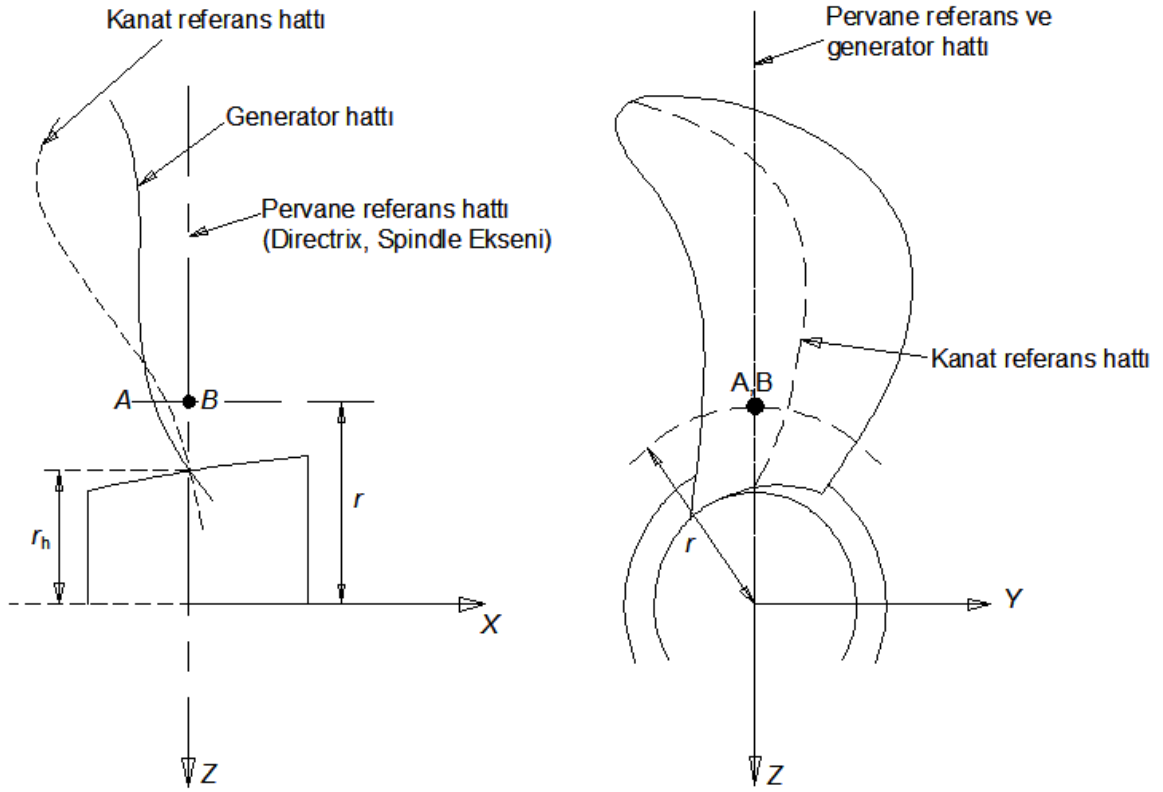
Herhangi bir yapının geometrik özellikleri hakkında bilgi sahibi olabilmek için önkoşul, uygun bir koordinat sisteminin tanımlanmış olmasıdır. Pervane geometrisi ve hidrodinamik analizi için literatürde birçok koordinat sistemi tanımlanmıştır. Bu koordinat sistemlerinin bazılarının belli avantajları olmasının yanında bazıları ise sadece koordinat sisteminin tanımını yapanın tercihinine kalmaktadır. Standart bir tanımlamanın önemli olacağı fikri ile; 1963 yılında 10. Uluslararası Çekme Tankı Konferansı (ITTC)'nda gemi hidrodinamiği terimleri sözlüğünün ve terminolojisinin hazırlanmasına başlanılmış ve 1975 yılında tamamlanmıştır. En son sürümü ise 1978 yılında yayınlanmıştır. ITTC tarafından önerilen ve sağ-el dik kartezyen sistemine uygun olan küresel koordinat sistemi Şekil 3.1(a)'da gösterilmiştir. X eksen pozitif, ileri yönlü ve şaft eksenı üzerindedir. Y eksenı sancak yönünde pozitif, Z eksenı ise dikey olarak aşağı yönde pozitifdir. Ancak pervane geometrisi için, bir yerel koordinat sistemi tanımlamak daha uygun olur. Bu yerel koordinat sisteminde OX ile Ox aynı eksende kalmışlardır fakat karşılıklı dik olan OY ve OZ eksenleri Şekil 3.1(b)'de gösterildiği gibi döndürülmüştür [30].



Şekil 3. 1 Referans hatları : (a) global referans hatları ve (b) yerel referans hatları [30]

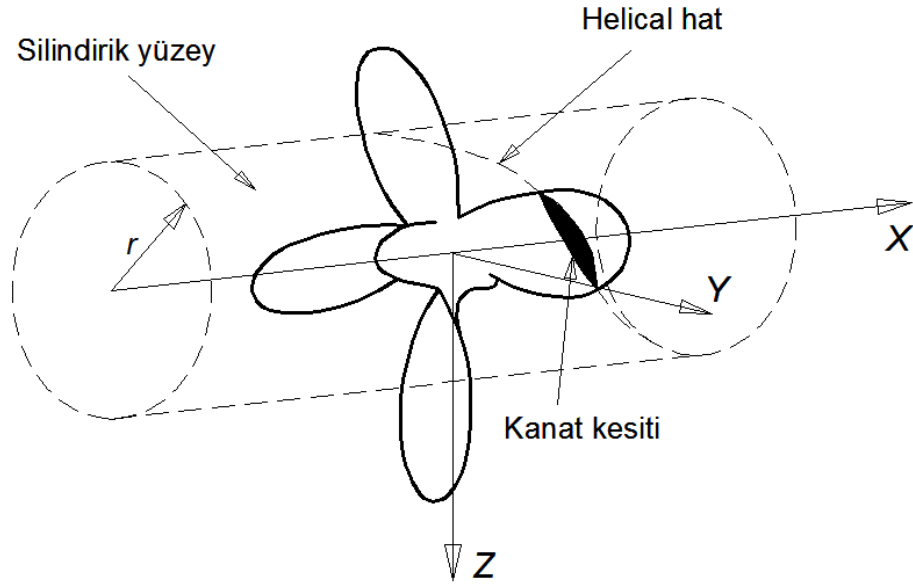
3.2 Pervane Referans Hatları

Pervane kanadı, şaft eksenine dik olan ve “pervane referans hattı” veya “doğrultman (directrix)” olarak adlandırılan hat üzerinde tanımlanır. Hatve kontrollü pervanelerde “mil eksen” terimi genellikle “referans hattı” veya “doğrultman” terimleriyle eş anlamlı olarak kullanılır. Ancak çok nadir olarak bazı özel tasarımlarda, eksen şaft eksenine çakışan ve kıça doğru daralan koninin yüzeyine dik olarak tanımlandığı için referans hattından birkaç derece kaçık olur. Bu nedenle çoğu zaman Şekil 3.2’ de gösterildiği gibi referans hattı, doğrultman ve mil eksen aynı hat ile ilgili terimlerdir [30].



Şekil 3. 2 Kanat referans hatları [30]

Bir gemi pervanesinin kanadını oluşturan hidrofoil kesitleri, shaft eksenine aynı eksen üzerinde yer alan silindirin yüzeylerinde tanımlıdır. Pervane teknolojisinde sık sık karşılaşılan “silindirik kesitler” terimi de bu nedenle ortaya çıkmıştır (Şekil 3.3). Bu şekilde görüleceği üzere, kesit silindir yüzeyine yatmıştır. Böylece kesitin giriş ve çıkış kenarlarını birbirine bağlayan burun-kuyruk hattı silindir üzerinde helisel bir form oluşturmaktadır. Şekil 3.2’ de gösterilen A noktası bu helisin, doğrultman ve x ekseninin oluşturduğu düzlemle kesiştiği yeri gösterir. Bu noktanın generatör hattında r yarıçapında bir kesitte tek bir noktada oluşması önemli kabul edilir. Generatör hattı, Şekil 3.2’ de gösterildiği gibi pervane uç kısmından kök kısmına kadar bu noktaların birleştiği hattır. Bazen “Stacking hattı” terimi göze çarpmaktadır. Bu terim genelde generatör hattının eşanlamlısı olarak kullanılır; ancak bazı pervane tasarımcıları doğrultman yerine de bu terimi kullanmışlardır. Dolayısıyla özel haller dışında doğrultman ile generatör hattının aynı olup olmamasına dikkat edilmelidir [30].



Şekil 3. 3 Kanat referans hatları [30]

3.3 Pervane Kısımları

3.3.1 Pervane Göbeği

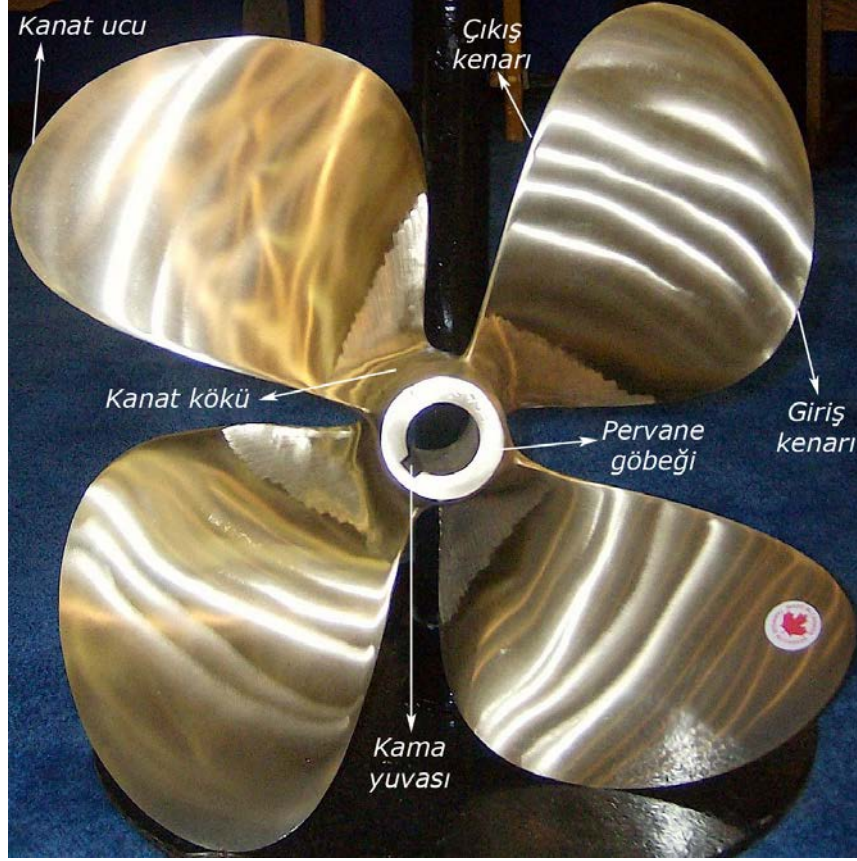
Pervane göbeği veya bosası pervanenin merkezinde bulunan, üzerinde pervane kanatları olan, pervanenin şafta montajını sağlamak için yapılan disk şeklinde bir parçadır. Pervane göbeğinin itmeye katkısı olmadığı için ideal bir pervanede göbeğin olmaması istenir ancak uygulamada bu mümkün değildir [31].

3.3.2 Kama Yuvası

Şafttan pervaneye güç aktarımı sırasında, genelde pervanenin göbek içinde kaymasını önlemek ve tork yükünü taşımak için şaft üzerinde ince dikdörtgen bir kama oluşturulur. Bu kama pervane göbeğinde açılan kama yuvasına yerleştirilerek şaftın göbek içinde kayması engellenir ve şaft torkunun pervaneye iletilmesi sağlanır [31].

3.3.3 Pervane Kanatları

Pervane göbeğine bağlı olan ve hareketiyle geminin suda ilerlemesini sağlayan parçadır [32].



Şekil 3. 4 Pervanenin genel görünümü

3.3.4 Kanat Yüzü ve Kanat Sırtı

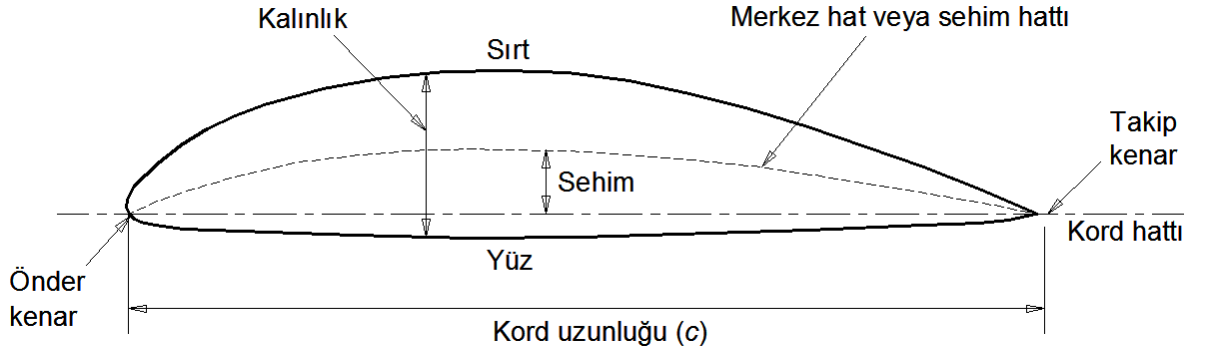
Kanat yüzü, pervane kanadının yüksek basınca maruz kalan yüzüdür. Geminin kıç tarafından gemi baş tarafına bakıldığında pervanenin görülen yüzüdür. Kanat sırtı ise pervane kanadının düşük basınca maruz kalan yüzüdür. Vakum yüzü veya emme yüzü olarak da adlandırılır. Geminin kıç tarafından gemi baş tarafına bakıldığında pervanenin gemi kıçına yakın tarafıdır [31].

3.3.5 Kanat Kökü ve Kanat Ucu

Pervane kanatlarının pervane göbeği ile birleştiği noktaya kanat kökü, kanadın şaft merkezinden en uzak noktasına da kanat ucu adı verilir [31].

3.3.6 Pervane Kanat Giriş Ucu (Önder Kenar) ve Kanat Çıkış Ucu (Takip Kenar)

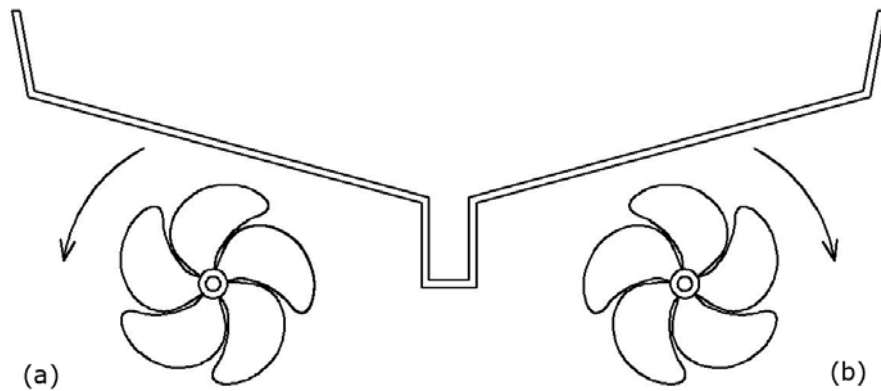
Pervanenin dönüşü sırasında kanat kesitinin suyu yarıdığı uca giriş ucu (önder kenar), suyun kanat yüzeyini terk ettiği uca da çıkış ucu (takip kenar) denir [33].



Şekil 3. 5 Pervane kanat kesitinin genel tanımları [33]

3.3.7 Pervanenin Dönüş Yönü (Sağa Pervane, Sola Pervane)

Pervanelerin önemli özelliklerinden biri de dönüş yönleridir. Gemiye kıçtan bakıldığında, saat yönünde dönerek gemiyi ileri götüren pervaneye sağa dönüşlü pervane (sağa pervane), saat yönünün tersinde dönerek gemiyi ileri götüren pervaneye sola dönüşlü pervane (sola pervane) denir. Bir pervanenin sağa veya sola pervane olduğunu pervaneye bakarak anlamak mümkündür. Pervaneye geminin arkasından bakarken giriş ucu daima çıkış ucuna göre bizden daha uzaktadır. Giriş ucu geminin sağına kalıyorsa saat yönünde dönüyor demektir ve sağa pervane olarak adlandırılır. Tam tersi durumda ise sola pervane olarak adlandırılır. Tek pervaneli gemilerde genelde sağa pervane kullanılır. Çift pervaneli gemilerde ise pervanelerin dışa dönüşlü olmaları manevra ve pervane verimi açısından tavsiye edilir [32].



Şekil 3. 6 Çift pervaneli bir gemiye kıçtan bakış: (a) Sola dönüşlü pervane (b) Sağa dönüşlü pervane [32]

3.4 Pervane Ana Karakteristikleri

Pervane çapı, devir sayısı ve hatvesi, pervane performansını ve verimini etkileyen üç önemli faktördür. Diğer değişkenlerin de dikkate alınması gerekse de uygun bir pervane seçimi için yapılan hesaplamaların büyük çoğunluğu bu üç karakteristik etrafında döner [32].

3.4.1 Pervane Çapı

Bir pervanenin en önemli özelliği çapıdır. Basitçe tanımlamak gerekirse pervane kanatlarının en uzak iki ucu arasındaki mesafeye pervane çapı denir. [32]

Pervane çapı, pervanenin emdiği ve ilettiği gücün belirlenmesindeki en önemli faktörlerden biridir. Bu nedenle pervaneye verilen itmenin belirlenmesinde de önemli bir faktördür [32].

Uygulamaların çoğunda, pervane çapı arttıkça veriminin de arttığı görülmüştür. Bunun tek istisnası yüksek hızlı teknelerde (35 knot ve üzeri) görülmektedir. Bu teknelerde büyük çapla birlikte ıslak yüzeydeki artış fazladan direnç artışı oluşmaktadır. Pervane çapındaki küçük bir artış makine ve şaft üzerindeki itme ve tork yüklerini arttırmaktadır. Bu nedenle pervane çapı arttıkça devir sayısının düşmesi gerekmektedir. Teoride gemi genişliğinin üçte bir mesafesi kadar çapa sahip olan bir pervane çok düşük devirlerde en yüksek verime ulaşır. Pratikte, su çekimi, tekne alt formu, devir sayıları ve dişli kutusundaki kayıplar pervane çapını kısıtlayan unsurlardır [32].

3.4.2 Pervane Devir Sayısı

Pervane devir sayısı, pervanenin belli bir süredeki tam dönme sayısıdır. Genelde devir/dakika olarak kullanılır. Pervane ile şaft aynı hızda dönüyorsa şaft devri olarak da adlandırılır [32].

Şaft devri çoğu zaman makine devrinden farklıdır. Çoğu uygulamalarda makine ile şaft arasında dişli kutusu kullanılır. Dişli kutusu yardımıyla devir düşürülerek daha ekonomik ve yüksek hızlı bir makine ile verimi yüksek büyük çaplı bir pervane

kullanılabilir. Dişli kutuları aynı zamanda şaft yönünü ayarlama olarak makine yerleşiminde ortaya çıkacak problemlerin çözümünde yardımcı olmaktadır [32].

Dişli kutuları %3 gibi bir güç kaybına neden oldukları için ideal şartlarda dişli kutusuz bir uygulama daha verimli olacaktır; ancak düşük devirli makinelerin ağır ve büyük yapılarının da iç yerleşimde yaratacağı sıkıntıları düşününce bu kayıp önemsenebilir [32].

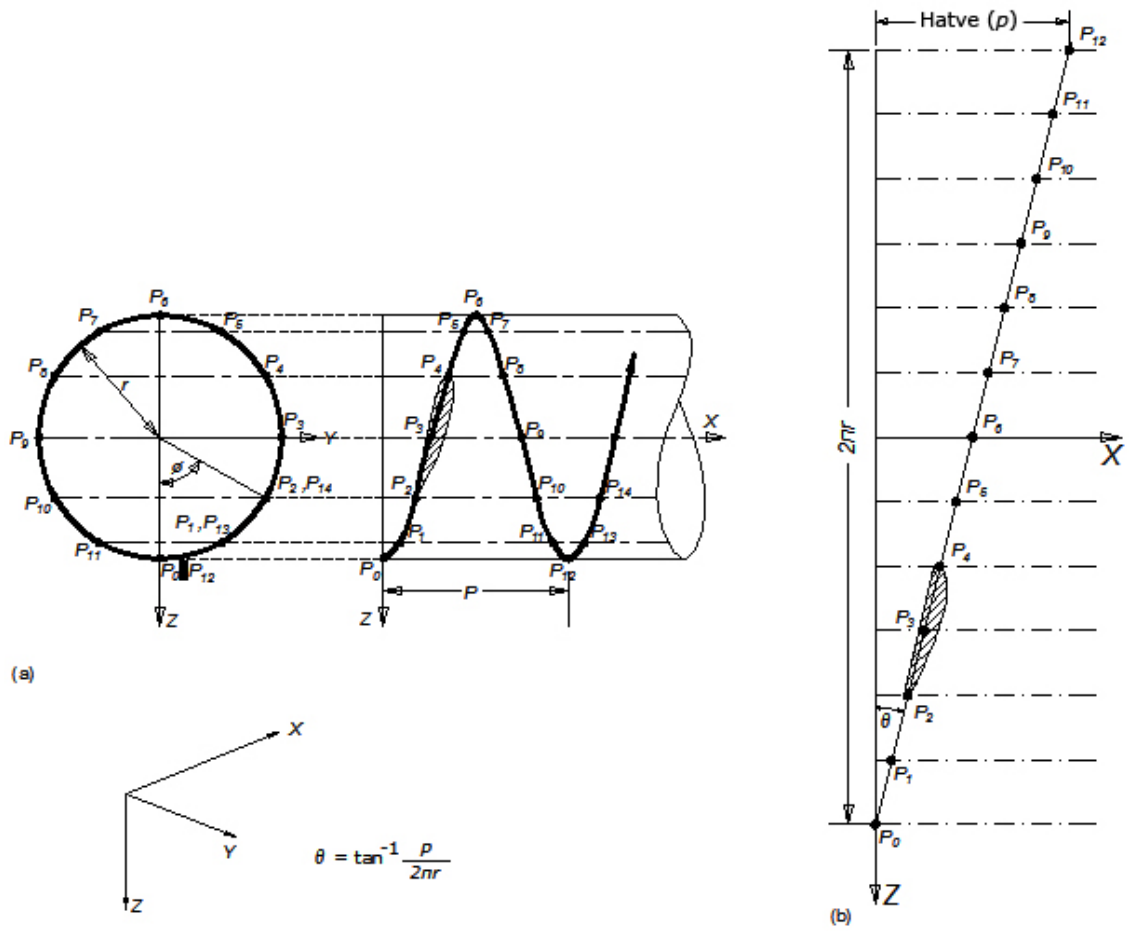
Sonuç olarak yüksek devir sayısı yüksek süratli tekneler haricinde verimli olmamaktadır. 35 knot ve altında seyreden gemilerde devir sayısını düşürmek daha büyük çaplı pervane kullanmaya olanak sağlayarak, aynı ağırlıktaki makine ve aynı yakıt sarfiyatı ile daha verimli bir itme sağlayacaktır [32].

3.4.3 Hatve (Pitch)

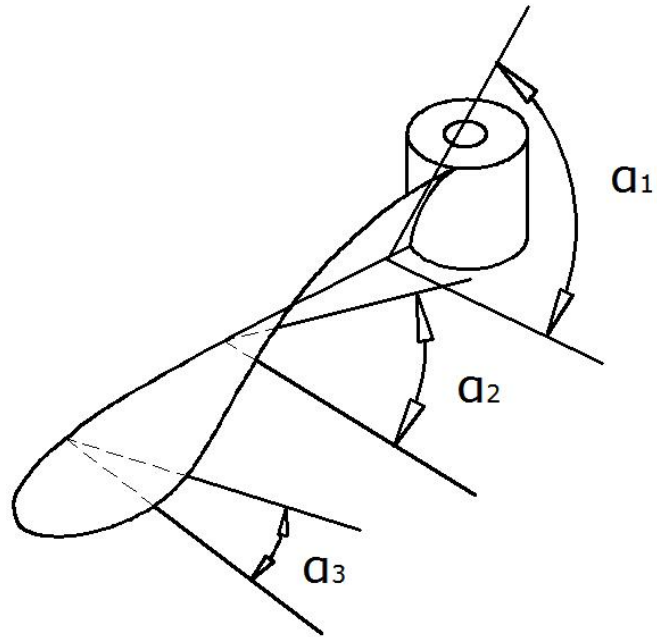
Hatve kelimesi vida benzeşiminden gelme bir terimdir. Bir vidada olduğu gibi, pervanede de her bir dönüşünde sabit bir miktar ilerleyecektir. Pervanenin tam bir dönüşü sırasında ilerlediği mesafeye pervanenin hatvesi (P) denir (Şekil 3.7). Bu şekilde tanımlanan hatve “nominal hatve” olarak bilinir. Pervane şaft üzerine takıldığından şaftı da aynı mesafe kadar ileriye götürür. Şaft da itmeyi tekneye aktararak teknenin sevkini sağlar [31].

Gerçekte pervane katı bir ortamda değil, su içerisinde, bir akışkan ortamında çalıştığından her bir tur dönüşünde yukarıda tanımlanan hatve değerinden daha az ilerleyebilir. Bu ilerleme gerçek hatve olarak adlandırılır. Gerçek hatve ile nominal hatve arasındaki farka kayma (slip) denir [31].

Pervane hatvesi bazı durumlarda kanat açısı ile karıştırılmaktadır. Kanat açısı (α) kanat yüzeyinin şaft eksenine dik olan bir yüzeyle yaptığı açıdır. Şekil 3.8’de görüldüğü gibi kanat açısı (α) hatvenin sabit tutulması için kanat boyunca değişmektedir.



Şekil 3. 7 Hatvenin tanımı [30]



Şekil 3. 8 Sabit hatveli bir pervane yüzeyindeki değişik (α) kanat açıları [32]

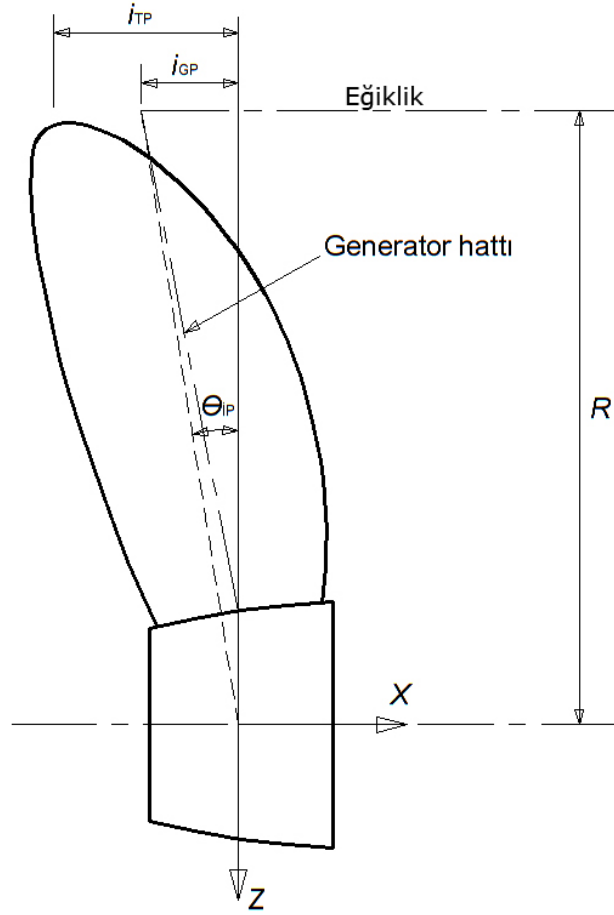
Hatve, pervane şaftındaki torku, suyu kıça doğru ivmelendiren itme kuvvetine dönüştürür. Hatvesiz ve hücum açısız bir pervane suyu karıştırmaktan başka bir işe yaramaz ve herhangi bir itme oluşturmaz. Diğer taraftan yüksek hatveli bir pervane de daha fazla suyu daha kuvvetli şekilde kıça yönlendirmeye çalışarak makine üzerinde büyük bir yük oluşturacak ve verimsiz bir çalışma sağlayarak makineye zarar verecektir. Temel amaç makinenin normal çalışma koşullarında maksimum itme elde etmek için uygun çaplı ve hatveli pervaneyi seçmektir. Hatveyi arttırmak itmeyi arttıracaktır fakat hatveyi fazla arttırmak da makine ve pervane verimini düşürecektir. Hatvenin fazla azaltılması da yeterli itmeye ve hıza ulaşmayı engeller [32].

3.5 Eğiklik (Rake)

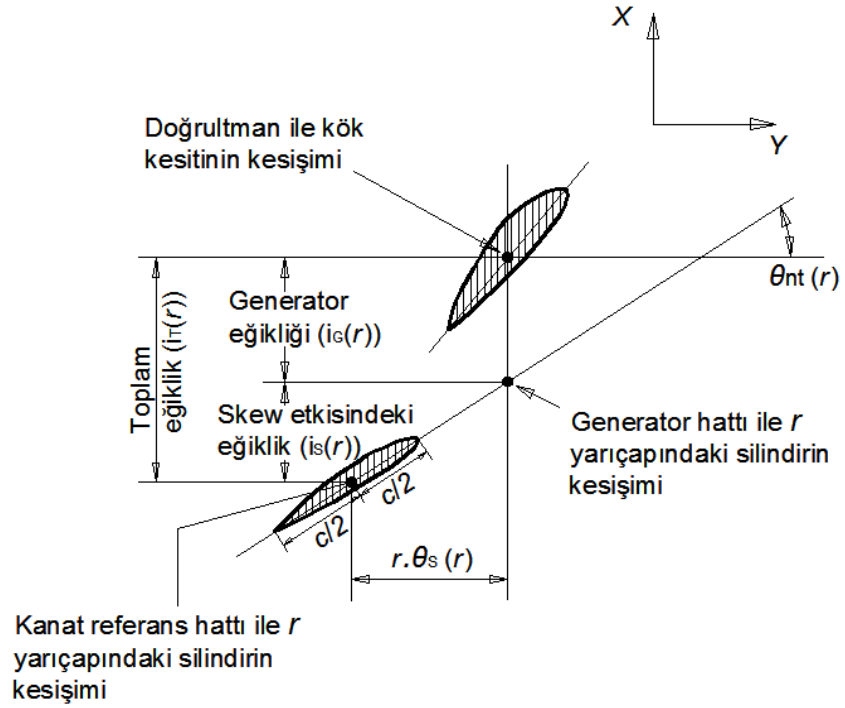
Bir pervane kanadı, pervane referans hattına göre ileriye veya geriye doğru eğimli ise bu kanadın bir eğikliğe (rake) sahip olduğu söylenir. Kıç tarafa (geriye) doğru olan eğiklik (rake) tekne ile pervane ucu arasındaki açıklığı arttırmak için kullanılır. Başa (ileri) doğru olan eğiklik ise bazen yüksek mukavemet gerektiren sabit hatveli pervanelerde kullanılır. Çünkü merkezkaç (santrifüj) etkiden dolayı meydana gelen eğilme momenti, itmeden dolayı oluşan eğilme momentini kısmen dengeler. Geleneksel olarak kıça (geriye doğru) olan eğiklik pozitif olarak alınır [34].

