

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**İZE UYUMLU PERVANE DİZAYNI VE
ASKERİ GEMİYE UYGULANMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Ahmet Gültekin AVCI**

Anabilim Dalı : Gemi İnş. ve Gemi Mak. Müh.

Programı : Gemi İnş. ve Gemi Mak. Müh.

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Emin KORKUT

HAZİRAN 2011

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**İZE UYUMLU PERVANE DİZAYNI VE
ASKERİ GEMİYE UYGULANMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Ahmet Gültekin AVCI
508091007**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 06 Mayıs 2011

Tezin Savunulduğu Tarih : 10 Haziran 2011

**Tez Danışmanı : Doç. Dr. Emin KORKUT (İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Muhittin SÖYLEMEZ (İTÜ)
Prof. Dr. Şakir BAL (İTÜ)**

HAZİRAN 2011

Aileme,

ÖNSÖZ

Üniversite öğrenimim boyunca benden yardımlarını esirgemeyen hocam Doç.Dr. Emin KORKUT'a teşekkürlerimi bir borç bilirim. Ayrıca yine lisans ve yüksek lisans öğrenimim boyunca bana destek veren Türk Loydu Vakfı'na şükranlarımı sunarım. Bu tezin hazırlanmasında proje desteği ile katkıda bulunan İTÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne de teşekkür ederim. Her zaman benim yanımda olan aileme de şükranlarımı sunarım.

Mayıs 2011

Ahmet Gültekin AVCI

Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri
Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER	vii
KISALTMALAR	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
SEMBOL LİSTESİ.....	xvii
ÖZET.....	xix
SUMMARY	xxi
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı	2
1.2 Literatür Özeti	2
2. GEMİ DİRENCİNİN BELİRLENMESİ.....	5
2.1 Gemi Direncinin Bileşenleri.....	5
2.2 Gemi Direnci Tahmin Yöntemleri	7
2.2.1 Deplasman tekneleri için yöntemler	7
2.2.1.1 Andersen/Guldhammer methodu	9
2.2.1.2 Holtrop & Mennen metodu	9
2.2.1.3 Fung metodu	10
2.2.1.4 Van Oortmerssen metodu	11
2.2.1.5 Digernes ve Chena metodu	11
2.2.1.6 Jin. Su ve Tan metodu	12
2.2.1.7 Calisal metodu	12
2.2.1.8 FAO (UN) metodu	13
2.2.2 Yarı deplasmanlı tekneler için yöntemler	13
2.2.2.1 Compton yöntemi	14
2.2.3 Kayıcı tekneler için yöntemler	14
2.2.3.1 Savitsky metodu	15
2.2.3.2 Radojcic metodu	15
2.2.4 Katamaranlar	16
2.2.4.1 Marintek Fastcat yöntemi	16
3. PERVANE HİDRODİNAMİĞİ VE GEOMETRİSİ.....	17
3.1 Pervane Geometrisi	17
3.2 Referans Sistemi.....	17
3.3 Pervane Referans Sistemi.....	18
3.4 Pervane Hatvesi.....	18
3.5 Eğiklik, Çalıklık ve Kayma Oranı.....	19
3.5.1 Eğiklik.....	19
3.5.2 Çalıklık.....	19
3.5.3 Kayma oranı	20
3.6 Pervane alanı	21

3.6.1 Pervane disk alanı (A_O)	21
3.6.2 Projeksiyon alanı (A_P)	21
3.6.3 Açınım alanı (A_D)	21
3.6.4 Düzlenmiş açınım alanı	21
3.7 Pervane Kesit Geometrisi	23
3.8 Pervane Kesidi Etrafındaki Basınç Dağılımı	23
3.9 Pervanelerin Performans Karakteristikleri	24
3.9.1 Açık su karakteristikleri	24
3.9.2 Pervane tekne etkileşimi	25
3.9.3 İz	25
3.9.4 İtme azalması (Emme katsayısı)	28
3.9.5 Bağlı dönme ve sevk Verimi	29
3.10 Pervane Teorileri	33
3.10.1 Momentum teorisi	33
3.10.2 Kanat elemanı teorisi	36
3.10.3 Kaldırıcı hat teorisi	36
3.11 Kavitasyon	39
3.11.1 Kavitasyonun oluşumu	39
3.11.2 Kavitasyon çeşitleri	39
3.11.2.1 Uç girdap kavitasyonu	40
3.11.2.2 Kabarcık kavitasyonu	41
3.11.2.3 Şerit kavitasyonu	42
3.11.2.4 Bulut kavitasyonu	42
3.11.2.5 Kök kavitasyonu	43
3.11.2.6 Pervane-tekne girdap kavitasyonu	43
3.11.3 Kavitasyonun etkileri	44
3.11.3.1 İtme Azalması	44
3.11.3.2 Gürültü	44
3.11.3.3 Titreşim	44
3.11.3.4 Erozyon	45
3.11.4 Kavitasyon kontrolü	45
3.11.4.1 Burrill yöntemi	45
4. PERVANE DİZAYNI	49
4.1 Standart Serilere Göre Pervane Dizaynı	49
4.2 İze Uyumlu Pervane Dizaynı	52
5. ASKERİ GEMİ İÇİN PERVANE DİZAYNI UYGULAMASI	55
5.1 Uygulama Gemisi İçin Direnç Hesabı	56
5.1.1 Maxsurf HullSpeed programı ile hesaplama	58
5.1.2 DESP programı ile hesaplama	60
5.1.3 Uygulanacak methodun Matlab kodları	61
5.1.4 Sonuçların karşılaştırılması	64
5.2 Uygulama Gemisi İçin Standart Serilere Göre Pervane Dizaynı	66
5.2.1 Desp programı ile dizayn	66
5.2.2 Matlab programı ile dizayn	67
5.3 Uygulama Gemisi İçin İze Göre Pervane Dizaynı	71
5.3.1 Matlab Kodları İle İze Uyumlu Hesaplama	71
5.3.2 OpenProp Matlab Kodları İle İze Uyumlu Hesaplama	73
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	77
KAYNAKLAR	79
EKLER	83

EK A: MPVL Parametrik Dizaynı	84
EK B: MPVL Tekil Dizaynı.....	94
EK C: Standart Seriyeye Göre Dizayn Edilen Pervanenin Ofseti	103
EK D : Matlab Kodlarıyla İze Uyumlu Dizayn Sonuç Grafikleri.....	105
EK E: Kaldırıcı hat teorisi Matlab kodu.....	108
ÖZGEÇMİŞ.....	113

KISALTMALAR

ITTC	: International Towing Tank Conference
MIT	: Massachusetts Institute of Technology
NMRI	: National Maritime Research Institute of Japan
NSMB	: Netherlands Ship Model Basin
MARIN	: Maritime Research Institute Netherlands

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 :	Parametre ve Sembolleri	7
Çizelge 2.2 :	Deplasman Tekneleri İçin Parametreler	8
Çizelge 2.3 :	Andersen/Guldhammer Methodu	9
Çizelge 2.4 :	Holtrop&Mennen Metodu	10
Çizelge 2.5 :	Fung Metodu	10
Çizelge 2.6 :	Van Oortmerssen Metodu	11
Çizelge 2.7 :	Jin/Su/Tan Metodu	12
Çizelge 2.8 :	Calisal Metodu	13
Çizelge 2.9 :	FAO Metodu	13
Çizelge 2.10 :	Compton Yöntemi	14
Çizelge 2.11 :	Savitsky Metodu	15
Çizelge 2.12 :	Radojcic Metodu	16
Çizelge 2.13 :	Marintek Fastcat Yöntemi	16
Çizelge 2.14 :	Çıplak Durum Hız Efektif Güç Değerleri	60
Çizelge 2.15 :	Savaş Gemisi Hız Efektif Güç Değerleri	64
Çizelge 3.1 :	Örnek Pervane Alan Oranları	22
Çizelge 4.1 :	Sabit Hatveli Pervane Serileri Özeti (Carlton, 2007)	49
Çizelge 4.2 :	Wageningen-B serisi pervane sayısı kanat alan oranı dağılımı (Carlton, 2007)	50
Çizelge 5.1:	Askeri Geminin Hidrostatik Özellikleri	56
Çizelge 5.2:	Uygulama Gemisi Parametreleri	57
Çizelge 5.3:	Uygulama Gemisi HullSpeed Hidrostatik Verileri	58
Çizelge 5.4:	Desp Sevk Katsayıları	66
Çizelge 5.5:	Desp sevk karakteristikleri	67
Çizelge 5.6:	Savaş Gemisi İçin Matlab Kodları ile Standart Serilere Göre Pervane Dizaynı Sonuçları	69
Çizelge 5.7:	Dizayn edilen pervane geometrisi	70
Çizelge 5.8:	Standart seri sevk katsayıları	71
Çizelge 5.9:	Pervane diskindeki nominal eksenel iz dağılımı	72
Çizelge 5.10:	Gelen akım ortalama hızları	73
Çizelge 5.11:	Kaldırıcı Hat Dizayn Parametreleri	75
Çizelge 5.12:	Tekil dizayn pervane devirlerine göre performans sonuçları	76
Çizelge A.1 :	PVL parametrik dizayn kısaltmaları	86
Çizelge A.2 :	MPVL parametrik dizaynı	86
Çizelge A.3 :	MPVL parametrik dizaynı performans tablosu	89
Çizelge A.4 :	MPVL parametrik dizaynı pervane geometrisi	91
Çizelge B.1 :	MPVL tekil dizaynı	98
Çizelge B.2 :	MPVL tekil dizaynı performans tablosu	99
Çizelge C.1 :	MPVL tekil dizaynı pervane geometrisi	101
Çizelge C.2 :	Standart seriye göre dizayn edilen pervanenin ofseti	103

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Gemi Direnci Bileşenleri (Carlton, 2007)	6
Şekil 2.2 : Deplasman teknesi.....	7
Şekil 2.3 : Yarı Deplasmanlı Tekne.....	14
Şekil 2.4 : Kayıcı Tekne	15
Şekil 3.1 : Referans Sistemi (Carlton, 2007)	17
Şekil 3.2 : Pervane kanadı referans hatları (Carlton, 2007).....	18
Şekil 3.3 : Hatvenin r yarıçaplı silindir etrafındaki helix gösterimi (Carlton, 2007). ..	18
Şekil 3.4 : Pervane Eğikliği (Url-2).....	19
Şekil 3.5 : Pervanede Çalıklık (Ghassemi, 2009)	20
Şekil 3.6 : Kayma Oranı (ManBw,).....	20
Şekil 3.7 : Pervane Hattı (Korkut, 2008)	21
Şekil 3.8 : Propcad Örnek Pervane Çizimi	22
Şekil 3.9 : NACA 63-142 (Newman, 1977)	23
Şekil 3.10 : Aerofil Kesit	23
Şekil 3.11 : KT-KQ-J Diyagramı	24
Şekil 3.12 : a) U tipi tekne b)– V tipi tekne (Carlton, 2007)	26
Şekil 3.13 : Potansiyel İz ve Viskoz İz (Korkut, 2008)	26
Şekil 3.14 : Gemi Kıç Formunun İze Etkisi (Lewis, 1988)	28
Şekil 3.15 : İtme azalması tekne parametreleri.....	29
Şekil 3.16 : Gemi sevkinde güç ve verimler (Korkut, 2008).....	32
Şekil 3.17 : Momentum teorisinin temeli (Carlton, 2007).....	34
Şekil 3.18 : Kanat elemanı teorisi (Froude, 1878).....	36
Şekil 3.19 : Kaldırıcı hat teorisi (Epps, 2010)	37
Şekil 3.20 : Pervane kanadı hız/kuvvet diyagramı (Epps, 2010).....	38
Şekil 3.21 : Kaviteasyon bölgeleri.....	40
Şekil 3.22 : Uç girdap kaviteasyonu (Kinnas, 1996).....	41
Şekil 3.23 : Önder kenar etrafı uç girdap kaviteasyonu (Kuiper, 2001).....	41
Şekil 3.24 : Boyutlu yüzeyde Kabarcık kaviteasyonu (Kuiper,2010)	41
Şekil 3.25 : Pervane modeli üzerindeki kabarcık kaviteasyonu (Kuiper,2010)	42
Şekil 3.26 : Tabaka, bulut, uç-girdap kaviteasyonları	42
Şekil 3.27 : Kök kaviteasyonu (NMRI, 2006).....	43
Şekil 3.28 : Pervane tekne girdap kaviteasyonu	44
Şekil 3.29 : Pervane kanadında oluşan kaviteasyon erozyonu	45
Şekil 3.30 : Burrill kaviteasyon diyagramı	47
Şekil 4.1 : Bp-& diyagramı.....	53

Şekil 5.1 : Deney arabası	55
Şekil 5.2 : Deney havuzu	56
Şekil 5.3 : Uygulama gemisi çıplak durum efektif güç karşılaştırması	59
Şekil 5.4 : Çıplak durum hız efektif güç (PE kW) eğrisi	61
Şekil 5.5 : Matlab ortamına veri aktarımı	62
Şekil 5.6 : Matlab temel dizayn parametreleri arayüzü	62
Şekil 5.7 : Toplam direnç deney sonucu aktarımı	63
Şekil 5.8 : Savaş gemisi hız- efektif güç eğrisi (Matlab Sonuçları)	63
Şekil 5.9 : Uygulama gemisi hız güç eğrisi karşılaştırması	65
Şekil 5.10 : KT/J3 grafiği	68
Şekil 5.11 : Burrill kavitasyon kontrolü.....	68
Şekil 5.12 : Standart serilere göre dizaynı yapılan pervanenin 3 boyutlu görüntüsü.	70
Şekil 5.13 : Her r/R’de açıya göre nominal eksenel hız dağılımı	72
Şekil 5.14 : MPVL Programı algoritması	74
Şekil 5.15 : U.S. Navy 4119 sirkülasyon dağılımı ve verim eğrileri (Epps, 2010) ...	74
Şekil 5.16 : İlk tekil dizayn arayüzü	76
Şekil A 1: Parametrik dizayn pervane devri çap verim optimizasyonu	84
Şekil A 2: MPVL kullanıcı girişi arayüzü	85
Şekil B 1: MPVL tekil dizaynı kullanıcı arayüzü	94
Şekil B 2: MPVL tekil dizayn performans eğrileri	95
Şekil B 3: MPVL tekil dizayn sirkülasyon dağılımı	96
Şekil B 4: MPVL tekil dizayn pervane-panel 3 boyutlu görüntüsü	97
Şekil D 1: Nominal hız dağılımı	105
Şekil D 2: İz dağılımı.....	105
Şekil D 3: Kramer diyagramı	106
Şekil D 4: Goldstein düzeltme faktörü.....	106
Şekil D 5: Naca 66 kavitasyon diyagramı.....	107
Şekil D 6: Kanat genişliği düzeltmesi.....	107
Şekil D 7: Hatve/Çap düzeltmesi	107

SEMBOL LİSTESİ

R_{FO}	: Yüzey Sürtünme Direnci
R_F	: Gemi Sürtünme Direnci
R_P	: Basınç Direnci
P_V	: Viskoz Basınç Direnci
R_{WM}	: Dalga Yapma Direnci
R_{WB}	: Dalga Kırılma Direnci
Fn	: Froude Sayısı
C_b	: Blok Katsayısı
C_p	: Prizmatik Katsayı
C_m	: Orta Kesit
BT	: Genişlik - Su çekimi Oranı
LB	: Boy Genişlik Oranı
LD	: Boy Deplasman Oranı
IE	: Yarı Giriş Açısı
F_v	: Hacim Froude Sayısı
TR	: Trim Açısı
DR	: Kalkım Açısı
EP	: Şaft Açısı
LB	: Boy Genişlik Oranı
CT	: Toplam Direnç Katsayısı
CR	: Artık Direnç Katsayısı
CF	: Sürtünme Direnç Katsayısı
CA	: Direnç Artışı Katsayısı
RA	: Korelasyon faktörü
CR	: Artık Direnç Katsayısı
BAR	: Kanat Alan Oranı
CFD	: Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği
P/D	: Pervane Hatvesi-Cap Oranı
theta	: Skew Acisi(derece)
iT	: Rake (geriye) +
tm	: r yaricapında kanat kesit maximum kalınlığı
xc	: kesit apsis degerleri (takip kenarından)
yf	: kesit yuz ordinati
y_b	: kesit sırt ordinati

İZE UYUMLU PERVANE DİZAYNI VE ASKERİ GEMİYE UYGULANMASI

ÖZET

Günümüzde gemi sevkinde iyi tasarım, çevre dostu performans ve verimlilik konularının ön plana çıkmasıyla pervane dizaynının önemi artmıştır. En uygun pervane dizaynı, elde edilebilecek en fazla verimi vermesi, kavitasyon yapmayacak şekilde olması ile gürültü ve titreşim değerleri müsaade edilebilir sınırlar içinde olması gereken bir optimizasyon problemidir.

Bu tezde kaldırıcı hat teorisine göre ize uyumlu pervane dizaynı anlatılıp bir askeri gemiye uygulanmıştır.

İlk önce pervane dizaynında gerekli olan gemi direnci ve bileşenleri konusu anlatılmıştır. Gemi direnci ve bileşenleri konusunu takiben deplasman tekneleri, yarı deplasman tekneleri, kayıcı tekneler ve katamaranlar için uygun olan direnç tahmini yöntemleri çeşitli parametre ve formüllerle özetlenmiştir.

Gemi direnci konusundan sonra pervane hidrodinamiği ve geometrisi konusu ele alınmıştır. Pervanenin kısımları çeşitli şekillerde anlatılmıştır. Çalıştığı ortam gereği pervane hidrodinamiği konusu pervane performans karakteristikleri, kavitasyon ve pervane teorilerini içerecek şekilde anlatılmıştır. Pervane teorileri içinde dizaynda kullanılan kaldırıcı hat teorisinde pervane kanadı üzerine gelen akım ile hız ve sirkülasyon dağılımı şekillerle anlatılmıştır.

Pervane dizaynı konusu teorik olarak ele alınmış, ilk önce standart serilere göre pervane dizaynı ve daha sonra da ize uyumlu pervane dizaynının nasıl yapıldığı özetlenmiştir.

Tüm bu teorik bilgilerden sonra askeri bir geminin hidrostatik özellikleri verilmiş ve ilk önce geminin direnç tahmini en uygun olan Holtrop&Mennen metoduna göre yapılmıştır. Direnç tahmininden sonra askeri gemiye standart seriye göre pervane dizaynı yapıp elde edilen pervanenin geometrisi çizelge şeklinde verildikten sonra Matlab kodları ile ize uyumlu hale getirilmiştir.

İze uyumlu hale getirilen pervane parametreleri en uygun verim şartlarına göre optimize edilmiş ve tüm sonuçlar şekil ve çizelgelerle ekte verilmiştir.

WAKE ADAPTED PROPELLER DESIGN AND APPLICATION TO A NAVY SHIP

SUMMARY

Importance of propeller design has been increased due to requirements for environmental friendly, better performance and efficiency in ship propulsion. To design a propeller is an optimisation problem, including efficiency, cavitation, vibration and noise characteristics that are in acceptable limits.

In the present thesis, a wake adapted propeller was designed using a lifting line method and applied for a navy ship.

First of all, components of ship resistance were explained by some prediction methods used for displacement hulls, semi displacement hulls, planning hulls and catamarans.

Following the resistance prediction, propeller geometry and propeller hydrodynamics were discussed theoretically. Due to the environment of propeller, hydrodynamics of propellers was explained including performance characteristics, cavitation and propeller theories. Lifting line theory, inflow velocities and circulation distribution were also described by graphs.

Propeller design was explained theoretically and using standart series data and wake adapted design were summarized.

After all these theoretical knowledge, resistance characteristics of the navy ship were predicted by Holtrop & Mennen method which was the best suitable for this tpe of ship. Following the resistance prediction, an appropriate propeller was designed by using standart series data. Results of the propleler characteristics obtained from standart series data were used for wake adapted design by Matlab codes.

Eventually, the wake adapted propeller was optimised for conditions of maximum efficiency with all the results data and graphs attached.

1. GİRİŞ

Bilim tarihinin zaman içinde gelişmesiyle birlikte gemi sevkinin önemi daha iyi anlaşılmış ve buna bağlı olarak daha iyi tasarım, çevreci dostu performans ve verimlilik konuları ön plana çıkmıştır. Bilgisayar teknolojisinin ilerlemesiyle de daha hassas ve doğru sonuçlar elde edilmeye başlanmıştır.

Gemilerin sevkinde gerekli olan enerji için kullanılan makinelerin ve yakıtların yanında en önemli öğelerden bir tanesi, sevk verimini ve yakıt tüketimini etkilemesiyle pervanelerdir ve bu yüzden gemiye en uygun olan pervanenin dizayn elde edilmesi gerekmektedir.

Pervane dizaynında öncelikle yapılması gereken, geminin dizayn hızı, gemi tipine ve çalışma ortamına göre bu süratte seyir yapabilmesi için geminin ne kadarlık bir direnci yenmesi gerektiği, pervanenin üretmesi gereken itme değeri ve dolayısıyla gerekli ana makine gücünün saptanması gereklidir.

Gemi direnci model veya sayısal yöntemlerle hesaplandıktan sonra geminin kış formu incelenmeli ve kış formuna uygun olabilecek pervanenin boyutları ilk etapta tahmin edilmelidir. Pervane çapı en önemli unsurlardan biridir. Pervane çapının yanında diğer unsur da, pervanenin kanat sayısıdır. Teorik olarak pervanelerde kanat sayısı arttıkça titreşim değeri düşmekte fakat bunun karşılığında verim de azalmaktadır. Pervane dizaynındaki diğer unsurlar da; pervanenin devri, sebep olabileceği titreşim, gürültü ve kavitasyon karakteristikleridir.

Dizayn sırasında parametrelerin hemen hemen hepsi birbirine bağlı olarak ve istenen maksimum verime karşılık minimum titreşim, gürültü ve kavitasyon için değişebilmekte bu da bize önemli bir optimizasyon problemi oluşturmaktadır.

Bu tezde mevcut ize uyumlu dizayn programın kullanılması, geliştirilmesi ve programın askeri bir gemi için uygulanması gerçekleştirilmiştir.

1.1 Tezin Amacı

Pervane dizaynı sürecinde alışlagelmiş yöntemlerin başında standart seriler baz alınarak yapılan dizayn yöntemleri gelmektedir. Pervanenin çalıştığı ortam göz önünde bulundurulduğunda gemi hareketi boyunca geminin ilerleme hızı ile suyun pervaneye akış hızı arasındaki fark olarak da tanımlanan iz konusu ve doğal olarak hidrodinamik konusu ön plana çıkmaktadır. Bu çalışmada standart serilere göre pervane dizayn edilmesinin yanısıra pervane hidrodinamiği ile ilgili olan pervane teorilerinden de bahsedilerek bu teoriler içinde geçen Kaldırıcı Hat Teorisi yardımıyla gemi izine uygun pervane dizayn yapılabilmesi ve bu dizaynın askeri bir gemiye uygulanması amaçlanmıştır.

1.2 Literatür Özeti

Literatürde gemi direnci tahmini konusunda model testleri sonuçlarına yaklaşan önemli sayıda çalışma yapılmıştır.

İlk olarak Froude gemi model benzerliği üzerine çalışmıştır (Froude, 1955). Yıllar içinde Holtrop ve Mennen (1982) 'in yaptığı güç tahmini çalışması ve bu çalışmanın yöntem oluşturması günümüzde etkili sonuçlar vermeye devam etmektedir.

Holtrop ve Mennen'i takiben konu ile ilgili birçok makale yayınlanmış ve yeni metodlar geliştirilmiştir. Bunlardan önemlileri ise Andersen ve Guldhamer (1986)'in yaptığı bilgisayar destekli güç tahmini prosedürüdür.

Yeni bir model olarak sistematik serilere dayalı olan ve yarı kayıcı teknelerde Compton (1986) 'un yaptığı çalışma ve yine sistematik serilere dayalı olan Calisal ve McGreer (1993) 'in yaptığı çalışmalar halen geçerliliğini korumaktadır.

Direnç tahminleri konusunda son zamanlarda ise metodoloji daha çok hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) yöntemleri üzerine olmuştur.

Pervane dizaynı aslında içinde hidrodinamik, yapısal dizayn ve akustik gibi disiplinleri de barındıran karmaşık bir optimizasyon problemidir. Temel olarak hidrodinamik teori ile ilgili daha kapsamlı bilgi için Batchelor (1967), Lamb (1963), Lighthill(1986), Milne-Thomson (1955) ve Newman (1977) kitaplarına başvurulabilir.

Pervane hidrodinamiği kendi içinde özelleşmiş ve konu ile ilgili Breslen ve Andersen 1994’de, Carlton 1994’de, Kervin 1991’de kitap ve ders notları yayınlamışlardır.

Bu çalışma içinde de değinilen, Lanchester-Prandtl kanat teorisi olarak da bilinen, kaldırıcı hat teorisi fikrini ilk olarak Prandtl (1918) ortaya çıkarmıştır. Gemi pervanelerinde açık su diyagramını oluşturabilmek için gerekli olan bu teoriye göre pervane kanadı düz bir hat gibi düşünülmüştür.

Prandtl’ı takiben Lerbs (1952) ve Abbott (1959) önemli çalışmalar yapmıştır. Yapılan bu çalışmalar günümüzde bilgisayar destekli pervane dizaynında kaldırıcı hat yöntemlerine temel oluşturmaktadır.

Mohammed (2006) yayınladığı pervane kaldırıcı hattı – dümen etkileşimi konulu raporunda pervanelerde kaldırıcı hattın ve ize uyumun nasıl modellendiğini görsel olarak anlatmaya çalışmıştır.

Bu konudaki son çalışmalardan birisinde ise pervane dizaynı konusunda Kimbal ve Epps (2010) hazırladıkları yazılımla kaldırıcı hat teorisini kullanarak pervanelerin ize daha uygun olarak tasarlanabilmesine katkıda bulunmuştur.

Bu çalışmada yukarıda bahsedilen kaynaklarla ilgili literatür taraması yapılmış ve konu içinde ilgili bölümlerde daha ayrıntılı bilgilere yer verilerek savaş gemisi için ize uyumlu pervanenin nasıl dizayn edileceği konusunun daha iyi anlaşılması amaçlanmıştır.

2. GEMİ DİRENCİNİN BELİRLENMESİ

Pervane dizaynı ve sevk analizleri için öncelikle geminin direncinin doğru olarak belirlenmesi gerekmektedir. Gemi direncini belirlemek içinse direnç bileşenlerini iyi tanımak gereklidir.

2.1 Gemi Direncinin Bileşenleri

Gemi seyrinin en uygun şekilde olması için gerekli makina gücünün tespiti önemlidir. Makina gücünün tespitinde önemli faktör ilerleyen gemiye etkiyen su ve hava dirençlerinin belirlenmesidir. Gerekli direnç değerlerinden sonra gemiyi sevk edebilecek en uygun sevk aracı seçilmelidir.

Geminin seyir yaptığı rotadaki hava ve deniz koşulları ile geminin takıntıları, yüzeyinin pürüzlülüğü ve kirlenme etkileri de dikkate alınarak geminin toplam direnci yaklaşık olarak belirlenebilir.

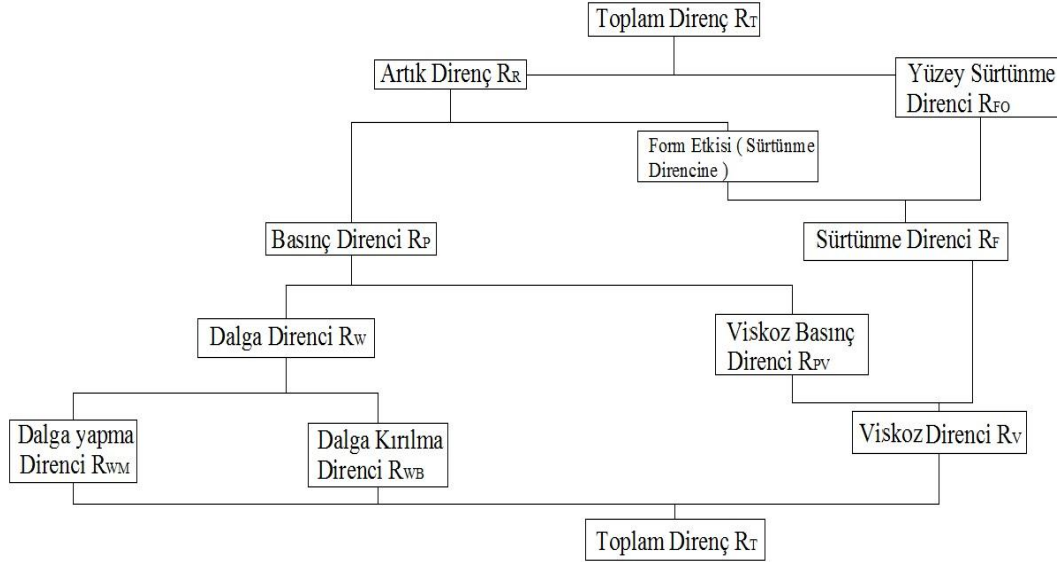
Gemilerin direnci halen en güvenilir olarak model deneyleri ile belirlenir. Bunun yanında matematiksel yöntemlerle de belirlenmektedir. Ön dizayn aşamasında, geminin parametrelerine bağlı olarak yaklaşık bir güç tahmini de yapılabilir.

İlerleyen bir gemiye, geminin ağırlığı, suyun kaldırma kuvveti , pervanenin sağladığı itme kuvveti ile birlikte su ve havadan kaynaklanan hidrodinamik ve aerodinamik kuvvetler tesir eder. Bu kuvvetler şu şekilde sınıflandırılabilir;

- Ağırlık kuvveti
- Hidrostatik Basınç Kuvveti
- İtme Kuvveti
- Hidrodinamik Kuvvetleri

Gemi viskoz bir akışkan içerisinde ilerleme yönünde hareket ederken, viskozite sebebiyle yüzeye teğet olan sürtünme kuvvetleri ile geminin etrafında oluşan yüzeye dik olan basınç kuvvetleri etki eder.

Froude (1872) yaklaşımıyla toplam direnç kuvveti, teğet sürtünme kuvvetleri ile dik basınç kuvvetlerinin gemi ilerleme yönündeki bileşenleri toplamının, ıslak yüzey boyunca integre edilmesi ile bulunabilir. Sakin su direnci şekil 1 deki gibi sınıflandırılabilir.



Şekil 2.1 : Gemi direnci bileşenleri (Carlton, 2007).

Yüzey Sürtünme Direnci (R_{FO}) : Gemiyle aynı boyda ve aynı ıslak alana sahip olan boyuna bir levhanın direnci olarak kabul edilebilir.

Gemi Sürtünme Direnci (R_F): Gemi etrafındaki 3 boyutlu akımda olan gerçek sürtünme direncidir.

Basınç Direnci (R_P): Dalga direnci, viskoz basınç direnci ve serpinti direncinden oluşur.

Viskoz Basınç Direnci (R_{PV}): Gerilmelerin gemi hareketi doğrultusunda oluşan bileşenlerinden oluşur.

Dalga Yapma Direnci (R_{WM}): Gemi etrafındaki pozitif ve negatif basınç bölgeleri ve yerçekimi etkisiyle oluşan dalga çukuru ve tepesini oluşturan dirençtir.

Dalga Kırılma Direnci (R_{WB}): Geminin oluşturduğu dalgaların kırılmasından kaynaklanan dirençtir.

2.2 Gemi Direnci Tahmin Yöntemleri

Gemi direnci matematiksel yöntemler ve model deneyleri ile tahmin edilebilir. Bu bölümde matematiksel yöntemlerden bahsedilecektir.

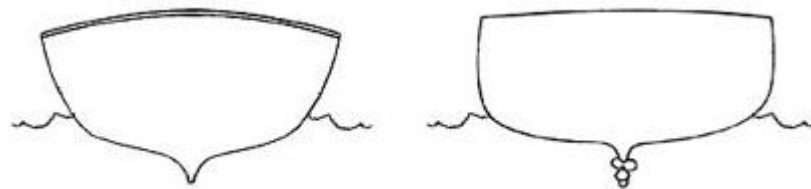
Gemi direncinin yaklaşık tahmini için kullanılan matematiksel yöntemlerde kullanılan parametreler ve sembolleri çizelge 2.1'deki gibi sıralanabilir.

Çizelge 2.1 : Parametre ve sembolleri.

Parametre	Sembol
Froude Sayısı	F_n
Blok Katsayısı	C_b
Prizmatik Katsayı	C_p
Orta Kesit Katsayısı	C_m
Genişlik - Su çekmi Oranı	BT
Boy – Genişlik Oranı	LB
Boy – Deplasman Oranı	LD
Yarı Giriş Açısı	IE
Hacim Froude Sayısı	F_v
Trim Açısı	TR
Kalkım Açısı	DR
Şaft Açısı	EP
Boy - Genişlik Oranı	LB
100 (LCG / LBP)	LC
100 (LCG / Lp)	-

2.2.1 Deplasman tekneleri için yöntemler

Deplasman tekneleri yuvarlak sintine dönümlerine sahip ve hızları arttıkça tekne su yüzeyine doğru yükselmeyen tekneler şeklinde tanımlandırılabilir. Şekil 2.2'den deplasman teknelerinin tipik bir formu gözlemlenebilir.



Şekil 2.2 : Deplasman teknesi

Bu bölümde ayrıca deplasman tekneleri için kullanılabilecek yöntemler kısaca anlatılmıştır. Deplasman tekneleri için kabul edilebilir parametrik limitler çizelge 2.2 de özetlenmiştir (Autopower, 1994).

Çizelge 2.2 : Deplasman tekneleri için parametreler.

Parametre	METOT															
	Anderson		Fung		Holtrop		Oortmers		Digernes		Jin/Su/Tan		Calisal		FAO	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Fn	-	0.33	0.18	0.51	-	1.00	-	0.50	-	0.50	0.40	1.00	-	0.43	-	0.36
Cb	0.55	0.85	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.53	0.00	-	-
Cp	-	-	0.52	0.70	0.55	0.85	0.52	0.70	-	-	0.57	0.76	-	62.00	0.55	0.70
Cm	-	-	0.62	0.90	-	-	0.73	0.98	-	-	-	-	-	-	0.53	0.93
BT	-	-	2.20	5.20	2.10	4.00	1.90	3.40	-	-	-	-	2.00	-	2.00	4.50
LB	5.00	8.00	-	-	3.90	14.90	3.40	6.20	-	-	-	-	2.60	3.00	3.10	5.60
LD	4.00	6.00	5.75	11.30	-	-	-	-	-	-	4.50	8.70	3.00	4.00	-	-
IE	-	-	4.00	16.00	-	-	10.00	38.00	-	-	7.60	26.60	-	4.50	15.00	37.00

2.2.1.1 Andersen/Guldhammer metodu

Göreceli olarak yavaş sayılabilen tekneler için kullanılabilir. Uygulama limitleri çizelge 2.3 deki gibi gösterilmiştir.

Çizelge 2.3 : Andersen/Guldhammer methodu.

	Anderson	
	Min	Max
Fn	-	0.33
Cb	0.55	0.85
Cp	-	-
Cm	-	-
BT	-	-
LB	5.00	8.00
LD	4.00	6.00
IE	-	-

Yavaş tekneler için uygulanır. Danimarka Teknik Üniversitesi'nin ön dizayn prosedürünü temel almaktadır. Formülasyonda form faktörü kullanılmamıştır. Denklemi aşağıdaki gibidir (Andersen ve Guldhammer, 1986).

$$CT = CR + CF + CA + \Delta C \quad (2.1)$$

CT : Toplam Direnç Katsayısı

CR : Artık Direnç Katsayısı

CF: Sürtünme Direnç Katsayısı

CA: Gemi-model Korelasyon Katsayısı

ΔC : Hava ve Seyir Direnci Katsayısı

2.2.1.2 Holtrop & Mennen metodu

Tek gövdeli deplasman teknelerine uygulanabilir. Uygulama limitleri çizelge 2.4'de gösterilmiştir. Uygulama limitlerinde maximum Froude sayısı 1.00 olarak görülmesine rağmen 0.40 dan büyük olanlar için uygulanması pek önerilmez. NSMB (Netherlands Ship Model Basin, günümüzde MARIN)'deki 334 model üzerindeki analizleri temel alarak regresyon analizi uygulayarak geliştirmiştir.

Çizelge 2.4 : Holtrop&Mennen metodu.

	Holtrop	
	Min	Max
Fn	-	1.00
Cb	-	-
Cp	0.55	0.85
Cm	-	-
BT	2.10	4.00
LB	3.90	14.90
LD	-	-
IE	-	-

Denklemi aşağıdaki gibidir (Holtrop, 1984).

$$RT = RF (1 + k) + R_w + RAPP + RA \quad (2.2)$$

R_w : Dalga Direnci

$RAPP$: Takıntı Direnci

RA : Korelasyon faktörü

$(1+k)$: Form faktörü

2.2.1.3 Fung metodu

Ayna kılıklı gemiler için uygulanır. Uygulama limitleri çizelge 2.5’de gösterilmiştir.

