

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GEMİ PERVANELERİNİN DİZAYNI İÇİN RASYONEL BİR YAKLAŞIM

Gemi İnş. ve Mak. Müh. Fahri ÇELİK

**F.B.E. Gemi İnşaatı Mühendisliği Anabilim Dalında
hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Mesut GÜNER

 İST

Doç. Dr. Mesut GÜNER
(Tez Danışmanı)

İSTANBUL, 1997

1997 
Prof. Dr. Nihat TEKİN
(İyge)

Prof. Dr. Altın YILDIZ
(Üye)

67723

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	V
ÖZET	VI
YABANCI DİLDE ÖZET	VII
SEMBOL LİSTESİ	VIII
1. GİRİŞ	1
2.1. SEVK SİSTEMLERİNİN TARİHÇESİ	2
2.2. GEMİ SEVK MEKANİZMALARI	
2.2.1. Su Jeti Suretiyle Sevk	5
2.2.2. Hareketli Parçaların Direncinden İstifade Suretiyle Sevk	6
2.2.3. Hareket Eden Parçaları Üzerinde Oluşan Kaldırma Kuvvetinin Sağladığı İtme ile Gemileri Sevk Eden Sistemler	9
3. DAHA ÖNCE YAPILMIŞ ÇALIŞMALAR	
3.1. Kaldırıcı Hat (Lifting Line) Teorisi	12
3.2. Kaldırıcı Yüzey (Lifting Surface) Teorisi	14
4. GEMİ ARKASINDAKİ İZ	16
5. PERVANE TEORİLERİ	
5.1. Momentum Teorisi	20
5.2. Kanat Elemanı Teorisi	22
5.3. Sirkülasyon Teorisi	24
5.4.1. Sirkülasyon Teorisinin Uskur Pervanelerine Uygulanması	30

6. PERVANE DİZAYN METODLARI	
6.1. Kaldırıcı Hat (Lifting Line) Dizayn Metodu	
6.1.1. Dizayn Parametreleri	35
6.1.2. Matematiksel Modelleme	
6.1.2.1. Girdap Hattı ve Tabakası	36
6.1.2.2. Pervane Tarafından İndüklenmiş Hızların Hesabı	40
6.1.2.3. Kutta Şartı	45
6.1.2.4. Lerbs'in Lifting Line Analiz ve Dizayn Metodu	46
6.2. Kaldırıcı Yüzey (Lifting Surface) Dizayn Metodu	54
7. DİZAYN UYGULAMASI	56
8. SONUÇLAR	74
KAYNAKLAR	76
EKLER	79
ÖZGEÇMİŞ	

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım sırasında bana her türlü yardımı esirgemeyen Öğretim Üyelerine ve Araştırma Görevlisi arkadaşlarıma, bilhassa benimle beraber titizlikle çalışan değerli hocam Doç. Dr. Mesut GÜNER'e en içten dileklerimle teşekkürü bir borç bilirim.

ÖZET

Bu çalışmada, sevk mekanizması olarak halen en yaygın biçimde kullanılan uskur pervanelerinin dizaynı için kaldırıcı hat (lifting line) ve kaldırıcı yüzey (lifting surface) dizayn metodları anlatılacak, bu metodları kullanarak çeşitli pervanelerin dizaynı yapılacak ve sonuçlar karşılaştırılacaktır. Ayrıca, pervane teorilerinin gelişimi, özellikle lifting line ve lifting surface teorilerine zemin hazırlayan ve temelini teşkil eden kanat elemanı teorisi, momentum teorisi ve sirkülasyon teorileri açıklanıp uskur pervanelerindeki uygulamaları belirtilecektir.

Klasik pervane dizayn yöntemleri olan açık su diyagramları veya diğer bir deyişle sistematik seriler ile dizayn edilen pervanelerde bazı noktalar ihmal edilmektedir, örneğin gemi arkasındaki çalışma şartları, yani iz dağılımı, dikkate alınmaksızın dizayn yapılmaktadır. Bu durum ise pervane arkasında girdapların oluşmasına, kanatlar üzerinde süreksiz yük dağılımlarına ve direnç/kaldırma oranının artmasına neden olmaktadır. Dolayısıyla, makinadan çekilen gücün bir kısmının pervane arkasındaki bu girdaplara harcanmasına, kanat üzerindeki yük dağılımı ise optimum olmadığından itme azalmasına ve verimin düşmesine sebep olmaktadır.

Bu çalışmada pervane kanadı yeterince ince ve dar düşünülerek, bir girdap hattı ile temsil edilip (kaldırıcı hat-lifting line), matematiksel bir metod geliştirilerek pervane üzerindeki kuvvetler, piç dağılımları ve radyal sirkülasyon dağılımları elde edilmektedir.

Lifting line aşamasında elde edilen değerleri kullanmak sureti ile lifting surface metoduna geçilebilmekte ve bu metotta pervane kanadının bütünü girdaplarla ifade edilmektedir. Bu metod ile uygun kanat geometrisi elde edilip, pervanenin hidrodinamik performansı bulunmaktadır.

Sonuç olarak, bu tez ile birlikte oluşturulan dizayn metodu ve buna bağlı olarak geliştirilen bilgisayar programları ile daha gerçekçi bir pervane geometrisi bulunmaktadır.

ABSTRACT

The most common form of marine propulsion device is still screw propellers. They are designed using lifting line method and lifting surface method which will be explained in this thesis. According to these methods a few numerical examples will be carried out for propeller design and results obtained from the use of these methods will be compared each other. In addition to this, the development of some theories such as momentum theory, blade element theory and circulation theories will be explained with regard to propeller design.

Some assumptions are made in open water experimental systematic series such as radial wake distribution. This produces some vortices behind the propeller and non-uniform load distribution on the propeller blades and this results in high drag/lift ratio. Therefore the propulsion efficiency is decreased by reduction in thrust.

In this work, lifting line of propeller, where the propeller blades are considered to be sufficiently thin and narrow and substituted by a single vortex line, is used to determine propeller force and radial distribution of bound circulation and pitch.

Using the results from lifting line theory, a lifting surface analysis can be achieved where the blades are modelled as sheet singularities. Lifting surface representation of propeller can then be used to analyse the performance of the blade geometry.

Finally the procedure and software developed in this thesis could provide the designer more sound propeller geometry.

SEMBOLLER

B_p	Pervane güç katsayısı
BAR	Kanat alan oranı
c	Kort uzunluğu
C_D	Direnç katsayısı
C_L	Kaldırma kuvveti katsayısı
D	Direnç kuvveti
D	Pervane çapı
F	Teğetsel kuvvet
G	Boyutsuz sirkülasyon
I_{ai}	İçerdeki noktalarda eksenel indüksiyon faktörü (Denklem 6.30)
I_{ae}	Dışardaki noktalarda eksenel indüksiyon faktörü (Denklem 6.30)
I_{ae}	Dışardaki noktalarda teğetsel indüksiyon faktörü (Denklem 6.31)
I_{ti}	İçerdeki noktalarda teğetsel indüksiyon faktörü (Denklem 6.31)
J	İlerleme katsayısı
K_T	İtme katsayısı
K_Q	Tork katsayısı
L	Kaldırma kuvveti
N	Pervane devir sayısı
P	Basınç
P	Piç
p_b	Kanat sırtındaki basınç
p_f	Kanat yüzündeki basınç
P_D	Serbest beygir gücü (DHP)
r_h	Pervane göbek yarıçapı
s	Eğrisel koordinat
T	İtme
u_{ai}	İçerdeki noktalarda eksenel indüklenmiş hız (Denklem 6.13)
u_{ae}	Dışardaki noktalarda eksenel indüklenmiş hız (Denklem 6.14)

u_{te}	Dışardaki noktalarda teğetsel indüklenmiş hız (Denklem 6.22)
u_{ti}	İçerdeki noktalarda teğetsel indüklenmiş hız (Denklem 6.21)
V_A	Pervane üzerine gelen su hızı
V_s	Gemi ilerleme hızı
V_R	Pervaneye gelen bileşke hız
V_∞	Pervane etkilerinden yeterince uzaktaki su hızı
v'	Girdap hızı
x	Boyutsuz radyal koordinat (r/R)
w	İz katsayısı
w	Pervane açısal hızı
w_F	Froude iz katsayısı
w_F	Sürtünme iz katsayısı
w_P	Potansiyel iz katsayısı
w_w	Dalga iz katsayısı
Z	Pervane kanat sayısı
Γ	Bağlı sirkülasyon
Γ_F	Serbest sirkülasyon
η	Verim
η_{pi}	İdeal verim
α	Hücum açısı
β	İlerleme açısı
β_i	Hidrodinamik piç açısı
ρ	Akışkanın kütleli yoğunluğu
η'	Pervane kanat elemanına ait verim
η'_{pi}	Pervane kanat elemanına ait ideal verim
ϕ	Açısal koordinat
$\gamma(s)$	Birim uzunluktaki sirkülasyon şiddeti

İndisler:

i	İdeal
i	Kesit numarası
a, t, r	Eksenel, teğetsel ve radyal bileşenler
x, y, z	Kartezyen koordinatlar
r, θ , x	Silindiriksel koordinatlar



BÖLÜM 1

GİRİŞ

Pervane dizaynında geleneksel olarak başvuru en yaygın yöntem, açık su diyagramları veya diğer bir deyişle pervane serileridir. Ancak bu seriler bir geminin temel karakteristiklerini (gemi arkasındaki iz dağılımı vs.) dikkate alarak pervane dizayn etmekten uzaktırlar.

Bunun içindir ki, son elli yıldır pervane dizaynında teoriye dayalı analitik prosedürler hazırlanmaya başlanmıştır. Bu prosedürler ekseriyetle bilgisayar destekli olarak kurulmuştur ve pervane kanatlarının ilk aşamada basit olarak girdap hatları ile temsilinden (lifting line metod), daha karmaşık olan kaldırıcı yüzey (lifting surface) metoda kadar gelişmiştir.

Bu prosedürlerin tarihi gelişiminde bir pervanenin hidrodinamik dizaynı iki kademe sağlanır: İlk adım olarak lifting line model gerekli itmeyi ve maksimum verimi sağlayacak şekilde kanatlar üzerindeki radyal bir sirkülasyon dağılımı tayin edecek en iyi çalışma şartlarını ve temel pervane geometrisini tayin etmekte kullanılır. İkinci adımda ise, lifting surface analiz prosedürü kullanılarak pervanenin hidrodinamik performansının incelenmesidir.

Pervane lifting line modeli, pervane kuvvetlerinin tahmininde ve radyal bağlı sirkülasyon dağılımının belirlenmesinde kullanılır ve kanatların kafi derecede ince ve dar olduğu kabul edilir.

Lifting line teori tek başına gerçek kanat geometri etkilerini tam olarak temsil edemeyeceği için genellikle lifting surface modeller kullanılır. Lifting surface teoride kanatlar kort üzerine yayılmış kaynak-kuyu dağılımları veya girdap dağılımları ile temsil edilirler. Bu şekilde kanat kalınlık etkileri de hesaba katılmış olur ve mevcut pervanelerin performans analizine de imkan verir

BÖLÜM 2

2.1. SEVK SİSTEMLERİNİN TARİHÇESİ

Genel olarak gemiler sevk şekillerine göre iki gruba ayrılırlar:

a) Kendi kendini sevk edebilen gemiler: Bu tip gemilerde doğal enerji veya makina yardımı ile sevk sağlanır.

b) Kendi kendini sevk edemeyen gemiler: Sevkleri için gerekli gücü kendi imkanları ile sağlayamayan gemilerdir. Örneğin mavnalar, yüzer havuzlar bu tip gemi sınıfına girerler.

Su üzerinde taşıma ve gemilerin kürek, yelken gibi sistemlerle sevk edilmesi insanlık tarihi kadar eskidir. Mekanik sevk sistemlerinin kullanılmaya başlaması ise göreceli olarak yenidir. Mekanik sevk sistemleri içerisinde en eski uygulamanın padıl çark mekanizmaları olduğu söylenebilir. 1543 yılında V. Charles'in emriyle Blasca de Garay tarafından buhar makinası ile donatılmış bir gemiye dönen çarklar monte edilerek sevki sağlanmıştır. Barselona'da yapılan bu ilk padıl çark denemesi başarısızlık ile sonuçlanmıştır. Bu başarısızlıklar ancak 250 yıl sonra "Charlotte Dundas" gemisine bir buhar sistemi uygulanması ile yapılabilmektedir. 1807 yılında Robert Fulton'un, New York yakınında Hudson nehrinde yolcu taşımak amacı ile "Clermont" gemisi uygulaması vardır. İlk defa 1819 yılında "SAVANNAH" isimli padıl çark mekanizmalı bir gemi Atlantik'i aşma başarısını göstermiştir. Sonraları da birçok kişi bunu denemişler ve başarılı olmuşlardır.

Buhar makinaları ile birlikte uygulanan padıl çark mekanizmaları, uskur pervanesinin üstünlüğünün başladığı 1850 yılına kadar çok yaygın olarak kullanılmışlardır. Padıl çark mekanizmaları diğer sevk mekanizmaları ile

karşılaştırıldığında daha yüksek verimli olmalarına karşın bazı dezavantajları olduğu görülmektedir. Bunların başlıcaları:

- a) Padıl çarklar geminin değişik yükleme şartlarında değişik çalışma derinliğine sahip olmakta, bu da sevk sisteminin yüklenme durumunun değişmesine sebep olmaktadır.
- b) Her iki taraftaki çarkların, geminin denizdeki yalpa hareketi nedeniyle değişik oranlarda su içerisinde kalmaları, değişik oranlarda itme sağlamaları nedeniyle düz bir rota tutma güclüğü ortaya çıkmaktadır.
- c) Kötü hava koşullarında hasara uğrama riski fazladır.
- d) Çarkların düşük devirlerde döndürülmesi zorunluluğu, çok ağır makina ve dişli sistemlerini gerekli kılmaktadır. Ağırlık yönünden dezavantajlıdır.
- e) Çarkların montesi ile geminin genişliği çok arttırılmış olmaktadır.
- f) Çark sisteminin ve ağır makina aksamının geminin genel yerleştirmesi ve bölmelenmesinde, hacimsel tasarımda sakıncalar ortaya çıkaracağı açıktır.

Padıl çark mekanizmaları yüksek manevra yetenekleri sağlamaları ve sığ sulardaki kullanım avantajları nedeniyle, özellikle iç sularda draftları fazla değişken olmayan romorkör, nehir gemisi vs. gibi gemi tiplerinde yaygın olarak kullanılmaya devam edilmiştir.

1661 yılında, İngiltere'de Toogood ve Hayes, Arşimet'in sevk sistemine benzer bir gemi sevk sistemi için patent almışlardır. Bu sevk sistemi gemi ortasında bir kanal, baş tarafta, kanal girişinde suyu içeriye basan bir tulumba ile kıçta, kanal çıkışında suyu dışarıya basan bir tulumba sisteminden oluşuyordu. Bu şekilde bir itme kuvveti temin edilerek gemi sevk edilmiş oluyordu.

Uskur pervanenin ilk pratik uygulamasını yapan 1802-1804 yıllarında 7.5 metre boyunda bir tekneye önce tek, sonra çift pervane monte edilerek bir seri

deneyler yapmış olan Amerikalı müşavir avukat Colonel Stevens olmuştur. Ancak o günlerde Amerika’da bu konuya ilgi duyulmamış ve sistem kabul görmemiştir.

Uskur pervane ile teçhiz edilmiş “Great Britan” isimli İngiliz buharlı gemisi 1845 yılında Atlantiği aşmıştır. Padıl çark ile sevk sistemine sahip son buharlı açıkdeniz gemisi ise 1861 yılında kızağa konmuş, bundan sonra tamamen sevk sistemi olarak uskur pervane tercih edilmiştir.

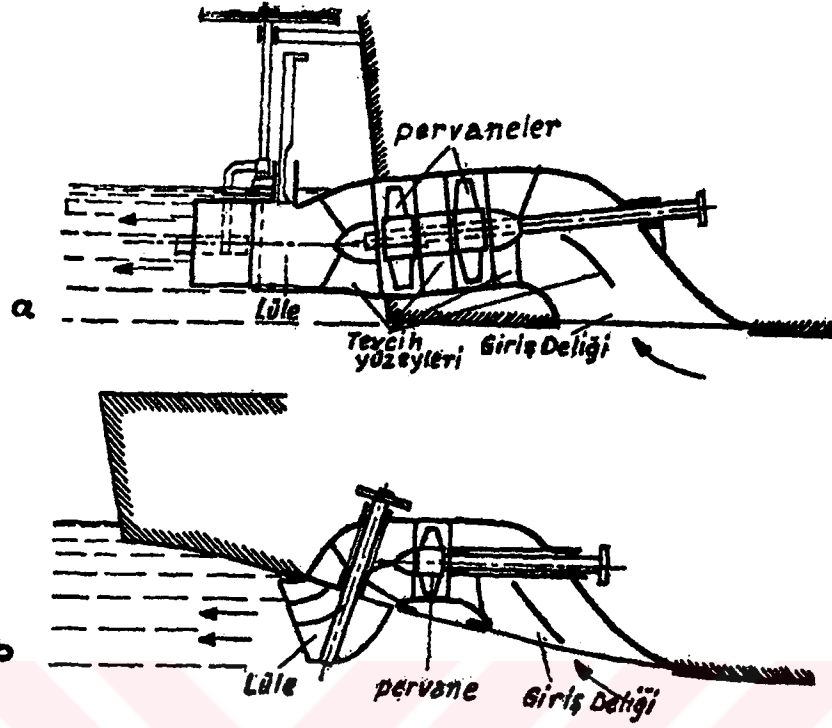
Yüzelli yıldan beri uskur pervane gemilerin sevkinde en uygun sevk cihazı olarak konumunu korumaktadır. Geçen uzun sürede pervane dizaynında sevk sisteminde birçok gelişmelerin olmasına rağmen temel uskur pervane yapısında büyük bir değişiklik olmamıştır. Yüksek verim ve kullanım şartlarına uygunluğu nedeniyle uskur pervane daha uzun süreler kullanılmaya devam edecek gibi görünmektedir, (Baykal ve Güner, 1996).

2.2. GEMİ SEVK MEKANİZMALARI

2.2.1. Su Jeti Suretiyle Sevk

Bu sistem, diğer sevk sistemlerinin de prensiplerini teşkil eden momentum kanunundan istifade suretiyle gemiye itme kuvveti sağlar. Jet sevk sisteminde tekne gövdesi dışında herhangi bir dönen mekanizma bulunmaz. Genellikle bu sevk sisteminde gemide bulunan bir tulumba aracılığı ile teknenin baş tarafındaki veya dibindeki ağızdan su emilerek geminin kıçındaki su hattının altındaki veya üzerindeki nozuldan tazyikle dışarı atılır. Dolayısıyla, sudaki momentum değişimi sevk kuvvetini doğurur. Momentum prensibine dayanan başka sevk sistemleri de aynı şekilde itme temin ederler. Genellikle jet sevk sistemlerinde kayıplar fazla olduğu için uskur pervanelerinden verimleri düşüktür, (Sabuncu, 1983).

Jet sistemleri arasında "hyromotor" eski ve en basit bir sevk mekanizmasıdır. Düşey bir silindir kısmen deniz suyu ile dolduğu sırada buhar sevk edilir. Genişleyen buhardan dolayı su nozullardan jet şeklinde atılır. İş yapmış olan buhar bir kondenserde yoğunlaştırılır. Daha sonra silindirde basınç düşmüş olduğundan deniz suyu tekrar silindire dolar. Bu işlemin sürekli olarak devamıyla sevk için gerekli olan itme temin edilmiş olur. Daha gelişmiş başka bir sistemde ise bir tünel içine yerleştirilmiş impeller aracılığı ile su emilerek kıçta nozuldan dışarıya fırlatılır. Şekil 2.1'de bu tipe iki ayrı örnek verilmiştir. Aynı şeklin (a) kısmında su teknenin altından bir çift impeller vasıtasıyla emilmekte ve bir lüleden kıçta doğru fırlatılmaktadır. (b)'de ise bir adet impeller vasıtasıyla emilen su yine tevcih yüzeyleri vasıtasıyla lüleden dışarı fışkırtılmaktadır.



Şekil 2.1. Jet Sevk Sistemleri

Jet sevk sisteminin tek avantajı, teknenin dışında hareketli veya dönen bir sevk mekanizmasının bulunmamasıdır. Bunun için, sığ, sazlık veya bataklık sularda kısmen küçük teknelerin sevkı emniyetle temin edilmiş olur.

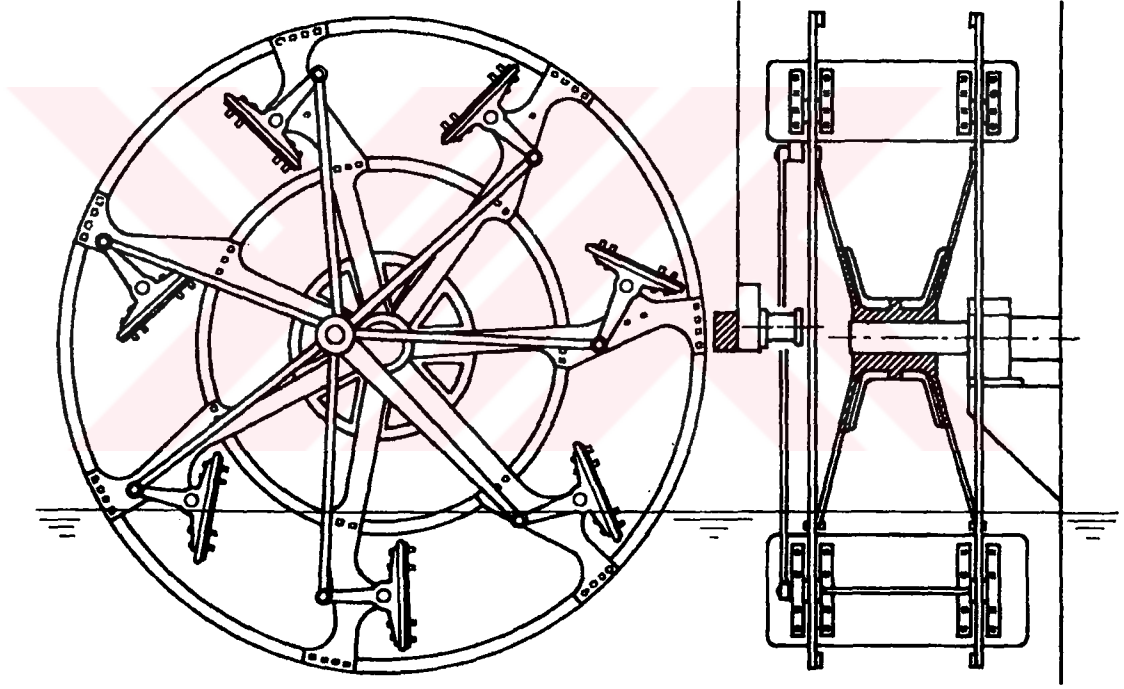
2.2.2. Hareketli Parçaların Direncinden İstifade Suretiyle Sevk

Bu sistem içinde en önemli sevk mekanizması padıl çarklarıdır. Bu çarklar, gemi orta eksenine dik şekilde, yüklü su hattının üzerinde tertiplenmiş yatay bir şaftın uçlarında geminin sancak ve iskelesinde olmak üzere yerleştirilirler.

Dar ve engebeli nehirlerde çalışan teknelerde padıllar geminin kıçında da tertiplenebilirler. Pratikte padıl çarkları iki tip olarak tertip edilirler; sabit ve hareketli kanatlı çarklar. Sabit kanatlı çarklar, konstrüksiyonlarının basitliği,

sağlamlığı, hafifliği, bakım-tutum masrafının az oluşu bakımından faydalar sağlamakla beraber iyi bir verim elde etmek için çark çapının son derece büyük seçilmiş olması gerekmektedir. Bu ise çarkı çevirmekte kullanılacak makinanın da güçlü olmasını gerektirir.

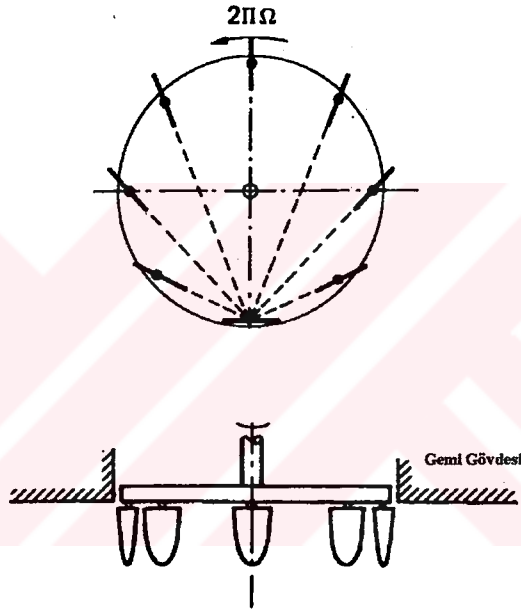
İkinci tip, hareketli kanatlara sahip padıl çarklardır (Şekil 2.2). Bu tip çarklarda giriş ve çıkış kayıpları daha küçük sınırlardadır. Ve devir sayısı daha fazla arttırılabilir. Bu sistemin dezavantajı da, ağır oluşu, kolayca hasara uğrayabilmesi ve hareketli parçaların çabuk aşınmasıdır. Sabit kanatlı parçalarda model tecrübeleriyle %50 - 60 sevk verimi elde edilmiştir, (Sabuncu,1983).



Şekil 2.2. Hareketli Kanatlı Padıl Çark

Kristen-Boeing pervaneleri: Bu pervaneler düşey eksen etrafında dönebilen kanatlara sahiptir. Hareketiyle sudan görmüş olduğu direnç karşılığı

itme kuvveti meydana getiren bir sevk mekanizmasıdır. Şekil 2.3'de görüldüğü gibi Kristen-Boeing pervaneleri dikey bir eksen etrafında dönen bir diskin etrafına konmuş bir takım simetrik kesitli kanatlardan ibaret olup kanatlar dişliler vasıtasıyla o şekilde bağlı hareket yaparlar ki disk çevresi üzerinde tam bir devir yapan kanat kendi eksenini etrafında ancak yarım devir döner. Bu tip pervanelerin gemiye takılabilmeleri için geminin dibinin düz olması gerekir.



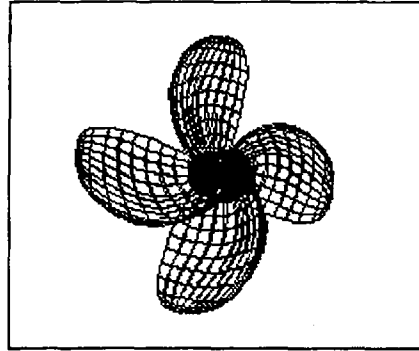
Şekil 2.3. Kristen-Boeing Pervaneleri

2.2.3. Hareket Eden Parçaları Üzerinde Oluşan Kaldırma Kuvvetinin Sağladığı İtme ile Gemileri Sevk Eden Sistemler

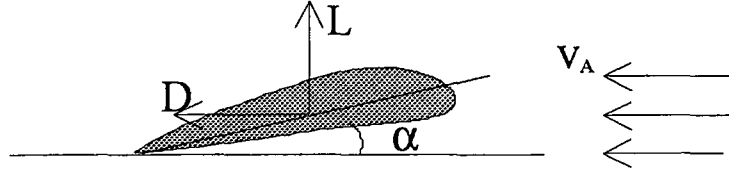
Hareket eden parçalar üzerinde oluşan kaldırma kuvvetinin sağladığı itme ile gemileri sevk eden sistemlere en güzel örnek uskur pervane ve düşey yerleştirilmiş kanatlardan oluşan Voith Scheider.

Uskur pervaneler bosalarından veya göbeklerinden çıkan 2 veya daha fazla kanada sahip, bir şaft yardımıyla döndürülen, kanatlar etrafında oluşan basınç dağılımı ve bunun sonucunda oluşan kaldırma kuvveti vasıtasıyla gemiyi sevk eden mekanizmalardır. Kanatlar göbek üzerinde sabit, hareketli veya göbekten ayrılabilir şekilde olabilir. Tipik bir uskur pervanesi resmi Şekil 2.4'de görülmektedir.

Bir akım içerisinde yerleştirilen bir kanat kesidi üzerinde akıma dik yönde bir kaldırma kuvveti (L) ile akım yönünde bir direnç kuvveti (D) oluşur. Şekil 2.5 de görüldüğü gibi kanat kesidi üzerinde oluşan (L) kaldırma kuvveti tüm kanat üzerinde (kökten uca kadar) entegre edilirse bu kanat üzerinde oluşan toplam kaldırma kuvveti bulunur.



Şekil 2.4. 4 Kanatlı Pervanenin Görünüşü

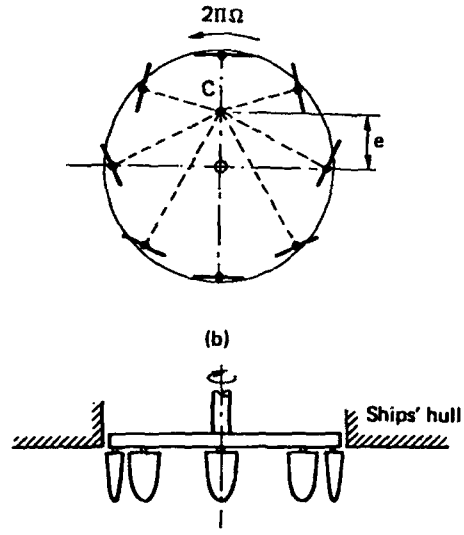


Şekil 2.5. Akım İçindeki Kanat Kesidi

Bu kuvvet kanat sayısı ile çarpıldığında ise tüm kanatlardan sağlanan, ya da pervanenin sağladığı toplam kaldırma kuvveti, toplam itme bulunur. Gemide birden çok pervane varsa her bir pervaneden sağlanan itmeler toplanarak geminin sevk için sağlanacak toplam itme bulunmuş olur.

Uskur pervane üzerindeki kaldırma kuvvetleri geminin sevk için kullanılırken, kanatlar üzerindeki direnç kuvvetlerinin geminin sevkine bir katkıları yoktur. Ancak bu direnci yenecek torkun tahrik sistemince sağlanması gerekir. Başka bir deyişle bu tork makina gücüyle karşılanacaktır.

Şekil 2.6'da yatay bir diskin üzerine yerleştirilen düşey hareketli kanatlarla, kanatlar üzerinde kaldırma kuvveti yardımıyla sevk sağlayan Voith-Scheider sistemi görülmektedir. Kanatlar hidrofoil kesitli olup, bağlı oldukları diskin her bir devri sırasında kendi etrafında bir devir yaparlar. Bu pervanelerin verimleri klasik uskur pervanelerinden daha düşüktür, ancak çok yüksek manevra kabiliyeti kazandırmaları, dümene ihtiyaç göstermemeleri, ana makina dönüş yönünü değiştirmeden tüm manevraları yapabilmeleri nedeniyle özellikle romorkör, mayın gemileri gibi uygulamaları ile kalabalık trafiği olan sularda çalışan gemilerde yaygın olarak kullanılmaktadır.



Şekil 2.6. Voith-Schneider Pervanesinin Çalışma Prensibi

BÖLÜM 3

DAHA ÖNCE YAPILMIŞ ÇALIŞMALAR

3.1. Kaldırıcı Hat (Lifting Line) Teorisi:

Pervane hareketinin teorik gelişimi ilk önce Rankine (1865) tarafından ortaya konulan momentum teorisi ve daha sonra R.E. Froude (1889) tarafından ortaya konulan kanat elemanı teorileri ile başlamıştır. Momentum teorisinin en önemli sonucu, pervane üzerindeki indüklenmiş hızın sonsuzdaki hızın yarısı olduğunu göstermesidir. Ancak kanat üzerinde oluşan kuvvetleri hesaplayamayışı teorisinin dezavantajıdır. Kanat elemanı teorisi ise, kanat elemanlarının kendi aralarında bağımsız olarak hareket ettikleri ve pervaneye gelen akımın kanat elemanına kort yönünde geldiği düşüncesine dayanır. Bu iki teori pervane teorilerinin gelişiminde temel teşkil etmelerine rağmen kanat sayısı etkilerinin hesaba katılmasında ve uygun kaldırma kuvvetinin seçiminde yetersiz kalmışlardır.

İlk kez Prandtl (1927) sonlu kanat elemanının uçlarından oluşan serbest girdap tabakasının kanat üzerindeki hız değişimlerine etkisini gösterdi. Bu hız değişimleri de (indüklenmiş hızlar) kanat kesitlerine gelen akımın açısını değiştiriyordu. Prandtl daha sonra da kanat üzerindeki sirkülasyon dağılımının radyal olarak eliptik olması durumunda minimum enerji kaybı şartının sağlanacağını gösterdi.

Girdap teorisinin pervane dizayn ve analiz problemine uygulanabilmesi için bazı kabullerin yapılması gerekti: Birincisi, kanat kalınlığı sonsuz ince olarak kabul edildi ve sirkülasyon dağılımı kanat orta kesiti boyunca dağıtıldı. Kanatların başlangıçta bu şekilde sirkülasyon dağılımı ile temsil edilmesi ilerki yıllarda kaldırıcı yüzey (lifting surface) teorisine kadar olan gelişmelere temel

teşkil etti. Modelin nümerik çözüm tekniklerine kolaylık sağlaması için kanatlar sonsuz ince kabul edildi ve bir kaldırıcı hat (lifting line) ile temsil edildi. İkincisi de, kanat hareketinden meydana gelen pervane arkasındaki iz helisel bir girdap hareketi ile temsil edildi.

Burrill (1943-44) tarafından kabullerin de etkisinin hesaplandığı pervanelerin performans analizini sağlayan bir metod geliştirildi. Bu metod, girdap teorisi ile momentum ve kanat elemanı teorilerinin beraber kombinasyonlarına dayanıyordu. Burada kayan akım daralmaları ve pervane arkasındaki hız artışı hesaba yaklaşık bir usulle dahil edilmiştir. Kanatların indüklenmiş hıza etkileri ise Goldstein düzeltme faktörü ile katılmıştır.

Lifting line teorisine dayalı dizayn metodları yaklaşık metodlar ve kesin veya indüksiyon faktörünü kullanan metodlar olmak üzere ikiye ayrılırlar. Yaklaşık metod Eckhart ve Morgan (1955) tarafından kullanılmıştır. Bu metodda normal şartlar kullanılır ve eksenel ve teğetsel indüklenmiş hızlar, basit trigonometri bağıntıları ile Goldstein düzeltme faktörlerini de içine alacak şekilde ifade edilirler. Bu metodda indüklenmiş hızın radyal bileşeni ihmal edilmiştir.

İndüksiyon faktörünün kullanıldığı metodlar daha gerçekçi ve doğru sonuçlar verir. Bunun sebebi de, pervane arkasındaki izin daha gerçeğe yakın bir şekilde temsil edilmesidir.

Lerbs (1952) eksenel ve teğetsel indüksiyon faktörlerini tayin eden analitik bir metod geliştirdi. İndüksiyon faktörü kavramına dayalı başka bir metod Strscheletzky tarafından geliştirildi. Bu metodda indüksiyon faktörleri Lerbs'in metodunun tersine Biot-Savart kanunu kullanılarak hesap edildi. Bu metodda hesaplanan indüksiyon faktörleri ile indüklenmiş hızın eksenel, teğetsel ve radyal yöndeki bileşenleri hesap edilebilir. Bu şekilde indüklenmiş hızların hesabıyla kayan akım deformasyonunun tayinine imkan verir.

