

**RADYAL POMPA ÇARKININ BİLGİSAYAR
YARDIMI İLE TASARIMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Mak. Müh. Emre YILDIRIM
(503930013011)

101214

101214

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 5 Haziran 2000
Tezin Savunulduğu Tarih : 27 Haziran 2000

Tez Danışmanı :
Diğer Jüri Üyeleri

Doç.Dr. Erkan AYDER

Prof.Dr. Haluk KARADOĞAN (İTÜ)

Doç.Dr. Cem PARMAKSIZOĞLU (İTÜ)

[Handwritten signatures of the thesis advisor and jury members]

HAZİRAN 2000

ÖNSÖZ

Bilgisayar teknolojisindeki gelişmelere paralel olarak akışkanlar mekaniğinde uzun iteratif yöntemler gerektiren hesaplamalar oldukça kısa sürelerde yapılabilmektedir. Bu çalışmada temel büyüklükleri belli olan bir radyal pompa çarkında FORTRAN 95 programlama dili ile hazırlanan programlar yardımıyla çark tasarımı yapılmış ve akış çözümlemesine çalışılmıştır.

Bu çalışmada, gerek konu seçiminde gerekse çalışmam sırasında yol göstericiliğinden yararlandığım değerli bilim adamı Doç. Dr. Sayın Erkan AYDER'e, çalışmalarım sırasında sabır gösteren eşime ve başta Dr.Y.Müh. Sayın Aşkın KARAKAŞ olmak üzere Hidrolik Makinalar birimi araştırma görevlilerine teşekkürlerimi sunarım.

Haziran 2000

Emre YILDIRIM

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
TABLO LİSTESİ.....	v
ŞEKİL LİSTESİ.....	vi
SEMBOL LİSTESİ.....	vii
ÖZET.....	ix
SUMMARY.....	x
1.GİRİŞ.....	1
2.KAYNAK TARAMASI.....	3
2.1.Radyal Pompa Çark Tasarımında Kullanılan Bir Boyutlu Tasarım Yöntemleri.....	4
2.2. Meridyenel Düzlemdeki Akışı Hesaplamakta Kullanılan Yöntemler.....	11
2.2.1. İrrotasyonel Yöntemler.....	11
2.2.2. Rotasyonel Yöntemler.....	11
2.3. Sonuç.....	12
3. POMPA ÇARKI YANAK PROFİLİ BELİRLENMESİNDE KULLANILAN YÖNTEM.....	14
3.1. Hız Denklemlerinin Türetilmesi.....	15
3.2. Basınç.....	22
3.3. Tasarım Verileri.....	22
3.4. Çıkış Şartları.....	23
3.5. Giriş Şartları.....	24
3.6. Göbek Şekli ve Hız Dağılımı.....	24
3.7. Kanat Geometrik Özellikleri.....	25
3.8. Sayısal Yöntem.....	27
3.9. Kanat Yüzey Hızları ve Basınçları Denklemleri.....	28
3.10 Bilgisayar Programları Akış Şeması.....	31

4.BEZİER EĞRİLERİ KULLANILARAK MODELLEME YAPILMASI....	34
5. ÖZGÜL HIZA BAĞLI OLARAK GÖBEK PROFİLLERİ DENKLEMLERİ.....	37
6. TASARIM ÖRNEKLERİ.....	40
7. SONUÇ.....	51
KAYNAKLAR.....	53
ÖZGEÇMİŞ.....	54



TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 5.1 :Birinci çark için Bezier eğrisi.....	37
Tablo 5.2 : İkinci çark için Bezier eğrisi.....	38
Tablo 5.3 : Üçüncü çark için Bezier eğrisi.....	39
Tablo 6.1 : Birinci çarka ait veriler.....	40
Tablo 6.2 : İkinci çarka ait veriler.....	41
Tablo 6.3 : Üçüncü çarka ait veriler.....	41
Tablo 6.4 : Birinci çarka ait bir boyutlu tasarım sonuçları.....	42
Tablo 6.5 : İkinci çarka ait bir boyutlu tasarım sonuçları.....	45
Tablo 6.6 :Üçüncü çarka ait bir boyutlu tasarım sonuçları.....	48