Çizelge 2.5 : Fung metodu.

	Fung	
	Min	Max
Fn	0.18	0.51
Cb	-	-
Cp	0.52	0.70
Cm	0.62	0.90
BT	2.20	5.20
LB	-	-
LD	5.75	11.30
IE	4.00	16.00

Regresyon analizinde 426 farklı geminin verisi kullanılmıştır. Ayna kılıklı gemiler ve yolcu gemileri arasında direnç karakteristiği farkları olduğu ilgili makalede vurgulanmıştır (Fung, 1991).

$$CR = CR1 + CR2 + CR3 + \dots + CR10 \quad (2.3)$$

Kısaltmaları şu şekildedir;

CR : Artık Direnç Katsayısı

CR1 – CR10 : 0.18 - 0.51 Froude sayısı aralığında farklı tekne parametreleri

2.2.1.4 Van Oortmerssen metodu

Küçük tekne formlarına uygulanır. Uygulama limitleri çizelge 2.6 da gösterilmiştir. NSMB deney havuzundaki küçük tekne dataları (balıkçı gemisi, romorkör vs.) temel alınmıştır. Formülasyon ayrıca iz, itme azalması katsayılarını ve rölatif dönme verimlerini de içerir. Sürtünme direnci bulunmasında ITTC 1957 yöntemi kullanılır (Oortmers, 1971).

Çizelge 2.6 : Van Oortmerssen metodu.

	Oortmers	
	Min	Max
Fn	-	0.50
Cb	-	-
Cp	0.52	0.70
Cm	0.73	0.98
BT	1.90	3.40
LB	3.40	6.20
LD	-	-
IE	10.00	38.00

$$RR / \Delta = C1 X1 + C2 X2 + C3 X3 + C4 X4 \quad (2.4)$$

C1 – C4 : Tablo halinde verilmiş katsayılar

X1 – X4 : Prizmatik katsayı ve Froude sayısına bağlı parametreler

2.2.1.5 Digernes ve Chena metodu

Sınırlı sayıda balıkçı gemisi datasının regresyon analizine dayalıdır. Karşılaştırmalar sonucu balıkçı gemileri için daha uygun olduğu görülmüştür.

$$Rt = a(LB)^b (BT)^c V^\delta e^{\beta Fn} \quad (2.5)$$

a, b, c, δ , β : Çeşitli sabitler

V : Hacim

2.2.1.6 Jin. Su ve Tan metodu

Hızlı, yuvarlak karinalı,deplasman tekneleri için kullanılır.Yayınlandığı makalede deplasman hacmi boy oranının, prizmatik katsayının, ayna kış alanının maksimum kesitin alanına oranının, sephiye merkezi boyuna yerinin, su hattı yarım giriş açısı ve Froude sayısının direnci önemli ölçüde etkilediği belirtilmektedir (Jin, ve diğ, 1980). Uygulama limitleri çizelge 2.7 de gösterilmiştir.

Çizelge 2.7 : Jin/Su/Tan metodu.

	Jin/Su/Tan	
	Min	Max
Fn	0.40	1.00
Cb	-	-
Cp	0.57	0.76
Cm	-	-
BT	-	-
LB	-	-
LD	4.50	8.70
IE	7.60	26.60

$$CR = B_0 X_0 + B_1 X_1 + \dots + B_{53} X_{53} \quad (2.6)$$

B₀ – B₅₃ : Tablo halinde verilmiş katsayılar

X₀ – X₅₃ : Tekne geometrisi ve Froude sayısının fonksiyonları

2.2.1.7 Calisal metodu

Genel olarak University of British Columbia (Kanada) da geliştirmiş olan balıkçı gemilerinde kullanılır.

Fn>0.42 için uygulanması tavsiye edilmez ve formüller Oortmersen yöntemine benzer şekilde geliştirilmiştir (Calisal ve McGreer, 1993). Uygulama limitleri çizelge 2.8 de gösterilmektedir.

$$RR / \Delta = C_1 X_1 + C_2 X_2 + C_3 X_3 + C_4 X_4 \quad (2.7)$$

C₁ – C₄ : Tablo halinde verilmiş katsayılar

X₁ – X₄ : Prizmatik katsayı ve Froude sayısına bağlı parametreler

Çizelge 2.8 : Calisal metodu.

	Calisal	
	Min	Max
Fn	-	0.43
Cb	0.53	0.00
Cp	-	62.00
Cm	-	-
BT	2.00	-
LB	2.60	3.00
LD	3.00	4.00
IE	-	4.50

2.2.1.8 FAO (UN) metodu

Küçük balıkçı teknelerinde kullanılabilir (Hayes ve Engval, 1969).

$$C_R = C_{R16} - A(SL/\Delta) \{ [\log (B V/(L)^{0.5})]^{-2} [\log (C V/(L)^{0.5})]^{-2} \} \quad (2.8)$$

A, B, C : Sabitler

C_{R16} : 16 Feetleik modelin artık direnç katsayısı

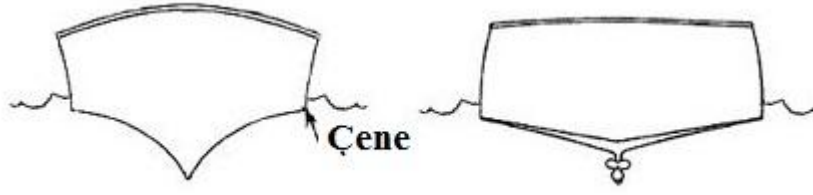
Uygulama limitleri tablo çizelge 2.9 da gösterilmiştir.

Çizelge 2.9 : FAO metodu.

	FAO	
	Min	Max
Fn	-	0.36
Cb	-	-
Cp	0.55	0.70
Cm	0.53	0.93
BT	2.00	4.50
LB	3.10	5.60
LD	-	-
IE	15.00	37.00

2.2.2 Yarı deplasmanlı tekneler için yöntemler

Özellikleri hem deplasmanlı teknelere hem de kayıcı teknelere benzeyen tip tekneler olarak tanımlandırılabilirler. Şekil 2.3'den yarı deplasman teknelerinin tipik bir formu verilmektedir.



Şekil 2.3 : Yarı deplasmanlı tekne.

Yarı deplasman tekneleri için kullanılabilecek yöntem kısaca anlatılmıştır.

2.2.2.1 Compton yöntemi

Amerikan Deniz Kuvvetleri'nin YP serilerinde kullanılır (Compton, 1986). Yarı deplasman teknelerinin deneysel verilerini temel alır. Yumuşak ve sert çeneli teknelerde uygulanabilir. Uygulama limitleri çizelge 2.10'da gösterilmiştir.

Çizelge 2.10 : Compton yöntemi.

	Compton	
	Min	Max
Fn	0.10	0.60
Fv	0.30	1.50
TR	-	-
DR	-	-
EP	-	-
LB	4.00	5.20
100 (LCG/LBP)	37.00	48.00

Denklemini aşağıdaki gibidir;

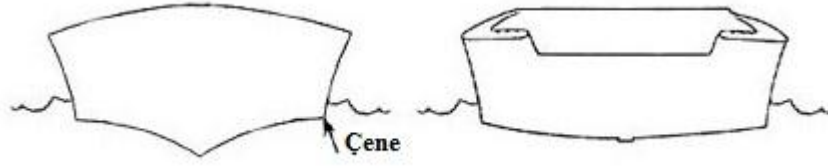
$$C_R \times 10^3 = A + B(LB) + C(\Delta) + D(100[LCG/LBP]) \quad (2.9)$$

A, B, C, D : Tablo halindeki Katsayılar

Δ : LBP ye bağlı deplasman

2.2.3 Kayıcı tekneler için yöntemler

Yüksek süratlerde su üzerinde sanki kayıyormuş gibi hareket edebilen şekilde dizayn edilen teknelerdir. Şekil 2.4'den kayıcı teknelerinin tipik bir formu verilmektedir. Kayıcı teknelerde, belirli hızların üzerine çıkıldığında, dinamik kaldırma kuvveti arşimet kaldırma kuvvetlerine göre yüksek değerlere ulaşmaktadır.



Şekil 2.4 : Kayıcı tekne.

Kayıcı tekneler için kullanılabilecek yöntemler aşağıdaki gibidir.

2.2.3.1 Savitsky metodu

Sabit kalkımlı teknelerde uygulanabilir (Savitsky ve Brown, 1976). Bu yöntem, kaldırma kuvveti ve direnç karakteristiklerini belirleyen formüller içermektedir. Uygulama limitleri çizelge 2.11'deki gibidir.

Çizelge 2.11 : Savitsky metodu.

	Savitsky	
	Min	Max
Fn	0.60	1.79
Fv	>1.00	
TR	3.00	7.00
DR	10.00	30.00
EP	-	-
LB	3.00	5.00

$$\text{Kayma Öncesi : } R_T / \Delta = A_1 F_1 + \dots + A_{27} F_{27} \quad (2.10)$$

$$\text{Kayma Rejimi : } R_T = \Delta \tan(\text{TR}) + F \text{ (tekne parametreleri, TR, Hız)} \quad (2.11)$$

A1 ... A27: Tablo halindeki Katsayılar

F1 ... F27: f(giriş açısı, maksimum çene genişliği, deplasman)

2.2.3.2 Radojcic metodu

Sert çeneli kayıcı teknelerde kullanılabilir. Seri 65-B, TMB-62 ve DL-62-A tekne formlarını temel alır (Radojcic, 1991). Uygulama limitleri çizelge 2.12'de gösterilmiştir.

$$R / \Delta = A_0 X_0 + \dots A_{26} X_{26} \quad (2.12)$$

$$\text{TR} = B_0 X_0 + \dots B_{26} X_{26} \quad (2.13)$$

A₀ ... A₂₆ : Tablo halindeki Katsayılar

B₀ ... B₂₆ : Tablo halindeki Katsayılar

X₀ ... X₂₆ : Tekne form parametreleri

Çizelge 2.12 : Radojcic metodu.

	Radojcic	
	Min	Max
Fn	-	-
Fv	1.00	3.50
TR	0.00	10.00
DR	13.00	37.40
EP	7.00	15.00
LB	2.36	6.72
100 (LCG/Lp)	30.00	44.80

2.2.4 Katamaranlar

Tek gövde direncinin iki katına gövdelerin birbirleriyle olan etkileşiminden kaynaklanan direnci de eklediğimizde toplam direncini bulabileceğimiz katamaranlar için Marintek Fastcat yöntemi uygundur.

2.2.4.1 Marintek Fastcat yöntemi

Norveçteki yüksek hızlı narin katamaranlı temel alır. Sürtünme katsayısı olarak ITTC 1957 kullanılır (Marintek,) Uygulama limitleri çizelge 2.13’de gösterilmiştir.

Çizelge 2.13 : Marintek Fastcat yöntemi.

	Marintek Fastcat	
	Min	Max
Fn	0.80	1.60
Cb	-	-
Cp	-	-
Cm	-	-
BT	-	-
LB	-	-
LD	5.75	7.50
IE	-	-

$$R_T = A (C_F + C_R + \Delta C_F) V^2 S + R_{AA} \quad (2.14)$$

A : Sabit

ΔC_F : Pürüzlülük etkisi ($\Delta C_F = 0.0005$, 150 μ m tekne pürüzlülüğü için)

R_{AA} : Hava direnci

S : Toplam tekne ıslak yüzeyi

V : Tekne hızı

3. PERVANE HİDRODİNAMİĞİ VE GEOMETRİSİ

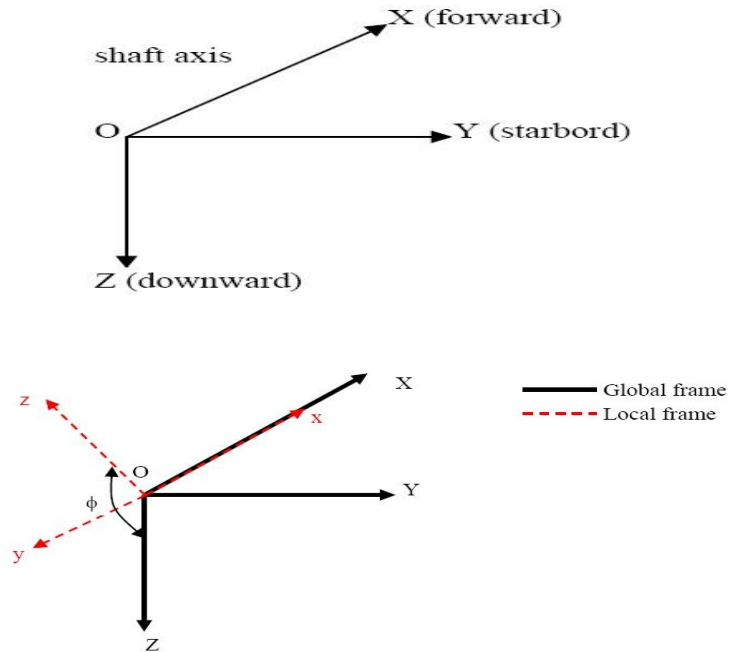
Standart serilere göre dizayn için de dizaynı ize uyumlu hale getirmek için de pervaneyi tanımak, pervane gemi etkileşimini ve pervane hidrodinamiğinin temellerini bilmek gereklidir.

3.1 Pervane Geometrisi

Pervane hidrodinamiğini kavramak için öncelikle pervanenin geometrisi tanımak gereklidir.

3.2 Referans Sistemi

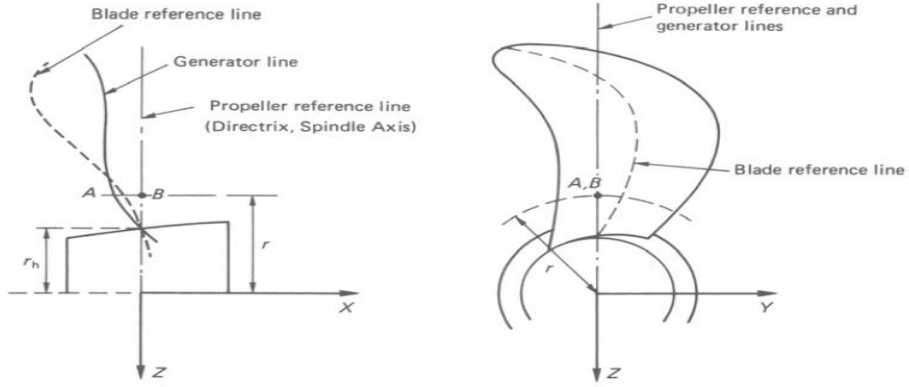
1963 yılında yapılan 10. ITTC (International Towing Tank Conference) 'de gemi hidrodinamiği ile ilgili terminoloji çalışması başlamış, bu süreç 1975 de tamamlanmış ve derlemesi 1978 de yayınlanmıştır. Şekil 3.1'de referans sistemi gösterilmiştir.



Şekil 3.1 : Referans sistemi (Carlton, 2007)

3.3 Pervane Referans Sistemi

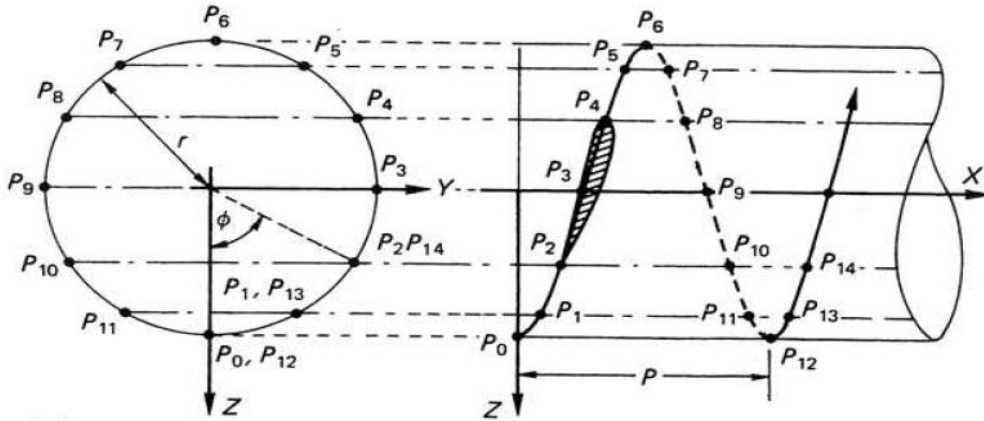
Şaft eksenine dik olarak tanımlanan hatta, pervane referans hattı denir ve bu terimin daha eski hali İngilizcede “directrix” şeklinde kullanılır (Carlton, 2007). Şekil 3.2’de pervane referans ve kanat referans referans hatları gösterilmiştir.



Şekil 3.2 : Pervane kanadı referans hatları (Carlton, 2007).

3.4 Pervane Hatvesi

Hatve genel anlamıyla bir tam turda katedilen mesafe demektir. Pervanenin bir tam dönüşü sırasında katettiği mesafeye pervanenin hatvesi denir. İngilizcede “pitch” olarak ifade edilir ve terminolojideki kısaltması “P” dir. Nominal hatve de denir. Örnek olarak bir tam dönüşü sırasında 50 cm ilerleyen bir pervane, 50 cm hatveli pervanedir. Şekil 3.3’de hatvenin bir silindir etrafındaki helix tanımı gösterilmiştir.

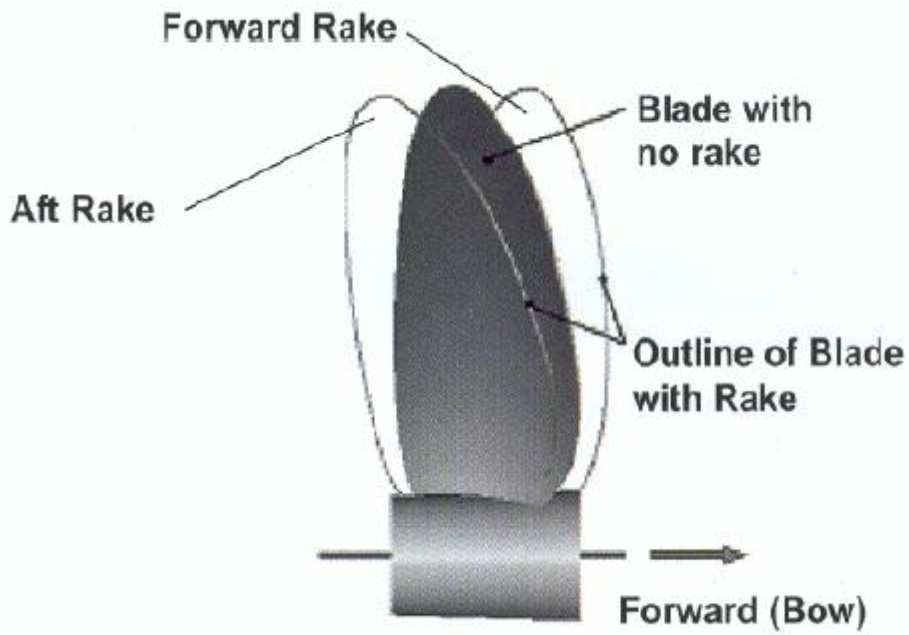


Şekil 3.3 : Hatvenin r yarıçaplı silindir etrafındaki helix gösterimi (Carlton, 2007).

3.5 Eğiklik, Çalıklık ve Kayma Oranı

3.5.1 Eğiklik

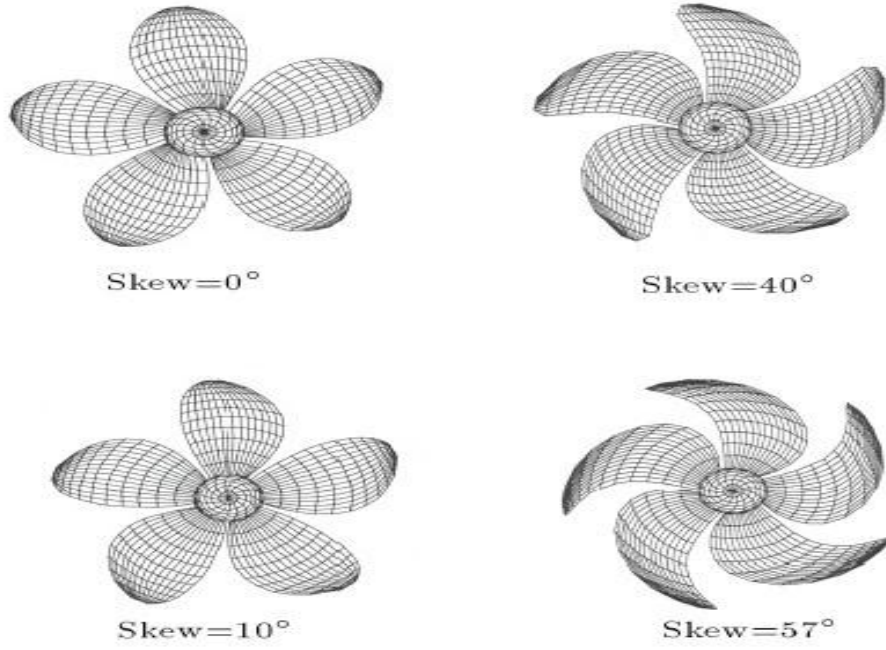
Pervane kanadına yandan bakıldığında, kanadın gemi başına ya da kıçına doğru eğilmesine eğiklik (rake) denir. Gemi başına doğru eğik olan pervaneler negatif eğiklikli, kıçına doğru eğik olan pervaneler pozitif eğiklikli olarak adlandırılır. Eğik kanatlı pervane, aynı çaptaki eğik olmayan pervaneye göre daha fazla alana sahiptir. Michigan Wheel Corporation'a göre Şekil 3.4'de pervane eğikliği gösterilmiştir



Şekil 3.4 : Pervane eğikliği (Url-2)

3.5.2 Çalıklık

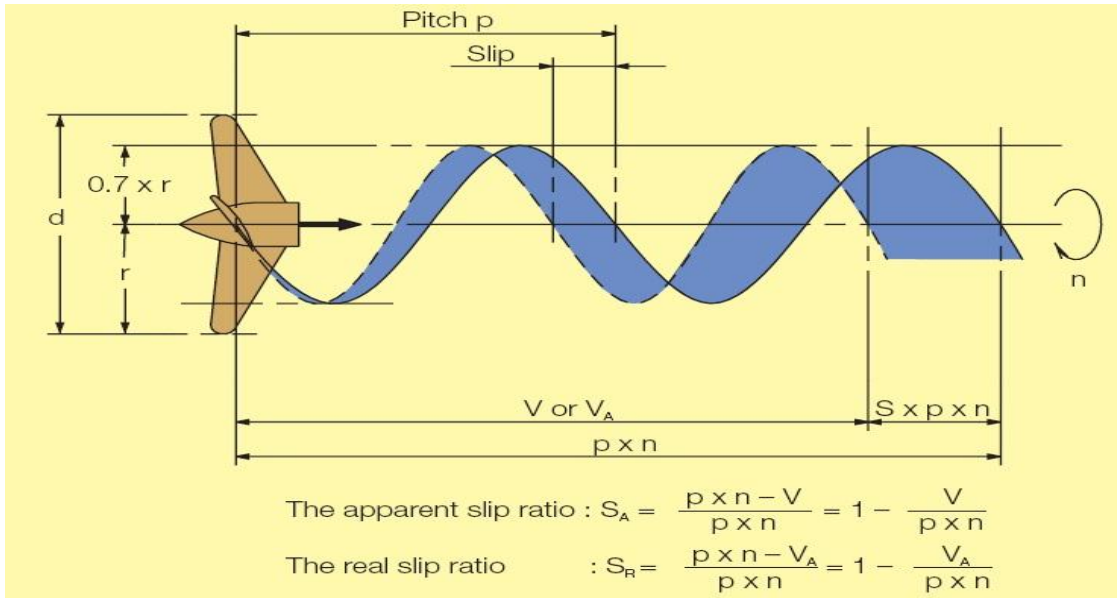
Pervaneye cepheden bakıldığında pervane kanadının simetrik olmaması sağa ya da sola kıvrılmış şekildeki konumuna çalıklık (skew) denir. Çalıklık açısının pervane hidrodinamiği üzerine etkisi yüksektir. Şekil 3.5'de çalıklık ifadesi gösterilmiştir.



Şekil 3.5 : Pervanede çalıklık (Ghassemi, 2009).

3.5.3 Kayma oranı

Pervane katı bir ortama göre su içerisinde çalıştığında bir turunda daha az ilerler. Gerçek hatve denilen bu ilerleme ile nominal hatve arasındaki farka kayma (slip) denir. Şekil 3.6’da kayma ifadesi gösterilmiştir (ManBw, 2008).



Şekil 3.6 : Kayma oranı (ManBw, 2008).

3.6 Pervane alanı

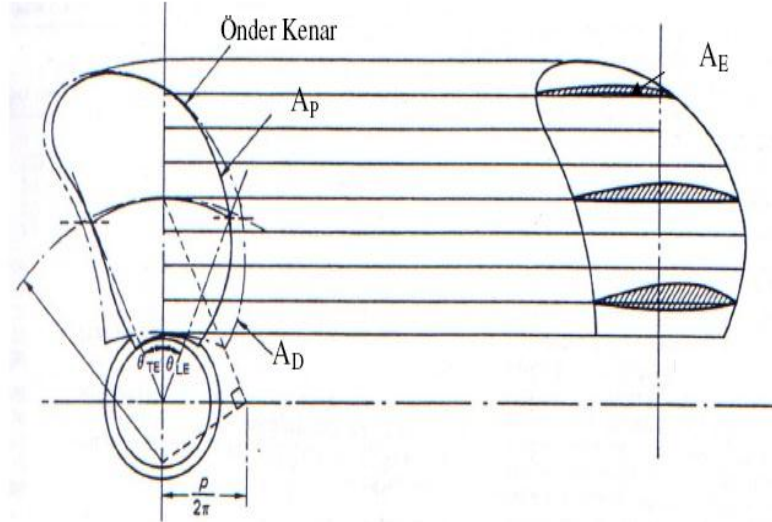
Pervane alanı ile ilgili bazı tanımlar ve açıklamaları aşağıdaki gibidir.

3.6.1 Pervane disk alanı (A_O)

Pervaneyi kanat uçları bir silindir içinde olacak şekilde düşündüğümüzde, o silindirin taban alanı pervane disk alanını ifade eder. A_O ile gösterilir. Pervane yarıçapını r ile ifade ettiğimizde pervane disk alanı πr^2 şeklinde hesaplanır.

3.6.2 Projeksiyon alanı (A_P)

Pervane kanatlarına shaft eksenine dik olacak şekilde baktığımızda görülen izdüşüm alanına projeksiyon alanı denir. A_P ile gösterilir.



Şekil 3.7 : Pervane hattı (Korkut, 2008).

3.6.3 Açınım alanı (A_D)

Pervane kanadının helisel yüzey üzerinde kapladığı alandır. Her kesitteki hatve sıfırlanmıştır.

3.6.4 Düzlenmiş açınım alanı

A_E ile gösterilir. Gerçek bir alan değildir. Açınım alanından elde edilir. Pervane kanadının helisel yüzey üzerinde kapladığı alanın düzleştirilmiş halidir. Genel olarak açınım alanı düzlenmiş açınım alanından, düzlenmiş açınım alanı da projeksiyon

alanından büyüktür (Carlton, 2007). Çizelge 3.1’de örnek bir pervane alanı karşılaştırması görülmektedir.

Çizelge 3.1 : Örnek pervane alan oranları.

	Projeksiyon alanı	Açınım alanı	Düzlenmiş açınım alanı
Alan Oranı (A/A_o)	0.480	0.574	0.582

Pervanelerde kanat alan oranları aşağıdaki gibi tanımlanabilir.

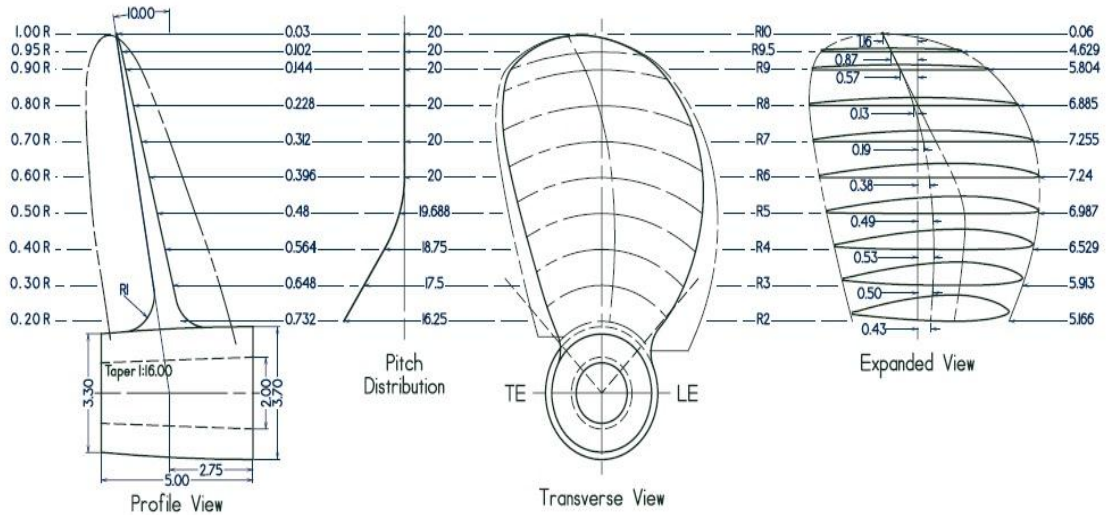
$$\frac{A_P}{A_O} = \frac{4A_P}{\pi D^2}$$

$$\frac{A_D}{A_O} = \frac{4A_D}{\pi D^2}$$

$$\frac{A_E}{A_O} = \frac{4A_E}{\pi D^2}$$

$\frac{A_E}{A_O}$ oranı kanat alan oranı (BAR) olarak ifade edilir.

Şekil 3.8’de Propcad programı ile hazırlanmış örnek bir pervane çizimi gösterilmiştir.



Şekil 3.8 : Propcad örnek pervane çizimi

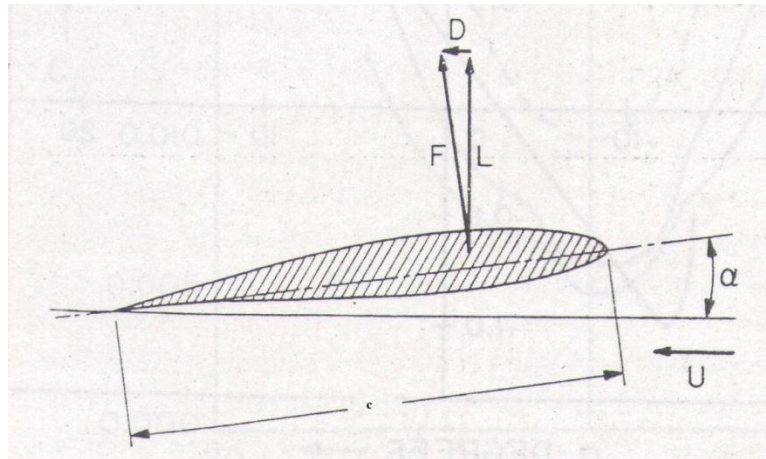
3.7 Pervane Kesit Geometrisi

Hidrofoiller gemilerde farklı alanlarda kullanılabilmektedirler. Bunlar pervaneler, dümenler, yalpalıklar, baş kış vurma hareketi söndürücüleri gibi kısımlardır.

Pervanelerde kullanılan hidrofoiller, pervanenin performansını etkilemektedir. Bu profiller genelde aerofoiller, ay profiller, segmental profiller ve mekik profillerdir.

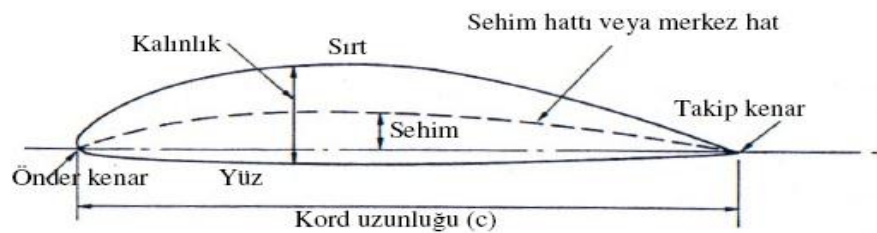
3.8 Pervane Kesidi Etrafındaki Basınç Dağılımı

Belli bir giriş açısı ile şekil deki gibi bir keside gelen akım kesitin sırt bölgesinde negatif basınç yani emme ve yüz bölgesinde de pozitif basınç oluşturur. Bu sayede basınç farkından dolayı bir kaldırma kuvveti doğar. Şekil 3.9'daki NACA 63-142 hidrofoil kesitine U hızında bir akım gönderdiğimizde oluşan durum aşağıdaki gibidir.



Şekil 3.9 : NACA 63-142 (Newman, 1977).

Şekil 3.9'da α giriş açısını, U akım hızını, F toplam kuvveti ve D direnç kuvveti ile L kaldırma kuvvetini temsil etmektedir. Şekil 3.10'da bir aerofil kesitin kısımları görülmektedir. Bu kesitte kalınlık, sırt, sehim hattı, yüz, takip ve önder kenarları ile kord uzunluğu gösterilmiştir.



Şekil 3.10 : Aerofil kesit.

3.9 Pervanelerin Performans Karakteristikleri

Pervanelerin performans karakteristikleri açık su karakteristikleri ve pervane tekne etkileşimi başlıkları altında incelenebilir.

3.9.1 Açık su karakteristikleri

Pervaneler tarafından üretilen kuvvetler ve momentler boyutsuzlaştırılarak ifade edilebilir. Bunları aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür.

$$\text{İtme Katsayısı: } K_T = \frac{T}{\rho n^2 D^4}$$

$$\text{Tork katsayısı: } K_Q = \frac{Q}{\rho n^2 D^5}$$

$$\text{İlerleme Katsayısı: } J = \frac{V_A}{nD}$$

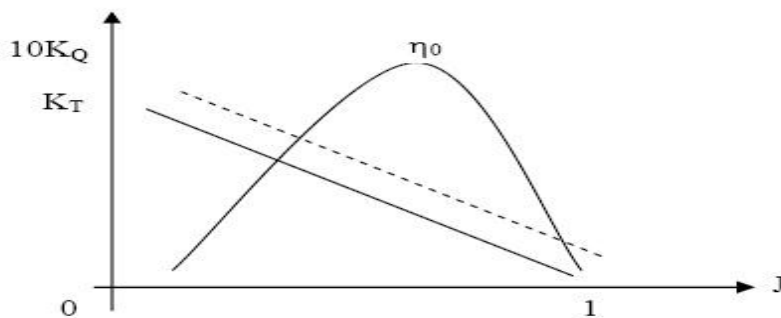
$$\text{Kavitasyon Sayısı: } \sigma = \frac{P_0 - P_v}{\frac{1}{2} \rho V^2}$$

$$\text{Açık su verimi: } \eta_0 = \frac{P_T}{P_D}$$

Açık su verimindeki P_T Pervanenin ürettiği güç yani TV ve P_D Pervaneye verilmesi gereken güç $2\pi Qn$ şeklinde verilebilir. Açık su pervane verimliliğinde

$$\eta_0 = \frac{P_T}{P_D} = \frac{TV}{2\pi Qn} = \frac{K_T \rho n^2 D^4 V}{2\pi K_Q n^2 D^5 n} = \frac{K_T}{2\pi} \frac{V}{nD} \frac{1}{K_Q} = \frac{K_T J}{2\pi K_Q} = \frac{J}{2\pi} \frac{K_T}{K_Q} \text{ haline gelir.}$$

Açık su pervane veriminin elde edildiği K_T - K_Q - J diyagramı en genel haliyle şekil deki gibidir.



Şekil 3.11 : K_T - K_Q - J diyagramı.

3.9.2 Pervane tekne etkileşimi

Pervanelerin hidrodinamik karakteristikleri tekne arkasında çalışması ile açık suda çalışması durumlarına göre farklılık göstermektedir. Bu farklılıkların temel sebebi pervaneleri farklı akımlarda çalışmalarıdır. Bu farklılıklar ise 3 ana etken yaratır. Bunlar iz, itme azalması ve bağıl dönme verimidir.

3.9.3 İz

İz alanı gemi türüne bağlıdır ve her geminin kendine özgü iz alanı vardır. Gemi arkasında pervaneye yakın olan bölgedeki iz alanı potansiyel akım ve sınır tabakasının sonucudur. Şekil 3.12’de farklı gemiler için iki iz alanı gösterilmiştir.