Çalıklik YZ düzleminde bir açı olarak ölçülse de, burun-kuyruk hattı yönünde kanat kesitlerinin helisel olarak hareketiyle meydana gelir. Şekil 3.10 bir kanadın açılmış olan iki kesidini göstermektedir. Bu iki kesitten biri pervane kanat köküne ait kesit diğeri ise daha büyük yarıçaptaki (r) kesittir [34].

Şekil 3.10'da çalıklığın başlangıcının X yönünde kort orta noktasına doğru hareket ettiği görülebilmektedir. Bu çalıklik ek olarak bir eğiklik üreten çalıklıktır. Herhangi bir r yarıçapındaki toplam eğiklik, generatör hattındaki eğiklik ile indüklenmiş çalıklik üreten eğikliğin aritmetik toplamıdır. Ek olarak eğiklik üreten çalıklik $I_s = r \theta_s \cdot \tan \theta \cdot nt$ ' dir [34].



Şekil 3. 9 Eğikliğin tanımı [30]



Şekil 3. 10 Toplam eğikliğin tanımı [34]

3.6 alıklık (Skew)

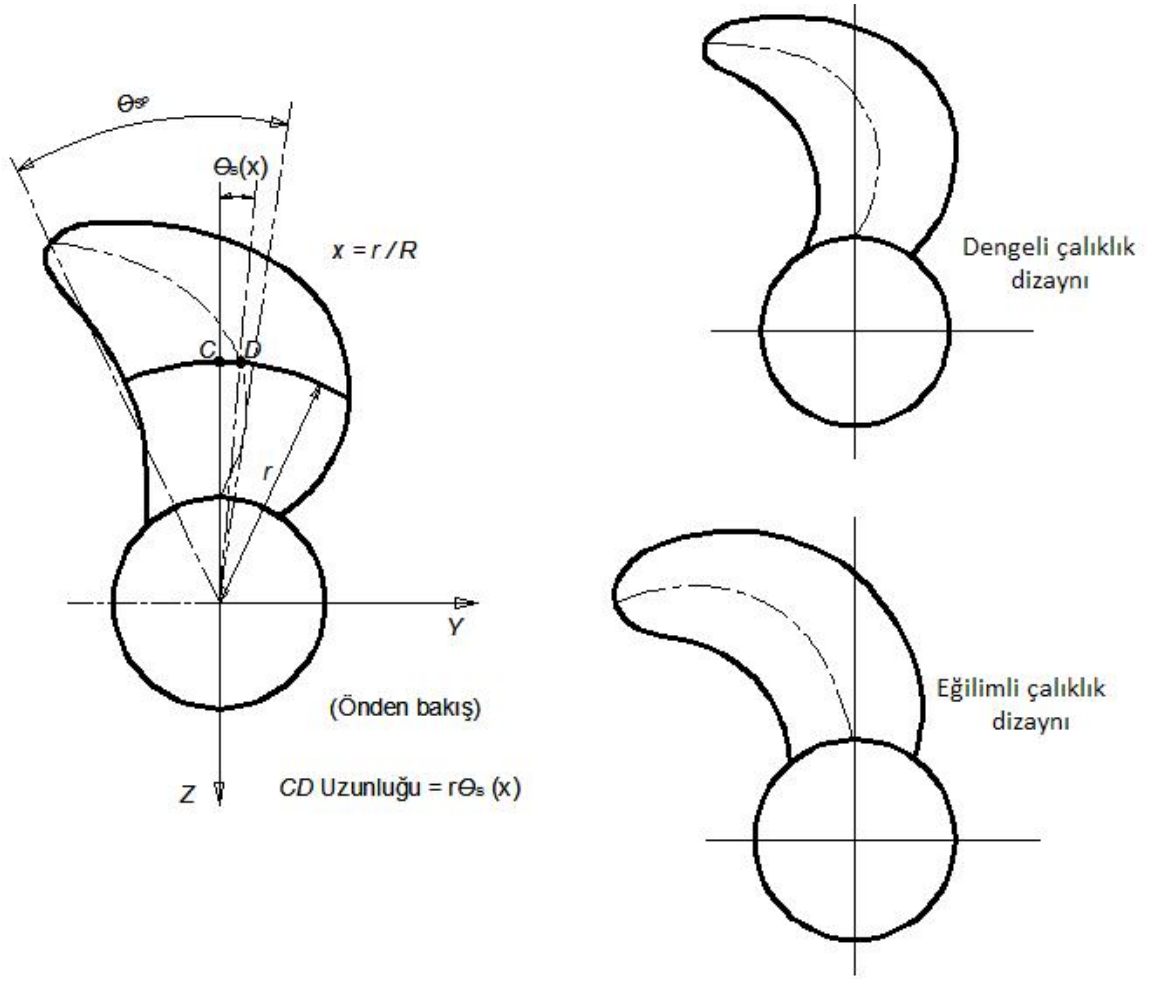
Bir kanadın farklı radyal kesitlerinin giriş orta noktaları pervane referans hattı üzerinde değil ise (x eksenini yönünde bakıldığında) bu kanadın çalıklık olduğu söylenir (Bakınız Şekil 3.11) [34].

Herhangi bir kesitteki yerel çalıklık açısı (θ_s), şaft merkez hattından (yani x eksenini boyunca) bakıldığında bu kesitin kort ortası ve şaft merkez hattının içerisinde geçen hat ile pervane referans hattı arasındaki açıdır. Pervane alıklık açısı ise, maksimum ve minimum kesit çalıklık açısı (θ_s) arasındaki farktır. Şekil 3.11’de pervane referans hattının çıkış tarafındaki (θ_s) değerleri pozitif, giriş açısındaki değerleri ise negatif alınmıştır [34].

alıklık hatve kontrollü pervanelerin dizaynında normal olarak “dengeli çalıklık” (balanced skew) kullanılır. Bu pervanelerde kanat kesitlerinin kort ortaları pervane referans hattının giriş tarafına doğru alınır ve bu durumda çıkış tarafına doğru kesit yarıçapı artar. Şekil 3.11 “dengeli çalıklık” dizaynını gösterir. Birçok sabit hatveli pervane ise “yanlı (eğilimli) alıklık” (biased skew) dizaynına sahiptir. Bu pervaneler de kanat kesitlerinin, giriş orta noktalarının tamamı pervane referans hattının çıkış tarafına doğru uzanır [34].

- Genellikle 25° den daha büyük çalıklık açısına sahip pervane kanatları yüksek çalıklıklı kanat olarak kabul edilmektedirler.
- İki kanat arasındaki açının (4 kanatlı pervane için 45° üzerinde) yarısını aşan kanat çalıklık açıları sıklıkla kullanılmasına rağmen, yüksek çalıklıklı kanatların kullanılmasının yararları tartışılacaktır.

alıklığın kabul edilen tanımı, radyal kesitlerin giriş orta noktalarına dayanmaktadır. Gemi pervanelerinde giriş ucunun kıvrımı daha büyük öneme sahiptir [34].



Şekil 3. 11 Çalıklılığın tanımı [30]

3.7 Çalıklıklı Kanatlar

Çalıklılığa sahip olmayan kanatlar veya az çalıklılığa sahip olan kanatlarda, radyal yönde maksimum gerilmeler oluşur. En yüksek gerilmeler kanadın giriş ve çıkış uçlarından uzakta kök yakınında meydana gelmektedir. Yüksek çalıklıklı kanatlar, çıkış uçları civarındaki dış kesitlerdeki yüksek gerilme bölgelerine karşın, çok karmaşık gerilme dağılımlarına sahiptirler. Kanat gerilmelerinin şekli (görünümü) dizayna ve çalıklılığın dengeli (balanced skew) veya eğilimli (biased skew) (yanlı) olup olmadığına bağlıdır. Hatve kontrollü pervanelerde kullanıldığı gibi dengeli çalıklılığa sahip pervane dizaynlarında yüksek gerilme, çıkış ucu profilinin en küçük eğrilik yarıçapına sahip bölgede çıkış ucu civarında meydana gelir. Burada gerilmeler çıkış ucu eğriliğine duyarlıdır ve çıkış ucunun iç bükeyliliğinin azaltılması ile düşürülebilir. Bu ise orta kanat

kesitlerinin kiriş uzunlukları, profilinin giriş ucu, radyal hatvesi veya yük dağılımları büyük ölçüde değiştirilmeden arttırılarak yapılabilir [34].



Şekil 3. 12 “Solea” isimli balık arama gemisine ait çalıklıklı pervane [35]

Ancak bu durum bir olumsuzluk taşır. Çünkü kanat alanı arttığı için verim düşer. Orta kısımlardaki kanat kesitlerinde kiriş uzunluklarının artması, toplam kanat çalıklığını azaltmasına rağmen, radyal hatve ve yük dağılımları ile birlikte geniş kıvrımlı bir giriş ucuyla belirlenen bu pervanelerin kalitesine etki etmez [34].

Yüksek çalıklıklı kanatlarda daha karmaşık bir gerilme dağılımı olmasından dolayı, daha dikkatli bir kanat yüklemesinin uygulanması ve sadece orta dereceli çalıklığa sahip pervaneler için yapılan sonlu eleman gerilme analizinden daha iyi bir analizin yapılması gerekmektedir [34].

Yüksek çalıklıklı sabit hatveli pervanelerin dönme yönleri, manevra ve tornistan sırasında tersinedir. Bu kanat uçlarının yönünün değişmesi ile meydana gelir. Bu durum, kanatların dışa doğru olan kanat kesitlerinde yüksek yüklemelere neden olur. Bu nedenle, bu kanat kesitleri emniyetle sözü edilen yüksek yüklemelere karşı

koyabilmek için mukavemet açısından dayanıklı olmak zorundadırlar. Hatve kontrollü pervanelerin dönme yönleri tornistan sırasında değişmediği için, kanatların dışı doğru olan kısımlarında daha ince kesitler kullanılabilir. Bu ise hatve kontrollü pervanelerin daha kısa kesit giriş uzunluklarına sahip olmasına rağmen yeterli kavitasyon performansına ulaşabileceği anlamına gelir [34].

Daha kısa giriş uzunlukları daha düşük sürtünme kaybı anlamına gelir. Daha büyük göbek çapında kaynaklanan daha düşük hatve kontrollü pervane verimini bir miktar dengeleme eğilimini gösterir [34].

3.8 Yüksek Çalıklıklı Kanatlar

Yüksek çalıklıklı kanatlar ilk olarak 1880 yıllarında tanımlanmış ancak 1960'lı yıllara kadar kullanılmamıştır. Bu pervaneler daha yüksek güçlü gemiler ile karşılaşıldığında bazı problemleri çözmek için ortaya çıkarılmıştır. Bu pervaneler için çalıklığa sahip olmayan kanatlar için yapılan hidrodinamik ve yapısal dizayn ve analizden daha karmaşık ve detaylı analiz gerekmektedir. Aynı zamanda üretimleri de maliyetlidir. Ancak bu pervaneler, kavitasyon, gürültü ve titreşimi azaltıcı yönde önemli avantajlara sahiptirler. Açık su pervane verimleri (η_0) biraz daha düşük olmasına rağmen, aynı pervane çapına sahip çalıklıklı olmayan kanatlara sahip pervaneler ile aynı tekne arkası verime (η_b) sahiptirler. Aynı zamanda yüksek çalıklıklı kanatlar, yedekte çekme esnasında itmeyi %15 civarında azaltırken tornistan esnasında itmeyi ise %15-20 civarında arttırmırlar [34].

Yüksek çalıklıklı kanatların bazı avantajları ise, giriş uçlarının akış içindeki iz alanına kademeli olarak girmesinden dolayı gelmektedir. Başka bir deyişle, çıkış uçları iz alanından kademeli olarak ayrılır. Bu her bir kanat üzerinde kavitasyonun artmasına ve akış içindeki çalıklığa sahip olmayan bir kanattakinden daha fazla kademeli olarak bozulmaya neden olur. Şayet çalıklık doğru seçilirse, bir kanat üzerindeki kavitasyon azalır çünkü bu kanattan sonraki kanat iz alanına girdiğinde ve kavitasyonu arttığında, söz konusu kanat ise aynı aynı anda iz alanından ayrılır. Bu ise, toplam pervane kavitasyon hacminin değişmesi ve pervane itmesi ile torkunda meydana gelen dalgalanmalarının azalması anlamına gelmektedir [34].



Şekil 3. 13 ABD donanmasına ait bir destroyerde çalıklıklı pervane uygulaması [36]

Yüksek çalıklıklı kanatlar üzerindeki akış, çalıklığa sahip olmayan kanatlar üzerindeki akış ile aynı özelliklere sahip değildir. Bu pervanelerde giriş ucunun geniş kıvrımı kanat üzerindeki akışta önemli bir rol oynar ve belirli bir yarıçaptaki kanat kesiti etrafındaki akış kanadın geriye kalan kısmından ayrı olarak ele alınamaz. Aynı zamanda yüksek çalıklıklı kanatlar üzerinde gelişen kavitasyon farklıdır. Pozitif hücum açılarına sahip ve yumuşak bir iz alanında çalışan yüksek çalıklıklı kanatlarda, kavitasyon kabarcığı giriş ucu boyunca biçimlenmektedir. Artan yarıçap ile bu kabarcık, bağımsız bir girdaba dönüşebilir. Bunun sonucunda şu şekilde bir görüş belirtilebilir. Pervane kanadının basınç yüzünden daha düşük basınç tarafına doğru son derece kıvrıma sahip giriş ucu etrafında spiral şeklinde dönen akışkan, kabarcık üzerinde veya girdap içinde kavitasyon prosesi yardımıyla buharlaşır. Bu nedenle dönen akışkan, kabarcıklı ve kavitasyon gösteren karışık bir yapıya sahip olur, dalgalanmayla basınç düzensizliklerine neden olan ve kanadın bir tarafından diğerine geçen bir akış meydana gelmez. Kanatlar uniform olmayan iz alanı içerisinden geçtiği için kavitasyon hacminde bir değişim meydana gelir, ancak bağımsız (ayrık) kavitasyon meydana gelmez. Ortaya

ıkan basınç pulsarı ve gürültü alıklıa sahip olmayan kanatlarınkinden daha düşük olur. Gerçekte pervane kaynaklı basınç pulsarı önemli ölçüde azaltılabilir [34].

Tekne kaplaması üzerinde rol oynayan bu basınç pulslarından dolayı tekne üzerinde meydana gelen zorlanmış titreşimler %70 lere kadar azaltılabilir [34].

Pervaneler zerindeki değişken kuvvetler, şaft ve yataklar aracılığı ile tekne bünyesine iletilmekte ve titreşimlere neden olabilmektedirler. alıklık ve radyal hatve dağılımının iz alanına uygun olarak seçilmesi şartı ile yüksek çalıklıklı pervaneler titreşim meydana getiren bu kuvvetlerin önemli ölçüde azaltılmasını sağlayabilmektedir [34].

alıklığın olmadığı veya çok az olduğu kanatların kullanıldığı yerlerde tekne üzerinde basınç darbelerine ve dolayısı ile titreşime müsade edilebilmektedir [34].

Bu durumda sözü edilen titreşim seviyelerini arttırmaksızın, pervane kanat ucu ile tekne arasındaki açıklığın azalmasına yüksek çalıklıklı pervanelerin kabul olanak sağlar. Bu daha büyük çaplı pervanenin sağlanabileceği anlamına gelir ve dönme hızında uygun bir azalma ile birlikte bu yapılrısa, sevk verimi arttırılabilir. Bir ticari gemi için pervane çapı %75'e kadar arttırılabilirse, verimdeki iyileşme 1.5 civarında olur bu durumda yakıt maliyetindeki kazanç, makinenin ilk yatırım maliyetinden daha önemli olacaktır [34].

Savaş gemileri ve diğer gemiler için, su altında yayılan gürültü önemlidir. Yüksek alıklıklı kanatlar aynı zamanda su altında yayılan düşük freskanslı gürültüyü azaltmada önemli rol oynar. Tabaka kavitasyonunun başlangıcını geciktirerek kavitasyon başlama hızını düşürebilirler. Dahası kavitasyon başlangıcı gemi hızı ile arttığı için kavitasyondaki artış yüksek çalıklıklı dizayn ile daha düşük seviyelere çekilir [34].

DÜZENSİZ AKIM ALANINDA ÇALIŞAN PERVANELER İÇİN KALDIRICI YÜZEY METODU

Gemilerde pervanelerin, gemi eksenine göre simetrik olmayan başka bir deyişle güçlü ve düzensiz bir akım ortamında çalışması, shaft kuvvetlerinde ve pervane kanatları üzerinde basınç alanının düzensiz olmasına neden olmaktadır. Bahsedilen bu düzensizliklere pervane kanadı yüzeyindeki daimi olmayan tabaka kavitasyonu da eklendiğinde gemi bünyesinde yüksek seviyede titreşimler ve gürültü oluşmakta, pervane veriminde de kayda değer bir azalma görülmektedir. Bu nedenle, pervane tasarımının ilk aşamalarında sözkonusu oluşumların özellikle kavitasyon olayının kontrol altında bulundurulmaları son derece önemlidir. Bu bölümde sözü edilen amaç doğrultusunda pervaneler için, temeli Szantyr (1994)'ın kaldırıcı yüzey modeline dayalı olarak geliştirilmiş bir analiz metodu ele alınacaktır [37].

4.1 Pervane Kaldırıcı Yüzey Modeli

Düzensiz akımda çalışan pervanelerin analizi için geliştirilen bu metotta, pervane kanatlarının temsili için şekli değişebilen bir kaldırıcı yüzey modeli kullanılır. Pervanede hidrodinamik yüklerin ve kalınlıkların modellenmeleri ayrı ayrı ele alınarak; pervane üzerindeki hidrodinamik yükler, kesit sehim hatlarının oluşturduğu yüzeylere yayılan girdap dağılımlarıyla, kesit kalınlıkları da aynı yüzeylere yayılan kaynak dağılımlarıyla modellenir. Yüzeylerde oluşması muhtemel tabaka kavitasyonu da kaynak dağılımlarıyla modellenerek, kaldırıcı yüzey geometrisindeki deformasyon şeklinde hesaplara katılır. Gemi arkası düzensiz akım etkileri sadece hidrodinamik yüklerin hesabına dahil edilir. Girdap yüzeylerinin şiddetlerinin değişken olması pervane

kanatları üzerindeki hidrodinamik yük değişimlerini ortaya çıkarır. Kesit kalınlıklarının kaynak dağılımlarıyla modellenmesi ise pervaneye gelen çevresel ortalama akıma göre yapılır. Bu şekilde, kalınlık etkileri hesaplara zamanla değişmeyen sabit düzeltmeler şeklinde yansıtılır [37].

Tüm pervane kanatlarının gerisinde serbest girdap yüzeyleri uzanır. Bu yüzeyler, düzgün helisel şekle sahip serbest girdap hatlarından meydana gelir. Serbest girdap hatlarının hatvesi, ortalama akış açısı ve ortalama kanat hatve açısının lineer değişimi olarak hesaplanmaktadır. Hesapları basitleştirmek için pervane kanatlarından biri anahtar kanat olarak seçilir. Anahtar kanadın hemen arkasından itibaren $360^\circ/Z'e$ kadar olan serbest girdap yüzeyi, değişken serbest girdap bölgesi olarak tanımlanır. Bu bölge, anahtar kanat üzerindeki değişken akış koşullarını yansıtır. Değişken bölgede aynı serbest girdap hatlarına ait kesitler farklı şiddetlere sahip olabilir. Bu, sirkülasyonun korunumu prensibinin gereklerini yerine getirmek için, radyal girdap elemanlarının ortaya çıkmasına neden olur. Bunun dışında, bir grup kontrol noktası kanadın çıkış ucunun ötesine kadar uzanan tabaka kavitasyonunun öngörüsü için değişken bölge içine yerleştirilmektedir. Bu noktalarda kaldırıcı yüzeye dik ($\vec{n}$) ve teğet ($\vec{t}$) olan birim uzunluk vektörleri tanımlanmaktadır. Değişken bölgedeki girdap dağılımları ($\vec{\gamma}_{pv}$) kanadın düzensiz akım ortamında hareket etmesi nedeniyle anahtar kanat üzerinde oluşabilecek değişken hidrodinamik yüklerin belirlenmesinde kullanılır. Bu yüzeylerin her biri helisel girdap hatlarından oluşmaktadır. Değişken bölgede indüklenen hızlar anahtar kanat haricindeki diğer kanatlar tarafından anahtar kanat üzerinde indüklenmiş hızların oluşturduğu indüksiyon faktörleri matrisine ilave edilmektedir [37].

Anahtar kanat gerisinde serbest girdap yüzeyinin geri kalan kısmı ve diğer kanatların gerisindeki tüm serbest girdap yüzeyleri pervane serbest girdap yüzeylerinin *sürekli* bölgesini oluştururlar. Bu bölge içindeki girdap dağılımı $\vec{\gamma}_{ps}$, pervaneye gelen eksene göre simetrik ortalama akımdan doğan kanatlar üzerindeki ortalama hidrodinamik yük dağılımı ile ilişkilidir [37].

Kanat ve serbest girdap yüzeylerine yerleştirilen girdap elemanlarının indüklediği hızların bulunmasında Biot-Savart kanunundan yararlanılır. Pervane yükünü

modelleyen bağılı girdap elemanlarının değerleri, kaldırıcı yüzeylerde kinematik sınır şartı sağlanacak şekilde oluşturulan lineer denklem sistemlerinin çözülmesiyle bulunur. Bağılı girdap elemanı şiddetlerinin belirlenmesinden sonra, pervane yüzeyine gelen bileşke hızlar, basınç dağılımları ve sisteme etkiyen kuvvetler bulunabilir [37].

4.1.1 Kinematik Sınır Şartı

Pervane kaldırıcı yüzey modelinde, hidrodinamik yükleri temsil eden bağılı girdap elemanlarının şiddetlerinin belirlenmesinde kinematik sınır şartından yararlanılır. Kinematik sınır şartı, kaldırıcı yüzey denklemi formülasyonunun temelini oluşturur. Bu şarta göre, kaldırıcı yüzeye gelen ve indüklenmiş hızları da içeren hız vektörünün kaldırıcı yüzeye teğet olması gerekir. Bir başka deyişle, kaldırıcı yüzeyden hiç akım geçmemeli, pervane sehim hattı yüzeyleri üzerindeki tüm noktalarda toplam normal hız sıfır olmalıdır. Kinematik sınır şartı, bağılı girdap elemanlarının şiddetlerinin hesabı için oluşturulan lineer denklemler sistemini meydana getirir. Her bir denklem, anahtar kanat üzerindeki bir kontrol noktasına karşılık gelir. Pervane kaldırıcı yüzeyi için bu şart denklem (4.1) ile verilmektedir [37].

$$\begin{aligned} & \frac{1}{4\pi} \left[\int_{S_p} \int \vec{n} \cdot \vec{\gamma}_p \cdot \nabla \left(-\frac{1}{r_p} \right) dS + \int_{S_{pv}} \int \vec{n} \cdot \vec{\gamma}_{pv} \cdot \nabla \left(-\frac{1}{r_p} \right) dS + \int_{S_{ps}} \int \vec{n} \cdot \vec{\gamma}_{ps} \cdot \nabla \left(-\frac{1}{r_p} \right) dS + \right. \\ & \left. \int_{S_p} \int (q_p + q_{pc}) \frac{\partial}{\partial n} \left(-\frac{1}{r_p} \right) dS \right] \\ & + (\vec{V} + \vec{\omega} \cdot \vec{R}) \cdot \vec{n} = 0 \end{aligned} \quad (4.1)$$

Burada:

$\vec{n}$: kaldırıcı yüzeye normal yöndeki birim vektör

$\vec{\gamma}_p$: pervane kanatları üzerindeki girdap dağılımı

$\vec{\gamma}_{pv}$: pervane serbest girdap sisteminin değişken bölgesine ait girdap dağılımı

$\vec{\gamma}_{ps}$: pervane serbest girdap sisteminin sürekli bölgesine ait girdap dağılımı

q_p : pervane kanat kalınlığını temsil eden kaynak dağılımı

q_{pc} : pervane kanadı üzerindeki tabaka kavitasyonu kalınlığını temsil eden kaynak dağılımı

r_p : alan elemanı dS ile hesap yapılacak nokta arasındaki uzaklık

S_p : pervane kanatlarının alanı

S_{pv} : pervane serbest girdap sisteminin değişken bölgesinin alanı

S_{ps} : pervane serbest girdap sisteminin sürekli bölgesinin alanı

$\vec{V}$: pervaneye gelen akımın hızı

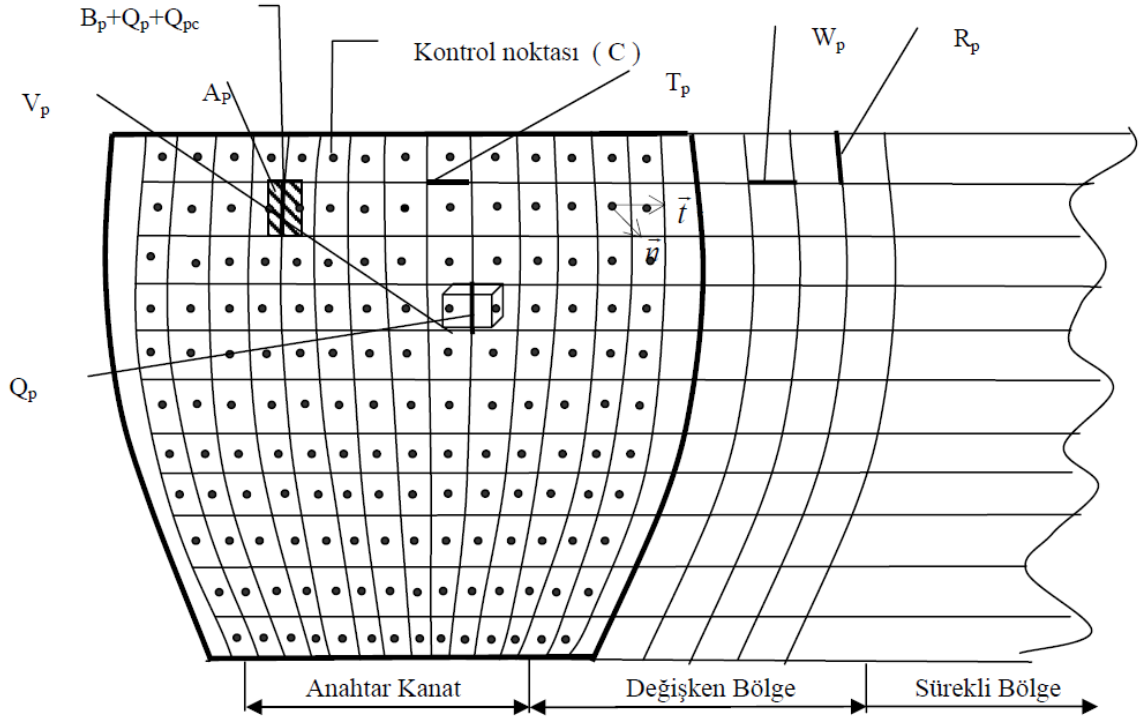
$\vec{\omega}$: pervane açısal hızı

R : hesap edilen noktadaki pervane yarıçapı

4.2 Pervane Kanadı Kaldırıcı Yüzey Modeli

Pervane kanadını modelleyen girdap ve kaynak dağılımlarının belirlenmesi amacı ile oluşturulan denklem (4.1)'in sayısal olarak çözülebilmesi için, kaldırıcı yüzey dörtgensel bölgelere (grid) ayrılarak üzerlerine girdap ve kaynak elemanları yerleştirilir (Şekil 4.1).

Şekil 4.1'den de görülebileceği gibi kort yönündeki 11 şerit boyunca 15 adet bağlı girdap elemanı ($\bar{B}_p$) düzgün olarak yayılır. Bağlı girdapların aralığı kanat giriş ucuna yakın alanlarda daha yoğun olup, kanat çıkış ucuna doğru ise giderek azalmaktadır. Bu işlem, pervane kanadının giriş ucu yakınlarında oluşması muhtemel hidrodinamik yük değişimlerini uygun bir şekilde modellemek ve tabaka kavitasyonun gelişimini başlangıç aşamalarında daha kesin bir şekilde ifade edebilmek için yapılmaktadır. Metot için, çeşitli sayılarda grid sayıları denenerek, sonuç hassasiyeti ve bilgisayar zamanı da göz önüne alınarak 154 adet grid uygun değer olarak bulunmuştur [37].



Şekil 4. 1 Pervane kanadı kaldırıcı yüzey modeli

Her bir girdap elemanının şiddeti, A_p alanına yayılan sürekli girdap dağılımının şiddetine eşittir. Sirkülasyonun korunumu prensibine dayalı Kelvin teoreminin sağlanması amacı ile $\bar{B}_p$ bağlı girdap elemanları doğrusal $\bar{T}_p$ takip eden (izleyen) girdap elemanlarıyla desteklenir. Kelvin teoremine göre, ideal bir akışkanın yoğunluğu sadece basınca bağlı ve akışkan üzerinde rol alan dış kuvvetler bir potansiyelden türetilabiliyorsa akışkan ile birlikte hareket eden kapalı bir eğri boyunca sirkülasyon zaman ile değişmemektedir. Takip eden girdaplar çıkış kenarından ayrıldıktan sonra genel bir helis şeklinde serbest girdap yüzeylerini oluştururlar. Bu takip eden girdap elemanlarının şiddetleri bağlı girdap elemanlarının şiddetleri cinsinden ifade edilebilir. Çünkü A_p alanının etrafında şiddetleri eşit ama yönleri farklıdır. Böylece pervane kanadı üzerindeki hidrodinamik yükün hesaplanması için gerekli altyapı hazırlanmış olur [37].