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1	: Radyal çarklar içersindeki akış yapısı.....	3
Şekil 2.2	: Meridyenel ve dönme eksenine dik düzlem.....	4
Şekil 2.3	: Bir boyutlu tasarım programı akış şeması.....	5
Şekil 2.4	: Çark ana boyutları.....	6
Şekil 2.5	: Özgül hıza göre çark şeklinin değişimi.....	8
Şekil 2.6	: S_1 ve S_2 yüzeyleri.....	10
Şekil 3.1	: Meridyenel hız ve normal doğrultusu.....	18
Şekil 3.2	: Akım tübünün kesit alanı.....	27
Şekil 3.3	: Kanatlar arası akım yüzeyi.....	29
Şekil 3.4.	: Yanak profilini hesaplayan programın akış şeması.....	33
Şekil 4.1	: Farklı tanım derecelerine sahip Bezier eğrileri.....	35
Şekil 4.2	: Farklı tanım noktalarına sahip Bezier eğrileri.....	36
Şekil 5.1	: $n_s=60-90$ d/d aralığındaki çarklar için göbek yanak profili.....	37
Şekil 5.2	: $n_s=90-130$ d/d aralığındaki çarklar için göbek yanak profili.....	38
Şekil 5.3	: $n_s=130-210$ d/d aralığındaki çarklar için göbek yanak profili.....	39
Şekil 6.1	: Birinci çarka ait göbek ve yanak profili.....	43
Şekil 6.2	: Birinci çarka ait bağıl hız değişimleri.....	44
Şekil 6.3	: İkinci çarka ait göbek ve yanak profili.....	46
Şekil 6.4.	: İkinci çarka ait bağıl hız değişimleri.....	47
Şekil 6.5	: Üçüncü çarka ait göbek ve yanak profili.....	49
Şekil 6.6	: Üçüncü çarka ait bağıl hız değişimleri.....	50

SEMBOL LİSTESİ

A	: Meridyenel akış alanına normal yöndeki akım tübü alanı (m^2)
a	: Geometrik parametre
b	: Çark genişliği, geometrik parametre
B	: Kanat şekil parametresi, Bezier parametrik denklemi
f_s	: Kayma faktörü
g	: Yerçekimi ivmesi (m/sn^2)
H	: Mutlak toplam basınç ($h + \frac{V^2}{2g}$)
ΔH	: Pompa boyunca toplam basınç artışı (m akışkan yüksekliği)
H_{bağ}	: Bağlı toplam basınç ($h + \frac{W^2}{2g}$)
h	: Basınç
h*	: S-yüzeyindeki basınç
Δh	: $h_d - h_i$ (kanadın basma yüzeyi basıncı ile emme yüzeyi basıncı arasındaki fark)
J	: Akım çizgisi üzerindeki istasyon sayısı
K	: Akım çizgisi sayısı
M	: Kanat sayısı
m	: Meridyenel akım çizgisi boyunca uzaklık
n	: Meridyenel akım çizgisine olan normal uzaklık, devir sayısı
Δn	: Birbirine komşu akım çizgileri arasındaki normal uzaklık (m)
Q	: Toplam hacimsel debi (m^3/sn)
ΔQ	: Pompa boyunca bir akım tübünden geçen hacimsal debi (m^3/sn)
r	: Dönme ekseninden olan radyal uzaklık (m)
r_c	: Meridyenel akım çizgisinin eğrilik yarıçapı (m)
S	: Akım yüzeyi ve fonksiyonu, toplam kanat yüzeyi (m^2)
t	: Zaman
t_n	: Ortalama kanat yüzeyine normal doğrultudaki kanat kalınlığı
t_{θ,e}	: Çevresel yöndeki kanat kalınlığı
V	: Mutlak hız (m/sn)
W	: Dönen çarka göre bağlı hız (m/sn)
z	: Çark girişinden olan eksenel uzaklık (m)
α	: Meridyenel akım çizgisi ve eksen arasındaki açı, mutlak hız ve sürüklenme hızı arasındaki açı (akış açısı)
β	: Yüzeydeki akım çizgisi ve onun meridyenel izdüşümü arasındaki açı