Geminin izi, geminin ilerleme izi ile suyun pervaneye geliş hızı arasındaki fark olarak tanımlanabilir. Bu farkın gemi ilerleme hızına oranı ise iz katsayısı (w) olarak bilinir.

$$w_T = \frac{V - V_A}{V} \text{ Taylor İz Katsayısı olarak da bilinir.}$$

Bir diğer iz katsayısı tanımını da Froude şu şekilde oluşturmuştur;

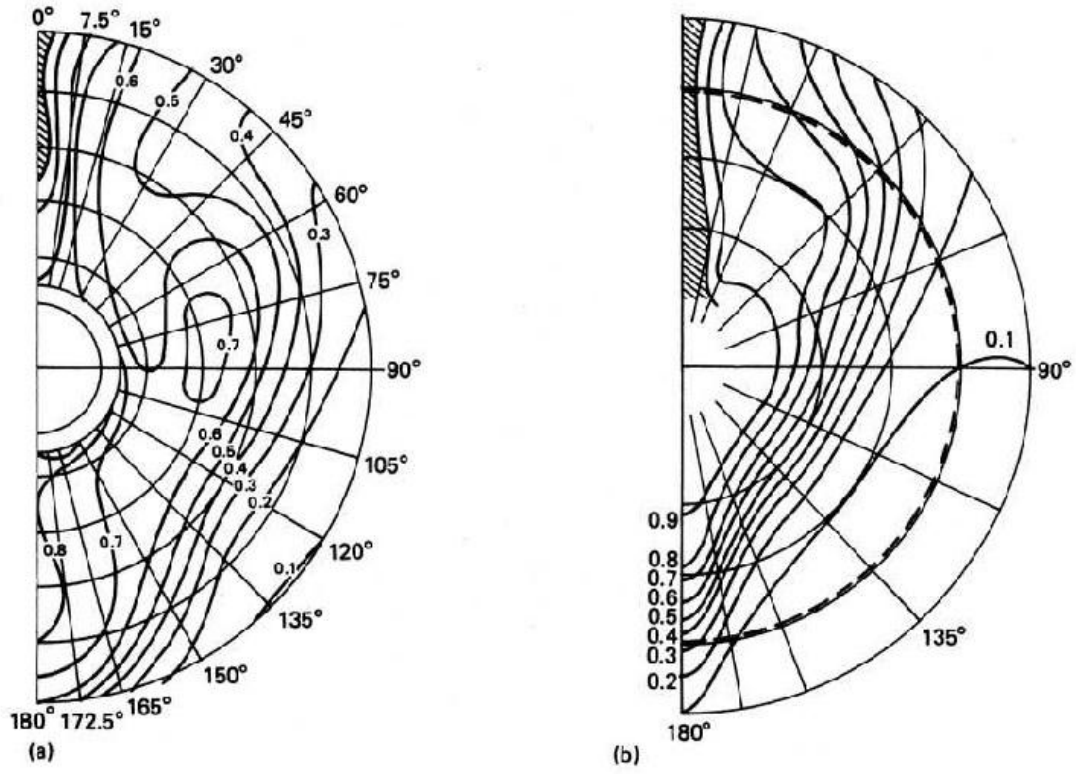
$$w_F = \frac{V - V_A}{V_A}$$

Taylor ve Froude iz katsayılarında V_A pervaneye gelen su hızını ifade etmektedir. Günümüzde iz katsayısı denilince kullanılan Taylor’un tanımladığı iz katsayısıdır. İz konusunda iki tanım daha yapılabilir. Bunlar nominal iz ve efektif iz tanımlarıdır.

Teknenin arkasında pervane düzleminde ölçülen iz pervane yok iken yapılmışsa buna nominal iz (w_n) denir. Pervane etkileri de eklenerek bulunan ize de efektif iz denir.

İz katsayısının bileşenleri de potansiyel iz katsayısı, sürtünme iz katsayısı ve dalga yapıcı iz katsayısı şeklindedir.

- Potansiyel iz (w_p), geminin sürtünmesiz, dalgasız ideal bir akışkanda hesaplanabilecek izini ifade eder.
- Dalga yapıcı iz (w_w), geminin dalgalı ortamdaki hareketinde su tanelerinin ivmelerinden kaynaklanan izi belirtir.
- Sürtünme izi (w_v), sürtünme sebebiyle oluşan izi ifade eder. Nominal izin Δw bileşeni de düzeltme ya da lineer olmayan etkilerin hesaba katılmasını belirtir.

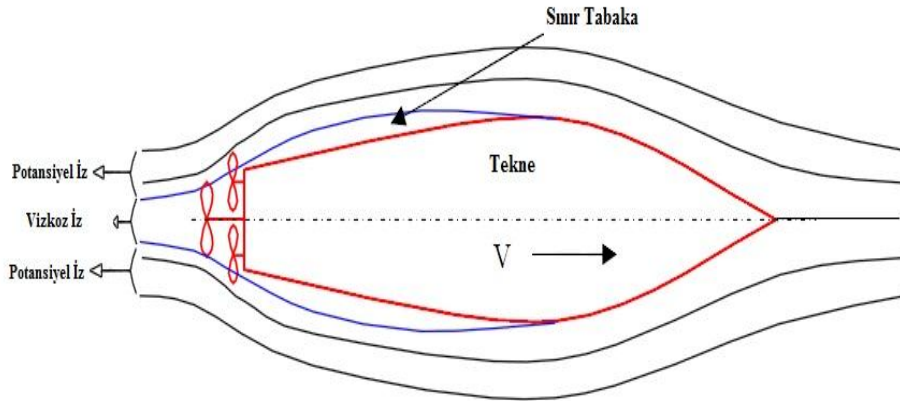


Şekil 3.12 : a) U tipi tekne b)– V tipi tekne (Carlton, 2007).

Denklem 3.2’de nominal izin bulunuşu genel anlamıyla belirtilmiştir. Bu bileşenlerin toplamı nominal izi verir.

$$\{w_n\} = \{w_p\} + \{w_v\} + \{w_w\} + \{\Delta w\} \quad (3.2)$$

Şekil 3.12’de potansiyel iz ve sürtünme izi oluşum yerleri gösterilmiştir.



Şekil 3.13 : Potansiyel iz ve viskoz iz (Korkut, 2008).

Viskoz etkilerden dolayı tek pervaneli gemilerde pervane genel anlamda vizkoz iz alanındadır, çift pervaneli gemilerde de pervaneler genelde potansiyel iz alanında çalışır. Şekil 3.13’de gemi kış formunun ize etkisi incelenebilir.

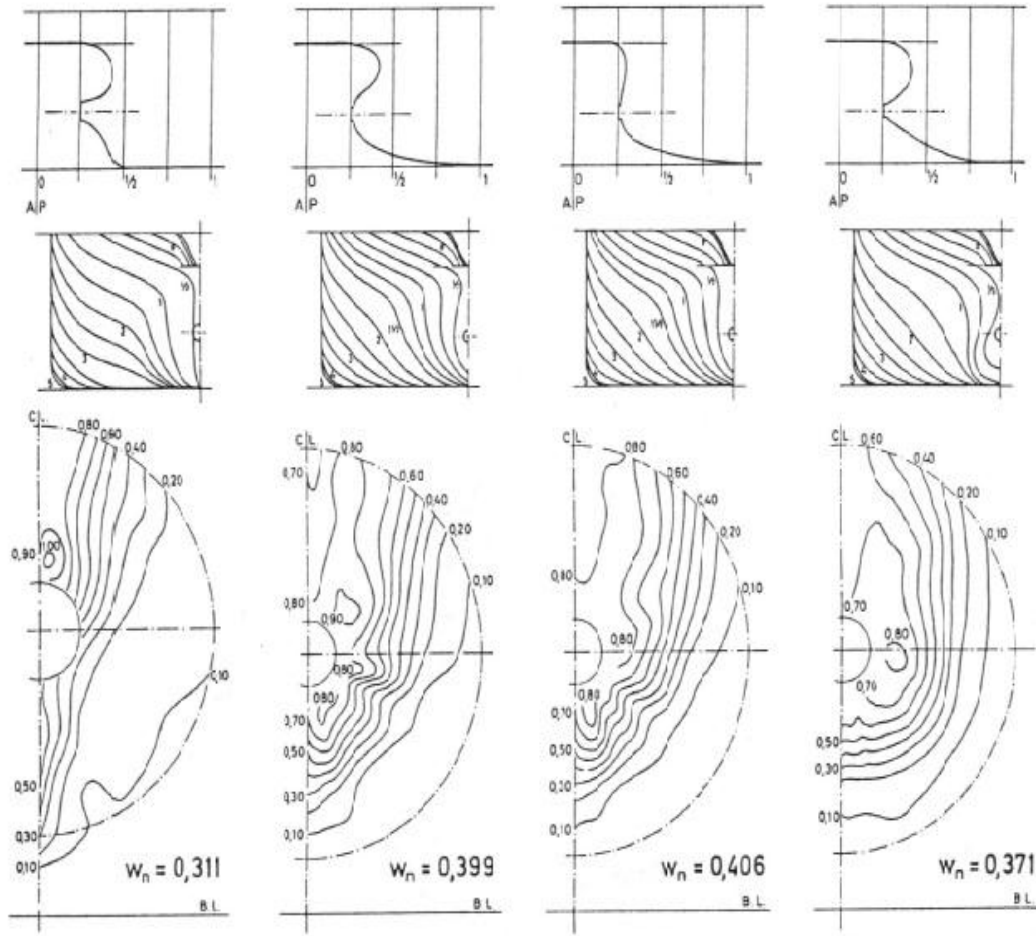
İz katsayısının hesaplanmasında deneyler ve hesaplamalı akışkanlar dinamiği yöntemlerinin yanında bazı yarı ampirik formuller de ilk yaklaşım olarak kullanılabilmektedir. Bunlar;

Tek Pervaneli Gemiler İçin Taylor Formülü:	$w=0.5 C_B - 0.05$
Çift Pervaneli Gemiler İçin Taylor Formülü:	$w=0.55 C_B -0.20$
Orta Hızlı Kargo Gemilerinde $C_B=0.70$ için	$w=0.30$
Büyük Dökme Yük Gemilerinde $C_B=0.80-0.85$ için	$w=0.4-0.5$
Konteyner Gemileri $C_B= 0.60-0.65$ için	$w=0.25$
Çift Pervaneli Feribotlar $C_B=0.50$ için	$w=0.10-0.15$
Hızlı Fırkateyn (Normal Seyirde)	$w=0.05$
Hızlı Fırkateyn (Maksimum Hızda)	$w=-0.05$

Yukarıdaki yaklaşımların yanında tek pervaneli gemilerde

$$w=0.5C_p \frac{1.6}{1+\frac{D_p}{T}} \cdot \frac{1.6}{10+\frac{L}{B}} \text{ yaklaşımı da uygulanabilir (Schneekluth ve Bertram,}$$

1988).



Şekil 3.14 : Gemi kık formunun ize etkisi (Lewis, 1988).

3.9.4 İtme azalması (Emme katsayısı)

Gemiye ileri sevkedebilmek için gerekli olan itme, geminin toplam direnci ve pervanenin çalışmasından kaynaklanan direnç artışının toplamından fazla olmalıdır. Pervanenin çalışmasıyla hızlanan akım basınç azalmasına ve gemi kıçında direnç artışına neden olur ve itme azalması da bu direnç artışı yerine kullanılan ifadedir. Formül gösteri mi $T-R_T$ şeklindedir. İtme azalmasının toplam itmenin yüzdesi olarak ifade edilmesi de itme azalmasını (emme katsayısını) ifade eder ve “t” ile gösterilir.

$$t = \frac{T-R_T}{T} \quad \text{Burada da toplam dirence} \quad R_t = (1-t)T \quad \text{ile geçilir.}$$

Holtrop (1988), regresyon temelli aşağıdaki bağıntıyı ileri sürmüştür.

Tek pervaneli gemilerde:

$$t = \frac{0.25014(B/L)^{0.28956} (\sqrt{((B/T)/D)})^{0.2624}}{(1-C_p + 0.02251.c.b)^{0.01762}} + 0.0015C_{stern} \quad (3.3)$$

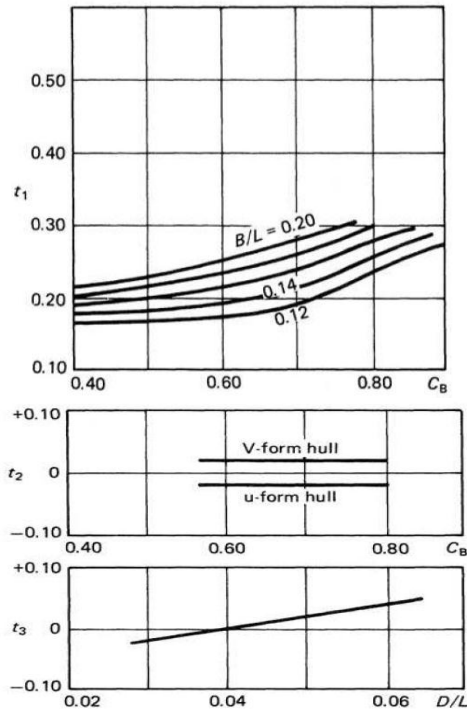
Çift Pervaneli gemiler için:

$$t = 0.325C_B - 0.18885D/\sqrt{BT} \quad (3.4)$$

Buna alternatif bir yaklaşım olarak Harvald (1978) ın bağıntısı kullanılabilir. Bu da;

$$t = t_1 + t_2 + t_3 \quad (3.5)$$

Denklem 3.5'deki t değerleri tekne parametrelerinden türetilmiştir. Tek pervaneli gemiler için bu parametrelerin değerleri şekil 3.15'den elde edilebilir.



Şekil 3.15 : İtme azalması tekne parametreleri.

Bunların yanında t değeri en sağlıklı olarak, model testinde, model ölçeğinde ve uygun çaptaki stok pervane ile uygun yükleme şartında ve dizayn hızındaki testler ile elde edilir.

3.9.5 Bağlı dönme ve sevk verimi

Pervanenin açık sudaki verimi ile iz alanında tekne arkasındaki verimi farklıdır. Bunun en temel iki sebebi vardır. Bunlar;

- .Açık sudaki akım ortamındaki türbülansın, tekne arkasındaki ortama göre seviyesinin çok daha düşük olması.

- Tekne arkasındaki akım oldukça düzensizdir ve bunun sonucunda pervanenin her yarıçaptaki durumu, açık suya göre farklıdır.

Yüksek türbülans pervane kanadındaki kaldırma ve direnci etkiler bu da doğal olarak pervane verimini etkiler. Bu yüzden pervaneler izdeki bu radyal dağılıma uygun olarak dizayn edilmelidir (İze Uyumlu Dizayn).

Bağıl dönme verimi aşağıdaki bağıntı ile elde edilebilir.

$\eta_r = (\text{Açık suda pervaneye iletilen güç} / \text{İz alanında pervaneye iletilen güç})$

$$\eta_r = \frac{P_{D0}}{P_D}$$

Genelde bağıl dönme verimi 0.96 ile 1.04 arasında değişmektedir. (Carlton, 2007)

T	İtme
R	Direnç
V	Gemi Hızı
P_T	İtme Gücü
P_{D0}	İletilen Güç (Açık su durumu)
P_D	İletilen Güç (Tekne arkası durumu)
P_B	Makine Fren Gücü
P_E	Efektif Güç
η_0	Açık Su Verimi
η_R	Bagil Dönme Verimi
η_B	Tekne Arkası Verimi
η_S	Şaft İletim Verimi
η_H	Tekne Verimi
η_D	Sevk Verimi

olmak üzere, aşağıdaki gibi bağıntılar elde edilebilir.

$$\eta_D = \frac{P_E}{P_D}$$

$$\eta_H = \frac{P_E}{P_T}$$

$$\eta_B = \frac{P_T}{P_D} = \eta_0 \eta_R$$

$$\eta_0 = \frac{P_T}{P_{D0}}$$

$$\eta_S = \frac{P_D}{P_B}$$

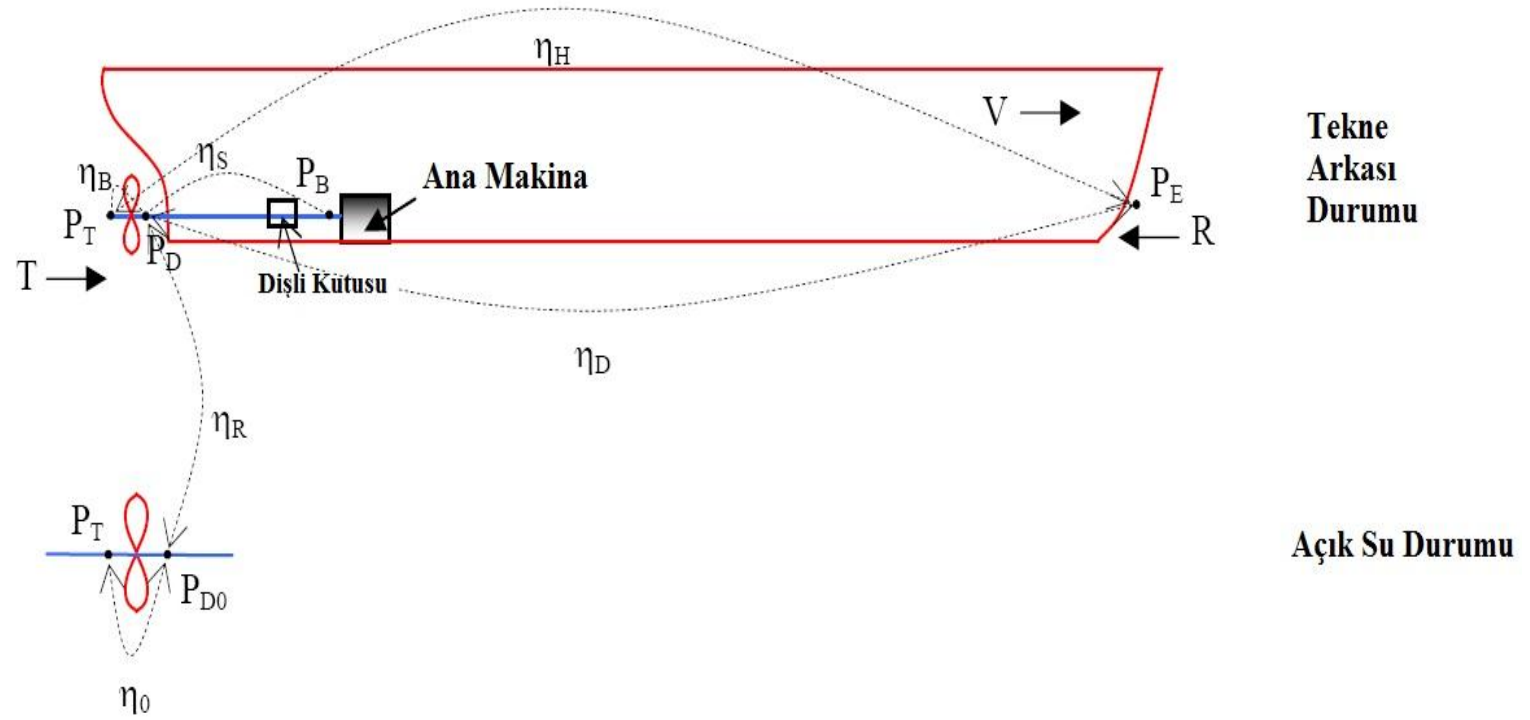
$$\eta_D = \frac{P_E}{P_D} = \frac{P_E}{P_T} \frac{P_T}{P_{D0}} \frac{P_{D0}}{P_D} = \frac{RV}{TV_A} \eta_0 \eta_R = \frac{T(1-t)V}{TV(1-w)} \eta_0 \eta_R \quad (3.6)$$

$$\eta_D = \frac{1-t}{1-w} \eta_0 \eta_R \quad (3.7)$$

Burada $\frac{1-t}{1-w}$ tekne verimi (η_H) olarak da tanımlanabilir. Böylece;

$$\eta_D = \eta_0 \eta_R \eta_H \text{ olur.}$$

Tekne verimi η_H genelde tek pervaneli gemilerde 1 ile 1.25 aralığında, çift pervaneli gemilerde ise 0.98 ile 1.05 aralığında değişebilmektedir (Korkut, 2008). Gemi sevkinde verimler şekil 3.16’da özetlenmiştir.



Şekil 3.16 : Gemi sevkinde güç ve verimler (Korkut, 2008).

3.10 Pervane Teorileri

Pervane dizaynı ve analizlerinde çeşitli teoriler kullanılmaktadır. Bunlardan önemlileri momentum teorisi, kanat elemanı teorisi ve kaldırıcı hat teorileridir.

3.10.1 Momentum teorisi

Rankine (1865), suyun pervane diski boyunca eksenel hareketini konu alan basit bir teori öngörmüştür. Teori pervane geometrisini dikkate almadığı için kanat tasarımında etkin olmamıştır. Buna rağmen teorisi, günümüzdeki teorilere pervanelerin hareketi konusunda temel oluşturmıştır. Rankine'in öngördüğü bu teori üzerine yapılan genel kabuller şu şekildedir.

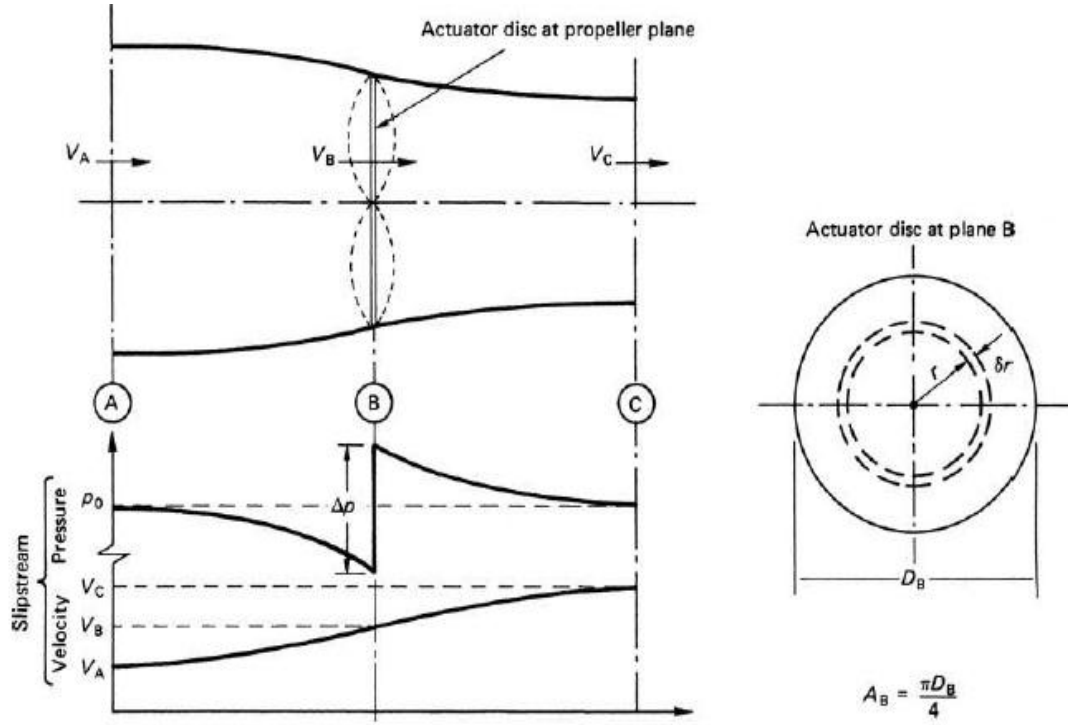
- Pervane ideal akışkan içinde hareket etmektedir bu yüzden sürtünmeden dolayı enerji kaybı yoktur.
- Pervane hareket ettirici disk (actuator disc) ile yer değiştirebilir ve bu yüzden pervane sonsuz kanat sayısına sahip olarak düşünülebilir.
- Pervane, akımda dönmeye neden olmadan itme sağlayabilir.

Yukarıdaki 3 temel kabule dayanan Rankine'in temel teorisi genelde eksenel momentum teorisi olarak bilinir. Froude yaptığı çalışmada yukarıdaki kabullerden üçüncüsünü yok sayarak yerine pervanenin rotasyonel hızı da oluşturduğunu ekleyerek daha gerçekçi bir model oluşturmuştur (1889). Şekil 3.16'da momentum teorisinin temeli konu alınmıştır.

Şekil 3.17'de akım soldan sağa doğru gösterilmiştir. Aktüatör disk B kesitine yerleştirilmiştir. A ve C kesitlerindeki statik basınç p_0 ile ve aktatör diskin arkasındaki ani basınç artışı da Δ_p ile gösterilmiştir. Bununla birlikte, P_D , pervane tarafından emilen güç ve T, pervanenin verdiği itme zamana göre kinetik enerjideki artışa eşittir.

$$\begin{aligned} P_D &= (\dot{m}/2)[V_C^2 - V_A^2] \\ T &= \dot{m}[V_C - V_A] \\ A_E &\cong A_D \end{aligned} \tag{3.8}$$

Burada $\dot{m}$, diskten zaman başına geçen kütledir ve P_D , pervane itme kuvvetine eşittir.



Şekil 3.17 : Momentum teorisinin temeli (Carlton, 2007).

$$P_D = \frac{1}{2} T [V_C + V_A] \quad (3.9)$$

$$P_D = T V_B$$

Denklem 3.8 ve 3.9'u birbirine eşitlersek

$$V_B = \frac{1}{2} [V_C + V_A] \quad (3.10)$$

bulunur. Ayrıca V_B ve V_C yi V_A cinsinden yazarsak,

$$\begin{aligned} V_B &= V_A + a V_A \\ V_C &= V_A + a_1 V_A \end{aligned} \quad (3.11)$$

Buradaki a ve a_1 , pervane diskindeki aksenal akım faktörleri olarak tanımlanır. Bu eşitliklerden

$$a_1 = 2a \text{ olarak bulunur.}$$

Denklem 3.8 ve 3.10'u birleştirip süreklilik kanununu da uygularsak,

$$\zeta V_B A_B = \zeta V_A A_A \quad (3.12)$$

bulunur. Ayrıca,

$$C_T = \frac{T}{\zeta A_B V_A^2} = 2 \left(\frac{D_A}{D_B} \right) \left[\left(\frac{D_A}{D_B} \right)^2 - 1 \right] \quad (3.13)$$

ve buradan da pervane düzlemindeki küçülme olan D_B / D_A ,

$$\left(\frac{D_B}{D_A} \right) = \frac{1}{\sqrt{\left[\frac{1}{2} (1 + \sqrt{1 + 2C_T}) \right]}} \quad (3.14)$$

olarak bulunur.

Δ_p artışı, pervane diskinin arkasındaki açısal hızdan kaynaklanmaktadır. Suyun açısal hızının, pervane kanadının açısal hızına oranı pervane önünde Ω ve pervane arkasında $\Omega - \omega$ olmak üzere, Bernoulli eşitliğini belirli bir r yarıçapında uygularsak,

$$\Delta_p = \zeta \left(\Omega - \frac{1}{2} \omega \right) \omega r^2 \quad (3.15)$$

bulunur. r yarıçapındaki temel itme dT olmak üzere,

$$dT = 2\pi r \Delta_p dr \quad (3.16)$$

olur.

$\omega = 2a^1 \Omega$ ve a^1 rotasyonel akım faktörü olmak üzere,

$$dT = 4\pi \zeta r^3 \Omega^2 (1 - a^1) a^1 dr \quad (3.17)$$

olarak bulunur.

Temel tork da benzer şekilde,

$$\begin{aligned} dQ &= \dot{m} \omega r^2 = 2\pi \zeta r^3 \omega dr \\ &= 4\pi \zeta r^3 V_A \Omega dr \end{aligned} \quad (3.18)$$

olarak hesaplanır.

Kanat elemanındaki ideal verim olan η_i ,

$$\eta_i = \frac{V_A dT}{\Omega dQ} \quad (3.19)$$

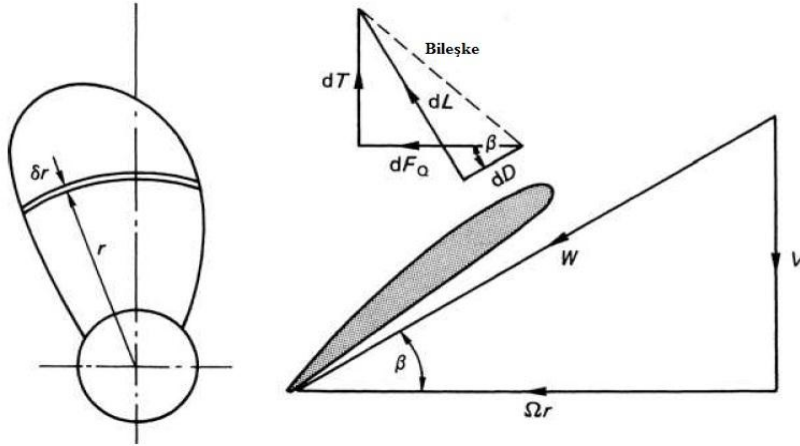
olarak hesaplanır. Denklem 3.17 ve denklem 3.18'i denklem 3.19 içinde yerine koyarsak,

$$\eta_i = \frac{(1 - a^1)}{(1 + a)} \quad (3.20)$$

olarak karşımıza çıkar.

3.10.2 Kanat elemanı teorisi

Rankine'in momentum teorisine karşıt olarak W. Froude çalışmasında pervane kanadının geometrik özelliklerini de hesaba katan farklı bir pervane çalışması modeli oluşturmuştur (1878). Bu modelde pervane kanadı çok sayıda dilimden oluşmaktadır. Bu dilimler aerofil şeklinde kabul edilmiştir. Şekil 3.17'de kanat elemanı teorisinin temeli gösterilmiştir.



Şekil 3.18 : Kanat elemanı teorisi (Froude, 1878).

Bileşke hızı, eksenel hız V ve rotasyonel hız Ωr oluşturmaktadır. Bu teoride belirli bir kesit için üretilen itme ve tork denklem 19 da gösterilmiştir.

$$\begin{aligned} dT &= \frac{1}{2} \zeta Z c W^2 (c_1 \cos \beta - c_d \sin \beta) dr \\ dQ &= \frac{1}{2} \zeta Z c W^2 (c_1 \sin \beta + c_d \cos \beta) dr \end{aligned} \quad (3.21)$$

Burada Z kanat sayısı ve c de kiriş uzunluğunu temsil etmektedir. Kesitin verimliliği

η , $\eta = \frac{V dT}{\Omega dQ}$ olduğundan ve $c_d / c_1 = \gamma$ kabulü ile denklem 3.21'de yerine yazarsak

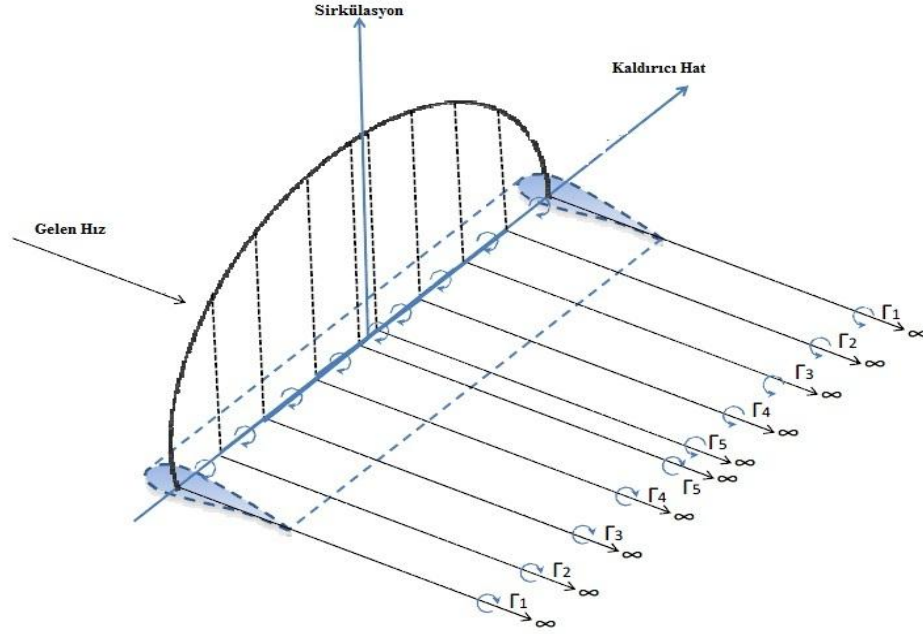
verimlilik denklem 3.22'deki gibi elde edilir.

$$\eta = \frac{\tan \beta}{\tan(\beta + \gamma)} \quad (3.22)$$

3.10.3 Kaldırıcı hat teorisi

Bu teoride kanat, düz bir hat gibi düşünülür. Kanat ile ilgili olan sirkülasyon, girdap iplikçikleri ile belirlenir. Helmholtz teoremine göre bu iplikçikler akışkan içinde sınırlandırılmaz. İzler kenar tarafındaki oluşan vortex aşağı yönlü hava akımını

oluşturur. Abbott (1959), kanat genişliği boyunca herhangi bir kesitte oluşan aşağı yönlü hava akımının şiddetinin, izler taraftaki girdapların şiddetinin toplamına eşit olduğunu savunmuştur. Şekil 3.19'de kaldırıcı hat teorisinin temel gösterimi verilmiştir.



Şekil 3.19 : Kaldırıcı hat teorisi (Epps, 2010).

Bu teorideki bahsedilen, kesitlerde indüklenen hızlar ve sirkülasyon dağılımı hesapları Lerbs'ün 1952'de yaptığı çalışmaya göre hesaplanabilir. Bu teori kullanılarak yapılan hesaplamalarda her bir kanat bir kaldırıcı hat gibi düşünülebilir. Aşağı yönlü hava akımı sadece modeli oluşturulan kaldırıcı hat üzerinde değil, diğer hatlar üzerinde de etki yapar, fakat pervane simetrik ise bu etkiler birbirini götürür. 2 boyutlu bir kanat kesiti etrafında, e_a ve e_t yönlerinde, oluşan hız ve kuvvetler şekil 3.19'da gösterilmiştir. Pervane shaftı açısal hız ωe_a ile dönmektedir. r yarıçapındaki görülebilir teğet akım da girdap yaparak $-\omega r e_t$ ile dönmektedir. Şekil 3.20'den eksenel ve teğetsel gelen hızlar sırasıyla $V_a = -V_a e_a$ ve $V_t = -V_t e_t$ şeklinde görülmektedir ayrıca yine aynı şekilden indüklenen eksenel ve teğetsel hızlar da sırasıyla $u_a^* = -u_a^* e_a$ ve $u_t^* = -u_t^* e_t$ şeklinde gösterilmiştir. Pervanenin normal operasyonu sırasında $u_t^* < 0$ olmaktadır bu yüzden gerçekte u_t^* , e_t yönünde gösterilmektedir.

kesit direnç katsayısı ve r_h ve R de kök ve kanat uç noktaları yarıçaplarını ifade eder.

Pervanenin harcadığı güç $P = Q\omega$ olarak ifade edilebilir. Burada P nin sıfırdan büyük olması gücün pervaneden akışkana verildiğini anlatır. Sonuç olarak pervane verimi η denklem 3.27 deki gibi gösterilebilir.

$$\eta = \frac{TV_s}{Q\omega} \quad (3.27)$$

3.11 Kavitasyon

Kavitasyon fiziksel bir olgudur. Bu olguya göre akışkan içinde bir takım boşluklar veya kabarcıklar oluşur. Faz değişimi de denebilir.

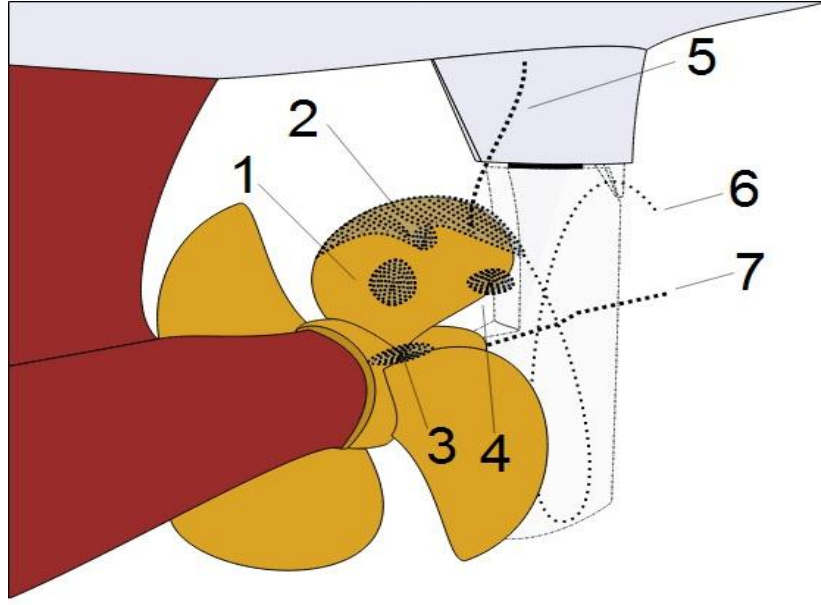
3.11.1 Kavitasyonun oluşumu

Akışkan içinde hız artımı olduğunda Bernoulli prensibine göre basınç azalır, basınç azaldıkça ise kaynama noktası düşer. Kaynama noktası bu hal içinde ortam sıcaklığına kadar gerileyebilir. Ortam sıcaklığına gelindiğinde içinde su buharı ve hava kabarcıkları içeren soğuk kaynama da denen olay meydana gelir. Buna kavitasyon denir.