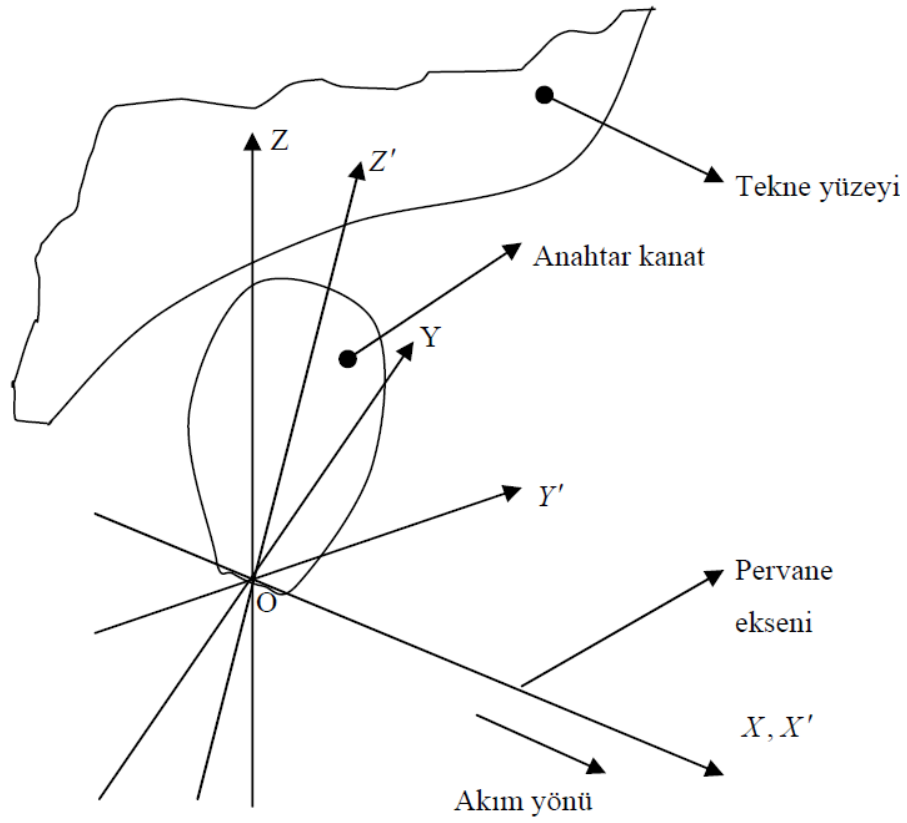
Anahtar kanat üzerinde birbirine komşu olan bağlı ve takip eden girdap elemanlarının arasında kalan dörtgen şekilli bölmelerin tam orta noktalarında kontrol noktaları (C) bulunmaktadır. Kontrol noktaları, kinematik sınır şartının sağlanmasında kullanılır.

Ancak anahtar kanat üzerinde 165 tane şiddeti bilinmeyen bağlı girdap elemanı ($\overline{B}_p$) olmasına karşılık toplam 154 tane kontrol noktası (C) vardır. Bu durum, akımın kanat çıkış kenarını düzgün olarak terk ettiğini, yani bağlı girdabın sıfır olduğunu ifade eden Kutta şartından yararlanılmak suretiyle bağlı girdap elemanı sayısı da kontrol noktalarının sayısı olan 154'e indirilerek çözülür [37].

Pervane çıkış kenarını takiben yerleştirilen değişken serbest girdap bölgesi, düzgün helis şeklindedir. Bu bölgede aynı yarıçap üzerindeki takip eden girdap elemanları ($\overline{W}_p$) farklı sektörlerde farklı şiddete sahip olabilirler. ($\overline{W}_p$)'ler, sirkülasyonun korunumu ile ilgili Kelvin teoreminin sağlanması amacıyla ($\overline{R}_p$) radyal takip eden girdap elemanları sistemiyle desteklenir. Bu bölgeye yerleştirilen girdap dağılımları, indüklediği hızlar vasıtasıyla anahtar kanat üzerindeki mevcut kinematik sınır şartını etkiler. Düzensiz akım alanından kaynaklanan pervane üzerindeki süreksiz yük dağılımları için bir kayıt görevini görür [37].

Değişken girdap bölgesinin gerisinde kalan sürekli bölge ise düzgün helis şeklinde yarı-sonsuz girdap hatlarından oluşur ve şiddetleri ortalama çevresel akıma göre hesaplanır. Bu bölgenin indüklediği hızlar vasıtasıyla anahtar kanat üzerindeki kinematik sınır şartına etkisi sabittir. Sürekli bölge pervane kanadının geçtiği düzensiz akım durumlarından etkilenmez [37].

Kanatların kalınlık etkilerini temsil eden kaynak elemanları (Q_p) ve kanat üzerindeki tabaka kavitasyon etkilerini temsil eden kaynak elemanları (Q_{pc}) bağlı girdap elemanlarıyla üst üste gelecek şekilde yerleştirilirler. Kaynak elemanlarının şiddetleri, kanat veya tabaka kavitasyonu birim hacmine gelen akımı kesecek yani kalınlıkları temsil edecek şekilde belirlenir. İfade edilen sistemin tüm geometrik parametreleri anahtar kanadın Şekil 4.2'de gösterildiği kartezyen koordinat sistemi içinde verilmektedir. O_{XYZ} eksen takımı tekne yüzeyinde, $O_{XYZ'}$ eksen takımı ise dönel pervane üzerinde sabitlenmiştir. Serbest girdap sisteminde yer alan bağlı girdap ve takip eden girdap elemanlarının bileşenleri, kontrol noktalarının koordinatları, kontrol noktalarında dik ($\vec{n}$) ve teğetsel ($\vec{t}$) birim uzunluk vektörlerinin bileşenleri bu koordinat sistemine göre verilmektedir [37].



Şekil 4. 2 Kaldırıcı yüzey modeline ait koordinat sistemi [37]

Kanat kalınlığını modelleyen kaynak şiddetleri ortalama başlangıç akımına göre bulunmakta olup, düzensiz akım durumundaki tüm hesaplarda bu değerler kullanılmaktadır. Anahtar kanat üzerindeki bir kaynağın şiddeti denklem (4.2)'de ifade edildiği gibidir [37].

$$Q_p = V_{IN} R \Delta X \frac{dt}{dx} \quad (4.2)$$

Burada:

V_{IN} : kaynak elemanına gelen ortalama akım hızı (pervane dönmesi dahil)

ΔR : radyal şerit genişliği

ΔX : Q kaynağı yerine geçen v_p kanat hacim elemanının boyu

$\frac{dt}{dx}$: kanat kalınlığının akım yönündeki değişimi

4.2.1 İndüklenmiş Hızların Hesaplanması

Pervane kaldırıcı yüzey modelinde girdap elemanlarının indükledikleri hızların bulunması indüksiyon katsayı matrisleri oluşturularak yapılır. İndüksiyon katsayıları, bir girdap elemanı şiddeti ile indüklenmiş hızın hesaplanacağı kontrol noktası arasındaki ilişkiyi sağlayan, tamamen pervane girdap modelinin geometrisini yansıtan katsayılardır. Girdap şiddetleri biliniyorsa, indüklenmiş hızların hesaplanmasında ya da bilinmeyen girdap şiddetlerinin belirlenmesinde kullanılabilirler. İşlemlerde esneklik sağlaması açısından pervane girdap modelinin her bir ana bölümünde ayrı indüksiyon katsayı matrisleri oluşturulur. Kontrol noktalarında indüklenen hızın normal ve teğetsel yöndeki bileşenleri için de ayrı matrisler kullanılır [37].

Bir indüksiyon katsayıları matrisi aynı zamanda, pervane girdap modelinin bir bölgesindeki tüm girdap elemanlarının, her bir kontrol noktasında indüklenmiş hız katkılarının toplanması şeklinde de değerlendirilebilir. İndüklenmiş hızların hesabında Biot-Savart formülü kullanılır (Şekil 4.3) [37].

$$\vec{V}_\Gamma = \frac{\Gamma}{4\pi} \frac{\vec{L} \times \vec{R}}{|\vec{R}|^3} \quad (4.3)$$

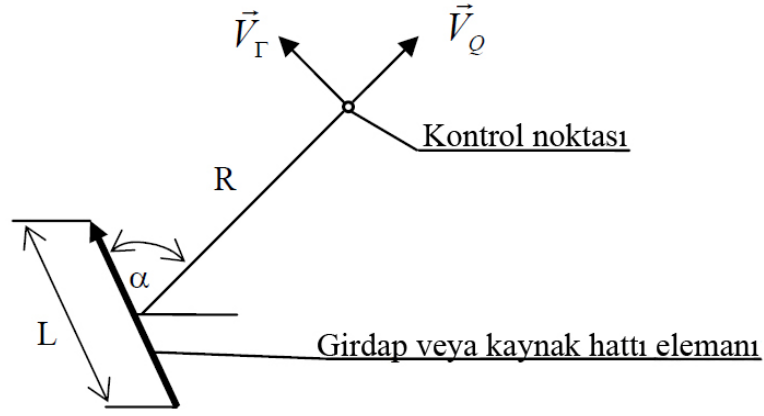
Burada:

$\vec{V}_\Gamma$: Girdap elemanı tarafından indüklenen hız

Γ : Girdap elemanının sirkülasyonunun şiddeti

$\vec{L}$: Girdap elemanının uzunluğu

$|\vec{R}|$: Girdap veya kaynak elemanı ile kontrol noktası arasındaki uzaklık vektörünün büyüklüğü



Şekil 4. 3 Bir girdap/kaynak elemanının kontrol noktasında indüklediği hız [37]

Oluşturulan indüksiyon katsayıları matrisi, anahtar kanat tarafından yine, anahtar kanat üzerindeki noktalarda indüklenen hız ile anahtar kanat dışındaki diğer kanatlar tarafından anahtar kanat üzerinde indüklenen hızın normal ve teğetsel bileşenlerinin oluşturduğu matrisleridir. Bu matrisler 154x154 adet elemandan oluşmaktadır. Çünkü kanat üzerinde 154 tane kontrol noktası ve 154 tane şiddeti bilinmeyen bağlı girdap elemanı vardır. Tüm takip eden girdap elemanlarının şiddeti, komşu şeritlerde yer alan bağlı girdap elemanlarının toplamı olacak şekilde ifade edilebilmektedir [37].

Kesit kalınlıklarını modelleyen kaynak elemanlarının indüklediği hızlar da bir nokta kaynak ile ilişkili olan basit bir bağıntı yardımı ile denklem (4.4)'de gösterildiği gibi ifade edilmektedir [37].

$$\vec{V}_Q = \frac{Q_p \vec{R}}{4\pi |\vec{R}|^3} \quad (4.4)$$

Burada:

$\vec{V}_Q$: kaynak elemanı tarafından indüklenen hız

Gerçekte pervane kaldırıcı yüzey modelinde yer alan kaynakların, girdap elemanları boyunca ayrı olarak lineer dağılımlar şeklinde analiz edilmesi tavsiye edilir. Kaynak şiddetlerinin süreksiz akış alanı tarafından etkilenmediği varsayılmaktadır. Bu nedenle $\vec{V}_Q$ hızı sadece bir kez hesaplanmakta ve daha sonra kalınlık etkileri için bir çeşit sabit düzeltme şeklinde analiz süresince kullanılmaktadır. Bundan sonra, pervane serbest

girdap sisteminin değişken bölgesi tarafından anahtar kanat üzerinde indüklenen hızın bileşenlerinin bulunduğu indüksiyon katsayıları matrisi hesaplanır. Bu hesaplamada, değişken bölge içindeki takip eden girdapların yoğunluğunun sabit olduğu varsayılmaktadır. Bu şiddet, anahtar kanat üzerinde bağlı girdap elemanlarının lineer birleşimi şeklinde ifade edilebilir. Bu nedenle, değişken bölge içindeki tüm radyal girdap elemanlarının şiddetleri sıfıra eşittir [37].

4.2.2 Kaynak/Girdap Dağılımlarının Belirlenmesi

4.2.2.1 Anahtar Kanat Başlangıç Konumunda iken Kaynak/Girdap Dağılımlarının Belirlenmesi (İlk Yaklaşım)

Pervane kaldırıcı yüzey modelinde süreksiz hidrodinamik yükler için ilk yaklaşım hesapları anahtar kanat dik konumda iken (sıfır derece kanat pozisyonunda) yapılır. Aynı zamanda serbest girdap sisteminin sürekli bölgelerindeki girdap elemanlarının şiddetleri ve kesit kalınlıklarını modelleyen kaynak dağılımlarının şiddetleri de bu aşamada belirlenir. Tüm bu ilk yaklaşım hesapları pervaneye gelen ortalama çevresel akıma göre yapılır. Yani, pervanenin bu aşamada düzensiz akım etkilerine maruz olmadığı kabul edilir [37].

Pervane girdap modelini oluşturan tüm girdap elemanlarının; anahtar kanat üzerindeki her bir kontrol noktasında indükledikleri hızların toplamı (4.1)-(4.4) arası denklemler kullanılarak yazılır. Daha önce de belirtildiği gibi, pervane kaldırıcı yüzey modelinde kinematik sınır şartını ifade eden bu lineer denklem sisteminin sol tarafı pervanenin anahtar kanata etkisini gösteren üç gruba ayrılabilir:

1. Anahtar kanadın anahtar kanada
2. Pervane değişken serbest girdap bölgesinin anahtar kanada
3. Anahtar kanat dışında kalan diğer pervane kanatlarının anahtar kanada ve bu kısma eklenen pervane serbest girdap bölgesinin sürekli kısmı tarafından anahtar kanada olan etkisi

Lineer denklem sisteminin sağ tarafı ise, kanat kalınlıklarını modelleyen kaynak dağılımlarının indükledikleri hızlar, pervaneye gelen akım hızı ve pervane rotasyonel hızından oluşur. Bu şekilde oluşturulan lineer denklem sistemi, 154 bilinmeyen bağlı

girdap elemanı ve 154 denklemden oluşur. Serbest girdap bölgeleri ve diğer kanatlardaki bilinmeyen girdap elemanları ise anahtar kanat üzerinde yer alan bağlı girdap elemanlarının şiddetleri cinsinden ifade edilerek denklemlere katılır [37].

(154x154) boyutundaki bu lineer denklem sisteminin sayısal olarak çözülmesiyle pervane üzerindeki tüm bağlı girdap elemanlarının şiddetleri ortalama akıma göre bulunmuş olur. Bilinmeyen girdap elemanları bulunduktan sonra pervane yüzeylerindeki akım hızları denklem (4.3) ve (4.4) kullanılarak bulunabilir. Böylece başlangıç durumunda pervane üzerindeki hidrodinamik yük dağılımı hesapları için altyapı hazırlanmış olur [37].

Düzensiz akım alanında çalışan pervaneler için geliştirilen bu analiz yönteminde girdap bölgelerinin aşağıdaki kısımlarının hidrodinamik yüklerinin (örneğin bağlı girdapların şiddeti) düzensiz akımdan etkilenecekleri kabul edilir:

1. anahtar kanat
2. pervane serbest girdap bölgesinin değişken bölgesi

Pervane girdap modelinin kalan kısımları ise, ortalama çevresel akımda yukarıda anlatıldığı şekilde elde edilen girdap dağılımlarına göre hız indüklerler ve bu hızlar tüm kanat analiz pozisyonlarında kullanılır. İndüklenmiş hızların sürekli kısmını oluşturan bölgeler şunlardır:

1. anahtar kanat dışındaki pervane kanatları 2,3,.....Z
2. pervane serbest girdap sisteminin sürekli kısmı
3. kanat kalınlıklarını modelleyen kaynaklar [37].

4.2.2.2 Anahtar Kanadın Herhangi Bir Konumunda Pervane Girdap Dağılımlarının Belirlenmesi

Analiz yapılacak ilk kanat pozisyonunda, indüklenmiş hız hesapları için yukarıda anlatıldığı şekilde ortalama çevresel akıma göre bulunmuş girdap dağılımları kullanılır. Daha sonraki tüm ara konumlarda ise, bir önceki analizden elde edilen üniform olmayan akımdaki girdap dağılımları kullanılır [37].

Pervane serbest girdap bölgelerinin indükledikleri hızlar da Biot-Savart formülü kullanılarak elde edilir [37].

Lineer denklem sisteminin ana matrisi, pervane anahtar kanadı üzerindeki girdap elemanlarının yine pervane anahtar kanadı üzerindeki kontrol noktalarında indükledikleri hızı ifade eden (154x154) boyutundaki indüksiyon katsayıları matrisidir. Lineer denklem sisteminin sağ tarafını ise aşağıdaki bileşenler oluşturur:

İndüklenmiş hızların sürekli kısmı

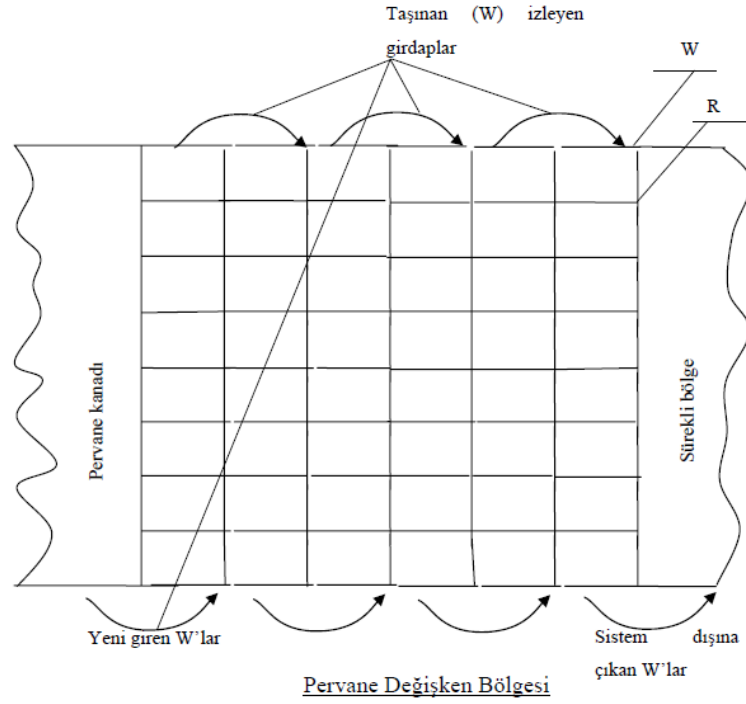
Kontrol noktalarına gelen akım hızı (pervane dönmesi dahil)

Pervane değişken girdap bölgesinin indüklediği hızlar

Lineer denklem sisteminin sayısal olarak çözülmesiyle, analiz edilen kanat pozisyonu için, kanat üzerindeki girdap dağılımları ve akım hız alanları bulunabilir [37].

4.2.3 Değişken Bölgede Serbest Girdapların Yenilenmesi

Mevcut kanat analiz pozisyonunda anahtar kanat etrafındaki akım hesapları tamamlandıktan sonra, kanat üzerindeki akım değişikliklerinin saklanması amacıyla, anahtar kanadın çıkış kenarını takip eden değişken bölgedeki girdap dağılımları yenilenir. Şöyle ki, izleyen girdap elemanlarının şiddetleri bir basamak geriye taşınır (Şekil 4.4). Değişken bölgedeki her bir yarıçapta, pervane anahtar kanadının son şeridindeki izleyen girdap elemanları sisteme katılırken, değişken bölgenin son şeridindeki, girdap elemanları da sistemden çıkartılır. Böylece, mevcut kanat analiz pozisyonunda anahtar kanadın maruz kaldığı düzensiz akım etkileri, bir sonraki analiz pozisyonunda kanat izinde değişiklik şeklinde hesaplara yansıtılmak üzere hazırlanmış olur [37].



Şekil 4. 4 Değişken serbest girdap bölgelerinin yenilenmesi [37]

4.2.4 Basınç Dağılımlarının Hesaplanması

Biot-Savart formülü kullanılarak şiddetleri bilinmeyen $\overline{B}_p$ elemanlarının oluşturduğu lineer denklem sistemi kurulmaktadır. Bu sistem, denklem (4.1) ile verilen integral denklemin sayısal eşitidir. Bu lineer denklem sistemi çözüldükten sonra indüklenen teğetsel hızların bileşkesi bulunur ve ardından pervane kanadının sırtındaki ve yüzündeki basınç dağılımları Bernoulli denkleminden elde edilen aşağıdaki (4.5) denklemi kullanılarak hesaplanır [37].

$$C_p = \frac{p - p_\infty}{0.5\rho V_\infty^2} = 1 - \left(\frac{V_i}{V_\infty} \right)^2 + \frac{2}{V_\infty^2} \frac{\partial \varphi}{\partial t} \quad (4.5)$$

C_p : boyutsuz basınç katsayısı

p : söz konusu olan noktadaki basınç (kontrol noktasındaki)

p_∞ : sonsuzdaki basınç

ρ : suyun yoğunluğu

V_{∞} : sonsuzdaki akım hızı

V_i : söz konusu olan noktada bileşke akım hızı (kontrol noktasındaki)

φ : anahtar kanat üzerindeki yük dağılımını temsil eden hız potansiyeli

4.2.5 Pervane Kanadında Tabaka Kavitasyonunun Tesbiti ve Analizi

Pervane kanatları üzerindeki tabaka kavitasyonunun incelenmesi tüm kanat kesitleri için bağımsız olarak gerçekleştirilir ve denklem (4.9) ile tanımlanan kavitasyon sayısına dayalı olarak yapılır [37].

$$\sigma = \frac{p_a + \rho gh - p_c}{1/2 \rho V_{\infty}^2} \quad (4.9)$$

Burada:

p_a :atmosferik basınç

p_c :kritik buhar basıncı

h :kontrol noktasının derinliği

g :yerçekimi ivmesi

Daha önce tanımlanan kontrol noktalarının yerleri ve kaynak elemanları tabaka kavitasyonunun temsili için kullanılmaktadır. Bu kavitasyonun kanat giriş ucundan itibaren başladığı ve kanat boyunca yayıldığı kabul edilmektedir. Tabaka kavitasyonunun tespiti, giriş ucundan itibaren kanat kesitine ait kord uzunluğunun yaklaşık %5'lik bölgesi içinde süreksiz basınç dağılımının davranışına göre gerçekleştirilmektedir. Denklem (4.10)'da belirtilen şarta göre bu bölge içerisindeki basınç, R_n yarıçaplı kavitasyon çekirdeklerini patlatmak için gerekli olan kritik basıncın altına düştüğünde tabaka kavitasyonunun başladığı varsayılmaktadır [37].

$$C_p + \sigma + \frac{4S}{\rho V_{\infty}^2 R_n} < 0 \quad (4.10)$$

Burada:

S : suyun yüzey gerilimi

R_n : tabaka kavitasyonunu başlatacak kavitasyon çekirdeğinin yarıçapı

Tabaka kavitasyonunun kort yönündeki boyu analiz edilen kanat kesiti üzerindeki tüm kontrol noktalarını kaplar. Burada $C_p + \sigma < 0$ bağıntısı mevcuttur. Bu durum, bir önceki kanat pozisyonlarında belirlenen tabaka kavitasyonu tarafından C_p dağılımının değişmesine neden olur. Bir tabaka kavitasyonu nedeni ile orijinal kanat geometrisinde meydana gelen şekil değiştirme, giriş ucu bölgesindeki basıncı arttırırken kavitasyon tabakasının sonundaki bölgede basıncı azaltır. Bundan dolayı, birkaç analiz adımından sonra tabaka kavitasyonun uzunluğu, kavitasyonsuz durumdaki C_p dağılımına göre oluşabilecek tabaka kavitasyonu uzunluğundan daha fazla büyüklüğe uzanır. Böylece, bir pervane üzerinde hesaplanan tabaka kavitasyonu nihayetinde denge konumuna ulaşır [37].

Tabaka kavitasyon yüzeyi üzerindeki dinamik sınır koşulu durgun bir kavitasyon tabakası üzerinde kuvvetler dengesini gerektirir. Örneğin, kavitasyon tabakasının iç ve dış kısmı arasındaki basınç farkının yüzey gerilimi ile dengelenmesi istenir. Ancak, bir kavitasyon hiçbir zaman tam olarak dengede değildir. Kavitasyon içindeki basınç yüzey gerilimi ile desteklenen basınç değerinden daha büyük olduğunda kavitasyon genişler. Bu olayın tersi durumunda ise kavitasyon tabakası küçülür [37].

Tabaka kavitasyonunun yüzeyi üzerinde kuvvet dengesine dayalı dinamik sınır koşulu denklem (4.11) ile verilmektedir. Bu koşulun, tabaka kavitasyonu olan yüzeyde meydana geldiği varsayılmaktadır [37].

$$-\sigma - C_p - \frac{4S}{\rho V_\infty^2 R_l} - \frac{8\mu V_{DF}}{\rho V_\infty^2 R_l} = \frac{2}{V_\infty^2} \frac{\partial \varphi_c}{\partial t} \quad (4.11)$$

Burada:

σ : kavitasyon sayısı

R_l : kavitasyon tabakasına ait yüzeyin yerel eğrilik yarıçapı

μ : suyun dinamik viskozitesi

φ_c : kavitasyonun süreksiz davranışını (tabakanın genişlemesi/büzülmesi) temsil eden hız potansiyeli

S : suyun yüzey gerilimi

V_{DF} : tabaka kavitasyon yüzeyinin deformasyon hızı

(4.11) denklemi ile verilen dinamik sınır koşulu aşağıdaki varsayımlara dayandırılarak çıkarılmıştır.

- Kavitasyon tabakası içindeki basınç düzenli olup belirli sıcaklıktaki kritik buhar basıncına eşittir.
- Kavitasyon yüzeyinin yerel eğriliği her iki kesitte de eşittir. Başka bir ifadeyle bu yüzey R_l yarıçapına sahip küresel bir yüzeye yakın bir yüzey olarak analiz edilmektedir.

(4.11) denkleminin sol tarafı, analiz edilen anahtar kanadın herhangi bir pozisyonu için bilinen değerlerden oluşmaktadır. Bu kısımda yer alan R_l ve V_{DF} 'nin bir önceki kanat pozisyonu için yapılan analizden belirlendiği ya da bu konumda kavitasyon meydana gelmezse $R_l = 0$ ve $V_{DF} = 0$ değerlerini aldığı kabul edilmektedir. Bu denklem, genel bir hali ifade etmektedir. Burada tabaka kavitasyonu dengede değildir. Denklemin sol tarafının işaretine bağlı olarak tabaka kavitasyonu büyür veya küçülür. Tabaka kavitasyonunun bu dinamik davranışının ilave bir Q_{cv} kaynak dağılımından yararlanılarak modellendiği kabul edilmektedir. Şekil 4.5'de pervane anahtar kanadı üzerinde oluşması muhtemel tabaka kavitasyonu ve onun kaynak dağılımlarıyla modellenmesi görülmektedir. Bu kaynaklar, daha önce tanımlanan (Q_p) ve (Q_{pc}) kaynakları ile üst üste gelmektedir. φ_c hız potansiyelinin kanadın tabaka kavitasyonu ile kaplı kısmı üzerinde yer alan Q_{cv} kaynakları tarafından karakterize edilebildiği varsayılmaktadır. φ_c potansiyeli kavitasyonun büyümesi veya küçülmesine dair düzensiz davranışı ortaya koymaktadır. Bu potansiyelin zamana göre türevi ($\frac{\partial \varphi_c}{\partial t}$), dinamik sınır koşulu denkleminde elde edilmekte ve denklem (4.12) içinde bilinen bir değer olarak kullanılmaktadır [37].

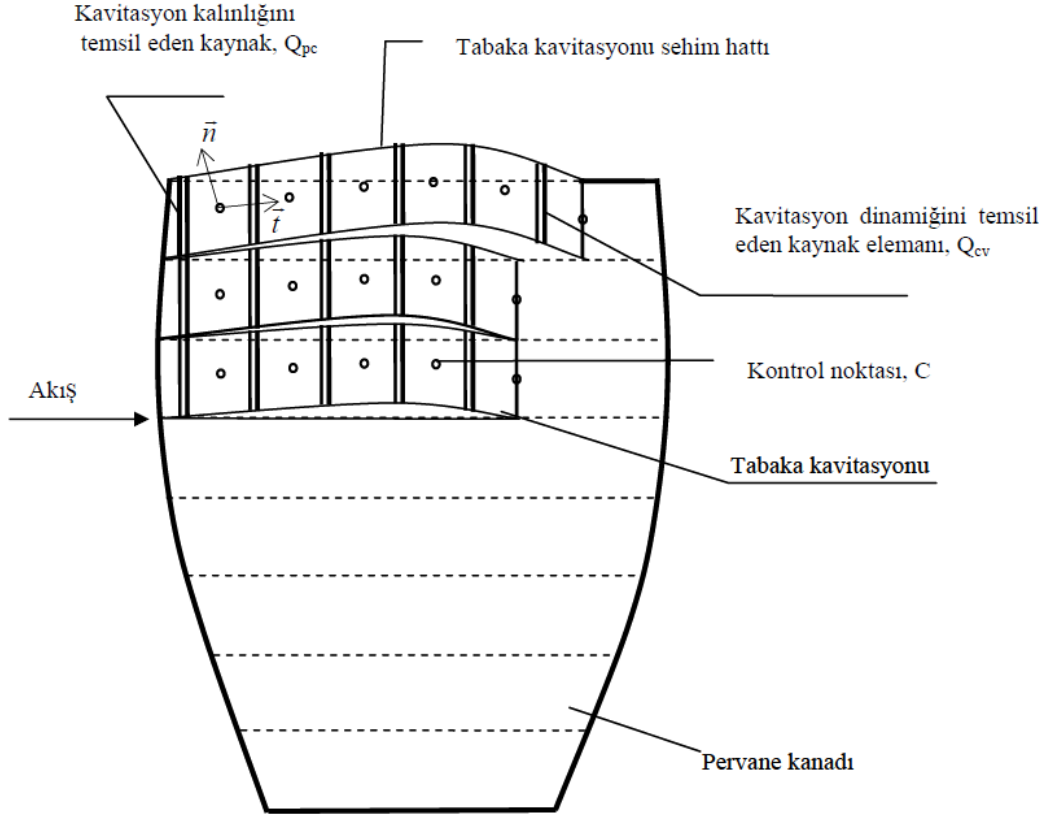
$$\frac{\delta \varphi_c}{\delta t} = -\frac{1}{4\pi} \sum \frac{1}{r_i} \frac{dQ_{cv}}{dt} \quad (4.12)$$

Burada:

r_i :kaynaktan kontrol noktasına olan uzaklık

Q_{cv} :kavitasyonun dinamik davranışını temsil eden tek bir kaynağın yoğunluğu

t :zaman



Şekil 4. 5 Pervane tabaka kavitasyonu kaynak modeli [37]

Denklem (4.12), herhangi bir kanat pozisyonunda tabaka kavitasyonu ile kaplanmış kanat ve değişken bölge üzerindeki her bir kontrol noktasına uygulanabilmektedir.