η	: Hidrolik verim
θ	: Radyal yöndeki açısal mesafe (radyan)
$\Delta\theta$	: $\theta_i - \theta_d$ (emme ve basma kenarları arasındaki açısal mesafe)
ω	: Çarkın açısal hızı (radyan/sn)
λ	: Ön dönme oranı
Φ	: Akım potansiyeli fonksiyonu
Ψ	: Akım fonksiyonu
ρ	: Yoğunluk
D, d	: Çap
n_s	: Özgül hız
L	: Yaklaşık kanat boyu (m)
U	: Çark çevresel hızı (m/sn)
C	: Mutlak hız, akım ve potansiyel fonksiyonundan türetilen hız

Alt İndisler

0	: Çark emme ağız girişi
i	: Çarkın girişi, iç
1	: Çarkın girişi, bilinen akım çizgisi
2	: Çarkın çıkışı, bilinmeyen akım çizgisi
m	: Meridyenel bileşen, mil
d	: Kanat basma kenarı, dış
t	: Kanat emme kenarı
s	: Yanak
h	: Göbek
g	: Mil göbeği
z	: Eksenel bileşen
θ	: Çevresel bileşen
r	: Radyal bileşen
j	: Meridyenel istasyon noktaları

RADYAL POMPA ÇARKININ BİLGİSAYAR YARDIMI İLE TASARIMI

ÖZET

Bu çalışmada debisi, basma yüksekliği ve devir sayısı verilen radyal bir pompa çarkının ana geometrik boyutlarının hesaplanması ve çarkın yanak geometrisinin, akım çizgisi eğriliği yöntemi kullanılarak belirlenmesi amaçlanmıştır.

Bir pompa çarkının tasarımı için, karmaşık ve üç boyutta eğriliği olan yüzeylere gereksinim vardır. Söz konusu yüzeyler bir ya da birden fazla yüzeyin uygun matematiksel şartları sağlayarak birleşmesinden oluşabilirler.

Bu yüzeylerin akış eksenine dik ve paralel düzlemlerdeki izdüşümleri kullanılarak, akış alanı iki temel düzleme indirgenebilir. r-z düzleminde tanımlanan akış yüzeyine meridyenel düzlem adı verilir. Bu çalışmada, meridyenel düzlem üzerindeki akış hesaplanarak silindirik kanatlı radyal pompa çarkının yanak geometrisi belirlenmiştir. İkinci akış düzlemi için (θ -r düzlemindeki izdüşüm) herhangi bir hesaplama yapılmamıştır.

Pompa çarkı içersindeki akışın özellikle göbek (hub) ve yanak (shroud) geometrilerinden etkilendiği bilindiğinden söz konusu geometrinin en uygun formunun bulunmasına çalışılmıştır.

Bu amaçla, verilen bir göbek geometrisinden yola çıkarak ve çark içersindeki akışa ait süreklilik ve momentum denklemlerini kullanarak, iteratif eğri uydurma yöntemleri aracılığı ile istenen sayıda akım çizgisinin geometrilerini tanımlayan sürekli fonksiyonlar elde edilmiştir. Elde edilen akım çizgilerinden sonuncusu yanak profilini tanımlamaktadır.

Çark kanatları arasındaki akışın üç boyutlu ve karmaşık yapıda olması göbek geometrisinin belirlenmesini zorlaştırmakta ve yüksek dereceli fonksiyonların ortaya çıkmasına neden olabilmektedir. Bu nedenle başlangıç geometrisinin hızlı bir şekilde değiştirilebileceği ve programın yakınsamasının sağlanabileceği bir eğri ailesinin kullanımı araştırılmış ve göbek geometrisi Bezier eğrileri ile tanımlanmıştır.

Program farklı özgül hız değerlerine sahip olan çarkların yanak geometrilerinin tasarlanması için kullanılmış ve elde edilen sonuçlar son bölümde açıklanmıştır.

COMPUTER AIDED DESIGN OF CENTRIFUGAL PUMP IMPELLER

SUMMARY

In this study, it was first aimed to calculate main geometric dimensions of a centrifugal pump impeller and then it was obtained shroud geometry of the impeller using the streamline curvature method.

In order to design a pump impeller, it is needed three-dimensional and complex surfaces. These surfaces can be formed one or more planes which are combining mathematically in convenient.