Glover (1973) indüklenmiş hızların hesabı için Burrill (1955-56)'in minimum enerji kaybı şartını sağlayacak indüksiyon faktörünü kullanarak çok yüklü pervaneler için yeni bir lifting line teorisi ortaya koydu. Bu metodda kayan akım deformasyonu hesaplara dahil edilmiştir.

Daha sonra Anderson (1976) lifting line teorisini bir süper kavitasyon pervanesinin karakteristiklerinin hesabında kullanmıştır.

Güner (1994) de mevcut lifting line metodu, pervane gerisindeki akım deformasyonunu dikkate alarak geliştirmiştir.

3.2. Kaldırıcı Yüzey (Lifting Surface) Teorisi:

Sürekli ve süreksiz akıma maruz pervanelerde lifting surface teorisinin kullanım alanı oldukça geniştir. Pervane dizaynı, sürekli akıma maruz pervanelerin performans karakteristiklerinin önceden tespiti ve süreksiz akıma maruz pervanelerin üzerinde oluşan kuvvetlerin tespitinde oldukça geniş teoriler içerir.

Lifting line teorisi ile sürekli akıma maruz pervanelerin performans karakteristiklerinin önceden tesbiti için kullanılan metodlar ilk önce, bilgisayarın da devreye girmesi ile Kerwin (1959) tarafından temel bir lifting line prosedürünün geliştirilmesi ile uygulanmaya başlamıştır. Bu metodda lifting line teoriden elde edilen efektif hücum açısı, yarı-ampirik bir lifting surface düzeltmesi ile değiştirilerek iki boyutlu kesit karakteristiklerinden tahmin edilen kesite ait kaldırma kuvvetine eşleştirmek için iteratif bir prosedür izlenir. Daha sonra Cumming (1976) tarafından bilinmeyen yüklemenin kort yönünde ve radyal olarak şekil fonksiyonlarının çok sınırlı bir kümesi ile temsil edilerek M.I.T'de geliştirilen çok kapsamlı bir lifting surface dizayn prosedürü bir metod olarak

basıldı. Bu yaklaşım Tsao (1975) tarafından geliştirildi. Tsao (1975) ilk çalışmadaki şekil fonksiyonu yaklaşımını geliştirdi. Bu çalışmada sonuçta şekil fonksiyonları herbir girdap element şiddetinin gerçek değerinin bulunabilmesi için tamamen terk edildi.

Süreksiz akıma maruz pervaneler için üç boyutlu lifting surface teorisini 1968-1973 yılları arasında esas itibarıyla geliştiren ve mükemmelleştiren geniş ölçüde Davidson Laboratuvarı'nda Tsakonas (1976) olmuştur. Schwanecke (1975) de bu konuda geniş bir çalışma yapmıştır.

Süreksiz akımda pervane lifting surface problemleri için nümerik metodların gelişimi 1977'de Kerwin ve Frydenlund (1977) tarafından gerçekleştirilmiştir. Daha sonra da Kerwin (1982) tarafından 1982'de geniş ölçüde dizayn problemlerine cevap veren nümerik bir prosedür ve 'PB10, PB11' isimleriyle bilinen bilgisayar programları geliştirilmiştir.

Lifting surface teorisi son zamanlarda yine Kerwin (1988) tarafından pervane/stator sistemlerine uygulanmıştır.

BÖLÜM 4

GEMİ ARKASINDAKİ İZ

Bilindiği gibi, gemi kış formundan dolayı pervane, gemi hızından farklı bir akışkan hızı içinde çalışır. Bu nedenle, pervaneye gelen akışkan hızı, pervane dizaynı yönünden çok büyük önem taşımaktadır. V_s geminin ilerleme hızı, V_A ise pervane üzerine gelen suyun hızı olmak üzere iz (wake), geminin hızı ile suyun pervaneye akış hızı arasındaki fark olarak tanımlanır. Bu farkın gemi hızına veya suyun akış hızına bölünmesi ile iki değişik iz katsayısı bulunur. Birincisi

$$w = \frac{V_s - V_A}{V_s} \quad (4.1)$$

şeklinde ifade edilir ve Taylor iz katsayısı olarak tanımlanır. İkincisi ise

$$w_F = \frac{V_s - V_A}{V_A} \quad (4.2)$$

şeklinde ifade edilir ve Froude iz katsayısı olarak tanımlanır. İz katsayısı üç bileşene ayrılır:

$$w = w_P + w_F + w_W \quad (4.3)$$

Burada w_P : Potansiyel iz katsayısı

w_F : Sürtünme iz katsayısı

w_W : Dalga iz katsayısı

dır.

Potansiyel iz geminin ideal bir akışkanda, sürtünmesiz, dalgasız bir ortamda hareket etmesi halinde oluşacak izi ifade etmektedir. Bu özellikleriyle potansiyel iz, cismin şekli ile ilgili olup matematiksel olarak modellenabilir ve hesaplanabilir. Dalga izi ise dalga içerisindeki su parçacıklarının hareketinden kaynaklanan izi ifade etmektedir. Sürtünme izi, sürtünme nedeniyle gemi izindeki değişimi ifade eder. Başka bir deyişle gemi arkasındaki gerçek iz ile, hesaplanan potansiyel iz ve dalga izinin toplamının farkıdır.

Genelde iz katsayısını üç yerine dört bileşene ayırmak tercih edilir. Bu şekilde pervanenin gemi kıçındaki mevcudiyeti nedeniyle izde meydana gelebilecek değişimler de hesaba katılmış olur. İzin dört bileşenli ifadesi

$$w = w_p + w_F + w_W + w_{düz} \quad (4.4)$$

şeklindedir. Burada $w_{düz}$ gemi pervanesinin gemi kıçındaki mevcudiyeti ve diğer nedenlerle oluşabilecek akış değişikliklerini ifade eder.

Gemi kıçında pervanenin mevcudiyeti ile ölçülen ize efektif iz, pervanenin yerinde bulunmadığı halde ölçülen ize ise nominal iz denir.

Geminin izi aşağıdaki faktörlere bağlıdır:

- a) Blok katsayısı, C_B
- b) Genişlik-Boy oranı, L/B
- c) Draft (Su çekimi), T
- d) Gemi formu
- e) Pervane çapı, D
- f) Pervanenin şekli, konumu, takıntılar
- g) Pervane sayısı
- h) Pervane yükü
- i) Dümen

j) Nozullar, tüneller, kontrol yüzeyleri

k) Hız, V_s

l) Çevre

m) Geminin durumu

İki ve üç boyutlu cisimler için yapılan potansiyel hesaplar genişlik/boy oranındaki artışla iz katsayısının da arttığı sonucunu ortaya koymuştur. Genişlik arttırıldıkça sınır tabaka kalınlığı da iz katsayısı ile birlikte artmaktadır.

Genelde pervane çapının artmasıyla iz katsayısının azaldığı deneysel çalışmalarla kanıtlanmıştır. U kesitli tekneler etrafında iz katsayısı, V formülüne göre daha büyük değerlere sahip olur.

Pervanenin formu ve kıçtaki konumu ile etrafındaki takıntıların durumu da izi etkiler. Pervanenin rake durumu, montaj şekli ve konumu, pervane skew'u, kanat sayısı ve şekli, piç oranı ve devir sayısı iz üzerinde etkili olurlar. Ancak bu etki sınırlı kalır.

Gemi kıçındaki pervanenin sayısı ve konumu da izi etkiler. İki, üç veya dört pervaneli uygulamalarda izde değişiklik gözlenir. Genelde pervanenin yüklenmesi iz katsayısında küçük değişimlere neden olur, ancak aşırı yüklenme halinde bu değişim ihmal edilemeyecek düzeyde olabilir.

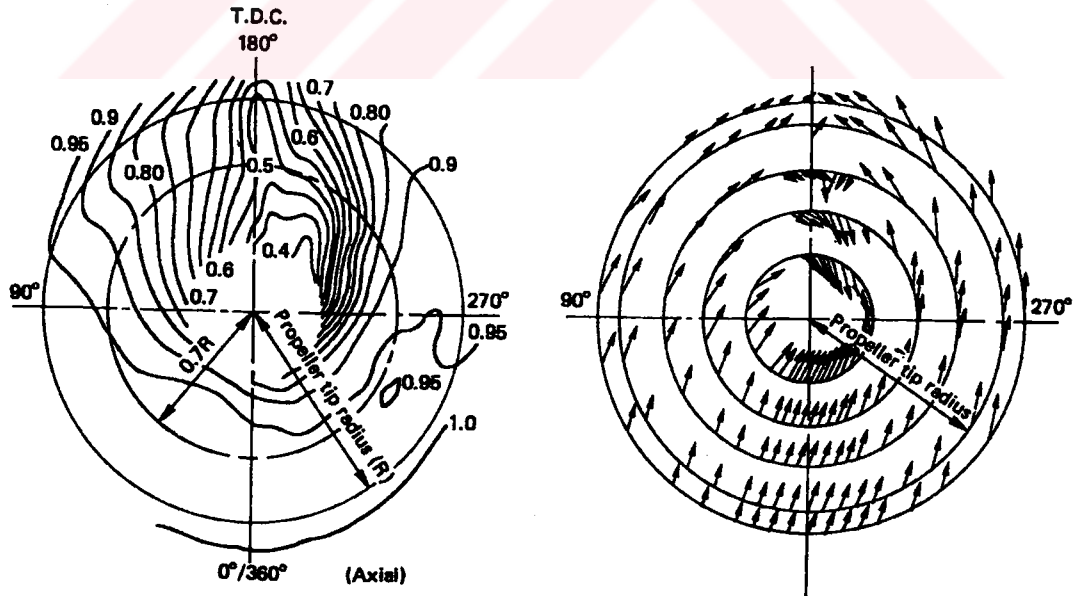
Bazı gemilerde pervaneler nozul içine alınarak veya bazı akım düzeltici enstrümanlar kullanılarak, daha homojen bir iz elde edilmeye çalışılır.

Geminin hızı değiştirildiğinde, gemi etrafındaki akımın değişimine bağlı olarak gemi etrafındaki basınç sistemi dolayısıyla dalga sistemi de değişir. Gemi kıç dalgasındaki değişim iz katsayısında değişime neden olur. Ayrıca gemi hızının değişmesi sürtünme kaynaklı iz değişimini de beraberinde getirir.

Yapılan geniş deneysel çalışmaların %65'inde hızın artırılmasıyla w iz katsayısının düştüğü, %25'inde sabit kaldığı ve %10'luk bir grupta ise yükseldiği gözlenmiştir. Ancak izdeki değişimlerin büyük olmadığı belirlenmiştir.

İz katsayısı üzerinde geminin genel durumunun da önemli etkisi vardır. Örneğin tek pervaneli bir gemi yeni ve karinası temiz iken iz katsayısı en küçük düzeyde olacaktır. Gemi karinasının kirlenmesi, korozyon nedeniyle pürüzlenmesi, boyalarının bozulması vs. nedenlerle, gemi yüzey şartları kötüleştikçe, gemi etrafındaki akımın değişmesine paralel olarak iz katsayısı da büyür. Bu nedenlerden dolayı iz katsayısındaki artış 0.05 mertebesine yaklaşabilir. Çift pervaneli gemilerde sürtünmenin etkisi önemini kaybeder, pervane diskinin büyük bir kısmı sürtünme kuşağı dışarısında yer alır, (Baykal ve Güner, 1996).

Ayrıca geminin çalıştığı ortamın, suyun derinliği, duvarların mevcudiyeti vs. de iz üzerinde etkili olacaktır. Şekil 4.1 gemi arkasındaki iz dağılımını gösterir.



Şekil 4.1. Gemi Arkasındaki İz Dağılımı

BÖLÜM 5

PERVANE TEORİLERİ

Pervane teorileri aşağıdaki gruplarda incelenebilir:

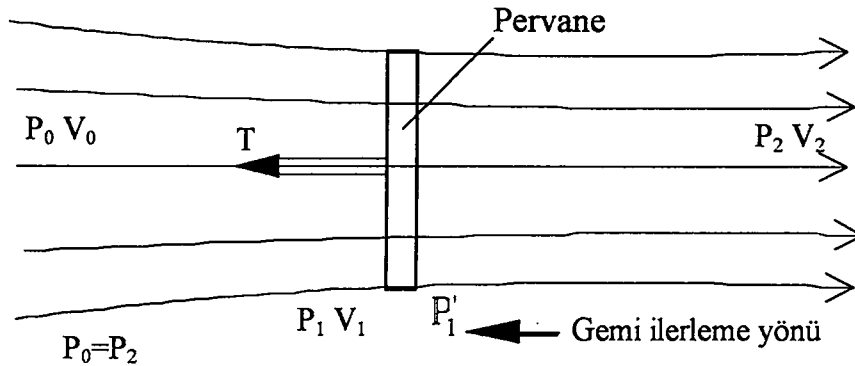
- Momentum Teorisi
- Kanat Elemanı Teorisi
- Sirkülasyon (Vorteks) Teorisi

5.1. Momentum Teorisi

Momentum teorisinde aşağıdaki kabuller yapılır:

- Akışkan viskoz değildir.
- Pervane sonsuz kanada sahiptir ve actuator disk pervanenin yerini alır.
- Pervane teğetsel bir akım meydana getirmez.
- İtme pervane diski üzerinde üniform olarak yayılır.

Bu teorinin ortaya koyduğu en önemli sonuç, pervane üzerindeki indüklenmiş hızın, pervanenin yeterince gerisindeki indüklenmiş hızın yarısına eşit olmasıdır. Pervanenin ilerisinde ve gerisindeki akışkanın hızları ve basınçları Şekil 5.1'deki gibi olsun.



Şekil 5.1. Pervane Etrafındaki Hız ve Basınçlar

Bernoulli denklemini pervane arkası ve önü için yazarsak:

$$\frac{1}{2}\rho (V_2)^2 + P_2 = \frac{1}{2}\rho (V_1)^2 + P_1' \quad (5.1)$$

$$\frac{1}{2}\rho (V_0)^2 + P_0 = \frac{1}{2}\rho (V_1)^2 + P_1 \quad (5.2)$$

Pervane gerisindeki hız (V_2) , pervaneye gelen akım hızına ($V_0=V_A$) pervanenin indüklemiş olduğu hız (u_a) eklenerek elde edilir:

$$V_2 = V_0 + u_a \quad (5.3)$$

(5.1), (5.2) ve (5.3) denklemlerini kullanarak aşağıdaki eşitlik elde edilir.

$$\frac{1}{2}\rho \cdot u_a \cdot (2 V_0 + u_a) = P_1' - P_1 \quad (5.4)$$

Kesitin ön ve arkasındaki basınç farkları ise aşağıdaki gibi olur,

$$P_1' - P_1 = \rho \cdot V_1 \cdot u_a \quad (5.5)$$

Son iki denklemin birleştirilmesi ile, pervane diski üzerindeki indüklenmiş hızların, sonsuzdakinin yarısı kadar olacağı bulunur (Baykal ve Güner, 1996).

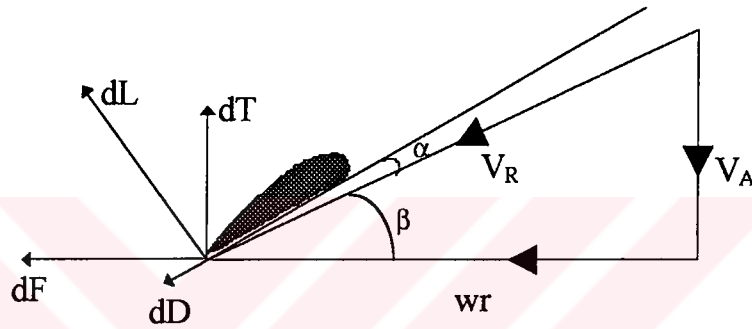
$$V_1 = V_0 + u_a / 2 \quad (5.6)$$

Pervanenin ideal verimi de aşağıdaki gibi bulunur,

$$\eta_{pi} = \frac{V_0}{V_0 + u_a / 2} \quad (5.7)$$

5.2. Kanat Elemanı Teorisi

Bu teoriye göre pervane kanadı belirli sayıda elemanlara ayrılır ve her bir elemanın hidrofoil gibi çalıştığı düşünülür. Her eleman için kuvvetler hesaplanır. Bir pervane kanat elemanı üzerindeki hızlar ve kuvvetler Şekil 5.2'de gösterilmiştir.



Şekil 5.2. Bir Pervane Kanat Elemanı Üzerindeki Hız ve Kuvvetler

Pervane eksenini etrafındaki açısal hız w ile ve eksen doğrultusundaki öteleme hızı (V_A) ile verilsin. Yukarıdaki şekilden görüldüğü gibi kesite gelen akım hızı:

$$\vec{V}_R = \vec{V}_A + \vec{w}_T \quad (5.8)$$

dır.

Şekildeki $d\vec{D}$ direnç kuvveti ve $d\vec{L}$ kaldırma kuvvetidir. Bu kuvvetlerin pervane eksenini doğrultusunda ve buna dik doğrultudaki bileşenleri,

$$\begin{aligned} dT &= dL \cos \beta - dD \sin \beta \\ dF &= dL \sin \beta + dD \cos \beta \end{aligned} \quad (5.9)$$

olur.

$$C_L = \frac{dL}{\frac{\rho}{2}(cdr)V_R^2} \quad (5.10)$$

$$C_D = \frac{dD}{\frac{\rho}{2}(cdr)V_R^2} \quad (5.11)$$

olsun. Burada c , kort uzunluğudur. Pervane kanat sayısı Z ise,

$$\begin{aligned} dT &= \frac{1}{2}\rho(cdr)V_R^2 Z [C_L \cos \beta - C_D \sin \beta] \\ dF &= \frac{1}{2}\rho(cdr)V_R^2 Z [C_L \sin \beta + C_D \cos \beta] \end{aligned} \quad (5.12)$$

bulunur. $A = Z \cdot c / 2\pi r$ dersek,

$$\begin{aligned} \frac{dT}{dr} &= \pi r \rho \cdot A \frac{V_A^2}{\sin^2 \beta} [C_L \cos \beta - C_D \sin \beta] \\ \frac{dF}{dr} &= \pi r \rho \cdot A \frac{V_A^2}{\sin^2 \beta} [C_L \sin \beta + C_D \cos \beta] \end{aligned} \quad (5.13)$$

olur. Şekilden $V_R = V_A / \sin \beta$ dir. $\tan \gamma = C_D / C_L$ diyelim.

Kanat verimi:

$$\eta_t = \frac{dT \cdot V_A}{2\pi \cdot n \cdot dF} \quad (5.14)$$

dir.

$$\frac{dT}{dr} = \rho \pi r \cdot A V_A^2 C_L \left[\frac{\cos(\beta + \gamma)}{\sin^2 \beta \cdot \cos \gamma} \right] \quad (5.15)$$

$$\frac{dQ}{dr} = \rho \pi r^2 \cdot A V_A^2 C_L \left[\frac{\sin(\beta + \gamma)}{\sin^2 \beta \cdot \cos \gamma} \right]$$

dır. O halde kanat verimi,

$$\eta_r = \frac{\tan \beta}{\tan(\beta + \gamma)} \quad (5.16)$$

olur.

Bu teoride giriş açılarının doğru olarak tayini önemlidir. Kanatların birbirine etkisi, kanatlar etrafında oluşan girdapların hızlar ve giriş açısına etkileri bu teoride ihmal edilmiştir.

Pervane boyunca hızların değişiminin hesaba katılmaması bu teorinin en büyük eksikliğidir. Bu nedenle kanat elemanı teorisi ile yapılan hesaplar deneysel sonuçlardan farklı olmaktadır. Bu teorinin özelliği kanatların kaldırma ve direnç değerlerinin hesaba katılmasıdır, (Kafalı, 1982).

5.3. Sirkülasyon Teorisi

Kapalı bir eğri boyunca (belli bir t anında) akışkan hızlarının integrasyonuna sirkülasyon denir ve Γ ile gösterilir.

$$\Gamma = \oint \vec{V} \cdot d\vec{s} \quad (5.17)$$

Hidrodinamikte iki türlü akış alanı mevcuttur:

- i. Girdapsız sıvı alanı, bu durumda kapalı eğri boyunca sirkülasyon değeri sıfırdır.
- ii. Girdaplı sıvı alanı, bu durumda kapalı eğri boyunca sirkülasyon sıfırdan farklı bir Γ değerine sahiptir.

Sonsuz uzunlukta bir silindir paralel bir akıma maruz bırakılırsa viskoz olmayan sıvıda hiçbir kuvvet oluşmaz. Buna karşılık sıvı eğer viskoz ise sadece akım yönünde D direnci oluşur. Eğer silindire bir dönme hareketi verilirse, sürtünmeden dolayı silindir etrafındaki sıvıya da dönme hareketi intikal etmiş olacağından, paralel akıma ait cereyan çizgilerinde, meydana gelen sirkülasyonun süperpozisyonu neticesi bir simetrisizlik meydana gelir. Şekil 5.3'deki sirkülasyonlu harekette, sıvı hızının P noktasında artması ve buna karşılık Q noktasında azalması dolayısıyla Bernoilli denklemi gereğince P noktasındaki basınç Q noktasındaki basınçtan daha küçük olur. Bu sebeple paralel akıma dik bir L kaldırma kuvveti doğar. Bu kuvvetten dolayı silindir etkilenir. Bu olaya Magnus etkisi denir.

Şekil 5.3'de verilen sıvı elemanına (P-Q) arasında Bernoilli denklemini uygularsak,

$$p + \frac{1}{2}\rho \cdot v^2 = (p + dp) + \frac{1}{2}\rho \cdot (v + dv)^2 \quad (5.18)$$

yazabiliriz. $(dv)^2$ nin ihmalıyla

$$dp = -\rho \cdot v \cdot dv \quad (5.19)$$

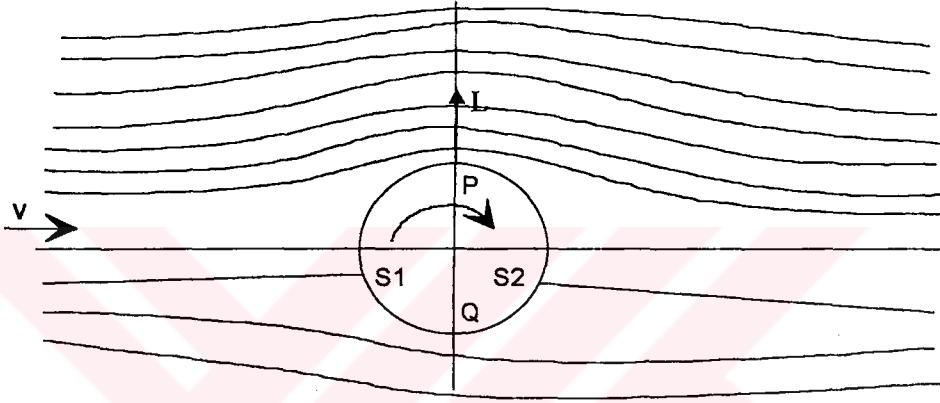
elde edilir. Şekildeki sıvı elemanına etki eden merkezkaç kuvvet

$$K = (\rho \cdot dx \cdot dy \cdot dr) \cdot \frac{v^2}{r} \quad (5.20)$$

dir. Herhangi bir anda sıvı elemanının dengesi için (5.19) ve (5.20) denklemlerinin birbirine eşit yazılmaları gerekir. Bu eşitlikten ($v.r = \text{sabit}$) bulunur. Bu sabit $\Gamma/2\pi$ olarak kabul edilirse

$$v.r = \frac{\Gamma}{2\pi} \quad (5.21)$$

denklemini elde ederiz.



Şekil 5.3. Magnus Etkisi

Paralel akıma maruz asimetrik kesitte kaldırma kuvvetinin oluşumu: Kesitin sırt ve yüzündeki akışkan hızları farklı olduğu için Benoulli deklemini gereğince iki yüz arasında basınç farkı oluşur (Ön yüzde yüksek, sırtta ise düşük basınç). Profil boyunca bu basınç farkları entegre edilmek suretiyle toplam L kaldırma kuvveti bulunur. Şekil 5.4'de V , paralel akım hızı; v' , girdap hızı; p_f , pervane yüzüne ve p_b , sırtına ait basınç değerleri olmak üzere Bernoulli denklemini uygularsak

$$p_f + \frac{1}{2}\rho.(V-v')^2 = p_b + \frac{1}{2}\rho.(V+v')^2 \quad (5.22)$$

yazılabilir. Buradan,

$$\Delta p = p_f - p_b = 2\rho \cdot V \cdot v' \quad (5.23)$$

elde edilir. $\Delta v = 2v'$ kesit yüz ve sırtına ait hız farkları olduğuna göre dx genişliğinde ve l uzunluğunda bir profil için elemental kaldırma kuvveti

$$dL = dx \cdot \int_0^l \Delta p \cdot dy = \rho \cdot V \cdot dx \int_0^l \Delta v \cdot dy \quad (5.24)$$

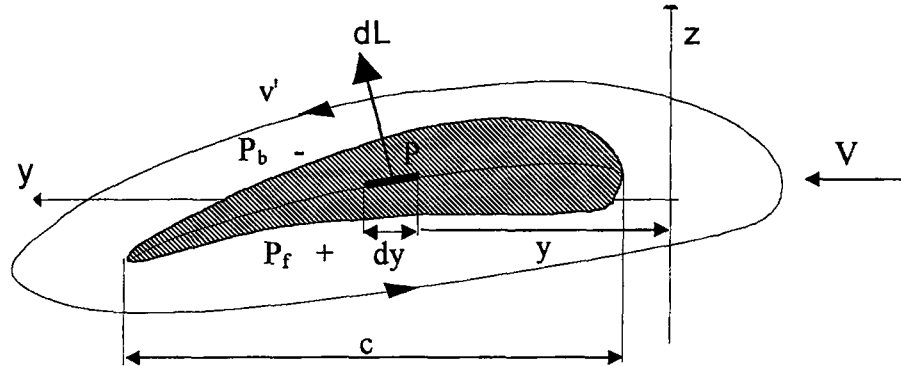
yazılabilir.

$$\Gamma = \oint v' \cdot ds = \int_0^l \Delta v \cdot dy \quad (5.25)$$

sirkülasyon değeri olduğundan, bir profilin dx genişliğinde ve l uzunluğundaki elemanına etki eden kaldırma kuvveti

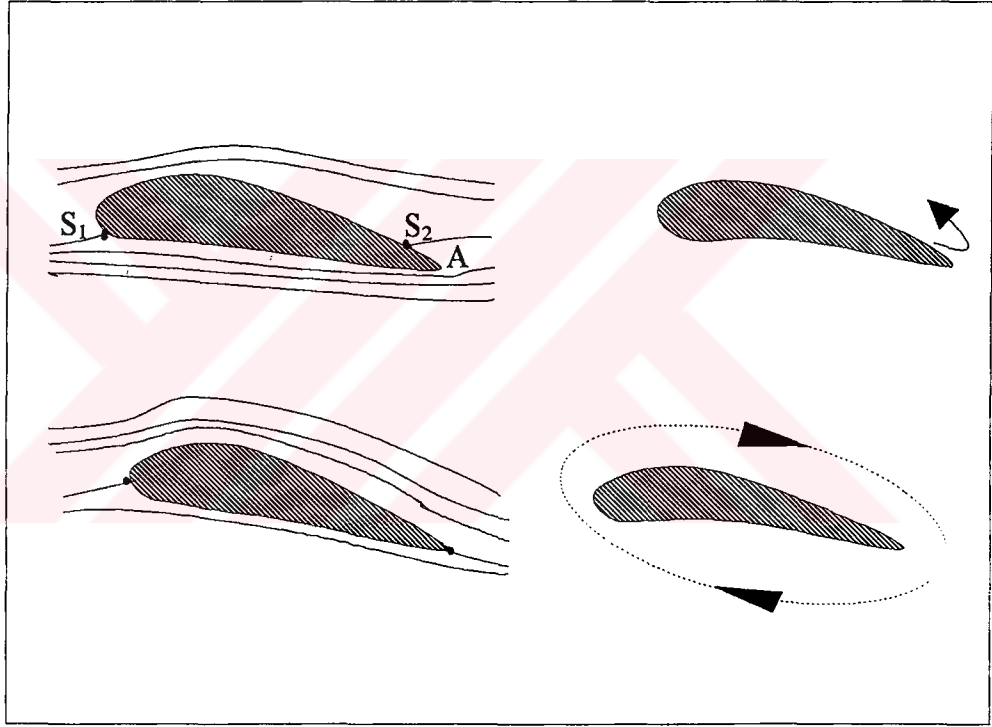
$$dL = \rho \cdot V \cdot \Gamma \cdot dx \quad (5.26)$$

olarak bulunur. Bu ifade hidrodinamikte Kutta-Joukowski teoremi olarak bilinir. Bunun için düzgün düzlemsel bir sıvı akımına maruz bir profilde kaldırma kuvvetinin hesap edilebilmesi için Γ sirkülasyon şiddetinin bilinmesi gerekir.



Şekil 5.4. Profil Etrafındaki Sirkülasyon

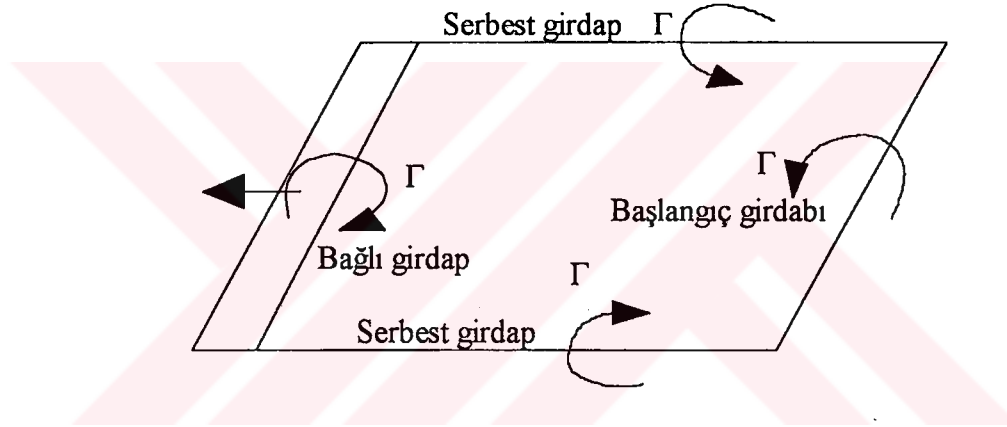
Şekil 5.5'de görüldüğü gibi S_2 ile gösterilen yığılma basıncı noktasındaki yüksek basınç dolayısıyla, takip kenarını dönen sıvı akımı geriye dönmeye zorlanmak suretiyle profilden bir serbest girdap ayrılır. Bu ayrılan girdaba başlangıç girdabı denilir. Başlangıç girdabının profilden ayrılması ile eşit şiddette ve ters yönde profil etrafında bir sirkülasyon akımı meydana gelir. S_2 yığılma basıncı noktası kayarak profilin takip kenarında oluşur. Başlangıç girdabı ise ana cereyanla beraber sonsuza kadar taşınır.



Şekil 5.5. Başlangıç Girdabı ve Sirkülasyon

Eğer profil uzunluğu sıfıra yaklaşacak şekilde küçültülürse limit durumda profil yüzeyi aynı sirkülasyon şiddetine sahip bir girdap ipine dönüşür. Buna kaldırıcı doğru (lifting line) veya bağlı girdap denir. Bu şekilde

sonsuz açıklığa sahip bir kanat profili yerine aynı sirkülasyon şiddetine sahip sonsuz uzunlukta bir girdap ipi kullanılabilir. Eğer kanat sonlu açıklığa sahipse, kanat uçlarında, profilin alt yüzüne ait yüksek basınç bölgesinden sırtına ait alçak basınç bölgesine doğru yan akımlar doğar. Bunun sonucu olarak kanat uçlarında uç-girdapları oluşur. Bu tür girdaplar serbest girdaplar olup profil geçtikten sonra profilin izi içerisinde kalırlar. Sonlu kanadı temsil eden bağlı girdapların zıttına olarak bu girdaplar gelen akıma paralel oldukları için herhangi bir kuvvet meydana getiremezler. Helmholtz teorisine göre viskoz olmayan bir sıvıda girdap oluşturulamaz ve var olan bir girdap yok edilemez. Şekil 5.6'da sonlu açıklığa sahip bir kanat profilinde kapalı girdap sistemi gösterilmiştir, (Sabuncu, 1983).

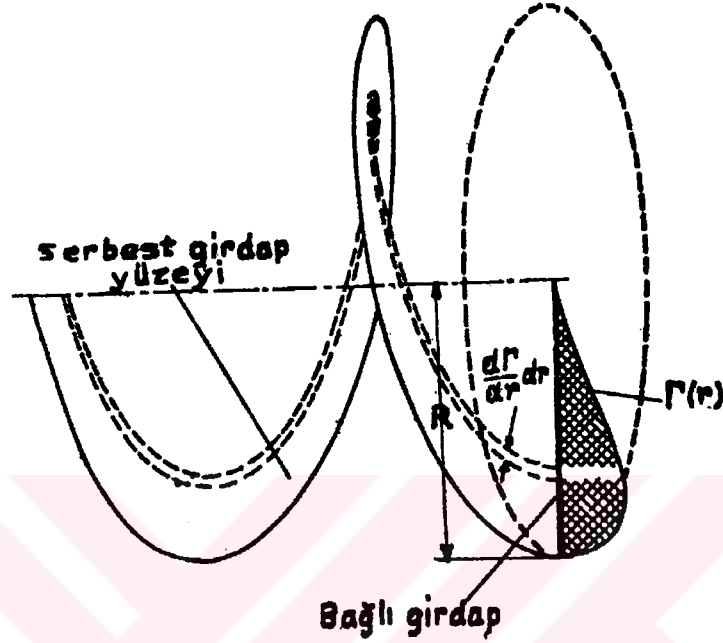


Şekil 5.6. Sonlu Açıklığa Sahip Bir Kanat Profilinde
Kapalı Girdap Sistemi

5.4.1. Sirkülasyon Teorisinin Uskur Pervanelerine Uygulanması:

Pervane kanadını yaklaşık olarak $\Gamma(r)$ değişken sirkülasyona sahip bir bağlı girdapla gösterebiliriz. Ayrıca bu bağlı girdaba, pervane kanadının sonlu açıklığa sahip olmasından dolayı, kanat açıklığınca devam eden ve pervaneye gelen $V_R = \sqrt{V_A^2 + (wr)^2}$ bileşke hızına paralel olarak akım yönünde sonsuza

kadar giden dr elementel genişliğinde helisel girdaplardan oluşan helisel yüzeyi de ilave etmek gerekir (Şekil 5.7).