Böylece, bilinmeyen kaynak şiddetleri $\left(\frac{dQ_{cv}}{dt} \right)$ için lineer denklem sistemi

oluşturulmaktadır. Bu kaynak şiddetleri hesaplandığında, kavitasyon yüzeyinin bu yüzeye dik deformasyon hızı denklem (4.13) ile verilen lineerleştirilmiş basit bir formül yardımı ile elde edilebilmektedir [37].

$$V_{DF} = \frac{1}{\Delta R \cdot V_{\infty}} \frac{dQ_{cv}}{dt} \quad (4.13)$$

Burada:

ΔR :kanadın üzerindeki kavitasyon tabakasının kord yönündeki şeridinin genişliği
(Şekil 4.6)

V_{DF} :kavitasyon yüzeyinin deformasyon hızı

Bu deformasyon hız dağılımı kanadın o anki mevcut durumunu temsil eder. Bir sonraki kanat pozisyonundaki değerinden ayıran Δt zaman periyodu boyunca bu deformasyon hız dağılımının değişmediği varsayılmaktadır. Denklem (4.13)'ten hesaplanan V_{DF} değeri, bir adım sonra analiz edilecek kanat pozisyonu için denklem (4.11) içerisinde yerine konulmaktadır [37].

Analiz edilen j . ve $(j-1)$. kanat pozisyonlarını ayıran zaman adımının sonunda yerel kavitasyon kalınlığı denklem (4.14)'de gösterildiği gibi hesaplanabilmektedir [37].

$$T_j = T_{j-1} + V_{DFj} \Delta t_j \quad (4.14)$$

Daha sonra bu kalınlık dağılımı kort yönündeki şeritlerin her biri için uygun bir parabolik hat ile yuvarlatılır. Basitleştirmek için kavitasyon tabakasına ait eğrinin sehim hattının, kavitasyon tabakasının kalınlığının yarısı olduğu varsayılmaktadır. Kavitasyon tabakasını temsil eden bu sehim hattı, kanat kesitinin orijinal sehim hattına ilave edilmektedir. Sehim hattı ilavesi ile kaldırıcı yüzeyde oluşacak bu deformasyon, kanat yüzeyi üzerindeki kinematik sınır koşuluna etki eden birim uzunluktaki normal vektörlerin $(\vec{n})$ eğimine etki etmektedir. Bu olay çok önemlidir. Çünkü normal vektörlerin eğimleri hesaplanan basınç dağılımını büyük oranda değiştirebilmekte ve bir sonraki kavitasyon gelişimine etki edebilmektedir. Bir sonraki aşamada kavitasyon tabakasının kalınlığı, kanadın orijinal kalınlığına ilave edilmektedir. Bu olay, kaldırıcı yüzey modelinde kanat kalınlığını temsil eden kaynakların (Q_{pc}) başlangıçtaki şiddetlerini değiştirir. Bu şiddetlerin değerleri denklem (4.15) ile verilmektedir. Kavitasyon tabakasında sapma meydana geldiğinde, herhangi bir kort yönündeki şeritte yer alan kavitasyonun toplam alanı negatif olur ve bu şeritteki kavitasyon sonlandırılır (Şekil 4.6) [37].

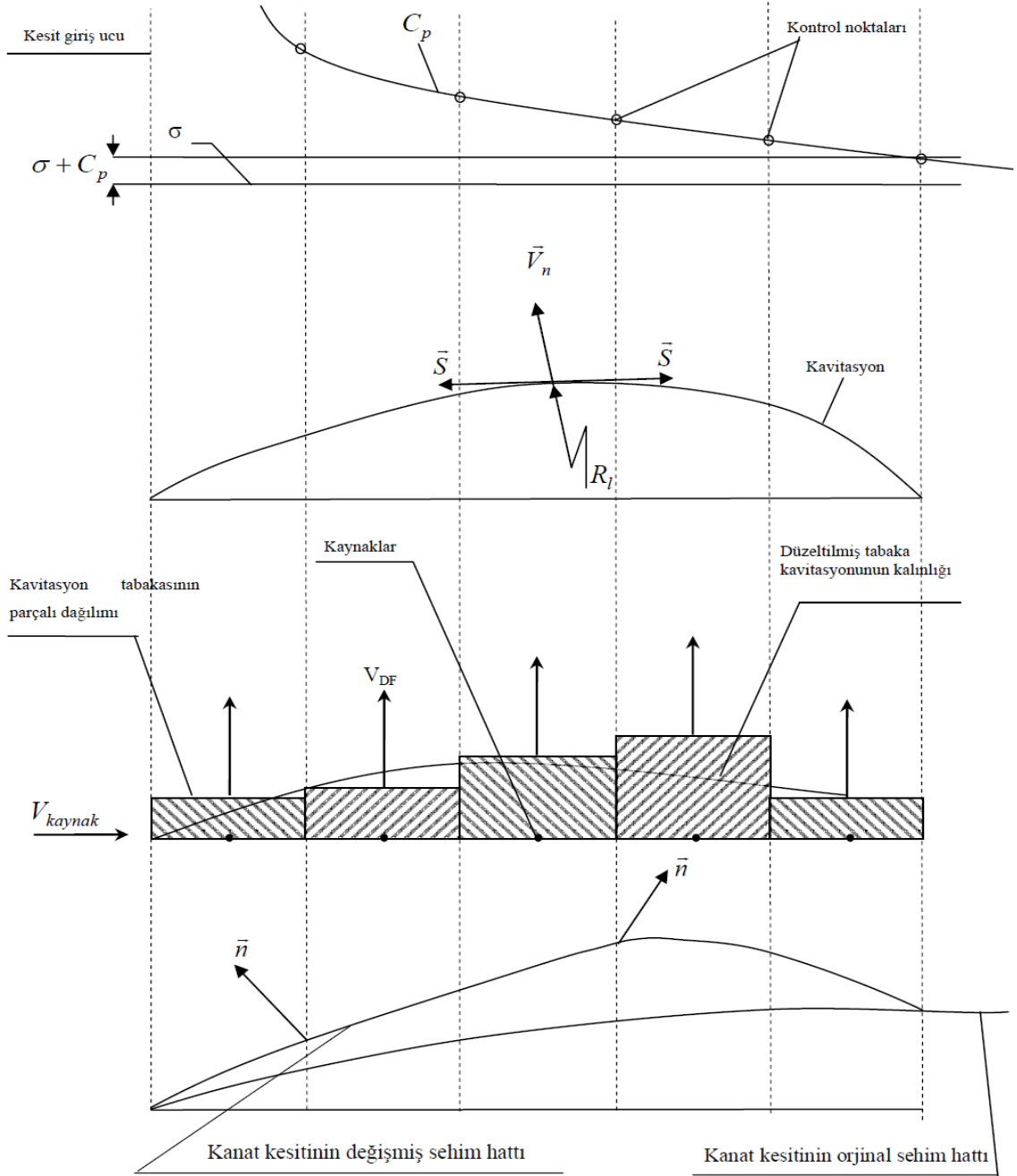
$$Q_{pc} = V_{kaynak} \Delta R \frac{dT_c}{dx} \quad (4.15)$$

Burada:

V_{kaynak} : kaynak elemanına gelen akım hızı

ΔR : kort yönündeki şeritin radyal genişliği

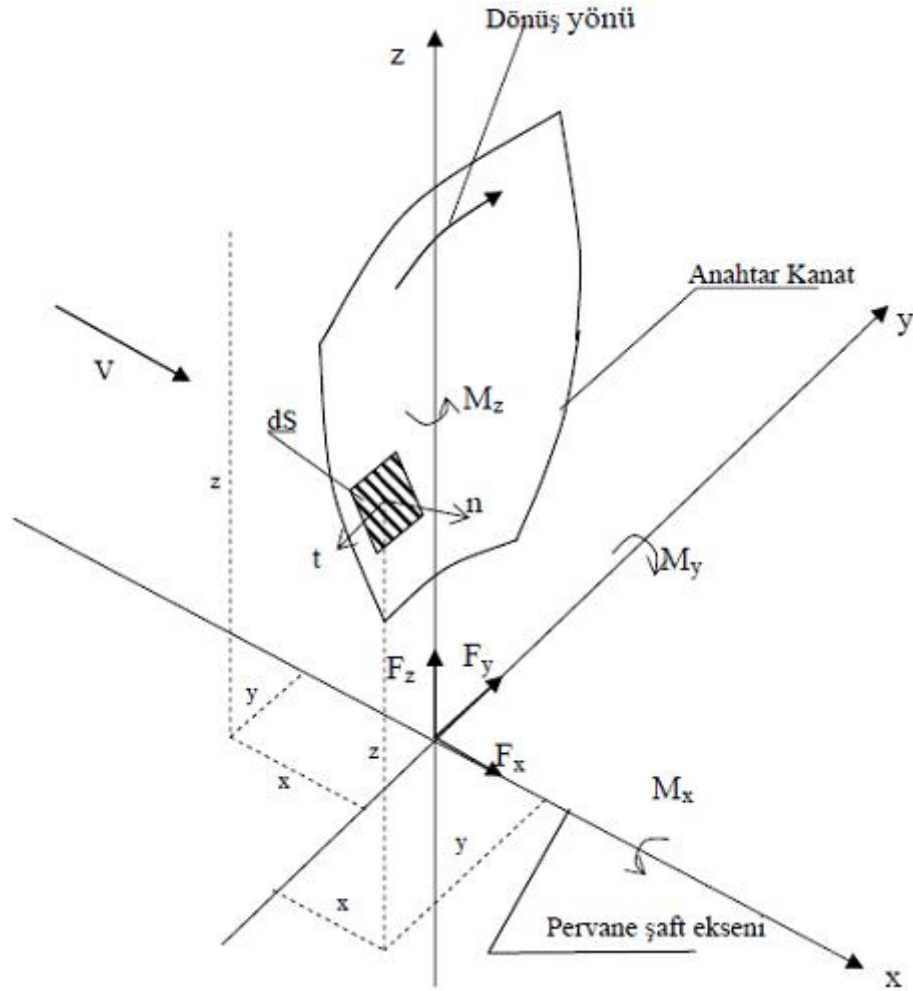
T_c : düzeltilmiş kavite kalınlığı



Şekil 4. 6 Tabaka kavitasyon modeli [37]

4.2.6 Pervane Üzerindeki Kuvvet ve Moment Bileşenlerinin Hesaplanması

Her bir kanat pozisyonunda pervane kanadı üzerindeki kuvvet ve moment bileşenlerinin hesaplanmaları, kanat yüzeyindeki basınç dağılımlarının entegrasyonu ile yapılır (Şekil 4.7). Bunun için daha önce hesaplanan basınç dağılımları kullanılır [37].



Şekil 4. 7 Pervane kanadına etkiyen kuvvet ve moment bileşenleri [37]

Anahtar kanat üzerindeki kuvvet ve moment bileşenleri denklem (4.19)'da verilen eşitlikler ile hesaplanmaktadır [37].

x, y ve z kuvvet bileşenleri,

$$F_{sx} = -\frac{1}{2} \rho (nD)^2 \int_S [\Delta C_p \cdot n_x + C_D \cdot t_x] ds$$

$$F_{sy} = -\frac{1}{2} \rho (nD)^2 \int_S [\Delta C_p \cdot n_y + C_D \cdot t_y] ds$$

$$F_{sz} = -\frac{1}{2} \rho (nD)^2 \int_S [\Delta C_p \cdot n_z + C_D \cdot t_z] ds \quad (4.19)$$

x, y ve z moment bileşenleri,

$$M_{sx} = -\frac{1}{2} \rho (nD)^2 \int_S [\Delta C_p \cdot (n_z \cdot y - n_y \cdot z) + C_D \cdot (t_z \cdot y - t_y \cdot z)] ds$$

$$M_{sy} = -\frac{1}{2} \rho (nD)^2 \int_S [\Delta C_p \cdot (n_x \cdot z - n_z \cdot x) + C_D \cdot (t_x \cdot z - t_z \cdot x)] ds$$

$$M_{sz} = -\frac{1}{2} \rho (nD)^2 \int_S [\Delta C_p \cdot (n_y \cdot x - n_x \cdot y) + C_D \cdot (t_y \cdot x - t_x \cdot y)] ds$$

Burada:

ρ : suyun yoğunluğu

n : pervane devir sayısı

ΔC_p : emme ve basınç tarafları arasındaki basınç katsayısı farkı

C_D : kesit direnç katsayısı

n_x, n_y, n_z : normal birim vektörün kartezyen koordinatlardaki bileşenleri

t_x, t_y, t_z : teğetsel birim vektörün kartezyen koordinatlardaki bileşenleri

S : kanat alanı

Kanat kesit direnç katsayıları için denklem (4.20) kullanılmakta veya kanat kesitleri biliniyorsa giriş değeri olarak analiz işlemlerine katılmaktadır [37].

$$C_D = 2 \left(1 + 2 \frac{t_{\max}}{c} \right) \left(1.89 + 1.62 \log \frac{c}{0.00003} \right)^{-2.5} \quad (4.20)$$

Burada:

$\frac{t_{\max}}{c}$: boyutsuz maksimum kesit kalınlığı

c : kesit kort uzunluğu

SAYISAL BULGULAR VE YORUMLAR

Bu çalışmada Bölüm 4’de anlatılan ve formülasyonu verilen kaldırıcı yüzey metodu kullanılarak, tam ölçekte uniform olmayan akış ortamında çalışan iki adet pervanenin (Seiun-Maru CP ve P1) değişik çalıklık miktarları için; itme, tork, verim ve kavitasyon gibi hidrodinamik karakteristiklerine olan etkisi sayısal olarak incelenmiş ve elde edilen sonuçlar sunulmuştur.

Uygulama 1

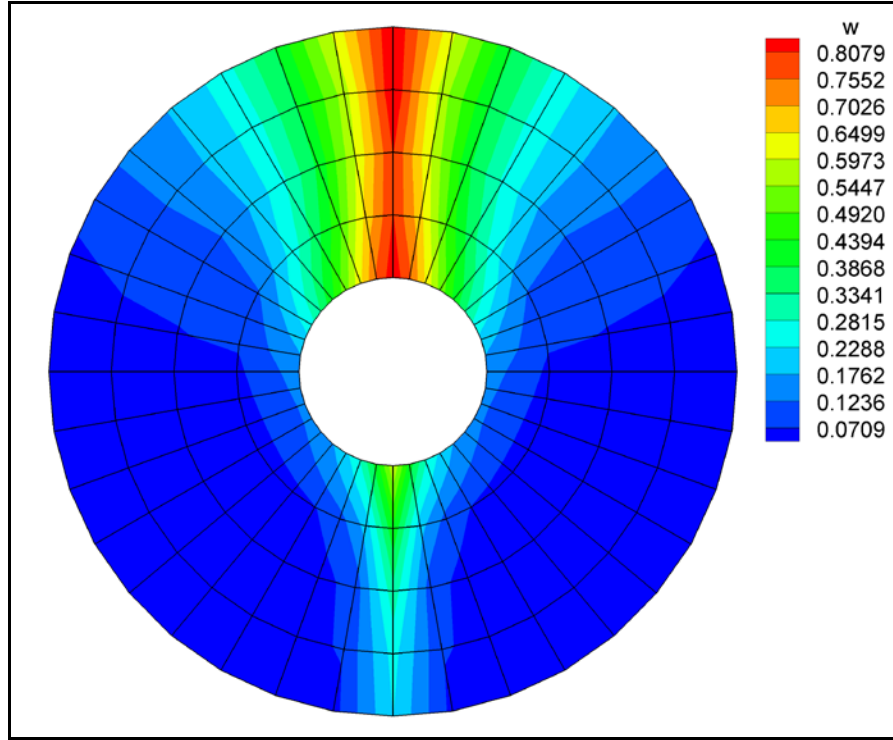
İlk uygulama olarak Seiun-Maru CP pervanesi ele alınmıştır. Orjinal pervane 6°’lik çalıklığa (skew) ve 6°’lik eğikliğe (rake) sahiptir. Pervaneye ait çalışma koşulları Çizelge 5.1’de, geometri ise Çizelge 5.2’de verilmektedir. Pervanenin çalıştığı ortamdaki nominal iz dağılımının tecplot [38] programından elde edilmiş görüntüsü Şekil 5.1’de gösterilmektedir.

Çizelge 5. 1 Seiun-Maru CP pervanesine ait çalışma koşulları

Pervaneye verilen güç, P_D (kW)	360
Dizayn hızı, V_S (Knot)	9
Pervane devri, RPM	90.7
Pervane çapı, D (m)	3.6
Ortalama iz katsayısı	0.24
Kanat sayısı, Z	5
Dönme yönü	Sağa dönüşlü

Çizelge 5. 2 Orijinal Seiun-Maru CP pervanesine ait geometri

Boyutsuz yarıçap (r/R)	Hatve oranı (P/D)	Kord dağılımı (m)	Çalıklik (m)	Eğiklik (m)
0.2	0.95	0.7060	-0.0560	0.0378
0.3	0.95	0.8240	-0.0570	0.0568
0.4	0.95	0.9240	-0.0510	0.0757
0.5	0.95	1.0010	-0.0385	0.0946
0.6	0.95	1.0510	-0.0175	0.1135
0.7	0.95	1.0570	0.0165	0.1324
0.8	0.95	0.9860	0.0630	0.1514
0.9	0.95	0.7940	0.1180	0.1703
0.95	0.95	0.6000	0.1540	0.1797
1.0	0.95	0.0000	0.1830	0.1892



Şekil 5. 1 Seiun-Maru CP pervanesine ait nominal iz dağılımı

Analizlerde çalıkliğin etkisini göstermek amacı ile orijinal Seiun-Maru CP pervanesinin çalıklik açıları $\phi=0^\circ$, 9° , 12° , 17° ve 23° olacak şekilde değiştirilerek farklı pervane geometrileri elde edilmiştir. Bu uygulamada ayrıca çalıklik etkisinin yanında eğikliğin de

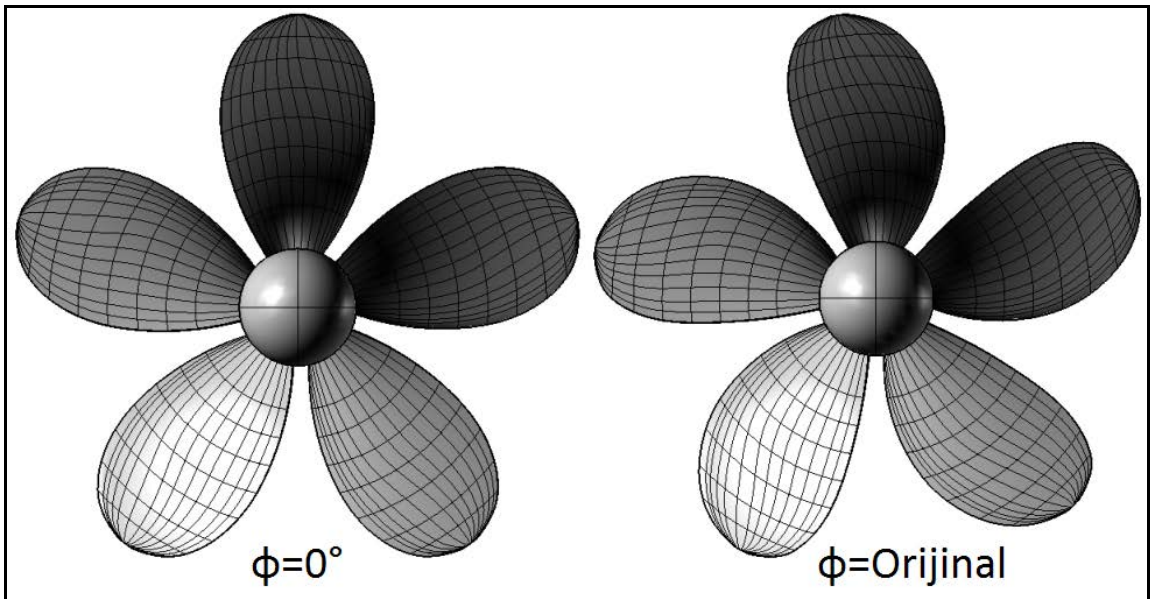
etkisini göstermek amacı ile orijinal pervaneye $\varepsilon=0^\circ$, 9° ve 12° eğiklik açıları verilmiştir. Orijinal Seiun-Maru CP pervanesinden türetilmiş yeni pervanelere ait çalıklık ve eğiklik miktarları boyutsuz yarıçap değerlerine göre metre cinsinden sırası ile Çizelge 5.3 ve Çizelge 5.4’de verilmiştir. Ayrıca, çalıklığı değiştirilerek türetilen yeni pervanelerin rhino3d [39] programında modellenen geometrileri Şekil 5.2’de gösterilmektedir.

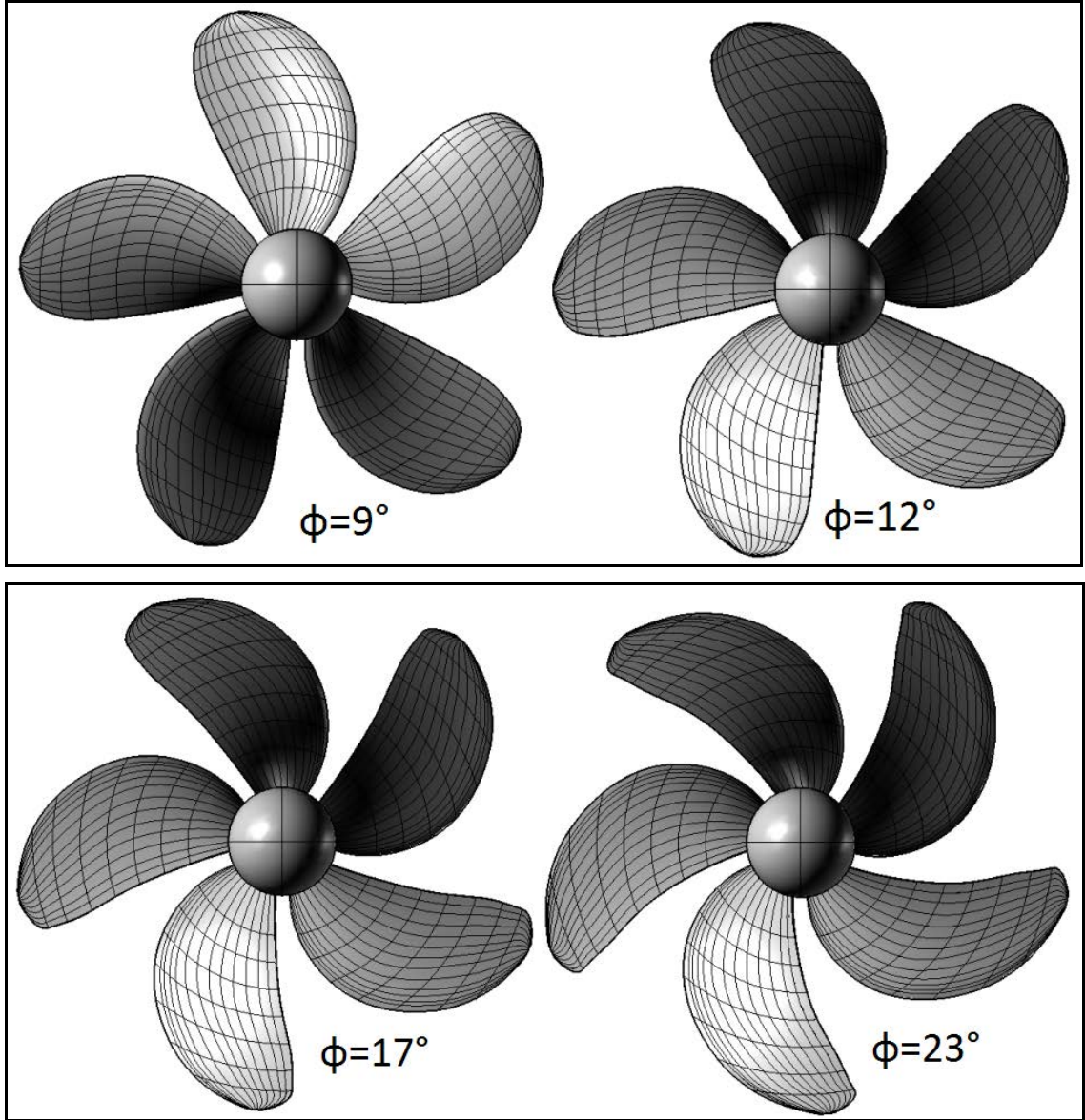
Çizelge 5. 3 Orijinal Seiun-Maru CP pervanesinin yeni çalıklık miktarları

r/R	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	0.95	1
$\phi=0^\circ$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
$\phi=\text{orijinal}^\circ$	0.056	0.057	0.051	0.039	0.018	0.017	0.063	0.118	0.154	0.183
$\phi=9^\circ$	0.085	0.086	0.077	0.058	0.026	0.025	0.095	0.177	0.232	0.276
$\phi=12^\circ$	0.115	0.115	0.103	0.077	0.035	0.033	0.126	0.237	0.311	0.370
$\phi=17^\circ$	0.180	0.176	0.155	0.116	0.053	0.050	0.190	0.359	0.472	0.565
$\phi=23^\circ$	0.256	0.242	0.209	0.155	0.070	0.066	0.254	0.485	0.642	0.772

Çizelge 5. 4 Orijinal Seiun-Maru CP pervanesinin yeni eğiklik miktarları

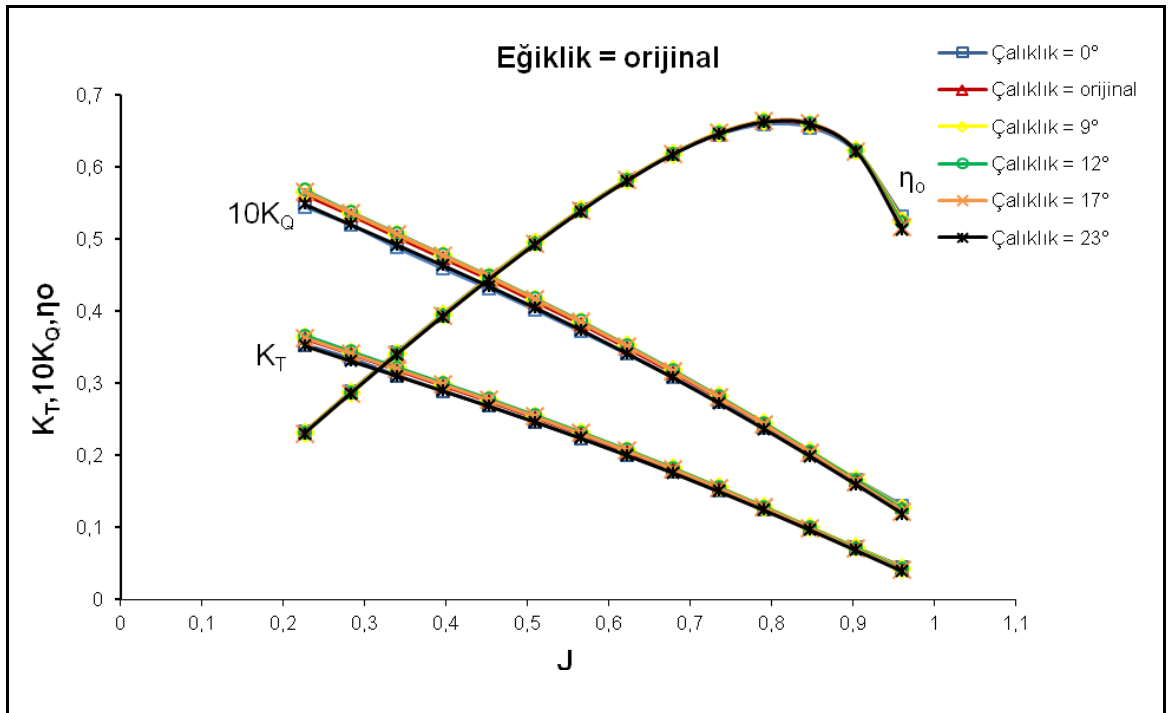
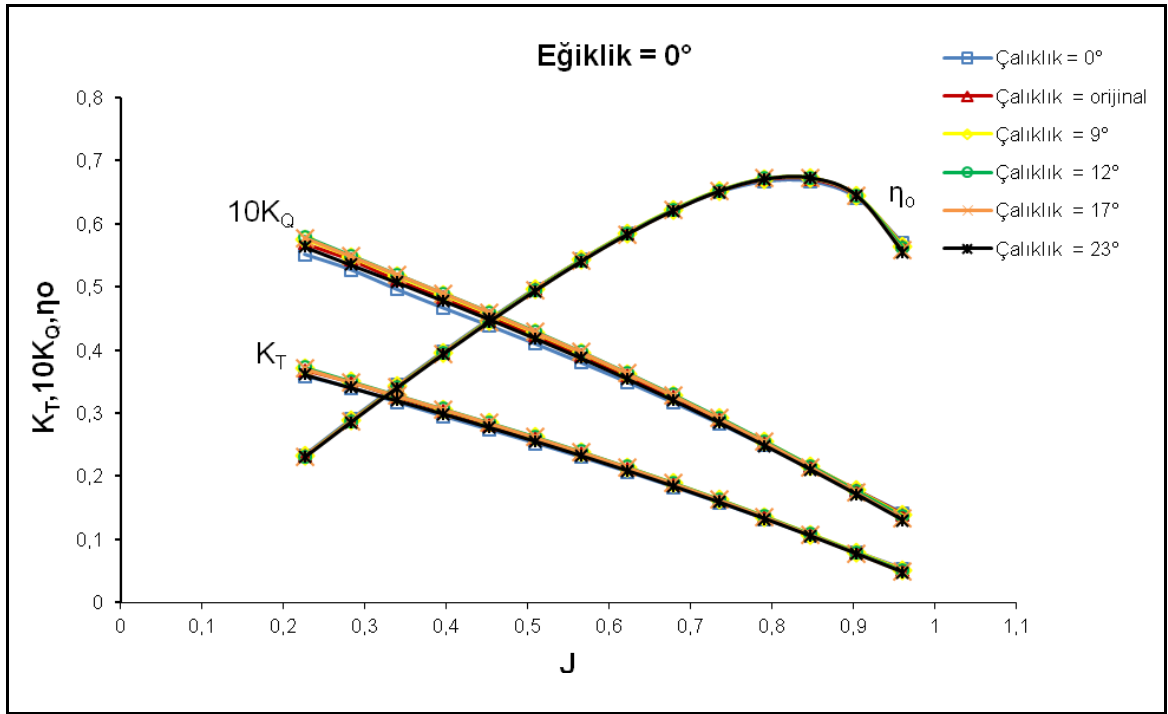
r/R	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	0.95	1
$\varepsilon=0^\circ$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
$\varepsilon=\text{orijinal}^\circ$	0.038	0.057	0.076	0.095	0.114	0.132	0.151	0.170	0.180	0.189
$\varepsilon=9^\circ$	0.057	0.085	0.114	0.142	0.170	0.199	0.227	0.255	0.270	0.284
$\varepsilon=12^\circ$	0.076	0.114	0.151	0.189	0.227	0.265	0.303	0.341	0.359	0.378