Daralan bir kesitten süreklilik prensibine göre birim zamanda aynı miktarda akışkanın geçtiğini düşünürsek, ilgili kesitte akışkanın hızı artar ve basıncı düşer. Basıncının düşmesiyle kavitasyon oluşumuna neden olacak kaynama noktası da düşer ve bir süre sonra kabarcıklar halinde kavitasyonun oluşumu gözlemlenir. Gemi pervanesinde oluşan kavitasyon türleri şekil 3.22’de özetlenmiştir.

3.11.2 Kavitasyon çeşitleri

Fiziksel tiplerine göre kavitasyon çeşitlerini uç girdap kavitasyonu, kabarcık kavitasyonu, tabaka kavitasyonu, bulut kavitasyonu, kök kavitasyonu, pervane-tekne girdap kavitasyonu olarak sıralamak mümkündür. Kavitasyonun oluştuğu yerler ve türleri şekil 3.21’de gösterilmiştir.



Şekil 3.21 : Kavitasyon bölgeleri.

Şekil 3.21'e göre oluşan kavitasyon kısımları aşağıdaki gibi verilebilir;

- 1 numaralı kısım: Kabarcık Kavitasyonu
- 2 numaralı kısım: Şerit Kavitasyonu
- 3 numaralı kısım: Kanat Kök Kavitasyonu
- 4 numaralı kısım: Bulut Kavitasyonu
- 5 numaralı kısım: Pervane Tekne Kavitasyonu
- 6 numaralı kısım: Uç Girdap Kavitasyonu
- 7 numaralı kısım: Kök Girdap Kavitasyonu

3.11.2.1 Uç girdap kavitasyonu

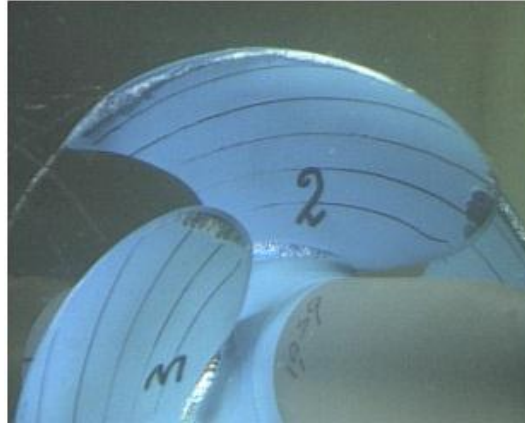
Pervane kanatlarının ucunda ve pervane göbeğinde oluşan girdapların oluşumuyla gözlemlenen kavitasyon çeşididir. Pervane çalışırken girdap merkezindeki basınç, akışkanın buharlaşma basıncının altına düşer ve kavitasyon oluşmaya ve gözle görülmeye başlar. Genellikle ilk oluşmaya başlayan kavitasyon çeşididir.

MIT Değişken Basıncılı Su Tüneli'nde yapılan çalışmadan alınan görüntü şekil 3.22'de gösterilmiştir.

ITTC – Recommended Procedures den alınan şekil 3.23'de önder kenar etrafında oluşan uç girdap kavitasyonu görülebilmektedir.



Şekil 3.22 : Uç girdap kavitasyonu (Kinnas, 1996).

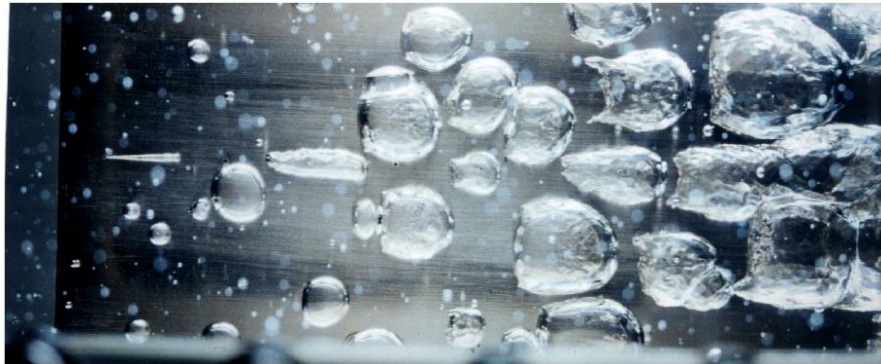


Şekil 3.23 : Önder kenar etrafı uç girdap kavitasyonu (Kuiper, 2001).

3.11.2.2 Kabarcık kavitasyonu

Pervanelerde kabarcık kavitasyonu kanat kesitinde basıncın en düşük olduğu bölgelerde meydana gelir. Oluşan kabarcıklar kanat yüzeylerinde patlamaya neden olur.

Şekil 3.24’de 2 boyutlu yüzey üzerinde oluşan kabarcık kavitasyonu görülmektedir.



Şekil 3.24 : Boyutlu yüzeyde kabarcık kavitasyonu (Kuiper,2010).

Yine yapılan çalışmadan elde edilen görüntüde pervane modeli üzerindeki kabarcık kavitasyonu şekil 3.25’de görülebilmektedir.



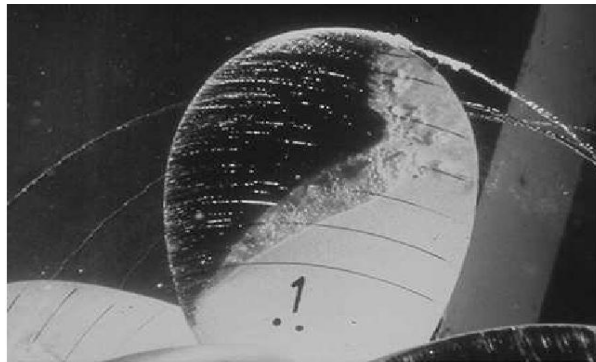
Şekil 3.25 : Pervane modeli üzerindeki kabarcık kavitasyonu (Kuiper,2010).

3.11.2.3 Şerit kavitasyonu

Uç girdap kavitasyonundan sonra pervane yüklemesinin artımıyla oluşmaya başlayan bir kavitasyon çeşididir. Bu kavitasyonun gelişmesi ve daha sonra patlaması ile akışkan içinde basınç dalgalanmaları olur ve kesitin çıkış ucunda bulut kavitasyonuna öncülük eder. Genelde kavitasyon kaynaklı titreşim problemleri bu tip kavitasyon sebebiyle oluşur. Korkut’a göre bu tip kavitasyonun dizayn aşamasında tahmini için kaldırıcı yüzey metodları kullanılmıştır (1999).

3.11.2.4 Bulut kavitasyonu

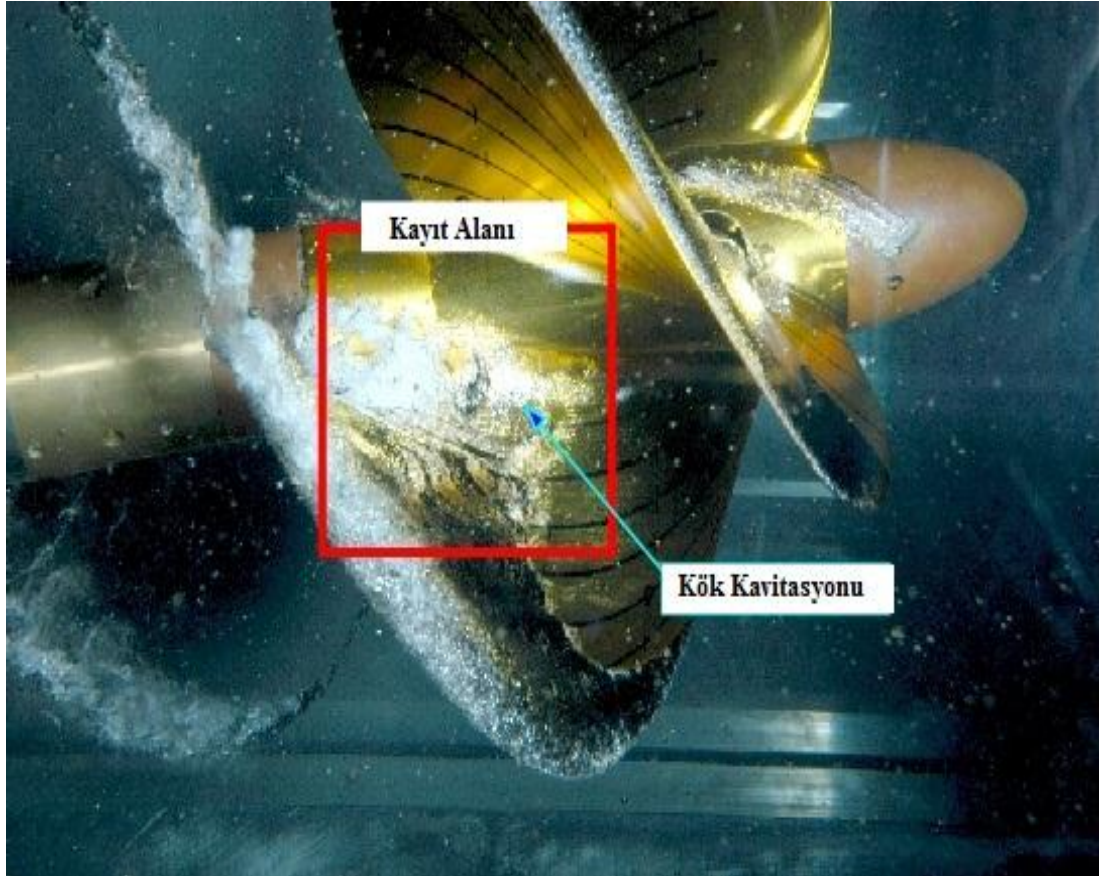
Bulut kavitasyonu genel olarak tabaka kavitasyonu takiben oluşmaktadır. Şekil 3.26’da tabaka kavitasyonu bulut kavitasyonu ve uç girdap kavitasyonu birlikte görülmektedir.



Şekil 3.26 : Tabaka, bulut, uç-girdap kavitasyonları.

3.11.2.5 Kök kavitasyonu

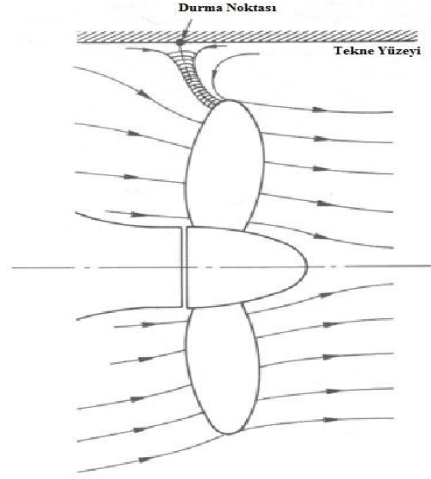
Bu kavitasyon türü genellikle pervane kanadı kök kısmında oluşmaktadır. Sık rastlanan bir kavitasyon türü olmamakla birlikte küçük ve çok yüklenmiş pervanelerde gözlemlenebilir. şekil 3.27’de 2006 yılında National Maritime Research Institute of Japan (NMRI) tarafından yapılan bir araştırmada elde edilen görüntüde kök kavitasyonu izlenebilmektedir.



şekil 3.27 : Kök kavitasyonu (NMRI, 2006).

3.11.2.6 Pervane-tekne girdap kavitasyonu

Girdap kavitasyonunun özel bir şeklidir. Tekne pervane etkileşimi sonucunda oluşur. Pervanede yük artışı olduğunda pervaneye gelen akım az olur ve pervane tekne arkasından su çeker. Bu  ekim sırasında teknedeki pervaneye doğru bir akım oluşur. Korkut’a göre bu kavitasyonun oluşmasında temel faktörler, düşük ilerleme katsayısı, düşük açıklık ve pervane üzerinde düz yüzeylerin bulunmasıdır (1999). şekil 3.28’de pervane-tekne girdap kavitasyonunun oluşumu görülebilmektedir.



Şekil 3.28 : Pervane tekne girdap kavitasyonu.

3.11.3 Kavitasyonun etkileri

Kavitasyon genel olarak çalışma ömrü, gürültü ve titreşim bakımından pervaneleri etkileyen bir akışkanlar mekaniği olayıdır. Kavitasyonun etkilerini itme azalması, gürültü, titreşim ve erozyon olarak sıralamak mümkündür.

3.11.3.1 İtme azalması

Kavitasyon pervanelerde performans kaybına sebep olabilmektedir. Kavitasyon, kanat üzerinde %20-25 lik bir alanı kapladığında, pervanenin itmesi ve torkunda azalma görülmektedir. İtmedeki azalma torka göre daha hızlı olduğu için verimde büyük düşürlere neden olur. Bu genellikle, hızlı gemilerde, askeri gemilerde ve konteyner gemilerinde görülmektedir.

3.11.3.2 Gürültü

Pervanelerde oluşan kavitasyon gürültüyü de etkilemektedir. Kavitasyon kabarcıklarının etrafındaki basınç sebebiyle kabarcıklar patlamaya başladığında oluşan şok dalgaları yüksek seviyede gürültü çıkarabilmektedir. Kavitasyon çeşitlerinden gürültüye en fazla sebep olan tür ise kabarcık kavitasyonudur. Kavitasyonun sebep olduğu gürültü özellikle savaş gemilerinde daha da önemlidir.

3.11.3.3 Titreşim

Kavitasyon sebebiyle oluşan titreşim genellikle şerit kavitasyonu temellidir. Şerit kavitasyonu sebebiyle oluşan basınç dalgalanmaları tekne gövdesinde toplanır ve

titreşime sebep olur. Titreşim problemi yolcu gemileri ve savaş gemilerinde önemli bir problemidir.

3.11.3.4 Erozyon

Pervane ağır yüklemeye maruz kaldığında kanat yüzeyinde kavitasyon kabarcıklarının patlamasıyla süreç başlar, bu periyodik olarak devam ederse belli bir süre sonra ise kanat malzemelerindeki kopmalarla erozyon gözlemlenir. 24. ITTC final raporundan alınan veriye göre pervane kaynaklı erozyon şekil 3.29'dan görülebilmektedir.



Şekil 3.29 : Pervane kanadında oluşan kavitasyon erozyonu.

3.11.4 Kavitasyon kontrolü

Kavitasyon kontrolü için uygulanan çok sayıda yöntemden önemlileri Crouch, Keller ve Burril kavitasyon kontrol yöntemleridir. Bu yaklaşımlar pervane açınım alanlarının kavitasyona mücadele etmeyecek şekilde belirlenmesi prensibine göre yapılmaktadır. Bu bölümde Burrill yöntemi incelenecektir.

3.11.4.1 Burrill yöntemi

Bu yöntem sabit hatveli pervaneler için geliştirilmiştir. Yönteme göre dizayn sırasında öncelikle kavitasyon sayısı hesaplanır ve kavitasyon eğrilerinden elde edilen verilere göre uygulanan formüllerden pervane için gerekli minimum izdüşüm alanı elde edilir. Bu metoda göre;

τ_c (itme yükleme katsayısı) = $\frac{T / A_p}{q_r}$ formülüyle bulunur. Bu formüle göre

$T = \text{itme}$

$A_p = \text{Pervane izdüşüm alanı}$

$q_T = 0.7R$ kesidindeki dinamik basınç $= \frac{1}{2} \rho V_R^2$ ve buradaki V_R suyun $0.7 R$ kanat

kesitindeki relatif hızı da;

$$V_R = \sqrt{V_A^2 + (\pi n D_{0.7})^2} \quad (3.28)$$

formülüyle hesaplanır.

$$\text{Kavitasyon sayısı } \sigma_R = \frac{P_0 - e}{q_T} \quad (3.29)$$

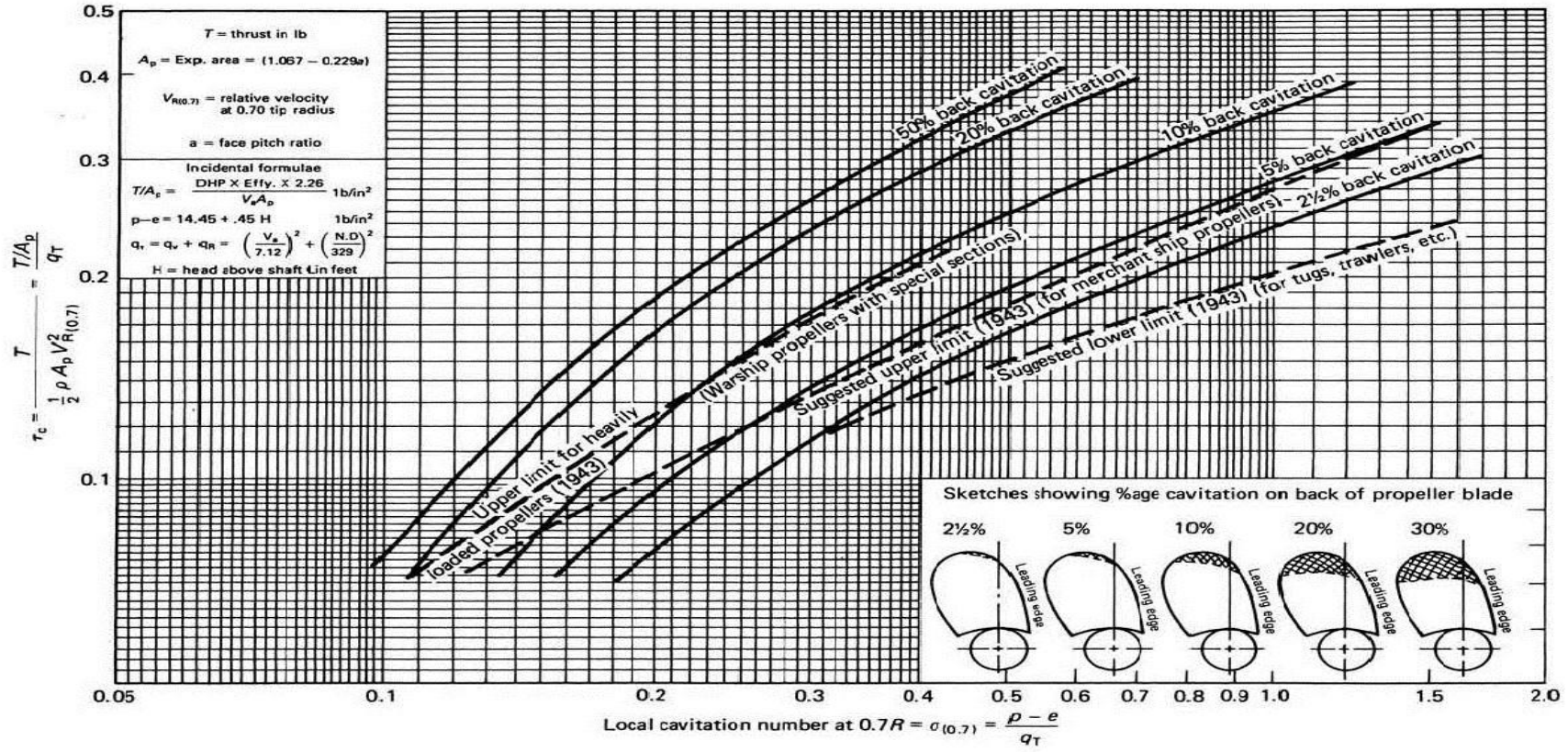
denklemine göre hesaplanır. Buradaki şaft merkez hattındaki statik basınç ve e de doymuş buhar basıncıdır.

Korkut'a göre kavitasyon sayısı hesaplandıktan sonra kavitasyon sayısına karşılık gelen itme yükleme katsayısı Burrill diyagramından okunur ve izdüşüm alanı buna göre hesaplanır (2008). Ayrıca açınım alanı ile projeksiyon alanı arasında konvensiyonel pervaneler için aşağıdaki form uygulanabilir.

$$A_D \cong \frac{A_p}{(1.067 - 0.229 \frac{P}{D})}$$
$$\frac{A_E}{A_0} = \frac{A_E}{\frac{\pi D^4}{4}}$$

$$A_E \cong A_D$$

İtme yükleme katsayısının kullanılacağı Burrill'in 1978 deki çalışmasına dayanan diyagramı şekil 3.30'da gösterilmiştir.



Şekil 3.30 : Burrill kaviteşyon diyagramı.

4. PERVANE DİZAYNI

Pervane dizaynı sırasındaki amaç, pervanelerin minimum güçte maksimum verimi sağlaması ile minimum kavitasyon ve titreşim karakterleri göstermesidir. Bu amaçlara ulaşmak için pervane dizaynı aşamaları; standart serilere göre dizayn, ize uyumlu dizayn ve dizayn analizi olarak sıralanabilir.

Dizaynı amaçlanan pervanenin performansını belirleyecek temel parametreler gemi hızı, pervane devri ve pervaneye verilen güçtür.

4.1 Standart Serilere Göre Pervane Dizaynı

Gemi ön dizayn aşamasında yapılan pervane dizaynlarında en sık kullanılan yöntem standart serilere göre dizayn yöntemidir.

Standart serilere göre dizaynda, pervane serilerine ait olan açık su verilerinin oluşturduğu diyagramlar kullanılır. En yaygın olarak kullanılan seriler Wageningen ve Gawn serileridir. Çizelge 4.1’de sabit hatveli pervane serileri özetlenmiştir.

Çizelge 4.1 : Sabit hatveli pervane serileri özeti (Carlton, 2007).

Seriler	Pervane Sayısı	Parametre Aralığı			$D(mm)$	r_h/R	Kavitasyon Data Durumu
		Z	A_E/A_O	P/D			
Wageningen B-	$\simeq 120$	2–7	0.3–1.05	0.6–1.4	250	0.169	Yok
Au	34	4–7	0.4–0.758	0.5–1.2	250	0.180	Yok
Gawn	37	3	0.2–1.1	0.4–2.0	508	0.200	Yok
KCA	$\simeq 30$	3	0.5–1.25	0.6–2.0	406	0.200	Var
Ma	32	3 ve 5	0.75–1.20	1.0–1.45	250	0.190	Var
Newton–Rader	12	3	0.5–1.0	1.05–2.08	254	0.167	Var
KCD	24	3–6	0.587 0.44–0.8	0.6–1.6	406	0.200	Var
Meridian	20	6	0.45–1.05	0.4–1.2	305	0.185	Var

En geniş pervane sayısı aralığına sahip olan Wageningen serilerinde B tipi pervanelerin kanat açılım oranları çizelge 4.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.2 : Wageningen-B serisi kanat alan oranı dağılımı (Carlton, 2007).

Kanat Sayısı	(Z)	Kanat Alan Oranı A_E/A_0				
2	0.30					
3		0.35	0.50	0.65	0.80	
4			0.40	0.55	0.70	0.85 1.00
5			0.45	0.60	0.75	1.05
6			0.50	0.65	0.80	
7			0.55	0.70	0.85	

Wageningen B serisinde örnek olarak B-4.50 olarak ifade edilen pervanede B harfi seriyi, 4 numarası kanat sayısını ve 50 sayısı da 0.50 olarak kanat açılım oranını belirtir.

Standart serilere göre dizayn yaparken aşağıdaki sıra takip edilmelidir.

1- Pervane dizayn edilecek geminin parametreleri belirlenmelidir. Bu parametrelerin yanında varsa model deney sonuçlarından elde edilen güç değerleri düzenlenmeli, model deneyi yoksa ampirik formuller ya da paket programlar ile güç tahmini yapılmalıdır.

2- Varsa model deneylerinden elde edilen iz ve itme azalması değerleri derlenmelidir. Model deneyi yoksa çeşitli ampirik formüllerden bu değerler hesaplanmalıdır.

3- Servis şartlarına göre güç marjini belirlenmelidir.

4- Trial hızı servis hızından 1 knot fazla olacak şekilde geminin servis hızı belirlenmelidir.

5- Geminin direnci ve itme azalması katsayısı bilindiğinden pervane itmesi hesaplanır. Pervane itmesinden sonra da sevk verimi hesaba katılarak pervaneye iletilen güç bulunur.

6- Pervane kanat sayısı seçimi yapılır.

7- Kanat açılım oranı belirlenir. Kavitasyon durumu dikkate alınmalıdır.

9- Pervane çapı belirlenir. Pervane çapı belirlenirken, gemi arkasındaki açıklık dikate alınır.

10- Pervaneler genellikle makina gücünün %85 ine denk gelen güce göre tasarlanır.

Dizayn sırasında yapılan optimizasyonlara göre verimi en fazla olan pervane optimum pervane olarak seçilir.

Wageningen-B tipi gibi, standart serilere göre pervane dizaynı 4 seçenekle yapılabilir (Korkut, 2008). Bunlar;

- i) Pervaneye iletilen güç, devir sayısı ve ilerleme hızının bilinip, optimum çapın istendiği durum. Bu durumda K_Q / J^5 eğrisi kullanılabilir. kullanılabilir.

$$\frac{K_Q}{J^5} = \frac{Q}{\rho N^2 D^5} \left(\frac{ND}{V_A} \right)^5 = \frac{QN^3}{\rho V_A^5}$$

$\frac{K_Q}{J^5} = B_p$ ve $\delta = \frac{1}{J}$ olmak üzere $B_p - \delta$ diyagramı kullanılabilir.

- ii) Pervaneye iletilen güç, pervane çapı ve ilerleme hızının bilinip, optimum devrin istendiği durum. Bu durumda K_Q / J^3 eğrisi kullanılabilir.

$$\frac{K_Q}{J^3} = \frac{Q}{\rho N^2 D^5} \left(\frac{ND}{V_A} \right)^3 = \frac{QN}{\rho D^2 V_A^3} = \frac{P_D}{2\pi \rho D^2 V_A^3}$$

- iii) İtmenin, pervane çapının ve ilerleme hızının bilinip, optimum devrin istendiği durum. İtme azalma katsayısı ile itme bulunur ve K_T / J^2 eğrisi kullanılır.

$$\frac{K_T}{J^2} = \frac{T}{\rho N^2 D^4} \left(\frac{ND}{V_A} \right)^2 = \frac{T}{\rho D^3 V_A^2} = \frac{T}{\rho D^2 V_A^2}$$

- iv) İtmenin, devrin ve ilerleme hızının bilinip, optimum çapın istendiği durum. Bu durumda K_T / J^4 eğrisi kullanılabilir.

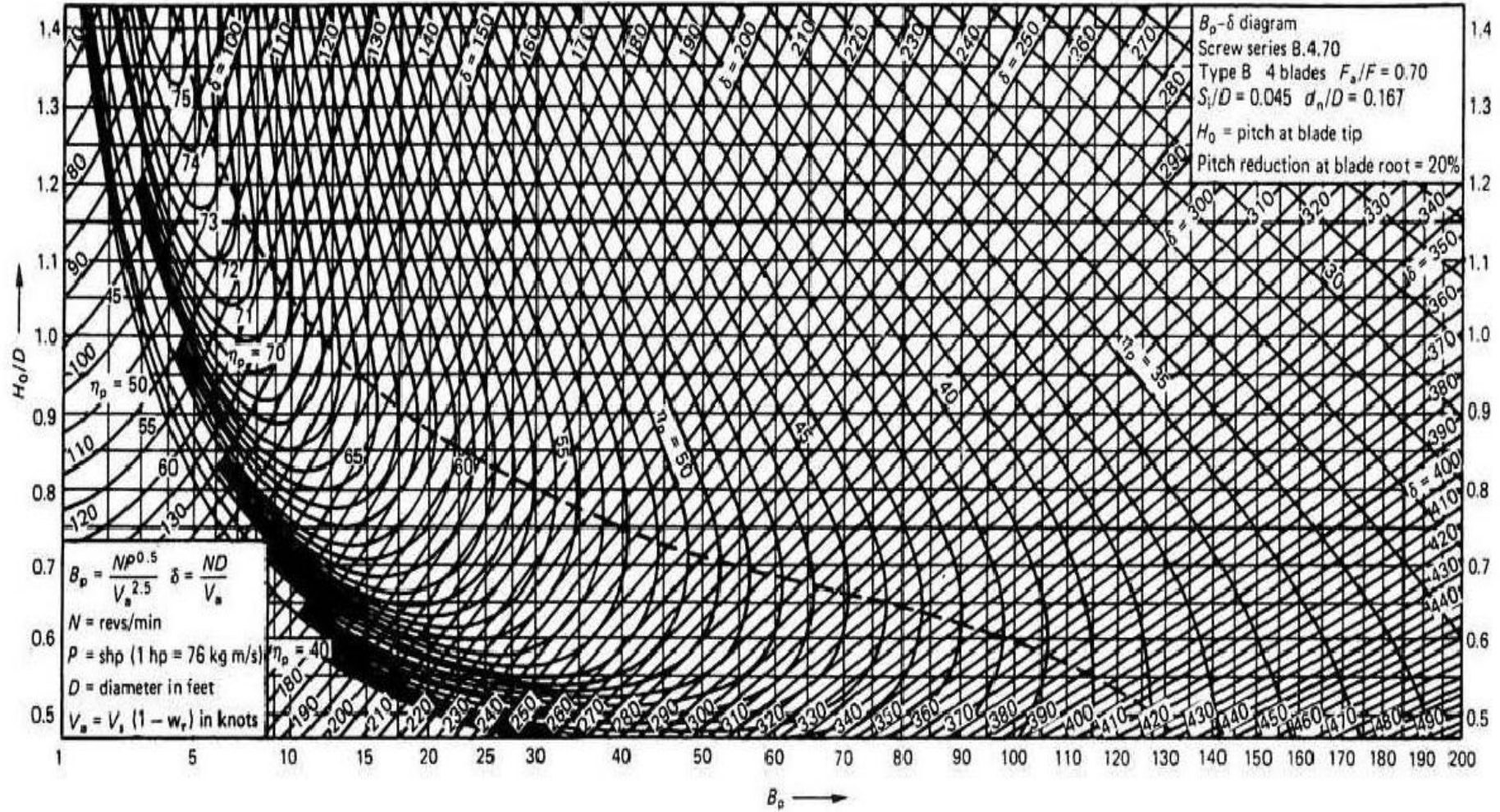
$$\frac{K_T}{J^4} = \frac{T}{\rho N^2 D^4} \left(\frac{ND}{V_A} \right)^4 = \frac{TN^2}{\rho V_A^4}$$

Wageningen B-4.70 serilere göre dizaynda kullanılan $B_p - \mathcal{S}$ diyagramı şekil 4.1’de gösterilmiştir.

4.2 İze Uyumlu Pervane Dizaynı

İze uyumlu pervaneler değişken hatve dağılımına sahiptirler. Zarbock (2009) ’a göre ize uyumlu pervaneler Wageningen-B serisine göre yüksek hatve oranına sahiptir, öyle ki bazı savaş gemileri 1.6 dan daha yüksek hatve oranlarına sahiptirler.

Pervane dizaynında kesitlerin hatvesi her yarıçaptaki ortalama iz değerine uygun şekilde seçilebilir ve kanat şekilleri kavitasyonu en aza indirecek şekilde belirlenebilir (Amoraritei, 2005). Bu problem pervanelerde sirkülasyon teorisini kullanarak aşılabilir, bu da kaldırıcı yüzeyde düzeltme faktörleri ile birlikte kaldırıcı hat teorisidir.



Şekil 4.1 : Bp-& diyagramı.

5. ASKERİ GEMİ İÇİN PERVANE DİZAYNI UYGULAMASI

Bu bölümde örnek askeri gemi için direnç tahmini yapılacak daha sonra ise standart serilere göre pervane dizaynı ile ize uyumlu pervane dizaynı yapılmıştır.

Uygulama gemisi modeli İTÜ Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri Fakültesi Ata Nutku Gemi Model Deney Laboratuvarı'nda üretilmiş, direnç, sevk, iz ve akım görüntüleme deneyleri yapılmıştır.

Deney havuzu 160 m uzunluğunda 6 m genişliğinde ve 3.4 m derinliğindedir. Deney çalışanları tarafından idare edilen, 6 m/sn hıza kadar çıkabilen ve raylar üzerinde giden deney arabasına sahiptir. Şekil 5.1 ve şekil 5.2'de deney arabası ve deney havuzu gösterilmiştir.



Şekil 5.1 : Deney arabası.



Şekil 5.2 : Deney havuzu.

5.1 Uygulama Gemisi İçin Direnç Hesabı

Uygulama için kullanılacak örnek savaş gemisinin teknik özellikleri çizelge 5.1’de verilmiştir.

Çizelge 5.1 : Askeri geminin hidrostatik özellikleri

Yükleme Durumu	Tam Yüklü	
Kaimeler Arası Boy	L_{BP} (m)	--
Su hattı boyu	L_{WL} (m)	90.142
Islak Boy	L_{WS} (m)	93.643
Genişlik	B_{max} (m)	14.37
Su çekimi	T (m)	3.58
Deplasman Hacmi	∇ (m^3)	2060.63
Deplasman Tonajı	Δ (ton)	2112.15
Islak Yüzey Alanı	A_{WS} (m^2)	1262.7
Dümen (ler) Yüzey Alanı	A_R (m^2)	
Takıntıların Toplam Yüzey Alanı	A_A (m^2)	
Yumrubaş Kesit Alanı	A_B (m^2)	3.48
Yumrubaş Kesit Merkezi	H_B (m)	2.07

Çizelge 5.1 : Askeri geminin hidrostatik özellikleri (devam)

Yükleme Durumu	Tam Yüklü	
Ayna Kıç Alanı	A_T (m ²)	6.7
Ayna Kıç Alan Merkezi	H_T (m)	3.22
Blok Katsayısı	C_B	0.507
Prizmatik Katsayı	C_P	0.658
Orta Kesit Alan Katsayısı	C_M	0.77
Su Hattı Alan Katsayısı	C_{WP}	0.849
Sephiye Merkezi Boyuna Yeri	LCB (m) (+ fwd)	-0.932
Yüzme Merkezi Boyuna Yeri	LCF (m) (+ fwd)	-7.102
Servis Hızı	V_S	29 kn.

Uygulama gemisi için yöntem belirlemek amacıyla kullanılabilcek parametre, sembolleri ve bunlara karşılık gelen değerler çizelge 5.2’de verilmiştir.

Çizelge 5.2 : Uygulama gemisi parametreleri.

Parametre	Sembol	Uygulama Gemisi
Froude Sayısı	F_n	0.502
Blok Katsayısı	C_b	0.507
Prizmatik Katsayı	C_p	0.658
Orta Kesit Katsayısı	C_m	0.770
Genişlik - Su çekmi Oranı	BT	4.014
Boy – Genişlik Oranı	LB	6.273
Boy – Deplasman Oranı	LD	0.043
Yarı Giriş Açısı	IE	15.3
Hacim Froude Sayısı	F_v	
Trim Açısı	TR	
Kalkım Açısı	DR	
Şaft Açısı	EP	
Boy - Genişlik Oranı	LB	6.273
100 (LCG / LBP)	LC	-
100 (LCG / Lp)	-	-

Yapılacak pervane dizaynı için geminin efektif gücü gerekmektedir. Her durumda deneysel veri olmaması ihtimaliyle bu bölümde gerek hazır programlardan gerekse de düzenlenen Matlab kodu ile hesaplama ihtiyacı doğmuştur.