The stream field can be reduced to two main plane using the projection of these surfaces on vertical and horizontal directions to impeller's axis. r - z plane is named meridional or through-flow plane. In this study, after computing the flow on meridional plane, the shroud geometry of a radial pump impeller having cylindrical blades has been determined. For the second flow plane, that is, θ - r plane, it hasn't been done any calculating.

Because it is known that the flow in pump impeller is particularly affected hub and shroud geometries, it was tried to find the most suitable form of the shroud geometry.

In order to find most suitable form of shroud geometry, it is used a given hub geometry with Continuity and Momentum Equations. Finally, by means of iteration methods, it was obtained convenient functions which define streamline geometries. The last streamline obtained is shroud profile.

Because the flow in impeller is three-dimensional, viscous and complex, it is difficult to determine shroud geometry. In addition, higher-degree mathematical functions can be existed. For this reason, it was searched such a curve family that describes and sets up the hub geometry with minimum calculation or hand work and provides avoiding convergence problem of the program. So hub geometry has been defined by means of Bezier functions or curves.

The computer program has been used to determine shroud geometry for impellers having different specific speed. Results obtained have been explained in last chapter.

1.GİRİŞ

Günümüzde dünyanın sahip olduğu enerji kaynaklarının hızla tüketildiği (kullanılabilirliğinin azaldığı) bir dönem yaşanmaktadır. Bugün dünya enerji ihtiyacının büyük kısmı fosil yakıtlara dayanmakta ve bu yakıtların da ömrünün birkaç nesil sonra tükeneceği hesaplanmaktadır. Bu bağlamda kaynakların daha verimli kullanılmasının gerekliliği açıkça hissedilmektedir.

Makinaların genel verim değerlerinin ne kadar önem kazandığını gösteren tipik bir örnek olarak, İsviçre’de Löbbia hidroelektrik santrali verilebilir[12]. Bu santralda biriktirme pompası olarak çalışacak ve maksimum gücü 6800 kW olan, tek kademeli santrifüj pompanın 1198 d/dak dönme hızında, $3\text{m}^3/\text{sn}$ debi ve 191 m manometrik yükseklikte genel veriminin % 87.925 olarak garanti edilmesi istenmiştir. Bu bağlamda, gerek sanayide gerekse küçük kullanım alanlarında çok yaygın kullanımı bulunan pompaların da harcadıkları enerjiyi mümkün olduğunca azaltmaları, makro ölçekte bakıldığında kısıtlı ülke kaynakları için büyük fayda sağlayacaktır.

Bir pompanın en önemli elemanı akışkana enerji aktarımının gerçekleştiği çarktır. Pompa çarklarının içindeki akış üç boyutlu, sürtmeli ve etkiyen kuvvetlerin çok çeşitli fiziksel nedenlerden dolayı olması sebebiyle oldukça karmaşıktır. Dolayısıyla çark içersindeki akışın hesaplanarak, fiziksel olarak anlaşılması ve buna bağlı olarak kayıpları azaltıcı ve çarkın daha yüksek verimle çalışmasını sağlayacak tasarım değişikliklerinin yapılması uzun ve zor olduğu kadar gerekli işlemlerdir.

Pompa çarkı tasarımında, ilk adım bir boyutlu tasarım yöntemleri ile elde edilen çarkın ana boyutlarının belirlenmesidir. Daha sonra tasarımcı, bu boyutlar üzerinde deneyimlerine ve son 20 yıldır yapılan çok sayıda araştırma ve deney sonucunda elde edilen ampirik bağıntılara dayanan bazı geometrik düzeltmeler yapar.

Bununla birlikte bilgisayar teknolojilerinin ve sayısal çözüm yöntemlerinin de gelişmesiyle beraber, çark içindeki akışın daha kısa sürede çözülmesi ve daha önce elde edilen ampirik formüller ve pratik yaklaşımlara uygunluk çok daha kolay kontrol edilebilir olmuştur.