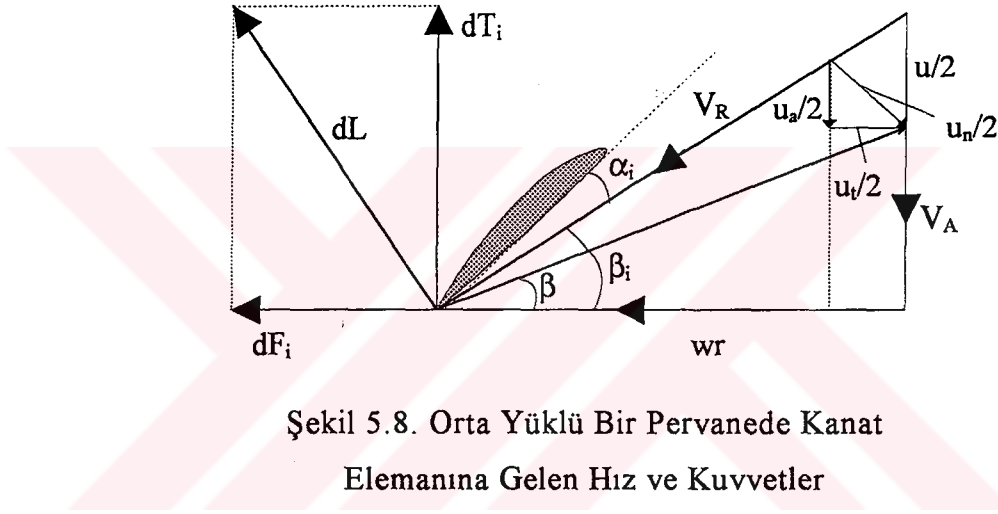
Şekil 5.7. Helisel Girdap Sistemi.

Helisel girdap yüzeyine ait elementel helislerin, bu yüzey tarafından indüklenmiş hızları nazara almaksızın $V_R = \sqrt{V_A^2 + (wr)^2}$ hızına paralel olduklarını kabul etmek ancak hafif yüklü pervanelerde tatbiki mümkündür.

Helisel yörüngeli serbest girdapların indüklemiş olduğu ilave hızlar hesaba katılmak suretiyle bulunan $V_R = \sqrt{(V_A + u_s)^2 + (wr - u_t)^2}$ bileşke hızına paralel olacak şekilde helisel yörüngeler düzeltilirse elde edilen teori orta yüklü pervanelere de uygulanabilir (Şekil 5.8).

Şekil 5.8'de V_R hızına dik doğrultuda doğan dL kaldırma kuvvetinin pervanenin aksenal hareket yönü doğrultusundaki dT_i ve çevresel hareket yönü doğrultusundaki dF_i bileşenleri görülmektedir. Viskoz olmayan akışkanda dT_i itme kuvveti elemanı ve dF_i ise teğetsel kuvvet elemanı olarak adlandırılır. Bu kuvvetler arasında aşağıdaki bağıntılar yazılabilir:

$$\begin{aligned} dT_i &= \rho \cdot 2\pi \cdot r \cdot u_t (w_r - u_t / 2) \cdot dr \\ dF_i &= \rho \cdot 2\pi \cdot r \cdot u_t (V_a + u_a / 2) \cdot dr \end{aligned} \quad (5.27)$$



Şekil 5.8. Orta Yüklü Bir Pervanede Kanat Elemanına Gelen Hız ve Kuvvetler

Üniform akıma maruz pervanelerde minimum enerji kaybı:

Pervane disk alanı üzerindeki u_t ve u_a hızlarının değişimi pervane kanadına ait yükleme ile ilgilidir. Kanat üzerinde itme kuvveti değişimine uygun olarak fazla itme kuvveti temin eden kanat parçası suya daha fazla hız artımları verecektir. u_t ve u_a indüklenmiş hızlarına karşılık pervanenin suya bıraktığı aksenal ve teğetsel enerjiler birer kayıptır ve pervane verimi bu kayıplarla doğrudan ilgilidir. Maksimum pervane verimi ancak minimum enerji kaybını sağlayacak indüklenmiş hızların pervane kanadı üzerine dağıtılması ile mümkündür. Minimum enerji kaybı, üniform ve paralel akımda Betz hipotezinin uygulanması ile sağlanabilir, (Sabuncu,1983).

Üniform akıma maruz pervane elemanına ait verim,

$$\eta'_p = \frac{dT \cdot V_A}{dF \cdot wr} \quad (5.28)$$

şeklindedir. Viskoz olmayan (ideal) bir sıvı için aynı elemana ait verim ifadesi

$$\eta'_{pi} = \frac{dT_i \cdot V_A}{dF_i \cdot wr} \quad (5.29)$$

dir. Betz maksimum kanat verimine ulaşabilmek için kanat boyunca $\Gamma(r)$ sirkülasyon dağılımının ve itme kuvvetinin ne şekilde dağıtılması gerektiğini araştırmıştır. Bunun için r yarıçapına karşılık gelen $\Gamma(r)$ sirkülasyonuna $\Delta\Gamma$ kadar bir artma verilmiştir. Bu artış sonucunda itme kuvveti $\Delta(dT_i)$, teğetsel kuvvet $\Delta(dF_i)$, pervanenin vermiş olduğu güç $\Delta(dT_i) \cdot V_A$, pervanenin almış olduğu güç $\Delta(dF_i) \cdot wr$ kadar artmış olur. Bu şekilde $\Delta\Gamma$ nin pervane verimine etkisi,

$$\Delta\eta'_{pi} = \frac{\Delta(dT_i) \cdot V_A}{\Delta(dF_i) \cdot wr} = K \quad (5.30)$$

bağıntısı ile elde edilir. Minimum enerji kaybını temin edebilmek için K oranının r yarıçapına bağlı olmayıp sabit bir değere eşit olması gerekir. Eğer K oranı r 'ye bağlı ise, öyle r yarıçapları bulmak mümkündür ki oralara ilave edilen $\Delta\Gamma$ sirkülasyon artışı K 'ya daha büyük değerler kazandırabilir. Dolayısıyla $\Gamma(r)$ sirkülasyon eğrisinde K 'yı büyük veren kısımlara küçük veren kısımlardan sirkülasyon ilave etmek suretiyle $\Gamma(r)$ eğrisinin şeklini değiştirmek ve verimi artırmak mümkün olur. Maksimum verimi elde etmek için her yarıçaptaki sirkülasyonun maksimum ve minimumunun kendisine eşit olacak

şekilde bir dağılımın sağlanması gerekir. Bu ise ilave edilen $\Delta\Gamma$ sirkülasyon artışının her yarıçapta aynı tesiri göstermesini yani K değerinin sabit olmasını gerektirir.

Pervaneye $\Delta\Gamma$ kadar sirkülasyon artışı ilave edilirse ve pervane ile $\Delta\Gamma$ sirkülasyon artışı arasındaki karşılıklı etkilerin ihmal edilmesi ile K değeri aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$\Delta\eta'_{pi} = \frac{\Delta(dT_i) \cdot V_A}{\Delta(dF_i) \cdot wr} = K \quad (5.31)$$

bağıntısından hareketle

$$\begin{aligned} \Delta dT_i &= \rho \cdot \Delta\Gamma \cdot (wr - u_t / 2) \cdot dr \\ \Delta dF_i &= \rho \cdot \Delta\Gamma \cdot (V_A + u_a / 2) \cdot dr \end{aligned} \quad (5.32)$$

denklemlerini K oranında yerine koyarsak,

$$K = \frac{(wr - \frac{1}{2}u_t) \cdot V_A}{(V_A + \frac{1}{2}u_a) \cdot wr} \quad (5.33)$$

şekilde bulunur. Kanat elemanına ait lokal verim ifadesinden hareketle

$$\eta_{pi} = \frac{(wr - \frac{1}{2}u_t) \cdot V_A}{(V_A + \frac{1}{2}u_a) wr} = K \quad (5.34)$$

veya

$$\frac{\tan \beta}{\tan \beta_i} = \eta_{pi} = \text{sabit} \quad (5.35)$$

sonucu elde edilir. Sonuç olarak bir pervanede maksimum verimin elde edilebilmesi için (enerji kayıplarının bir minimumdan geçebilmesi için) kanat yarıçapı boyunca verimin sabit bir değerde yani pervane verimine eşit olması gerekir.

Betz'in hipotezinde teğetsel hızların sebep olduğu basınç azalması ve hüzme daralması yönünden gelebilecek etkiler ihmal edilmiştir, (Sabuncu, 1983).



BÖLÜM 6

PERVANE DİZAYN METODLARI

6.1. Kaldırıcı Hat (Lifting Line) Dizayn Metodu

6.1.1. Dizayn Parametreleri

Bazı özel durumlar dışında lifting line metodunda pervane dizayn şartı, istenilen devir sayısında makinenin sağladığı gücü pervanenin absorbe etmesidir. Dizayn için aşağıdaki başlangıç parametrelerinin bilinmesi gerekir, (Güner, 1994):

- Gemi hızı, V_s (knot)
- Pervaneye gelen güç, P_D (kw)
- Pervane devir sayısı, N (d/d)
- Pervane kanat sayısı, Z
- Pervane çapı, D (m)
- İz dağılımı, $(1-w)$
- Kanat alan oranı (BAR)

Optimum çap değeri D , $B_P - \delta$ diyagramlarından bulunur. Kaviteasyon riskini azaltmak için gerekli kanat yüzey alanı bir kaviteasyon diyagramı kullanılarak hesap edilmelidir.

Kesit kalınlık oranlarının fonksiyonu olarak tayin edilen kanat kesit kalınlığı ve direnç katsayılarının belirlenmesinde, basit bir gerilme hesabı kullanılabilir.

İstenilen dizayn şartlarında modellenen pervanenin aşağıdaki tork katsayısını, K_Q , sağlaması gerekir,

$$K_Q = \frac{33.55P_D}{\left[\frac{ND}{10}\right]^3 D^2} \quad (6.1)$$

Bu çalışmada optimum pervane dizaynının tayininde (maksimum verim için radyal yük dağılımının bulunması v.s.) minimum enerji kaybı şartlarına göre lifting line ve lifting surface modelleri çözülerek sonuca ulaşılmıştır. Lifting line hesabında Burrill (1955-56) tarafından ortaya konulan kanatın her (r_i) kesitinde oluşan serbest girdap tabakasının piçinin sonsuza kadar sabit kalacağı ve değişmeyeceği şartı kullanılmıştır. Bu şarta göre:

$$x_i \cdot \pi \cdot \tan \varepsilon_i = \text{sabit} \quad (6.2)$$

olmalıdır. Burada $x_i = r_i/R$; i'nci kesitin boyutsuz radyal koordinatıdır. R , pervane yarıçapı ve ε_i ; sonsuzdaki helisel girdap tabakasının piç açısıdır.

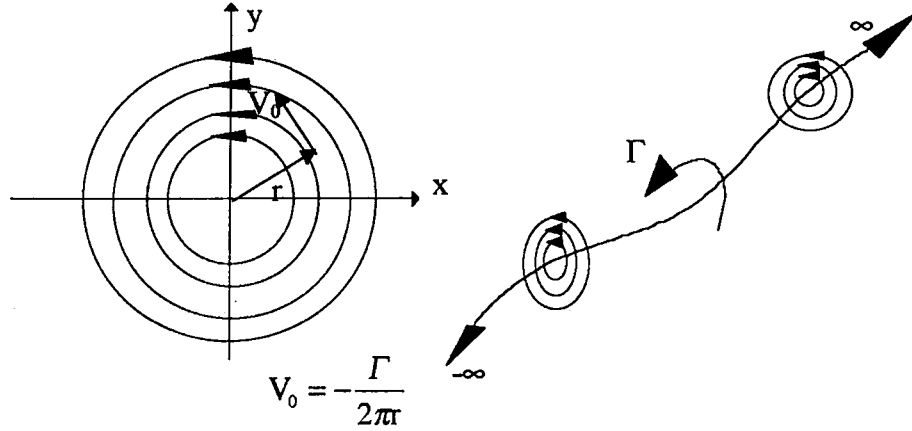
6.1.2. Matematiksel Modelleme

6.1.2.1. Girdap Hattı ve Tabakası

Girdap hattı ve girdap tabakası kavramları birçok pervane matematiksel modellerinin anlaşılmasında temel teşkil eder.

Modellemelerde sirkülasyonun yönü eğer saat yönünde ise pozitif kabul edilir.

Sirkülasyon teorisine dayalı pervane modellerinin gelişiminde, gerçekte iki boyutlu olan girdap hareketinin Şekil 6.1'de gösterildiği gibi bir girdap hattı olarak temsili adeta zorunlu olmuştur.



Şekil 6.1. İki Boyutlu Girdabın Girdap Hattı ile Temsili

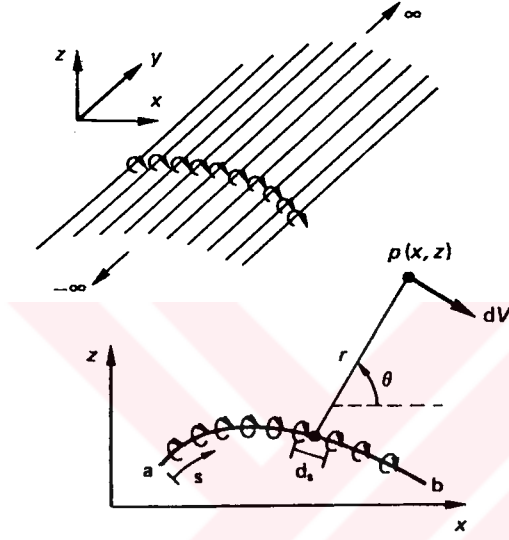
Girdap hattı, sabit (Γ) şiddetinde ve özellikle pervane teknolojisinde üç boyutlu uzayda tanımlı eğri boyunca hareketlidir.

Alman matematik ve fizikçisi Helmholtz tarafından ortaya konulan ve başlıca girdap karakteristiklerini belirleyen ve Helmholtz teoremleri olarak bilinen teoremler:

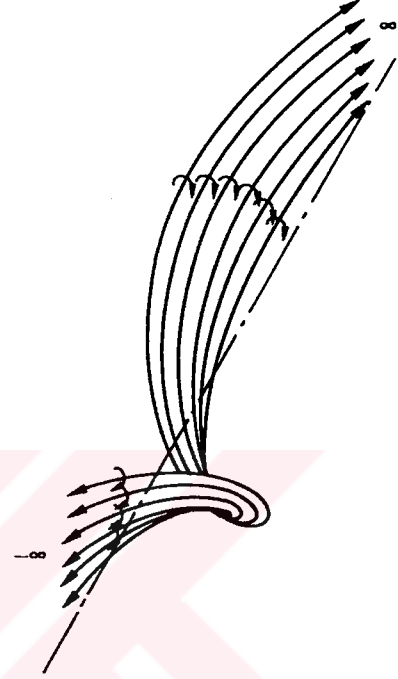
1. Bir girdap hattının hareketli olduğu eğri boyunca şiddeti sabittir.
2. Viskoz olmayan bir akışkan içinde girdap hattı oluşturulamaz ve var olan bir girdap hattı sona erdirilemez. Bunun için bir girdap hattı akışkanın sonsuz sınırlarına kadar uzanır. Buna engel olmak için girdap hattı akışkan içinde kapalı bir eğri boyunca tertip edilmelidir, (Carlton, 1994).

Bu teoremler özellikle pervane girdap teorilerinde son derece önemlidir.

Girdap hattı kavramı bir girdap tabakası kavramına genişletilebilir. İlk aşamada girdap tabakası, yanyana sonsuz sayıda düz girdap hatlarından oluştuğu düşünülür (Şekil 6.2). Girdap tabakası düz girdap hatlarından oluştuğu gibi, Şekil 6.3'de görüldüğü gibi, helisel bir yüzeyde helisel girdap hatlarından da oluşabilir.



Şekil 6.2. Düz Girdap Tabakası



Şekil 6.3. Helisel Girdap Tabakası

Şekil 6.2'de görülen girdap tabakasının birim uzunluktaki şiddetine $\gamma(s)$ dersek, tabakanın ds uzunluğundaki girdap şiddeti $\gamma(s).ds$ olur. Burada s , tabakanın ucundan başlayan eğrisel koordinat; ds de birim uzunluktur. Girdap tabakasının her bir birim uzunluğundaki girdap şiddetini müstakil gibi düşünersek bunun girdap hattına r uzaklıktaki Şekil 6.2'de gösterilen bir $P(x,z)$ noktasında hasil edeceği dV elementel hızı aşağıdaki gibi olur:

$$dV = \frac{-\gamma \cdot ds}{2\pi \cdot r} \quad (6.3)$$

$P(x,z)$ noktasındaki toplam hız ise a'dan b'ye kadar olan tüm birim girdap şiddetlerinden dolayı olan elementel hızların toplamıdır.

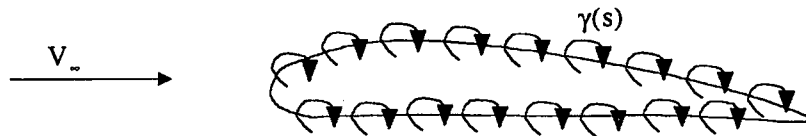
Girdap tabakasının etrafındaki sirkülasyon şiddeti (Γ), a ile b arasında yerleştirilen tüm elementel girdapların şiddetlerinin toplamına eşittir ve aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\Gamma = \int_a^b \gamma \cdot ds \quad (6.4)$$

Bir girdap tabakasının karşısındaki teğetsel hız bileşeninde süreksizlik meydana gelir. Girdap tabakasının üzerindeki daha büyük şiddetteki hızı u_1 ve altındaki daha küçük şiddetteki hızı u_2 ile gösterirsek, lokal tabaka şiddetleri ile bu hızlar arasında aşağıdaki bağıntı vardır:

$$\gamma = u_1 - u_2 \quad (6.5)$$

Girdap tabakası kavramı aerofil kesitlerin özelliklerinin analizinde önemli bir yardımcıdır ve pervane teorisinde de çok fazla uygulama alanları vardır. Örneğin, Şekil 6.4'de görüldüğü gibi aerofil kesit yerleştirilen değişken şiddetli bir girdap tabakası ile temsil edilebilir. Böylece problem V_∞ akımına maruz $\gamma(s)$ dağılımının hesaplanmasından ibaret olur.

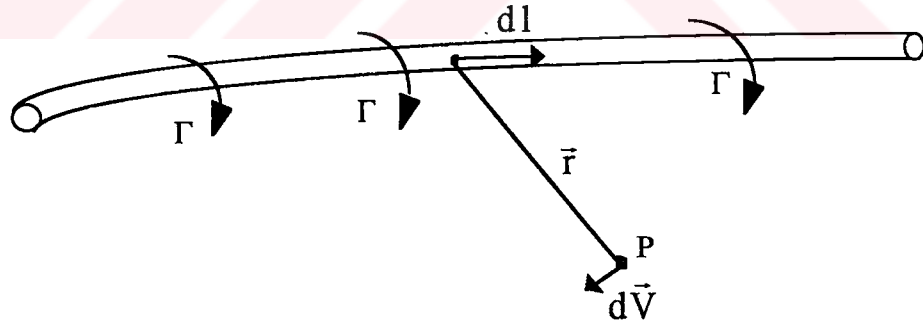


Şekil 6.4. Bir Aerofil Kesitin Girdap Tabakası ile Temsili

6.1.2.2. Pervane Tarafından İndüklenmiş Hızların Hesabı

Girdap hatları veya tabakalarının neden olduğu indüklenmiş (ek olarak meydana getirilen) hızlar pervaneyi hem önden ve hem de arkadan çevrelerler. Bugün pervane hareketinin matematiksel modelleri ekseriyetle, istenilen yeterli temsili sağlayacak şekilde bileşik girdap sistemlerine dayanır. Bunun bir sonucu olarak, bu girdap sistemlerinin meydana getirdiği pervane çevresinde herhangi bir noktadaki hız değişiminin (indüklenmiş hız) hesabında genellikle Biot-Savart kanunundan yararlanılır. Bu kanun potansiyel teorisinin bir sonucudur ve elektromagnetik alanlar ile viskoz olmayan ve sıkıştırılamayan akımların her ikisini de tarif eder. Biot-Savart kanunu genel halde Şekil 6.5'te görüldüğü gibi, verilen bir (Γ) şiddetindeki girdap hattının $d\vec{s}$ parçasından r yarıçapındaki bir P noktasındaki indüklenmiş hız $d\vec{V}$ ile gösterilirse aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$d\vec{V} = \frac{\Gamma}{4\pi} \cdot \frac{d\vec{l} \times \vec{r}}{|\vec{r}|^3} \quad (6.6)$$

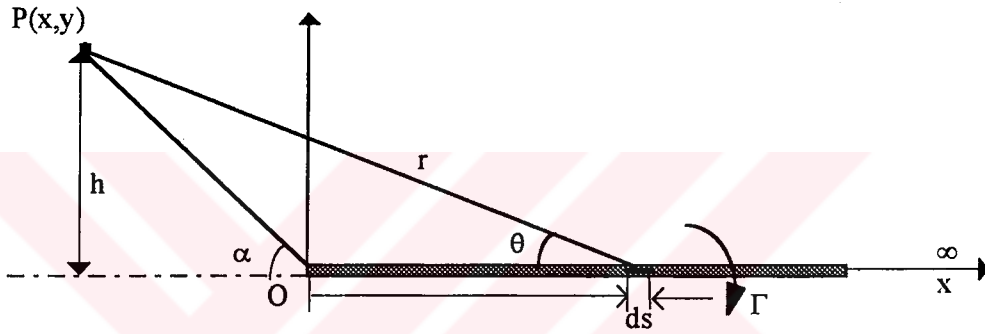


Şekil 6.5. Biot-Savart Kanununun Genel Bir Girdap Hattına Uygulanması

Biot-Savart kanununun doğrudan pervaneye uygulanmasında ve pervaneden oluşan serbest girdap sisteminin temsilinde yaygın olarak kullanılan iki örnek:

1. Yarı-sonsuz Doğrusal Girdap Hattı:

Sistem Şekil 6.6'daki gibi düşünülür. Girdap hattı (O)'dan başlar ve O-x eksenini doğrultusunda sonsuza gider. Şekildeki ds , yarı-sonsuz doğrusal girdap hattının sonsuz küçük bir parçasıdır.



Şekil 6.6. Biot-Savart Kanununun Doğrusal Bir Girdap Hattına Uygulanması

Gerçekte Helmholtz teoremine göre (O) noktasında girdap hattını sona erdirmek mümkün değildir. Fakat burada bizim amaçlarımız için sistemin (O)'dan başlayıp sonsuza kadar giden kısmını düşünmek yeterlidir.

ds 'den r uzaklıkta P noktasındaki elementel indüklenmiş hız aşağıdaki gibidir:

$$d\vec{V} = \frac{\Gamma}{4\pi} \cdot \frac{\sin\theta \cdot ds}{r^2} \quad (6.7)$$

Buradan P deki hız,

$$V_P = \frac{\Gamma}{4\pi} \int_{\theta=\alpha}^{\theta=0} \frac{\sin \theta \cdot ds}{r^2} \quad (6.8)$$

dir. Burada $s = h(\cot \theta - \cot \alpha)$ dır.

$$V_P = -\frac{\Gamma}{4\pi} \int_{\theta=\alpha}^{\theta=0} \sin \theta \cdot d\theta \quad (6.9)$$

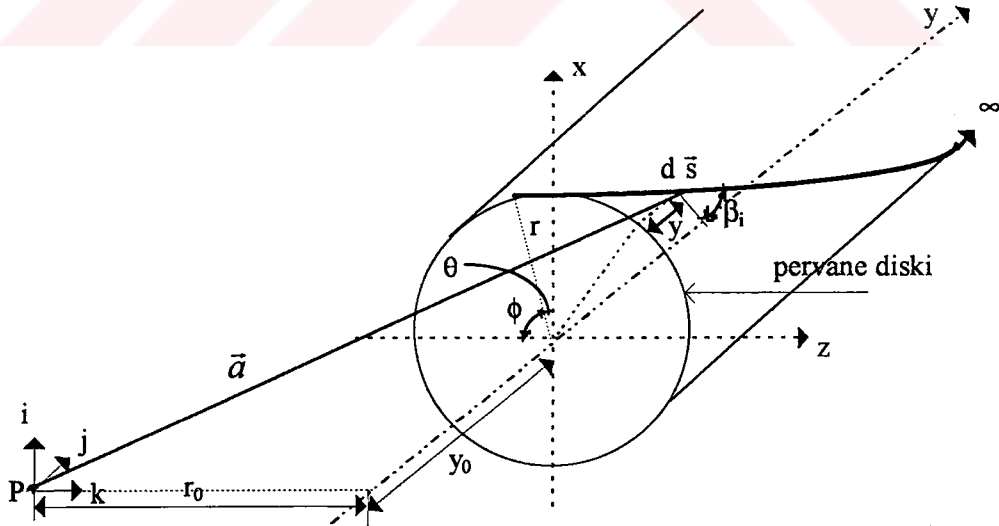
$$V_P = \frac{\Gamma}{4\pi \cdot h} \cdot (1 - \cos \alpha)$$

bulunur. V_P nin yönü sayfa düzlemine dik ve dışarı doğrudur.

2. Yarı-sonsuz Düzenli Bir Helisel Girdap Hattı:

Bu durumda da kavram birinci ile aynı olmasına rağmen, analizler biraz daha kompleks olur.

Burada pervane diskinden başlayan ve sonsuza kadar giden sabit piç açılı ve çaplı yarı-sonsuz düzenli helisel bir girdap hattı düşünelim (Şelil 6.7).



Şekil 6.7. Biot-Savart Kanununun Yarı-sonsuz Düzenli Bir Girdap Hattına Uygulanması

Denklem 6.6'dan P noktasında yarı-sonsuz düzenli girdap hattı tarafından indüklenmiş hız

$$d\vec{u} = \frac{\Gamma}{4\pi|\vec{a}|^3} \cdot (d\vec{s} \times \vec{a}) \quad (6.10)$$

dır.

$$\vec{a} = a_x \cdot \vec{i} + a_y \cdot \vec{j} + a_z \cdot \vec{k} \quad (6.11)$$

ve problemin geometrisinden

$$\vec{a} = -r \cdot \sin(\theta + \phi) \cdot \vec{i} - (y + y_0) \cdot \vec{j} + (r_0 - r \cdot \cos(\theta + \phi)) \cdot \vec{k} \quad (6.12)$$

$$\vec{s}(\theta) = r \cdot \sin(\theta + \phi) \cdot \vec{i} + r \theta \tan \beta_i \cdot \vec{j} + r \cdot \cos(\theta + \phi) \cdot \vec{k} \quad (6.13)$$

buradan,

$$d\vec{u} = \frac{\Gamma}{4\pi|\vec{a}|^3} \cdot \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ r \cdot \cos(\theta + \phi) & r \cdot \tan \beta_i & -r \cdot \sin(\theta + \phi) \\ -r \cdot \sin(\theta + \phi) & -(y + y_0) & r_0 - r \cos(\theta + \phi) \end{vmatrix} \quad (6.14)$$

dır. Burada skaler a,

$$a = \left[(y + y_0)^2 + r^2 + r_0^2 - 2r_0 \cdot r \cdot \cos(\theta + \phi) \right]^{3/2} \quad (6.15)$$

dır. u_x , u_y , u_z hız bileşenleri ise aşağıdaki gibidir:

$$\begin{aligned}
u_x &= \frac{r \cdot \Gamma}{4\pi} \int_0^\infty \frac{\tan \beta_i \cdot (r \cdot \cos(\theta + \phi)) - (y + y_0) \cdot \sin(\theta + \phi)}{\left[(y + y_0)^2 + r^2 + r_0^2 - 2r_0 \cdot r \cdot \cos(\theta + \phi) \right]^{3/2}} \cdot d\theta \\
u_y &= \frac{r \cdot \Gamma}{4\pi} \int_0^\infty \frac{r - r_0 \cdot \cos(\theta + \phi)}{\left[(y + y_0)^2 + r^2 + r_0^2 - 2r_0 \cdot r \cdot \cos(\theta + \phi) \right]^{3/2}} \cdot d\theta \\
u_z &= \frac{r \cdot \Gamma}{4\pi} \int_0^\infty \frac{r \cdot \tan \beta_i \cdot \sin(\theta + \phi) - (y + y_0) \cdot \cos(\theta + \phi)}{\left[(y + y_0)^2 + r^2 + r_0^2 - 2r_0 \cdot r \cdot \cos(\theta + \phi) \right]^{3/2}} \cdot d\theta
\end{aligned} \tag{6.16}$$

Bu iki örnek viskoz olmayan akışkandaki indüklenmiş hızların hesabında hesap prosedürünü göstermek için yeterlidir. Yukarda gösterilen esaslar, atnalı (horseshoe) girdap sistemleri, düzensiz helisel girdaplar (değişken piç açısı ve çapa sahip) ve diğer daha kompleks sistemleri -modelleme tekniğini kullanarak istenilen şekilde- kapsayacak şekilde genişletilebilir, (Carlton, 1994).

6.1.2.3. Kutta Şartı

Genel halde Kutta şartı, akışkanın bir kanat kesitinin yüz ve sırt kısımlarını takip eden uçta (trailing edge) pürüzsüzce, düzgün olarak terketmesidir.

Daha açık olarak bu şart aşağıdaki gibidir:

1. Verilen bir aerofil için Γ sirkülasyon değeri, özel bir hücum açısında akışkan takibeden ucu düzgün bir şekilde terkedecek şekildedir.
2. Eğer bir aerofilin takip eden ucunda üst ve alt yüzeyler arasındaki açı sonlu ve sıfırdan farklı ise takip eden uç durgun noktadır ve akışkan hızı sıfırdır.
3. Eğer bir aerofilin takip eden ucunda üst ve alt yüzeyler arasındaki açı sıfır ve uç sivri ise takip eden uçtaki hızlar sıfırdan farklı, yönleri ve büyüklükleri de eşittir.

Denklem 6.5 $\gamma = u_1 - u_2$ idi. Fakat Kutta şartından dolayı takip eden uçta denklem,

$$\gamma(TE) = 0 \quad (6.17)$$

şeklinde olur, (Carlton, 1994).

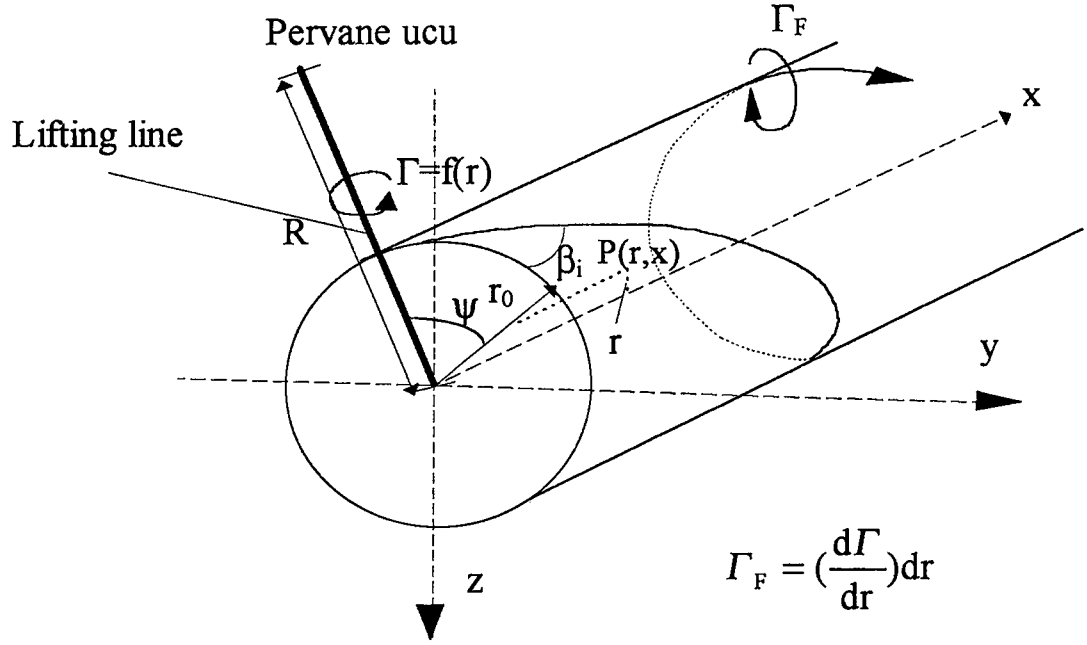
6.1.2.4. Lerbs'in Lifting Line Analiz ve Dizayn Metodu

Lerbs (1952) viskoz olmayan bir akışkanda ve orta yükte çalışacak pervaneler için lifting line metodunu geliştirdi. Sirkülasyon teorisinde de bahsedildiği gibi indüklenmiş hızları hesaba katmadan yapılacak bir analiz ancak hafif yüklü pervaneler için yeterli bir sonuç verebilir. Orta yüklü pervanelerde ise yeterli sonucu elde edebilmek için, pervane tarafından meydana getirilen düzgün helisel serbest girdap tabakasının temsilinde indüklenmiş hızların hesaba katılmaları gerekir.

Lifting line analizinde pervane kanadı, değeri radyal olarak değişen bir bağlı girdap hattı $\Gamma(x)$ ile temsil edilir (Şekil 6.8). Bu girdap hattının herbir kesitindeki değeri, o kesitte kanat etrafında oluşan sirkülasyon şiddetine eşittir. Bağlı girdapların dışında, pervanenin sebep olduğu başka bir girdap sistemi daha vardır. Kanatların neden olduğu, pervane arkasında ve gelen akıma paralel bu serbest girdap tabakasının bir elementel parçasının şiddeti aşağıdaki gibi verilebilir:

$$\Gamma_F(x) = \left(\frac{\partial \Gamma}{\partial r} \right) \cdot dr \quad (6.18)$$

Burada kullanılan modelde merkezkaç ve kayan akım büzülme etkileri ihmal edilmiştir. Böylece pervane üzerinde indüklenmiş hızın oluşumuna sebep olan serbest girdap tabakaları, eksenel yönde, sabit piç açılı ve çaplı düzgün helisel girdap hatlarını ihtiva ederler. Bu modelde pervane göbeği de hesaba katılmakla beraber göbekte sirkülasyonun sıfır olduğu kabul edilir.



Şekil 6.8. Lerbs'in Lifting Line Modeli

Pervane diski içindeki (r_0) yarıçapından oluşmuş bir serbest helisel girdap hattı tarafından pervane diski içindeki bir (r) yarıçapında meydana getirilen eksenel ve teğetsel indüklenmiş hızlar aşağıdaki gibi verilir:

Eksenel indüklenmiş hızlar:

İçerdeki noktalarda ($r < r_0$):

$$\bar{u}_a = \frac{Z\Gamma_F}{4\pi k_0} \left\{ 1 - 2Z \frac{r_0}{k_0} \sum_{n=1}^{\infty} n I_{nz} \left(\frac{nZ}{k_0} r \right) K'_{nz} \left(\frac{nZ}{k_0} r_0 \right) \right\} \quad (6.19)$$

Dışardaki noktalarda ($r > r_0$):

$$\bar{u}_a = \frac{Z^2 \Gamma_F r_0}{2\pi k_0^2} \sum_{n=1}^{\infty} n K_{nz} \left(\frac{nZ}{k_0} r \right) I'_{nz} \left(\frac{nZ}{k_0} r_0 \right) \quad (6.20)$$

Teğetsel İndüklenmiş hızlar:

İçerdeki noktalar ($r < r_0$):

$$\bar{u}_i = \frac{Z^2 \cdot \Gamma_F \cdot r_0}{2\pi \cdot k_0 \cdot r} \cdot \sum_{n=1}^{\infty} n I_{nz} \cdot \left(\frac{nZ}{k_0} \cdot r\right) \cdot K'_{nz} \cdot \left(\frac{nZ}{k_0} \cdot r_0\right) \quad (6.21)$$

Dışardaki noktalarda ($r > r_0$):

$$\bar{u}_{te} = \frac{Z\Gamma_F}{4\pi \cdot r} \left\{ 1 - 2Z \frac{r_0}{k_0} \sum_{n=1}^{\infty} n K_{nz} \cdot \left(\frac{nZ}{k_0} \cdot r\right) \cdot I'_{nz} \cdot \left(\frac{nZ}{k_0} \cdot r_0\right) \right\} \quad (6.22)$$

Burada $k_0 = r_0 \cdot \tan \beta_{i0}$,

I_{nz} ve K_{nz} , Bessel fonksiyonunun değişkenleridir, (Carlton, 1994).