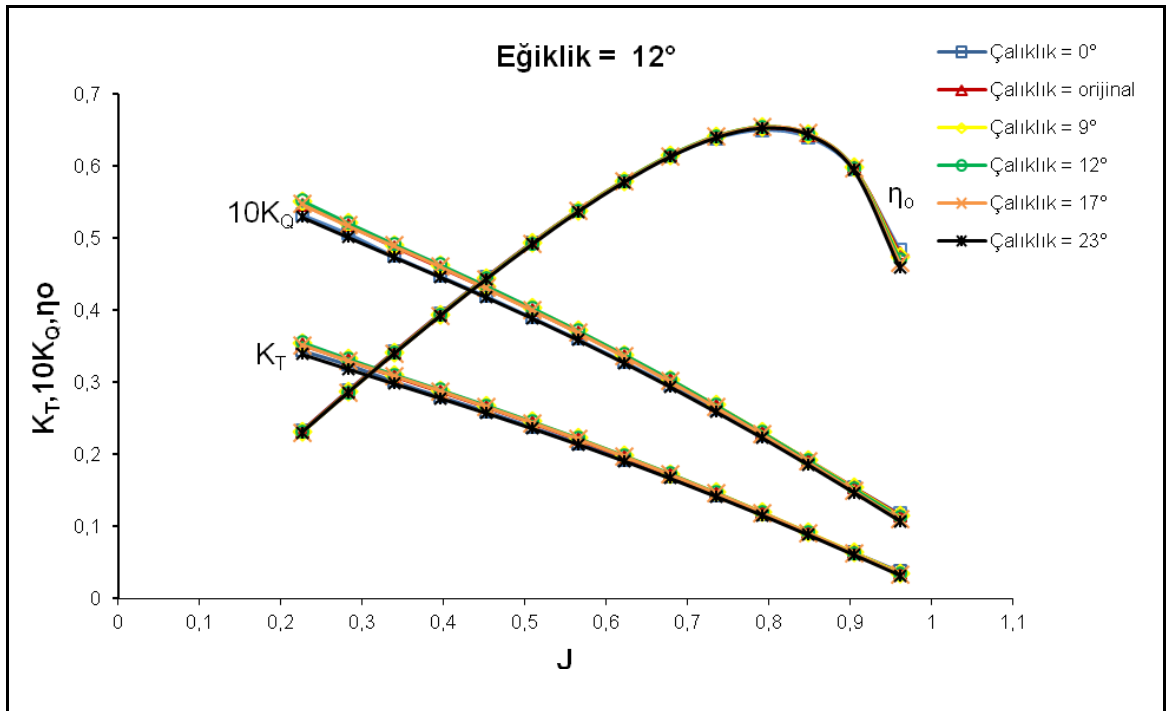
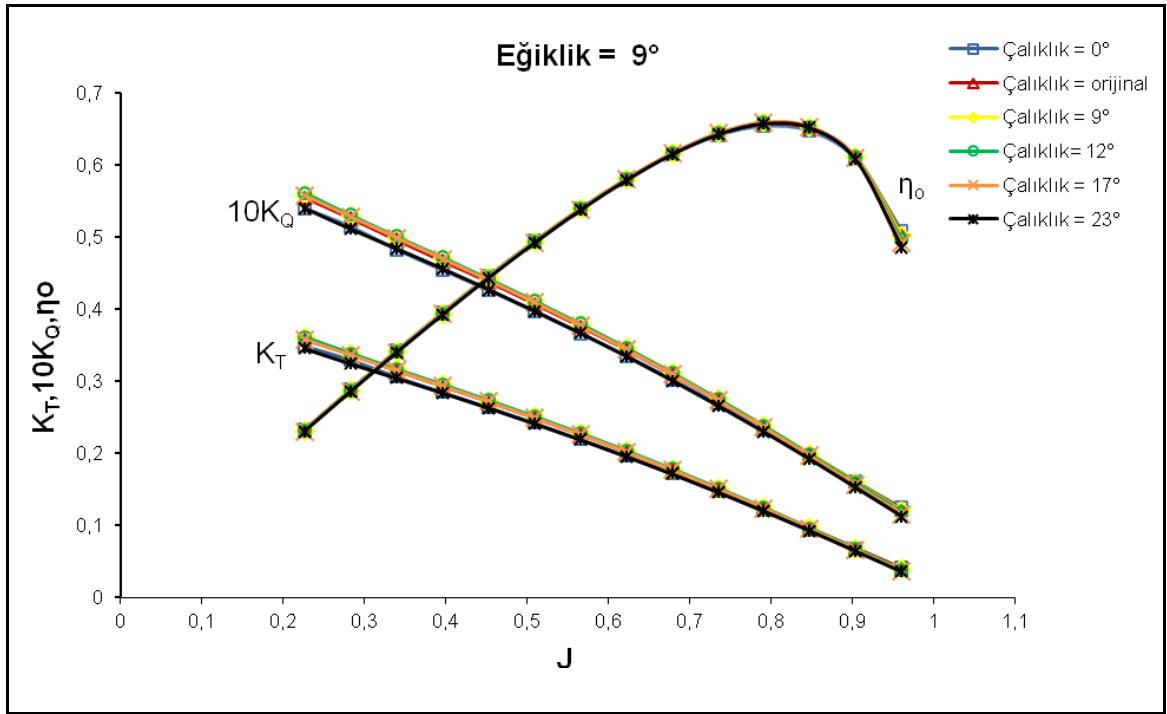




Şekil 5. 2 Çeşitli çalıklık açlarına sahip Seiun-Maru pervaneleri

Orijinal Seiun-Maru pervanesi ve türetilen yeni pervaneler için tüm hesaplamalar ondört farklı ilerleme sayısı ($J=0.226, 0.282, 0.339, 0.395, 0.452, 0.508, 0.565, 0.621, 0.678, 0.734, 0.791, 0.847, 0.904$ ve 0.960) için gerçekleştirilmiştir. Altı adet farklı çalıklık ve dört adet farklı eğiklik açısına göre toplam $4 \times 6 \times 14 = 336$ adet analiz gerçekleştirilerek sonuçlar elde edilmiş ve Şekil 5.3'te gösterilmiştir. Burada; tüm çalıklık açlarının, pervanenin performans karakteristiklerine (itme katsayısı (K_T), tork katsayısı (K_Q) ve verim (η_o)) olan etkileri değişik ilerleme sayılarına bağlı olarak verilmektedir.



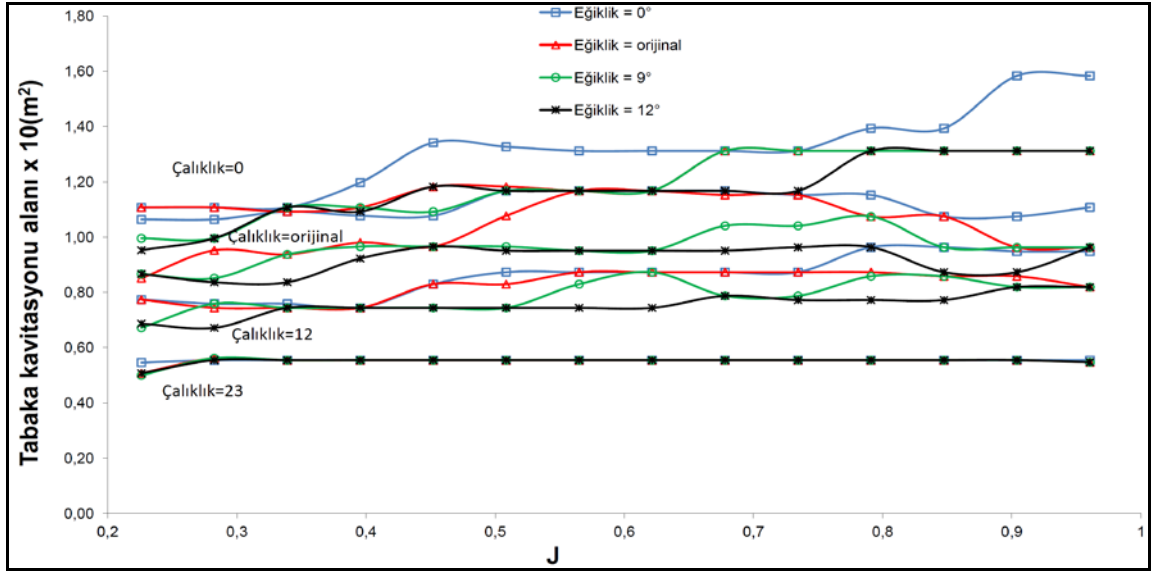


Şekil 5. 3 Farklı eğiklik ve çalıklik durumlarının Seiun-Marui CP pervanesinin performans karakteristiklerine olan etkisi

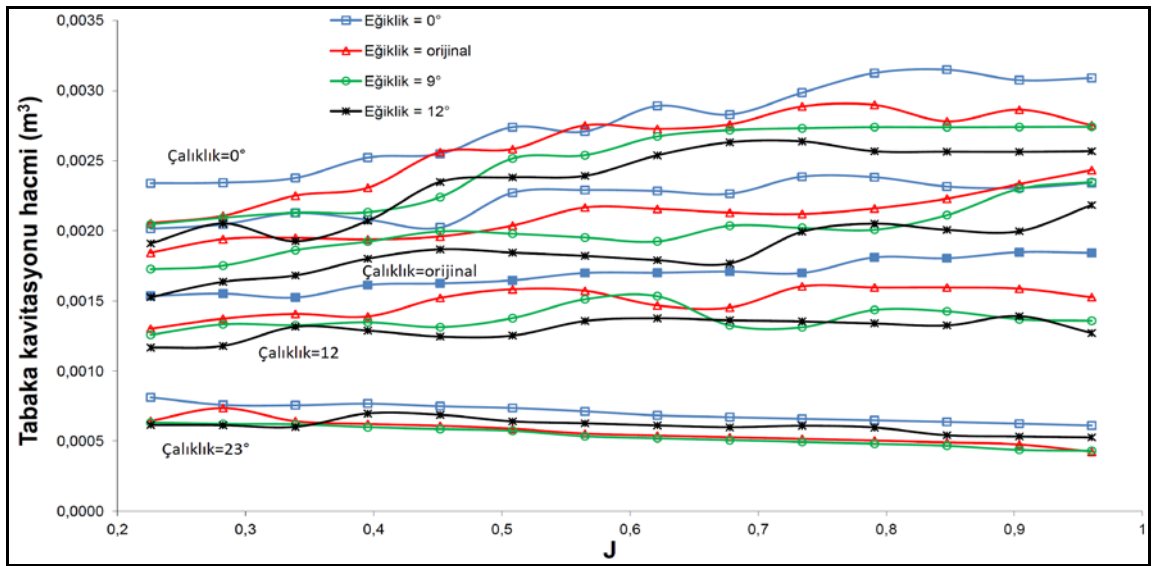
Şekil 5.3'te de görüldüğü gibi eğikliğin her durumunda ilerleme katsayıları arttıkça itme ve tork katsayıları azalma göstermektedir. Ayrıca çalıklik açısı arttıkça itme ve tork katsayılarında azalma görülmektedir. Eğiklik açısı sabit iken çalıklik açısı arttıkça tüm durumlarda genelde % 0.3 gibi çok düşük bir oranda verim artışı görülmektedir. En

yüksek verim $J=0.847$ koşulunda $\eta_o = 0.673604$ olarak, eğiklik açısı 0° ve çalıklık açısı 17° iken elde edilmiştir. Şekil 5.3’de verilen grafikten çıkarılabilecek bu sonuçlar, Ek A’da verilen sayısal değerler yardımı ile daha iyi anlaşılmaktadır.

Çalıklığın kavitasyona olan etkisini göstermek amacıyla söz konusu çalışma koşullarında, kanat dik durumda iken ($\theta=0^\circ$ kanat pozisyonu) oluşan tabaka kavitasyonu alanları ve hacimleri sırası ile Şekil 5.4 ve Şekil 5.5’te verilmektedir.

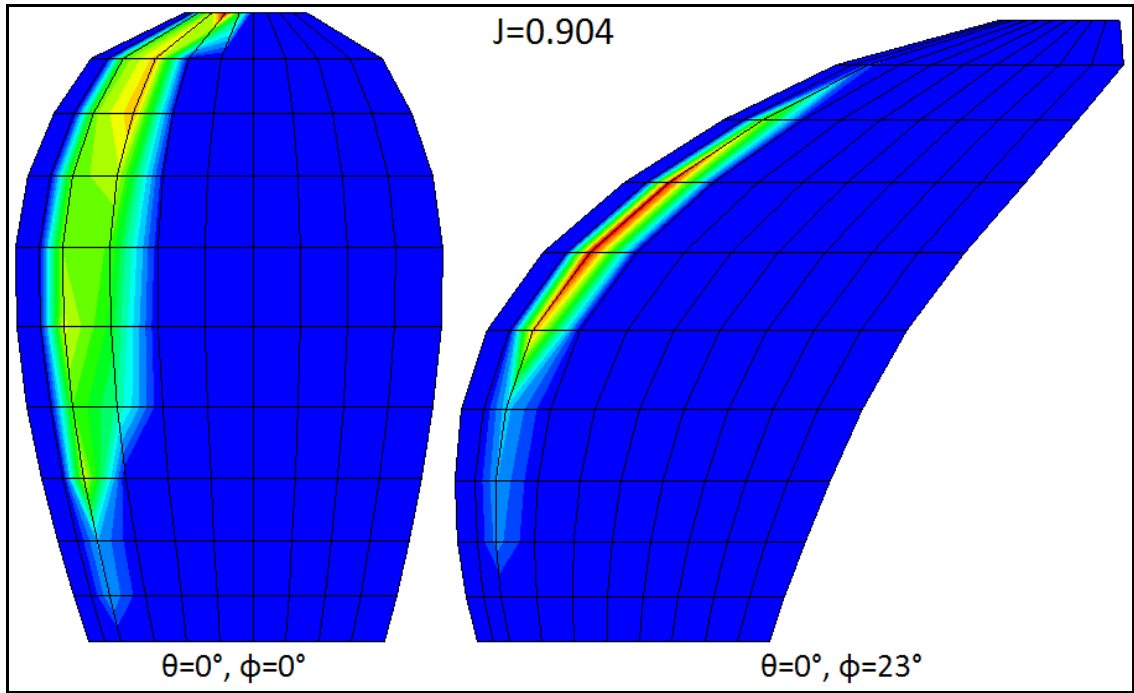


Şekil 5. 4 Farklı çalışma koşullarında Seiun-Maru CP pervanesinin tabaka kavitasyonu alanları

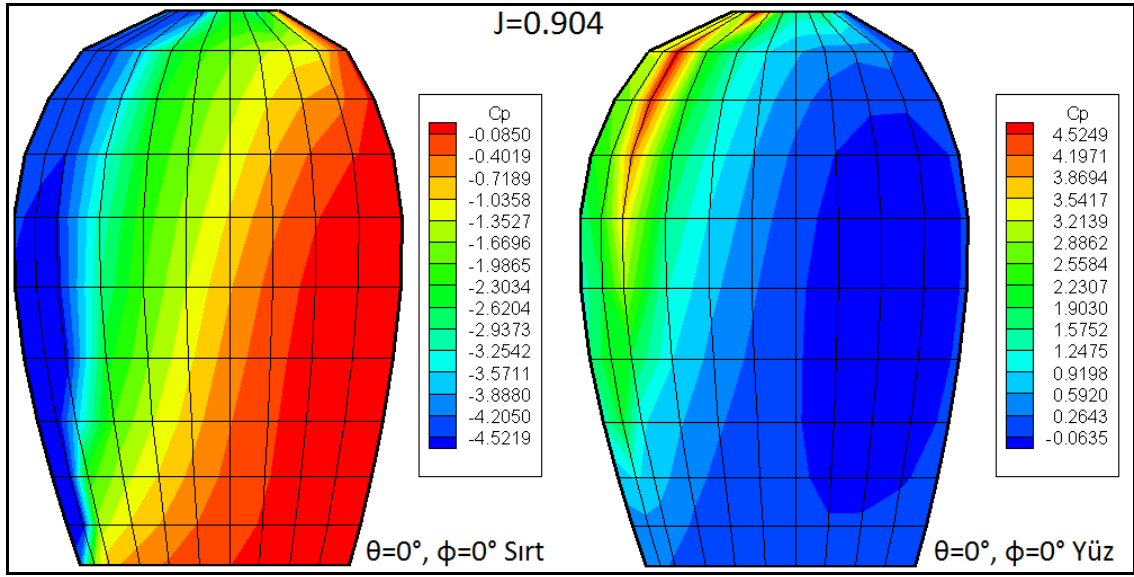


Şekil 5. 5 Farklı çalışma koşullarında Seiun-Maru CP pervanesinin tabaka kavitasyonu hacimleri

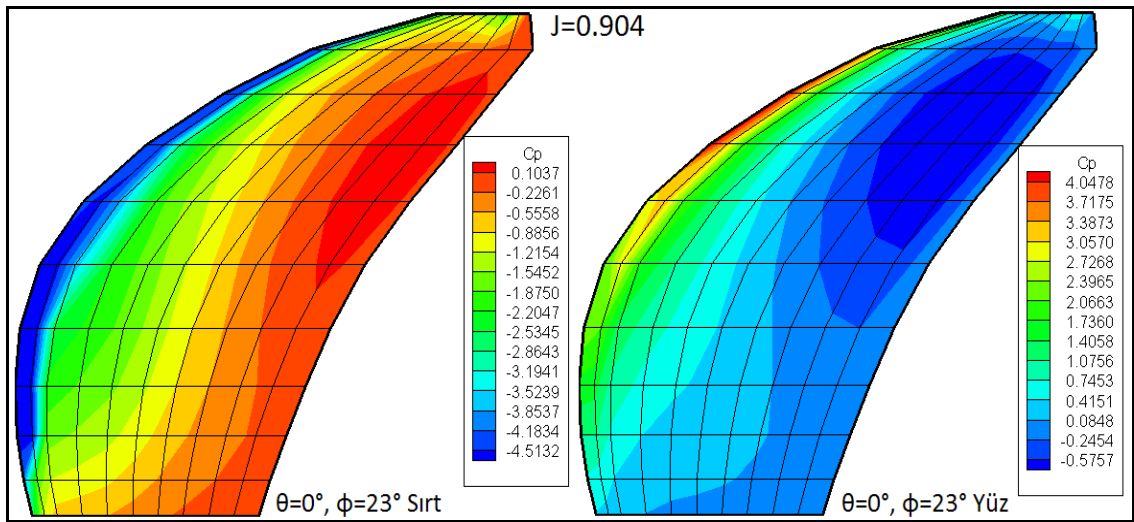
Şekil 5.4 ve Şekil 5.5’ te görüldüğü ve beklenildiği üzere, eğiklik açısı sabit iken çalıklık açısı arttıkça pervanenin tabaka kavitasyonu alanları ve hacimleri tüm durumlarda azalmaktadır. Ayrıca, çalıklık açısı arttıkça tabaka kavitasyonu alanı ve hacminde meydana gelen dalgalanmanın azaldığı görülmektedir. En düşük kavitasyon alanı ve hacmi ise çalıklık açısı 23° iken elde edilmiştir (Bakınız Ek B). Şekil 5.6’da, $J=0.904$ ilerleme sayısında, kanat dik durumda iken 0° ve 23° çalıklık açılarında pervane kanadına ait kavitasyon formlarının tecplot [38] programından elde edilmiş görüntüsü gösterilmektedir. Bu şekilden görüleceği üzere, çalıklığın artması kavitasyon formunda belirgin biçimde bir azalma meydana getirmektedir. Şekil 5.7 ve Şekil 5.8’de ise sırasıyla 0° ve 23° çalıklık açılarında pervane kanadının sırt (emme tarafı) ve yüz (basınç) tarafında oluşan basınç dağılımının tecplot [38] programından elde edilmiş görüntüsü gösterilmektedir ($J=0.904$ ve $\theta=0^\circ$).



Şekil 5. 6 Farklı çalışma koşullarında Seiyun-Maru pervanesinin tabaka kavitasyonu alanları

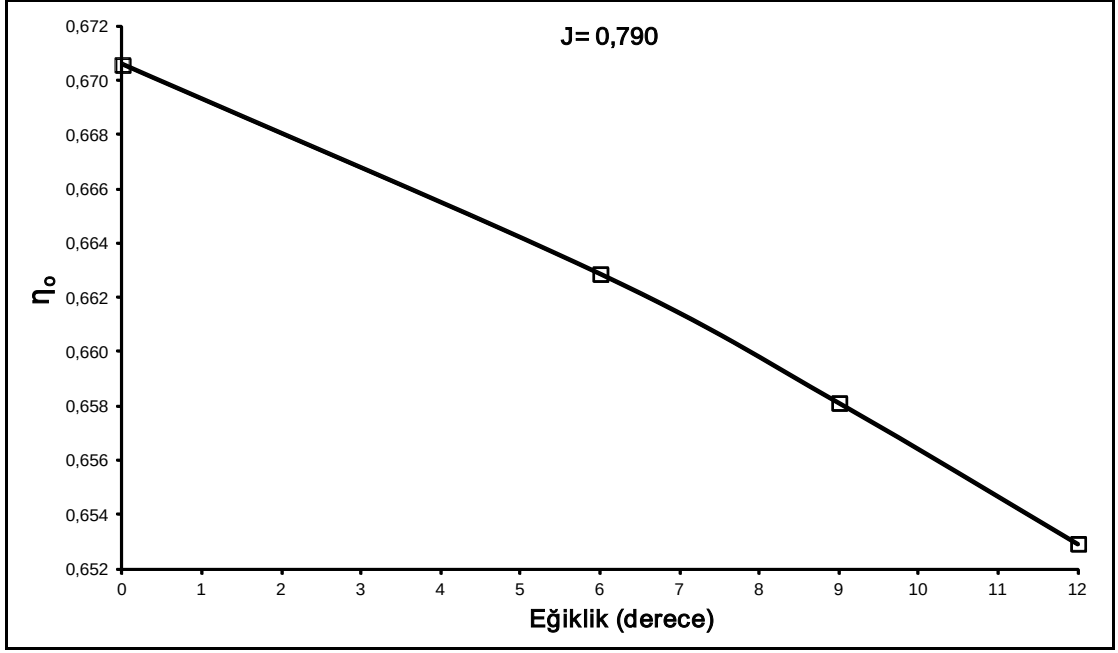


Şekil 5. 7 Seiu-Maru CP pervanesine ait kanat üzerindeki basınç dağılımı ($\phi=0^\circ$)



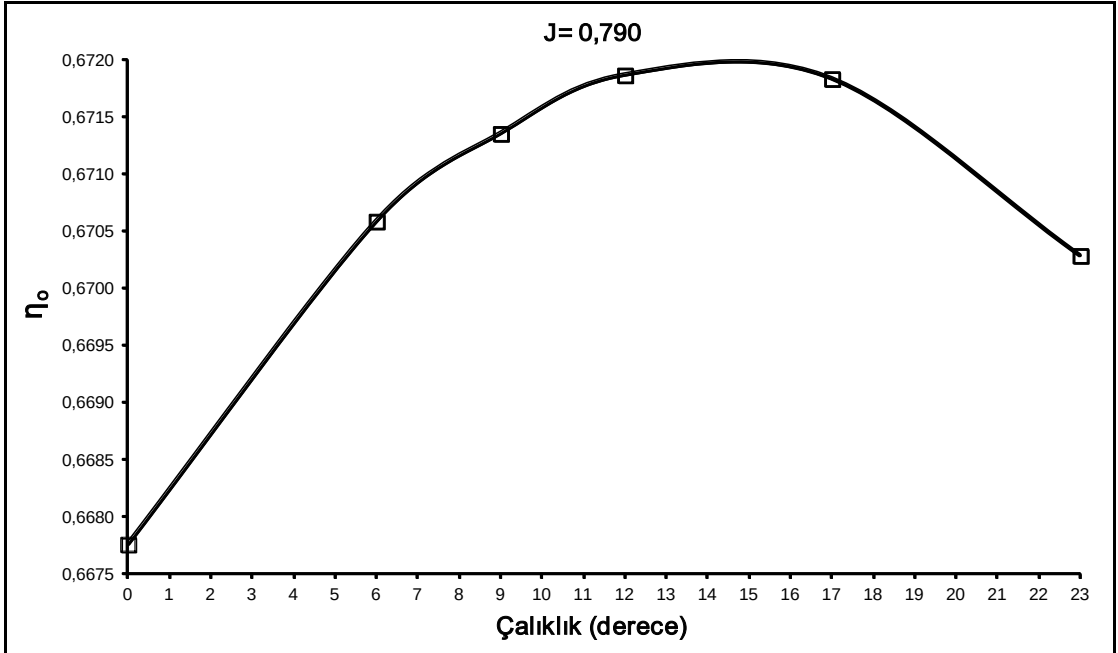
Şekil 5. 8 Seiu-Maru CP pervanesine ait kanat üzerindeki basınç dağılımı ($\phi=23^\circ$)

Sadece eğiklik açısı değişiminin tek başına pervane verimine etkisini incelemek için orijinal Seiu-Maru pervanesinin çalıklık açısı sabit tutularak dört değişik eğiklik açısındaki geometrilerinin hesapları $J=0.790$ çalışma koşulunda gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar Şekil 5.9'da verilmektedir.



Şekil 5. 9 Orijinal çalıklıktaki Seiun-Maru pervanesinin farklı eğiklik açılarında ve $J=0.790$ çalışma koşuluna ait verim değerleri

Yine sadece çalıklık açısı değişiminin tek başına pervane verimine etkisini incelemek için orijinal Seiun-Maru pervanesinin eğiklik açısı sabit tutularak dört değişik çalıklık açısındaki geometrilerinin $J=0.790$ çalışma koşulundaki verimleri Şekil 5.10'da verilmektedir.



Şekil 5. 10 Orijinal eğiklikteki Seiun-Maru pervanesinin farklı çalıklık açılarında ve $J=0.790$ çalışma koşuluna ait verim değerleri

Uygulama 2

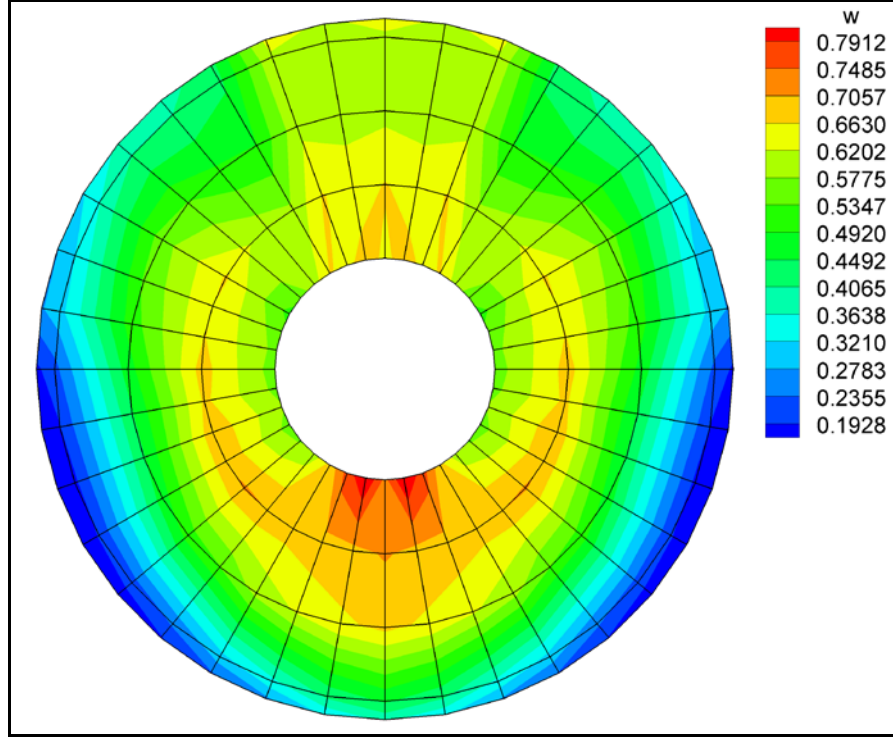
Bu uygulamada tam ölçekteki P1 pervanesi ve bu pervaneden elde edilen farklı geometriler ele alınmıştır. Çalışmada ele alınan P1 pervanesine ait çalışma koşulları Çizelge 5.5'te, geometrisi Çizelge 5.6'da verilmektedir. Pervane 20°'lik bir çalıklığa (skew) sahiptir. Pervanenin çalıştığı ortamdaki nominal iz dağılımının tecplot [38] programından elde edilmiş görüntüsü Şekil 5.11'de gösterilmektedir.