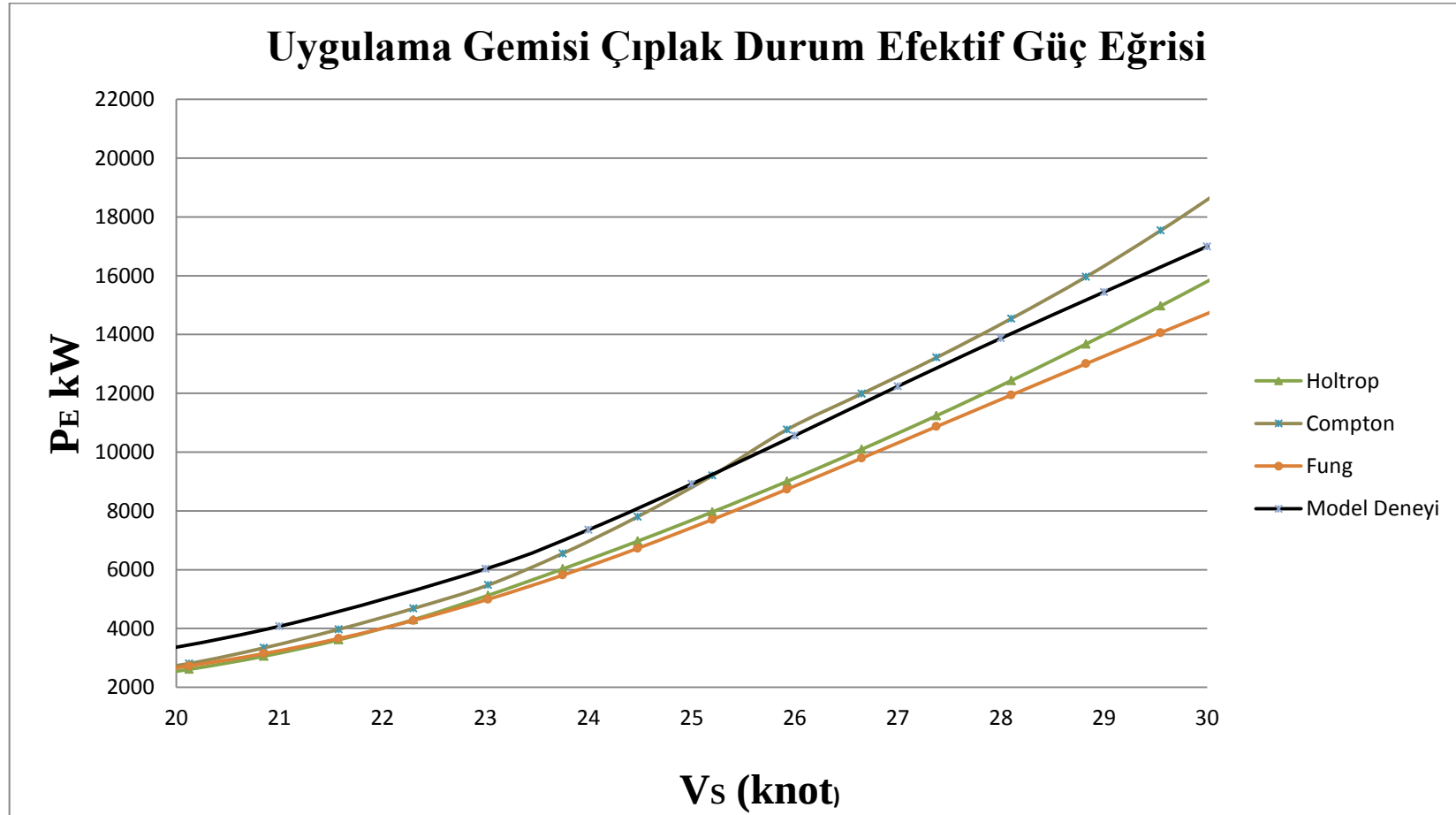
5.1.1 Maxsurf HullSpeed programı ile hesaplama

Maxsurf HullSpeed programının uygulama gemisine ilişkin hidrostatik değerler çizelge 5.3’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.3 : Uygulama gemisi HullSpeed hidrostatik verileri.

		Value	Units
1	LWL	90.244	m
2	Beam	12.61	m
3	Draft	3.582	m
4	Displaced volume	1944.839	m ³
5	Wetted area	1188.215	m ²
6	Prismatic coeff.	0.62	
7	Waterplane area coeff.	0.835	
8	1/2 angle of entrance	14.35	deg.
9	LCG from midships(+ve for'	-0.409	m
10	Transom area	2.106	m ²
11	Transom wl beam	12.105	m
12	Transom draft	0.182	m
13	Max sectional area	34.76	m ²
14	Bulb transverse area	0.081	m ²
15	Bulb height from keel	0	m
16	Draft at FP	3.58	m
17	Deadrise at 50% LWL	11.28	deg.
18	Hard chine or Round bilge	Round bilg	

Uygulama gemisinin HullSpeed programı ile Compton, Holtrop ve Fung ve Holtrop yöntemleri ile hesaplanan güç değerleri ile aynı geminin İstanbul Teknik Üniversitesi Ata Nutku Gemi Model Deney Laboratuvarı’nda model deneyleri sonucu elde edilen efektif güç değerleri şekil 5.3’de verilmiştir. Maxsurf programı için 3 boyutlu model Rhino programından elde edilmiştir ve hidrostatik değerleri Maxsurf programı bu modele göre hazırlamıştır.



Şekil 5.3 : Uygulama gemisi çıplak durum efektif güç karşılaştırması.

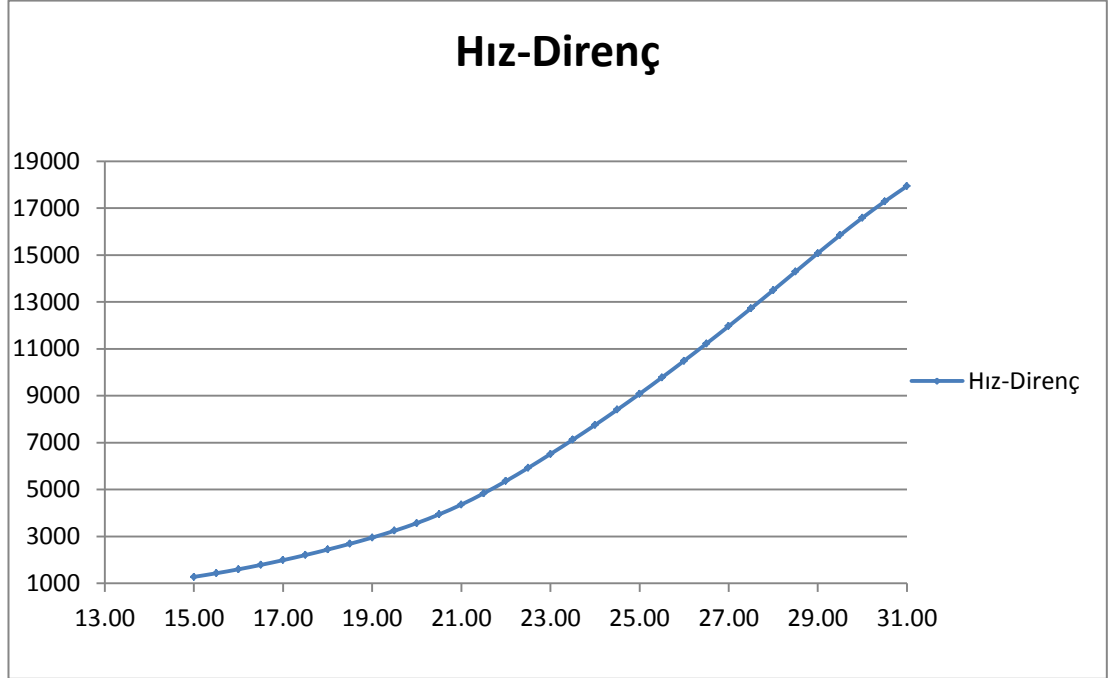
5.1.2 DESP programı ile hesaplama

İTÜ Bilimsel Araştırma Proje Birimi tarafından sağlanan destek ile satın alınmış olan Desp programı ile yapılan hesaplamalarda girilen hidrostatik değerler geminin 3 boyutlu modelinden Rhino ve Orca3D programları ile elde edilmiştir. Desp programı ile uygulama gemisi tam yüklü durum çıplak tekne için hesaplanan direnç değerleri çizelge 5.4’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.4 : Çıplak durum hız efektif güç değerleri.

Vs	PE
[knots]	[kW]
15.00	1274
16.00	1598
17.00	1987
18.00	2437
18.50	2683
19.00	2950
19.50	3241
20.00	3566
20.50	3937
21.00	4357
21.50	4834
22.00	5358
22.50	5920
23.00	6512
23.50	7120
24.00	7749
24.50	8402
25.00	9077
25.50	9773
26.00	10487
26.50	11218
27.00	11964
27.50	12724
28.00	13497
28.50	14287
29.00	15075
29.50	15843
30.00	16583
30.50	17279
31.00	17934

Çizelge 5.4'deki hızlara karşılık gelen efektif güçlerin grafiği şekil 5.4'de gösterilmiştir.



Şekil 5.4 : Çıplak durum hız efektif güç (PE kW) eğrisi.

5.1.3 Uygulanacak methodun Matlab kodları

Şekil 2.5'e göre Compton yönteminin diğer yöntemlere göre model deney sonuçlarına yakın sonuçlar verdiği, Holtrop & Mennen methodunun ise deneden elde edilen forma en yakın olduğu görülmüştür. Ayrıca DESP programı Holtrop Yöntemi hesabı deneysel veriye en yakındır ve yöntemlerin uygulama limitleri ve uygulama gemisinin parametreleri de göz önünde bulundurulduğunda Matlab Kodu için Holtrop yönteminin kullanılması uygundur.

Düzenlenen Matlab kodu gemi efektif güç tahmini için Holtrop metoduna göre oluşturulmuştur. Programda veri olarak kullanılan gemi hidrostatik özellikleri deney için gerekli olan modelin oluşturulması ve deplasmanın sağlanması için kullanılan hidrostatik özelliklerdir. Program arayüzü ile kullanım kolaylığı sağlamaktadır. Ayrıca kaynak kodları geliştirilmeye açıktır. Program ayrıca hıza göre direnç bileşenlerini de göstermektedir ve tüm çıktı verileri Excel dosyasına aktarılabilmektedir. Şekil 2.7'de savaş gemisi efektif güç hesabı için gereken deniz suyu viskozitesi, deniz suyu yoğunluğu, yerçekimi ivmesi, su hattı alan katsayısı ve ıslak yüzey alanı verileri Matlab ortamına aktarılmaktadır.



Şekil 5.5 : Matlab ortamına veri aktarımı.

Şekil 5.6’da savaş gemisinin temel dizayn parametreleri Matlab ortamına aktarılmıştır.

The image shows a MATLAB dialog box titled 'TEMEL DIZAYN PARAMETRELERİ'. It contains the following parameters and values:

- Su Hatti Boyu (m), LWL: 90.142
- Genislik (m), B: 14.37
- Su Cekimi (m), T: 3.58
- Bas Taraf Su Cekimi (m), TF: 3.58
- Kic Taraf Su Cekimi (m), TA: 3.58
- Prizmatik Katsayi, CP: .658
- Ortakesit Katsayisi-CM (Maksimum Kesit Katsayisi, CX): .770
- Gemi Ortasindan Lcb Yeri (%boy cinsinden) (+):bas taraf, (-): kic taraf: -1.03
- Servis Hizi (knt), Vs: 29
- Hiz Marjini (knt), dV: 1
- Deniz Marjini, (1+x): 1.2
- Tam Yuklu Agirlik (metrik ton), WFL: 2112.15

At the bottom are 'OK' and 'Cancel' buttons.

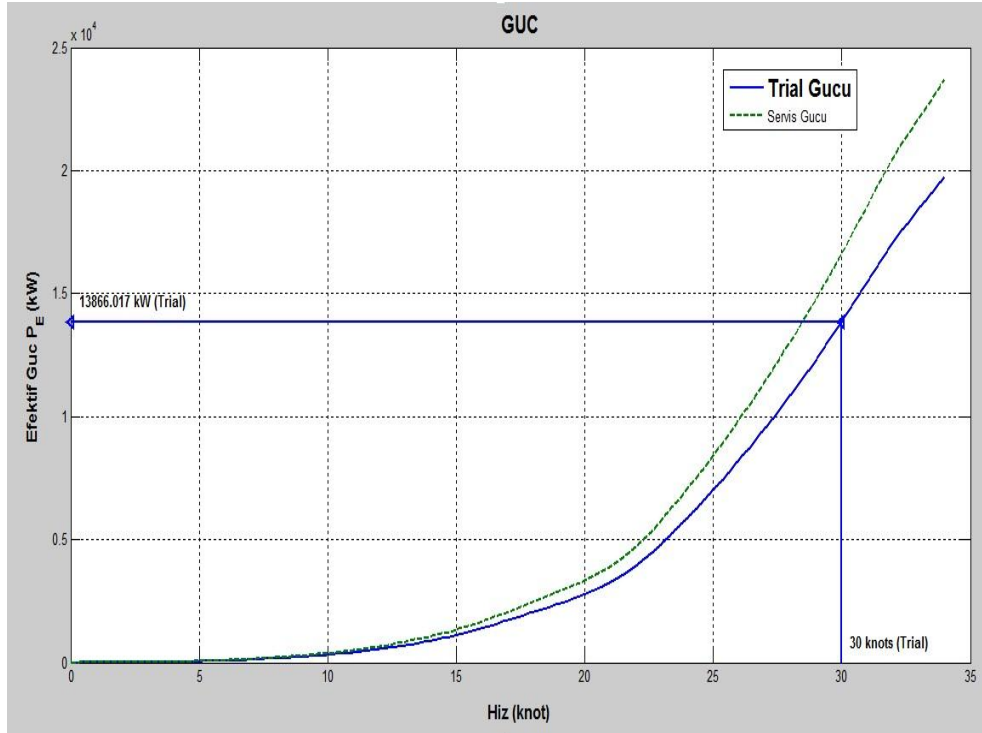
Şekil 5.6 : Matlab temel dizayn parametreleri arayüzü.

Düzenlenen program ize uyumlu dizaynda düzenlenecek matlab kodlarına temel oluşturmaktadır. Gemi toplam direncini, efektif gücünü ve tecrübe hızını pervane dizaynı için veri çıkışı olarak aktarmaktadır. Pervane dizaynı kısmında eğer model deneylerinden elde edilen toplam direnç değeri mevcut ise bu kısımda kullanıcı bu değeri girmelidir. Şekil 5.7’de model deneyi direnç değerinin Matlab ortamına aktarılmasının arayüzü görülmektedir.



Şekil 5.7 : Toplam direnç deney sonucu aktarımı.

Düzenlenen kodlara göre örnek savaş gemisinin hidrostatik özellikleri girildiğinde elde edilen sonuç çizelge 5.8’de gösterilmiştir.



Şekil 5.8 : Savaş gemisi hız- efektif güç eğrisi.

Çizelge 5.5 : Savaş gemisi hız efektif güç değerleri.

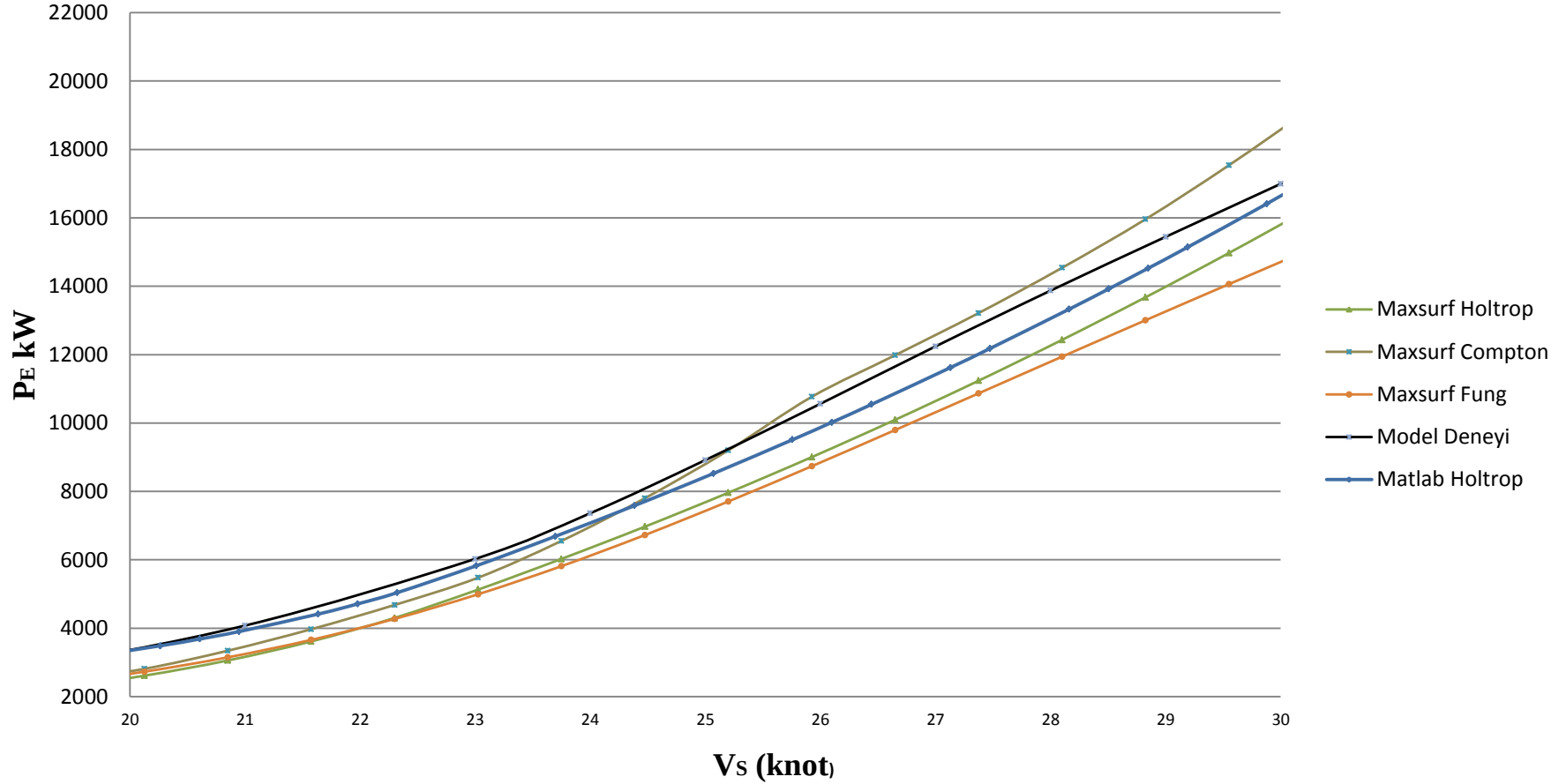
V (knots)	PE (kW) servis
15.11	1368.02
15.80	1598.60
16.48	1862.44
17.17	2142.11
17.52	2281.82
18.20	2557.07
18.55	2694.76
19.23	2981.89
19.58	3137.09
20.26	3485.45
20.61	3684.38
20.95	3903.63
21.64	4414.54
21.98	4711.91
22.32	5040.87
23.01	5826.37
23.70	6687.88
24.38	7584.08
25.07	8525.28
25.76	9511.92
26.10	10222.41
26.44	10744.43
27.13	11823.25
27.47	12380.17
28.16	13529.27
28.51	13921.57
28.85	14525.78
29.19	15141.94
29.88	16410.36
30.57	17727.26

Çizelge 5.5'e göre elde edilen savaş gemisi hız-efektif güç eğrisi şekil 5.8'de gösterilmiştir.

5.1.4 Sonuçların karşılaştırılması

Bu bölümde bahsedilen tüm sonuçlar karşılaştırılmıştır. Desp, Maxsurf ve Matlab kodları ile elde edilen sonuçlar şekil 5.9'da karşılaştırılmıştır.

Uygulama Gemisi Çıplak Durum Efektif Güç Eğrisi



Şekil 5.9 : Uygulama gemisi hız güç eğrisi karşılaştırması

Şekil 5.9'a göre dizayn hızında deney sonuçlarına en yakın veri Matlab ile düzenlenen kodlar sonucunda elde edilmiştir. Pervane dizaynı konusunda savaş gemisi efektif gücü olarak deneden elde edilen efektif güç de kullanılacaktır.

5.2 Uygulama Gemisi İçin Standart Serilere Göre Pervane Dizaynı

Bu bölümde savaş gemisi için standart serilere göre dizayn yöntemleri kullanılmıştır. İlk önce Desp programı çalıştırılmış ve sonuçları eklenmiştir. Daha sonra ise Matlab'da düzenlenen kodlar çalıştırılmış ve eklenmiştir.

5.2.1 Desp programı ile dizayn

Desp programı ile yapılan hesaplamada elde edilen sevk katsayıları sonuçlarını çizelge 5.6'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.6 : Desp sevk katsayıları.

VS	R-TOT	THRUST	W	T	ETA-H	ETA-R	ETA-0	ETA-D
[knots]	[kN]	[kN]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]
15	165.1	196.8	0.193	0.161	1.039	0.958	0.536	0.534
16	194.2	231.5	0.192	0.161	1.038	0.958	0.538	0.536
17	227.2	270.8	0.191	0.161	1.037	0.958	0.541	0.537
17.5	244.8	291.9	0.191	0.161	1.037	0.958	0.541	0.538
18	263.1	313.7	0.19	0.161	1.036	0.958	0.541	0.537
18.5	281.9	336.1	0.19	0.161	1.036	0.958	0.541	0.537
19	301.8	359.8	0.19	0.161	1.035	0.958	0.54	0.536
19.5	323	385.1	0.189	0.161	1.034	0.958	0.54	0.535
20	346.5	413.1	0.189	0.161	1.034	0.958	0.539	0.534
20.5	373.3	445.1	0.188	0.161	1.033	0.958	0.538	0.533
21	403.3	480.8	0.188	0.161	1.033	0.958	0.537	0.532
21.5	437.1	521.1	0.187	0.161	1.032	0.958	0.536	0.53
22	473.4	564.4	0.187	0.161	1.032	0.958	0.534	0.528
22.5	511.5	609.7	0.187	0.161	1.031	0.958	0.532	0.526
23	550.4	656.2	0.186	0.161	1.031	0.958	0.531	0.524
23.5	588.9	702.1	0.186	0.161	1.03	0.958	0.529	0.522
24	627.6	748.2	0.186	0.161	1.03	0.958	0.528	0.521
24.5	666.6	794.7	0.185	0.161	1.03	0.958	0.527	0.52
25	705.8	841.4	0.185	0.161	1.029	0.958	0.526	0.518
25.5	745	888.1	0.185	0.161	1.029	0.958	0.525	0.517
26	784	934.7	0.185	0.161	1.029	0.958	0.524	0.516
26.5	822.8	981	0.184	0.161	1.029	0.958	0.523	0.515
27	861.3	1026.9	0.184	0.161	1.028	0.958	0.522	0.515
27.5	899.4	1072.2	0.184	0.161	1.028	0.958	0.522	0.514
28	937	1117	0.184	0.161	1.028	0.958	0.522	0.514
28.5	974.4	1161.7	0.184	0.161	1.028	0.958	0.521	0.513
29	1010.4	1204.6	0.184	0.161	1.027	0.958	0.521	0.513
29.5	1043.9	1244.5	0.183	0.161	1.027	0.958	0.521	0.513
30	1074.5	1280.9	0.183	0.161	1.027	0.958	0.522	0.513

Yine Desp programı ile elde edilen sevk karakteristikleri çizelge 5.7'te verilmiştir.

Çizelge 5.7 : Desp sevk karakteristikleri.

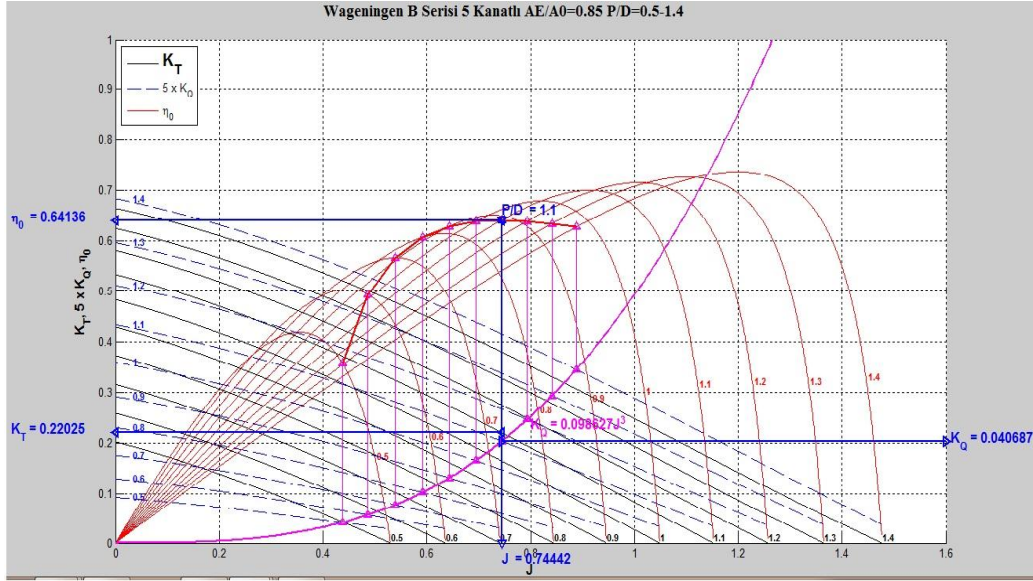
VS	THRUST	ETA-D	CAVP	CAVN	N	PE	PS
[knots]	[kN]	[-]	[-]	[-]	[1/Min]	[kW]	[kW]
15	196.8	0.534	1	1	116.1	1274	2410
15.5	213.6	0.535	1	1	120.3	1428	2698
16	231.5	0.536	1	1	124.6	1598	3014
16.5	250.7	0.537	1	1	128.8	1785	3359
17	270.8	0.537	1	1	133.1	1987	3734
17.5	291.9	0.538	1	1	137.5	2204	4142
18	313.7	0.537	1	1	142	2437	4582
18.5	336.1	0.537	1	1	146.5	2683	5050
19	359.8	0.536	1	1	151	2950	5560
19.5	385.1	0.535	1	1	155.7	3241	6116
20	413.1	0.534	1	1	160.5	3566	6742
20.5	445.1	0.533	1	1	165.6	3937	7461
21	480.8	0.532	1	1	170.9	4357	8279
22	564.4	0.528	1	1	182.3	5358	10251
22.5	609.7	0.526	1	1	188.1	5920	11369
23	656.2	0.524	1	1	193.8	6512	12550
23.5	702.1	0.522	1	1	199.4	7120	13764
24	748.2	0.521	1	1	204.9	7749	15024
24.5	794.7	0.52	1	1	210.3	8402	16335
25	841.4	0.518	1	1	215.7	9077	17690
25.5	888.1	0.517	1	1	220.9	9773	19087
26	934.7	0.516	1	1	226	10487	20521
26.5	981	0.515	1	1	231.1	11218	21987
27	1026.9	0.515	1	1	236	11964	23481
27.5	1072.2	0.514	1	1	240.9	12724	25001
28	1117	0.514	1	1	245.6	13497	26542
28.5	1161.7	0.513	1	1	250.3	14287	28117
29	1204.6	0.513	1	1	254.8	15075	29678
29.5	1244.5	0.513	1	1	259.2	15843	31186
30	1280.9	0.513	1	1.001	263.4	16583	32626
30.5	1312.9	0.514	1	1.002	267.6	17279	33969
31	1340.6	0.514	1.001	1.005	271.7	17934	35224

5.2.2 Matlab programı ile dizayn

Standart Serilere göre dizayn hesabı yapan programda, Wageningen-B serilerine ait K_T , K_Q ve açık su diyagramlarını kullanmaktadır. Geminin direnç değerleri model deneylerinden elde edilmemişse öncelikle direnç hesabı yapan program çalıştırılmalıdır. Model deneylerine ait direnç değeri mevcutsa programa bu değer aktarılabilir. Matlab kodlarında Parsons,M tarafından hazırlanan propopt programı ile aynı algoritma kullanılmıştır Program hesaplamalarında 4 dizayn kriteri uygulanmaktadır. Bunlar;

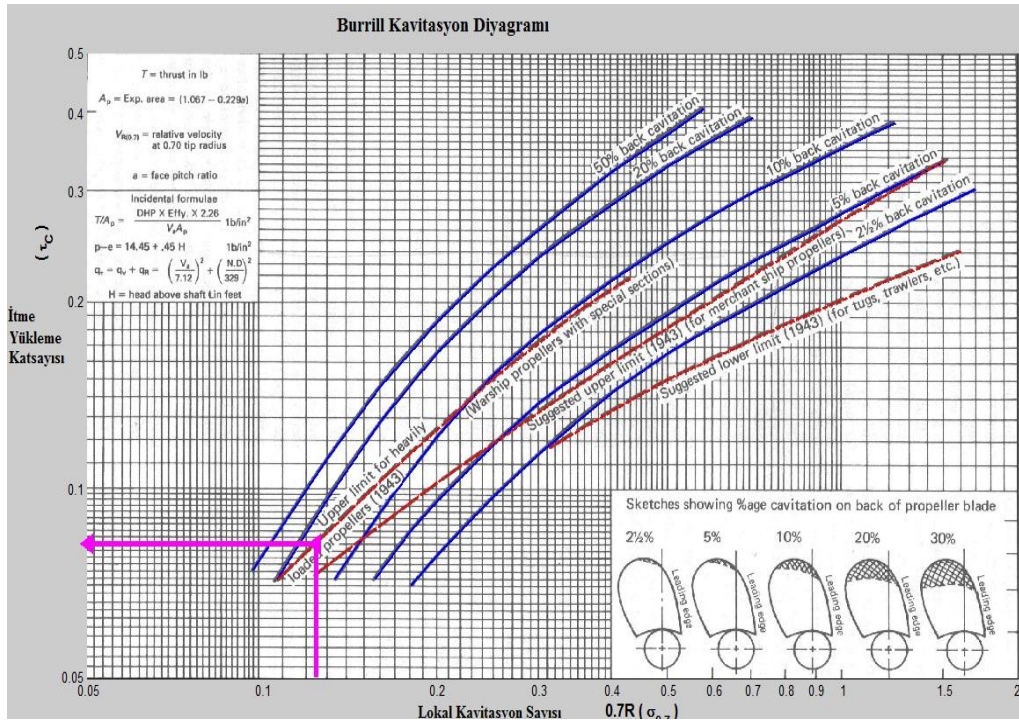
1. T, D, V_A biliniyor N_{opt} isteniyor,
2. P_D, D, V_A biliniyor N_{opt} isteniyor,
3. T, N, V_A biliniyor D_{opt} isteniyor,
4. P_D, N, V_A biliniyor D_{opt} isteniyor, durumları içindir.

Dizayn edilecek olan pervanede, geminin kıç formuna göre çap değeri bilinmektedir. Buna göre yukarıdakilerden 2. Seçenek uygulanmıştır. Şekil 4.2’de yapılan hesaplama ayt KT/J^3 grafiğı verilmiştir.



Şekil 5.10 : KT/J^3 grafiğı.

Yapılan hesaplamaların sonunda uygulanan kavitasyon kriteri şekil 5.11’ de gösterilmiştir.



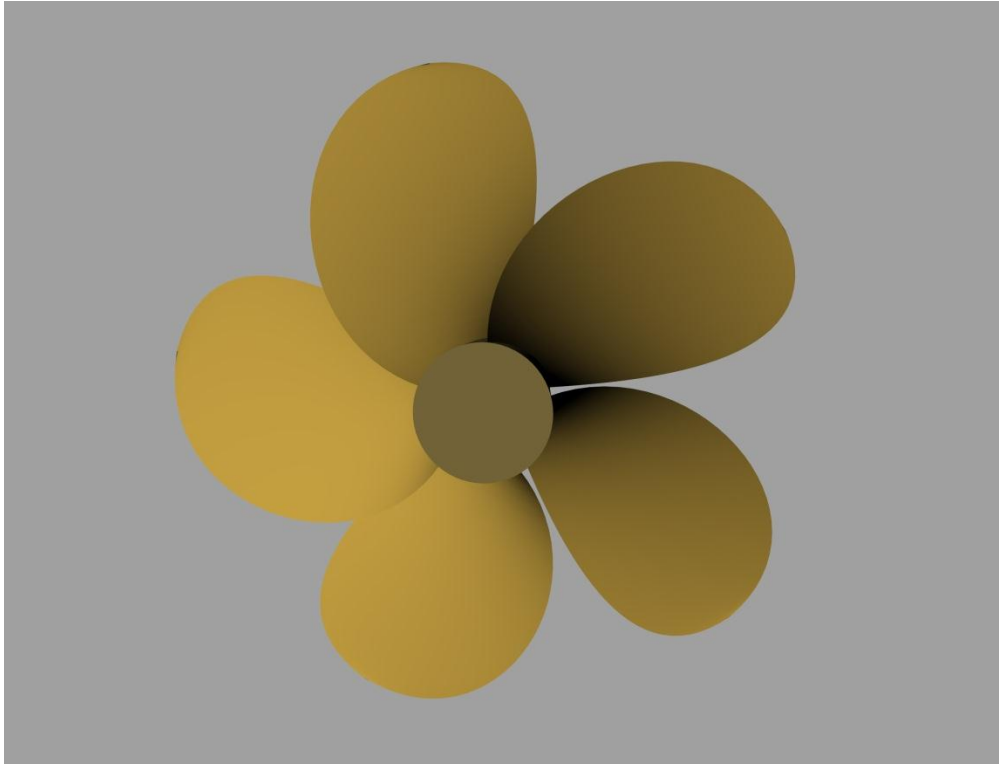
Şekil 5.11 : Burrill kavitasyon kontrolü.

Hesaplamalarda ilk önce iz katsayısı ve itme azalması katsayısı tahmini yöntemlerle hesaplanmıştır. Daha sonra ise kullanıcı girişi ile deneyden elde edilen iz katsayısı ve itme azalması ile hesap yapılmıştır. Çizege 5.8’de iz katsayısı ve itme azalması katsayısı program tarafından ampirik yöntemlerle hesaplanmış halde yapılan dizayn sonucu ile iz katsayısı ve itme azalması katsayısı deney sonucu girilerek yapılan hesapların sonucu karşılaştırılmıştır.

Çizelge 5.1 : Savaş gemisi Matlab kodları ile standart serilere göre dizayn sonuçları.

Seçenek=2 : KQ/J^3 durumu	w ve t tahmin	w ve t deney sonucu
Pervane Sayısı - Kullanıcı Girişi	2.000	2.000
Kanat Sayısı - Kullanıcı Girişi	5.000	5.000
İz Katsayısı (wake fraction)	0.233	0.080
İtme Azalması Katsayısı (Thrust Deduction Fraction)	0.140	0.126
Pervane Çapı (başlangıç m) -Kullanıcı Girişi	3.800	3.800
AE/A0oranı (BAR) - Kullanıcı Girişi	0.75	0.75
Tecrübe Hızı (knots)	30.000	30.000
Tecrübe Hızı İçin Toplam Direnç (kN)	922.448	922.448
Pervane Başına İtme (KN)	396.582	403.109
İlerleme Hızı (m/s)	11.82	14.197
Tekne Verimi	1.121	0.950
Bağıl Dönme Verimi -Kullanıcı Girişi	1.000	1.000
MCR	0.850	0.850
Saft Verimi - Kullanıcı Girişi	0.980	0.980
Sevk Verimi - Yakınsadı	0.697	0.6328
Efektif Güç Tecrübe Hızı İçin (kW)	14235	14235
Pd (kW)	20419	22494
KQ/J^3	0.162	0.0971
Maksimum Açık Su Verimi	0.620	0.6651
İtme Katsayısı	0.211	0.202
Tork Katsayısı	0.035	0.0379
P/D	1	1.100
İlerleme Katsayısı	0.658	0.781
Devir (rpm), N	283.76	286.9
Pervane Hatvesi (m)	3.80	4.180
Fren Gücü (kW)	21142	23451
Installed Power (kW)	24879	27590
Servis Durumu için Sevk Verimi - Yakınsadı	0.688	0.62
Servis Durumu Efektif Gücü (kW) - Hesaplanan	14070	13978
Servis Hızı	28.37	28.32
Servis Durumu Pervane Devri	277.1	280.8
BURRILL Kavitasyon Kontrolü BAR	0.5518 < 0.85	0.573 < 0.75

Dizayn edilen pervanenin 3 boyutlu görüntüsü şekil 5.12'deki gibidir.



Şekil 5.12 : Standart serilere göre dizayn yapılan pervanenin 3 boyutlu görüntüsü.

Sonuç olarak dizayn edilen pervanenin geometrik özellikleri çizelge 5.2'de verilmiştir.

Çizelge 5.2 : Dizayn edilen pervane geometrisi.

r/R	c/D	a/D	b/D	P/D	theta	iT/D	tm/D
0.2	0.2493	0.1538	0.0873	1.126	8.14	0	0.0326
0.3	0.2823	0.173	0.0988	1.116	7.86	0	0.0289
0.4	0.3075	0.1848	0.1079	1.115	6.66	0	0.0252
0.5	0.3228	0.1892	0.1146	1.113	5.19	0	0.0215
0.6	0.3281	0.184	0.1276	1.107	3.3	0	0.0178
0.7	0.3216	0.1685	0.1425	1.102	1.13	0	0.0141
0.8	0.2955	0.1368	0.1415	1.101	-1.43	0	0.0104
0.9	0.2373	0.0833	0.1187	1.1	-4.2	0	0.0067
0.95	0.1524	0.0335	0.0541	1.1	-5.63	0	0.0048
0.975	0.0861	0.0106	0.018	1.1	-6.36	0	0.0039
1	0.0075	0	0	1.1	-7.09	0	0.003

Diğer yandan yapılan parametrik analizde pervane çapı sabit tutulduğunda hatve 4.598 m, kanat alanı oranı 0.86 ve devir düşürme oranı 1.207 elde edilmiştir. Yine bu durumdaki sevk verimi ve katsayıları çizelge 5.3'deki gibidir. Buna göre 29 knot dizayn hızında pervane devri 235 rpm olarak elde edilmektedir.