Bu denklemleri aşağıdaki şekilde yazarsak,

($r < r_0$) iken,

$$\bar{u}_{ai} = \frac{Z\Gamma_F}{2\pi \cdot k_0} (1 + B_2); \quad \bar{u}_{ti} = -\frac{Z\Gamma_F}{4\pi \cdot r} \cdot B_2 \quad (6.23)$$

($r > r_0$) iken,

$$\bar{u}_{ae} = -\frac{Z\Gamma_F}{4\pi \cdot k_0} \cdot B_1; \quad \bar{u}_{te} = \frac{Z\Gamma_F}{4\pi \cdot r} \cdot (1 + B_1) \quad (6.24)$$

burada,

$$B_{1,2} = \left(\frac{1+y_0^2}{1+y^2} \right)^{0.25} \cdot \left[\frac{1}{e^{Z \cdot A_{1,2}} - 1} \pm \frac{1}{2Z} \cdot \frac{y_0^2}{(1+y_0^2)^{1.5}} \cdot \log_e \left(1 + \frac{1}{e^{Z \cdot A_{1,2}} - 1} \right) \right] \quad (6.25)$$

ve

$$A_{1,2} = \pm (\sqrt{(1+y^2)} - \sqrt{(1+y_0^2)}) \pm \frac{1}{2} \cdot \log_e \frac{(\sqrt{(1+y_0^2)} - 1) \cdot (\sqrt{(1+y^2)} + 1)}{(\sqrt{(1+y_0^2)} + 1) \cdot (\sqrt{(1+y^2)} - 1)} \quad (6.26)$$

dir. Buradaki,

$$y_0 = \frac{1}{\tan \beta_{i0}} \text{ ve } y = \frac{x}{x_0 \cdot \tan \beta_{i0}} \quad (6.27)$$

dir.

Ancak $r = r_0$ iken indüklenmiş hız bileşenleri sonsuz bir değere meyleder. Lerbs (1952) bu problemi çözmek için, (r_0) yarıçapında helisel bir serbest girdap hattı tarafından indüklenmiş hızın, aynı yarıçapta şaft eksenine paralel bir yarı-sonsuz düz girdap hattı tarafından indüklenmiş hıza oranını boyutsuz bir parametre olarak indüksiyon faktörü diye tarif etti.

Pervane diski içerisindeki (r_0) yarıçapında düz bir girdap hattı tarafından yine pervane diski içerisindeki bir (r) yarıçapında meydana getirilen eksenel ve teğetsel indüklenmiş hızlar,

$$u_{a,t} = \frac{\Gamma_F}{4\pi(r-r_0)} \quad (6.28)$$

olarak verilir, (Carlton, 1994).

Eksenel ve teğetsel yöndeki indüklenmiş hızlar için indüksiyon faktörleri aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$I_a = 4\pi.(r - r_0). \frac{\bar{u}_a}{\Gamma_F}; \quad I_t = 4\pi.(r - r_0). \frac{\bar{u}_t}{\Gamma_F} \quad (6.29)$$

Burada $(r \rightarrow r_0)$ giderken yarı-sonsuz düz girdap hattı ve düzgün helisel girdap hattının indükledikleri hızların eğilimi aynı olduğu için hiçbir zaman indüksiyon faktörleri sonsuz olmaz, sınırlı kalır.

Denklem 6.23 ve 6.24'te verilen teğetsel ve eksenel indüklenmiş hızlar için de indüksiyon faktörlerini yazacak olursak,

Eksenel indüksiyon faktörleri:

$$I_{ai} = \frac{Zx}{x_0 \cdot \tan \beta_{i0}} \cdot \left(\frac{x_0}{x} - 1\right) \cdot (1 + B_2) \quad (6.30)$$

$$I_{ae} = -\frac{Zx}{x_0 \cdot \tan \beta_{i0}} \cdot \left(\frac{x_0}{x} - 1\right) \cdot B_1$$

Teğetsel indüksiyon faktörleri:

$$I_{ti} = Z \cdot \left(\frac{x_0}{x} - 1\right) \cdot B_2 \quad (6.31)$$

$$I_{te} = -Z \cdot \left(\frac{x_0}{x} - 1\right) \cdot (1 + B_1)$$

Buradaki i ve e, nominal x_0 değerine göre çapların sırasıyla içerdeki ve dışardaki durumlarını gösterir.

Denklem 6.31'de ifade edilen indüksiyon faktörleri, boyutsuz x_0 yarıçapındaki Z tane serbest helisel girdabın, yine boyutsuz x yarıçapındaki pervane düzlemi içinde bir noktada indüksiyonunu tarif eder. Serbest girdapların

indüklediği hızlardan başka pervane düzlemi içerisinde bağlı girdapların sebep olduğu indüklenmiş hızlar da vardır. Ancak üniform akım durumunda ve kanatlar simetrik olarak yerleştirilmiş ise bu indüklenmiş hızların etkisi ihmal edilebilir.

Yukardaki denklemlerden görülebileceği gibi indüksiyon faktörleri sirkülasyona bağlı değildir, ancak akım geometrisinin basit bir fonksiyonudur.

Bu modelde pervane göbeği r_h yarıçapında sonsuz uzun bir silindir olarak temsil edildi. Bu durumda kanat köklerindeki sirkülasyonun tarifi gerekmektedir.

Kanat köklerindeki sirkülasyon problemi ise, birbirine yakın olan kanatlar için ispat edilebilir ki, kanatlardan birinin yüzünde olan basınç diğer kanadın sırtında olan emmeye eşitlenmeye meyleder. Yani, kanat köklerindeki sirkülasyon değeri sıfır kabul edilebilir.

Denklem 6.31 bir pervanenin verilen bir yarıçapta herbir kanadından meydana gelen tekil bir girdap hattının oluşturacağı etkiyi gösterir. Bu bağıntıları genelleştirmek için, pervanenin ürettiği tüm serbest girdapların meydana getirdiği indüklenmiş hızların toplanılması gerekir. Örnek olarak teğetsel bileşen için denklem aşağıdaki gibi olur:

$$u_t(r) = \int_{r_h}^R \bar{u}_t(\bar{r}_0) \cdot d\bar{r}_0 \quad (6.32)$$

Bu denklem Denklem 6.18 ve Denklem 6.29 ile beraber düşünülürse aşağıdaki gibi olur

$$\frac{u_t}{V_s} = \frac{1}{2} \cdot \int_{x_h}^{1.0} \left(\frac{dG}{dx_0} \right) \cdot \frac{i_t}{(x - x_0)} \cdot dx_0 \quad (6.33)$$

Burada, $G = \frac{\Gamma}{\pi.D.V_s}$ buyutsuz sirkülasyon katsayısıdır.

Pervane probleminin çözümünde kolaylık sağlaması için lifting line üzerinde bir ϕ açısal koordinatını tanımlamak gerekir. Lifting line üzerindeki bir radyal koordinatın açısal olarak temsiline imkan sağlayan bağıntı aşağıdaki gibidir:

$$x = 0.5[(1 + x_h) - (1 - x_h) \cdot \cos \phi] \quad (6.34)$$

Burada x , boyutsuz radyal koordinat; x_h , buyutsuz pervane göbek yarıçapı; ϕ de, 0° 'den 180° 'ye kadar değişken açısal koordinattır.

$G(x)$ sirkülasyon dağılımı ekser pervaneler için süreklidir. $G(x)$ 'in süreksiz olduğu pervaneler ayrıca ele alınmalı ve o pervanelerde göbek sınırı ve kanat ucundaki sirkülasyon değerleri de hesaba katılmalıdır. Sirkülasyon dağılımı ekser pervanelerde sürekli olduğu için bir Fourier serisi ile temsil edilebilir:

$$G(x) = \sum_{m=1}^{\infty} G_m \cdot \sin(m \cdot \phi) \quad (6.35)$$

Ek olarak, indüksiyon faktörleri de ϕ ve ϕ_0 'ın bağılısı olarak bir Fourier serisi ile temsil edilebilir:

$$I(\phi, \phi_0) = \sum_{n=0}^{\infty} I_n(\phi) \cdot \cos(n\phi_0) \quad (6.36)$$

Yukardaki ifadeler birleştirilerek indüklenmiş teğetsel ve eksenel hızlar ϕ açısal koordinatında yazılabilecektir:

$$\frac{u_a}{V_s} = \frac{1}{1-x_h} \cdot \sum_{m=1}^{\infty} m \cdot G_m \cdot h_m^a(\phi) \quad (6.37)$$

$$\frac{u_t}{V_s} = \frac{1}{1-x_h} \cdot \sum_{m=1}^{\infty} m \cdot G_m \cdot h_m^t(\phi)$$

Burada;

$$h_m^a(\phi) = \frac{\pi}{\sin \phi} \cdot \left[\sin(m \cdot \phi) \cdot \sum_{n=0}^m I_n^a(\phi) \cdot \cos(n\phi) + \cos(m \cdot \phi) \cdot \sum_{n=m+1}^{\infty} I_n^a(\phi) \cdot \sin(n\phi) \right]$$

ve

$$h_m^t(\phi) = \frac{\pi}{\sin \phi} \cdot \left[\sin(m \cdot \phi) \cdot \sum_{n=0}^m I_n^t(\phi) \cdot \cos(n\phi) + \cos(m \cdot \phi) \cdot \sum_{n=m+1}^{\infty} I_n^t(\phi) \cdot \sin(n\phi) \right]$$

dir. Burada $\phi = 0^\circ$ ve 180° iken fonksiyonların sonsuz olduğuna dikkat edilmelidir, (Carlton, 1994).

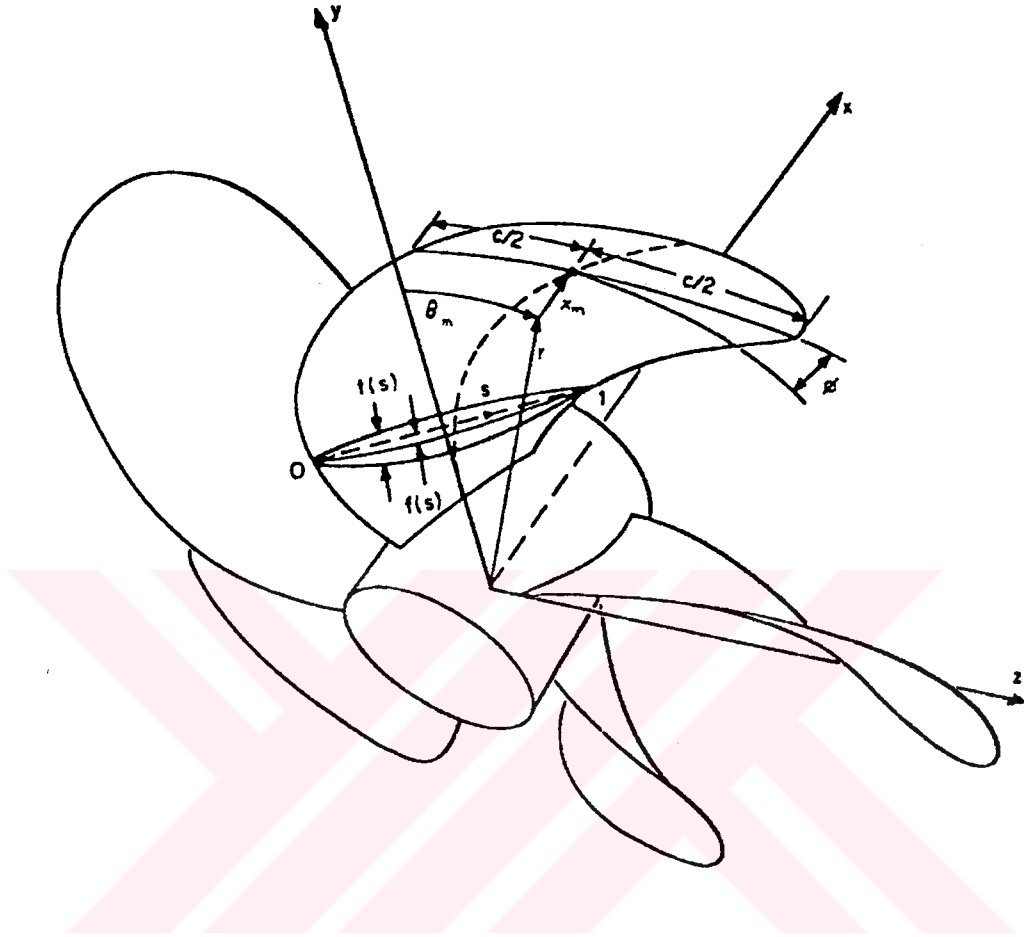
1' Hopital kuralından fonksiyonların sınırları aşağıdaki gibi olur:

$$h_m^{a,t}(0) = \pi \left[m \cdot \sum_{n=0}^m I_n^{a,t}(0) + \sum_{n=m+1}^{\infty} n I_n^{a,t}(0) \right]$$

$$h_m^{a,t}(180) = -\pi \cdot \cos(m\pi) \left[m \sum_{n=0}^m I_n^{a,t}(180) \cdot \cos(n\pi) + \sum_{n=m+1}^{\infty} n \cdot I_n^{a,t}(180) \cdot \cos(n\pi) \right]$$

Bu denklemler, indüklenmiş hız bileşenleri ile sirkülasyon dağılımı ve indüksiyon faktörleri arasındaki ilişkiyi ortaya koyarlar.

6.2. Kaldırıcı Yüzey (Lifting Surface) Dizayn Metodu



Şekil 6.9. Kanat Geometrisi

Şekil 6.9 lifting surface modelin temelini ifade eder. Lifting surface modelde kanat, sehim (camber) hattının şeklinde ve sonsuz ince bir yüzey olarak düşünülür. Kanat üzerinde radyal ve kort yönünde girdap dağılımları yerleştirilir. Önceleri girdap dağılımları sadece sehim hattı boyunca yerleştirilerek lifting line probleminden elde edilen ve radyal olarak değişken olan bağlı sirkülasyon bu şekilde dağıtılarak kanat temsil ediliyorken, daha sonraları ise kanat kortları üzerinde bu girdapların yerine kaynak-kuyu

dağılımları yerleştirildi. Böylece hem kanat etrafında meydana gelen bağlı sirkülasyon ve hem de kanat kalınlıkları temsil edilmiş oldu.

Lifting surface modeller hem dizayn ve hem de analiz probleminin çözümünde kullanılırlar. Dizayn probleminde kanat geometrisi, radyal olarak kort, rake, skew ve kesit kalınlık dağılımları bilindiği ölçüde sadece kısmen bilinir. Piçin radyal, sehim hattının ise hem radyal ve hem de kort yönündeki dağılımlarının tayin edilmesi gerekir. Dizayn probleminin çözümünde herhangi bir noktadaki indüklenmiş hızların hesabının mümkün olabilmesi için kanatları ve onların izlerini temsil eden girdap dağılımlarının uygun referans yüzeylerinde yerleştirilmeleri gerekir.

Analiz probleminde ise durum dizayn probleminden daha farklıdır. Çünkü, pervane geometrisi tamamen bilinmektedir ve tayin edilmesi gereken, belli bir ilerleme ve dönme hızında çalışan pervane tarafından meydana getirilen iz alanıdır. Analizin tatbiki iki kısma ayrılır: Düzenli ve düzensiz akım durumundaki çözümler. Düzenli akım durumunda denklemler dizayn problemindeki ile aynı şekilde kullanılırlar. Dizayn probleminden bilinen bir sirkülasyon dağılımı tarafından indüklenen hızı veren tek katlı integral bu analiz probleminde bir integral denklem olur. Bu denklem nümerik olarak çözülür, (Carlton, 1994).

Düzensiz pervane akımları durumunda ise çözüm, kanat izinde shed girdapların bulunmasından dolayı biraz daha karmaşıktır.

Lifting surface metoduna ait formülasyonlar ve ayrıntılar Kerwin and Lee (1978), ve Kerwin and Leopold (1964)'ten bulunabilir.

BÖLÜM 7

Dizayn Uygulaması

Bu kısımda Bölüm 6'da anlatılan ve formülasyonu verilen lifting line ve lifting surface teorilerine uygun olarak geliştirilen dizayn prosedürü kullanılarak pervane dizaynı ve analizi gerçekleştirilecek ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılacaktır. Uygulamada iki ayrı bilgisayar programı kullanılmıştır. Her iki program da Fortran 77 Bilgisayar Programlama Dili'nde yazılmış olup, lifting surface programı M.I.T'de geliştirilmiştir. Genel olarak, Bölüm 6'da anlatılan Lerbs (1952)'in indüksiyon faktörü yöntemi kullanılarak geliştirilen lifting line dizayn programının çalıştırılmasından elde edilen datalar Kerwin (1982) tarafından ortaya konulan lifting surface teorisi (vortex lattice method) kullanılarak geliştirilen PB10 programı ile pervane dizayn edilecektir. Lifting line dizayn programının akış şeması Şekil 7.1 ve lifting surface dizayn programının akış şeması Şekil 7.2'de verilmiştir.

Her iki uygulamada pervanenin sınırsız, viskoz olmayan bir akışkan içerisinde çalıştığı ve serbest yüzey etkilerinden uzak olduğu kabul edilmiştir. Ayrıca pervane-ge0mi etkileşiminden oluşan etkiler ve pervane arkasındaki iz deformasyonu lifting line hesabında ihmal edilmiştir. Her iki teori de hafif ve orta yüklü pervaneler için olumlu sonuç vermektedir.

Lerbs (1952)'in lifting line indüksiyon faktörü metoduna göre geliştirilen dizayn programı için gerekli giriş dataları aşağıdaki gibi verilebilir:

- Gemi hızı, V_s (knot)
- Pervaneye gelen güç, P_D (kw)
- Pervane devir sayısı, N (d/d)
- Pervane kanat sayısı, Z

- Pervane çapı, D (m)
- İz dağılımı, $(I-w)$
- Kanat alan oranı (BAR)

Pervane çapı D , $Bp-\delta$ diyagramlarından bulunur. İz dağılımı ya deneysel sonuçlardan veya Güner (1994)' de verilen yöntemle bulunabilir. Dizayn edilen pervane aşağıda verilen gerekli tork katsayısı K_Q değerini sağlamalıdır:

$$K_{Q_0} = \frac{33.55P_D}{\left[\frac{ND}{10}\right]^3 \cdot D^2} \quad (7.1)$$

Denklem 6.29'da verilen indüksiyon faktörlerinin hesap edilebilmesi için öncelikle pervanenin neden olduğu serbest girdap tabakalarının her bir kesitteki piç açılarının tayin edilmesi gerekir. Bu da aşağıda bahsedileceği gibi pervane arkasındaki serbest girdap tabakalarının Burrill (1955-56)' in minimum enerji kaybı şartını sağlayacak şekilde iterasyon yöntemi ile bulunur.

Lifting line üzerindeki bağlı sirkülasyon dağılımı, 9 adet radyal koordinattaki girdap değerleri kullanılarak bilinmeyen A_n katsayılarının bağlısı olarak bir Fourier sinüs serisi ile ifade edilir. Seri normalde sonsuz elemanlı iken ilk dört beş terimden sonrasının değeri çok düşük olması sebebiyle ihmal edilebilir. Ancak bu uygulamalarda radyal koordinat sayısı olan ilk 9 terim hesaba katıldı. Bilinmeyen bağlı sirkülasyonun bağlısı olarak 9 yarıçapta pervane arkasındaki serbest girdap tabakalarının sebep olduğu indüklenmiş hızlar Biot-Savart kanunu uygulanarak yazıldı. Aynı zamanda bu indüklenmiş hızların hesabında kullanılan indüksiyon faktörleri de her bir yarı çapta ifade edildi. Oluşturulan bu denklem takımları Burrill (1955-56)' in minimum enerji kaybı şartı kullanılarak çözüldü. Bu şart aşağıdaki gibi verilebilir:

$$x_i \cdot \pi \cdot \tan \varepsilon_i = \text{sabit} \quad (7.2)$$

Burada ε_i , sonsuzdaki piç açısıdır.

Yani, pervanenin her kesitinden oluşan serbest girdap tabakalarının piçinin pervanenin çok gerisinde sabit kalması gerekir. Bu şart sağlanırsa pervane kanadı üzerindeki optimum sirkülasyon ve yük dağılımı sağlanmış, aynı zamanda da suya bırakılan enerji minimum, pervaneden elde edilecek itme ise maksimum yapılmış olur. Uygulamada kanat dibinde ve kanat ucundaki sirkülasyon değeri sıfır kabul edilmiştir, (Güner, 1994).

Herbir radyal koordinattaki pervane karakteristikleri aşağıdaki formüllerle hesaplanmıştır:

Hidrodinamik piç açısı,

$$\beta_i = \tan^{-1} \frac{V_a + u_a}{\pi \cdot x_i \cdot n \cdot D - u_t} \quad (7.3)$$

İtme katsayısı,

$$\left(\frac{K_T}{dx} \right)_i = \frac{\left(\frac{c \cdot c_l}{D} \right)_i \cdot \left[\frac{\pi x}{J} - u_{ti} \right]^2 \cdot J^2 \left(1 - \frac{C_D}{C_L} \cdot \tan \beta_i \right)}{4 \cos \beta_i} \quad (7.4)$$

Tork katsayısı,

$$\left(\frac{K_Q}{dx} \right)_i = \frac{x_i \cdot \left(\frac{c \cdot c_l}{D} \right)_i \cdot [(1 - w_i) + u_{ai}]^2 \cdot J^2 \left(1 - \frac{C_D}{C_L} \cdot \tan \beta_i \right)}{8 \sin \beta_i} \quad (7.5)$$

Yukardaki denklemlerle elde edilen her bir çaptaki pervane karakteristikleri çap boyunca integrasyon uygulanarak pervaneye ait toplam değerler elde edilir, (Güner, 1994). Diğer pervane karakteristikleri EK1'de verilmiştir.

Pervane kort genişlikleri $c(x)$ ise aşağıdaki formülden hesaplanmıştır:

$$\frac{c(x)}{D} = \frac{c'(x)}{Z} \cdot BAR \quad (7.6)$$

Burada BAR , pervane kanat alan oranı; $c'(x)$ ise her bir kanat kesiti için aşağıdaki tabloda verilmiştir:

$x=r/R$	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	0.95	1.0
$c'(x)$	1.633	1.808	1.964	2.096	2.192	2.232	2.171	1.893	1.536	0.000

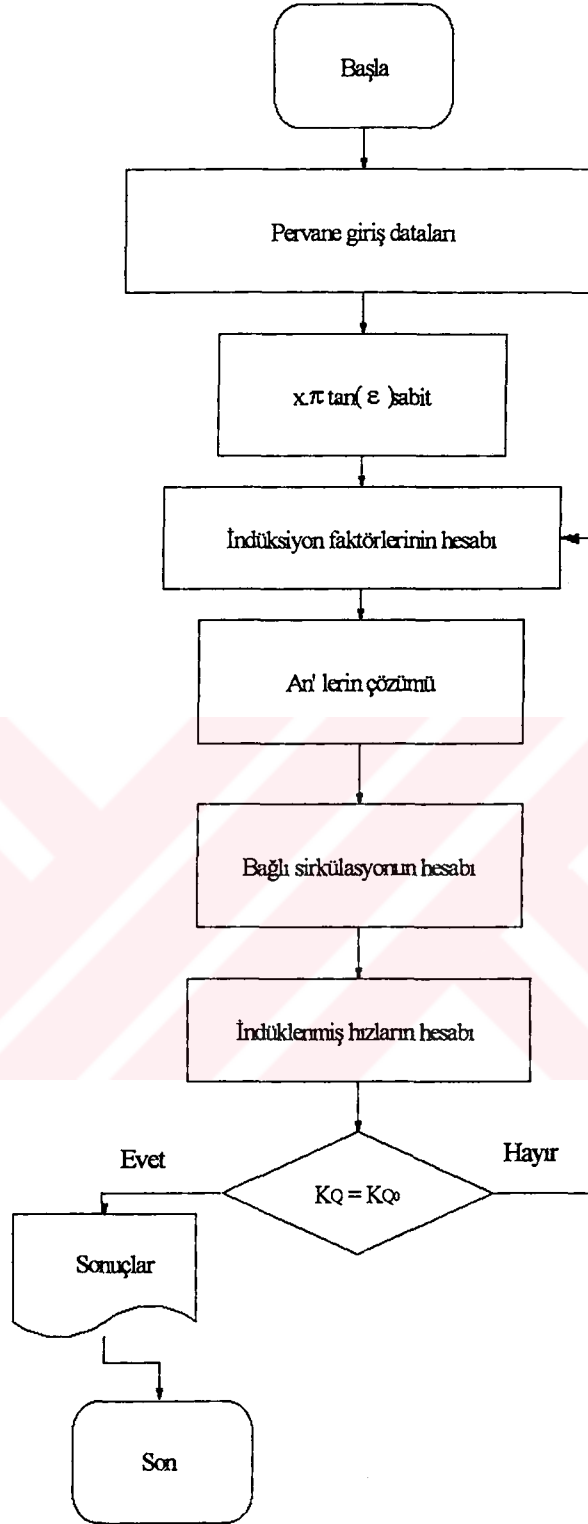
Her bir kesitteki direnç katsayıları ise aşağıdaki formülden hesaplanır:

$$c_D(x) = 2 \left(1 + 2 \frac{t(x)}{c(x)} \right) \cdot \left[1.89 + 1.62 \log \left(\frac{c(x)}{30 \cdot 10^{-6}} \right) \right]^{-2.5} \quad (7.7)$$

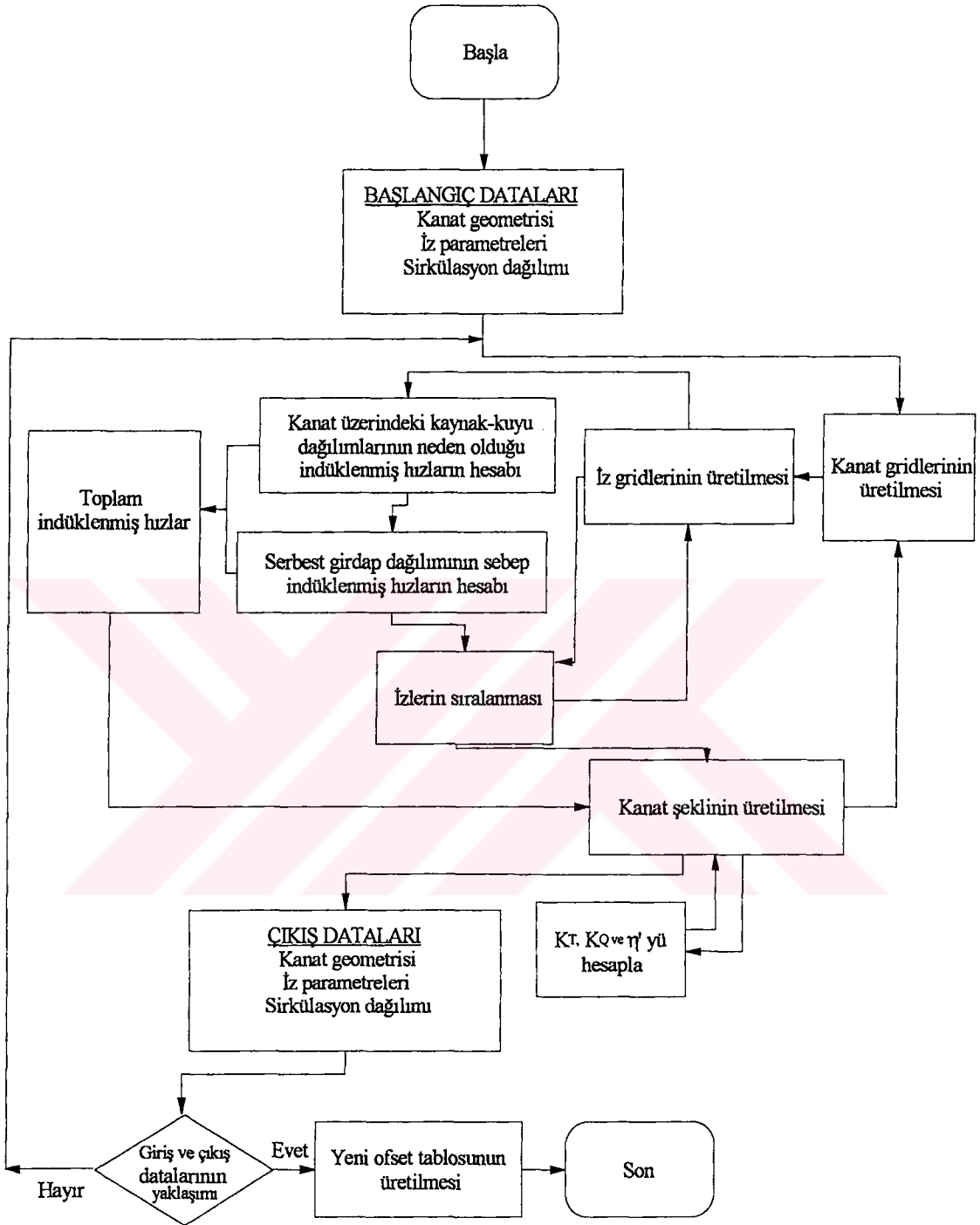
Yukardaki formülde kullanılan maksimum kanat kesiti kalınlıkları, $t(x)$, aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$\frac{t(x)}{D} = (BTF - 0.003) \cdot (1 - x) + 0.003 \quad (7.8)$$

Burada BTF , kanat kalınlık fraksiyonudur, (Güner ve Atlar, 1994).



Şekil 7.1. Lifting Line Dizayn Prosedürünün Akış Şeması

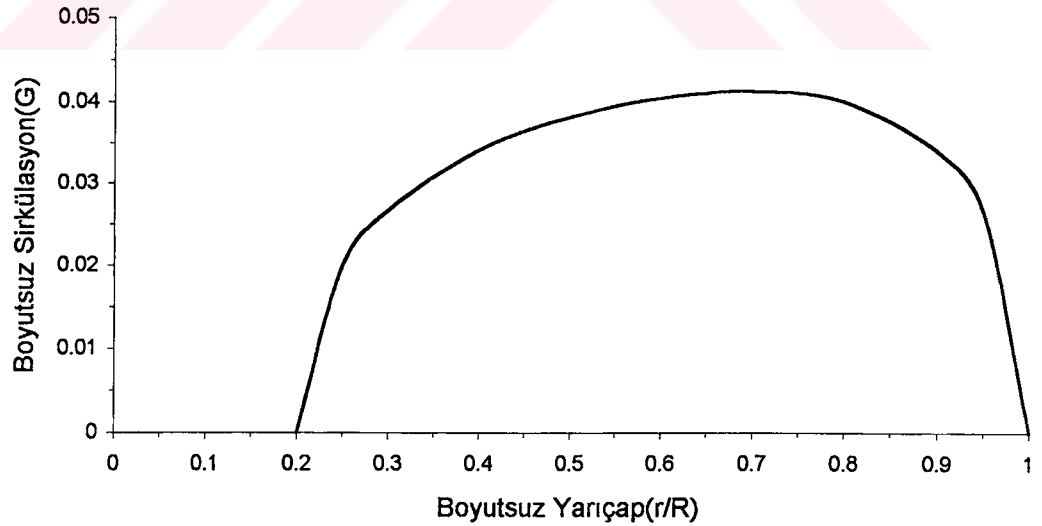


Şekil 7.2. Lifting Surface Dizayn Prosedürünün Akış Şeması

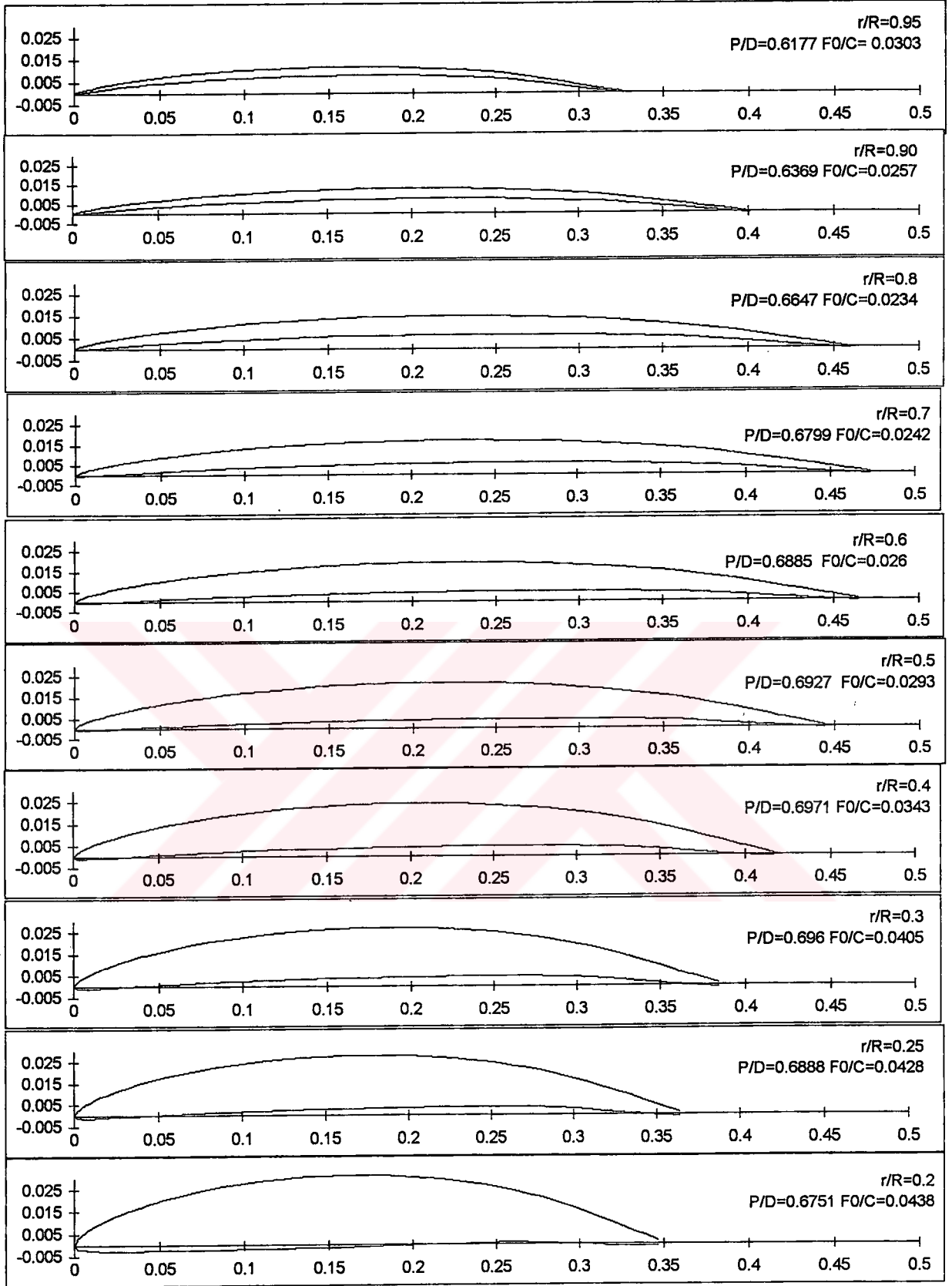
UYGULAMA 1.