Çizelge 5. 5 P1 pervanesinin çalışma koşulları

Pervaneye verilen güç, P_D (kW)	6090
Dizayn hızı, V_S (Knot)	17.5
Pervane devri, RPM	120
Pervane çapı, D (m)	5.2
Ortalama iz katsayısı	0.76
Kanat sayısı, Z	4
Dönme yönü	Sağa dönüşlü

Çizelge 5. 6 Orijinal P1 pervanesinin geometrisi

Boyutsuz yarıçap (r/R)	Hatve oranı (P/D)	Kord dağılımı (m)	Çalıklık (m)	Eğiklik (m)
0.25	0.888	0.624	-0.017	0.0
0.3	0.883	0.796	-0.091	0.0
0.4	0.879	1.092	-0.179	0.0
0.5	0.870	1.326	-0.189	0.0
0.6	0.865	1.477	-0.119	0.0
0.7	0.883	1.508	0.029	0.0
0.8	0.895	1.456	0.257	0.0
0.9	0.901	1.175	0.564	0.0
0.95	0.904	0.884	0.747	0.0
1.0	0.904	0.000	0.951	0.0

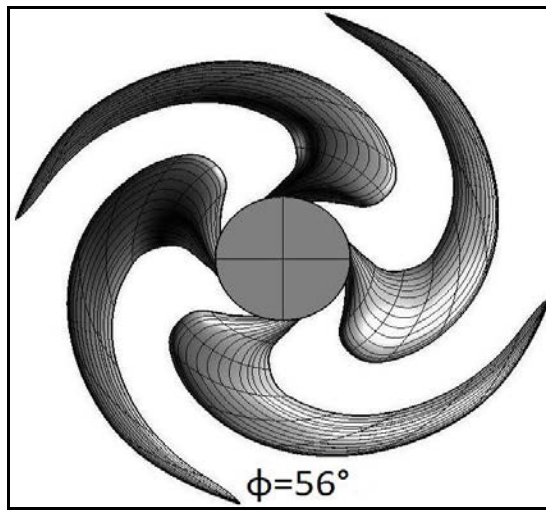
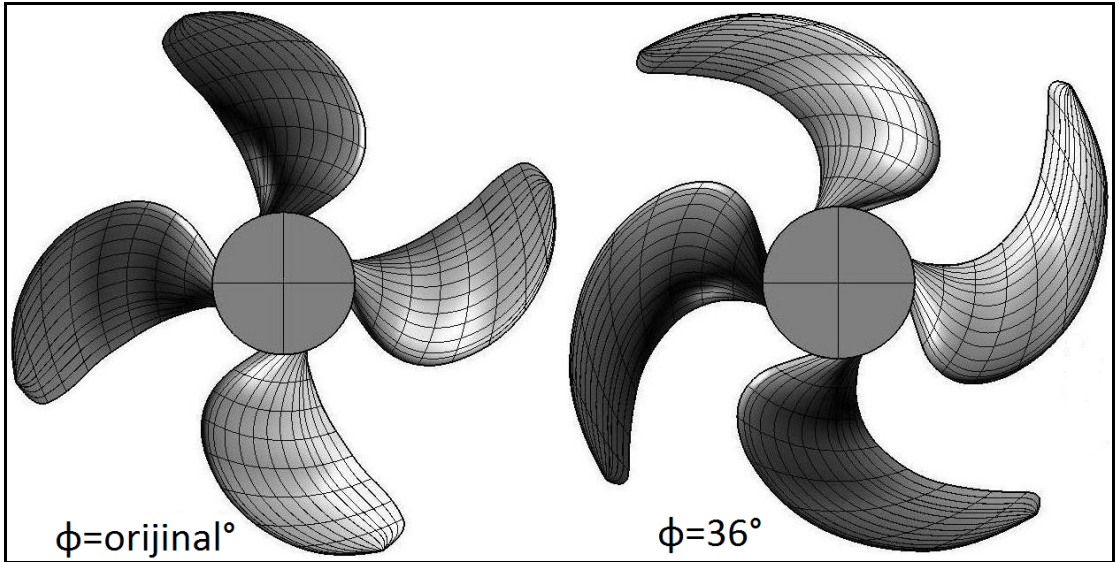
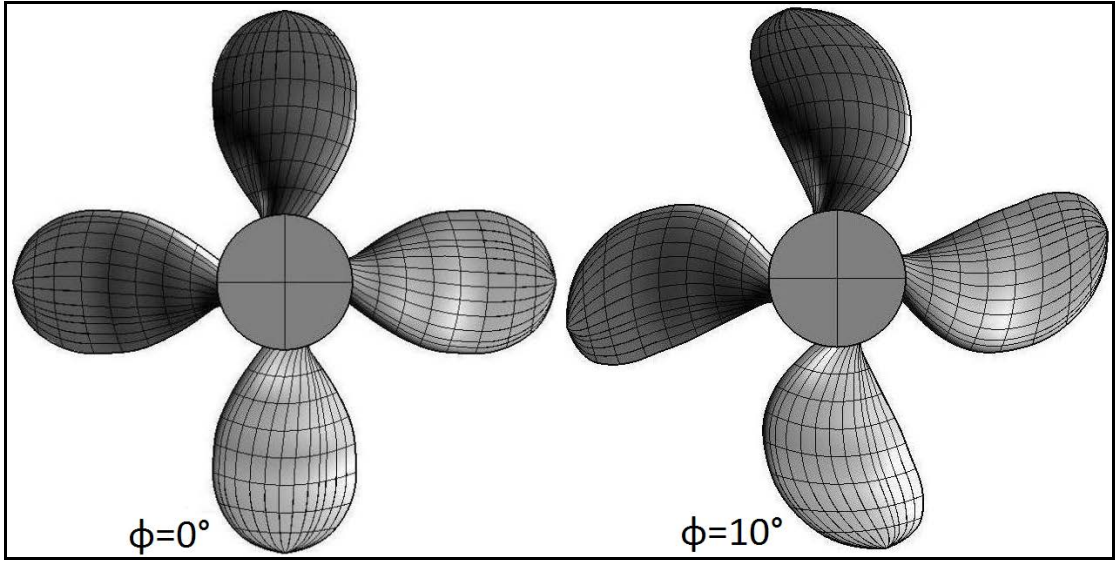


Şekil 5. 11 P1 pervanesine ait nominal iz dağılımı

Analizlerde çalıklığın etkisini göstermek amacı ile orijinal P1 pervanesinin ; çalıklık açıları $\phi=0^\circ$, 10° , 36° ve 56° olacak şekilde değiştirilerek farklı pervane geometrileri elde edilmiştir. Orijinal P1 pervanesinden türetilmiş yeni pervanelere ait çalıklık miktarları boyutsuz yarıçap değerlerine göre metre cinsinden Çizelge 5.7’de verilmiştir. Ayrıca, çalıklığı değiştirilerek türetilen yeni pervanelerin rhino3d [39] programında modellenen geometrileri Şekil 5.12’te gösterilmektedir.

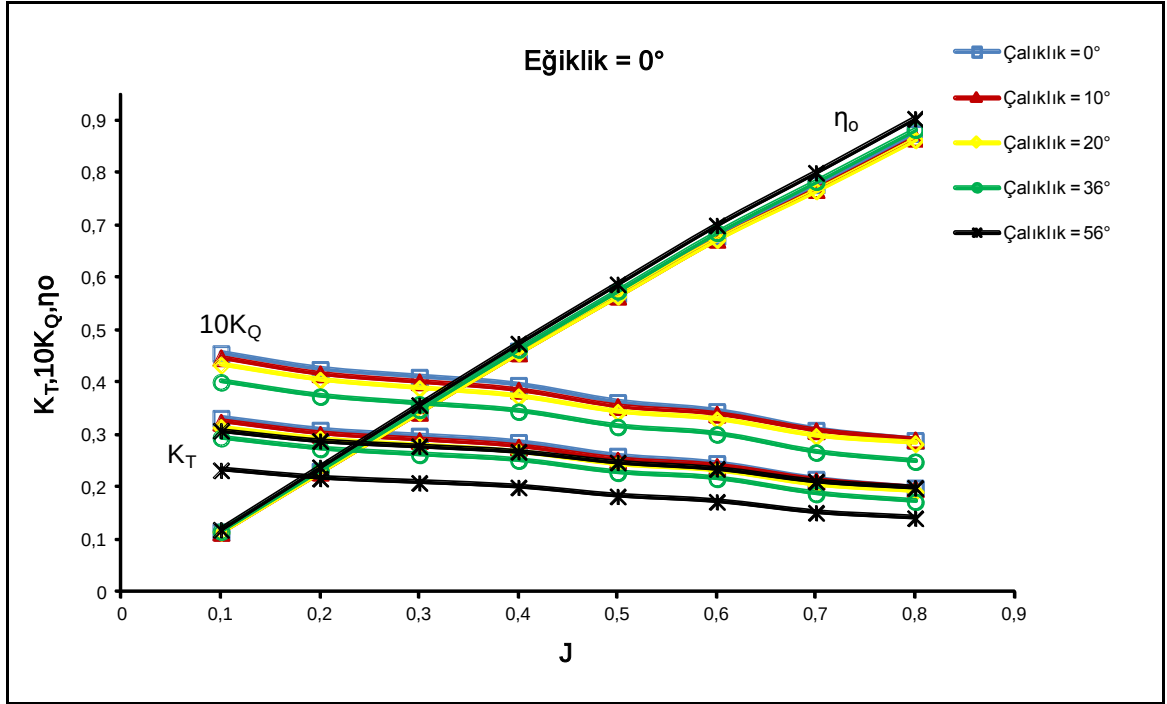
Çizelge 5. 7 Orijinal P1 pervanesinin yeni çalıklık miktarları

r/R	0.25	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	0.95	1
$\phi=0^\circ$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
$\phi=10^\circ$	-0.008	-0.045	-0.090	-0.095	-0.060	0.015	0.128	0.282	0.374	0.476
$\phi=\text{orijinal}^\circ$	-0.017	-0.091	-0.179	-0.189	-0.119	0.029	0.257	0.564	0.747	0.951
$\phi=36^\circ$	-0.033	-0.181	-0.358	-0.378	-0.238	0.058	0.514	1.128	1.494	1.902
$\phi=56^\circ$	-0.066	-0.363	-0.716	-0.756	-0.476	0.116	1.028	2.256	2.988	3.804



Şekil 5. 12 Çeşitli çalıklık açlarına sahip P1 pervaneleri

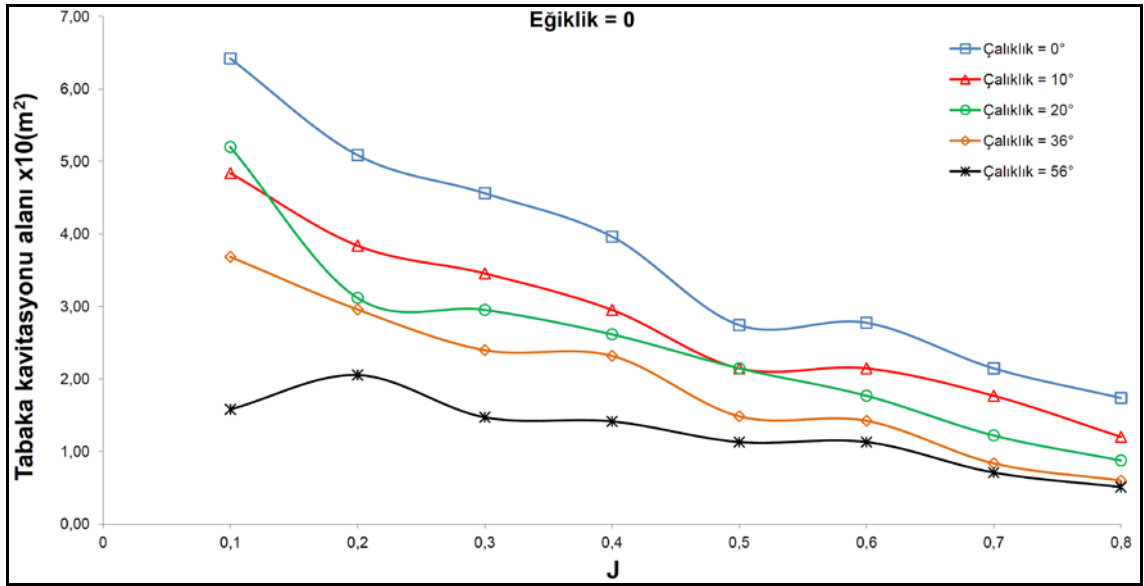
Orijinal P1 pervanesi ve türetilen yeni pervaneler için tüm hesaplamalar sekiz farklı ilerleme sayısı ($J=0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7$ ve 0.8) için gerçekleştirilmiştir. Beş adet farklı çalıklık açısına göre toplam $5 \times 8 = 40$ adet analiz gerçekleştirilerek sonuçlar elde edilmiş ve Şekil 5.15'te gösterilmiştir. Burada; tüm çalıklık açılarının, pervanenin performans karakteristiklerine (itme katsayısı (K_T), tork katsayısı (K_Q) ve verim (η_o)) olan etkileri değişik ilerleme sayılarına bağlı olarak verilmektedir.



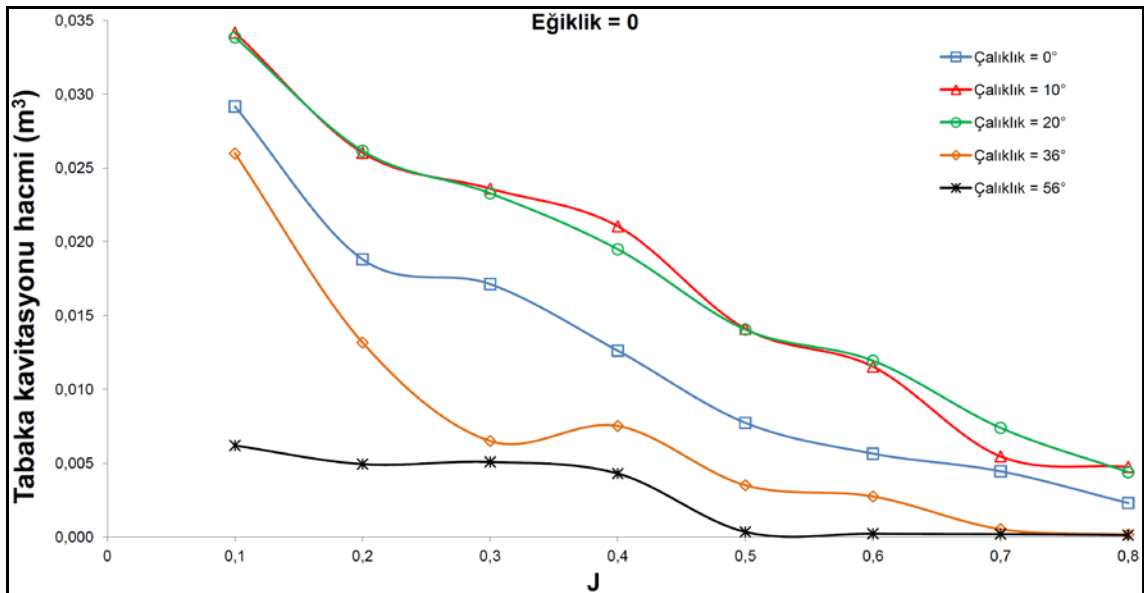
Şekil 5. 13 Farklı çalıklık açılarında P1 pervanesinin performans karakteristikleri

Şekil 5.13'te de görüldüğü gibi ilerleme katsayıları ve çalıklık açısı arttıkça itme ve tork katsayıları azalma göstermektedir. Ayrıca çalıklık açısı arttıkça genelde verim artışı görülmektedir. En yüksek verim $J=0.8$ koşulunda $\eta_o = 0.904699$ olarak, eğiklik açısı 0° ve çalıklık açısı 56° iken elde edilmiştir. Şekil 5.13'te verilen grafikten çıkarılabilecek bu sonuçlar, Ek C'de verilen sayısal değerler yardımı ile daha iyi anlaşılmaktadır.

Çalıklığın kavitasyona olan etkisini göstermek amacıyla söz konusu çalışma koşullarında, kanat dik durumda iken ($\theta=0^\circ$ kanat pozisyonu) oluşan tabaka kavitasyonu alanları ve hacimleri sırası ile Şekil 5.14 ve Şekil 5.15'te verilmektedir.



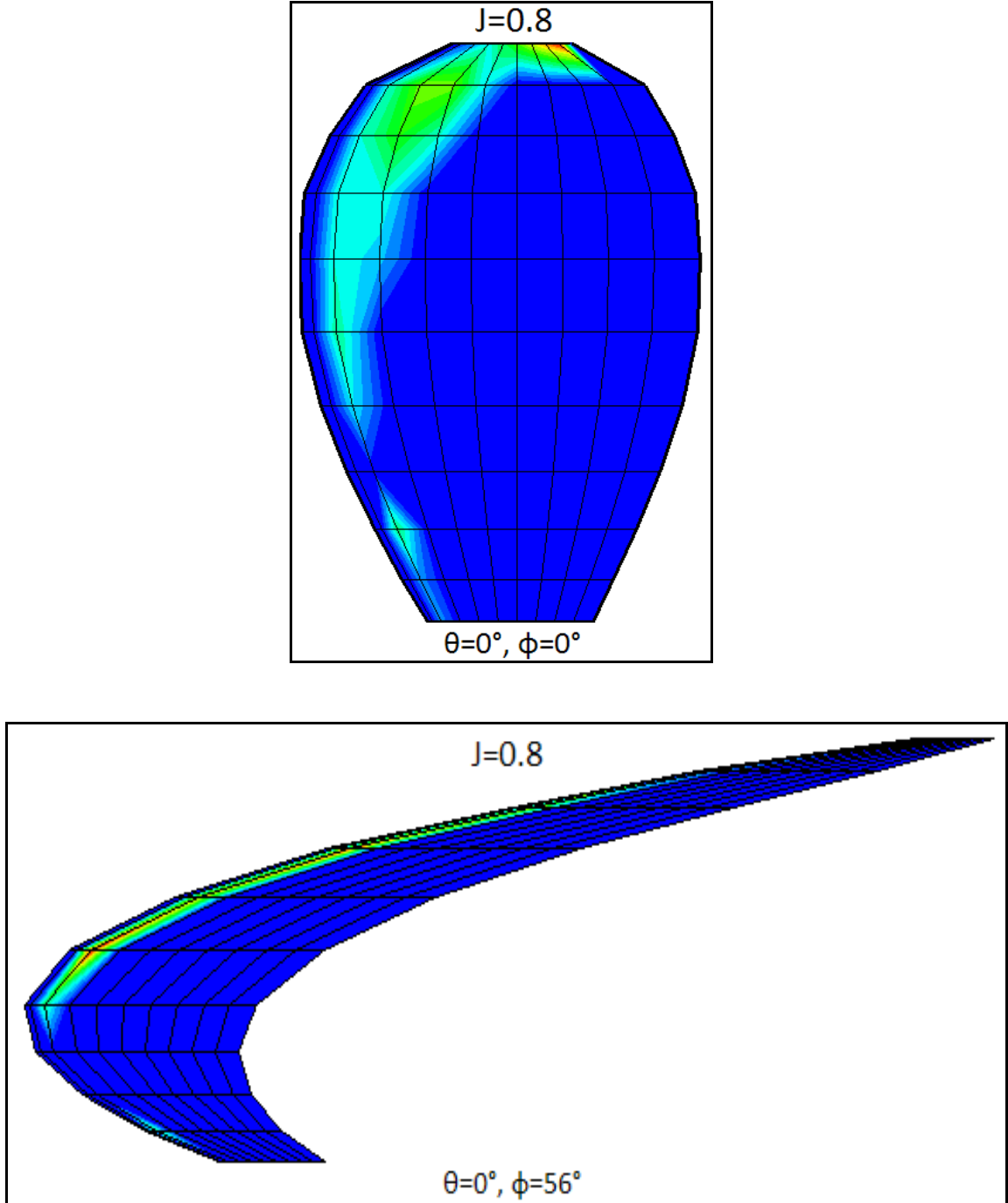
Şekil 5. 14 Farklı çalışma koşullarında P1 pervanesinin tabaka kavitasyonu alanları



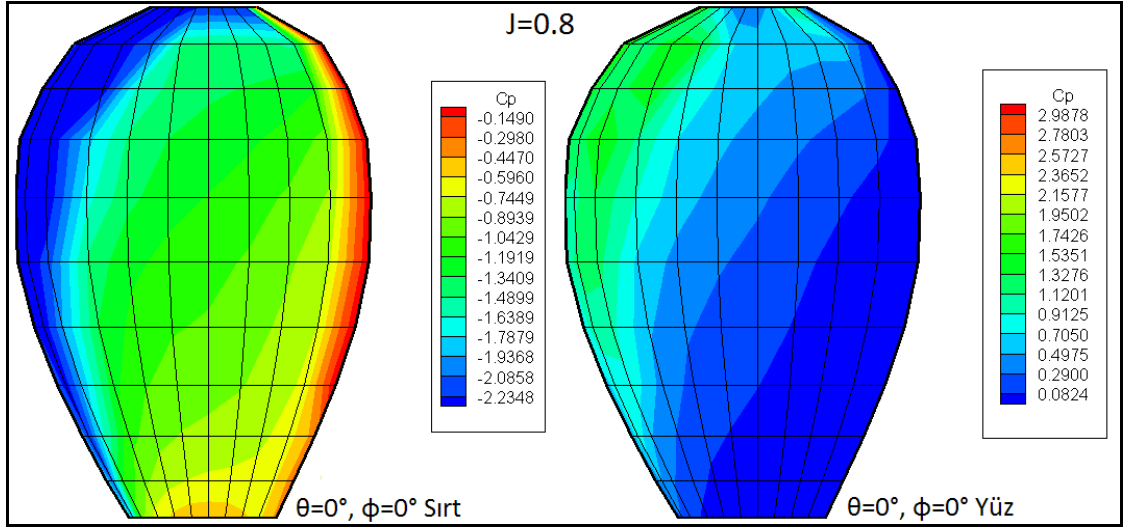
Şekil 5. 15 Farklı çalışma koşullarında P1 pervanesinin tabaka kavitasyonu hacimleri

Şekil 5.14 ve Şekil 5.15' te görüldüğü ve beklenildiği üzere, çalıklık açısı arttıkça pervanesinin tabaka kavitasyonu alanları ve hacimleri azalmaktadır. Ayrıca, çalıklık açısı arttıkça tabaka kavitasyonu alanı ve hacminde meydana gelen dalgalanmanın azaldığı görülmektedir. En düşük kavitasyon alanı ve hacmi ise çalıklık açısı 56° iken elde edilmiştir (Bakınız Ek D). Şekil 5.16'da, J=0.8 ilerleme sayısında, kanat dik durumda iken 0° ve 56° çalıklık açılarında pervane kanadına ait kavitasyon formlarının tecplot [38] programından elde edilmiş görüntüsü gösterilmektedir. Bu şekilden görüleceği üzere,

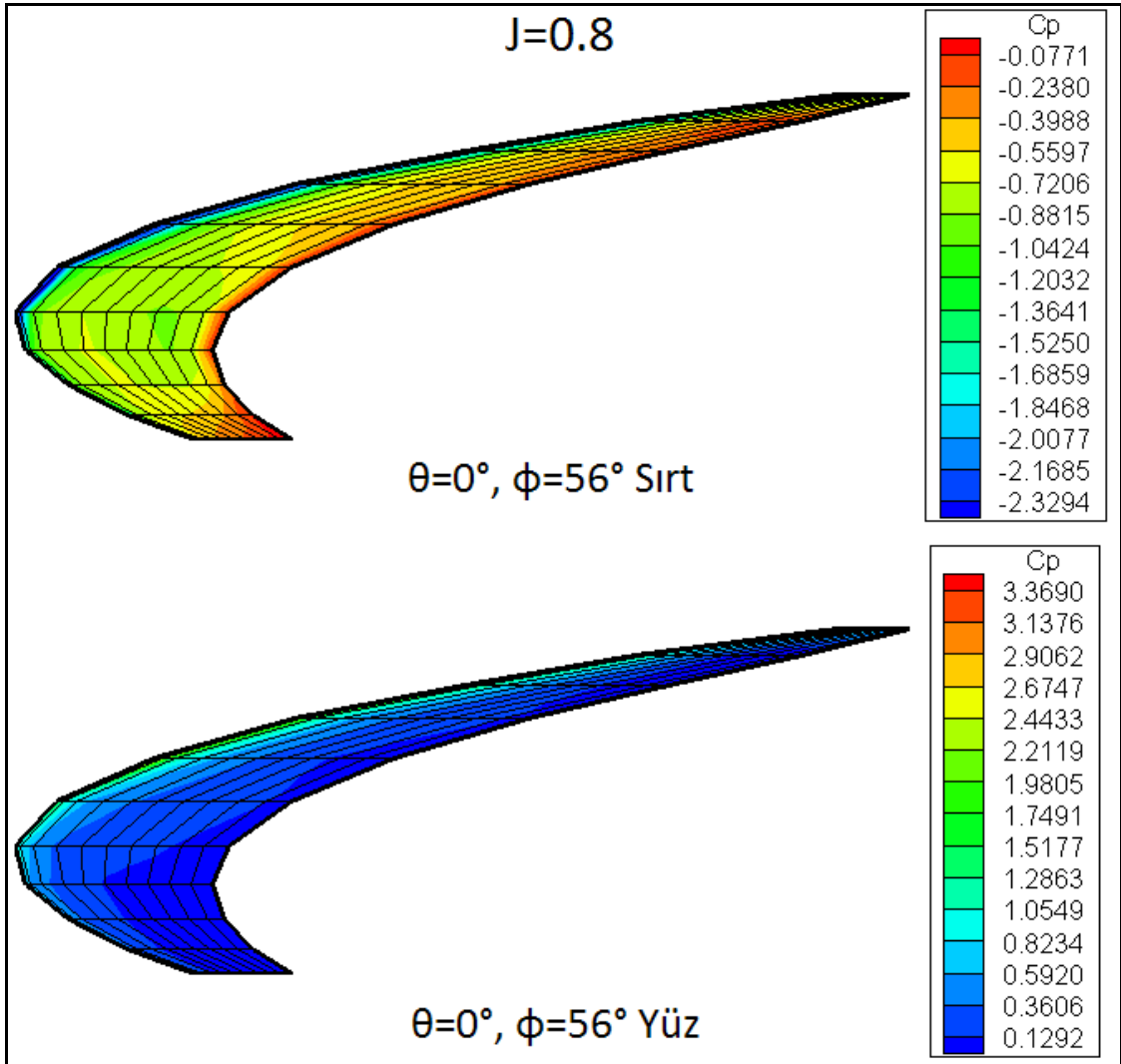
çalıklığın artması kavitasyon formunda belirgin biçimde bir azalma meydana getirmektedir. Şekil 5.17 ve Şekil 5.28’de ise sırasıyla 0° ve 56° çalıklik açılarında pervane kanadının sırt (emme tarafı) ve yüz (basınç) tarafında oluşan basınç dağılımının tecplot [38] programından elde edilmiş görüntüsü gösterilmektedir ($J=0.8$ ve $\theta=0^\circ$).



Şekil 5. 16 Farklı çalışma koşullarında P1 pervanesinin tabaka kavitasyonu alanları

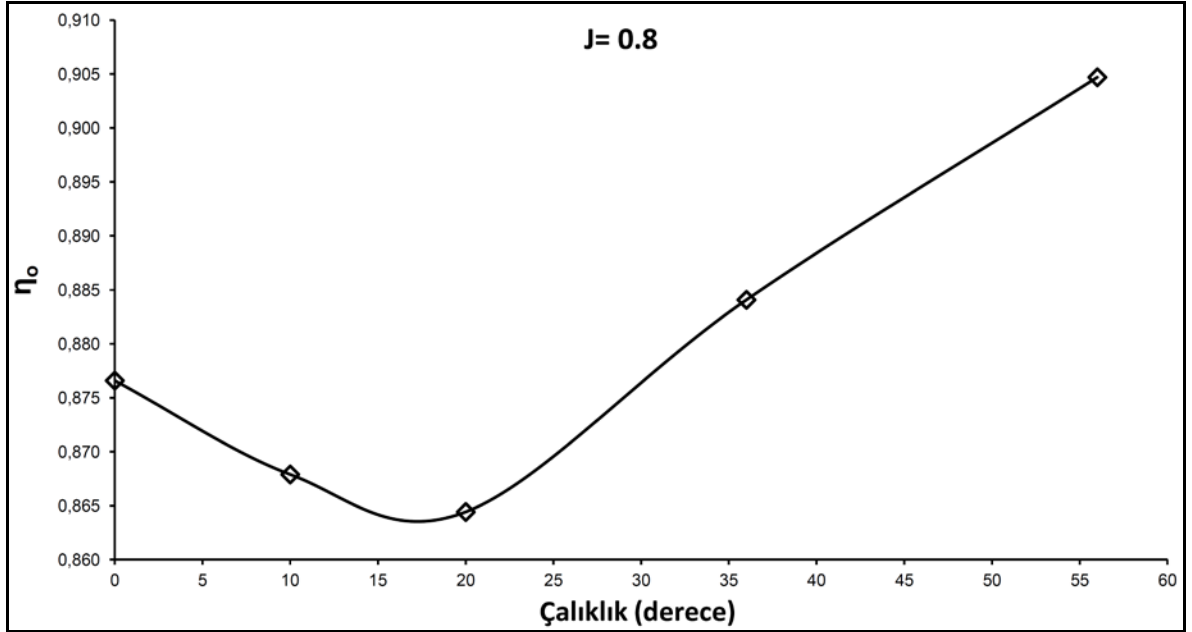


Şekil 5. 17 Çalıklık açısı 0° olan P1 pervanesi kanadı üzerinde basınç dağılımı



Şekil 5. 18 Çalıklık açısı 56° olan P1 pervanesi kanadı üzerinde basınç dağılımı

Sadece çalıklik açısı değışiminin tek başına pervane verimine etkisini incelemek için orijinal P1 pervanesinin dört değışik çalıklik açısındaki geometrilerinin $J=0.8$ çalışma koşulundaki verimleri Şekil 5.19’de verilmektedir.



Şekil 5. 19 P1 pervanesinin farklı çalıklik açılarında ve $J=0.8$ çalışma koşuluna ait verim değerleri

Şekil 5.19’ da görüldüğü üzere, $J=0.8$ ilerleme sayısında, orijinal pervanenin çalıklik açısı (20°) arttıkça pervane veriminde belirgin bir artış görülmektedir; ancak çalıklik açısının azalmasıyla beraber verimde düşme yerine artış görülmektedir. Bu da pervane tasarımında çalıklik optimizasyonun önemli olduğunu birkez daha göstermektedir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, çalıklık açısının pervanelerde itme, tork, verim, kavitasyon gibi hidrodinamik karakteristiklerine olan etkileri sayısal olarak incelenmiştir. Hesaplamalarda kullanılmak üzere tam ölçekte Seiun-Maru CP pervanesi ile P1 pervanesi seçilmiştir ve temeli Szantyr'ın kaldırıcı yüzey metoduna dayalı ve geliştirilmekte olan bir metod kullanılmıştır. Her iki pervane ana pervane kabul edilerek farklı çalıklık açılarında (Seiun-Maru CP pervanesinde eğiklik açılarının etkisi de incelenmiştir) yeni pervane geometrileri türetilmiştir. Türetilen bu yeni pervanelerin hidrodinamik karakteristikler ve kavitasyon yönünden değişimleri sayısal olarak analiz edilmiş ve elde edilen sonuçlar şu şekilde özetlenmiştir.

Eğiklik açısı sabit iken çalıklık açısı arttıkça Seiun-Maru CP pervanesinde kayda değer bir verim artışı olmamasına rağmen P1 pervanesinde %4'e varan verim artışı görülmektedir. Seiun-Maru CP pervanesi için en yüksek verim $J=0.847$ koşulunda $\eta_o=0.673604$ olarak, eğiklik açısı 0° ve çalıklık açısı 17° iken elde edilmiştir. P1 pervanesi için en yüksek verim $J=0.8$ koşulunda $\eta_o=0.904699$ olarak, eğiklik açısı 0° ve çalıklık açısı 56° iken elde edilmiştir. Bunun yanında her iki pervanenin de tabaka kavitasyonu alanları tüm durumlarda azalmaktadır. Seiun-Maru CP pervanesi için en düşük kavitasyon alanı eğiklik = 0° ve çalıklık = 23° iken elde edilmiştir. P1 pervanesi için de en düşük kavitasyon alanı eğiklik = 0° ve çalıklık = 56° iken elde edilmiştir. Seiun-Maru CP pervanesinde çalıklık açısı sabit tutulup eğiklik açısı arttırıldığında verimin az miktarda azaldığı görülmüştür.

Sonuç olarak çalıklık açısının artışının pervane kanadı kavitasyon karakteristiği üzerindeki olumlu etkisi görülmüştür. Bununla birlikte çalıklık açısının devamlı artışı her

pervanede aynı oranda verim artışı sağlamadığı görülmüştür. Bunun nedeni ise pervanenin çalışmış olduğu ortamdaki iz dağılımının değişiklik göstermesidir.