Çizelge 5.3 : Standart seri sevk katsayıları.

Vel [kts]	J	Kt	Kq	Kt/J2	Kq/J3	10Kq	Verim
11.000	1.123	0.081	0.021	0.064	0.015	0.206	0.699
13.000	1.126	0.080	0.020	0.063	0.014	0.203	0.702
15.000	1.128	0.079	0.020	0.062	0.014	0.201	0.704
17.000	1.129	0.078	0.020	0.061	0.014	0.198	0.705
21.000	1.046	0.121	0.028	0.111	0.024	0.277	0.727
23.000	1.013	0.138	0.031	0.134	0.030	0.307	0.724
25.000	0.986	0.151	0.033	0.156	0.035	0.331	0.718
27.000	0.968	0.161	0.035	0.172	0.038	0.347	0.713
29.000	0.963	0.163	0.035	0.176	0.040	0.352	0.711
30.000	0.964	0.163	0.035	0.175	0.039	0.350	0.712

5.3 Uygulama Gemisi İçin İze Göre Pervane Dizaynı

Standart serilere göre yapılan dizayn sonucunda ize uyumlu dizayn için gerekli temel parametreler, pervane çapı 3.80 m, pervane devri 200-300 rpm, P/D 1.1 olarak düşünülmüştür.

5.3.1 Matlab Kodları İle İze Uyumlu Hesaplama

Bu kısımda, 3. Bölüm’de standart seriye göre dizayn edilmiş olan pervane ize uyumlu hale getirilmektedir. Düzenlenmiş olan Matlab kodunun algoritması 2007 yılında Kıvanç Ali ANIL tarafından oluşturulmuştur. İze uyumlu dizaynda, İTÜ Atanutku Gemi Model Deney Laboratuvarı’nda yapılan iz deneyinden elde edilen veriler kullanılmıştır.

Yapılan hesaplamalar şu şekildedir;

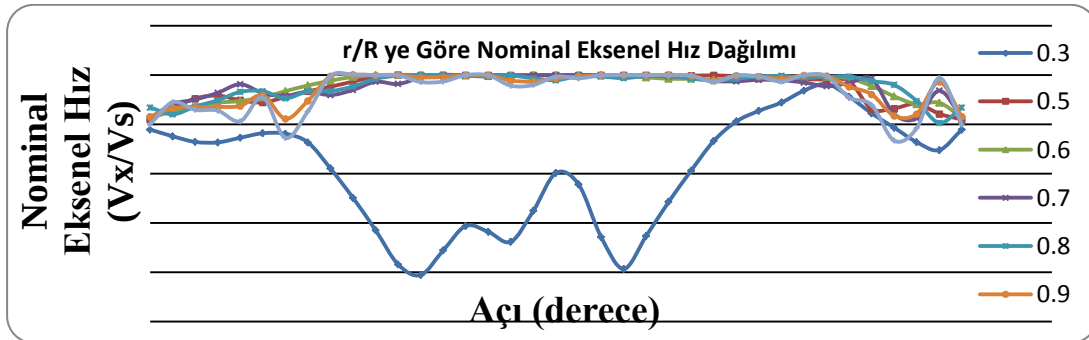
- Programa ilk olarak, servis hızı, pervane çapı, kanat sayısı, pervane devri, hatve/çap oranı, kanat alanı oranı gibi parametreler girilmektedir.
- Deneyden ölçülen iz verileri yüklenmektedir.
- İdeal pervane verimi için Kramer diyagramını kullanmaktadır.
- Kanat kalınlık hesabı için Sabuncu (1983)’nin belirttiği Taylor metodu kullanılmaktadır.
- Naca 66 için kavitasyon diyagramı kullanılmıştır.
- Sehim düzeltmes için Sabuncu (1983)’nin belirttiği Ludwig-Ginzel yöntemi kullanılmıştır.

İze uyumlu dizayn için kullanılan deney sonuçlarından nominal iz dağılımı çizelge 5.4’de verilmiştir.

Çizelge 5.4 : Pervane diskindeki nominal eksenel iz dağılımı.

AÇI	EKSENEL HIZLAR ORANI – V_x/V_s							
0	0.779	0.820	0.828	0.826	0.869	0.832	0.800	0.768
10	0.752	0.865	0.852	0.882	0.841	0.866	0.890	0.915
20	0.729	0.905	0.875	0.901	0.872	0.869	0.859	0.847
30	0.727	0.917	0.888	0.928	0.898	0.871	0.856	0.852
40	0.746	0.898	0.895	0.963	0.932	0.875	0.813	0.749
50	0.764	0.889	0.909	0.927	0.935	0.918	0.910	0.903
60	0.762	0.911	0.935	0.916	0.906	0.823	0.745	0.669
70	0.727	0.934	0.958	0.933	0.934	0.896	0.853	0.812
80	0.621	0.953	0.977	0.919	0.935	0.996	0.997	0.998
90	0.502	0.974	0.993	0.940	0.954	1.002	1.002	1.002
100	0.371	0.995	1.000	0.973	0.985	1.000	1.000	1.000
110	0.232	1.001	1.001	0.964	0.998	0.999	0.999	0.999
120	0.189	1.000	1.000	0.990	1.000	0.991	0.972	0.952
130	0.289	1.000	1.000	1.001	1.000	0.992	0.974	0.957
140	0.388	1.000	0.998	0.999	0.998	1.000	1.000	1.000
150	0.364	1.000	0.996	0.995	0.994	0.999	0.999	0.999
160	0.324	1.000	0.998	0.997	0.998	0.978	0.957	0.936
170	0.450	1.000	1.000	1.000	0.987	0.974	0.960	0.945
180	0.603	0.999	1.000	1.000	0.979	0.987	0.994	0.997
190	0.557	0.999	1.000	1.000	0.996	0.994	0.987	0.978
200	0.344	1.000	1.000	1.000	0.994	1.000	0.999	0.999
210	0.214	1.000	0.997	1.000	0.988	1.000	1.000	1.000
220	0.347	1.000	0.991	0.999	0.996	1.000	1.000	1.000
230	0.486	0.999	0.985	0.995	0.997	1.001	1.001	1.001
240	0.613	0.998	0.985	0.991	0.986	0.997	0.998	0.999
250	0.733	0.999	0.981	0.976	0.978	0.977	0.973	0.971
260	0.812	0.995	0.982	0.975	0.985	0.998	0.998	0.999
270	0.855	0.987	0.987	0.981	0.995	0.995	0.994	0.994
280	0.889	0.988	0.988	0.979	0.997	0.985	0.974	0.963
290	0.937	0.983	0.989	0.970	0.992	1.000	1.000	1.001
300	0.964	0.982	0.993	0.955	0.993	0.997	0.996	0.996
310	0.913	0.975	0.987	0.968	0.995	0.953	0.909	0.863
320	0.845	0.863	0.956	0.985	0.976	0.922	0.879	0.837
330	0.787	0.865	0.914	0.842	0.960	0.835	0.734	0.630
340	0.728	0.884	0.882	0.825	0.895	0.843	0.785	0.727
350	0.696	0.843	0.888	0.937	0.806	0.972	0.988	0.991
360	0.779	0.820	0.828	0.826	0.869	0.832	0.800	0.768
r/R	0.300	0.500	0.600	0.700	0.800	0.900	1.000	1.100

Programın çalıştırılması sonucu elde edilen veriler EK D’de gösterilmektedir. Her r/R çapındaki hız değerleri şekil 5.4’deki gibi açı değerine göre grafiğe eklenmiştir.



Şekil 5.13 : Her r/R’de açıya göre nominal eksenel hız dağılımı.

İze uyumlu dizaynda r/R değerlerine karşılık gelen nominal eksenel hız değerlerini kullanmak gerektiğinden her yarıçaptaki iz dağılımının sınırlandırdığı alan integral alınarak bulunur, daha sonra bulunan alan 2π 'ye bölündüğünde ilgili yarıçaptaki ortalama eksenel hızı bulmuş oluruz.

Askeri gemide ize uyumlu dizayn için kullanılan, deneyden elde edilen, efektif eksenel ve efektif teğetsel hızlar çizelge 5.5'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.5 : Gelen akım ortalama hızları.

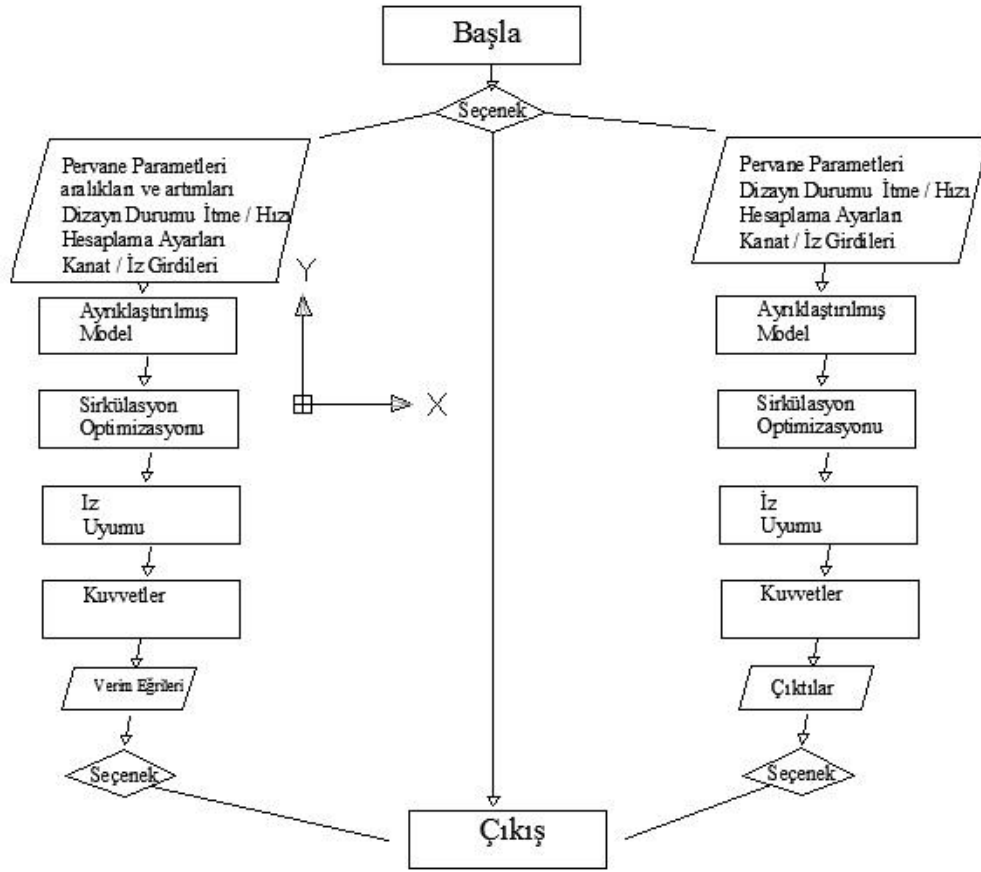
r/R	Efektif Eksenel Hız (V_x/V_s)	Efektif Teğetsel Hız (V_t/V_s)
0.3	0.6116	-0.0252
0.5	0.9565	-0.0102
0.6	0.9617	-0.0089
0.7	0.9568	-0.0160
0.8	0.9591	-0.0108
0.9	0.9552	-0.0148
1	0.9411	-0.0137

5.3.2 OpenProp Matlab Kodları İle İze Uyumlu Hesaplama

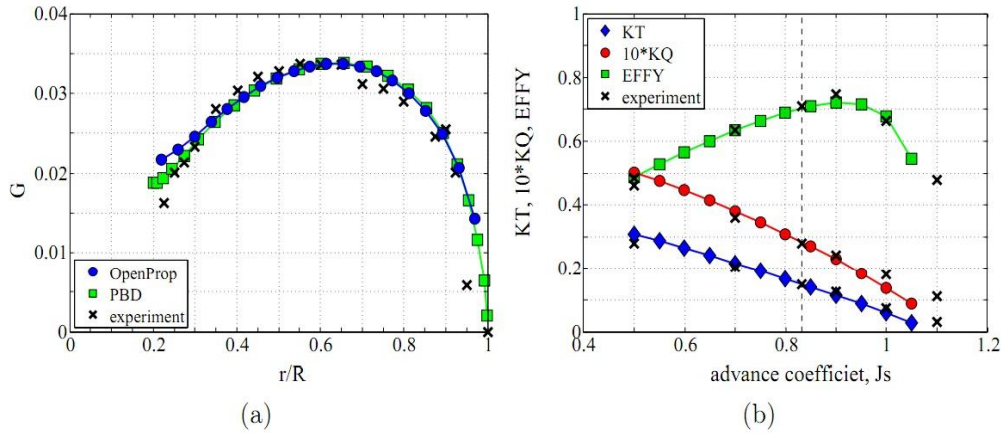
OpenProp, Massachusetts Teknoloji Enstitüsü tarafından geliştirilmiş optimize pervaneler ve türbinler için dizayn ve analiz yapabililen açık kaynak kodlu bir programdır. Epps'e göre programın matematiksel modeli, Amerikan Deniz Kuvvetleri'nin de kullandığı, eksenel ve teğetsel indüklenen hızları hesaplayabilen standart girdap kafes modelidir (2010). Bu formülasyonda z kanat sayılı pervane M adet panel sayılı tek radyal kaldırma hattı şeklinde düşünülmüştür. Program Matlab-M kodu temelli yazılmıştır.

Benzer şekilde, kaldırıcı hat teorisini kullanan, L. Sankar tarafından 1998 yılında Matlab ortamında oluşturulmuş kodlar EK E'de verilmektedir.

Programın algoritması şekil 5.13'de verilmiştir. Programın doğruluğu U.S. Navy 4119 pervanesi hesaplamalarıyla denenmiştir. Şekil 5.15'de gösterildiği gibi MPVL deney verilerine yakın sonuçlar vermiştir.



Şekil 5.14 : MPVL programı algoritması.



Şekil 5.15 : U.S. Navy 4119 sirkülasyon dağılımı ve verim eğrileri (Epps, 2010).

Programdan elde edilen sonuçlarda gösterilen kısaltmalar çizelge 5.6'daki gibidir. Kaldırıcı hat teorisine göre analizi yapılacak olan pervane özellikleri Bölüm 3'te dizayn edilmiştir.

Çizelge 5.6 : MPVL programı sonuç kısaltmaları.

V*	toplam gelen akım hızı (m/s)
beta	bozulmamış akım açısı (deg)
betai	hidrodinamik hatve açısı (deg)
Gamma	girdap şerit kuvveti (m ² /s)
CL	kesit kaldırma katsayısı
Sigma	kavitasyon numarası
G	kesit sirkülasyonu/2*pi*R
Ua	indüklenen eksenel hız / gemi hızı
Ut	indüklenen teğetsel hız / gemi hızı
Cd	kesit direnç katsayısı
Va	eksenel akım hızı / gemi hızı
Vt	teğetsel akım hızı / gemi hızı
P/D	hatve/çap
c/D	kort boyu / çap
fo/C	sehim / kort boyu
to/C	kalınlık/ kort boyu

Buna göre Matlab kodları için kullanılan parametreler çizelge de gösterilmiştir.

Çizelge 5.7 : Kaldırıcı hat dizayn parametreleri.

Kanat Sayısı	5
Pervane Devri	235
Pervane Çapı	3.8
Gereken İtme(N)	403109
Gemi Hızı (m/s)	14.92
Su Yoğunluğu kg/m ³	1025
Yarıçap üzerine gelen girdap panel sayısı	50
Kort Üzerine gelen nokta sayısı	50
Maksimum İterasyon Sayısı	200

Tekil dizayn için kullanılan değerler şekil 5.14'den görülebilmektedir. Uygulama öncesi c/D değerleri Hoerner (1965) referansı göz önüne alınarak hesaplanmıştır. Yapılan ilk tekil dizayna göre 0 derece eğiklikte, sabit pervane çapında, 235 rpm , 250 rpm, 275 rpm ve 300 rpm devirlerde elde edilen performans sonuçları çizelge 5.7'deki gibidir. Buna göre ize uygun olarak maksimum verimin 235 rpm civarında olabileceği tahmin edilebilir. Yine belirtilen devirler esas alınarak eğiklik açısı değerleri değiştirilerek de optimizasyon yapılabilir.

Yapılan hesaplama tekil dizayn ve parametrik dizayn olmak üzere iki çeşittir. Yapılan hesaplamalarda kullanılan arayüzler ile elde edilen sonuç ve grafikler EK A ve EK B'de verilmiştir. Kalınlık kontrolü çizelge 5.9'da verilmiştir.

Şekil 5.16 : İlk tekil dizayn arayüzü.

Çizelge 5.8 : Tekil dizayn pervane devirlerine göre performans sonuçları.

	235	250	275	300
Ct	0.3116	0.3116	0.3116	0.3116
Cp	0.3954	0.4035	0.4205	0.442
Kt	0.123	0.1086	0.0898	0.0754
Kq	0.0249	0.0211	0.0165	0.0134
Va/Vs	0.909	0.909	0.909	0.909
Verim	0.7163	0.7019	0.6735	0.6408

Çizelge 5.9 : Kalınlık kontrolü.

δ	kg/dm ³	8.3	density of blade material
B		0.8	developed area ratio
h	mm	0.0	rake
$l_{0.25}$	mm	11.4	expanded width of blade section at 0.25 radius from propeller axis
$l_{0.6}$	mm	20.2	expanded width of blade section at 0.6 radius from propeller axis
Z		5	number of blades
Rm	N/mm ²	440	minimum tensile strength of blade material
$t_{0.25}$	mm	173.0	maximum thickness of the blade at 0.25 radius from the propeller axis
$t_{0.6}$	mm	118.0	maximum thickness of the blade at 0.6 radius from the propeller axis
$t_{0.9}$	mm	50.0	maximum thickness of the blade at 0.9 radius from the propeller axis
ψ	°	38	skew angle
$t_{0.25}$	mm	114.0	maximum thickness of the blade at 0.25 radius from the propeller axis for a propeller with a skew angle < 0.25°
$t_{0.6}$	mm	67.0	maximum thickness of the blade at 0.6 radius from the propeller axis for a propeller with a skew angle < 0.25°
Rule thickness			
$t_{s-0.25} = t_{0.25} * (0.92 + 0.0032 * \psi)$			
$t_{s-0.25}$		118.7	minimum value of maximum thickness at 0.25 radius
$t_{s-0.6} = t_{0.6} * (0.74 + 0.0129 * \psi - 0.0001 * \psi^2)$			
$t_{s-0.6}$		72.7	minimum value of maximum thickness at 0.6 radius
$t_{s-0.9} = t_{0.6} * (0.35 + 0.0015 * \psi)$			
$t_{s-0.9}$		27.2	minimum value of maximum thickness at 0.9 radius
Compliance with BV rule			
	yes		maximum thickness of the blade at 0.25 radius
	yes		maximum thickness of the blade at 0.6 radius
	yes		maximum thickness of the blade at 0.9 radius

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada ize uyumlu pervane dizayn programı Matlab kodunda ara yüzleriyle geliştirilmiş ve askeri bir gemi için dizayn uygulaması gerçekleştirilmiştir. Bu bağlamda öncelikle uygulama gemisi için güç tahmini yapılmış ve gemi servis hızına karşılık gelen efektif güç değerleri hesaplanmıştır.

Bu değerler kullanılarak Bölüm 3'te savaş geminin kış formuna da uygun olarak 3.80 metre pervane çapı korunup optimum pervane devri 280 rpm olarak bulunmuştur. Standart serilere göre dizayn edilen pervanenin karakteristik özellikleri tablo 'de ve geometrik özellikleri tablo 'de verilmiştir.

Bölüm 4'de, standart serilere göre dizayndan elde edilen pervane karakteristikleri ve İTÜ Ata Nutku Gemi Model Deney Laboratuvarı'n ölçülen nominal aksenal ve nominal teğetsel hız dağılımları ve iz katsayısı ile itme azalması değerlerine göre ize uyumlu hale getirilmiştir. İze uyumlu dizaynda, kullanılan yazılımlar, düzenlenen Matlab kodları, Desp programı ve OpenProp MPVL Matlab kodlarıdır.

Uygulanan ilk Matlab kodlarıyla ize uyumlu dizaynda nominal hız dağılımı, nominal iz dağılımı, ideal pervane verimi için Kramer diyagramı, Goldstein düzeltme faktörü, Naca 66 kavitasyon diyagramı ve kanat genişliği düzeltmeleri ile hatve/çap düzeltmeleri elde edilmiştir. Elde edilen diyagramlar Ek D'de verilmiştir.

MPVL parametrik dizaynında optimize edilen parametreler kanat sayısı, pervane çapı ve pervane devridir ve elde edilen veriler EK A'da gösterilmiştir. MPVL parametrik dizaynına göre 2.8 m pervane çapındaki pervanelerde yüksek devirlerde verimin daha yüksek olduğu sabit pervane çapında devir arttıkça verimin düştüğü, sabit 275 rpm devirde ise pervane çapı arttıkça verimin düştüğü gözlemlenmektedir. Buna göre 3.8 m sabit pervane çapında maksimum verimin 200 rpm devire yakın devirlerde elde edildiği gözlemlenmiştir. Ayrıca MPVL tekil dizaynında elde edilen sonuçlara göre ize uygun olarak maksimum verimin 235 rpm civarında olabileceği çizelge 5.7'den tahmin edilebilir. Yine belirtilen devirler esas alınarak eğiklik açısı değerleri parametre kabul edilerek de optimizasyon yapılabilir.

İze uyumlu dizayna temel oluşturan kaldırıcı hat teorisine örnek olarak uygulanabilen ve L. Sankar tarafından 1998 yılında Matlab ortamında oluşturulmuş kodlar Ek 8’de verilmiştir.

Maksimum sevk verimi ve minimum kavitasyon için günümüzdeki pervane dizaynlarında ize uyum mutlak olarak gerekmektedir ve ize uyumlu pervane dizaynı konusunda teorik ve deneysel çalışmalar yaygın olarak devam etmektedir.

Önem verilmesi gereken diğer husus da, kaldırıcı hat teorisinin yanında ize uyumlu pervane dizaynında hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) yöntemlerinin de geliştirilmesidir.

Bu çalışmanın devamı kaldırıcı yüzey yöntemleri gibi analitik yöntemler kullanarak ize uyumlu hale getirilen pervane dizaynının 3 boyutlu iz alanında bir optimizasyona daha sokulmasıdır. Bu sayede kavitasyon, gürültü ve tekne titreşim karakteristikleri hesaplanabilecektir. Böylece eğer dizayn pervane istenmeyen kavitasyon, yüksek gürültü ve titreşim karakteristikleri gösterir ise pervane kanat kesitleri bu parametreleri sağlayıncaya kadar modifiye edilecektir. Bunun çok yakın bir gelecekte yapılması planlanmıştır.

KAYNAKLAR

- Abbott, Ira H., ve Albert E.Von Doenhoff.**, 1959. *Theory of Wing Sections*. New York, Dover Publications
- Amoraritei M.**, 2005. Developments In The Design Of Ship Propeller Scientific Bulletin of the Politehnica University of Timisoara *Transactions on Mechanics*
- Andersen P., ve Guldhammer H.E.**, 1986 A Computer-Oriented Power Prediction Procedure, *Proceedings CADMO 86*
- Anil K.A.**, 2007. Effect of The Cavitation & Noise On Propeller Design (Project-2)
- Autoship**, 1994. *Autopower Manual*. Canada
- Batchelor G.K.**, 1967. *An Introduction to Fluid Dynamics*. Cambridge
- Bertram, V.**, 2000. *Practical Ship Hydrodynamics.*, Butterworth-Heinemann
- Breslin J.P., Andersen P.**, 1996. *Hydrodynamics of Ship Propellers*. Cambridge
- Burrill, L.C., Emerson**, 1978. A. Propeller cavitation: further tests on 16 in. propeller models in the King's College Cavitation Tunnel. *NECIES*
- Calisal S.M. ve McGreer D.**, 1993. A Resistance Study on a Systematic Series of Law L/B Vessels., *Marine Technology*, **30,4**
- Carlton J. S.**, 2007. *Marine Propellers and Propulsion* - Second Edition. Butterworth-Heinemann
- Compton R.H.**, 1986. Resistance of a Systematic Series of Semi-Planing Transom-Stern Hulls, *Marine Technology*, **23,4**
- Epps B.P.**, 2010. OpenProp v2.4 Theory Document, *MIT Department of Mechanical Engineering Technical Report*
- Froude W.**, 1872. Experiments on the surface-friction experienced by a plane moving through water. *Brit. Assoc. Rep.* **xlii.**, 118-124;
- Froude W.**, 1878. On the elementary relation between pitch, slip and propulsive efficiency. *Trans. RINA*, **19**
- Froude, R.E.**, 1889. On the part played in the operation of propulsion differences in fluid pressure. *Trans. RINA*, **30**
- Froude.**, 1955. The papers of William Froude. *Trans. RINA*.
- Fung, S.C.**, 1991. A Resistance and Powering Prediction for Transom Stern Hull Forms during Early Stage Ship Design, *SNAME, Transactions*, **99**
- G.Kuiper.**, 2010. Cavitation in Ship Propulsion, *Lecture Notes* , January 15
- Ghassemi H.**, 2009. The Effect of Wake Flow and Skew Angle on the Ship Propeller Performance *Transaction B: Mechanical Engineering*, **16, 2**, 149-158

- Harvald, Sv. Aa.**, 1978. Estimation of power of ships. *International Shipbuilding Progress* **25**, 283
- Hayes J.G. ve Engvall L.O.**, 1969. Computer-Aided Studies of Fishing Boat Hull Resistance,, Food and Agriculture Organization of the United Nations, *FAO Fisheries Technical Paper* ,**87**
- Hoerner S.F.**, 1965. *Fluid-Dynamic Drag*. USA
- Holst, C.P.**, 1924. *The Geometry of the Screw Propeller*. Leiden
- Holtrop.**, 1988. A Statistical Re-analysis of Resistance and Propulsion Data, J., *Int.Shipbuilding Progress*, **31**
- Holtrop, ve Mennen J.**, 1982. An Approximate Power Prediction Method *International Shipbuilding Progress* **329**, 166-170
- ITTC**– Recommended Procedures 7.5 - 02 03 - 03.2, alındığı tarih 20.04.2011
- ITTC.**, The Specialist Committee on Cavitation Erosion on Propellers and Appendages on High Powered/High Speed Ships Final Report and Recommendations to the 24th *ITTC*
- Jin P., Su B. ve Tan Z.**, 1980. A Parametric Study on High-Speed Round Bilge Displacement Hulls, *High-Speed Surface Craft*
- Kinnas S.A.**, 1996. Photographs of different types of cavitation,
- Korkut, E.**, 1999. An Investigation into the scale effects on cavitation inception and noise in marine propellers, A *Ph.D.*, University of Newcastle upon Tyne. Department of Marine Technology, UK.
- Korkut E.**, 2008. Cavitation Lecture Notes.
- Korkut E.**, 2008. Ship Hydrodynamics Lecture Notes.
- Kramer, K.N.**, 1939. The Induced Efficiency of Optimum Propellers Having A Finite Number Of Blades, *Naca Technical Memorandum*, **884**
- Kuiper, G.**, 2001. “New developments around sheet and tip vortex cavitation on ship’s propellers”, *Fourth Int. Symp. on Cavitation*, Pasadena, CA, USA
- Kuiper G.**, 2010. Types Of Cavitation. Lecture Notes
- Lerbs, H. W.**, 1952. Moderately Loaded Propellers with a Finite Number of Blades and an Arbitrary Distribution of Circulation, *The Society of Naval Architects and Marine Engineers Transactions* **60**,73-123 New York
- Lewis E.W.**, 1998. Principles of Naval Architecture. *SNAME*, **2**, New York.
- Liene, K.** , Utproving av utvalgte formler for beregning av motstand i stille vann, *The Norwegian Institute of Fishery Technology Research Report (FTFI)*.
- Lighthill, M. J.**, 1986. *An Informal Introduction to Theoretical Fluid Mechanics*. Oxford University Press
- Milne L. M., Thomson**, 1955. *Theoretical hydrodynamics*.London (Macmillan)
- Newman, J. N.**, 1977. *Marine Hydrodynamics*. Cambridge

- Oortmerssen, P Van.**, 1971. A power prediction method and its application to small ships in *International shipbuilding progress*, **18**,207
- Radojicic D.**, 1991. An Engineering Approach to Predicting the Hydrodynamic Performance of Planing Craft Using Computer Techniques. *RINA* **133**, 251-267
- Rankine,W.J.**, 1865. On the mechanical principles of the action of propellers. Trans. *RINA*, **6**
- Savitsky D.**, 1964. Hydrodynamic Design of Planing Hulls,, *Marine Technology*, **1**,1
- Savitsky D. ve Brown W.**, 1976. Procedures for Hydrodynamic Evaluation of Planing Hulls in Smooth and Rough Water,, *Marine Technology*, **13**,4
- Sabuncu, T.**, 1983. *Gemi Sevki*, ITU, Istanbul
- Schneekluth H. ve Bertram V.**, 1998. *Ship Design for Efficiency and Economy*, Butterworth-Heinemann, Oxford
- Url-1.**, <manbw.com/files/news/files/3859/P254-04-04.pdf>, alındığı tarih 04.2011
- Url-2.**, <properpitch.com/pdf/MWbasics.pdf>, alındığı tarih 27.04.2011
- Zarbock O.**, 2009. Controllable pitch propellers for future warships and mega yachts *First International Symposium on Marine Propulsors* Trondheim, Norway

EKLER

EK A: MPVL Parametrik Dizaynı

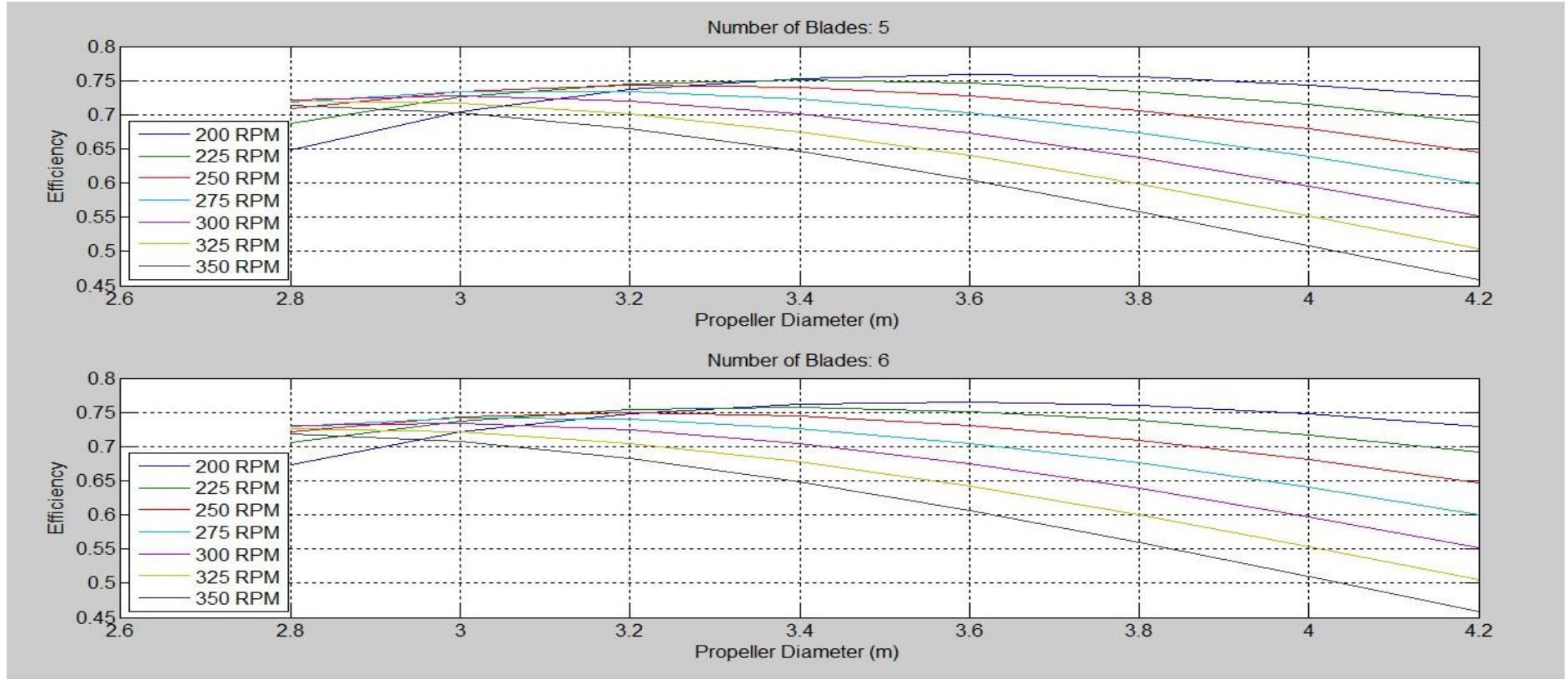
EK B: MPVL Tekil Dizaynı

EK C: Dizayn Edilen Pervanenin Ofseti

EK D: Matlab Kodlarıyla İze Uyumlu Dizayn Sonuç Grafikleri

EK E: Kaldırıcı Hat Teorisi Matlab Kodu

EK A: MPVL Parametrik Dizaynı



Şekil A 1:Parametrik dizayn pervane devri çap verim optimizasyonu.

MPVL

Options

	Min	Max	Increment
Number of blades	5	6	1
Propeller speed (RPM)	200	350	25
Propeller diameter (m)	2.8	4.2	0.2

☒ Hub Image Flag (Check for YES)

396865	Required Thrust (N)
14.92	Ship Velocity (m/s)
0.57	Hub Diameter (m)
50	Number of Vortex Panels over the Radius
100	Max. Iterations in Wake Alignment
1	Hub Vortex Radius/Hub Radius
11	Number of Input Radii
0	Hub Unloading Factor: 0=Optimum
0	Tip Unloading Factor: 1=Reduced Loading
1	Swirl Cancellation Factor: 1=No Cancellation
1025	Water Density (kg/m ³)

r/R	c/D	Cd	Va/Vs	Vt/Vs
0.2	0.2825	0.008	1	0
0.3	0.3199	0.008	1	0
0.4	0.3485	0.008	1	0
0.5	0.3658	0.008	1	0
0.6	0.3718	0.008	1	0
0.7	0.3645	0.008	1	0
0.8	0.3349	0.008	1	0
0.9	0.2689	0.008	1	0
0.95	0.1727	0.008	1	0
1	0.0085	0.008	1	0

* The chord distribution (c/D) is based on the minimum number of blades. As the number of blades increases, the chord lengths are scaled to maintain a constant total blade area.

Run MPVL

Şekil A 2:MPVL kullanıcı girişi arayüzü.

Çizelge A.1 : PVL parametrik dizayn kısaltmaları.