- Gemi hızı, $V_s = 9.6$ (*knot*)
- Pervaneye gelen güç, $P_D = 143.093$ (*kw*)
- Pervane devir sayısı, $N = 296$ (*d/d*)
- Pervane kanat sayısı, $Z = 4$
- Pervane çapı, $D = 1.544$ (*m*)
- İz dağılımı, $(I-w) = 0.4733$
- Kanat alan oranı (BAR) = 0.55

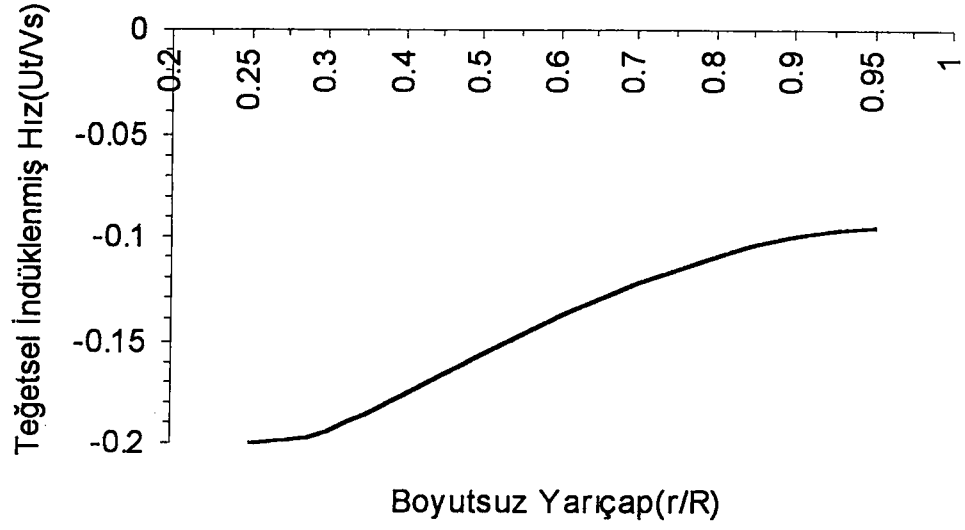
Önce lifting line programı çalıştırılarak elde edilen 9 yarıçapta radyal sirkülasyon katsayıları, maksimum radyal kort dağılımı, maksimum camber dağılımı ve maksimum kalınlık dağılımı lifting surface programında giriş datası olarak kullanıldı ve bu program çalıştırılarak Şekil 7.4'de verilen pervane kanat kesitleri elde edildi. (Pervane kesitlerinin ofset değerleri EK4'de verilmiştir.) Bununla beraber pervane karakteristiklerinin radyal dağılımları aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir.



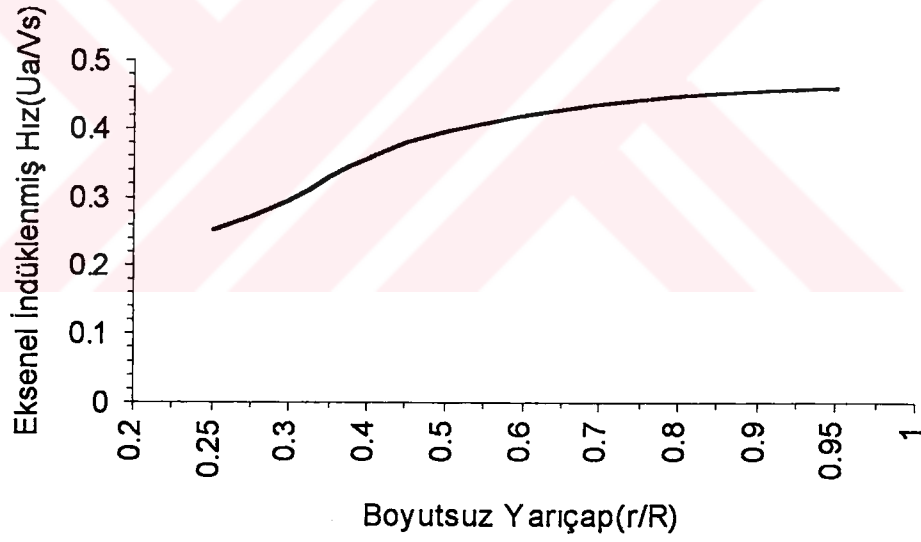
Şekil 7.3. Sirkülasyon Dağılımı (Uygulama1)



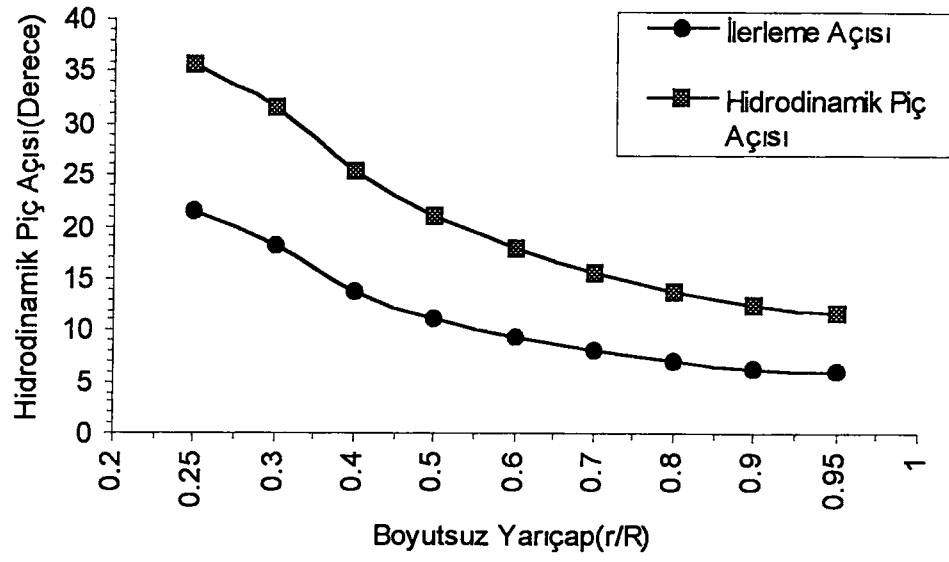
Şekil 7.4. Pervane Kanat Kesitleri (Uygulama1)
(Kesitlerde NACA66(MOD) $a=0.8$ mean line Profili Kullanıldı)



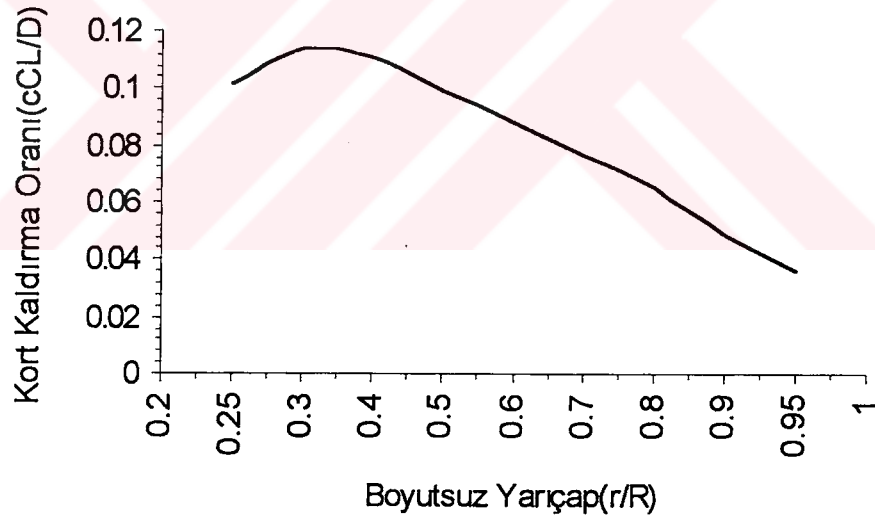
Şekil 7.5 Teğetsel İndüklenmiş Hızların Değişimi (Uygulama1)



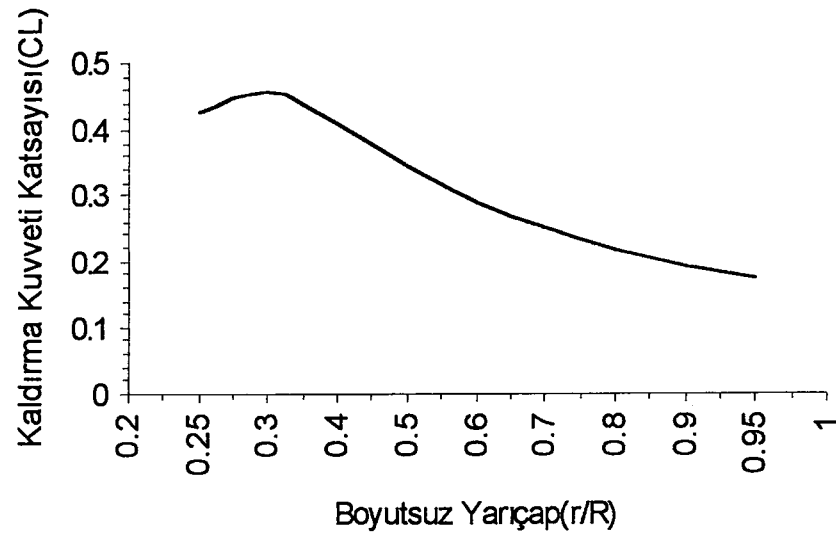
Şekil 7.6. Eksenel İndüklenmiş Hızların Değişimi (Uygulama1)



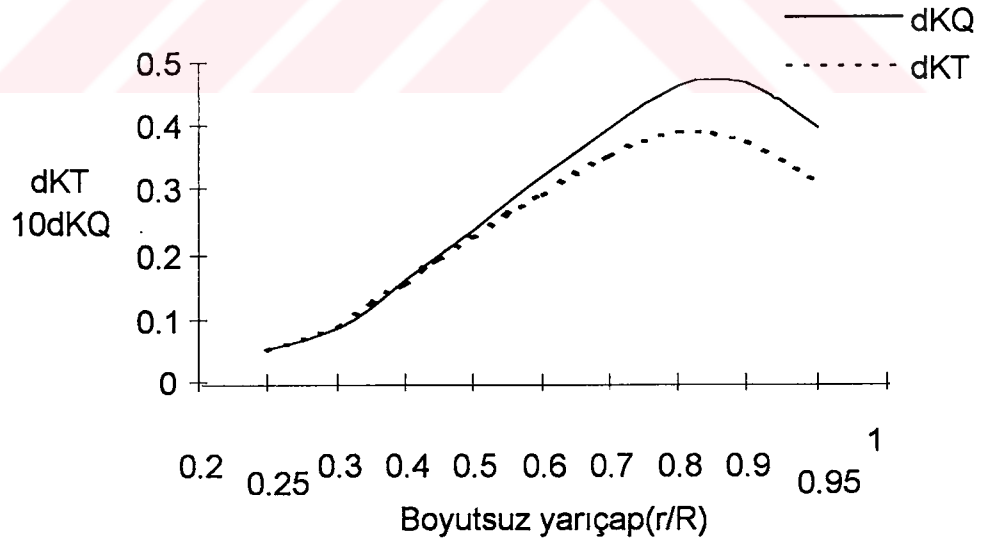
Şekil 7.7. Hidrodinamik Piç Açısı (Uygulama1)



Şekil 7.8. Kort Kaldırma Oranı (Uygulama1)



Şekil 7.9. Kaldırma Kuvveti Katsayısı (Uygulama1)



Şekil 7.10. Kanat Yarıçapı Boyunca dK_T ve dK_Q 'nin Değişimi
UYGULAMA1

Tablo 7.1'de lifting line ve lifting surface prosedürlerinden elde edilen dizayn sonuçlarının karşılaştırılması verilmiştir.

Tablo 7.1. Dizayn Sonuçlarının Karşılaştırılması

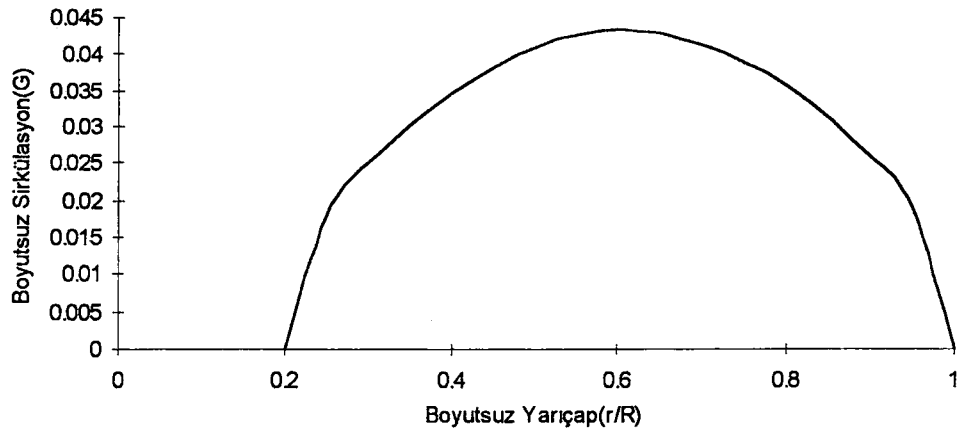
	Lifting line	Lifting surface
K_T	0.19843	0.199
K_Q	0.02245	0.0225
η	0.432	0.433

UYGULAMA 2.

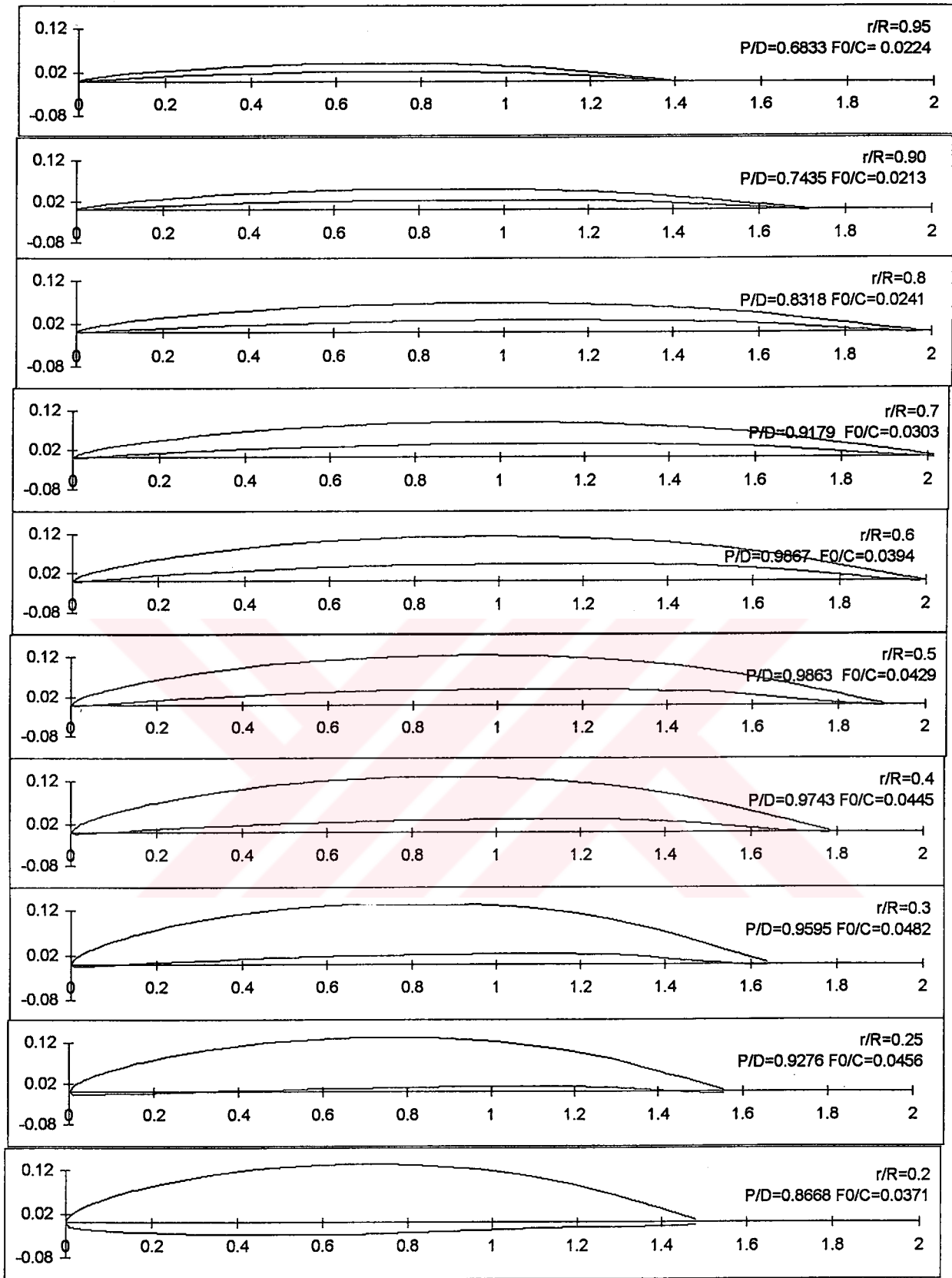
- Gemi hızı, $V_s = 19.6 \text{ knot}$
- Pervaneye gelen güç, $P_D = 28540 \text{ kw}$
- Pervane devir sayısı, $N = 105 \text{ d/d}$
- Pervane kanat sayısı, $Z = 5$
- Pervane çapı, $D = 7.56 \text{ m}$
- Kanat alan oranı (BAR) = 0.60
- İz dağılımı ($I-w$),

x	0.2	0.25	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90	0.95	1.00
$1-w$	0.63	0.60	0.55	0.46	0.40	0.39	0.50	0.66	0.82	0.89	0.95

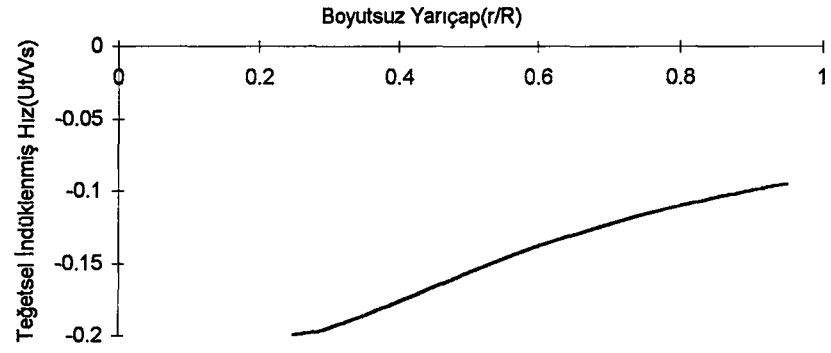
Şekil 7.12'de lifting surface programının çalıştırılması ile elde edilen Uygulama-2'deki pervanenin kanat kesitleri verilmiştir (EK4'de kanat kesitlerinin çizim ayrıntıları ve ofset değerleri verilmiştir). Kanat profili olarak NACA66 (MOD) kullanılmıştır, (Lewis,1988). Uygulama-2'ye ait pervane karakteristik dağılımları aşağıdaki şekillerde verilmiştir.



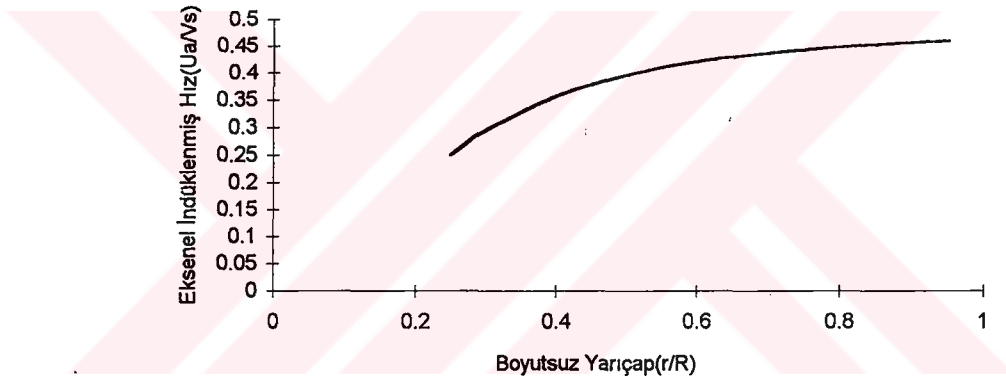
Şekil 7.11. Sirkülasyon Dağılımı (Uygulama2)



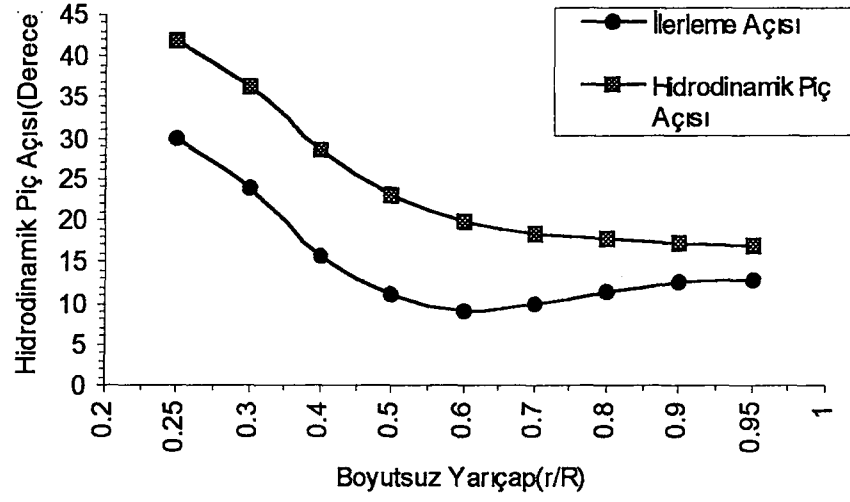
Şekil 7.12. Pervane Kanat Kesitleri (Uygulama2)
(Kesitlerde NACA66(MOD) $a=0.8$ mean line Profili Kullanıldı)



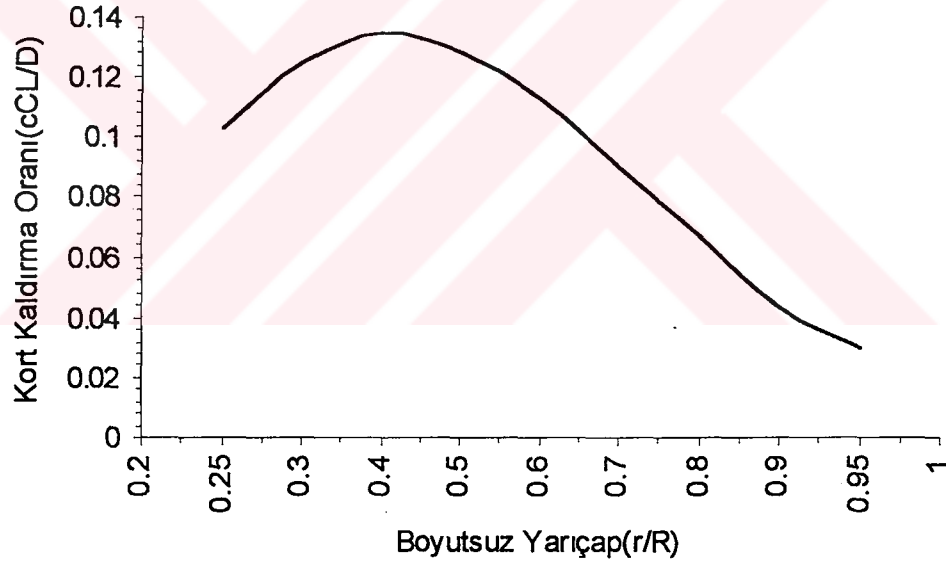
Şekil 7.13. Teğetsel İndüklenmiş Hızların Değişimi (Uygulama2)



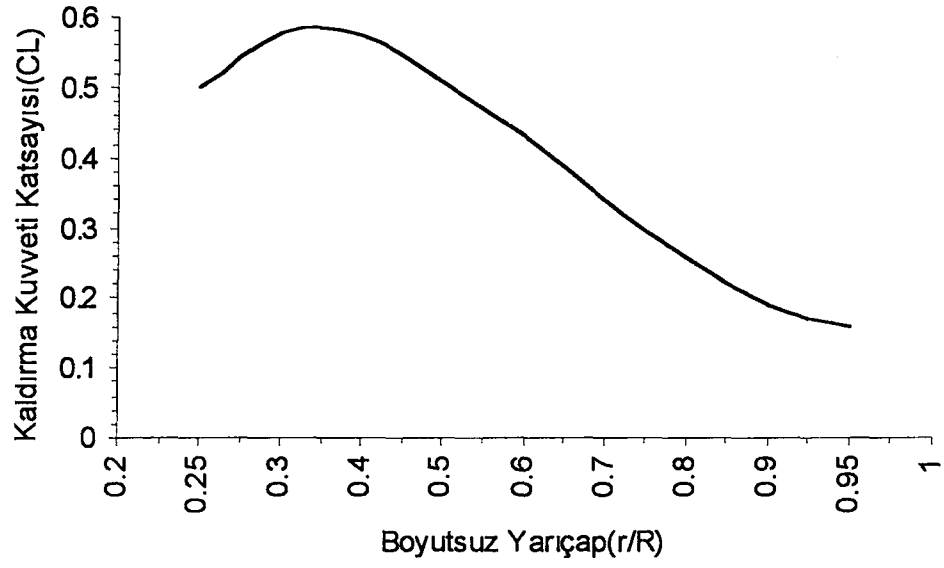
Şekil 7.14. Eksenel İndüklenmiş Hızların Değişimi (Uygulama2)



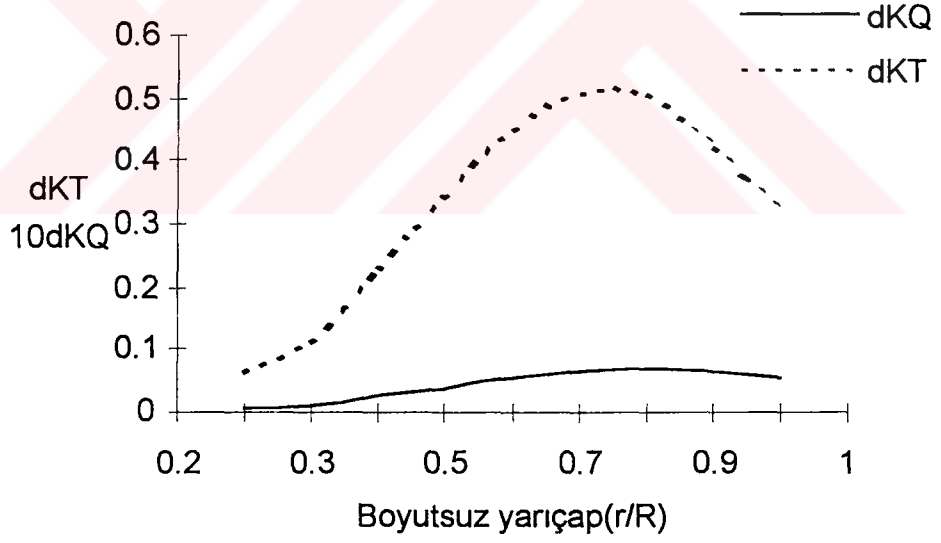
Şekil 7.15. Hidrodinamik Piç Açısı (Uygulama2)



Şekil 7.16. Kort Kaldırma Oranı (Uygulama2)



Şekil 7.17. Kaldırma Kuvveti Katsayısı (Uygulama2)



Şekil 7.18. Kanat Yarıçapı Boyunca dK_T ve dK_Q 'nin Değişimi
UYGULAMA2

Tablo 7.2'de Uygulama2'ye ait lifting line ve lifting surface prosedürlerinden elde edilen dizayn sonuçları verilmiştir.

Tablo 7.2. Dizayn Sonuçlarının Karşılaştırılması

	Lifting line	Lifting surface
K_T	0.267	0.272
K_Q	0.0346	0.0346
η	0.573	0.581

BÖLÜM 8

SONUÇLAR

Pervane dizaynında bilgisayarın gelişmesi ve yaygın kullanılması ile bazı gelişmeler meydana gelmiştir. Bilgisayar teknolojisinin gelişmesi, pervanenin nümerik yöntemlerle dizaynındaki gelişmeyi hızlandırmıştır. Pervane dizayn yöntemleri, yaklaşık 100 yıl önce ortaya konulan basit momentum teorisinden, oldukça kompleks olan fakat, nümerik çözüm teknikleri ve gelişen bilgisayar teknolojisinin kullanılmasıyla ancak çözümlenebilen lifting surface ve üç boyutlu panel metodlarına kadar gelişmiştir.

Bu çalışmada, Lerbs (1952)'in indüksiyon faktörüne dayalı lifting line metodu formülasyonları ile beraber anlatılmış ve bu metod esas alınarak geliştirilen bilgisayar programı ile iki ayrı örnek pervane dizayn edilmiştir. Ancak, bilgisayar programında, Burrill (1955-56)'in minimum enerji kaybı şartı kullanılarak denklemler çözülmüş, optimum radyal sirkülasyon dağılımı ve her kesitteki piç açıları bulunmuştur. Bu prosedürde, serbest yüzey etkileri ve pervane arkasındaki akım deformasyonu ihmal edilerek, pervanenin sınırsız sıvı içerisinde çalıştığı ve gemi-pervane etkileşiminin olmadığı kabul edilmiştir. Pervane göbeği bu metotda, sonsuz bir silindir ile temsil edilmiştir. Ayrıca, iz dağılımı 9 yarıçapta hesaba katılmıştır.

Lifting line hesabından elde edilen 9 yarıçaptaki sirkülasyon katsayıları, piç oranları, rake oranları, skewler, kort oranları, maksimum sehim (camber) oranları, maksimum kalınlık oranları ve iz katsayıları M.I.T'de geliştirilen lifting surface programında kullanılmak sureti ile yeni pervane dizayn edilmiştir. Bu programda giriş datası olarak kullanılan lifting line program çıktıları esas alınarak, kort üzerine dağıtılan kaynak-kuyular ile kanatların kalınlık etkileri de hesaba katılmak suretiyle pervaneye en uygun geometri verilmiştir.

Bu çalışmada ortaya konulan dizayn prosedürü ile daha gerçekçi bir pervane dizayn edilmektedir. Lifting line ve lifting surface metodlarının uygulanmasından elde edilen sonuçlar birbirine yakın çıkmıştır. Daha ileride yapılması düşünölen çalışmalarda ise, geliştirilecek yeni kanat eleman şekilleri ile pervane veriminin daha da artırılması amaçlanmaktadır. Ayrıca, geliştirilen bu prosedürün kullanımı daha da kolaylaştırılarak, hem akademik ve hem de ticari kullanıcılara sunulması düşünölmektedir.