KAYNAKLAR

- [1] Henderson, R.E., (1962). "A Method for the Design of a Skewed Marine Propeller Based on Weissinger's L-Method", Pennsylvania State Univ. University Park Ordnance Research Lab., 04 October 1962.
- [2] 12 enormous propellers: Early highly-skewed ships propeller <http://www.oobject.com/12-enormous-propellers/early-highly-skewed-ships-propeller/6345/>, May 2011
- [3] Nelka, J. J., (1974). "Experimental Evaluation of a Series of Skewed Propellers with Forward Rake: Open Water Performance, Cavitation Performance, Field-Point Pressures, and Unsteady Propeller Loading", Naval Ship Research and Development Center Bethesda MD 20034 USA, July 1974.
- [4] Boswell, R J. ve Cox, G G., (1974). "Design and Evaluation of a Highly Skewed Propeller for a Cargo Ship", Naval Ship Research and Development Center Washington DC USA, February 1974.
- [5] Photos of a Ghadir class submarine under construction at a Bandar Abbas shipyard, August 2010 <http://www.uskowioniran.com/2010/08/ghadir-class-submarine-construction.html> , June 2011
- [6] Valentine, D. T., ve Chase, A., (1976). "Highly Skewed Propeller Design for a Naval Auxiliary Oiler (AO 177)", David W. Taylor Naval Ship Research and Development Center Bethesda MD Ship Performance Department, September 1976.
- [7] Parsons ve Greenblatt (1978). "Optimization of Propeller Skew Distribution to Minimize the Vibratory Forces and Moments Acting at the Propeller Hub", University of Michigan Department of Naval Architects and Marine Engineers Ann Arbor, MI 48109 USA, December 1978, 66.
- [8] Berg, A (1980). "How Highly Skewed Propellers Reduce Noise and Vibration", British Ship Research Association Marine Engineers Review, August 1980 ,19.
- [9] Mautner, T. S., (1987). "A Propeller Skew Optimization Method", Naval Ocean Systems Center San Diego Ca, November 1987.
- [10] Zhang, Z. ve Wang Y., (1994). "Comparitive Study on the Performance of Highly Skewed Propeller Designed Theoretically with Results from Model Tests", British Maritime Technology - Ship Engineering, 1994, 13.

- [11] Zhang, Z. vd., (1994). "Performance and Pressure Distribution on Blade of Highly Skewed Propellers By Using Unsteady Lifting Surface Theory", Journal of China National Knowledge Infrastructure - Ship Engineering, June 1994.
- [12] Hanjin, H., (1996). "Systematic Testing and Study On Highly Skewed Propellers With High Efficiency and Lower Exciting Force For Refrigerated Container Ships", Journal of China National Knowledge Infrastructure - Ship Engineering, April 1996.
- [13] Ye, YX. ve Yang, CP., (1996). "Hydrodynamic Design Method for Highly Skewed Propeller and Its Validation", Hydrodynamics: Theory and Applications, 1996 1:319-324.
- [14] Kubo, H., (1996). Marine Propellers: The Latest Topics. Artificial Organs, February 1996, 20:109-113.
- [15] Yue, Y.L. vd., (1997). "Study of Surveying Dynamic Deformation of Rotating Propeller in Water Tunnel", : Proceedings of SPIE, the International Society for Optical Engineering, 1997, 2921:622-627.
- [16] Ganea, B., (1998). "Marine Propeller Hydroelasticity by Means of the Finite/Boundary Element Method a Preliminary Approach", Practical Design of Ships and Mobile Units, 1998, 11:671-675.
- [17] Tingshou, T. ve Dexun, W., (2000). "Prediction of Hydrodynamic Performance of Highly Skewed Propeller", Journal of Wuhan University of Technology-Transportation Science & Engineering, February 2000.
- [18] Searle, S. vd., (2001). "Experimental Investigation of a Highly Skewed Propeller In Ice", Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering-Transactions of the Asme, November 2001, 123:191-197.
- [19] Funeno, I., (2002). "Analysis of Unsteady Viscous Flows around a Highly Skewed Propeller", Journal of the Kansai Society of Naval Architects, 237:39-45.
- [20] Kamome Controllable Pitch Propellers: B-type Series <http://www.kamome-propeller.co.jp/en/products/propeller/cpp/b-type/> , July 2011
- [21] Moores, C., (2002). "Experimental Results of Two Highly Skewed Propellers in Ice: Blade and Shaft Load Measurements", NRC Institute for Ocean Technology; National Research Council Canada, June 2002.
- [22] Felli, M., (2005). "Propeller Wake Analysis In Non-uniform Inflow by LDV Phase Sampling Techniques", Journal of Marine Science and Technology, 2005, 10:159-172.
- [23] Da-Qing LI., (2006). "Validation of RANS Predictions of Open Water Performance of a Highly Skewed Propeller with Experiments", Journal of Hydrodynamics, Ser. B, July 2006, 18:520-528.
- [24] Dymarski, P., (2008). "Computations of the Propeller Open Water Characteristics Using the SOLAGA Computer Program. Predictions of the

- Cavitation Phenomenon”, Archives of Civil and Mechanical Engineering, 2008, 8:17-28.
- [25] Yang Q. vd., (2008). “Ranse’s Simulation of Highly Skewed Propeller's Open Water Performances”, Journal of Hunan University of Science & Technology (Natural Science Edition), April 2008.
 - [26] Ghassemi, H., (2009) “The Effect of Wake Flow and Skew Angle on the Ship Propeller Performance”, Scientia Iranica Transaction B: Mechanical Engineering, April 2009, 16:149-158.
 - [27] Yang, R. vd., (2010). “Numerical Simulation on the Open-Water Performance and Flow Fields of the High-Skew Propeller”, Journal of Ship Mechanics China Ship Scientific Research Center, August 2010.
 - [28] Liu, P. ve Doucet, M., (2010). “PROPELLA Cavitation Assessment for a Family of Skewed Propellers”, Institute for Ocean Technology, National Research Council Canada, March 2010.
 - [29] BIN JI. vd., (2011). “Unsteady Numerical Simulation of Cavitating Turbulent Flow Around a Highly Skewed Model Marine Propeller”, American Society of Mechanical Engineers Journal of Fluids Engineering, 2011, 133(1).
 - [30] Carlton, J.S., (1994). Marine Propellers & Propulsion, Butterworth-Heinemann Ltd., Oxford, UK.
 - [31] Güner, M., Kükner, A. ve Baykal, M.A., (1999). Gemi Pervaneleri Ve Sevk Sistemleri, İTÜ Kütüphanesi, Sayı: 1610.
 - [32] Gerr, D., (1989). Propeller Handbook, Nautical, London
 - [33] Yılmaz, T., (2008). Gemi Mühendisliği El Kitabı, Gemi Mühendisleri Odası, İstanbul.
 - [34] Brownlie, K., (1998). Controllable Pitch Propellers, Institute of Marine Engineers,
 - [35] SVA – Propeller design for the fishery research vessel „Solea“, <http://www.sva-potsdam.de/propeller-design.html> ,August 2011
 - [36] Arleigh Burke class Aegis destroyer USS *Curtis Wilbur* (DDG-54) <http://harpforum.com/harpforum/lofiversion/index.php?t3605.html>, September 2011
 - [37] Ekinci, S., (2007). Gemi Pervane Yüzeyinde Tabaka Kavitasyonunun Sayısal Olarak İncelenmesi, Doktora Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
 - [38] Tecplot User Guide, (2011), Corporate Office Tecplot, Inc. , Bellevue, USA.
 - [39] Rhino User Guide, (2004), Corporate Office Rhino3d, Seattle, USA.

SEIUN-MARU CP PERVANESİNE AİT PERFORMANS KARAKTERİSTİKLERİ
ANALİZ SONUÇLARI

Durum 1 R=0°, S=0°							
V_s	V_A (m/s)	J	T (kN)	Q (kNm)	K_T	K_Q	η₀
2	1,52	0,23	215,190	119,353	0,358092	0,055170	0,233456
2,5	1,90	0,28	204,353	114,121	0,340059	0,052752	0,289829
3	2,28	0,34	190,299	107,361	0,316672	0,049627	0,344269
3,5	2,66	0,40	177,169	101,061	0,294823	0,046715	0,397246
4	3,04	0,45	164,522	94,978	0,273777	0,043903	0,448588
4,5	3,42	0,51	151,552	88,741	0,252194	0,041020	0,497550
5	3,80	0,56	138,109	82,261	0,229824	0,038025	0,543482
5,5	4,18	0,62	124,346	75,620	0,206921	0,034955	0,585524
6	4,56	0,68	109,834	68,600	0,182772	0,031710	0,621944
6,5	4,94	0,73	94,874	61,358	0,157877	0,028362	0,650694
7	5,32	0,79	79,230	53,772	0,131845	0,024856	0,667757
7,5	5,70	0,85	63,349	46,056	0,105417	0,021289	0,667885
8	6,08	0,90	47,507	38,338	0,079055	0,017721	0,641808
8,5	6,46	0,96	31,680	30,603	0,052718	0,014146	0,569675
Durum 2 R=0°, S=orijinal							
V_s	V_A (m/s)	J	T (kN)	Q (kNm)	K_T	K_Q	η₀
2	1,52	0,23	221,197	123,245	0,368088	0,056969	0,232395
2,5	1,90	0,28	209,730	117,651	0,349006	0,054383	0,288531
3	2,28	0,34	195,564	110,758	0,325433	0,051197	0,342943
3,5	2,66	0,40	182,584	104,450	0,303833	0,048281	0,396104
4	3,04	0,45	169,501	98,088	0,282062	0,045340	0,447511
4,5	3,42	0,51	156,092	91,556	0,259749	0,042321	0,496699
5	3,80	0,56	142,298	84,825	0,236795	0,039210	0,543040
5,5	4,18	0,62	127,851	77,764	0,212754	0,035946	0,585430
6	4,56	0,68	112,935	70,463	0,187932	0,032571	0,622595
6,5	4,94	0,73	97,440	62,863	0,162147	0,029058	0,652293
7	5,32	0,79	81,273	54,926	0,135244	0,025389	0,670584
7,5	5,70	0,85	64,615	46,730	0,107524	0,021601	0,671407
8	6,08	0,90	47,802	38,439	0,079546	0,017768	0,644097
8,5	6,46	0,96	31,096	30,171	0,051746	0,013946	0,567180

Durum 3 R=0°, S=9°							
V _s	V _A (m/s)	J	T (kN)	Q (kNm)	K _T	K _Q	η ₀
2	1,52	0,23	223,006	124,477	0,371099	0,057539	0,231977
2,5	1,90	0,28	210,541	118,377	0,350356	0,054719	0,287870
3	2,28	0,34	196,987	111,774	0,327801	0,051667	0,342299
3,5	2,66	0,40	183,980	105,425	0,306157	0,048732	0,395441
4	3,04	0,45	170,934	99,047	0,284447	0,045784	0,446925
4,5	3,42	0,51	157,365	92,402	0,261867	0,042712	0,496165
5	3,80	0,56	143,427	85,565	0,238673	0,039552	0,542615
5,5	4,18	0,62	128,817	78,386	0,214361	0,036233	0,585173
6	4,56	0,68	113,878	71,040	0,189502	0,032838	0,622695
6,5	4,94	0,73	98,056	63,238	0,163173	0,029231	0,652524
7	5,32	0,79	81,769	55,198	0,136070	0,025515	0,671352
7,5	5,70	0,85	64,834	46,826	0,107889	0,021645	0,672302
8	6,08	0,90	47,755	38,360	0,079468	0,017732	0,644789
8,5	6,46	0,96	30,627	29,845	0,050966	0,013796	0,564727
Durum 4 R=0, S=12°							
V _s	V _A (m/s)	J	T (kN)	Q (kNm)	K _T	K _Q	η ₀
2	1,52	0,23	224,101	125,307	0,372921	0,057922	0,231572
2,5	1,90	0,28	210,908	118,844	0,350967	0,054935	0,287239
3	2,28	0,34	197,677	112,369	0,328949	0,051942	0,341679
3,5	2,66	0,40	184,675	106,000	0,307313	0,048998	0,394782
4	3,04	0,45	171,524	99,545	0,285429	0,046014	0,446224
4,5	3,42	0,51	158,087	92,930	0,263069	0,042956	0,495610
5	3,80	0,56	143,932	85,956	0,239514	0,039733	0,542049
5,5	4,18	0,62	129,273	78,720	0,215120	0,036388	0,584753
6	4,56	0,68	114,183	71,260	0,190009	0,032939	0,622435
6,5	4,94	0,73	98,403	63,446	0,163750	0,029327	0,652686
7	5,32	0,79	81,987	55,303	0,136433	0,025563	0,671864
7,5	5,70	0,85	64,936	46,842	0,108058	0,021652	0,673129
8	6,08	0,90	47,502	38,161	0,079047	0,017640	0,644717
8,5	6,46	0,96	30,202	29,519	0,050258	0,013645	0,563041
Durum 5 R=0, S=17°							
V _s	V _A (m/s)	J	T (kN)	Q (kNm)	K _T	K _Q	η ₀
2	1,52	0,23	222,644	124,939	0,370496	0,057752	0,230744
2,5	1,90	0,28	209,801	118,629	0,349125	0,054835	0,286249
3	2,28	0,34	197,061	112,368	0,327924	0,051941	0,340617
3,5	2,66	0,40	184,124	105,989	0,306396	0,048993	0,393645
4	3,04	0,45	170,943	99,477	0,284462	0,045983	0,445016
4,5	3,42	0,51	157,304	92,723	0,261766	0,042861	0,494256
5	3,80	0,56	143,474	85,865	0,238752	0,039691	0,540896
5,5	4,18	0,62	128,806	78,575	0,214343	0,036321	0,583716
6	4,56	0,68	113,627	71,013	0,189084	0,032825	0,621559
6,5	4,94	0,73	97,851	63,143	0,162831	0,029187	0,652140
7	5,32	0,79	81,528	54,996	0,135669	0,025422	0,671832
7,5	5,70	0,85	64,413	46,432	0,107188	0,021463	0,673604
8	6,08	0,90	46,811	37,618	0,077897	0,017389	0,644509
8,5	6,46	0,96	29,163	28,750	0,048529	0,013289	0,558214

Durum 6 R=0, S=23°							
V _s	V _A (m/s)	J	T (kN)	Q (kNm)	K _T	K _Q	η ₀
2	1,52	0,23	216,911	121,981	0,360956	0,056385	0,230254
2,5	1,90	0,28	204,476	115,865	0,340263	0,053558	0,285639
3	2,28	0,34	192,180	109,807	0,319802	0,050758	0,339928
3,5	2,66	0,40	179,541	103,564	0,298770	0,047872	0,392835
4	3,04	0,45	166,686	97,198	0,277378	0,044929	0,444108
4,5	3,42	0,51	153,393	90,606	0,255257	0,041882	0,493229
5	3,80	0,56	139,748	83,821	0,232551	0,038746	0,539697
5,5	4,18	0,62	125,471	76,710	0,208793	0,035459	0,582427
6	4,56	0,68	110,685	69,336	0,184188	0,032050	0,620109
6,5	4,94	0,73	95,381	61,686	0,158721	0,028514	0,650692
7	5,32	0,79	79,447	53,716	0,132206	0,024830	0,670284
7,5	5,70	0,85	62,866	45,409	0,104614	0,020990	0,672237
8	6,08	0,90	45,861	36,876	0,076316	0,017046	0,644135
8,5	6,46	0,96	28,302	28,051	0,047097	0,012966	0,555232
Durum7 R=orijinal, S=0°							
V _s	V _A (m/s)	J	T (kN)	Q (kNm)	K _T	K _Q	η ₀
2	1,52	0,23	212,459	117,997	0,353548	0,054543	0,233142
2,5	1,90	0,28	201,121	112,522	0,334680	0,052013	0,289299
3	2,28	0,34	186,968	105,713	0,311129	0,048865	0,343516
3,5	2,66	0,40	173,928	99,441	0,289429	0,045966	0,396332
4	3,04	0,45	161,435	93,432	0,268640	0,043188	0,447455
4,5	3,42	0,51	148,224	87,061	0,246656	0,040243	0,496015
5	3,80	0,56	134,688	80,525	0,224131	0,037222	0,541446
5,5	4,18	0,62	120,820	73,812	0,201054	0,034119	0,582857
6	4,56	0,68	106,233	66,744	0,176780	0,030852	0,618281
6,5	4,94	0,73	90,918	59,306	0,151294	0,027414	0,645137
7	5,32	0,79	75,162	51,643	0,125075	0,023872	0,659587
7,5	5,70	0,85	59,199	43,862	0,098512	0,020275	0,655352
8	6,08	0,90	43,252	36,068	0,071975	0,016672	0,621100
8,5	6,46	0,96	27,309	28,245	0,045444	0,013056	0,532072
Durum 8 R=orijinal, S=orijinal							
V _s	V _A (m/s)	J	T (kN)	Q (kNm)	K _T	K _Q	η ₀
2	1,52	0,23	217,841	121,483	0,362504	0,056155	0,232189
2,5	1,90	0,28	205,389	115,419	0,341783	0,053352	0,288023
3	2,28	0,34	191,883	108,850	0,319308	0,050315	0,342386
3,5	2,66	0,40	178,836	102,509	0,297597	0,047384	0,395319
4	3,04	0,45	165,930	96,222	0,276120	0,044478	0,446578
4,5	3,42	0,51	152,242	89,545	0,253342	0,041392	0,495328
5	3,80	0,56	138,540	82,852	0,230541	0,038298	0,541289
5,5	4,18	0,62	123,920	75,697	0,206212	0,034990	0,582925
6	4,56	0,68	108,859	68,311	0,181150	0,031576	0,619031
6,5	4,94	0,73	93,294	60,666	0,155248	0,028042	0,647156
7	5,32	0,79	77,046	52,675	0,128210	0,024349	0,662874
7,5	5,70	0,85	60,261	44,405	0,100279	0,020526	0,658951
8	6,08	0,90	43,480	36,103	0,072354	0,016688	0,623768
8,5	6,46	0,96	26,570	27,716	0,044214	0,012812	0,527554

Durum 9 R=orijinal, S=9°							
V _s	V _A (m/s)	J	T (kN)	Q (kNm)	K _T	K _Q	η ₀
2	1,52	0,23	219,437	122,579	0,365160	0,056661	0,231799
2,5	1,90	0,28	206,335	116,160	0,343357	0,053694	0,287504
3	2,28	0,34	193,057	109,694	0,321261	0,050705	0,341831
3,5	2,66	0,40	180,039	103,343	0,299598	0,047770	0,394767
4	3,04	0,45	166,967	96,945	0,277846	0,044812	0,446018
4,5	3,42	0,51	153,446	90,321	0,255346	0,041750	0,494956
5	3,80	0,56	139,416	83,431	0,231999	0,038565	0,540932
5,5	4,18	0,62	124,816	76,253	0,207703	0,035247	0,582858
6	4,56	0,68	109,609	68,760	0,182398	0,031784	0,619225
6,5	4,94	0,73	93,807	60,965	0,156102	0,028181	0,647523
7	5,32	0,79	77,503	52,911	0,128971	0,024458	0,663831
7,5	5,70	0,85	60,390	44,441	0,100493	0,020543	0,659826
8	6,08	0,90	43,247	35,926	0,071966	0,016607	0,623482
8,5	6,46	0,96	26,213	27,438	0,043620	0,012683	0,525739
Durum 10 R=orijinal, S=12°							
V _s	V _A (m/s)	J	T (kN)	Q (kNm)	K _T	K _Q	η ₀
2	1,52	0,23	220,061	123,095	0,366198	0,056900	0,231483
2,5	1,90	0,28	206,700	116,558	0,343964	0,053878	0,287029
3	2,28	0,34	193,536	110,125	0,322058	0,050905	0,341338
3,5	2,66	0,40	180,508	103,750	0,300379	0,047958	0,394243
4	3,04	0,45	167,370	97,298	0,278516	0,044975	0,445472
4,5	3,42	0,51	153,743	90,596	0,255840	0,041877	0,494409
5	3,80	0,56	139,698	83,672	0,232468	0,038677	0,540464
5,5	4,18	0,62	125,096	76,461	0,208169	0,035344	0,582577
6	4,56	0,68	109,903	68,948	0,182887	0,031871	0,619193
6,5	4,94	0,73	93,920	61,031	0,156290	0,028211	0,647602
7	5,32	0,79	77,472	52,871	0,128919	0,024439	0,664068
7,5	5,70	0,85	60,344	44,361	0,100417	0,020506	0,660513
8	6,08	0,90	43,083	35,762	0,071693	0,016531	0,623966
8,5	6,46	0,96	25,743	27,090	0,042838	0,012522	0,522945
Durum 11 R=orijinal, S=17°							
V _s	V _A (m/s)	J	T (kN)	Q (kNm)	K _T	K _Q	η ₀
2	1,52	0,23	218,338	122,504	0,363331	0,056627	0,230779
2,5	1,90	0,28	205,367	116,144	0,341746	0,053687	0,286194
3	2,28	0,34	192,361	109,723	0,320103	0,050719	0,340508
3,5	2,66	0,40	179,530	103,408	0,298751	0,047800	0,393403
4	3,04	0,45	166,458	96,964	0,276999	0,044821	0,444571
4,5	3,42	0,51	152,851	90,235	0,254356	0,041711	0,493507
5	3,80	0,56	138,817	83,285	0,231002	0,038498	0,539552
5,5	4,18	0,62	124,337	76,099	0,206906	0,035176	0,581797
6	4,56	0,68	109,170	68,555	0,181667	0,031689	0,618589
6,5	4,94	0,73	93,294	60,650	0,155248	0,028035	0,647326
7	5,32	0,79	76,877	52,460	0,127929	0,024249	0,664130
7,5	5,70	0,85	59,887	43,972	0,099656	0,020326	0,661309
8	6,08	0,90	42,228	35,133	0,070271	0,016240	0,622533
8,5	6,46	0,96	24,788	26,371	0,041249	0,012190	0,517274

Durum 12 R=orijinal, S=23°							
V _s	V _A (m/s)	J	T (kN)	Q (kNm)	K _T	K _Q	η ₀
2	1,52	0,23	211,640	118,898	0,352185	0,054960	0,230484
2,5	1,90	0,28	199,115	112,755	0,331342	0,052120	0,285822
3	2,28	0,34	186,718	106,670	0,310713	0,049307	0,339979
3,5	2,66	0,40	174,272	100,542	0,290002	0,046475	0,392767
4	3,04	0,45	161,545	94,258	0,268823	0,043570	0,443836
4,5	3,42	0,51	148,451	87,795	0,247034	0,040583	0,492621
5	3,80	0,56	134,920	81,084	0,224517	0,037481	0,538640
5,5	4,18	0,62	120,650	73,992	0,200771	0,034202	0,580620
6	4,56	0,68	106,078	66,740	0,176522	0,030850	0,617415
6,5	4,94	0,73	90,644	59,054	0,150838	0,027297	0,645937
7	5,32	0,79	74,736	51,114	0,124366	0,023627	0,662636
7,5	5,70	0,85	58,281	42,892	0,096984	0,019827	0,659780
8	6,08	0,90	41,243	34,367	0,068631	0,015886	0,621564
8,5	6,46	0,96	23,953	25,693	0,039860	0,011876	0,513040
Durum 13 R=9°, S=0°							
V _s	V _A (m/s)	J	T (kN)	Q (kNm)	K _T	K _Q	η ₀
2	1,52	0,23	210,086	116,790	0,349599	0,053985	0,232921
2,5	1,90	0,28	198,702	111,288	0,330655	0,051442	0,288989
3	2,28	0,34	184,449	104,429	0,306937	0,048272	0,343055
3,5	2,66	0,40	171,673	98,283	0,285677	0,045431	0,395803
4	3,04	0,45	159,154	92,262	0,264844	0,042647	0,446727
4,5	3,42	0,51	145,956	85,899	0,242882	0,039706	0,495032
5	3,80	0,56	132,362	79,318	0,220260	0,036664	0,540193
5,5	4,18	0,62	118,506	72,607	0,197203	0,033562	0,581181
6	4,56	0,68	103,836	65,486	0,172791	0,030270	0,615939
6,5	4,94	0,73	88,698	58,131	0,147600	0,026871	0,642106
7	5,32	0,79	72,864	50,421	0,121251	0,023307	0,654918
7,5	5,70	0,85	56,891	42,620	0,094671	0,019701	0,648154
8	6,08	0,90	40,910	34,797	0,068077	0,016085	0,608926
8,5	6,46	0,96	24,938	26,951	0,041499	0,012458	0,509205
Durum 14 R=9°, S=orijinal							
V _s	V _A (m/s)	J	T (kN)	Q (kNm)	K _T	K _Q	η ₀
2	1,52	0,23	215,236	120,100	0,358169	0,055515	0,232054
2,5	1,90	0,28	202,505	113,908	0,336984	0,052653	0,287746
3	2,28	0,34	189,106	107,407	0,314687	0,049648	0,341965
3,5	2,66	0,40	176,095	101,073	0,293035	0,046720	0,394791
4	3,04	0,45	163,303	94,838	0,271748	0,043838	0,445922
4,5	3,42	0,51	149,720	88,212	0,249145	0,040775	0,494483
5	3,80	0,56	135,890	81,451	0,226131	0,037650	0,540068
5,5	4,18	0,62	121,510	74,411	0,202202	0,034396	0,581466
6	4,56	0,68	106,350	66,974	0,176974	0,030958	0,616836
6,5	4,94	0,73	90,802	59,330	0,151101	0,027425	0,644053
7	5,32	0,79	74,510	51,309	0,123990	0,023717	0,658122
7,5	5,70	0,85	57,782	43,058	0,096154	0,019903	0,651609
8	6,08	0,90	41,088	34,796	0,068374	0,016084	0,611593
8,5	6,46	0,96	24,271	26,444	0,040389	0,012224	0,505087

Durum 15 R=9°, S=9°							
V _s	V _A (m/s)	J	T (kN)	Q (kNm)	K _T	K _Q	η ₀
2	1,52	0,23	216,596	121,052	0,360432	0,055955	0,231684
2,5	1,90	0,28	203,300	114,548	0,338306	0,052949	0,287261
3	2,28	0,34	189,972	108,060	0,316128	0,049950	0,341455
3,5	2,66	0,40	177,187	101,827	0,294852	0,047069	0,394298
4	3,04	0,45	164,194	95,470	0,273231	0,044130	0,445387
4,5	3,42	0,51	150,753	88,882	0,250864	0,041085	0,494142
5	3,80	0,56	136,899	82,078	0,227810	0,037940	0,539922
5,5	4,18	0,62	122,275	74,885	0,203475	0,034615	0,581424
6	4,56	0,68	107,073	67,397	0,178178	0,031154	0,617132
6,5	4,94	0,73	91,270	59,594	0,151880	0,027547	0,644505
7	5,32	0,79	74,913	51,509	0,124661	0,023810	0,659112
7,5	5,70	0,85	57,960	43,117	0,096450	0,019931	0,652722
8	6,08	0,90	40,904	34,642	0,068067	0,016013	0,611561
8,5	6,46	0,96	23,824	26,127	0,039645	0,012077	0,501801
Durum 16 R=9°, S=12°							
V _s	V _A (m/s)	J	T (kN)	Q (kNm)	K _T	K _Q	η ₀
2	1,52	0,23	217,221	121,567	0,361472	0,056194	0,231368
2,5	1,90	0,28	203,577	114,873	0,338767	0,053099	0,286839
3	2,28	0,34	190,419	108,449	0,316872	0,050130	0,341030
3,5	2,66	0,40	177,617	102,183	0,295568	0,047233	0,393877
4	3,04	0,45	164,533	95,767	0,273795	0,044268	0,444922
4,5	3,42	0,51	151,024	89,126	0,251315	0,041198	0,493675
5	3,80	0,56	137,011	82,217	0,227997	0,038004	0,539450
5,5	4,18	0,62	122,431	75,018	0,203734	0,034677	0,581133
6	4,56	0,68	107,214	67,492	0,178412	0,031198	0,617074
6,5	4,94	0,73	91,361	59,641	0,152032	0,027569	0,644639
7	5,32	0,79	74,941	51,491	0,124707	0,023801	0,659589
7,5	5,70	0,85	57,780	42,966	0,096150	0,019861	0,652982
8	6,08	0,90	40,656	34,429	0,067655	0,015915	0,611614
8,5	6,46	0,96	23,289	25,744	0,038755	0,011900	0,497830
Durum 17 R=9°, S=17°							
V _s	V _A (m/s)	J	T (kN)	Q (kNm)	K _T	K _Q	η ₀
2	1,52	0,23	215,146	120,703	0,358019	0,055794	0,230798
2,5	1,90	0,28	202,028	114,285	0,336190	0,052827	0,286121
3	2,28	0,34	189,268	108,032	0,314956	0,049937	0,340277
3,5	2,66	0,40	176,410	101,677	0,293559	0,046999	0,393148
4	3,04	0,45	163,380	95,258	0,271877	0,044032	0,444165
4,5	3,42	0,51	149,929	88,621	0,249493	0,040964	0,492888
5	3,80	0,56	135,991	81,717	0,226299	0,037773	0,538710
5,5	4,18	0,62	121,475	74,522	0,202144	0,034447	0,580433
6	4,56	0,68	106,428	67,044	0,177104	0,030991	0,616644
6,5	4,94	0,73	90,640	59,189	0,150832	0,027360	0,644435
7	5,32	0,79	74,331	51,060	0,123692	0,023602	0,659742
7,5	5,70	0,85	57,286	42,553	0,095328	0,019670	0,653682
8	6,08	0,90	39,883	33,849	0,066368	0,015646	0,610266
8,5	6,46	0,96	22,451	25,094	0,037360	0,011600	0,492348