Ct	Gereken İtme Katsayısı
Cp	Güç Katsayısı $C_p = C_q \cdot \pi / J$
Kt	İtme Katsayısı $K_t = C_t \cdot J_s^2 \cdot \pi / 8$
Kq	Tork Katsayısı $K_q = C_q \cdot J_s^2 \cdot \pi / 16$
Va	Eksenel Akım Hızı / Gemi Hızı
Vt	Teğetsel Akım Hızı/Gemi Hızı
Ua	İndüklenen Eksenel Hız / Gemi Hızı
Vt	İndüklenen Teğetsel Hız / Gemi Hızı
G	Kesit Girdapı / $2 \cdot \pi \cdot R$
Beta	Akım Açısı (derece)
Betal	Hidrodinamik Hatve Açısı (derece)
c/D	Kesit kort / çap
cd	Kesit direnç (drag) katsayısı

Ct=0.3067

Cp=0.4602

Kt=0.0853

Kq=0.0171

Verim=0.6666

Çizelge A.2 : MPVL parametrik dizaynı.

r/R	G	Va	Vt	Ua	Ut	Beta	Betal	c/D	Cd
0.15005	0.004485	1	0	0.02352	-0.0469	60.738	63.362	0.26074	0.008
0.15047	0.004485	1	0	0.02363	-0.047	60.67	63.298	0.26093	0.008
0.15131	0.004486	1	0	0.02384	-0.0471	60.534	63.17	0.26131	0.008
0.15257	0.004489	1	0	0.02416	-0.0474	60.331	62.979	0.26188	0.008
0.15424	0.004495	1	0	0.02458	-0.0477	60.061	62.725	0.26264	0.008
0.15633	0.004505	1	0	0.0251	-0.048	59.727	62.41	0.26358	0.008
0.15883	0.004522	1	0	0.02573	-0.0485	59.329	62.035	0.2647	0.008
0.16174	0.004546	1	0	0.02647	-0.049	58.87	61.601	0.266	0.008
0.16506	0.004579	1	0	0.02731	-0.0495	58.353	61.111	0.26748	0.008
0.16879	0.004621	1	0	0.02826	-0.0501	57.779	60.567	0.26913	0.008
0.17291	0.004675	1	0	0.02931	-0.0507	57.151	59.972	0.27094	0.008
0.17744	0.004739	1	0	0.03046	-0.0514	56.474	59.327	0.27291	0.008
0.18235	0.004815	1	0	0.0317	-0.052	55.749	58.635	0.27504	0.008
0.18765	0.004904	1	0	0.03305	-0.0527	54.981	57.901	0.27731	0.008
0.19334	0.005004	1	0	0.03448	-0.0534	54.174	57.126	0.27972	0.008
0.1994	0.005117	1	0	0.036	-0.054	53.33	56.315	0.28226	0.008
0.20583	0.005241	1	0	0.0376	-0.0547	52.455	55.47	0.28492	0.008

r/R	G	Va	Vt	Ua	Ut	Beta	BetaI	c/D	Cd
0.21263	0.005376	1	0	0.03928	-0.0553	51.552	54.596	0.28771	0.008
0.21978	0.005521	1	0	0.04102	-0.0558	50.626	53.696	0.29064	0.008
0.22729	0.005676	1	0	0.04283	-0.0564	49.679	52.774	0.29367	0.008
0.23513	0.00584	1	0	0.04469	-0.0569	48.717	51.833	0.29678	0.008
0.24332	0.006012	1	0	0.0466	-0.0573	47.744	50.877	0.29993	0.008
0.25183	0.006191	1	0	0.04854	-0.0577	46.762	49.909	0.30311	0.008
0.26066	0.006375	1	0	0.0505	-0.058	45.776	48.934	0.30627	0.008
0.2698	0.006564	1	0	0.05249	-0.0582	44.788	47.954	0.30952	0.008
0.27924	0.006757	1	0	0.05449	-0.0584	43.803	46.972	0.31286	0.008
0.28897	0.006953	1	0	0.05649	-0.0585	42.824	45.992	0.31626	0.008
0.29898	0.007151	1	0	0.05848	-0.0585	41.852	45.016	0.31972	0.008
0.30927	0.007349	1	0	0.06046	-0.0585	40.891	44.047	0.32319	0.008
0.31982	0.007548	1	0	0.06242	-0.0584	39.942	43.087	0.32665	0.008
0.33062	0.007746	1	0	0.06435	-0.0582	39.008	42.139	0.33007	0.008
0.34167	0.007942	1	0	0.06624	-0.058	38.091	41.204	0.3334	0.008
0.35294	0.008135	1	0	0.0681	-0.0577	37.191	40.285	0.3366	0.008
0.36443	0.008326	1	0	0.06992	-0.0574	36.311	39.382	0.33964	0.008
0.37613	0.008513	1	0	0.07168	-0.057	35.452	38.497	0.34262	0.008
0.38803	0.008696	1	0	0.0734	-0.0566	34.613	37.631	0.34563	0.008
0.40011	0.008874	1	0	0.07507	-0.0561	33.796	36.785	0.34861	0.008
0.41236	0.009047	1	0	0.07667	-0.0556	33.002	35.96	0.35151	0.008
0.42477	0.009215	1	0	0.07823	-0.0551	32.231	35.156	0.35428	0.008
0.43734	0.009376	1	0	0.07973	-0.0545	31.482	34.374	0.35685	0.008
0.45003	0.009532	1	0	0.08116	-0.054	30.757	33.613	0.35917	0.008
0.46285	0.009681	1	0	0.08255	-0.0534	30.054	32.875	0.36115	0.008
0.47579	0.009824	1	0	0.08387	-0.0527	29.374	32.16	0.36279	0.008
0.48882	0.00996	1	0	0.08514	-0.0521	28.717	31.466	0.36439	0.008
0.50193	0.010089	1	0	0.08635	-0.0515	28.083	30.795	0.36597	0.008
0.51512	0.01021	1	0	0.08751	-0.0508	27.47	30.146	0.36746	0.008
0.52836	0.010325	1	0	0.08862	-0.0502	26.879	29.518	0.3688	0.008
0.54165	0.010431	1	0	0.08968	-0.0495	26.309	28.912	0.36993	0.008
0.55498	0.010531	1	0	0.09068	-0.0489	25.76	28.326	0.37076	0.008
0.56832	0.010622	1	0	0.09164	-0.0482	25.231	27.761	0.37122	0.008
0.58168	0.010705	1	0	0.09255	-0.0476	24.722	27.217	0.37126	0.008
0.59502	0.010781	1	0	0.09342	-0.047	24.232	26.691	0.37109	0.008
0.60835	0.010848	1	0	0.09424	-0.0463	23.76	26.186	0.37076	0.008
0.62164	0.010906	1	0	0.09502	-0.0457	23.307	25.698	0.37027	0.008
0.63488	0.010956	1	0	0.09577	-0.0451	22.871	25.23	0.36966	0.008
0.64807	0.010996	1	0	0.09647	-0.0445	22.453	24.778	0.36892	0.008
0.66118	0.011027	1	0	0.09714	-0.044	22.05	24.344	0.36808	0.008
0.67421	0.011049	1	0	0.09778	-0.0434	21.664	23.927	0.36715	0.008
0.68715	0.01106	1	0	0.09838	-0.0428	21.293	23.526	0.3661	0.008

r/R	G	Va	Vt	Ua	Ut	Beta	BetaI	c/D	Cd
0.69997	0.011061	1	0	0.09895	-0.0423	20.937	23.141	0.36447	0.008
0.71266	0.011052	1	0	0.0995	-0.0418	20.596	22.771	0.36225	0.008
0.72523	0.011031	1	0	0.10001	-0.0413	20.268	22.416	0.35949	0.008
0.73764	0.010999	1	0	0.1005	-0.0408	19.954	22.075	0.35627	0.008
0.74989	0.010954	1	0	0.10096	-0.0403	19.653	21.748	0.35269	0.008
0.76197	0.010898	1	0	0.1014	-0.0398	19.365	21.435	0.34882	0.008
0.77387	0.010828	1	0	0.10181	-0.0394	19.089	21.135	0.34476	0.008
0.78557	0.010745	1	0	0.10221	-0.0389	18.825	20.847	0.34062	0.008
0.79706	0.010649	1	0	0.10258	-0.0385	18.572	20.572	0.33636	0.008
0.80833	0.010538	1	0	0.10293	-0.0381	18.331	20.309	0.33177	0.008
0.81938	0.010413	1	0	0.10326	-0.0377	18.1	20.057	0.32682	0.008
0.83018	0.010273	1	0	0.10358	-0.0373	17.879	19.816	0.32149	0.008
0.84073	0.010118	1	0	0.10388	-0.037	17.669	19.587	0.31573	0.008
0.85102	0.009948	1	0	0.10416	-0.0366	17.469	19.368	0.30952	0.008
0.86103	0.009762	1	0	0.10442	-0.0363	17.278	19.159	0.30283	0.008
0.87076	0.00956	1	0	0.10467	-0.036	17.096	18.96	0.29563	0.008
0.8802	0.009343	1	0	0.10491	-0.0357	16.923	18.771	0.28788	0.008
0.88934	0.009109	1	0	0.10513	-0.0354	16.759	18.592	0.27955	0.008
0.89817	0.00886	1	0	0.10534	-0.0351	16.603	18.421	0.2703	0.008
0.90668	0.008595	1	0	0.10554	-0.0348	16.456	18.26	0.25862	0.008
0.91487	0.008315	1	0	0.10572	-0.0346	16.316	18.107	0.24493	0.008
0.92271	0.008019	1	0	0.1059	-0.0343	16.185	17.963	0.22998	0.008
0.93022	0.007708	1	0	0.10606	-0.0341	16.061	17.827	0.21455	0.008
0.93737	0.007383	1	0	0.10621	-0.0339	15.945	17.7	0.19944	0.008
0.94417	0.007043	1	0	0.10635	-0.0337	15.836	17.58	0.18549	0.008
0.9506	0.00669	1	0	0.10648	-0.0335	15.734	17.469	0.17312	0.008
0.95666	0.006323	1	0	0.1066	-0.0333	15.639	17.365	0.16103	0.008
0.96235	0.005945	1	0	0.10672	-0.0332	15.551	17.268	0.14904	0.008
0.96765	0.005554	1	0	0.10682	-0.033	15.47	17.179	0.13718	0.008
0.97256	0.005152	1	0	0.10691	-0.0329	15.396	17.097	0.12547	0.008
0.97709	0.00474	1	0	0.107	-0.0328	15.328	17.023	0.11392	0.008
0.98121	0.004318	1	0	0.10708	-0.0327	15.266	16.955	0.10257	0.008
0.98494	0.003888	1	0	0.10714	-0.0325	15.211	16.895	0.09144	0.008
0.98826	0.003449	1	0	0.10721	-0.0325	15.163	16.841	0.08054	0.008
0.99117	0.003004	1	0	0.10726	-0.0324	15.12	16.795	0.0699	0.008
0.99367	0.002552	1	0	0.1073	-0.0323	15.084	16.755	0.05954	0.008
0.99576	0.002095	1	0	0.10734	-0.0323	15.054	16.722	0.04948	0.008
0.99743	0.001634	1	0	0.10737	-0.0322	15.029	16.695	0.03974	0.008
0.99869	0.00117	1	0	0.10739	-0.0322	15.011	16.675	0.03034	0.008
0.99953	0.000703	1	0	0.10741	-0.0322	14.999	16.662	0.02131	0.008
0.99995	0.000234	1	0	0.10741	-0.0321	14.993	16.656	0.01267	0.008

Çizelge A.3 : MPVL parametrik dizaynı performans tablosu.

r/R	V*	beta	betai	Gamma	CI	Sigma	dBetai
0.15	8.375	60.74	63.36	0.7988	0.193	3.192	0.83
0.15	8.399	60.67	63.3	0.7988	0.192	3.174	0.83
0.151	8.445	60.53	63.17	0.799	0.191	3.139	0.83
0.153	8.514	60.33	62.98	0.7995	0.189	3.087	0.83
0.154	8.606	60.06	62.72	0.8006	0.186	3.02	0.84
0.156	8.722	59.73	62.41	0.8025	0.184	2.94	0.85
0.159	8.86	59.33	62.03	0.8054	0.181	2.848	0.85
0.162	9.02	58.87	61.6	0.8097	0.178	2.746	0.86
0.165	9.204	58.35	61.11	0.8156	0.174	2.636	0.87
0.169	9.41	57.78	60.57	0.8231	0.171	2.521	0.88
0.173	9.638	57.15	59.97	0.8326	0.168	2.401	0.89
0.177	9.888	56.47	59.33	0.8441	0.165	2.28	0.91
0.182	10.159	55.75	58.64	0.8577	0.162	2.157	0.92
0.188	10.453	54.98	57.9	0.8735	0.159	2.036	0.93
0.193	10.768	54.17	57.13	0.8914	0.156	1.917	0.94
0.199	11.103	53.33	56.31	0.9114	0.153	1.801	0.95
0.206	11.459	52.46	55.47	0.9335	0.15	1.689	0.96
0.213	11.836	51.55	54.6	0.9575	0.148	1.581	0.97
0.22	12.233	50.63	53.7	0.9834	0.146	1.479	0.98
0.227	12.649	49.68	52.77	1.0111	0.143	1.381	0.99
0.235	13.084	48.72	51.83	1.0402	0.141	1.289	1
0.243	13.539	47.74	50.88	1.0708	0.139	1.202	1.01
0.252	14.011	46.76	49.91	1.1026	0.137	1.121	1.02
0.261	14.502	45.78	48.93	1.1355	0.135	1.045	1.02
0.27	15.009	44.79	47.95	1.1692	0.132	0.974	1.03
0.279	15.534	43.8	46.97	1.2036	0.13	0.908	1.03
0.289	16.075	42.82	45.99	1.2385	0.128	0.846	1.03
0.299	16.632	41.85	45.02	1.2737	0.126	0.789	1.03
0.309	17.204	40.89	44.05	1.309	0.124	0.736	1.03
0.32	17.791	39.94	43.09	1.3444	0.122	0.687	1.03
0.331	18.392	39.01	42.14	1.3796	0.12	0.642	1.03
0.342	19.006	38.09	41.2	1.4145	0.117	0.6	1.02
0.353	19.634	37.19	40.28	1.449	0.115	0.561	1.02
0.364	20.274	36.31	39.38	1.483	0.113	0.525	1.01
0.376	20.925	35.45	38.5	1.5163	0.111	0.492	1
0.388	21.587	34.61	37.63	1.5489	0.109	0.461	1
0.4	22.26	33.8	36.78	1.5806	0.107	0.433	0.99
0.412	22.943	33	35.96	1.6114	0.105	0.407	0.98
0.412	22.943	33	35.96	1.6114	0.105	0.407	0.98
0.425	23.634	32.23	35.16	1.6413	0.103	0.382	0.97

r/R	V*	beta	betai	Gamma	Cl	Sigma	dBetai
0.425	23.634	32.23	35.16	1.6413	0.103	0.382	0.97
0.437	24.334	31.48	34.37	1.6701	0.101	0.36	0.96
0.45	25.041	30.76	33.61	1.6978	0.099	0.339	0.95
0.463	25.755	30.05	32.88	1.7244	0.098	0.32	0.94
0.476	26.476	29.37	32.16	1.7498	0.096	0.302	0.93
0.489	27.202	28.72	31.47	1.774	0.094	0.285	0.92
0.502	27.933	28.08	30.8	1.7969	0.093	0.27	0.91
0.515	28.667	27.47	30.15	1.8186	0.091	0.256	0.9
0.528	29.406	26.88	29.52	1.839	0.089	0.243	0.88
0.542	30.146	26.31	28.91	1.858	0.088	0.23	0.87
0.555	30.889	25.76	28.33	1.8757	0.086	0.219	0.86
0.568	31.632	25.23	27.76	1.8919	0.085	0.208	0.85
0.582	32.377	24.72	27.22	1.9068	0.083	0.198	0.84
0.595	33.12	24.23	26.69	1.9202	0.082	0.189	0.83
0.608	33.863	23.76	26.19	1.9321	0.081	0.18	0.82
0.622	34.604	23.31	25.7	1.9425	0.08	0.172	0.81
0.635	35.342	22.87	25.23	1.9514	0.079	0.165	0.8
0.648	36.077	22.45	24.78	1.9586	0.077	0.158	0.78
0.661	36.808	22.05	24.34	1.9641	0.076	0.151	0.77
0.674	37.534	21.66	23.93	1.9679	0.075	0.145	0.76
0.687	38.254	21.29	23.53	1.97	0.074	0.139	0.75
0.7	38.969	20.94	23.14	1.9702	0.073	0.134	0.75
0.713	39.677	20.6	22.77	1.9685	0.072	0.129	0.74
0.725	40.377	20.27	22.42	1.9648	0.071	0.124	0.73
0.738	41.069	19.95	22.08	1.959	0.07	0.12	0.72
0.75	41.751	19.65	21.75	1.9512	0.07	0.116	0.71
0.762	42.425	19.37	21.44	1.9411	0.069	0.112	0.7
0.774	43.088	19.09	21.13	1.9287	0.068	0.108	0.69
0.786	43.74	18.82	20.85	1.9139	0.068	0.105	0.69
0.797	44.38	18.57	20.57	1.8968	0.067	0.101	0.68
0.808	45.008	18.33	20.31	1.8771	0.066	0.098	0.67
0.819	45.624	18.1	20.06	1.8548	0.065	0.096	0.66
0.83	46.226	17.88	19.82	1.8299	0.065	0.093	0.66
0.841	46.814	17.67	19.59	1.8023	0.064	0.09	0.65
0.851	47.387	17.47	19.37	1.7719	0.064	0.088	0.65
0.861	47.945	17.28	19.16	1.7388	0.063	0.086	0.64
0.871	48.488	17.1	18.96	1.7029	0.063	0.084	0.63
0.88	49.014	16.92	18.77	1.6641	0.062	0.082	0.63
0.889	49.523	16.76	18.59	1.6225	0.062	0.08	0.62
0.898	50.015	16.6	18.42	1.5781	0.061	0.078	0.62
0.907	50.489	16.46	18.26	1.5309	0.062	0.077	0.61
0.915	50.945	16.32	18.11	1.481	0.062	0.075	0.61

r/R	V*	beta	betai	Gamma	Cl	Sigma	dBetai
0.923	51.383	16.18	17.96	1.4283	0.064	0.074	0.61
0.93	51.801	16.06	17.83	1.3729	0.065	0.073	0.6
0.937	52.2	15.94	17.7	1.315	0.066	0.071	0.6
0.944	52.578	15.84	17.58	1.2545	0.068	0.07	0.59
0.951	52.937	15.73	17.47	1.1916	0.068	0.069	0.59
0.957	53.275	15.64	17.36	1.1263	0.069	0.068	0.59
0.962	53.591	15.55	17.27	1.0588	0.07	0.067	0.58
0.968	53.887	15.47	17.18	0.9892	0.07	0.067	0.58
0.973	54.161	15.4	17.1	0.9177	0.071	0.066	0.58
0.977	54.413	15.33	17.02	0.8443	0.072	0.065	0.58
0.981	54.643	15.27	16.96	0.7691	0.072	0.065	0.58
0.985	54.85	15.21	16.89	0.6925	0.073	0.064	0.57
0.988	55.035	15.16	16.84	0.6144	0.073	0.064	0.57
0.991	55.198	15.12	16.79	0.535	0.073	0.063	0.57
0.994	55.337	15.08	16.75	0.4546	0.073	0.063	0.57
0.996	55.454	15.05	16.72	0.3732	0.072	0.063	0.57
0.997	55.547	15.03	16.7	0.2911	0.069	0.062	0.57
0.999	55.617	15.01	16.68	0.2083	0.065	0.062	0.57
1	55.663	15	16.66	0.1252	0.056	0.062	0.57
1	55.687	14.99	16.66	0.0418	0.031	0.062	0.57

Çizelge A.4 : MPVL parametrik dizaynı pervane geometrisi.

r/R	P/D	Skew	Xs/D	c/D	f0/c	t0/c
0.15	1.01	9.1	0	0.261	0.003	0.2355
0.15	1.01	9.1	0	0.261	0.003	0.2352
0.151	1.01	9.1	0	0.261	0.003	0.2347
0.153	1.01	9.1	0	0.262	0.003	0.2339
0.154	1.01	9.1	0	0.263	0.003	0.2329
0.156	1	9.2	0	0.264	0.0029	0.2316
0.159	1	9.2	0	0.265	0.0029	0.2301
0.162	1	9.2	0	0.266	0.0029	0.2283
0.165	1	9.2	0	0.267	0.0028	0.2263
0.169	1	9.2	0	0.269	0.0028	0.224
0.173	1	9.2	0	0.271	0.0028	0.2215
0.177	1	9.2	0	0.273	0.0027	0.2188
0.182	1	9.2	0	0.275	0.0027	0.2159
0.188	1	9.2	0	0.277	0.0027	0.2128
0.193	1	9.2	0	0.28	0.0027	0.2094
0.199	1	9.2	0	0.282	0.0027	0.2059

r/R	P/D	Skew	Xs/D	c/D	f0/c	t0/c
0.206	1	9.2	0	0.285	0.0026	0.2023
0.213	1	9.2	0	0.288	0.0026	0.1985
0.22	0.99	9.2	0	0.291	0.0026	0.1945
0.227	0.99	9.2	0	0.294	0.0026	0.1904
0.235	0.99	9.2	0	0.297	0.0026	0.1862
0.243	0.99	9.2	0	0.3	0.0026	0.182
0.252	0.99	9.1	0	0.303	0.0026	0.1776
0.261	0.99	9.1	0	0.306	0.0026	0.1732
0.27	0.99	9.1	0	0.31	0.0025	0.1688
0.279	0.99	9	0	0.313	0.0025	0.1643
0.289	0.99	9	0	0.316	0.0025	0.1599
0.299	0.99	8.9	0	0.32	0.0025	0.1555
0.309	0.99	8.9	0	0.323	0.0024	0.1512
0.32	0.99	8.8	0	0.327	0.0024	0.1469
0.331	0.99	8.6	0	0.33	0.0023	0.1426
0.342	0.99	8.5	0	0.333	0.0023	0.1383
0.353	0.99	8.3	0	0.337	0.0022	0.1342
0.364	0.99	8.1	0	0.34	0.0022	0.13
0.376	0.99	7.9	0	0.343	0.0021	0.126
0.388	0.99	7.7	0	0.346	0.0021	0.122
0.4	0.99	7.5	0	0.349	0.0021	0.1181
0.412	0.99	7.4	0	0.352	0.002	0.1142
0.425	0.99	7.2	0	0.354	0.002	0.1105
0.437	1	7	0	0.357	0.0019	0.1068
0.45	1	6.8	0	0.359	0.0018	0.1031
0.463	1	6.6	0	0.361	0.0018	0.0996
0.476	1	6.3	0	0.363	0.0017	0.0962
0.489	1	6.1	0	0.364	0.0017	0.0929
0.502	1	5.9	0	0.366	0.0016	0.0897
0.515	1	5.6	0	0.367	0.0016	0.0867
0.528	1	5.3	0	0.369	0.0015	0.0837
0.542	1	5	0	0.37	0.0015	0.0808
0.555	1	4.8	0	0.371	0.0014	0.078
0.568	1	4.5	0	0.371	0.0014	0.0753
0.582	1	4.2	0	0.371	0.0013	0.0727
0.595	1	3.9	0	0.371	0.0013	0.0703
0.608	1	3.5	0	0.371	0.0013	0.0679
0.622	1.01	3.2	0	0.37	0.0012	0.0657
0.635	1.01	2.9	0	0.37	0.0012	0.0636
0.648	1.01	2.6	0	0.369	0.0012	0.0615
0.661	1.01	2.3	0	0.368	0.0011	0.0596
0.674	1.01	2	0	0.367	0.0011	0.0577

r/R	P/D	Skew	Xs/D	c/D	f0/c	t0/c
0.725	1.01	0.6	0	0.359	0.001	0.0507
0.738	1.01	0.2	0	0.356	0.001	0.0491
0.75	1.01	-0.1	0	0.353	0.001	0.0476
0.762	1.01	-0.5	0	0.349	0.0009	0.0461
0.774	1.02	-0.8	0	0.345	0.0009	0.0447
0.786	1.02	-1.2	0	0.341	0.0009	0.0434
0.797	1.02	-1.5	0	0.336	0.0009	0.0422
0.808	1.02	-1.9	0	0.332	0.0009	0.041
0.819	1.02	-2.2	0	0.327	0.0009	0.0398
0.83	1.02	-2.6	0	0.321	0.0008	0.0387
0.841	1.02	-2.9	0	0.316	0.0008	0.0375
0.851	1.02	-3.2	0	0.31	0.0008	0.0365
0.861	1.02	-3.5	0	0.303	0.0008	0.0356
0.871	1.02	-3.8	0	0.296	0.0008	0.0347
0.88	1.02	-4.1	0	0.288	0.0008	0.0341
0.889	1.02	-4.4	0	0.28	0.0008	0.0336
0.898	1.02	-4.7	0	0.27	0.0008	0.0332
0.907	1.03	-5	0	0.259	0.0008	0.0331
0.915	1.03	-5.2	0	0.245	0.0008	0.0329
0.923	1.03	-5.5	0	0.23	0.0008	0.0329
0.93	1.03	-5.7	0	0.215	0.0008	0.0328
0.937	1.03	-6	0	0.199	0.0008	0.0327
0.944	1.03	-6.2	0	0.185	0.0008	0.0326
0.951	1.03	-6.4	0	0.173	0.0008	0.0324
0.957	1.03	-6.6	0	0.161	0.0008	0.0314
0.968	1.03	-7	0	0.137	0.0007	0.0268
0.973	1.03	-7.1	0	0.125	0.0006	0.0237
0.977	1.03	-7.3	0	0.114	0.0005	0.0205
0.981	1.03	-7.4	0	0.103	0.0004	0.0172
0.985	1.03	-7.5	0	0.091	0.0004	0.014
0.988	1.03	-7.6	0	0.081	0.0003	0.0111
0.991	1.03	-7.7	0	0.07	0.0002	0.0084
0.994	1.03	-7.8	0	0.06	0.0002	0.0061
0.996	1.03	-7.9	0	0.049	0.0001	0.0041
0.997	1.03	-8	0	0.04	0.0001	0.0025
0.999	1.03	-8	0	0.03	0	0.0013
1	1.03	-8	0	0.021	0	0.0005
1	1.03	-8	0	0.013	0	0.0001

EK B: MPVL Tekil Dizaynı

MPVL Options

5 Number of Blades

280 Propeller Speed (RPM)

3.80 Propeller Diameter (m)

☒ Hub Image Flag (Check for YES)

Meanline Type: NACA a=0.8

Thickness Form: NACA 65A010

396865 Required Thrust (N)

14.92 Ship Velocity (m/s)

0.57 Hub Diameter (m)

100 Number of Vortex Panels over the Radius

200 Max. Iterations in Wake Alignment

1 Hub Vortex Radius/Hub Radius

11 Number of Input Radii

0 Hub Unloading Factor: 0=Optimum

0 Tip Unloading Factor: 1=Reduced Loading

1 Swirl Cancellation Factor: 1=No Cancellation

1025 Water Density (kg/m³)

1.90 Shaft Centerline Depth (m)

0.3 Inflow Variation (m/s)

1.54 Ideal Angle of Attack (degrees)

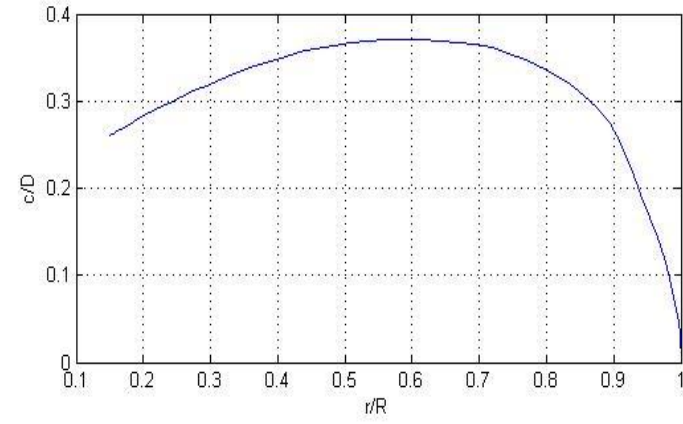
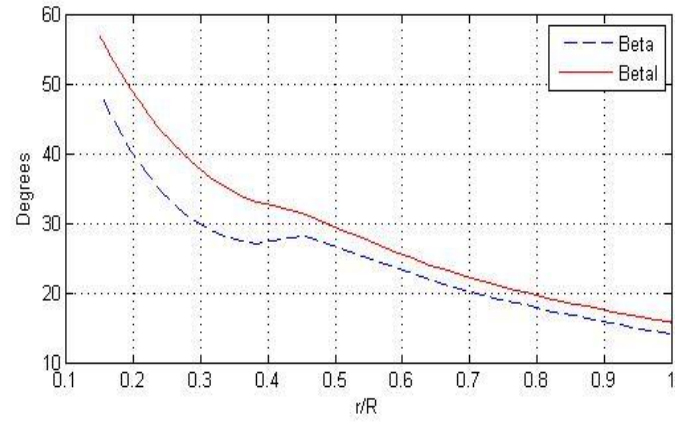
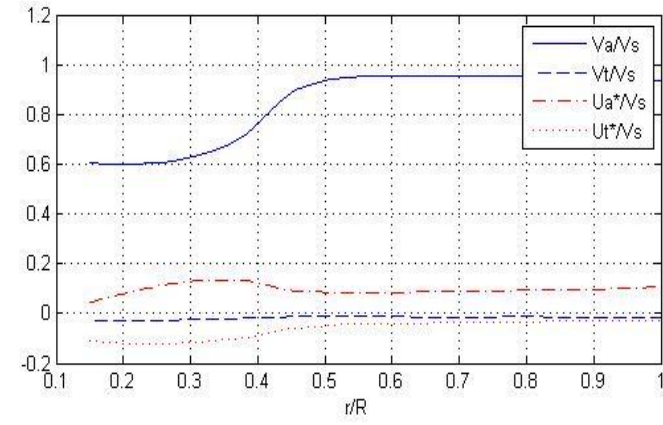
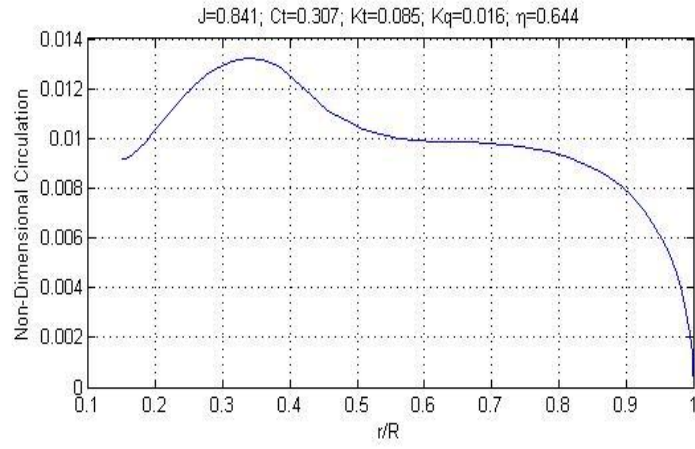
100 Number of Points over the Chord

r/R	c/D	Cd	Va/Vs	Vt/Vs	f0/c	t0/c	Skew	Xs/D
0.2	0.2825	0.008	1	0	0.0174	0.2056	9.25	0
0.3	0.3199	0.008	1	0	0.0195	0.1551	8.92	0
0.4	0.3485	0.008	1	0	0.0192	0.1181	7.55	0
0.5	0.3658	0.008	1	0	0.0175	0.0902	5.89	0
0.6	0.3718	0.008	1	0	0.0158	0.0694	3.74	0
0.7	0.3645	0.008	1	0	0.0143	0.0541	1.28	0
0.8	0.3349	0.008	1	0	0.0133	0.0419	-1.63	0
0.9	0.2689	0.008	1	0	0.0125	0.0332	-4.75	0
0.95	0.1727	0.008	1	0	0.0115	0.0324	-6.38	0
1	0.0085	0.008	1	0	0	0	-8.04	0

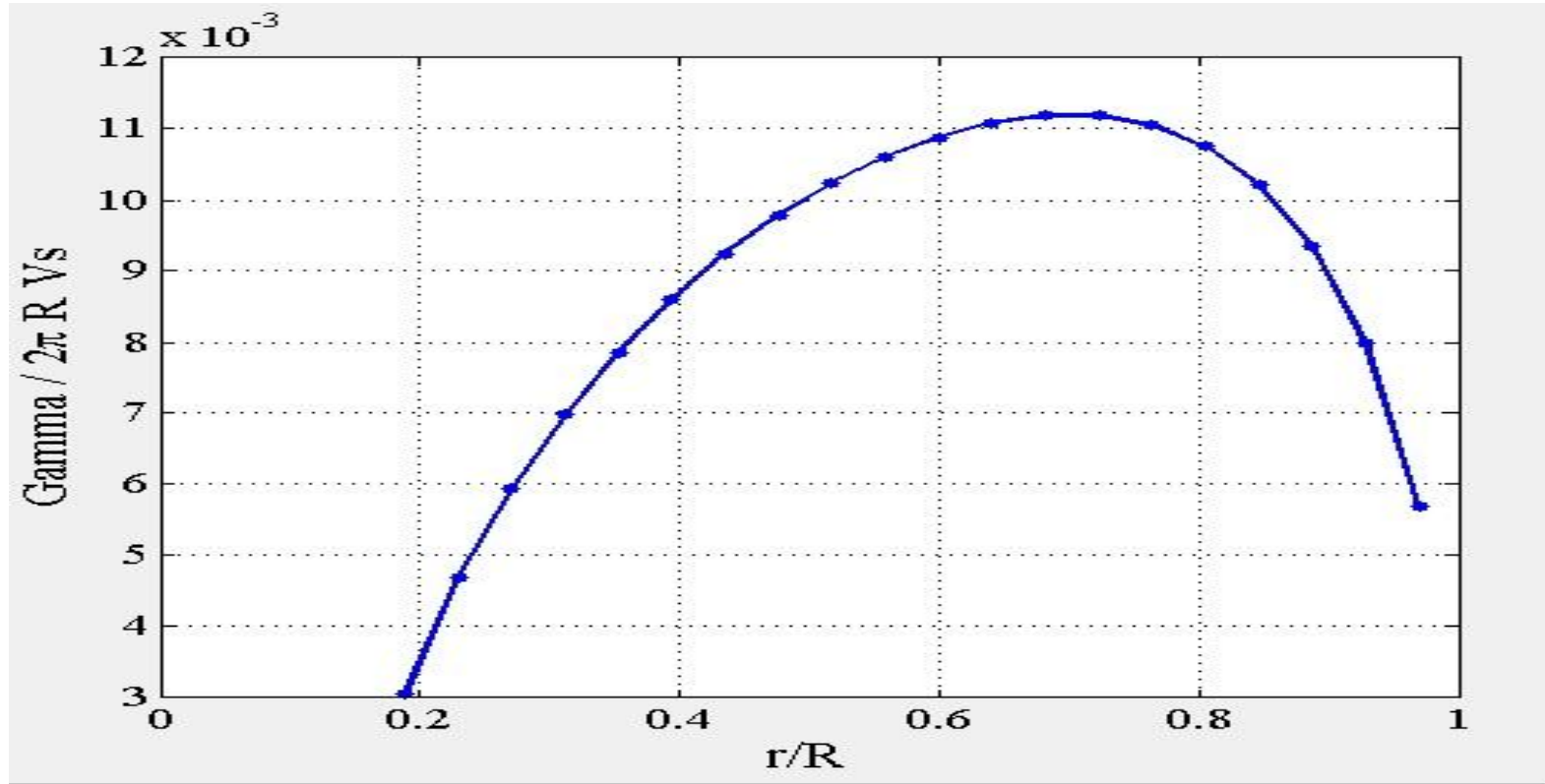
Run MPVL

30 Nisan 2011 Cumartesi

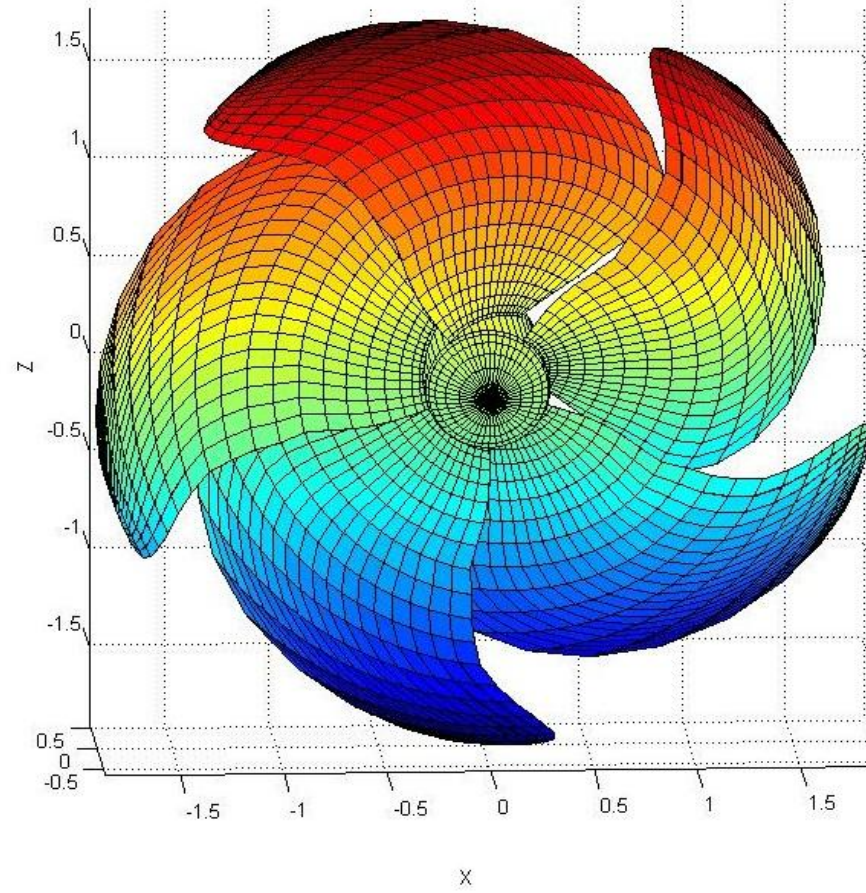
Şekil B 1:MPVL tekil dizaynı kullanıcı arayüzü.