KAYNAKLAR

Anderson, P., 1976."Lifting Line Theory and Calculation for Supercavitating Propellers", ISP

Baykal, M.A. ve Güner, M., 1996."Gemi Sevki",D.H.O., İstanbul

Burrill, L.C., 1943-44."Calculation of Marine Propeller Performance Characteristics", Trans. N.E.C.I.E.S. Vol.60

Burrill, L.C., 1955-56."The Optimum Diameter of Marine Propellers", Trans. N.E.C.I.E.S. Vol.72

Carlton, J.S.,1994."Marine Propellers and Propulsion", Butterworth-Heinemann Ltd., Oxford, England

Cumming, D.E., July, 1976."The Effect of Propeller Wake Deformation on Propeller Design", ISP

Eckhart, M.K. and Morgan, W.B.,1955."A Propeller Design Method", Trans. SNAME, Vol.63

Froude,R.E., 1889."On the Part Played in the Operation of Propulsion by Differences in Fluid Pressure", Trans. I.N.A., Vol.30

Glover, E.J., 1973."A Design Method for the Heavily Loaded Marine Propellers",Trans. RINA, Vol.116: p.p.111-124

Güner, M. ve Atlar, M., 1994."Pervane/Stator Sevk Sistemi", Gemi ve Deniz Teknolojisi, Sayı:2-5

Güner, M., 1994."A Rational Approach to the Design of Propulsors behind Axisymmetric Bodies", PhD Thesis, University of Newcastle upon Tyne

Kafalı, K., 1982."Gemi Formunun Statik ve Dinamik Esasları", İTÜ,İstanbul

Kerwin, J. E., 1959."Machine Computation of Marine Propeller Characteristics", ISP, Vol.6, No.60

Kerwin, J. E. and Leopold, R., 1964."A Design Theory for Subcavitating Propellers", Trans. SNAME

Kerwin, J. E. and Frydenlund, O., 1977."The Development of Numerical Methods for the Computation of Unsteady Propeller Forces", Symposium on Hydrodynamics of Ship and Offshore Propulsion System, Oslo, Norway; also Norwegian Maritime Research, Vol.5, No.2

Kerwin, J. E., Lee, C. S., 1978."Prediction of Steady and Unsteady Marine Propeller Performance by Numerical Lifting Surface Theory", Trans. SNAME, Vol.86: p.p.218-253

Kerwin, J. E., 1982."Numerical Methods for Propeller Design and Analysis in Steady Flow", Trans. SNAME, Vol.90: p.p.415-453

Kerwin, J. E., Coney, W.B. and Hsin, C.Y., 1988."Hydrodynamic Aspects of Propeller/Stator Design", Propeller'88 Symposium, Virginia, Paper no.3

Lerbs, H. W., 1952."Moderately Loaded Propellers with a Finite Numbers of Blades and an Arbitrary Distribution of Circulation", Trans. SNAME, Vol.60

Lewis, Edward V., 1988."Principles of Naval Architecture", Trans. SNAME, Vol.II

Prandtl, L. and Betz, A.,1927."Vier Abhandlungen zur Hydro-und Aerodynamik", Gottingen

Rankine, W.J.M., 1865."On the Mechanical Principles of the Action of Propellers", Trans. I.N.A., Vol.6

Sabuncu, T., 1983."Gemi Sevki",İTÜ, İstanbul

Schwanecke, H., 1975."Comparative Calculations on Unsteady Propeller Blade Forces ", Report of Propeller Comettee, Fourteenth International Towing Tank Conference

Tsakonas, S., Jacobs, W.R. and Ali, M.R.,1976."Propeller Blade Pressure Distribution Due to Loading and Thickness Effects", Stevens Institute of Technology, Davidson Laboratory Report 76-1869

Tsao, S.K., 1975."Documentation of Programs for the Analysis of Performance and Spindle Torque of Controllable Pitch Propellers", MIT, Department of Ocean Engineering Report 75-8

EK1:**PERVANE KARAKTERİSTİKLERİ**

İlerleme Katsayısı:

$$J = \frac{V_s}{ND}$$

Tork Katsayısı:

$$K_Q = \frac{Q}{\rho \cdot N^2 \cdot D^5}$$

İtme Katsayısı:

$$K_T = \frac{T}{\rho \cdot N^2 \cdot D^4}$$

Yükleme Katsayısı:

$$C_T = \frac{8K_T}{\pi J_s^2 (1 - W_T)^2}$$

Verim:

$$\eta = \frac{J(1 - W_T) \cdot K_T}{2\pi \cdot K_Q}$$

Hidrodinamik Piç Açısı:

$$\beta_i = \tan^{-1} \left(\frac{V_a + u_a}{wr - u_t} \right)$$

EK2:

LİFTİNG LİNE PROGRAM ÇIKTILARI

UYGULAMA1

1 PERVANE DIZAYN PROGRAMI
OPTIMUM KALDIRICI DOGRU TEORISI İLE

GIRIS DATA

0 PD RPM HIZ WT CAP KANAT
0 KW DEV/DAK KNOT METRE

143.1 296.0 9.60 0.527 1.54 4

RADYAN 1-WN KALINLIK KORD DIRENC KAT

0.20	0.4733			
0.25	0.4733	0.050	0.365	0.01208
0.30	0.4733	0.047	0.384	0.01169
0.40	0.4733	0.041	0.417	0.01104
0.50	0.4733	0.035	0.445	0.01053
0.60	0.4733	0.029	0.465	0.01014
0.70	0.4733	0.023	0.474	0.00985
0.80	0.4733	0.017	0.461	0.00969
0.90	0.4733	0.011	0.402	0.00978
0.95	0.4733	0.008	0.326	0.01015
1.00	0.4733			

0 ***** DIZAYN DURUMLARI *****

0 KQ =0.02110
JVS=0.6488

0 ++++++ SONUCLAR ++++++

0 SİRKULASYON KATSAYILARI

0.0428726 -0.0035641 0.0024329 -0.0002049 0.0000745 0.0000147 0.0000273 -0.0000017 0.0000092

RADYAN	BETA	BETAI	VPA	SİRKULASYON	UT/VS	UA/VS	CCL/D	CL	DKQ	DKT
0.25	21.35	35.59	35.59	0.020007	-0.19959	0.25036	0.10111	0.42752	0.00498	0.05241
0.30	18.05	31.42	31.42	0.026712	-0.19478	0.29509	0.11386	0.45795	0.00848	0.08748
0.40	13.73	25.27	25.27	0.034177	-0.17624	0.35771	0.11029	0.40826	0.01588	0.15711
0.50	11.06	21.00	21.00	0.038231	-0.15599	0.39631	0.09900	0.34339	0.02374	0.22633
0.60	9.25	17.91	17.91	0.040496	-0.13799	0.42091	0.08749	0.29019	0.03184	0.29303
0.70	7.95	15.57	15.57	0.041302	-0.12287	0.43726	0.07652	0.24933	0.03974	0.35289
0.80	6.97	13.76	13.76	0.039999	-0.11033	0.44855	0.06486	0.21718	0.04611	0.39376
0.90	6.20	12.32	12.32	0.033911	-0.09989	0.45662	0.04888	0.18780	0.04648	0.37754
0.95	5.87	11.70	11.70	0.026409	-0.09533	0.45982	0.03607	0.17075	0.03984	0.31076

0 XTEPSI KQ KT VERIM

0.3001 0.02245 0.19843 0.432

* PERVANE TORKU(KNM)= 4.92 *
* ITME(KN) = 28.16 *

EK2:

LİFTİNG LINE PROGRAM ÇIKTILARI

UYGULAMA1

1 PERVANE DİZAYN PROGRAMI
OPTIMUM KALDIRICI DOGRU TEORISI İLE

GİRİS DATA
0 PD RPM HIZ WT CAP KANAT
0 KW DEV/DAK KNOT METRE

143.1 296.0 9.60 0.527 1.54 4

RADYAN 1-WN KALINLIK KORD DIRENC KAT

0.20	0.4733			
0.25	0.4733	0.050	0.365	0.01208
0.30	0.4733	0.047	0.384	0.01169
0.40	0.4733	0.041	0.417	0.01104
0.50	0.4733	0.035	0.445	0.01053
0.60	0.4733	0.029	0.465	0.01014
0.70	0.4733	0.023	0.474	0.00985
0.80	0.4733	0.017	0.461	0.00969
0.90	0.4733	0.011	0.402	0.00978
0.95	0.4733	0.008	0.326	0.01015
1.00	0.4733			

0 ***** DİZAYN DURUMLARI *****

0 KQ=0.02110
JVS=0.6488

0 ++++++ SONUCLAR ++++++

0 SİRKULASYON KATSAYILARI

0.0428726 -0.0035641 0.0024329 -0.0002049 0.0000745 0.0000147 0.0000273 -0.0000017 0.0000092

	RADYAN	BETA	BETAI	VPA	SİRKULASYON	UT/VS	UA/VS	CCL/D	CL	DKQ	DKT
0.25	21.35	35.59	35.59	0.020007	-0.19959	0.25036	0.10111	0.42752	0.00498	0.05241	
0.30	18.05	31.42	31.42	0.026712	-0.19478	0.29509	0.11386	0.45795	0.00848	0.08748	
0.40	13.73	25.27	25.27	0.034177	-0.17624	0.35771	0.11029	0.40826	0.01588	0.15711	
0.50	11.06	21.00	21.00	0.038231	-0.15599	0.39631	0.09900	0.34339	0.02374	0.22633	
0.60	9.25	17.91	17.91	0.040496	-0.13799	0.42091	0.08749	0.29019	0.03184	0.29303	
0.70	7.95	15.57	15.57	0.041302	-0.12287	0.43726	0.07652	0.24933	0.03974	0.35289	
0.80	6.97	13.76	13.76	0.039999	-0.11033	0.44855	0.06486	0.21718	0.04611	0.39376	
0.90	6.20	12.32	12.32	0.033911	-0.09989	0.45662	0.04888	0.18780	0.04648	0.37754	
0.95	5.87	11.70	11.70	0.026409	-0.09533	0.45982	0.03607	0.17075	0.03984	0.31076	

0 XTEPSI KQ KT VERİM

0.3001 0.02245 0.19843 0.432

* PERVANE TORKU(KNM)= 4.92 *
* ITME(KN) = 28.16 *

UYGULAMA2

```

1      PERVANE DIZAYN PROGRAMI
      OPTIMUM KALDIRICI DOGRU TEORISI ILE

      GIRIS DATA
0      PD      RPM      HIZ      WT      CAP      KANAT
0      KW      DEV/DAK      KNOT      METRE
      28540.0  105.0  19.60  0.389  7.56  5

0      RADYAN 1-WN KALINLIK KORD DIRENC KAT

      0.20      0.6720
      0.25      0.5950  0.247  1.560  0.00939
      0.30      0.5470  0.232  1.640  0.00906
      0.40      0.4620  0.202  1.782  0.00854
      0.50      0.4000  0.172  1.902  0.00812
      0.60      0.3860  0.142  1.989  0.00780
      0.70      0.5010  0.112  2.025  0.00756
      0.80      0.6570  0.082  1.970  0.00741
      0.90      0.8220  0.053  1.717  0.00744
      0.95      0.8910  0.038  1.394  0.00768
      1.00      0.9470

0      ***** DIZAYN DURUMLARI *****

0      KQ =0.03349
      JVS=0.7626

0      ++++++ SONUCLAR ++++++

0      SIRKULASYON KATSAYILARI

0.0410616 -0.0003996 -0.0016813 -0.0000476 0.0006347 -0.0000313 0.0000720 -0.0000103 0.0001558
RAD. BETA BETAI VPA SIRKULASYON UT/VS UA/VS CL/D CL DKQ DKT

0.25 30.02 41.84 41.84 0.018008 -0.20959 0.13954 0.10276 0.49786 0.00771 0.06633
0.30 23.87 36.37 36.37 0.025073 -0.21985 0.20130 0.12485 0.57538 0.01313 0.11501
0.40 15.66 28.34 28.34 0.034759 -0.22296 0.30658 0.13490 0.57216 0.02508 0.22440
0.50 10.99 23.02 23.02 0.040909 -0.21214 0.38521 0.12804 0.50888 0.03806 0.34290
0.60 8.88 19.68 19.68 0.043462 -0.19272 0.42910 0.11282 0.42880 0.05101 0.44948
0.70 9.86 18.40 18.40 0.041259 -0.15898 0.40526 0.09028 0.33707 0.06380 0.50966
0.80 11.27 17.66 17.66 0.035387 -0.12483 0.35269 0.06682 0.25636 0.07120 0.50779
0.90 12.50 17.09 17.09 0.025822 -0.09367 0.28879 0.04291 0.18890 0.06651 0.42108
0.95 12.83 16.73 16.73 0.018761 -0.08118 0.26095 0.02946 0.15979 0.05438 0.32367

0      XTEPSI KQ KT VERIM

      0.3578 0.03453 0.26689 0.573

      *****
      * PERVANE TORKU(KNM)= 2678.73 *
      * ITME(KN) = 2739.03 *
      *****

```

EK3:

LIFTING SURFACE PROGRAM ÇIKTILARI

UYGULAMA1

----- MIT-PBD-10 -----
 PROPELLER BLADE DESIGN FOR PRESCRIBED LOAD DISTRIBUTION
 RELEASE DATE 05/18/83 COMPUTATION DATE

----- RUN CONTROL OPTIONS -----

INPUT DATA:

NX=11 NUMBER OF INPUT RADII
 NCI=0 0:GENERATE A=.8, 1:GENERATE B=.8, 2:OFFSETS GIVEN

BLADE LATTICE:

NBLADE=4 NUMBER OF BLADES
 NKEY= 8 CHORDWISE ELEMENTS ON KEY BLADE
 MKEY= 9 SPANWISE ELEMENTS ON KEY BLADE
 NOTHER= 4 CHORDWISE ELEMENTS ON OTHER BLADES
 MOTHER= 9 SPANWISE ELEMENTS ON OTHER BLADES
 MCTRP= 8 NUMBER OF CONTROL POINT PANELS OVER SPAN
 MC(M) 1 2 3 4 5 6 7 8

CIRCULATION AND THICKNESS:

NGCOEF=9 NUMBER OF TERMS IN SPANWISE CIRCULATION SERIES
 MLTYPE=0 0:A=.8 CHORDWISE LOADING, 1:B=.8 LOADING
 MTHICK=0 0:MOD 66, 1:ELLIPTICAL, 2:ELLIPTIC/PARABOLIC

GRAPHICS OUTPUT:

NPLOT=1 0:NO PLOT OUTPUT, 1:PLOT OUTPUT FILE GENERATED
 NPLOH=1 1:PLOT HUB, 0:OMIT
 NPLOB=1 NUMBER OF BLADES TO BE PLOTTED
 NPLOW=1 NUMBER OF WAKES TO BE PLOTTED

COMPUTATION OPTIONS:

NVEL=1 1:CALCULATE INDUCED VELOCITIES, 0:USE OLD VALUES
 NWIMAX=10 NUMBER OF WAKE ALIGNMENT ITERATIONS
 NITER=10 NUMBER OF MEAN LINE SHAPE ITERATIONS

-----ADVANCE COEFFICIENT AND SLIPSTREAM DEFORMATION-----

ADVCO=0.648 ADVANCE COEFFICIENT, J, BASED ON SHIP SPEED
 RULT= 0.830 ULTIMATE TIP VORTEX RADIUS
 RHULT=0.150 ULTIMATE HUB VORTEX RADIUS
 DCD= 20.00 SLIPSTREAM CONTRACTION ANGLE-DEGREES
 XULT= 1.00 AXIAL EXTENT OF TRANSITION WAKE
 XFINAL=1.50 AXIAL EXTENT OF WAKE VELOCITY GROWTH
 DTPROP=15.0 PROP ROTATION INCREMENT FOR WAKE CONVECTION

-----COEFFICIENTS OF RADIAL DISTRIBUTION OF CIRCULATION-----

1 0.042873
 2 -0.003564
 3 0.002433
 4 -0.000205
 5 0.000074
 6 0.000015
 7 0.000027
 8 -0.000002
 9 0.000009

1

INPUT BLADE GEOMETRY

R/RO	P/D	XS/D	SKEW	C/D	FO/C	TO/D
0.2000	0.6600	0.0000	0.000	0.2250	0.0200	0.0424
0.2500	0.6600	0.0000	0.000	0.2360	0.0200	0.0324
0.3000	0.6600	0.0000	0.000	0.2490	0.0200	0.0300
0.4000	0.6600	0.0000	0.000	0.2700	0.0200	0.0260
0.5000	0.6600	0.0000	0.000	0.2880	0.0200	0.0230
0.6000	0.6600	0.0000	0.000	0.3010	0.0200	0.0190
0.7000	0.6600	0.0000	0.000	0.3070	0.0200	0.0150
0.8000	0.6600	0.0000	0.000	0.2980	0.0200	0.0110
0.9000	0.6600	0.0000	0.000	0.2600	0.0200	0.0070
0.9500	0.6600	0.0000	0.000	0.2110	0.0200	0.0050
1.0000	0.6600	0.0000	0.000	0.0000	0.0200	0.0030

INFLOW VELOCITIES TRANS WAKE INDUCED VELOCITIES

R/RO	VX/VS	VR/VS	VT/VS	UANW	UTNW	UAUW	UTUW
0.2000	0.473	0.000	0.000	0.250	-0.100	0.250	-0.100
0.2500	0.473	0.000	0.000	0.250	-0.100	0.250	-0.100
0.3000	0.473	0.000	0.000	0.250	-0.100	0.250	-0.100
0.4000	0.473	0.000	0.000	0.250	-0.100	0.250	-0.100
0.5000	0.473	0.000	0.000	0.250	-0.100	0.250	-0.100
0.6000	0.473	0.000	0.000	0.250	-0.100	0.250	-0.100
0.7000	0.473	0.000	0.000	0.250	-0.100	0.250	-0.100
0.8000	0.473	0.000	0.000	0.250	-0.100	0.250	-0.100
0.9000	0.473	0.000	0.000	0.250	-0.100	0.250	-0.100
0.9500	0.473	0.000	0.000	0.250	-0.100	0.250	-0.100
1.0000	0.473	0.000	0.000	0.250	-0.100	0.250	-0.100

MEAN LINE OFFSETS (F/C)*10**4 AT INPUT RADII

%C 0.20 0.25 0.30 0.40 0.50 0.60 0.70 0.80 0.90 0.95 1.00

1.0	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
2.5	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32
5.0	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54
10.0	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90
20.0	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140
30.0	173	173	173	173	173	173	173	173	173	173	173
40.0	192	192	192	192	192	192	192	192	192	192	192
50.0	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
60.0	196	196	196	196	196	196	196	196	196	196	196
70.0	178	178	178	178	178	178	178	178	178	178	178
80.0	141	141	141	141	141	141	141	141	141	141	141
90.0	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72
95.0	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34
97.5	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
99.0	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6

1

MIT-PBD-10

PROPELLER BLADE DESIGN FOR PRESCRIBED LOAD DISTRIBUTION
RELEASE DATE 05/18/83 COMPUTATION DATE

COMPUTATION DATE OF INDUCED VELOCITY FILE
FILE IDENTIFICATION:

CONTROL POINT— SPANWISE— CHORDWISE— VORTEX WAKE— THICKNESS— TOTAL
X R THETA VX VR VT VX VR VT VX VR VT VX VR VT VX VR VT
-0.139 0.270 -36.8|-0.067 -0.011 0.077|-0.015 0.032 -0.062| 0.304 -0.016 -0.048| 0.082 -0.114 0.076| 0.304 -0.109 0.043
-0.109 0.269 -27.6|-0.013 -0.018 0.036|-0.007 0.028 -0.080| 0.312 -0.008 -0.054| 0.093 -0.099 0.088| 0.384 -0.098 -0.011
-0.063 0.268 -14.3| 0.004 -0.023 0.012| 0.007 0.017 -0.107| 0.322 0.006 -0.067| 0.102 -0.050 0.102| 0.436 -0.050 -0.059
-0.007 0.268 1.2| 0.006 -0.024 -0.003| 0.026 0.001 -0.141| 0.332 0.023 -0.083| 0.108 0.016 0.105| 0.472 0.016 -0.122
0.050 0.268 16.4| 0.014 -0.019 -0.025| 0.051 -0.016 -0.178| 0.335 0.039 -0.097| 0.093 0.071 0.071| 0.494 0.076 -0.229
0.101 0.269 29.0| 0.069 -0.013 -0.086| 0.076 -0.029 -0.211| 0.329 0.056 -0.109| 0.047 0.083 0.006| 0.521 0.095 -0.400
0.136 0.270 37.2| 0.066 -0.008 -0.091| 0.094 -0.034 -0.212| 0.318 0.056 -0.130| 0.050 0.034 -0.099| 0.428 0.049 -0.532

-0.123 0.364 -32.8|-0.115 -0.012 0.082| 0.010 0.021 -0.062| 0.329 -0.038 -0.063| 0.072 -0.070 0.087| 0.296 -0.099 0.044
-0.098 0.363 -24.7|-0.038 -0.020 0.040| 0.018 0.016 -0.071| 0.340 -0.032 -0.070| 0.086 -0.064 0.113| 0.406 -0.100 0.013
-0.058 0.362 -12.9|-0.005 -0.026 0.015| 0.030 0.009 -0.085| 0.357 -0.023 -0.082| 0.097 -0.035 0.135| 0.480 -0.074 -0.017
-0.009 0.362 0.8| 0.010 -0.026 -0.004| 0.047 0.001 -0.104| 0.379 -0.014 -0.098| 0.103 0.010 0.140| 0.540 -0.030 -0.065
0.043 0.362 14.4| 0.033 -0.022 -0.030| 0.064 -0.007 -0.122| 0.402 -0.006 -0.114| 0.089 0.045 0.098| 0.587 0.011 -0.168
0.089 0.363 25.6| 0.115 -0.016 -0.097| 0.076 -0.013 -0.136| 0.422 0.003 -0.131| 0.044 0.042 0.012| 0.657 0.017 -0.352
0.120 0.364 33.0| 0.109 -0.010 -0.101| 0.088 -0.017 -0.138| 0.428 0.005 -0.147|-0.046 -0.011 -0.123| 0.579 -0.033 -0.510

-0.110 0.458 -29.3|-0.144 -0.011 0.072| 0.022 0.011 -0.052| 0.349 -0.073 -0.072| 0.061 -0.054 0.101| 0.287 -0.127 0.050
-0.089 0.457 -22.2|-0.056 -0.019 0.038| 0.029 0.008 -0.057| 0.361 -0.070 -0.078| 0.073 -0.048 0.128| 0.407 -0.129 0.031
-0.054 0.456 -11.7|-0.013 -0.023 0.015| 0.041 0.005 -0.065| 0.381 -0.067 -0.088| 0.083 -0.026 0.151| 0.492 -0.111 0.012
-0.010 0.456 0.6| 0.012 -0.023 -0.004| 0.056 0.001 -0.076| 0.409 -0.064 -0.101| 0.089 0.006 0.156| 0.566 -0.081 -0.025
0.036 0.457 12.7| 0.045 -0.020 -0.028| 0.067 -0.003 -0.086| 0.442 -0.061 -0.116| 0.077 0.031 0.113| 0.631 -0.052 -0.117
0.078 0.457 22.8| 0.143 -0.015 -0.090| 0.072 -0.006 -0.092| 0.474 -0.057 -0.131| 0.038 0.026 0.020| 0.727 -0.053 -0.293
0.107 0.458 29.5| 0.137 -0.011 -0.094| 0.077 -0.008 -0.093| 0.492 -0.056 -0.143|-0.041 -0.024 -0.130| 0.664 -0.100 -0.459

-0.099 0.552 -26.3|-0.160 -0.010 0.061| 0.027 0.006 -0.041| 0.357 -0.119 -0.073| 0.048 -0.036 0.111| 0.273 -0.160 0.057
-0.080 0.552 -19.9|-0.065 -0.016 0.032| 0.035 0.004 -0.045| 0.369 -0.119 -0.078| 0.059 -0.031 0.134| 0.398 -0.162 0.043
-0.050 0.551 -10.6|-0.016 -0.019 0.013| 0.050 0.003 -0.052| 0.389 -0.119 -0.086| 0.068 -0.018 0.153| 0.491 -0.153 0.029
-0.011 0.550 0.4| 0.014 -0.019 -0.003| 0.067 0.001 -0.060| 0.420 -0.120 -0.097| 0.074 0.003 0.158| 0.575 -0.136 -0.002
0.031 0.551 11.3| 0.052 -0.017 -0.025| 0.076 -0.001 -0.067| 0.461 -0.122 -0.110| 0.064 0.018 0.117| 0.653 -0.122 -0.083
0.069 0.552 20.4| 0.158 -0.015 -0.080| 0.075 -0.003 -0.069| 0.503 -0.121 -0.123| 0.031 0.009 0.027| 0.767 -0.130 -0.245
0.096 0.552 26.4| 0.153 -0.012 -0.083| 0.073 -0.004 -0.068| 0.530 -0.121 -0.133|-0.038 -0.039 -0.124| 0.719 -0.175 -0.408

-0.089 0.647 -23.6|-0.168 -0.007 0.050| 0.030 0.003 -0.033| 0.348 -0.172 -0.069| 0.037 -0.015 0.108| 0.247 -0.191 0.057
-0.073 0.646 -17.9|-0.067 -0.013 0.027| 0.041 0.002 -0.037| 0.358 -0.173 -0.072| 0.046 -0.014 0.129| 0.378 -0.197 0.046
-0.046 0.645 -9.5|-0.016 -0.015 0.010| 0.062 0.002 -0.044| 0.377 -0.175 -0.079| 0.054 -0.010 0.146| 0.478 -0.199 0.034
-0.011 0.645 0.3| 0.014 -0.016 -0.003| 0.086 0.000 -0.053| 0.410 -0.179 -0.088| 0.060 -0.001 0.150| 0.571 -0.195 0.007
0.026 0.645 10.1| 0.053 -0.014 -0.021| 0.097 -0.001 -0.059| 0.459 -0.184 -0.100| 0.052 0.005 0.113| 0.661 -0.195 -0.066
0.061 0.646 18.3| 0.165 -0.013 -0.070| 0.089 -0.002 -0.059| 0.513 -0.187 -0.113| 0.025 -0.009 0.030| 0.792 -0.212 -0.212
0.086 0.647 23.7| 0.163 -0.012 -0.073| 0.075 -0.003 -0.054| 0.555 -0.188 -0.123|-0.032 -0.054 -0.111| 0.761 -0.256 -0.361

-0.079 0.741 -20.8|-0.171 -0.004 0.042| 0.031 0.002 -0.027| 0.316 -0.225 -0.060| 0.027 -0.002 0.102| 0.202 -0.230 0.056
-0.065 0.740 -15.8|-0.064 -0.010 0.021| 0.047 0.001 -0.031| 0.323 -0.226 -0.062| 0.035 -0.002 0.117| 0.341 -0.237 0.045
-0.042 0.739 -8.4|-0.011 -0.012 0.007| 0.079 0.001 -0.040| 0.340 -0.230 -0.067| 0.043 -0.005 0.132| 0.451 -0.246 0.032
-0.011 0.739 0.2| 0.014 -0.012 -0.003| 0.120 0.000 -0.052| 0.373 -0.237 -0.075| 0.048 -0.003 0.137| 0.555 -0.253 0.006
0.022 0.739 8.9| 0.049 -0.011 -0.017| 0.136 -0.001 -0.060| 0.432 -0.246 -0.088| 0.042 -0.005 0.103| 0.659 -0.264 -0.061
0.053 0.740 16.1| 0.167 -0.013 -0.062| 0.118 -0.002 -0.057| 0.505 -0.253 -0.101| 0.020 -0.023 0.030| 0.809 -0.291 -0.191
0.075 0.741 20.9| 0.170 -0.012 -0.065| 0.079 -0.002 -0.046| 0.574 -0.253 -0.115|-0.027 -0.070 -0.093| 0.797 -0.336 -0.319

1

MIT-PBD-10
PROPELLER BLADE DESIGN FOR PRESCRIBED LOAD DISTRIBUTION
RELEASE DATE 05/18/83 COMPUTATION DATE

COMPUTATION DATE OF INDUCED VELOCITY FILE
FILE IDENTIFICATION:

CONTROL POINT-- SPANWISE--CHORDWISE--VORTEX WAKE--THICKNESS-- TOTAL--
X R THETA VX VR VT VX VR VT VX VR VT VX VR VT VX VR VT
-0.067 0.835 -17.5|-0.176 0.000 0.035| 0.027 0.002 -0.021| 0.254 -0.267 -0.047| 0.020 0.006 0.091| 0.125 -0.259 0.059
-0.056 0.834 -13.3|-0.054 -0.008 0.015| 0.049 0.001 -0.026| 0.259 -0.268 -0.048| 0.026 0.006 0.101| 0.280 -0.269 0.042
-0.036 0.834 -7.1| 0.001 -0.010 0.003| 0.103 0.000 -0.038| 0.271 -0.272 -0.052| 0.033 -0.003 0.115| 0.407 -0.285 0.028
-0.011 0.834 0.2| 0.013 -0.009 -0.003| 0.176 -0.001 -0.058| 0.300 -0.280 -0.058| 0.038 -0.005 0.120| 0.527 -0.296 0.001
0.017 0.834 7.4| 0.039 -0.009 -0.013| 0.203 -0.003 -0.070| 0.374 -0.294 -0.072| 0.033 -0.010 0.090| 0.649 -0.316 -0.064
0.044 0.834 13.5| 0.166 -0.013 -0.055| 0.162 -0.004 -0.063| 0.482 -0.301 -0.090| 0.015 -0.036 0.029| 0.825 -0.353 -0.179
0.063 0.835 17.6| 0.179 -0.013 -0.061| 0.067 -0.001 -0.034| 0.609 -0.294 -0.110|-0.020 -0.086 -0.071| 0.834 -0.394 -0.276
-0.046 0.927 -11.9|-0.235 0.015 0.037|-0.002 0.004 -0.012| 0.171 -0.277 -0.031| 0.010 -0.021 0.072|-0.055 -0.278 0.066
-0.039 0.928 -9.1|-0.049 -0.006 0.011| 0.013 0.003 -0.014| 0.173 -0.277 -0.032| 0.020 -0.016 0.099| 0.158 -0.297 0.063
-0.026 0.928 -4.8| 0.003 -0.008 0.000| 0.113 -0.002 -0.033| 0.178 -0.280 -0.034| 0.026 -0.006 0.103| 0.320 -0.295 0.037
-0.008 0.928 0.1| 0.010 -0.007 -0.002| 0.253 -0.005 -0.067| 0.191 -0.285 -0.037| 0.029 -0.007 0.103| 0.483 -0.305 -0.003
0.011 0.928 5.0| 0.029 -0.006 -0.009| 0.342 -0.011 -0.102| 0.242 -0.299 -0.047| 0.027 -0.010 0.084| 0.640 -0.327 -0.073
0.030 0.928 9.2| 0.194 -0.020 -0.060| 0.134 -0.003 -0.049| 0.534 -0.319 -0.094| 0.014 -0.031 0.037| 0.876 -0.374 -0.166
0.043 0.927 12.0| 0.239 -0.025 -0.076|-0.062 0.015 0.009| 0.763 -0.265 -0.124|-0.018 -0.108 -0.041| 0.921 -0.383 -0.233

1

MIT-PBD-10
PROPELLER BLADE DESIGN FOR PRESCRIBED LOAD DISTRIBUTION
RELEASE DATE 05/18/83 COMPUTATION DATE
-- INDUCED VELOCITIES RESOLVED INTO BLADE COMPONENTS --

X R THETA %C VO/VS VN/VO VC/VO VM/VO

-0.139 0.270 -36.8 3.81 1.392 0.000 1.122 -0.054
-0.109 0.269 -27.6 14.64 1.388 0.000 1.120 -0.044

-0.063	0.268	-14.3	30.87	1.384	0.000	1.112	-0.010
-0.007	0.268	1.2	50.00	1.383	0.000	1.091	0.033
0.050	0.268	16.4	69.13	1.385	0.000	1.042	0.067
0.101	0.269	29.0	85.36	1.389	0.000	0.968	0.069
0.136	0.270	37.2	96.19	1.392	0.000	0.855	0.026

-0.123	0.364	-32.8	3.81	1.827	0.000	1.077	-0.035
-0.098	0.363	-24.7	14.64	1.823	0.000	1.086	-0.036
-0.058	0.362	-12.9	30.87	1.819	0.000	1.091	-0.024
-0.009	0.362	0.8	50.00	1.818	0.000	1.084	-0.004
0.043	0.362	14.4	69.13	1.820	0.000	1.050	0.011
0.089	0.363	25.6	85.36	1.824	0.000	0.991	0.005
0.120	0.364	33.0	96.19	1.828	0.000	0.896	-0.028

-0.110	0.458	-29.3	3.81	2.271	0.000	1.055	-0.041
-0.089	0.457	-22.2	14.64	2.267	0.000	1.066	-0.044
-0.054	0.456	-11.7	30.87	2.263	0.000	1.072	-0.039
-0.010	0.456	0.6	50.00	2.261	0.000	1.071	-0.029
0.036	0.457	12.7	69.13	2.263	0.000	1.047	-0.022
0.078	0.457	22.8	85.36	2.268	0.000	1.000	-0.028
0.107	0.458	29.5	96.19	2.272	0.000	0.923	-0.053

-0.099	0.552	-26.3	3.81	2.720	0.000	1.043	-0.048
-0.080	0.552	-19.9	14.64	2.715	0.000	1.051	-0.050
-0.050	0.551	-10.6	30.87	2.711	0.000	1.057	-0.050
-0.011	0.550	0.4	50.00	2.710	0.000	1.057	-0.047
0.031	0.551	11.3	69.13	2.712	0.000	1.040	-0.046
0.069	0.552	20.4	85.36	2.716	0.000	1.004	-0.053
0.096	0.552	26.4	96.19	2.720	0.000	0.942	-0.072

-0.089	0.647	-23.6	3.81	3.170	0.000	1.033	-0.052
-0.073	0.646	-17.9	14.64	3.166	0.000	1.039	-0.055
-0.046	0.645	-9.5	30.87	3.162	0.000	1.044	-0.058
-0.011	0.645	0.3	50.00	3.161	0.000	1.045	-0.060
0.026	0.645	10.1	69.13	3.162	0.000	1.032	-0.063
0.061	0.646	18.3	85.36	3.166	0.000	1.004	-0.072
0.086	0.647	23.7	96.19	3.170	0.000	0.957	-0.088

-0.079	0.741	-20.8	3.81	3.622	0.000	1.025	-0.057
-0.065	0.740	-15.8	14.64	3.618	0.000	1.029	-0.061
-0.042	0.739	-8.4	30.87	3.615	0.000	1.033	-0.065
-0.011	0.739	0.2	50.00	3.614	0.000	1.033	-0.069
0.022	0.739	8.9	69.13	3.615	0.000	1.024	-0.074
0.053	0.740	16.1	85.36	3.619	0.000	1.003	-0.084
0.075	0.741	20.9	96.19	3.622	0.000	0.969	-0.098

1

MIT-PBD-10

PROPELLER BLADE DESIGN FOR PRESCRIBED LOAD DISTRIBUTION

RELEASE DATE 05/18/83 COMPUTATION DATE

— INDUCED VELOCITIES RESOLVED INTO BLADE COMPONENTS —

X	R	THETA	%C	VO/VS	VN/VO	VC/VO	VM/VO
---	---	-------	----	-------	-------	-------	-------

-0.067	0.835	-17.5	3.81	4.074	0.000	1.018	-0.061
-0.056	0.834	-13.3	14.64	4.072	0.000	1.021	-0.064
-0.036	0.834	-7.1	30.87	4.070	0.000	1.023	-0.069
-0.011	0.834	0.2	50.00	4.069	0.000	1.023	-0.072
0.017	0.834	7.4	69.13	4.070	0.000	1.016	-0.078
0.044	0.834	13.5	85.36	4.072	0.000	1.001	-0.088
0.063	0.835	17.6	96.19	4.074	0.000	0.979	-0.099

-0.046	0.927	-11.9	3.81	4.521	0.000	1.012	-0.078
-0.039	0.928	-9.1	14.64	4.523	0.000	1.017	-0.077
-0.026	0.928	-4.8	30.87	4.525	0.000	1.017	-0.071
-0.008	0.928	0.1	50.00	4.526	0.000	1.016	-0.066
0.011	0.928	5.0	69.13	4.525	0.000	1.009	-0.065
0.030	0.928	9.2	85.36	4.523	0.000	1.004	-0.071
0.043	0.927	12.0	96.19	4.521	0.000	0.993	-0.070

1

-----OUTPUT BLADE GEOMETRY-----

R/RO	P/D	XS/D	SKEW	C/D	FO/C	TO/D
0.2000	0.6751	0.0000	0.000	0.2250	0.0438	0.0424
0.2500	0.6888	0.0000	0.000	0.2360	0.0428	0.0324
0.3000	0.6960	0.0000	0.000	0.2490	0.0405	0.0300
0.4000	0.6971	0.0000	0.000	0.2700	0.0343	0.0260
0.5000	0.6927	0.0000	0.000	0.2880	0.0293	0.0230
0.6000	0.6885	0.0000	0.000	0.3010	0.0260	0.0190
0.7000	0.6799	0.0000	0.000	0.3070	0.0242	0.0150
0.8000	0.6647	0.0000	0.000	0.2980	0.0234	0.0110
0.9000	0.6369	0.0000	0.000	0.2600	0.0257	0.0070
0.9500	0.6177	0.0000	0.000	0.2110	0.0303	0.0050
1.0000	0.5949	0.0000	0.000	0.0000	0.0385	0.0030

-----INFLOW VELOCITIES----- TRANS WAKE INDUCED VELOCITIES

R/RO	VX/VS	VR/VS	VT/VS	UANW	UTNW	UAUW	UTUW
0.2000	0.473	0.000	0.000	0.069	-0.169	0.541	-0.658
0.2500	0.473	0.000	0.000	0.210	-0.301	0.641	-0.595
0.3000	0.473	0.000	0.000	0.316	-0.387	0.706	-0.537
0.4000	0.473	0.000	0.000	0.445	-0.448	0.766	-0.438
0.5000	0.473	0.000	0.000	0.506	-0.413	0.790	-0.364
0.6000	0.473	0.000	0.000	0.545	-0.343	0.849	-0.320
0.7000	0.473	0.000	0.000	0.591	-0.285	0.975	-0.306
0.8000	0.473	0.000	0.000	0.598	-0.234	1.048	-0.288
0.9000	0.473	0.000	0.000	0.499	-0.171	0.906	-0.231
0.9500	0.473	0.000	0.000	0.389	-0.128	0.705	-0.175
1.0000	0.473	0.000	0.000	0.229	-0.075	0.391	-0.095

-----MEAN LINE OFFSETS (F/C)*10**4 AT INPUT RADII-----

%C	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90	0.95	1.00
1.0	25	25	25	22	19	17	16	16	17	19	23
2.5	56	56	54	47	41	37	34	33	36	41	50
5.0	101	101	97	83	72	64	60	58	62	72	89
10.0	176	174	166	142	122	109	101	98	106	122	152
20.0	288	281	266	227	196	175	163	158	171	198	246
30.0	366	355	336	285	246	220	205	199	217	253	317
40.0	415	404	382	324	278	248	231	224	245	288	365
50.0	438	428	405	343	293	260	242	234	257	303	385
60.0	435	429	408	344	291	257	239	230	253	298	380
70.0	402	402	384	323	270	237	219	211	231	275	352
80.0	321	325	312	261	217	189	174	167	184	220	283
90.0	173	176	168	139	114	99	90	87	97	118	154
95.0	86	87	83	68	55	48	44	42	48	58	77
97.5	42	43	41	33	26	23	21	21	23	29	38
99.0	16	17	16	13	10	9	8	8	9	11	15

1

MIT-PBD-10
 PROPELLER BLADE DESIGN FOR PRESCRIBED LOAD DISTRIBUTION
 RELEASE DATE 03/11/82 COMPUTATION DATE

CALCULATION OF THRUST AND TORQUE COEFFICIENTS

CD	KT	KQ	E/(1-W)
0.0000	0.201	0.0205	1.015
0.0060	0.200	0.0222	0.927
0.0065	0.200	0.0224	0.920
0.0070	0.200	0.0225	0.914
0.0075	0.200	0.0227	0.907
0.0080	0.199	0.0228	0.901
0.0085	0.199	0.0230	0.894
0.0090	0.199	0.0231	0.888
0.0095	0.199	0.0233	0.882
0.0100	0.199	0.0234	0.876