Durum 18 R=9°, S=23°							
V _s	V _A (m/s)	J	T (kN)	Q (kNm)	K _T	K _Q	η ₀
2	1,52	0,23	208,007	116,831	0,346139	0,054004	0,230535
2,5	1,90	0,28	195,305	110,621	0,325002	0,051134	0,285761
3	2,28	0,34	183,261	104,719	0,304960	0,048406	0,339901
3,5	2,66	0,40	171,056	98,720	0,284650	0,045633	0,392634
4	3,04	0,45	158,402	92,487	0,263593	0,042751	0,443534
4,5	3,42	0,51	145,345	86,042	0,241865	0,039772	0,492141
5	3,80	0,56	131,955	79,420	0,219583	0,036711	0,537840
5,5	4,18	0,62	117,914	72,459	0,196218	0,033494	0,579459
6	4,56	0,68	103,273	65,181	0,171854	0,030129	0,615466
6,5	4,94	0,73	88,052	57,608	0,146525	0,026629	0,643216
7	5,32	0,79	72,223	49,722	0,120184	0,022984	0,658282
7,5	5,70	0,85	55,833	41,543	0,092910	0,019203	0,652592
8	6,08	0,90	38,759	33,008	0,064498	0,015258	0,608178
8,5	6,46	0,96	21,564	24,392	0,035884	0,011275	0,486506
Durum 19 R=12°, S=0°							
V _s	V _A (m/s)	J	T (kN)	Q (kNm)	K _T	K _Q	η ₀
2	1,52	0,23	207,038	115,234	0,344527	0,053266	0,232641
2,5	1,90	0,28	195,375	109,594	0,325119	0,050659	0,288542
3	2,28	0,34	181,339	102,839	0,301762	0,047537	0,342485
3,5	2,66	0,40	168,862	96,843	0,280999	0,044765	0,395111
4	3,04	0,45	156,435	90,854	0,260320	0,041997	0,445899
4,5	3,42	0,51	143,178	84,453	0,238259	0,039038	0,493925
5	3,80	0,56	129,793	77,979	0,215985	0,036045	0,538804
5,5	4,18	0,62	115,839	71,209	0,192765	0,032916	0,579255
6	4,56	0,68	101,301	64,147	0,168572	0,029652	0,613445
6,5	4,94	0,73	86,136	56,766	0,143337	0,026240	0,638553
7	5,32	0,79	70,378	49,088	0,117114	0,022691	0,649751
7,5	5,70	0,85	54,465	41,305	0,090634	0,019093	0,640270
8	6,08	0,90	38,503	33,477	0,064072	0,015475	0,595697
8,5	6,46	0,96	22,554	25,633	0,037532	0,011849	0,484206
Durum 20 R=12°, S=orijinal							
V _s	V _A (m/s)	J	T (kN)	Q (kNm)	K _T	K _Q	η ₀
2	1,52	0,23	211,938	118,353	0,352681	0,054708	0,231871
2,5	1,90	0,28	199,087	112,110	0,331296	0,051822	0,287426
3	2,28	0,34	185,671	105,611	0,308970	0,048818	0,341463
3,5	2,66	0,40	173,031	99,454	0,287937	0,045972	0,394236
4	3,04	0,45	160,261	93,233	0,266686	0,043096	0,445149
4,5	3,42	0,51	146,894	86,708	0,244443	0,040080	0,493565
5	3,80	0,56	133,060	79,943	0,221422	0,036953	0,538796
5,5	4,18	0,62	118,688	72,901	0,197506	0,033698	0,579726
6	4,56	0,68	103,703	65,549	0,172570	0,030300	0,614559
6,5	4,94	0,73	88,205	57,927	0,146780	0,026776	0,640785
7	5,32	0,79	71,865	49,881	0,119589	0,023057	0,652931
7,5	5,70	0,85	55,265	41,687	0,091965	0,019270	0,643721
8	6,08	0,90	38,647	33,453	0,064312	0,015463	0,598353
8,5	6,46	0,96	21,842	25,101	0,036347	0,011603	0,478859

Durum 21 R=12°, S=9°							
V _s	V _A (m/s)	J	T (kN)	Q (kNm)	K _T	K _Q	η ₀
2	1,52	0,23	213,078	119,167	0,354578	0,055084	0,231526
2,5	1,90	0,28	199,835	112,714	0,332540	0,052101	0,286960
3	2,28	0,34	186,597	106,262	0,310511	0,049119	0,341063
3,5	2,66	0,40	173,942	100,090	0,289453	0,046266	0,393794
4	3,04	0,45	161,036	93,780	0,267976	0,043349	0,444693
4,5	3,42	0,51	147,639	87,216	0,245682	0,040315	0,493179
5	3,80	0,56	133,874	80,453	0,222776	0,037189	0,538656
5,5	4,18	0,62	119,324	73,296	0,198564	0,033881	0,579692
6	4,56	0,68	104,202	65,846	0,173400	0,030437	0,614731
6,5	4,94	0,73	88,545	58,118	0,147346	0,026865	0,641141
7	5,32	0,79	72,252	50,058	0,120233	0,023139	0,654126
7,5	5,70	0,85	55,379	41,700	0,092155	0,019276	0,644848
8	6,08	0,90	38,436	33,281	0,063960	0,015384	0,598162
8,5	6,46	0,96	21,379	24,773	0,035576	0,011451	0,474914
Durum 22 R=12°, S=12°							
V _s	V _A (m/s)	J	T (kN)	Q (kNm)	K _T	K _Q	η ₀
2	1,52	0,23	213,615	119,603	0,355471	0,055286	0,231263
2,5	1,90	0,28	199,960	112,943	0,332748	0,052207	0,286557
3	2,28	0,34	186,892	106,546	0,311002	0,049250	0,340692
3,5	2,66	0,40	174,313	100,392	0,290070	0,046406	0,393447
4	3,04	0,45	161,279	94,003	0,268380	0,043452	0,444307
4,5	3,42	0,51	147,810	87,385	0,245967	0,040393	0,492795
5	3,80	0,56	133,935	80,554	0,222878	0,037236	0,538225
5,5	4,18	0,62	119,465	73,413	0,198799	0,033935	0,579452
6	4,56	0,68	104,429	65,972	0,173778	0,030495	0,614893
6,5	4,94	0,73	88,576	58,121	0,147397	0,026866	0,641333
7	5,32	0,79	72,221	50,007	0,120181	0,023115	0,654512
7,5	5,70	0,85	55,222	41,563	0,091894	0,019212	0,645139
8	6,08	0,90	38,098	33,021	0,063398	0,015264	0,597570
8,5	6,46	0,96	20,919	24,430	0,034811	0,011293	0,471220
Durum 23 R=12°, S=17°							
V _s	V _A (m/s)	J	T (kN)	Q (kNm)	K _T	K _Q	η ₀
2	1,52	0,23	211,267	118,543	0,351564	0,054796	0,230767
2,5	1,90	0,28	198,003	112,065	0,329492	0,051801	0,285976
3	2,28	0,34	185,579	105,987	0,308817	0,048992	0,340083
3,5	2,66	0,40	173,063	99,845	0,287990	0,046153	0,392765
4	3,04	0,45	159,925	93,356	0,266127	0,043153	0,443630
4,5	3,42	0,51	146,590	86,778	0,243937	0,040113	0,492146
5	3,80	0,56	132,927	80,025	0,221201	0,036991	0,537706
5,5	4,18	0,62	118,434	72,841	0,197083	0,033670	0,578962
6	4,56	0,68	103,366	65,365	0,172009	0,030215	0,614286
6,5	4,94	0,73	87,778	57,617	0,146069	0,026633	0,641114
7	5,32	0,79	71,573	49,547	0,119103	0,022903	0,654662
7,5	5,70	0,85	54,722	41,143	0,091062	0,019018	0,645824
8	6,08	0,90	37,513	32,543	0,062424	0,015043	0,597037
8,5	6,46	0,96	20,196	23,851	0,033608	0,011025	0,465977

Durum 24 R=12°, S=23°							
V_s (m/s)	V_A (m/s)	J	T (kN)	Q (kNm)	K_T	K_Q	η₀
2	1,52	0,23	203,861	114,524	0,339240	0,052938	0,230491
2,5	1,90	0,28	191,540	108,514	0,318737	0,050160	0,285694
3	2,28	0,34	179,346	102,525	0,298445	0,047391	0,339758
3,5	2,66	0,40	167,214	96,581	0,278257	0,044644	0,392316
4	3,04	0,45	154,798	90,478	0,257595	0,041823	0,443067
4,5	3,42	0,51	141,976	84,161	0,236259	0,038903	0,491478
5	3,80	0,56	128,720	77,611	0,214200	0,035875	0,536883
5,5	4,18	0,62	114,862	70,755	0,191139	0,032706	0,578055
6	4,56	0,68	100,330	63,550	0,166957	0,029376	0,613273
6,5	4,94	0,73	85,147	56,002	0,141691	0,025887	0,639832
7	5,32	0,79	69,554	48,245	0,115743	0,022301	0,653364
7,5	5,70	0,85	53,241	40,116	0,088597	0,018543	0,644432
8	6,08	0,90	36,441	31,731	0,060641	0,014667	0,594817
8,5	6,46	0,96	19,335	23,168	0,032175	0,010709	0,459263

SEIUN-MARU CP PERVANESİNE AİT KAVİTASYON ANALİZ SONUÇLARI

Durum 1 R=0°, S=0°				Durum 2 R=0°, S=orijinal			
V _s	J	V _c (m ³)	S (m ²)	V _s	J	V _c (m ³)	S (m ²)
2	0,23	0,0023	0,1106	2	0,23	0,0020	0,1063
2,5	0,28	0,0023	0,1106	2,5	0,28	0,0020	0,1063
3	0,34	0,0023	0,1106	3	0,34	0,0021	0,1091
3,5	0,40	0,0025	0,1197	3,5	0,40	0,0020	0,1077
4	0,45	0,0025	0,1341	4	0,45	0,0020	0,1077
4,5	0,51	0,0027	0,1326	4,5	0,51	0,0022	0,1167
5	0,56	0,0027	0,1311	5	0,56	0,0022	0,1167
5,5	0,62	0,0028	0,1311	5,5	0,62	0,0022	0,1167
6	0,68	0,0028	0,1311	6	0,68	0,0022	0,1167
6,5	0,73	0,0029	0,1311	6,5	0,73	0,0023	0,1152
7	0,79	0,0031	0,1393	7	0,79	0,0023	0,1152
7,5	0,85	0,0031	0,1393	7,5	0,85	0,0023	0,1074
8	0,90	0,0030	0,1583	8	0,90	0,0023	0,1074
8,5	0,96	0,0030	0,1583	8,5	0,96	0,0023	0,1107
Durum 3 R=0°, S=9°				Durum 4 R=0°, S=12°			
V _s	J	V _c (m ³)	S (m ²)	V _s	J	V _c (m ³)	S (m ²)
2	0,23	0,0016	0,0866	2	0,23	0,0015	0,0773
2,5	0,28	0,0018	0,0851	2,5	0,28	0,0015	0,0758
3	0,34	0,0019	0,0922	3	0,34	0,0015	0,0758
3,5	0,40	0,0019	0,0965	3,5	0,40	0,0016	0,0743
4	0,45	0,0019	0,0965	4	0,45	0,0016	0,0829
4,5	0,51	0,0019	0,0950	4,5	0,51	0,0016	0,0872
5	0,56	0,0019	0,0950	5	0,56	0,0016	0,0872
5,5	0,62	0,0020	0,1040	5,5	0,62	0,0017	0,0872
6	0,68	0,0020	0,0962	6	0,68	0,0017	0,0872
6,5	0,73	0,0021	0,0962	6,5	0,73	0,0016	0,0872
7	0,79	0,0021	0,0962	7	0,79	0,0018	0,0962
7,5	0,85	0,0022	0,0962	7,5	0,85	0,0018	0,0962
8	0,90	0,0022	0,0962	8	0,90	0,0018	0,0948
8,5	0,96	0,0022	0,0962	8,5	0,96	0,0018	0,0948

Durum 5 R=0°, S=17°				Durum 6 R=0°, S=23°			
V _s	J	V _c (m ³)	S (m ²)	V _s	J	V _c (m ³)	S (m ²)
2	0,23	0,0009	0,0671	2	0,23	0,0008	0,0546
2,5	0,28	0,0010	0,0671	2,5	0,28	0,0007	0,0554
3	0,34	0,0010	0,0671	3	0,34	0,0007	0,0554
3,5	0,40	0,0010	0,0656	3,5	0,40	0,0007	0,0554
4	0,45	0,0010	0,0656	4	0,45	0,0007	0,0554
4,5	0,51	0,0009	0,0656	4,5	0,51	0,0007	0,0554
5	0,56	0,0009	0,0610	5	0,56	0,0007	0,0554
5,5	0,62	0,0009	0,0610	5,5	0,62	0,0006	0,0554
6	0,68	0,0008	0,0554	6	0,68	0,0006	0,0554
6,5	0,73	0,0009	0,0597	6,5	0,73	0,0006	0,0554
7	0,79	0,0008	0,0597	7	0,79	0,0006	0,0554
7,5	0,85	0,0008	0,0597	7,5	0,85	0,0006	0,0554
8	0,90	0,0008	0,0597	8	0,90	0,0006	0,0554
8,5	0,96	0,0008	0,0597	8,5	0,96	0,0006	0,0554
Durum 7 R=orijinal, S=0°				Durum 8 R=orijinal, S=orijinal			
V _s	J	V _c (m ³)	S (m ²)	V _s	J	V _c (m ³)	S (m ²)
2	0,23	0,0020	0,1106	2	0,23	0,0018	0,0851
2,5	0,28	0,0021	0,1106	2,5	0,28	0,0019	0,0952
3	0,34	0,0022	0,1091	3	0,34	0,0019	0,0937
3,5	0,40	0,0023	0,1106	3,5	0,40	0,0019	0,0980
4	0,45	0,0025	0,1182	4	0,45	0,0019	0,0965
4,5	0,51	0,0025	0,1182	4,5	0,51	0,0020	0,1077
5	0,56	0,0027	0,1167	5	0,56	0,0021	0,1167
5,5	0,62	0,0027	0,1167	5,5	0,62	0,0021	0,1167
6	0,68	0,0027	0,1311	6	0,68	0,0021	0,1152
6,5	0,73	0,0028	0,1311	6,5	0,73	0,0021	0,1152
7	0,79	0,0028	0,1311	7	0,79	0,0021	0,1074
7,5	0,85	0,0027	0,1311	7,5	0,85	0,0022	0,1074
8	0,90	0,0028	0,1311	8	0,90	0,0023	0,0962
8,5	0,96	0,0027	0,1311	8,5	0,96	0,0024	0,0962

Durum 9 R=original, S=9°				Durum 10 R=original, S=12°			
V _s	J	V _c (m ³)	S (m ²)	V _s	J	V _c (m ³)	S (m ²)
2	0,23	0,0015	0,0773	2	0,23	0,0013	0,0773
2,5	0,28	0,0015	0,0836	2,5	0,28	0,0013	0,0743
3	0,34	0,0016	0,0758	3	0,34	0,0014	0,0743
3,5	0,40	0,0018	0,0844	3,5	0,40	0,0013	0,0743
4	0,45	0,0018	0,0950	4	0,45	0,0015	0,0829
4,5	0,51	0,0018	0,0872	4,5	0,51	0,0015	0,0829
5	0,56	0,0017	0,0872	5	0,56	0,0015	0,0872
5,5	0,62	0,0017	0,0872	5,5	0,62	0,0014	0,0872
6	0,68	0,0018	0,0872	6	0,68	0,0014	0,0872
6,5	0,73	0,0019	0,0962	6,5	0,73	0,0016	0,0872
7	0,79	0,0019	0,0962	7	0,79	0,0015	0,0872
7,5	0,85	0,0019	0,0962	7,5	0,85	0,0015	0,0857
8	0,90	0,0019	0,0962	8	0,90	0,0015	0,0857
8,5	0,96	0,0020	0,0962	8,5	0,96	0,0015	0,0819
Durum 11 R=original, S=17°				Durum 12 R=original, S=23°			
V _s	J	V _c (m ³)	S (m ²)	V _s	J	V _c (m ³)	S (m ²)
2	0,23	0,0010	0,0671	2	0,23	0,0006	0,0507
2,5	0,28	0,0010	0,0656	2,5	0,28	0,0007	0,0561
3	0,34	0,0009	0,0656	3	0,34	0,0006	0,0554
3,5	0,40	0,0008	0,0656	3,5	0,40	0,0006	0,0554
4	0,45	0,0009	0,0617	4	0,45	0,0006	0,0554
4,5	0,51	0,0008	0,0561	4,5	0,51	0,0005	0,0554
5	0,56	0,0008	0,0554	5	0,56	0,0005	0,0554
5,5	0,62	0,0008	0,0554	5,5	0,62	0,0005	0,0554
6	0,68	0,0008	0,0554	6	0,68	0,0005	0,0554
6,5	0,73	0,0008	0,0554	6,5	0,73	0,0005	0,0554
7	0,79	0,0007	0,0554	7	0,79	0,0005	0,0554
7,5	0,85	0,0007	0,0597	7,5	0,85	0,0004	0,0554
8	0,90	0,0008	0,0597	8	0,90	0,0004	0,0554
8,5	0,96	0,0008	0,0597	8,5	0,96	0,0004	0,0546

Durum 13 R=9°, S=0°				Durum 14 R=9°, S=orijinal			
V _s	J	V _c (m ³)	S (m ²)	V _s	J	V _c (m ³)	S (m ²)
2	0,23	0,0020	0,0995	2	0,23	0,0017	0,0866
2,5	0,28	0,0020	0,0995	2,5	0,28	0,0017	0,0851
3	0,34	0,0021	0,1106	3	0,34	0,0018	0,0937
3,5	0,40	0,0021	0,1106	3,5	0,40	0,0019	0,0965
4	0,45	0,0022	0,1091	4	0,45	0,0019	0,0965
4,5	0,51	0,0025	0,1167	4,5	0,51	0,0019	0,0965
5	0,56	0,0025	0,1167	5	0,56	0,0019	0,0950
5,5	0,62	0,0026	0,1167	5,5	0,62	0,0019	0,0950
6	0,68	0,0027	0,1311	6	0,68	0,0020	0,1040
6,5	0,73	0,0027	0,1311	6,5	0,73	0,0020	0,1040
7	0,79	0,0027	0,1311	7	0,79	0,0020	0,1074
7,5	0,85	0,0027	0,1311	7,5	0,85	0,0021	0,0962
8	0,90	0,0027	0,1311	8	0,90	0,0022	0,0962
8,5	0,96	0,0027	0,1311	8,5	0,96	0,0023	0,0962
Durum 15 R=9°, S=9°				Durum 16 R=9°, S=12°			
V _s	J	V _c (m ³)	S (m ²)	V _s	J	V _c (m ³)	S (m ²)
2	0,23	0,0015	0,0773	2	0,23	0,0012	0,0671
2,5	0,28	0,0015	0,0758	2,5	0,28	0,0013	0,0758
3	0,34	0,0014	0,0743	3	0,34	0,0013	0,0743
3,5	0,40	0,0018	0,0844	3,5	0,40	0,0013	0,0743
4	0,45	0,0016	0,0829	4	0,45	0,0013	0,0743
4,5	0,51	0,0017	0,0872	4,5	0,51	0,0013	0,0743
5	0,56	0,0016	0,0872	5	0,56	0,0015	0,0829
5,5	0,62	0,0016	0,0872	5,5	0,62	0,0015	0,0872
6	0,68	0,0017	0,0872	6	0,68	0,0013	0,0786
6,5	0,73	0,0017	0,0872	6,5	0,73	0,0013	0,0786
7	0,79	0,0017	0,0872	7	0,79	0,0014	0,0857
7,5	0,85	0,0018	0,0872	7,5	0,85	0,0014	0,0857
8	0,90	0,0018	0,0872	8	0,90	0,0013	0,0819
8,5	0,96	0,0018	0,0872	8,5	0,96	0,0013	0,0819

Durum 17 R=9°, S=17°				Durum 18 R=9°, S=23°			
V _s	J	V _c (m ³)	S (m ²)	V _s	J	V _c (m ³)	S (m ²)
2	0,23	0,0008	0,0671	2	0,23	0,0006	0,0499
2,5	0,28	0,0008	0,0671	2,5	0,28	0,0006	0,0561
3	0,34	0,0008	0,0656	3	0,34	0,0006	0,0554
3,5	0,40	0,0008	0,0561	3,5	0,40	0,0005	0,0554
4	0,45	0,0008	0,0561	4	0,45	0,0005	0,0554
4,5	0,51	0,0008	0,0554	4,5	0,51	0,0005	0,0554
5	0,56	0,0008	0,0554	5	0,56	0,0005	0,0554
5,5	0,62	0,0007	0,0554	5,5	0,62	0,0005	0,0554
6	0,68	0,0007	0,0554	6	0,68	0,0005	0,0554
6,5	0,73	0,0007	0,0554	6,5	0,73	0,0004	0,0554
7	0,79	0,0007	0,0554	7	0,79	0,0004	0,0554
7,5	0,85	0,0007	0,0554	7,5	0,85	0,0004	0,0554
8	0,90	0,0007	0,0554	8	0,90	0,0004	0,0554
8,5	0,96	0,0007	0,0597	8,5	0,96	0,0004	0,0546
Durum 19 R=12°, S=0°				Durum 20 R=12°, S=original			
V _s	J	V _c (m ³)	S (m ²)	V _s	J	V _c (m ³)	S (m ²)
2	0,23	0,0019	0,0952	2	0,23	0,0015	0,0866
2,5	0,28	0,0020	0,0995	2,5	0,28	0,0016	0,0836
3	0,34	0,0019	0,1106	3	0,34	0,0016	0,0836
3,5	0,40	0,0020	0,1091	3,5	0,40	0,0018	0,0922
4	0,45	0,0023	0,1182	4	0,45	0,0018	0,0965
4,5	0,51	0,0023	0,1167	4,5	0,51	0,0018	0,0950
5	0,56	0,0023	0,1167	5	0,56	0,0018	0,0950
5,5	0,62	0,0025	0,1167	5,5	0,62	0,0017	0,0950
6	0,68	0,0026	0,1167	6	0,68	0,0017	0,0950
6,5	0,73	0,0026	0,1167	6,5	0,73	0,0019	0,0962
7	0,79	0,0025	0,1311	7	0,79	0,0020	0,0962
7,5	0,85	0,0025	0,1311	7,5	0,85	0,0020	0,0872
8	0,90	0,0025	0,1311	8	0,90	0,0019	0,0872
8,5	0,96	0,0025	0,1311	8,5	0,96	0,0021	0,0962

Durum 21 R=12°, S=9°				Durum 22 R=12°, S=12°			
V _s	J	V _c (m ³)	S (m ²)	V _s	J	V _c (m ³)	S (m ²)
2	0,23	0,0014	0,0773	2	0,23	0,0011	0,0686
2,5	0,28	0,0014	0,0758	2,5	0,28	0,0011	0,0671
3	0,34	0,0014	0,0743	3	0,34	0,0013	0,0743
3,5	0,40	0,0017	0,0829	3,5	0,40	0,0012	0,0743
4	0,45	0,0016	0,0829	4	0,45	0,0012	0,0743
4,5	0,51	0,0016	0,0872	4,5	0,51	0,0012	0,0743
5	0,56	0,0016	0,0872	5	0,56	0,0013	0,0743
5,5	0,62	0,0015	0,0872	5,5	0,62	0,0013	0,0743
6	0,68	0,0016	0,0872	6	0,68	0,0013	0,0786
6,5	0,73	0,0017	0,0872	6,5	0,73	0,0013	0,0772
7	0,79	0,0017	0,0872	7	0,79	0,0013	0,0772
7,5	0,85	0,0017	0,0872	7,5	0,85	0,0013	0,0772
8	0,90	0,0017	0,0872	8	0,90	0,0013	0,0819
8,5	0,96	0,0017	0,0872	8,5	0,96	0,0012	0,0819
Durum 23 R=12°, S=17°				Durum 24 R=12°, S=23°			
V _s	J	V _c (m ³)	S (m ²)	V _s	J	V _c (m ³)	S (m ²)
2	0,23	0,0008	0,0671	2	0,23	0,0006	0,0507
2,5	0,28	0,0008	0,0656	2,5	0,28	0,0006	0,0554
3	0,34	0,0009	0,0656	3	0,34	0,0006	0,0554
3,5	0,40	0,0008	0,0561	3,5	0,40	0,0006	0,0554
4	0,45	0,0008	0,0561	4	0,45	0,0006	0,0554
4,5	0,51	0,0007	0,0554	4,5	0,51	0,0006	0,0554
5	0,56	0,0007	0,0554	5	0,56	0,0006	0,0554
5,5	0,62	0,0007	0,0554	5,5	0,62	0,0006	0,0554
6	0,68	0,0007	0,0554	6	0,68	0,0005	0,0554
6,5	0,73	0,0007	0,0554	6,5	0,73	0,0006	0,0554
7	0,79	0,0007	0,0554	7	0,79	0,0005	0,0554
7,5	0,85	0,0007	0,0554	7,5	0,85	0,0005	0,0554
8	0,90	0,0007	0,0554	8	0,90	0,0005	0,0554
8,5	0,96	0,0006	0,0554	8,5	0,96	0,0005	0,0546

**P1 PERVANESİNE AİT PERFORMANS KARAKTERİSTİKLERİ ANALİZ
SONUÇLARI**

Durum 1 R=0°, S=0°							
VS (m/s)	VA (m/s)	J	T (kN)	Q (kNm)	KT	KQ	η₀
1	1,04	0,1	998,421	711,616	0,333055	0,045650	0,116116
3	2,08	0,2	930,697	664,413	0,310464	0,042622	0,231859
4	3,12	0,3	896,551	641,381	0,299073	0,041145	0,347059
5	4,16	0,4	860,233	617,153	0,286958	0,039591	0,461431
7	5,20	0,5	781,994	566,175	0,260859	0,036320	0,571539
8	6,24	0,6	739,446	539,163	0,246666	0,034588	0,681022
10	7,28	0,7	649,998	483,471	0,216828	0,031015	0,778867
11	8,32	0,8	600,147	453,292	0,200198	0,029079	0,876583
Durum 2 R=0°, S=10°							
VS (m/s)	VA (m/s)	J	T (kN)	Q (kNm)	KT	KQ	η₀
1	1,04	0,1	975,438	699,116	0,325389	0,044849	0,115471
3	2,08	0,2	906,303	651,405	0,302326	0,041788	0,230290
4	3,12	0,3	870,960	627,566	0,290537	0,040259	0,344575
5	4,16	0,4	833,694	602,792	0,278105	0,038669	0,457849
7	5,20	0,5	758,123	553,974	0,252896	0,035538	0,566296
8	6,24	0,6	722,510	531,610	0,241016	0,034103	0,674878
10	7,28	0,7	640,485	482,008	0,213654	0,030921	0,769797
11	8,32	0,8	596,216	454,835	0,198887	0,029178	0,867887

Durum 3 R=0°, S=20°							
VS (m/s)	VA (m/s)	J	T (kN)	Q (kNm)	KT	KQ	η0
1	1,04	0,1	945,809	677,590	0,315505	0,043468	0,115521
3	2,08	0,2	880,204	632,393	0,293620	0,040568	0,230383
4	3,12	0,3	843,095	607,462	0,281241	0,038969	0,344590
5	4,16	0,4	806,176	583,122	0,268926	0,037408	0,457672
7	5,20	0,5	734,501	536,985	0,245016	0,034448	0,566009
8	6,24	0,6	698,661	514,600	0,233061	0,033012	0,674173
10	7,28	0,7	615,572	465,006	0,205344	0,029830	0,766905
11	8,32	0,8	579,275	443,688	0,193236	0,028463	0,864412
Durum 4 R=0°, S=36°							
VS (m/s)	VA (m/s)	J	T (kN)	Q (kNm)	KT	KQ	η0
1	1,04	0,1	885,168	626,668	0,295276	0,040201	0,116899
3	2,08	0,2	823,317	583,835	0,274644	0,037453	0,233416
4	3,12	0,3	789,418	561,025	0,263336	0,035990	0,349357
5	4,16	0,4	756,594	539,054	0,252386	0,034581	0,464637
7	5,20	0,5	686,897	493,593	0,229137	0,031664	0,575859
8	6,24	0,6	652,433	471,395	0,217640	0,030240	0,687267
10	7,28	0,7	565,628	417,479	0,188683	0,026781	0,784906
11	8,32	0,8	521,247	390,366	0,173879	0,025042	0,884067
Durum 5 R=0°, S=56°							
VS (m/s)	VA (m/s)	J	T (kN)	Q (kNm)	KT	KQ	η0
1	1,04	0,1	700,636	482,135	0,233720	0,030929	0,120267
3	2,08	0,2	653,336	451,587	0,217941	0,028969	0,239469
4	3,12	0,3	628,587	435,794	0,209685	0,027956	0,358120
5	4,16	0,4	602,721	419,584	0,201057	0,026916	0,475533
7	5,20	0,5	551,371	387,536	0,183928	0,024861	0,588742
8	6,24	0,6	520,366	368,544	0,173585	0,023642	0,701123
10	7,28	0,7	457,828	330,875	0,152723	0,021226	0,801604
11	8,32	0,8	426,608	312,204	0,142309	0,020028	0,904699

P1 PERVANESİNE AİT KAVİTASYON ANALİZ SONUÇLARI

Durum 1 R=0°, S=0°				Durum 2 R=0°, S=10°			
VS (m/s)	J	Vc (m3)	S (m2)	VS (m/s)	J	Vc (m3)	S (m2)
1	0,1	0,029160	0,642032	1	0,1	0,034170	0,483910
3	0,2	0,018810	0,508763	3	0,2	0,026030	0,383894
4	0,3	0,017130	0,456120	4	0,3	0,023600	0,345523
5	0,4	0,012620	0,396317	5	0,4	0,021050	0,295271
7	0,5	0,007736	0,274335	7	0,5	0,014110	0,214647
8	0,6	0,005648	0,277441	8	0,6	0,011540	0,214647
10	0,7	0,004450	0,214647	10	0,7	0,005464	0,176855
11	0,8	0,002304	0,173749	11	0,8	0,004749	0,120201
Durum 3 R=0°, S=20°				Durum 4 R=0°, S=36°			
VS (m/s)	J	Vc (m3)	S (m2)	VS (m/s)	J	Vc (m3)	S (m2)
1	0,1	0,033850	0,519990	1	0,1	0,025980	0,368463
3	0,2	0,026160	0,311761	3	0,2	0,013170	0,295830
4	0,3	0,023280	0,295271	4	0,3	0,006506	0,239768
5	0,4	0,019490	0,261510	5	0,4	0,007522	0,231807
7	0,5	0,014050	0,214647	7	0,5	0,003511	0,148500
8	0,6	0,011940	0,176855	8	0,6	0,002750	0,142288
10	0,7	0,007396	0,122100	10	0,7	0,000536	0,083681
11	0,8	0,004392	0,087592	11	0,8	0,000173	0,059824
Durum 5 R=0°, S=56°							
VS (m/s)	J	Vc (m3)	S (m2)				
1	0,1	0,006202	0,158044				
3	0,2	0,004942	0,205406				
4	0,3	0,005089	0,147100				
5	0,4	0,004302	0,141409				
7	0,5	0,000352	0,112924				
8	0,6	0,000233	0,112924				
10	0,7	0,000205	0,070831				
11	0,8	0,000132	0,050831				

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Murat YAĞLI
Doğum Tarihi ve Yeri : 20.05.1986 / Yatağan
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : murattyagli@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lisans	Gemi İnşaatı	Y.T.Ü	2009
Lise	Fen Bilimleri	F.M.E.A.L	2004

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2008-	Endaze Mühendislik	Donatım Mühendisi