Şekil B 2:MPVL tekil dizayn performans eğrileri.



Şekil B 3:MPVL tekil dizayn sirkülasyon dağılımı.



Şekil B 4:MPVL tekil dizayn pervane-panel 3 boyutlu görüntüsü.

$C_t=0.3067$
 $C_p=0.4293$
 $K_t=0.0853$
 $K_q=0.016$
 $V_a/V_s=0.9017$
 $Verim=0.6443$

Çizelge B.1 : MPVL tekil dizaynı.

r/R	G	Va	Vt	Ua	Ut	Beta	BetaI	c/D	Cd
0.15021	0.00916	0.60553	-0.0274	0.04398	-0.107	48.618	56.707	0.26082	0.008
0.15189	0.00917	0.60518	-0.0274	0.04521	-0.1077	48.273	56.404	0.26157	0.008
0.15523	0.00919	0.60452	-0.0275	0.04767	-0.109	47.594	55.805	0.26309	0.008
0.16024	0.00926	0.60362	-0.0276	0.05134	-0.1108	46.606	54.927	0.26533	0.008
0.16688	0.00939	0.60259	-0.0277	0.05617	-0.1131	45.346	53.791	0.26828	0.008
0.17513	0.0096	0.60155	-0.0279	0.06211	-0.1155	43.856	52.428	0.27191	0.008
0.18495	0.00988	0.60066	-0.0279	0.06904	-0.1179	42.189	50.872	0.27616	0.008
0.19632	0.01024	0.60011	-0.028	0.07679	-0.12	40.401	49.163	0.28097	0.008
0.20918	0.01066	0.60012	-0.0279	0.08518	-0.1217	38.549	47.344	0.2863	0.008
0.22349	0.01113	0.60107	-0.0277	0.09397	-0.1229	36.686	45.461	0.29214	0.008
0.23918	0.01161	0.60301	-0.0273	0.10292	-0.1233	34.855	43.551	0.29835	0.008
0.2562	0.01209	0.60579	-0.0267	0.11178	-0.123	33.081	41.644	0.30468	0.008
0.27448	0.01253	0.61142	-0.0259	0.11994	-0.1216	31.469	39.814	0.31118	0.008
0.29394	0.01288	0.62222	-0.0249	0.12661	-0.1189	30.116	38.134	0.31799	0.008
0.31451	0.01312	0.63805	-0.0236	0.13151	-0.1149	29.005	36.608	0.32492	0.008
0.33611	0.01322	0.65845	-0.022	0.13451	-0.1099	28.103	35.224	0.33175	0.008
0.35866	0.01316	0.68258	-0.0204	0.13557	-0.1042	27.365	33.963	0.33814	0.008
0.38205	0.01289	0.71987	-0.0186	0.13195	-0.096	27.08	32.996	0.34413	0.008
0.40621	0.01238	0.78076	-0.0165	0.12022	-0.0835	27.492	32.453	0.35007	0.008
0.43104	0.01174	0.84814	-0.0143	0.10471	-0.0693	27.999	31.983	0.35559	0.008
0.45643	0.01114	0.90121	-0.0125	0.09188	-0.0575	28.044	31.285	0.36021	0.008
0.48229	0.01071	0.92364	-0.0113	0.08767	-0.0517	27.3	30.198	0.36359	0.008
0.50852	0.01039	0.93874	-0.0104	0.08522	-0.0476	26.432	29.085	0.36673	0.008
0.535	0.01015	0.95016	-0.0096	0.08351	-0.0443	25.544	28.002	0.3694	0.008
0.56165	0.01001	0.95653	-0.0091	0.08317	-0.042	24.612	26.936	0.37104	0.008
0.58835	0.00993	0.95721	-0.0094	0.08449	-0.0407	23.633	25.884	0.37119	0.008
0.615	0.00989	0.95611	-0.0114	0.08596	-0.0396	22.706	24.896	0.37053	0.008
0.64148	0.00987	0.95463	-0.0142	0.08731	-0.0385	21.847	23.979	0.3693	0.008
0.66771	0.00984	0.95354	-0.0162	0.08856	-0.0376	21.054	23.131	0.36763	0.008
0.69357	0.00981	0.9535	-0.0164	0.08967	-0.0366	20.331	22.353	0.36536	0.008
0.71896	0.00975	0.95439	-0.0154	0.09052	-0.0357	19.675	21.641	0.36093	0.008
0.74379	0.00967	0.95561	-0.014	0.09119	-0.0347	19.076	20.989	0.35452	0.008
0.76795	0.00956	0.95661	-0.0128	0.0918	-0.0338	18.526	20.388	0.34681	0.008
0.79134	0.00942	0.95692	-0.0125	0.09245	-0.0331	18.015	19.834	0.33852	0.008

r/R	G	Va	Vt	Ua	Ut	Beta	BetaI	c/D	Cd
0.81389	0.00923	0.95649	-0.0129	0.09319	-0.0324	17.541	19.322	0.32934	0.008
0.83549	0.00901	0.95555	-0.0138	0.09401	-0.0318	17.101	18.851	0.31866	0.008
0.85606	0.00874	0.95426	-0.0147	0.09491	-0.0314	16.694	18.419	0.30624	0.008
0.87552	0.00842	0.95276	-0.0153	0.09588	-0.031	16.321	18.024	0.29183	0.008
0.8938	0.00804	0.95117	-0.0156	0.09692	-0.0306	15.978	17.664	0.27515	0.008
0.91082	0.00762	0.94836	-0.0155	0.09846	-0.0305	15.649	17.329	0.25198	0.008
0.92651	0.00713	0.9446	-0.0152	0.10036	-0.0306	15.336	17.019	0.22227	0.008
0.94082	0.00658	0.94145	-0.015	0.10197	-0.0306	15.064	16.748	0.19227	0.008
0.95368	0.00597	0.93956	-0.0149	0.10302	-0.0305	14.84	16.518	0.16706	0.008
0.96505	0.0053	0.93814	-0.0147	0.10385	-0.0303	14.65	16.321	0.14309	0.008
0.97487	0.00458	0.93704	-0.0146	0.1045	-0.0302	14.491	16.156	0.11967	0.008
0.98312	0.00381	0.93623	-0.0145	0.105	-0.0301	14.362	16.02	0.09698	0.008
0.98976	0.003	0.93567	-0.0144	0.10536	-0.03	14.261	15.913	0.07519	0.008
0.99477	0.00217	0.93531	-0.0143	0.10561	-0.0299	14.186	15.834	0.05447	0.008
0.99811	0.00131	0.93511	-0.0143	0.10576	-0.0299	14.137	15.782	0.035	0.008
0.99979	0.00044	0.93501	-0.0142	0.10583	-0.0298	14.113	15.756	0.01694	0.008

Çizelge B.2 : MPVL tekil dizaynı performans tablosu.

r/R	V*	beta	betai	Gamma	Cl	Sigma	dBetaI
0.15	8.26	48.62	56.71	1.6322	0.399	3.598	1.24
0.152	8.352	48.27	56.4	1.6329	0.393	3.518	1.24
0.155	8.537	47.59	55.81	1.6375	0.384	3.366	1.26
0.16	8.813	46.61	54.93	1.6496	0.371	3.156	1.27
0.167	9.18	45.35	53.79	1.6728	0.357	2.906	1.29
0.175	9.636	43.86	52.43	1.7092	0.343	2.634	1.31
0.185	10.18	42.19	50.87	1.7598	0.329	2.356	1.33
0.196	10.81	40.4	49.16	1.8238	0.316	2.086	1.34
0.209	11.525	38.55	47.34	1.8989	0.303	1.832	1.35
0.223	12.32	36.69	45.46	1.9819	0.29	1.599	1.36
0.239	13.194	34.86	43.55	2.0686	0.277	1.391	1.36
0.256	14.142	33.08	41.64	2.1537	0.263	1.208	1.35
0.274	15.162	31.47	39.81	2.231	0.249	1.048	1.33
0.294	16.249	30.12	38.13	2.2938	0.234	0.909	1.3
0.315	17.4	29.01	36.61	2.3367	0.218	0.79	1.26
0.336	18.61	28.1	35.22	2.3549	0.201	0.689	1.23
0.359	19.873	27.37	33.96	2.3439	0.184	0.602	1.18
0.382	21.187	27.08	33	2.2952	0.166	0.528	1.14
0.406	22.548	27.49	32.45	2.2046	0.147	0.464	1.08
0.431	23.949	28	31.98	2.0909	0.129	0.41	1.03
0.456	25.378	28.04	31.28	1.9838	0.114	0.363	0.99
0.482	26.825	27.3	30.2	1.9067	0.103	0.324	0.96

r/R	V*	beta	betai	Gamma	Cl	Sigma	dBetai
0.509	28.29	26.43	29.08	1.8498	0.094	0.29	0.93
0.535	29.77	25.54	28	1.8086	0.087	0.261	0.9
0.562	31.256	24.61	26.94	1.7823	0.081	0.236	0.87
0.588	32.744	23.63	25.88	1.7689	0.077	0.214	0.85
0.615	34.227	22.71	24.9	1.762	0.073	0.195	0.83
0.641	35.7	21.85	23.98	1.7577	0.07	0.178	0.8
0.668	37.16	21.05	23.13	1.7534	0.068	0.164	0.78
0.694	38.601	20.33	22.35	1.7472	0.065	0.151	0.76
0.719	40.017	19.67	21.64	1.7373	0.063	0.14	0.74
0.744	41.402	19.08	20.99	1.7227	0.062	0.13	0.72
0.768	42.749	18.53	20.39	1.7028	0.06	0.122	0.71
0.791	44.053	18.02	19.83	1.677	0.059	0.114	0.69
0.814	45.309	17.54	19.32	1.6445	0.058	0.108	0.68
0.835	46.512	17.1	18.85	1.6046	0.057	0.102	0.66
0.856	47.657	16.69	18.42	1.5564	0.056	0.096	0.65
0.876	48.741	16.32	18.02	1.4992	0.055	0.092	0.64
0.894	49.759	15.98	17.66	1.4326	0.055	0.088	0.63
0.911	50.707	15.65	17.33	1.3566	0.056	0.084	0.62
0.927	51.581	15.34	17.02	1.2703	0.058	0.081	0.61
0.941	52.378	15.06	16.75	1.1727	0.061	0.079	0.6
0.954	53.095	14.84	16.52	1.0637	0.063	0.076	0.59
0.965	53.729	14.65	16.32	0.9442	0.065	0.075	0.59
0.975	54.276	14.49	16.16	0.8154	0.066	0.073	0.58
0.983	54.736	14.36	16.02	0.6785	0.067	0.072	0.58
0.99	55.106	14.26	15.91	0.5348	0.068	0.071	0.58
0.995	55.385	14.19	15.83	0.3859	0.067	0.07	0.57
0.998	55.571	14.14	15.78	0.2331	0.063	0.069	0.57
1	55.665	14.11	15.76	0.0779	0.043	0.069	0.57

Pervane tipi NACA a=0.8 ve kesit kalınlığı tipi NACA 65A010 olmak üzere pervane geometrisi Çizlge B 3’de verilmiştir.

Çizelge C.1 : MPVL tekil dizaynı pervane geometrisi.

r/R	P/D	Skew	Xs/D	c/D	f0/c	t0/c
0.15	0.76	9.1	0	0.261	0.0063	0.2354
0.152	0.76	9.1	0	0.262	0.0062	0.2344
0.155	0.76	9.1	0	0.263	0.0061	0.2323
0.16	0.76	9.2	0	0.265	0.006	0.2292
0.167	0.76	9.2	0	0.268	0.0058	0.2252
0.175	0.76	9.2	0	0.272	0.0057	0.2202
0.185	0.75	9.2	0	0.276	0.0056	0.2143
0.196	0.75	9.2	0	0.281	0.0055	0.2077
0.209	0.75	9.2	0	0.286	0.0054	0.2004
0.223	0.75	9.2	0	0.292	0.0053	0.1925
0.239	0.75	9.2	0	0.298	0.0051	0.1841
0.256	0.76	9.1	0	0.305	0.005	0.1754
0.274	0.76	9	0	0.311	0.0048	0.1666
0.294	0.77	9	0	0.318	0.0046	0.1577
0.315	0.78	8.8	0	0.325	0.0042	0.149
0.336	0.79	8.6	0	0.332	0.0039	0.1405
0.359	0.8	8.2	0	0.338	0.0036	0.1321
0.382	0.83	7.8	0	0.344	0.0032	0.124
0.406	0.86	7.5	0	0.35	0.0028	0.1161
0.431	0.9	7.1	0	0.356	0.0024	0.1086
0.456	0.92	6.7	0	0.36	0.0021	0.1014
0.482	0.94	6.2	0	0.364	0.0018	0.0946
0.509	0.95	5.7	0	0.367	0.0016	0.0882
0.535	0.95	5.2	0	0.369	0.0015	0.0822
0.562	0.96	4.6	0	0.371	0.0013	0.0766
0.588	0.96	4	0	0.371	0.0012	0.0715
0.615	0.96	3.4	0	0.371	0.0011	0.0668
0.641	0.96	2.8	0	0.369	0.0011	0.0625
0.668	0.96	2.1	0	0.368	0.001	0.0586
0.694	0.97	1.5	0	0.365	0.0009	0.055
0.719	0.97	0.8	0	0.361	0.0009	0.0516
0.744	0.97	0.1	0	0.355	0.0009	0.0483
0.768	0.97	-0.7	0	0.347	0.0008	0.0454
0.791	0.97	-1.4	0	0.339	0.0008	0.0428
0.814	0.97	-2.1	0	0.329	0.0008	0.0404
0.835	0.98	-2.7	0	0.319	0.0007	0.0381
0.856	0.98	-3.4	0	0.306	0.0007	0.036
0.876	0.98	-4	0	0.292	0.0007	0.0344
0.894	0.98	-4.6	0	0.275	0.0007	0.0334
0.911	0.98	-5.1	0	0.252	0.0007	0.033

r/R	P/D	Skew	Xs/D	c/D	f0/c	t0/c
0.927	0.98	-5.6	0	0.222	0.0007	0.0328
0.941	0.98	-6.1	0	0.192	0.0007	0.0326
0.954	0.98	-6.5	0	0.167	0.0007	0.032
0.965	0.98	-6.9	0	0.143	0.0006	0.0282
0.975	0.98	-7.2	0	0.12	0.0005	0.0221
0.983	0.98	-7.5	0	0.097	0.0004	0.0156
0.99	0.98	-7.7	0	0.075	0.0002	0.0097
0.995	0.98	-7.9	0	0.054	0.0001	0.005
0.998	0.98	-8	0	0.035	0	0.0018
1	0.98	-8	0	0.017	0	0.0002

EK C: Standart Seriye Göre Dizayn Edilen Pervanenin Ofseti

Çizelge C.2 : Standart seriye göre dizayn edilen pervanenin ofseti.

			Pervane	Ofseti			
P	r/R	0.2	0.4	0.6	0.8	0.9	1.0
-1.00	Xc	-0.41121	-0.52840	-0.62022	-0.68340	-0.66326	0.00000
	Yb	0.03501	0.01405	0.00000	0.00000	0.00484	0.00000
	Yf	0.03501	0.01405	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
-0.90	Xc	-0.34142	-0.44245	-0.53390	-0.61709	-0.61216	0.00000
	Yb	0.04776	0.02664	0.00128	0.00751	0.01298	0.00217
	Yf	0.02973	0.00931	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
-0.70	Xc	-0.20185	-0.27055	-0.36125	-0.48449	-0.50996	0.00000
	Yb	0.07563	0.05205	0.03456	0.02016	0.01910	0.00581
	Yf	0.01945	0.00378	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
-0.50	Xc	-0.06227	-0.09866	-0.18861	-0.35188	-0.40777	0.00000
	Yb	0.09756	0.07317	0.05093	0.02964	0.02444	0.00855
	Yf	0.01090	0.00111	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
-0.20	Xc	0.14709	0.15918	0.07036	-0.15297	-0.25447	0.00000
	Yb	0.11915	0.09236	0.06502	0.03794	0.02546	0.01094
	Yf	0.00213	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
0.00	Xc	0.28667	0.33108	0.24300	-0.02036	-0.15227	0.00000
	Yb	0.12388	0.09576	0.06764	0.03952	0.02453	0.01140
	Yf	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
0.20	Xc	0.36182	0.42404	0.35292	0.10156	-0.05008	0.00000
	Yb	0.12189	0.09365	0.06596	0.03837	0.02465	0.01104
	Yf	0.00049	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
0.40	Xc	0.43698	0.51701	0.46283	0.22347	0.05212	0.00000
	Yb	0.11574	0.08784	0.06109	0.03484	0.02220	0.00994
	Yf	0.00301	0.00025	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
0.60	Xc	0.51213	0.60997	0.57275	0.34539	0.15432	0.00000
	Yb	0.10486	0.07877	0.05249	0.02860	0.01813	0.00812
	Yf	0.00797	0.00145	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
0.90	Xc	0.62487	0.74942	0.73762	0.52826	0.30761	0.00000
	Yb	0.07624	0.05227	0.02861	0.01432	0.00896	0.00401
	Yf	0.02332	0.00833	0.00036	0.00000	0.00000	0.00000
1.00	Xc	0.66244	0.79590	0.79258	0.58922	0.35871	0.00000
	Yb	0.06006	0.03586	0.01560	0.00790	0.00509	0.00228
	Yf	0.03528	0.01671	0.00207	0.00000	0.00000	0.00000

Verilen pervane ofseti için kısaltmalar şu şekildedir;

D = Pervane Capi

P/D = Pervane Hatve-Cap Oranı

θ = Çalıklık Açısı(derece)

i_T = Eğiklik (geriye +)

a = r yarıcapında onder kenar ile doguray hattı
arasındaki uzaklık

b = r yarıcapında onder kenar ile maximum kalın_
lığın yeri arasındaki uzaklık

c = r yarıcapında kesit kort boyu

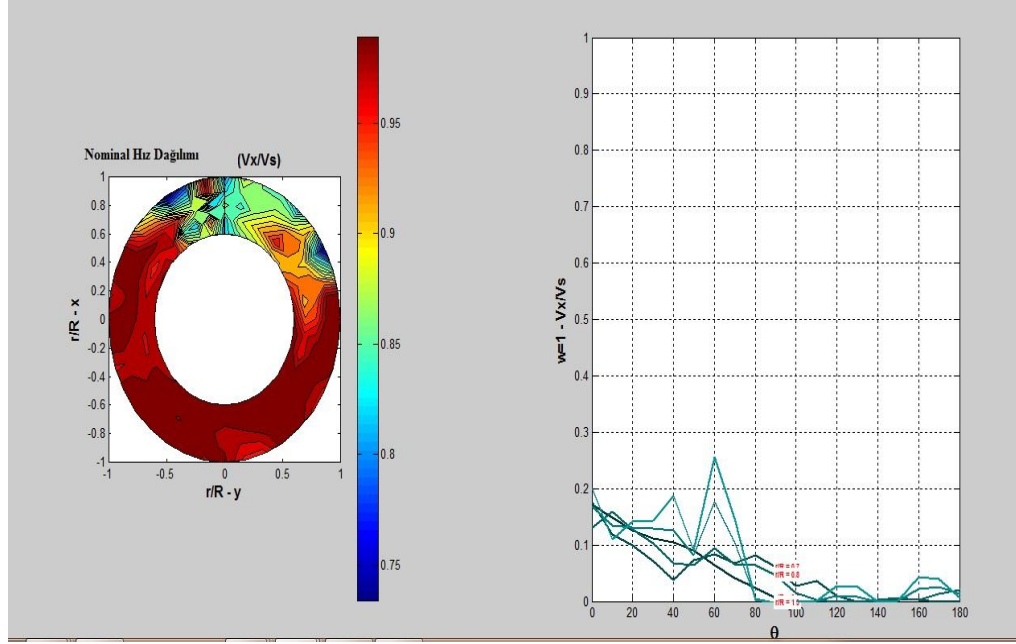
t_m = r yarıcapında kanat kesit maximum kalınlığı

x_c = kesit apsis değerleri (takip kenarından)

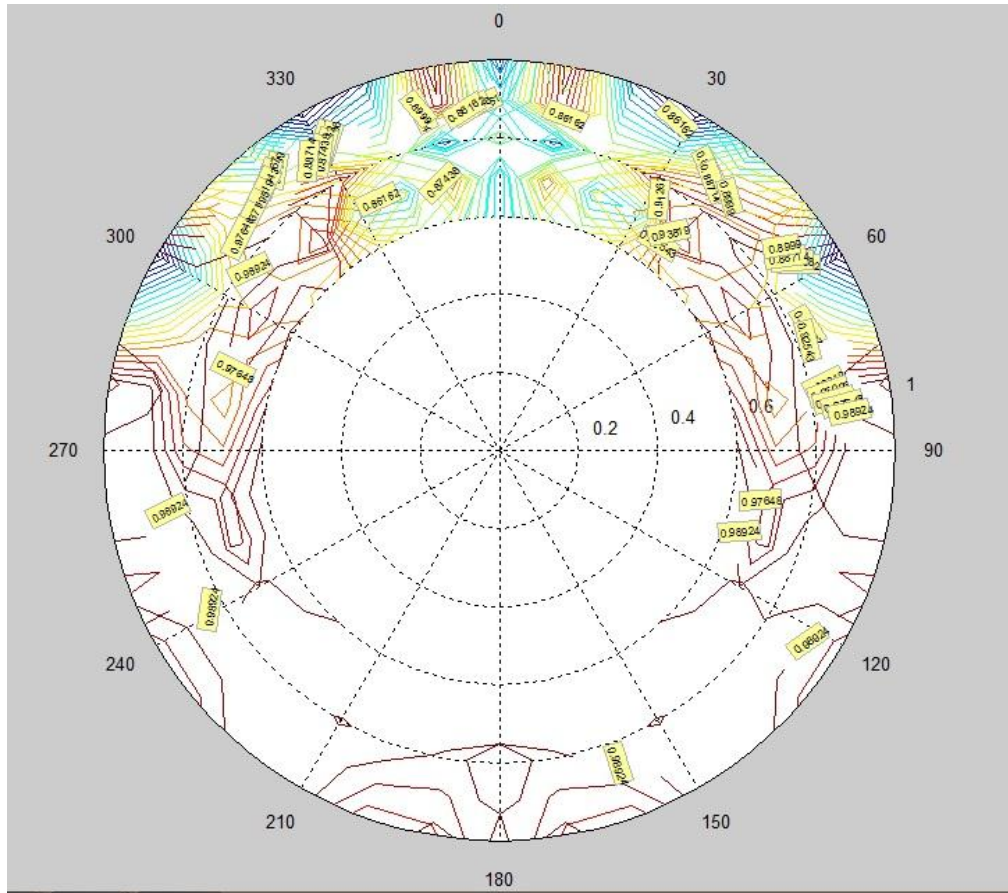
y_f = kesit yüz ordinatı (face/pressure side)

y_b = kesit sırt ordinatı (back/suction side)

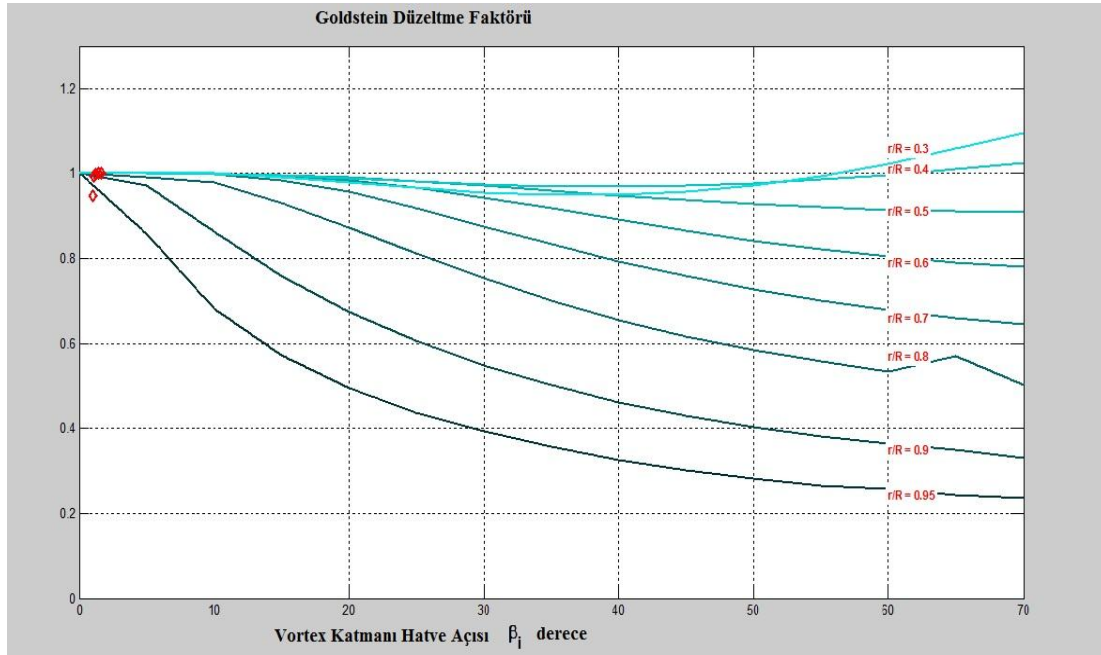
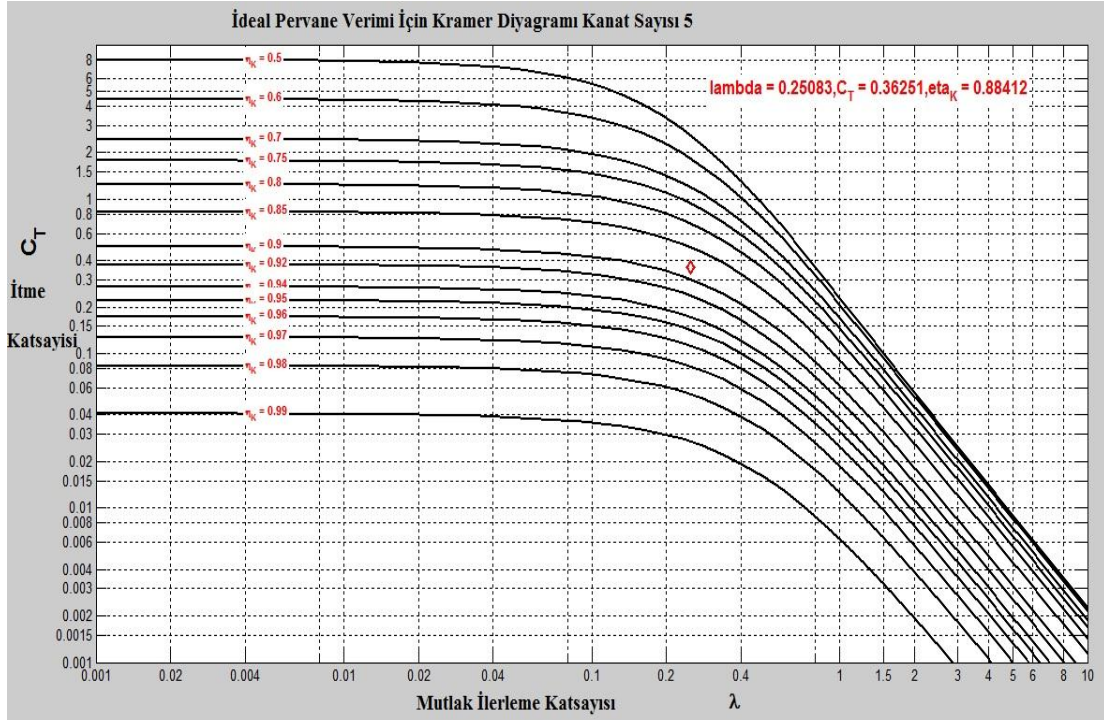
EK D : Matlab Kodlarıyla İze Uyumlu Dizayn Sonuç Grafikleri

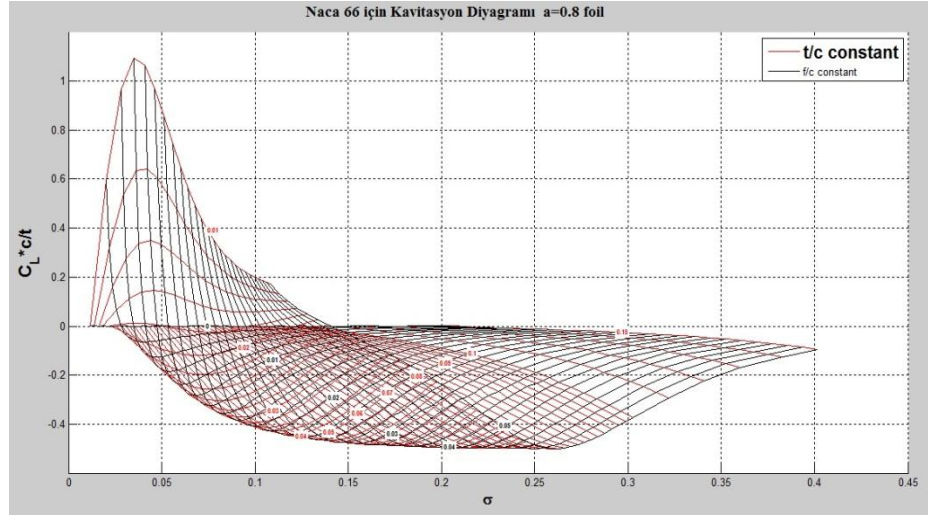


Şekil D 1: Nominal hız dağılımı.

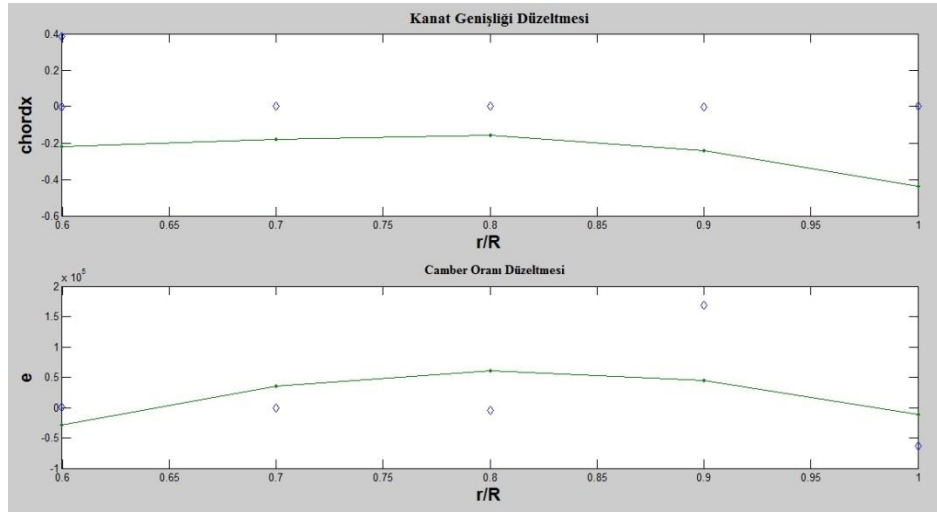


Şekil D 2: Iz dağılımı.

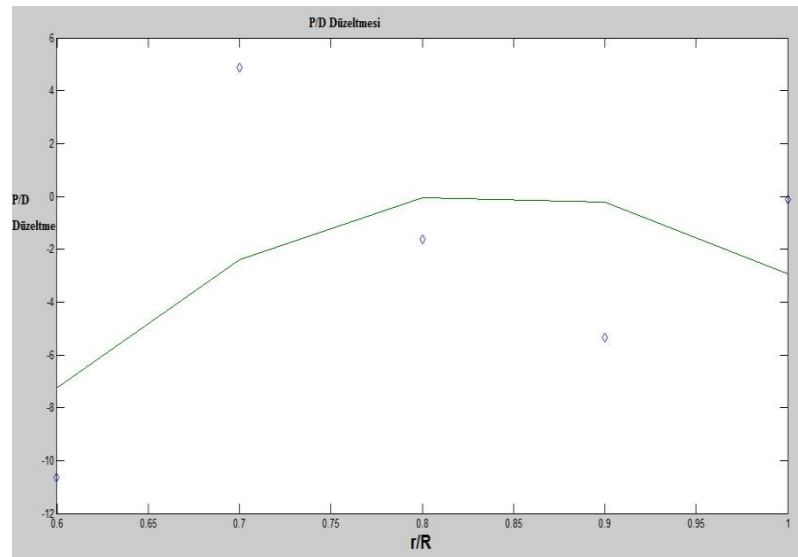




Şekil D 5:Naca 66 kavitasyon diyagramı.



Şekil D 6:Kanat genişliği düzeltmesi.



Şekil D 7:Hatve/Çap düzeltmesi.

EK E: Kaldırıcı hat teorisi Matlab kodu

```
% Lifting Line code in MATLAB

% Coded by L. sankar, December 1998

%

croot=input('Please input root chord ');

ctip=input('Please input tip chord ');

span=input('Please input span ');

thetaroot=input('Please input Root twist angle in degrees ');

thetatip=input('Please input tip twist angle in degrees ');

a0root=input('Please input root lift curve slope in units/ radian ');

a0tip=input('Please input lift curve slope at the tip, in units/radian ');

alpha=input('Please input angle of attack, in degrees ');

alpha0root=input('Please input zero-lift angle at the root ');

alpha0tip=input('Please input zero lift angle at the tip ');

thetaroot=thetaroot * atan(1.)/45.;

thetatip=thetatip * atan(1.)/45.;

alpha = alpha * atan(1.)/45.;

alpha0root=alpha0root * atan(1.)/45.;

alpha0tip=alpha0tip * atan(1.)/45.;

n = 10;

theta=zeros(1,n);

y=zeros(1,n);

c=zeros(1,n);

cl=zeros(1,n);

alp=zeros(1,n);

a=zeros(1,n);
```

```

rhs=zeros(n,1);

b=zeros(n,n);

a=zeros(n,1);

%

% Define properties at n span stations

%

pi = 4. * atan(1.);

for i=1:n

    theta(i) = (i) * pi/(2. * n);

    y(i) = span * 0.5 * cos(theta(i));

    c(i) = croot+(ctip-croot)*y(i)*2./span;

    alp(i)    =    alpha+thetaroot-(alpha0root+(alpha0tip-alpha0root+thetaroot-
thetatip)*y(i)*2./span);

    a(i) = a0root+(a0tip-a0root)*y(i)*2./span;

end

pi = 4. * atan(1.);

% Set up 2n x 2n system of equations for A1, A3 , ... A2n-1

for j=1:n

    mu = c(j)* a(j) / (4. * span)

    rhs(j,1)=alp(j)*sin(theta(j))*c(j)*a(j)/(4*span);

    for i=1:n

        l = 2 * i-1;

        b(j,i)=sin(l*theta(j))*(mu*l+sin(theta(j)));

    end

end

%
```

```

% Solve for the Fourier Coefficients

%

a=b\rhs

% Compute wing area and aspect ratio

S=(croot+ctip)/2.*span;

AR=span*span/S;

% Compute CL

CL=a(1)*pi*AR

% Compute CD

CD0=1.;

for i=2:n

CD0=CD0+(2.*i-1)*a(i)*a(i)/(a(1)*a(1));

end

CD = pi * AR * a(1) * a(1) * CD0

% Compute spanwise load distribution, normalized by Freestream velocity
times Span

gamma=zeros(1,n);

for i=1:n

gamma(i)=0.0;

y(i)=y(i)*2./span;

for j=1:n

gamma(i)=gamma(i)+2.*a(j)*sin((2*j-1)*theta(i));

end

gamma(i) = gamma(i) * span;

cl(i) = gamma(i)/(0.5*c(i));

end

```

```
cl
%
% Plot the circulation distribution from root to tip with labels
%
plot(y,cl);
xlabel('y/Semi-Span');
ylabel('Cl');
title('Sectional Lift Coefficient distribution');
```


ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad : Ahmet Gültekin AVCI
Doğum Yeri ve Tarihi : DEMİRCİ-MANİSA 09.04.1985
Lisans Üniversite : İstanbul Teknik Üniversitesi
Adres : İstanbul Teknik Üniversitesi Gemi İnşaatı ve Deniz
Bilimleri Fakültesi, İTÜ Ayazağa Yerleşkesi, 34469
Maslak / İSTANBUL

Yayın Listesi:

- AVCI A.G., "Gemi Onarım Tekniklerine Genel Bakış", Gemi ve Deniz Teknolojisi Dergisi, sf. 22-30, Nisan 2009.