UYGULAMA2

1

————— MIT-PBD-10 —————
 PROPELLER BLADE DESIGN FOR PRESCRIBED LOAD DISTRIBUTION
 RELEASE DATE 05/18/83 COMPUTATION DATE

————— RUN CONTROL OPTIONS —————

INPUT DATA:

NX=11 NUMBER OF INPUT RADII
 NCI=0 0:GENERATE A=.8, 1:GENERATE B=.8, 2:OFFSETS GIVEN

BLADE LATTICE:

NBLADE=5 NUMBER OF BLADES
 NKEY= 8 CHORDWISE ELEMENTS ON KEY BLADE
 MKEY= 9 SPANWISE ELEMENTS ON KEY BLADE
 NOTHER= 4 CHORDWISE ELEMENTS ON OTHER BLADES
 MOTHER= 9 SPANWISE ELEMENTS ON OTHER BLADES
 MCTRP= 8 NUMBER OF CONTROL POINT PANELS OVER SPAN
 MC(M) 1 2 3 4 5 6 7 8

CIRCULATION AND THICKNESS:

NGCOEF=9 NUMBER OF TERMS IN SPANWISE CIRCULATION SERIES
 MLTYPE=0 0:A=.8 CHORDWISE LOADING, 1:B=.8 LOADING
 MTHICK=0 0:MOD 66, 1:ELLIPTICAL, 2:ELLIPTIC/PARABOLIC

GRAPHICS OUTPUT:

NPLOT=1 0:NO PLOT OUTPUT, 1:PLOT OUTPUT FILE GENERATED
 NPLOH=1 1:PLOT HUB, 0:OMIT
 NPLOB=1 NUMBER OF BLADES TO BE PLOTTED
 NPLOW=1 NUMBER OF WAKES TO BE PLOTTED

COMPUTATION OPTIONS:

NVEL=1 1:CALCULATE INDUCED VELOCITIES, 0:USE OLD VALUES
 NWIMAX=10 NUMBER OF WAKE ALIGNMENT ITERATIONS
 NITER=10 NUMBER OF MEAN LINE SHAPE ITERATIONS

————— ADVANCE COEFFICIENT AND SLIPSTREAM DEFORMATION —————

ADVCO=0.762 ADVANCE COEFFICIENT, J, BASED ON SHIP SPEED
 RULT= 0.830 ULTIMATE TIP VORTEX RADIUS
 RHULT=0.150 ULTIMATE HUB VORTEX RADIUS
 DCD= 20.00 SLIPSTREAM CONTRACTION ANGLE-DEGREES
 XULT= 1.00 AXIAL EXTENT OF TRANSITION WAKE
 XFINAL=1.50 AXIAL EXTENT OF WAKE VELOCITY GROWTH
 DTPROP=15.0 PROP ROTATION INCREMENT FOR WAKE CONVECTION

————— COEFFICIENTS OF RADIAL DISTRIBUTION OF CIRCULATION —————

1 0.041325
 2 -0.000427
 3 -0.001668
 4 -0.000039
 5 0.000641
 6 -0.000028
 7 0.000074
 8 -0.000010
 9 0.000156

1

INPUT BLADE GEOMETRY						
R/RO	P/D	XS/D	SKEW	C/D	FO/C	TO/D
0.2000	0.7800	0.0000	0.000	0.1960	0.0200	0.0424
0.2500	0.7800	0.0000	0.000	0.2060	0.0200	0.0327
0.3000	0.7800	0.0000	0.000	0.2170	0.0200	0.0307
0.4000	0.7800	0.0000	0.000	0.2360	0.0200	0.0267
0.5000	0.7800	0.0000	0.000	0.2520	0.0200	0.0228
0.6000	0.7800	0.0000	0.000	0.2630	0.0200	0.0188
0.7000	0.7800	0.0000	0.000	0.2680	0.0200	0.0148
0.8000	0.7800	0.0000	0.000	0.2600	0.0200	0.0108
0.9000	0.7800	0.0000	0.000	0.2270	0.0200	0.0070
0.9500	0.7800	0.0000	0.000	0.1840	0.0200	0.0050
1.0000	0.7800	0.0000	0.000	0.0000	0.0200	0.0030

INFLOW VELOCITIES				TRANS WAKE INDUCED VELOCITIES			
R/RO	VX/VS	VR/VS	VT/VS	UANW	UTNW	UAUW	UTUW
0.2000	0.610	0.000	0.000	0.250	-0.100	0.250	-0.100
0.2500	0.610	0.000	0.000	0.250	-0.100	0.250	-0.100
0.3000	0.610	0.000	0.000	0.250	-0.100	0.250	-0.100
0.4000	0.610	0.000	0.000	0.250	-0.100	0.250	-0.100
0.5000	0.610	0.000	0.000	0.250	-0.100	0.250	-0.100
0.6000	0.610	0.000	0.000	0.250	-0.100	0.250	-0.100
0.7000	0.610	0.000	0.000	0.250	-0.100	0.250	-0.100
0.8000	0.610	0.000	0.000	0.250	-0.100	0.250	-0.100
0.9000	0.610	0.000	0.000	0.250	-0.100	0.250	-0.100
0.9500	0.610	0.000	0.000	0.250	-0.100	0.250	-0.100
1.0000	0.610	0.000	0.000	0.250	-0.100	0.250	-0.100

MEAN LINE OFFSETS (F/C)*10**4 AT INPUT RADII											
%C	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90	0.95	1.00
1.0	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
2.5	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32
5.0	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54
10.0	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90
20.0	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140
30.0	173	173	173	173	173	173	173	173	173	173	173
40.0	192	192	192	192	192	192	192	192	192	192	192
50.0	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
60.0	196	196	196	196	196	196	196	196	196	196	196
70.0	178	178	178	178	178	178	178	178	178	178	178
80.0	141	141	141	141	141	141	141	141	141	141	141
90.0	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72
95.0	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34
97.5	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
99.0	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6

1

MIT-PBD-10
 PROPELLER BLADE DESIGN FOR PRESCRIBED LOAD DISTRIBUTION
 RELEASE DATE 05/18/83 COMPUTATION DATE

COMPUTATION DATE OF INDUCED VELOCITY FILE
 FILE IDENTIFICATION:

CONTROL POINT		SPANWISE				CHORDWISE				VORTEX WAKE				THICKNESS		TOTAL	
X	R	THETA	VX	VR	VT	VX	VR	VT	VX	VR	VT	VX	VR	VT	VX	VR	VT
-0.133	0.270	-29.9	-0.069	-0.011	0.105	-0.022	0.043	-0.066	0.280	-0.014	-0.063	0.108	-0.099	0.089	0.297	-0.080	0.065
-0.104	0.270	-22.4	-0.016	-0.017	0.054	-0.021	0.039	-0.082	0.287	-0.006	-0.070	0.119	-0.085	0.093	0.369	-0.069	-0.004
-0.060	0.269	-11.5	0.002	-0.022	0.021	-0.020	0.027	-0.105	0.296	0.009	-0.084	0.128	-0.041	0.098	0.407	-0.027	-0.070
-0.006	0.269	1.2	0.005	-0.022	-0.006	-0.015	0.007	-0.132	0.304	0.026	-0.103	0.134	0.015	0.096	0.428	0.026	-0.144
0.049	0.269	13.5	0.015	-0.017	-0.040	-0.004	-0.016	-0.160	0.306	0.042	-0.121	0.116	0.062	0.069	0.433	0.070	-0.252
0.098	0.270	23.7	0.068	-0.012	-0.115	0.013	-0.032	-0.184	0.297	0.054	-0.137	0.060	0.073	0.012	0.439	0.082	-0.423
0.131	0.270	30.3	0.065	-0.008	-0.120	0.031	-0.039	-0.182	0.283	0.051	-0.160	-0.056	0.036	-0.090	0.323	0.041	-0.553

-0.121 0.364 -27.3|-0.124 -0.012 0.117| 0.014 0.030 -0.074| 0.304 -0.036 -0.081| 0.096 -0.051 0.099| 0.290 -0.068 0.060
-0.096 0.364 -20.5|-0.041 -0.020 0.060| 0.019 0.025 -0.084| 0.315 -0.029 -0.090| 0.111 -0.046 0.116| 0.403 -0.071 0.003
-0.056 0.363 -10.7|-0.007 -0.027 0.023| 0.027 0.016 -0.099| 0.332 -0.020 -0.105| 0.122 -0.025 0.131| 0.474 -0.055 -0.051
-0.007 0.363 0.8| 0.009 -0.027 -0.007| 0.038 0.004 -0.118| 0.352 -0.010 -0.126| 0.128 0.008 0.133| 0.527 -0.025 -0.117
0.043 0.363 12.1| 0.033 -0.022 -0.045| 0.048 -0.008 -0.135| 0.374 -0.002 -0.148| 0.111 0.033 0.095| 0.567 0.002 -0.234
0.088 0.364 21.4| 0.121 -0.015 -0.134| 0.057 -0.017 -0.146| 0.391 0.005 -0.171| 0.058 0.029 0.015| 0.629 0.002 -0.436
0.119 0.364 27.5| 0.115 -0.009 -0.141| 0.070 -0.022 -0.148| 0.394 0.004 -0.190| -0.050 -0.013 -0.117| 0.529 -0.040 -0.596

-0.110 0.458 -24.7|-0.163 -0.012 0.107| 0.035 0.016 -0.066| 0.323 -0.071 -0.093| 0.079 -0.036 0.104| 0.274 -0.103 0.052
-0.088 0.458 -18.7|-0.062 -0.020 0.056| 0.043 0.013 -0.074| 0.336 -0.068 -0.100| 0.092 -0.033 0.126| 0.409 -0.108 0.008
-0.052 0.457 -9.8|-0.015 -0.025 0.022| 0.059 0.008 -0.086| 0.356 -0.064 -0.114| 0.102 -0.018 0.145| 0.502 -0.100 -0.034
-0.008 0.457 0.6| 0.012 -0.026 -0.006| 0.077 0.002 -0.102| 0.383 -0.061 -0.132| 0.108 0.005 0.148| 0.581 -0.080 -0.091
0.037 0.457 10.8| 0.048 -0.021 -0.042| 0.091 -0.004 -0.115| 0.417 -0.059 -0.153| 0.094 0.022 0.107| 0.651 -0.061 -0.203
0.078 0.458 19.3| 0.159 -0.015 -0.129| 0.094 -0.009 -0.121| 0.452 -0.056 -0.175| 0.050 0.015 0.019| 0.755 -0.065 -0.406
0.107 0.458 24.9| 0.151 -0.010 -0.136| 0.095 -0.011 -0.120| 0.474 -0.056 -0.194| -0.042 -0.027 -0.125| 0.679 -0.104 -0.575

-0.100 0.553 -22.4|-0.188 -0.011 0.092| 0.046 0.007 -0.055| 0.330 -0.118 -0.094| 0.062 -0.026 0.107| 0.250 -0.148 0.049
-0.080 0.552 -17.0|-0.076 -0.018 0.049| 0.061 0.006 -0.063| 0.341 -0.118 -0.100| 0.073 -0.023 0.129| 0.399 -0.153 0.015
-0.049 0.551 -8.9|-0.021 -0.022 0.019| 0.088 0.004 -0.077| 0.362 -0.118 -0.111| 0.083 -0.013 0.147| 0.512 -0.149 -0.021
-0.009 0.551 0.4| 0.014 -0.022 -0.005| 0.120 0.002 -0.094| 0.392 -0.119 -0.126| 0.089 0.002 0.152| 0.615 -0.137 -0.073
0.032 0.551 9.7| 0.058 -0.019 -0.037| 0.142 -0.001 -0.109| 0.433 -0.120 -0.144| 0.077 0.013 0.112| 0.710 -0.128 -0.179
0.070 0.552 17.4| 0.183 -0.015 -0.115| 0.142 -0.004 -0.114| 0.483 -0.121 -0.166| 0.040 0.004 0.024| 0.847 -0.137 -0.371
0.097 0.553 22.6| 0.176 -0.011 -0.121| 0.122 -0.006 -0.104| 0.532 -0.121 -0.188| -0.037 -0.036 -0.122| 0.792 -0.174 -0.535

-0.090 0.647 -20.2|-0.195 -0.008 0.075| 0.046 0.003 -0.044| 0.316 -0.170 -0.087| 0.047 -0.011 0.106| 0.213 -0.187 0.050
-0.073 0.646 -15.3|-0.081 -0.014 0.040| 0.064 0.003 -0.050| 0.325 -0.171 -0.091| 0.057 -0.010 0.125| 0.365 -0.193 0.023
-0.045 0.645 -8.1|-0.022 -0.017 0.016| 0.097 0.002 -0.063| 0.344 -0.172 -0.099| 0.066 -0.007 0.141| 0.484 -0.195 -0.005
-0.010 0.645 0.3| 0.015 -0.018 -0.004| 0.136 0.002 -0.080| 0.374 -0.176 -0.111| 0.071 -0.001 0.145| 0.596 -0.192 -0.050
0.028 0.646 8.7| 0.061 -0.016 -0.031| 0.160 0.000 -0.093| 0.419 -0.180 -0.128| 0.062 0.003 0.109| 0.702 -0.193 -0.143
0.062 0.646 15.7| 0.190 -0.014 -0.099| 0.155 -0.002 -0.095| 0.478 -0.185 -0.148| 0.031 -0.009 0.028| 0.854 -0.209 -0.314
0.087 0.647 20.3| 0.185 -0.011 -0.104| 0.114 -0.002 -0.079| 0.550 -0.185 -0.172| -0.032 -0.047 -0.110| 0.817 -0.246 -0.463

-0.080 0.741 -17.9|-0.189 -0.005 0.059| 0.036 0.002 -0.032| 0.278 -0.216 -0.073| 0.035 -0.002 0.098| 0.160 -0.221 0.052
-0.065 0.740 -13.6|-0.077 -0.011 0.031| 0.052 0.002 -0.037| 0.285 -0.217 -0.076| 0.043 -0.001 0.114| 0.303 -0.227 0.033
-0.041 0.740 -7.2|-0.020 -0.013 0.012| 0.085 0.002 -0.047| 0.300 -0.219 -0.081| 0.051 -0.003 0.128| 0.417 -0.234 0.012
-0.010 0.740 0.3| 0.014 -0.013 -0.004| 0.124 0.002 -0.061| 0.329 -0.224 -0.091| 0.056 -0.003 0.132| 0.523 -0.238 -0.023
0.024 0.740 7.7| 0.058 -0.012 -0.025| 0.143 0.001 -0.070| 0.376 -0.230 -0.106| 0.049 -0.004 0.100| 0.627 -0.246 -0.101
0.055 0.740 13.9| 0.183 -0.013 -0.081| 0.127 0.000 -0.067| 0.443 -0.237 -0.125| 0.024 -0.020 0.028| 0.776 -0.270 -0.245
0.077 0.741 18.0| 0.183 -0.011 -0.086| 0.069 0.001 -0.046| 0.529 -0.237 -0.148| -0.027 -0.060 -0.093| 0.753 -0.308 -0.372

1

MIT-PBD-10
PROPELLER BLADE DESIGN FOR PRESCRIBED LOAD DISTRIBUTION
RELEASE DATE 05/18/83 COMPUTATION DATE

COMPUTATION DATE OF INDUCED VELOCITY FILE
FILE IDENTIFICATION:

---CONTROL POINT---SPANWISE---CHORDWISE---VORTEX WAKE---THICKNESS---TOTAL---
X R THETA VX VR VT VX VR VT VX VR VT VX VR VT VX VR VT
-0.068 0.835 -15.1|-0.176 -0.001 0.046| 0.020 0.002 -0.022| 0.217 -0.244 -0.054| 0.026 0.004 0.088| 0.086 -0.239 0.057
-0.056 0.834 -11.5|-0.065 -0.008 0.022| 0.034 0.002 -0.025| 0.222 -0.244 -0.056| 0.032 0.004 0.100| 0.222 -0.246 0.040
-0.035 0.834 -6.1|-0.012 -0.010 0.007| 0.071 0.001 -0.035| 0.233 -0.246 -0.060| 0.039 -0.003 0.113| 0.331 -0.257 0.025
-0.009 0.834 0.2| 0.013 -0.009 -0.003| 0.119 0.001 -0.049| 0.257 -0.251 -0.067| 0.044 -0.005 0.117| 0.432 -0.264 0.003
0.019 0.834 6.4| 0.048 -0.009 -0.018| 0.135 0.001 -0.057| 0.311 -0.259 -0.082| 0.039 -0.009 0.088| 0.532 -0.275 -0.069
0.046 0.834 11.7| 0.167 -0.012 -0.066| 0.100 0.001 -0.048| 0.393 -0.266 -0.102| 0.019 -0.030 0.028| 0.679 -0.306 -0.188
0.065 0.835 15.1| 0.175 -0.011 -0.072| 0.009 0.004 -0.016| 0.509 -0.261 -0.129| -0.021 -0.074 -0.072| 0.672 -0.343 -0.288

-0.047 0.928 -10.3|-0.197 0.010 0.041|-0.020 0.005 -0.008| 0.146 -0.243 -0.036| 0.015 -0.023 0.072|-0.055 -0.251 0.069
-0.039 0.928 -7.8|-0.052 -0.005 0.014|-0.017 0.004 -0.008| 0.148 -0.242 -0.036| 0.025 -0.018 0.097| 0.104 -0.261 0.067
-0.025 0.929 -4.2|-0.005 -0.007 0.003| 0.039 0.002 -0.020| 0.153 -0.243 -0.038| 0.032 -0.007 0.103| 0.219 -0.255 0.047
-0.007 0.929 0.1| 0.009 -0.006 -0.003| 0.119 0.001 -0.042| 0.165 -0.246 -0.042| 0.035 -0.006 0.102| 0.328 -0.257 0.016
0.013 0.929 4.4| 0.034 -0.006 -0.012| 0.161 -0.001 -0.061| 0.207 -0.254 -0.053| 0.032 -0.007 0.083| 0.434 -0.268 -0.042
0.031 0.928 8.0| 0.167 -0.016 -0.060| 0.009 0.007 -0.014| 0.411 -0.266 -0.099| 0.017 -0.025 0.034| 0.603 -0.300 -0.139
0.044 0.928 10.3| 0.199 -0.019 -0.073|-0.125 0.019 0.032| 0.569 -0.239 -0.130|-0.018 -0.096 -0.045| 0.625 -0.335 -0.217

1

MIT-PBD-10
PROPELLER BLADE DESIGN FOR PRESCRIBED LOAD DISTRIBUTION
RELEASE DATE 05/18/83 COMPUTATION DATE
--- INDUCED VELOCITIES RESOLVED INTO BLADE COMPONENTS ---

X R THETA %C VO/VS VN/VO VC/VO VM/VO
-0.133 0.270 -29.9 3.81 1.270 0.000 1.173 -0.008
-0.104 0.270 -22.4 14.64 1.268 0.000 1.167 -0.005

-0.060	0.269	-11.5	30.87	1.266	0.000	1.148	0.017
-0.006	0.269	1.2	50.00	1.265	0.000	1.119	0.043
0.049	0.269	13.5	69.13	1.266	0.000	1.066	0.060
0.098	0.270	23.7	85.36	1.269	0.000	0.990	0.054
0.131	0.270	30.3	96.19	1.270	0.000	0.857	0.013

-0.121	0.364	-27.3	3.81	1.621	0.000	1.113	0.005
-0.096	0.364	-20.5	14.64	1.619	0.000	1.120	-0.001
-0.056	0.363	-10.7	30.87	1.616	0.000	1.119	0.000
-0.007	0.363	0.8	50.00	1.616	0.000	1.106	0.004
0.043	0.363	12.1	69.13	1.617	0.000	1.068	0.004
0.088	0.364	21.4	85.36	1.619	0.000	1.009	-0.012
0.119	0.364	27.5	96.19	1.621	0.000	0.897	-0.047

-0.110	0.458	-24.7	3.81	1.986	0.000	1.076	-0.016
-0.088	0.458	-18.7	14.64	1.983	0.000	1.086	-0.023
-0.052	0.457	-9.8	30.87	1.981	0.000	1.091	-0.025
-0.008	0.457	0.6	50.00	1.980	0.000	1.087	-0.026
0.037	0.457	10.8	69.13	1.981	0.000	1.061	-0.030
0.078	0.458	19.3	85.36	1.984	0.000	1.015	-0.044
0.107	0.458	24.9	96.19	1.986	0.000	0.926	-0.072

-0.100	0.553	-22.4	3.81	2.358	0.000	1.053	-0.036
-0.080	0.552	-17.0	14.64	2.356	0.000	1.064	-0.040
-0.049	0.551	-8.9	30.87	2.353	0.000	1.070	-0.044
-0.009	0.551	0.4	50.00	2.352	0.000	1.070	-0.048
0.032	0.551	9.7	69.13	2.353	0.000	1.052	-0.054
0.070	0.552	17.4	85.36	2.356	0.000	1.017	-0.068
0.097	0.553	22.6	96.19	2.358	0.001	0.947	-0.091

-0.090	0.647	-20.2	3.81	2.735	0.000	1.039	-0.050
-0.073	0.646	-15.3	14.64	2.733	0.000	1.047	-0.054
-0.045	0.645	-8.1	30.87	2.730	0.000	1.053	-0.059
-0.010	0.645	0.3	50.00	2.729	0.000	1.054	-0.064
0.028	0.646	8.7	69.13	2.730	0.000	1.040	-0.072
0.062	0.646	15.7	85.36	2.733	0.000	1.012	-0.085
0.087	0.647	20.3	96.19	2.735	-0.001	0.958	-0.103

-0.080	0.741	-17.9	3.81	3.114	0.000	1.028	-0.061
-0.065	0.740	-13.6	14.64	3.112	0.000	1.034	-0.065
-0.041	0.740	-7.2	30.87	3.110	0.000	1.039	-0.069
-0.010	0.740	0.3	50.00	3.109	0.000	1.039	-0.074
0.024	0.740	7.7	69.13	3.110	0.000	1.028	-0.080
0.055	0.740	13.9	85.36	3.113	0.000	1.005	-0.092
0.077	0.741	18.0	96.19	3.114	0.000	0.965	-0.107

1

MIT-PBD-10

PROPELLER BLADE DESIGN FOR PRESCRIBED LOAD DISTRIBUTION

RELEASE DATE 05/18/83 COMPUTATION DATE

INDUCED VELOCITIES RESOLVED INTO BLADE COMPONENTS

X	R	THETA	%C	VO/VS	VN/VO	VC/VO	VM/VO
-0.068	0.835	-15.1	3.81	3.495	0.000	1.021	-0.065
-0.056	0.834	-11.5	14.64	3.494	0.000	1.024	-0.068
-0.035	0.834	-6.1	30.87	3.493	0.000	1.028	-0.072
-0.009	0.834	0.2	50.00	3.492	0.000	1.028	-0.075
0.019	0.834	6.4	69.13	3.493	0.000	1.019	-0.079
0.046	0.834	11.7	85.36	3.494	0.000	1.001	-0.090
0.065	0.835	15.1	96.19	3.495	0.000	0.974	-0.101

-0.047	0.928	-10.3	3.81	3.874	0.000	1.014	-0.080
-0.039	0.928	-7.8	14.64	3.875	0.000	1.021	-0.078
-0.025	0.929	-4.2	30.87	3.877	0.000	1.022	-0.071
-0.007	0.929	0.1	50.00	3.877	0.000	1.021	-0.066
0.013	0.929	4.4	69.13	3.876	0.000	1.013	-0.063
0.031	0.928	8.0	85.36	3.875	0.000	1.003	-0.067
0.044	0.928	10.3	96.19	3.874	0.000	0.986	-0.074

1

 OUTPUT BLADE GEOMETRY

R/RO	P/D	XS/D	SKEW	C/D	FO/C	TO/D
0.2000	0.8668	0.0000	0.000	0.1960	0.0371	0.0424
0.2500	0.9276	0.0000	0.000	0.2060	0.0456	0.0327
0.3000	0.9595	0.0000	0.000	0.2170	0.0482	0.0307
0.4000	0.9743	0.0000	0.000	0.2360	0.0445	0.0267
0.5000	0.9863	0.0000	0.000	0.2520	0.0429	0.0228
0.6000	0.9867	0.0000	0.000	0.2630	0.0394	0.0188
0.7000	0.9179	0.0000	0.000	0.2680	0.0303	0.0148
0.8000	0.8318	0.0000	0.000	0.2600	0.0241	0.0108
0.9000	0.7435	0.0000	0.000	0.2270	0.0213	0.0070
0.9500	0.6833	0.0000	0.000	0.1840	0.0224	0.0050
1.0000	0.6021	0.0000	0.000	0.0000	0.0257	0.0030

 INFLOW VELOCITIES— TRANS WAKE INDUCED VELOCITIES

R/RO	VX/VS	VR/VS	VT/VS	UANW	UTNW	UAUW	UTUW
0.2000	0.610	0.000	0.000	0.122	-0.169	0.522	-0.865
0.2500	0.610	0.000	0.000	0.216	-0.316	0.613	-0.767
0.3000	0.610	0.000	0.000	0.302	-0.418	0.690	-0.686
0.4000	0.610	0.000	0.000	0.448	-0.516	0.804	-0.566
0.5000	0.610	0.000	0.000	0.551	-0.508	0.875	-0.486
0.6000	0.610	0.000	0.000	0.604	-0.439	0.912	-0.424
0.7000	0.610	0.000	0.000	0.600	-0.348	0.915	-0.364
0.8000	0.610	0.000	0.000	0.528	-0.248	0.853	-0.298
0.9000	0.610	0.000	0.000	0.378	-0.150	0.687	-0.221
0.9500	0.610	0.000	0.000	0.270	-0.104	0.553	-0.176
1.0000	0.610	0.000	0.000	0.139	-0.062	0.377	-0.126

 MEAN LINE OFFSETS (F/C)*10**4 AT INPUT RADII—

%C	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90	0.95	1.00
1.0	22	27	28	26	25	24	20	16	15	16	17
2.5	50	60	63	59	56	52	42	35	31	33	37
5.0	90	108	113	106	101	93	75	61	54	56	63
10.0	156	186	196	181	173	161	128	102	91	94	104
20.0	256	302	315	291	281	262	205	164	145	149	164
30.0	322	381	398	367	356	331	258	206	182	188	209
40.0	359	432	454	418	405	375	290	231	205	213	242
50.0	371	456	482	445	429	394	303	241	213	224	257
60.0	363	457	487	449	430	391	298	237	210	222	258
70.0	333	429	461	426	403	362	273	217	192	206	245
80.0	266	350	378	348	326	288	216	172	153	167	206
90.0	145	194	210	190	176	153	111	88	79	90	117
95.0	73	98	106	95	88	75	53	42	38	45	61
97.5	36	49	53	47	43	36	25	20	18	22	31
99.0	14	19	21	18	17	14	10	8	7	8	12

1

MIT-PBD-10

PROPELLER BLADE DESIGN FOR PRESCRIBED LOAD DISTRIBUTION
 RELEASE DATE 03/11/82 COMPUTATION DATE

CALCULATION OF THRUST AND TORQUE COEFFICIENTS

CD	KT	KQ	E/(1-W)
0.0000	0.275	0.0372	0.896
0.0060	0.273	0.0391	0.845
0.0065	0.272	0.0393	0.841
0.0070	0.272	0.0395	0.837
0.0075	0.272	0.0396	0.833
0.0080	0.272	0.0398	0.829
0.0085	0.272	0.0399	0.825
0.0090	0.271	0.0401	0.821
0.0095	0.271	0.0403	0.817
0.0100	0.271	0.0404	0.813

EK4:

**PERVANE KANATLARINA AİT KESİT OFSET
DEĞERLERİ
UYGULAMA1**

OUTPUT BLADE GEOMETRY

R/RO	P/D	XS/D	SKEW	C/D	FO/C	TO/D	TO	FO
0.2	0.6751	0	0	0.225	0.0438	0.0424	0.065466	0.0152161
0.25	0.6888	0	0	0.236	0.0428	0.0324	0.050026	0.0155956
0.3	0.696	0	0	0.249	0.0405	0.03	0.04632	0.0155705
0.4	0.6971	0	0	0.27	0.0343	0.026	0.040144	0.014299
0.5	0.6927	0	0	0.288	0.0293	0.023	0.035512	0.0130289
0.6	0.6885	0	0	0.301	0.026	0.019	0.029336	0.0120833
0.7	0.6799	0	0	0.307	0.0242	0.015	0.02316	0.011471
0.8	0.6647	0	0	0.298	0.0234	0.011	0.016984	0.0107666
0.9	0.6369	0	0	0.26	0.0257	0.007	0.010808	0.010317
0.95	0.6177	0	0	0.211	0.0303	0.005	0.00772	0.0098713
1	0.5949	0	0	0	0.0385	0.003	0.004632	0

r/R=0.2 Fmax= 0.015216 c= 0.00347 Tmax= 0.0654656

D= 1.544

x/c	t/tmax	f/fmax	x	Ys	Yy
0	0	0	0	0	0
0.5	0.067	0.0423	0.00174	0.0028	-0.0015
0.75	0.081	0.0595	0.00261	0.0036	-0.0018
1.25	0.104	0.0907	0.00434	0.0048	-0.002
2.5	0.147	0.1586	0.00869	0.0072	-0.0024
5	0.207	0.2712	0.01737	0.0109	-0.0026
7.5	0.253	0.3657	0.02606	0.0138	-0.0027
10	0.291	0.4482	0.03474	0.0163	-0.0027
15	0.352	0.5869	0.05211	0.0205	-0.0026
20	0.4	0.6993	0.06948	0.0237	-0.0025
25	0.436	0.7905	0.08685	0.0263	-0.0023
30	0.464	0.8635	0.10422	0.0283	-0.002
35	0.483	0.9202	0.12159	0.0298	-0.0018
40	0.495	0.9615	0.13896	0.0308	-0.0016
45	0.5	0.9881	0.15633	0.0314	-0.0013
50	0.496	1	0.1737	0.0315	-0.001
55	0.485	0.9971	0.19107	0.031	-0.0007
60	0.465	0.9786	0.20844	0.0301	-0.0003
65	0.438	0.9434	0.22581	0.0287	8.1E-06
70	0.404	0.8892	0.24318	0.0267	0.00032
75	0.361	0.8121	0.26055	0.0242	0.00053
80	0.311	0.7027	0.27792	0.0209	0.00051
85	0.253	0.5425	0.29529	0.0165	-3E-05
90	0.188	0.3588	0.31266	0.0116	-0.0007
95	0.114	0.1713	0.33003	0.0063	-0.0011
97.5	0.075	0.0823	0.33872	0.0037	-0.0012
100	0.033	0	0.3474	0.0011	-0.0011

$r/R=0.25$ $F_{max}= 0.0156$ $c= 0.0036$ $T_{max}= 0.05003$

x/c	t/t_{max}	f/f_{max}	x	Y_s	Y_y
0	0	0	0	0	0
0.5	0.067	0.0423	0.00182	0.0023	-0.001
0.75	0.081	0.0595	0.00273	0.003	-0.0011
1.25	0.104	0.0907	0.00455	0.004	-0.0012
2.5	0.147	0.1586	0.00911	0.0061	-0.0012
5	0.207	0.2712	0.01822	0.0094	-0.0009
7.5	0.253	0.3657	0.02733	0.012	-0.0006
10	0.291	0.4482	0.03644	0.0143	-0.0003
15	0.352	0.5869	0.05466	0.018	0.00035
20	0.4	0.6993	0.07288	0.0209	0.0009
25	0.436	0.7905	0.0911	0.0232	0.00142
30	0.464	0.8635	0.10932	0.0251	0.00187
35	0.483	0.9202	0.12753	0.0264	0.00226
40	0.495	0.9615	0.14575	0.0274	0.00261
45	0.5	0.9881	0.16397	0.0279	0.0029
50	0.496	1	0.18219	0.028	0.00318
55	0.485	0.9971	0.20041	0.0277	0.00343
60	0.465	0.9786	0.21863	0.0269	0.00362
65	0.438	0.9434	0.23685	0.0257	0.00375
70	0.404	0.8892	0.25507	0.024	0.00377
75	0.361	0.8121	0.27329	0.0217	0.00363
80	0.311	0.7027	0.29151	0.0187	0.00318
85	0.253	0.5425	0.30973	0.0148	0.00213
90	0.188	0.3588	0.32795	0.0103	0.0009
95	0.114	0.1713	0.34616	0.0055	-0.0002
97.5	0.075	0.0823	0.35527	0.0032	-0.0006
100	0.033	0	0.36438	0.0008	-0.0008

$r/R=0.3$ $F_{max}= 0.01557$ $c= 0.0038$ $T_{max}= 0.04632$

x/c	t/t_{max}	f/f_{max}	x	Y_s	Y_y
0	0	0	0	0	0
0.5	0.067	0.0423	0.00192	0.0022	-0.0009
0.75	0.081	0.0595	0.00288	0.0028	-0.001
1.25	0.104	0.0907	0.00481	0.0038	-0.001
2.5	0.147	0.1586	0.00961	0.0059	-0.0009
5	0.207	0.2712	0.01922	0.009	-0.0006
7.5	0.253	0.3657	0.02883	0.0115	-0.0002
10	0.291	0.4482	0.03845	0.0137	0.00025
15	0.352	0.5869	0.05767	0.0173	0.00098
20	0.4	0.6993	0.07689	0.0202	0.00162
25	0.436	0.7905	0.09611	0.0224	0.0022
30	0.464	0.8635	0.11534	0.0242	0.00271
35	0.483	0.9202	0.13456	0.0255	0.00314
40	0.495	0.9615	0.15378	0.0264	0.0035
45	0.5	0.9881	0.17301	0.027	0.00381
50	0.496	1	0.19223	0.0271	0.00408
55	0.485	0.9971	0.21145	0.0267	0.0043

60	0.465	0.9786	0.23067	0.026	0.00446
65	0.438	0.9434	0.2499	0.0248	0.00454
70	0.404	0.8892	0.26912	0.0232	0.0045
75	0.361	0.8121	0.28834	0.021	0.00428
80	0.311	0.7027	0.30756	0.0181	0.00374
85	0.253	0.5425	0.32679	0.0143	0.00258
90	0.188	0.3588	0.34601	0.0099	0.00124
95	0.114	0.1713	0.36523	0.0053	2E-05
97.5	0.075	0.0823	0.37484	0.003	-0.0005
100	0.033	0	0.38446	0.0008	-0.0008

$r/R=0.4$ $F_{\max}= 0.0143$ $c= 0.0042$ $T_{\max}= 0.04014$

x/c	$t/t_{\max}$	$f/f_{\max}$	x	Y_s	Y_y
0	0	0	0	0	0
0.5	0.067	0.0423	0.00208	0.0019	-0.0007
0.75	0.081	0.0595	0.00313	0.0025	-0.0008
1.25	0.104	0.0907	0.00521	0.0034	-0.0008
2.5	0.147	0.1586	0.01042	0.0052	-0.0007
5	0.207	0.2712	0.02084	0.008	-0.0003
7.5	0.253	0.3657	0.03127	0.0103	0.00016
10	0.291	0.4482	0.04169	0.0122	0.00057
15	0.352	0.5869	0.06253	0.0155	0.00132
20	0.4	0.6993	0.08338	0.018	0.00197
25	0.436	0.7905	0.10422	0.0201	0.00255
30	0.464	0.8635	0.12506	0.0217	0.00304
35	0.483	0.9202	0.14591	0.0229	0.00346
40	0.495	0.9615	0.16675	0.0237	0.00381
45	0.5	0.9881	0.1876	0.0242	0.00409
50	0.496	1	0.20844	0.0243	0.00434
55	0.485	0.9971	0.22928	0.024	0.00453
60	0.465	0.9786	0.25013	0.0233	0.00465
65	0.438	0.9434	0.27097	0.0223	0.00469
70	0.404	0.8892	0.29182	0.0208	0.00462
75	0.361	0.8121	0.31266	0.0189	0.00436
80	0.311	0.7027	0.3335	0.0163	0.00381
85	0.253	0.5425	0.35435	0.0128	0.00267
90	0.188	0.3588	0.37519	0.0089	0.00136
95	0.114	0.1713	0.39604	0.0047	0.00016
97.5	0.075	0.0823	0.40646	0.0027	-0.0003
100	0.033	0	0.41688	0.0007	-0.0007

$r/R=0.5$ $F_{max}= 0.01303$ $c= 0.0044$ $T_{max}= 0.03551$

x/c	t/t_{max}	f/f_{max}	x	Y_s	Y_y
0	0	0	0	0	0
0.5	0.067	0.0423	0.00222	0.0017	-0.0006
0.75	0.081	0.0595	0.00334	0.0022	-0.0007
1.25	0.104	0.0907	0.00556	0.003	-0.0007
2.5	0.147	0.1586	0.01112	0.0047	-0.0005
5	0.207	0.2712	0.02223	0.0072	-0.0001
7.5	0.253	0.3657	0.03335	0.0092	0.00028
10	0.291	0.4482	0.04447	0.011	0.00068
15	0.352	0.5869	0.0667	0.0139	0.00139
20	0.4	0.6993	0.08893	0.0162	0.00201
25	0.436	0.7905	0.11117	0.018	0.00255
30	0.464	0.8635	0.1334	0.0195	0.00302
35	0.483	0.9202	0.15564	0.0206	0.00341
40	0.495	0.9615	0.17787	0.0213	0.00373
45	0.5	0.9881	0.2001	0.0218	0.004
50	0.496	1	0.22234	0.0218	0.00422
55	0.485	0.9971	0.24457	0.0216	0.00439
60	0.465	0.9786	0.2668	0.021	0.00449
65	0.438	0.9434	0.28904	0.0201	0.00451
70	0.404	0.8892	0.31127	0.0187	0.00442
75	0.361	0.8121	0.3335	0.017	0.00417
80	0.311	0.7027	0.35574	0.0147	0.00363
85	0.253	0.5425	0.37797	0.0116	0.00257
90	0.188	0.3588	0.4002	0.008	0.00134
95	0.114	0.1713	0.42244	0.0043	0.0002
97.5	0.075	0.0823	0.43356	0.0024	-0.0003
100	0.033	0	0.44467	0.0006	-0.0006

$r/R=0.6$ $F_{max}= 0.01208$ $c= 0.0046$ $T_{max}= 0.02934$

x/c	t/t_{max}	f/f_{max}	x	Y_s	Y_y
0	0	0	0	0	0
0.5	0.067	0.0423	0.00232	0.0015	-0.0005
0.75	0.081	0.0595	0.00349	0.0019	-0.0005
1.25	0.104	0.0907	0.00581	0.0026	-0.0004
2.5	0.147	0.1586	0.01162	0.0041	-0.0002
5	0.207	0.2712	0.02324	0.0063	0.00025
7.5	0.253	0.3657	0.03486	0.0081	0.00072
10	0.291	0.4482	0.04647	0.0097	0.00115
15	0.352	0.5869	0.06971	0.0123	0.00193
20	0.4	0.6993	0.09295	0.0143	0.00258
25	0.436	0.7905	0.11619	0.016	0.00315
30	0.464	0.8635	0.13942	0.0172	0.00363
35	0.483	0.9202	0.16266	0.0182	0.00403
40	0.495	0.9615	0.1859	0.0189	0.00435
45	0.5	0.9881	0.20913	0.0193	0.00461

50	0.496	1	0.23237	0.0194	0.00481
55	0.485	0.9971	0.25561	0.0192	0.00494
60	0.465	0.9786	0.27885	0.0186	0.005
65	0.438	0.9434	0.30208	0.0178	0.00497
70	0.404	0.8892	0.32532	0.0167	0.00483
75	0.361	0.8121	0.34856	0.0151	0.00451
80	0.311	0.7027	0.3718	0.0131	0.00393
85	0.253	0.5425	0.39503	0.0103	0.00284
90	0.188	0.3588	0.41827	0.0071	0.00158
95	0.114	0.1713	0.44151	0.0037	0.00039
97.5	0.075	0.0823	0.45313	0.0021	-0.0001
100	0.033	0	0.46474	0.0005	-0.0005

r/R=0.7

Fmax= 0.01147

c= 0.0047

Tmax= 0.02316

x/c	t/tmax	f/fmax	x	Ys	Yy
0	0	0	0	0	0
0.5	0.067	0.0423	0.00237	0.0013	-0.0003
0.75	0.081	0.0595	0.00356	0.0016	-0.0003
1.25	0.104	0.0907	0.00593	0.0022	-0.0002
2.5	0.147	0.1586	0.01185	0.0035	0.00012
5	0.207	0.2712	0.0237	0.0055	0.00072
7.5	0.253	0.3657	0.03555	0.0071	0.00127
10	0.291	0.4482	0.0474	0.0085	0.00177
15	0.352	0.5869	0.0711	0.0108	0.00266
20	0.4	0.6993	0.0948	0.0127	0.00339
25	0.436	0.7905	0.1185	0.0141	0.00402
30	0.464	0.8635	0.1422	0.0153	0.00454
35	0.483	0.9202	0.1659	0.0162	0.00496
40	0.495	0.9615	0.1896	0.0168	0.00529
45	0.5	0.9881	0.2133	0.0171	0.00554
50	0.496	1	0.237	0.0172	0.00572
55	0.485	0.9971	0.2607	0.017	0.00583
60	0.465	0.9786	0.2844	0.0166	0.00584
65	0.438	0.9434	0.30811	0.0159	0.00575
70	0.404	0.8892	0.33181	0.0149	0.00553
75	0.361	0.8121	0.35551	0.0135	0.00513
80	0.311	0.7027	0.37921	0.0117	0.00446
85	0.253	0.5425	0.40291	0.0092	0.00329
90	0.188	0.3588	0.42661	0.0063	0.00194
95	0.114	0.1713	0.45031	0.0033	0.00064
97.5	0.075	0.0823	0.46216	0.0018	7.8E-05
100	0.033	0	0.47401	0.0004	-0.0004

$r/R=0.8$ $F_{max}= 0.01077$ $c= 0.0046$ $T_{max}= 0.01698$

x/c	t/t_{max}	f/f_{max}	x	Y_s	Y_y
0	0	0	0	0	0
0.5	0.067	0.0423	0.0023	0.001	-0.0001
0.75	0.081	0.0595	0.00345	0.0013	-5E-05
1.25	0.104	0.0907	0.00575	0.0019	9E-05
2.5	0.147	0.1586	0.0115	0.003	0.00046
5	0.207	0.2712	0.02301	0.0047	0.00117
7.5	0.253	0.3657	0.03451	0.0061	0.00179
10	0.291	0.4482	0.04601	0.0073	0.00236
15	0.352	0.5869	0.06902	0.0093	0.00333
20	0.4	0.6993	0.09202	0.0109	0.00413
25	0.436	0.7905	0.11503	0.0122	0.00481
30	0.464	0.8635	0.13803	0.0132	0.00536
35	0.483	0.9202	0.16104	0.014	0.0058
40	0.495	0.9615	0.18404	0.0146	0.00615
45	0.5	0.9881	0.20705	0.0149	0.00639
50	0.496	1	0.23006	0.015	0.00655
55	0.485	0.9971	0.25306	0.0149	0.00662
60	0.465	0.9786	0.27607	0.0145	0.00658
65	0.438	0.9434	0.29907	0.0139	0.00644
70	0.404	0.8892	0.32208	0.013	0.00615
75	0.361	0.8121	0.34508	0.0118	0.00568
80	0.311	0.7027	0.36809	0.0102	0.00492
85	0.253	0.5425	0.3911	0.008	0.00369
90	0.188	0.3588	0.4141	0.0055	0.00227
95	0.114	0.1713	0.43711	0.0028	0.00087
97.5	0.075	0.0823	0.44861	0.0015	0.00025
100	0.033	0	0.46011	0.0003	-0.0003

$r/R=0.9$ $F_{max}= 0.01032$ $c= 0.004$ $T_{max}= 0.01081$

x/c	t/t_{max}	f/f_{max}	x	Y_s	Y_y
0	0	0	0	0	0
0.5	0.067	0.0423	0.00201	0.0008	7.7E-05
0.75	0.081	0.0595	0.00301	0.0011	0.00018
1.25	0.104	0.0907	0.00502	0.0015	0.00037
2.5	0.147	0.1586	0.01004	0.0024	0.00084
5	0.207	0.2712	0.02007	0.0039	0.00168
7.5	0.253	0.3657	0.03011	0.0051	0.00241
10	0.291	0.4482	0.04014	0.0062	0.00305
15	0.352	0.5869	0.06022	0.008	0.00415
20	0.4	0.6993	0.08029	0.0094	0.00505
25	0.436	0.7905	0.10036	0.0105	0.0058
30	0.464	0.8635	0.12043	0.0114	0.0064
35	0.483	0.9202	0.1405	0.0121	0.00688
40	0.495	0.9615	0.16058	0.0126	0.00724
45	0.5	0.9881	0.18065	0.0129	0.00749
50	0.496	1	0.20072	0.013	0.00764
55	0.485	0.9971	0.22079	0.0129	0.00767

60	0.465	0.9786	0.24086	0.0126	0.00758
65	0.438	0.9434	0.26094	0.0121	0.00736
70	0.404	0.8892	0.28101	0.0114	0.00699
75	0.361	0.8121	0.30108	0.0103	0.00643
80	0.311	0.7027	0.32115	0.0089	0.00557
85	0.253	0.5425	0.34122	0.007	0.00423
90	0.188	0.3588	0.3613	0.0047	0.00269
95	0.114	0.1713	0.38137	0.0024	0.00115
97.5	0.075	0.0823	0.3914	0.0013	0.00044
100	0.033	0	0.40144	0.0002	-0.0002

r/R=0.95**Fmax= 0.00987****c=****0.0033****Tmax=****0.00772**

x/c	t/tmax	f/fmax	x	Ys	Yy
0	0	0	0	0	0
0.5	0.067	0.0423	0.00163	0.0007	0.00016
0.75	0.081	0.0595	0.00244	0.0009	0.00027
1.25	0.104	0.0907	0.00407	0.0013	0.00049
2.5	0.147	0.1586	0.00814	0.0021	0.001
5	0.207	0.2712	0.01629	0.0035	0.00188
7.5	0.253	0.3657	0.02443	0.0046	0.00264
10	0.291	0.4482	0.03258	0.0055	0.0033
15	0.352	0.5869	0.04887	0.0072	0.00443
20	0.4	0.6993	0.06516	0.0084	0.00536
25	0.436	0.7905	0.08145	0.0095	0.00612
30	0.464	0.8635	0.09774	0.0103	0.00673
35	0.483	0.9202	0.11402	0.0109	0.00722
40	0.495	0.9615	0.13031	0.0114	0.00758
45	0.5	0.9881	0.1466	0.0117	0.00782
50	0.496	1	0.16289	0.0118	0.00796
55	0.485	0.9971	0.17918	0.0117	0.00797
60	0.465	0.9786	0.19547	0.0115	0.00786
65	0.438	0.9434	0.21176	0.011	0.00762
70	0.404	0.8892	0.22805	0.0103	0.00722
75	0.361	0.8121	0.24434	0.0094	0.00662
80	0.311	0.7027	0.26063	0.0081	0.00574
85	0.253	0.5425	0.27692	0.0063	0.00438
90	0.188	0.3588	0.29321	0.0043	0.00282
95	0.114	0.1713	0.30949	0.0021	0.00125
97.5	0.075	0.0823	0.31764	0.0011	0.00052
100	0.033	0	0.32578	0.0001	-0.0001

r/R=1.0**Fmax= 0****c=****0****Tmax=****0.00463**

UYGULAMA2

OUTPUT BLADE GEOMETRY								
R/RO	P/D	XS/D	SKEW	C/D	FO/C	TO/D	TO	FO
0.2	0.867	0	0	0.196	0.0371	0.0424	0.32054	0.05497
0.25	0.928	0	0	0.206	0.0456	0.0327	0.24721	0.07102
0.3	0.96	0	0	0.217	0.0482	0.0307	0.23209	0.07907
0.4	0.974	0	0	0.236	0.0445	0.0267	0.20185	0.0794
0.5	0.986	0	0	0.252	0.0429	0.0228	0.17237	0.08173
0.6	0.987	0	0	0.263	0.0394	0.0188	0.14213	0.07834
0.7	0.918	0	0	0.268	0.0303	0.0148	0.11189	0.06139
0.8	0.832	0	0	0.26	0.0241	0.0108	0.08165	0.04737
0.9	0.744	0	0	0.227	0.0213	0.007	0.05292	0.03655
0.95	0.683	0	0	0.184	0.0224	0.005	0.0378	0.03116
1	0.602	0	0	0	0.0257	0.003	0.02268	0

r/R=0.2

Fmax= 0.05497

c= 0.0148

Tmax= 0.32054
D= 7.56

x/c	t/tmax	f/fmax	x	Ys	Yy
0	0	0	0	0	0
0.5	0.067	0.0423	0.00741	0.013	-0.0083
0.75	0.081	0.0595	0.01111	0.0163	-0.0097
1.25	0.104	0.0907	0.01852	0.0217	-0.0117
2.5	0.147	0.1586	0.03704	0.0322	-0.0148
5	0.207	0.2712	0.07409	0.048	-0.0182
7.5	0.253	0.3657	0.11113	0.0606	-0.0204
10	0.291	0.4482	0.14818	0.0712	-0.022
15	0.352	0.5869	0.22226	0.0887	-0.0242
20	0.4	0.6993	0.29635	0.1026	-0.0257
25	0.436	0.7905	0.37044	0.1134	-0.0265
30	0.464	0.8635	0.44453	0.1218	-0.0268
35	0.483	0.9202	0.51862	0.128	-0.0269
40	0.495	0.9615	0.5927	0.1322	-0.0265
45	0.5	0.9881	0.66679	0.1345	-0.0258
50	0.496	1	0.74088	0.1345	-0.0246
55	0.485	0.9971	0.81497	0.1325	-0.0229
60	0.465	0.9786	0.88906	0.1284	-0.0208
65	0.438	0.9434	0.96314	0.1221	-0.0184
70	0.404	0.8892	1.03723	0.1136	-0.0158
75	0.361	0.8121	1.11132	0.1025	-0.0132
80	0.311	0.7027	1.18541	0.0885	-0.0112
85	0.253	0.5425	1.2595	0.0704	-0.0108
90	0.188	0.3588	1.33358	0.0498	-0.0104
95	0.114	0.1713	1.40767	0.0277	-0.0089
97.5	0.075	0.0823	1.44472	0.0165	-0.0075
100	0.033	0	1.48176	0.0053	-0.0053

$r/R=0.25$ $F_{max}= 0.07102$ $c= 0.0156$ $T_{max}= 0.24721$

x/c	t/t_{max}	f/f_{max}	x	Y_s	Y_y
0	0	0	0	0	0
0.5	0.067	0.0423	0.00779	0.0112	-0.0052
0.75	0.081	0.0595	0.01168	0.0143	-0.0058
1.25	0.104	0.0907	0.01947	0.0193	-0.0065
2.5	0.147	0.1586	0.03893	0.0294	-0.0069
5	0.207	0.2712	0.07787	0.0448	-0.0063
7.5	0.253	0.3657	0.1168	0.0572	-0.0052
10	0.291	0.4482	0.15574	0.0678	-0.0041
15	0.352	0.5869	0.2336	0.0852	-0.0018
20	0.4	0.6993	0.31147	0.0991	0.00022
25	0.436	0.7905	0.38934	0.1101	0.00221
30	0.464	0.8635	0.46721	0.1186	0.00401
35	0.483	0.9202	0.54508	0.1251	0.00562
40	0.495	0.9615	0.62294	0.1295	0.00707
45	0.5	0.9881	0.70081	0.132	0.00837
50	0.496	1	0.77868	0.1323	0.00968
55	0.485	0.9971	0.85655	0.1307	0.01091
60	0.465	0.9786	0.93442	0.127	0.01198
65	0.438	0.9434	1.01228	0.1212	0.01282
70	0.404	0.8892	1.09015	0.113	0.01327
75	0.361	0.8121	1.16802	0.1023	0.01303
80	0.311	0.7027	1.24589	0.0883	0.01146
85	0.253	0.5425	1.32376	0.0698	0.00723
90	0.188	0.3588	1.40162	0.0487	0.00228
95	0.114	0.1713	1.47949	0.0263	-0.002
97.5	0.075	0.0823	1.51843	0.0151	-0.0034
100	0.033	0	1.55736	0.0041	-0.0041

$r/R=0.3$ $F_{max}= 0.07907$ $c= 0.0164$ $T_{max}= 0.23209$

x/c	t/t_{max}	f/f_{max}	x	Y_s	Y_y
0	0	0	0	0	0
0.5	0.067	0.0423	0.0082	0.0111	-0.0044
0.75	0.081	0.0595	0.0123	0.0141	-0.0047
1.25	0.104	0.0907	0.02051	0.0193	-0.0049
2.5	0.147	0.1586	0.04101	0.0296	-0.0045
5	0.207	0.2712	0.08203	0.0454	-0.0025
7.5	0.253	0.3657	0.12304	0.0582	-0.0004
10	0.291	0.4482	0.16405	0.0692	0.00171
15	0.352	0.5869	0.24608	0.0873	0.00555
20	0.4	0.6993	0.3281	0.1017	0.00888
25	0.436	0.7905	0.41013	0.1131	0.01188
30	0.464	0.8635	0.49216	0.1221	0.01447
35	0.483	0.9202	0.57418	0.1288	0.01669
40	0.495	0.9615	0.65621	0.1335	0.01856
45	0.5	0.9881	0.73823	0.1362	0.02011
50	0.496	1	0.82026	0.1367	0.02149
55	0.485	0.9971	0.90229	0.1351	0.02261

UYGULAMA2

1

----- MIT-PBD-10 -----
 PROPELLER BLADE DESIGN FOR PRESCRIBED LOAD DISTRIBUTION
 RELEASE DATE 05/18/83 COMPUTATION DATE

----- RUN CONTROL OPTIONS -----

INPUT DATA:

NX=11 NUMBER OF INPUT RADII
 NCI=0 0:GENERATE A=.8, 1:GENERATE B=.8, 2:OFFSETS GIVEN

BLADE LATTICE:

NBLADE=5 NUMBER OF BLADES
 NKEY= 8 CHORDWISE ELEMENTS ON KEY BLADE
 MKEY= 9 SPANWISE ELEMENTS ON KEY BLADE
 NOTHER= 4 CHORDWISE ELEMENTS ON OTHER BLADES
 MOTHER= 9 SPANWISE ELEMENTS ON OTHER BLADES
 MCTRP= 8 NUMBER OF CONTROL POINT PANELS OVER SPAN
 MC(M) 1 2 3 4 5 6 7 8

CIRCULATION AND THICKNESS:

NGCOEF=9 NUMBER OF TERMS IN SPANWISE CIRCULATION SERIES
 MLTYPE=0 0:A=.8 CHORDWISE LOADING, 1:B=.8 LOADING
 MTHICK=0 0:MOD 66, 1:ELLIPTICAL, 2:ELLIPTIC/PARABOLIC

GRAPHICS OUTPUT:

NPLOT=1 0:NO PLOT OUTPUT, 1:PLOT OUTPUT FILE GENERATED
 NPLOH=1 1:PLOT HUB, 0:OMIT
 NPLOB=1 NUMBER OF BLADES TO BE PLOTTED
 NPLOW=1 NUMBER OF WAKES TO BE PLOTTED

COMPUTATION OPTIONS:

NVEL=1 1:CALCULATE INDUCED VELOCITIES, 0:USE OLD VALUES
 NWIMAX=10 NUMBER OF WAKE ALIGNMENT ITERATIONS
 NITER=10 NUMBER OF MEAN LINE SHAPE ITERATIONS

----- ADVANCE COEFFICIENT AND SLIPSTREAM DEFORMATION -----

ADVCO=0.762 ADVANCE COEFFICIENT, J, BASED ON SHIP SPEED
 RULT= 0.830 ULTIMATE TIP VORTEX RADIUS
 RHULT=0.150 ULTIMATE HUB VORTEX RADIUS
 DCD= 20.00 SLIPSTREAM CONTRACTION ANGLE-DEGREES
 XULT= 1.00 AXIAL EXTENT OF TRANSITION WAKE
 XFINAL=1.50 AXIAL EXTENT OF WAKE VELOCITY GROWTH
 DTPROP=15.0 PROP ROTATION INCREMENT FOR WAKE CONVECTION

----- COEFFICIENTS OF RADIAL DISTRIBUTION OF CIRCULATION -----

1 0.041325
 2 -0.000427
 3 -0.001668
 4 -0.000039
 5 0.000641
 6 -0.000028
 7 0.000074
 8 -0.000010
 9 0.000156

60	0.465	0.9786	0.98431	0.1314	0.02338
65	0.438	0.9434	1.06634	0.1255	0.02373
70	0.404	0.8892	1.14836	0.1171	0.02349
75	0.361	0.8121	1.23039	0.1061	0.0223
80	0.311	0.7027	1.31242	0.0917	0.01947
85	0.253	0.5425	1.39444	0.0723	0.01351
90	0.188	0.3588	1.47647	0.0502	0.00659
95	0.114	0.1713	1.55849	0.0268	0.00028
97.5	0.075	0.0823	1.59951	0.0152	-0.0022
100	0.033	0	1.64052	0.0039	-0.0039

$r/R=0.4$ $F_{max}= 0.0794$ $c= 0.0178$ $T_{max}= 0.20185$

x/c	t/t_{max}	f/f_{max}	x	Y_s	Y_y
0	0	0	0	0	0
0.5	0.067	0.0423	0.00892	0.0101	-0.0034
0.75	0.081	0.0595	0.01338	0.0129	-0.0035
1.25	0.104	0.0907	0.0223	0.0177	-0.0033
2.5	0.147	0.1586	0.0446	0.0274	-0.0022
5	0.207	0.2712	0.08921	0.0424	0.00068
7.5	0.253	0.3657	0.13381	0.0545	0.00355
10	0.291	0.4482	0.17842	0.0649	0.00625
15	0.352	0.5869	0.26762	0.0821	0.01106
20	0.4	0.6993	0.35683	0.0959	0.01515
25	0.436	0.7905	0.44604	0.1068	0.01873
30	0.464	0.8635	0.53525	0.1154	0.02176
35	0.483	0.9202	0.62446	0.1218	0.02429
40	0.495	0.9615	0.71366	0.1263	0.02636
45	0.5	0.9881	0.80287	0.1289	0.02799
50	0.496	1	0.89208	0.1295	0.02932
55	0.485	0.9971	0.98129	0.1281	0.03026
60	0.465	0.9786	1.0705	0.1247	0.03074
65	0.438	0.9434	1.1597	0.1191	0.03067
70	0.404	0.8892	1.24891	0.1113	0.02987
75	0.361	0.8121	1.33812	0.1009	0.02802
80	0.311	0.7027	1.42733	0.0872	0.0244
85	0.253	0.5425	1.51654	0.0686	0.01752
90	0.188	0.3588	1.60574	0.0474	0.00954
95	0.114	0.1713	1.69495	0.0251	0.00206
97.5	0.075	0.0823	1.73956	0.0141	-0.001
100	0.033	0	1.78416	0.0034	-0.0034

$r/R=0.5$ $F_{max}= 0.08173$ $c= 0.0191$ $T_{max}= 0.17237$

x/c	t/t_{max}	f/f_{max}	x	Y_s	Y_y
0	0	0	0	0	0
0.5	0.067	0.0423	0.00953	0.0092	-0.0023
0.75	0.081	0.0595	0.01429	0.0119	-0.0021
1.25	0.104	0.0907	0.02381	0.0164	-0.0016
2.5	0.147	0.1586	0.04763	0.0256	0.00033
5	0.207	0.2712	0.09526	0.04	0.00436
7.5	0.253	0.3657	0.14288	0.0516	0.00813
10	0.291	0.4482	0.19051	0.0617	0.01158
15	0.352	0.5869	0.28577	0.0783	0.01762
20	0.4	0.6993	0.38102	0.0916	0.02268
25	0.436	0.7905	0.47628	0.1022	0.02701
30	0.464	0.8635	0.57154	0.1105	0.03061
35	0.483	0.9202	0.66679	0.1169	0.03356
40	0.495	0.9615	0.76205	0.1213	0.0359
45	0.5	0.9881	0.8573	0.1238	0.03767
50	0.496	1	0.95256	0.1245	0.03897
55	0.485	0.9971	1.04782	0.1233	0.03973
60	0.465	0.9786	1.14307	0.1201	0.03988
65	0.438	0.9434	1.23833	0.1149	0.03933
70	0.404	0.8892	1.33358	0.1074	0.0379
75	0.361	0.8121	1.42884	0.0975	0.03524
80	0.311	0.7027	1.5241	0.0842	0.03063
85	0.253	0.5425	1.61935	0.0662	0.02252
90	0.188	0.3588	1.71461	0.0455	0.01315
95	0.114	0.1713	1.80986	0.0239	0.00415
97.5	0.075	0.0823	1.85749	0.0132	0.00028
100	0.033	0	1.90512	0.0029	-0.0029

$r/R=0.6$ $F_{max}= 0.07834$ $c= 0.0199$ $T_{max}= 0.14213$

x/c	t/t_{max}	f/f_{max}	x	Y_s	Y_y
0	0	0	0	0	0
0.5	0.067	0.0423	0.00994	0.008	-0.0014
0.75	0.081	0.0595	0.01491	0.0104	-0.0011
1.25	0.104	0.0907	0.02485	0.0145	-0.0003
2.5	0.147	0.1586	0.04971	0.0228	0.00201
5	0.207	0.2712	0.09941	0.0359	0.00656
7.5	0.253	0.3657	0.14912	0.0466	0.0107
10	0.291	0.4482	0.19883	0.0558	0.01445
15	0.352	0.5869	0.29824	0.071	0.02096
20	0.4	0.6993	0.39766	0.0832	0.02636
25	0.436	0.7905	0.49707	0.0929	0.03092
30	0.464	0.8635	0.59648	0.1006	0.03469
35	0.483	0.9202	0.6959	0.1064	0.03775
40	0.495	0.9615	0.79531	0.1105	0.04013
45	0.5	0.9881	0.89473	0.1129	0.04187
50	0.496	1	0.99414	0.1136	0.04308
55	0.485	0.9971	1.09355	0.1125	0.04367

60	0.465	0.9786	1.19297	0.1097	0.0436
65	0.438	0.9434	1.29238	0.1051	0.04276
70	0.404	0.8892	1.3918	0.0983	0.04098
75	0.361	0.8121	1.49121	0.0893	0.03795
80	0.311	0.7027	1.59062	0.0771	0.03295
85	0.253	0.5425	1.69004	0.0605	0.02451
90	0.188	0.3588	1.78945	0.0414	0.01477
95	0.114	0.1713	1.88887	0.0215	0.0053
97.5	0.075	0.0823	1.93857	0.0118	0.00113
100	0.033	0	1.98828	0.0024	-0.0024

r/R=0.7**Fmax= 0.06139****c= 0.0203****Tmax= 0.11189**

x/c	t/tmax	f/fmax	x	Ys	Yy
0	0	0	0	0	0
0.5	0.067	0.0423	0.01013	0.0063	-0.0011
0.75	0.081	0.0595	0.0152	0.0082	-0.0009
1.25	0.104	0.0907	0.02533	0.0114	-0.0003
2.5	0.147	0.1586	0.05065	0.0179	0.00154
5	0.207	0.2712	0.1013	0.0282	0.00509
7.5	0.253	0.3657	0.15196	0.0366	0.00832
10	0.291	0.4482	0.20261	0.0438	0.01125
15	0.352	0.5869	0.30391	0.0557	0.01633
20	0.4	0.6993	0.40522	0.0653	0.02055
25	0.436	0.7905	0.50652	0.0729	0.02412
30	0.464	0.8635	0.60782	0.079	0.02707
35	0.483	0.9202	0.70913	0.0835	0.02946
40	0.495	0.9615	0.81043	0.0867	0.03132
45	0.5	0.9881	0.91174	0.0886	0.03269
50	0.496	1	1.01304	0.0891	0.03363
55	0.485	0.9971	1.11434	0.0883	0.0341
60	0.465	0.9786	1.21565	0.0861	0.03405
65	0.438	0.9434	1.31695	0.0824	0.0334
70	0.404	0.8892	1.41826	0.0772	0.03201
75	0.361	0.8121	1.51956	0.0701	0.02965
80	0.311	0.7027	1.62086	0.0605	0.02574
85	0.253	0.5425	1.72217	0.0475	0.01914
90	0.188	0.3588	1.82347	0.0325	0.01153
95	0.114	0.1713	1.92478	0.0169	0.00412
97.5	0.075	0.0823	1.97543	0.0092	0.00087
100	0.033	0	2.02608	0.0019	-0.0019

r/R=0.8**Fmax= 0.04737****c= 0.0197****Tmax= 0.08165**

x/c	t/tmax	f/fmax	x	Ys	Yy
0	0	0	0	0	0
0.5	0.067	0.0423	0.00983	0.0047	-0.0007
0.75	0.081	0.0595	0.01474	0.0061	-0.0005
1.25	0.104	0.0907	0.02457	0.0086	3.5E-05
2.5	0.147	0.1586	0.04914	0.0135	0.00153
5	0.207	0.2712	0.09828	0.0213	0.00441

7.5	0.253	0.3657	0.14742	0.0276	0.00702
10	0.291	0.4482	0.19656	0.0331	0.00936
15	0.352	0.5869	0.29484	0.0422	0.01343
20	0.4	0.6993	0.39312	0.0495	0.0168
25	0.436	0.7905	0.4914	0.0553	0.01964
30	0.464	0.8635	0.58968	0.0598	0.02197
35	0.483	0.9202	0.68796	0.0633	0.02386
40	0.495	0.9615	0.78624	0.0658	0.02533
45	0.5	0.9881	0.88452	0.0672	0.0264
50	0.496	1	0.9828	0.0676	0.02711
55	0.485	0.9971	1.08108	0.067	0.02745
60	0.465	0.9786	1.17936	0.0654	0.02736
65	0.438	0.9434	1.27764	0.0626	0.0268
70	0.404	0.8892	1.37592	0.0586	0.02565
75	0.361	0.8121	1.4742	0.0532	0.02372
80	0.311	0.7027	1.57248	0.046	0.02059
85	0.253	0.5425	1.67076	0.036	0.01536
90	0.188	0.3588	1.76904	0.0247	0.00933
95	0.114	0.1713	1.86732	0.0128	0.00345
97.5	0.075	0.0823	1.91646	0.007	0.00084
100	0.033	0	1.9656	0.0014	-0.0014

 $r/R=0.9$

Fmax= 0.03655

c= 0.0172

Tmax= 0.05292

x/c	t/tmax	f/fmax	x	Ys	Yy
0	0	0	0	0	0
0.5	0.067	0.0423	0.00858	0.0033	-0.0002
0.75	0.081	0.0595	0.01287	0.0043	2.6E-05
1.25	0.104	0.0907	0.02145	0.0061	0.00055
2.5	0.147	0.1586	0.0429	0.0097	0.00192
5	0.207	0.2712	0.08581	0.0154	0.00445
7.5	0.253	0.3657	0.12871	0.02	0.00669
10	0.291	0.4482	0.17161	0.0241	0.00869
15	0.352	0.5869	0.25742	0.0308	0.01214
20	0.4	0.6993	0.34322	0.0361	0.01498
25	0.436	0.7905	0.42903	0.0404	0.01735
30	0.464	0.8635	0.51484	0.0438	0.01929
35	0.483	0.9202	0.60064	0.0464	0.02085
40	0.495	0.9615	0.68645	0.0482	0.02204
45	0.5	0.9881	0.77225	0.0493	0.02289
50	0.496	1	0.85806	0.0497	0.02342
55	0.485	0.9971	0.94387	0.0493	0.02362
60	0.465	0.9786	1.02967	0.0481	0.02346
65	0.438	0.9434	1.11548	0.0461	0.02289
70	0.404	0.8892	1.20128	0.0432	0.02183
75	0.361	0.8121	1.28709	0.0392	0.02013
80	0.311	0.7027	1.3729	0.0339	0.01746
85	0.253	0.5425	1.4587	0.0265	0.01313
90	0.188	0.3588	1.54451	0.0181	0.00815
95	0.114	0.1713	1.63031	0.0093	0.00324
97.5	0.075	0.0823	1.67322	0.005	0.00103

	100	0.033	0	1.71612	0.0009	-0.0009
r/R=0.95		Fmax=	0.03116	c=	0.0139	Tmax= 0.0378
x/c	t/tmax	f/fmax	x	Ys	Yy	
0	0	0	0	0	0	
0.5	0.067	0.0423	0.00696	0.0026	6.1E-05	
0.75	0.081	0.0595	0.01043	0.0034	0.00032	
1.25	0.104	0.0907	0.01739	0.0048	0.00085	
2.5	0.147	0.1586	0.03478	0.0077	0.00217	
5	0.207	0.2712	0.06955	0.0124	0.00455	
7.5	0.253	0.3657	0.10433	0.0162	0.00662	
10	0.291	0.4482	0.1391	0.0195	0.00847	
15	0.352	0.5869	0.20866	0.0249	0.01163	
20	0.4	0.6993	0.27821	0.0293	0.01423	
25	0.436	0.7905	0.34776	0.0329	0.01639	
30	0.464	0.8635	0.41731	0.0357	0.01814	
35	0.483	0.9202	0.48686	0.0378	0.01954	
40	0.495	0.9615	0.55642	0.0393	0.0206	
45	0.5	0.9881	0.62597	0.0402	0.02134	
50	0.496	1	0.69552	0.0405	0.02178	
55	0.485	0.9971	0.76507	0.0402	0.02191	
60	0.465	0.9786	0.83462	0.0393	0.0217	
65	0.438	0.9434	0.90418	0.0377	0.02111	
70	0.404	0.8892	0.97373	0.0353	0.02008	
75	0.361	0.8121	1.04328	0.0321	0.01848	
80	0.311	0.7027	1.11283	0.0278	0.01602	
85	0.253	0.5425	1.18238	0.0217	0.01212	
90	0.188	0.3588	1.25194	0.0147	0.00763	
95	0.114	0.1713	1.32149	0.0075	0.00318	
97.5	0.075	0.0823	1.35626	0.004	0.00115	
100	0.033	0	1.39104	0.0006	-0.0006	
r/R=1.0		Fmax=	0	c=	0	Tmax= 0.02268

ÖZGEÇMİŞ

Doğum Yeri ve Tarihi : Isparta, 1973

Lise : Isparta Lisesi, 1987-1990

Üniversite : İstanbul Teknik Üniversitesi, 1990-1994
: Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri Fakültesi
Gemi İnşaatı Mühendisliği Bölümü

İş Durumu : Yıldız Teknik Üniversitesi Gemi İnşaatı Mühendisliği
Bölümü'nde Araştırma Görevliliği, 1995 -
(Halen Bu Bölümde Görevini Sürdürmektedir.)

Askerlik Durumu : Tecilli