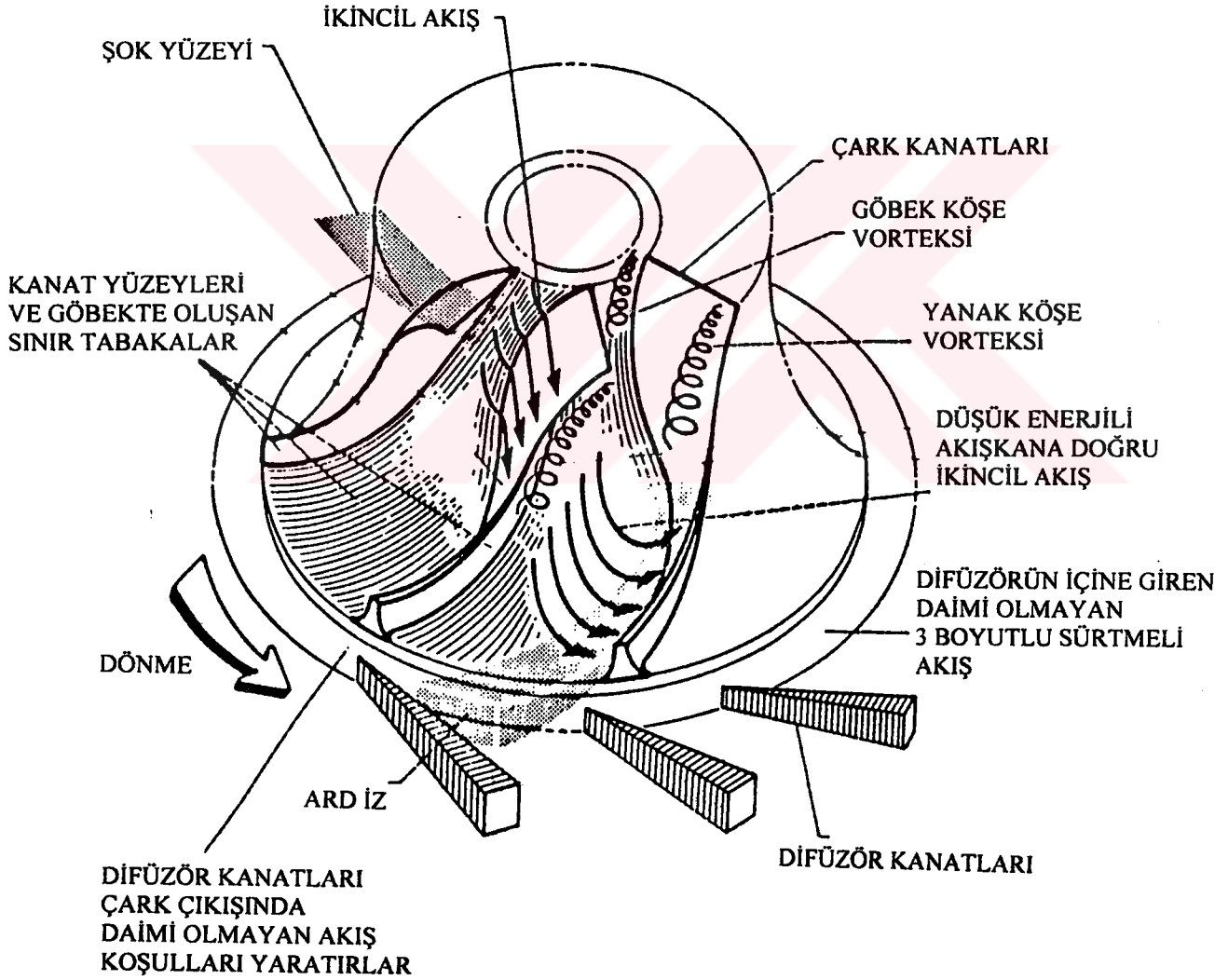
Tasarım aşamasındaki önemli adımlardan biri de çarkın göbek profili belirlendikten sonra yanak profilinin belirlenmesidir. Bu çalışmada, ana boyutları bir boyutlu yaklaşım ile belirlenen bir radyal pompa çarkının yanak geometrisinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu nedenle meridyenel düzlem üzerindeki akış, akım çizgisi eğriliği

yöntemi ile hesaplanarak yanak geometrisi elde edilmiştir. Bu işlem ile geometrisi tam olarak belirlenen çarkın içerisindeki akış, iki ve üç boyutlu sürtmeli ve sürtmesiz akış denklemleri (Euler ve Navier-Stokes denklemleri) ile çözülerek daha kapsamlı verim iyileştirmelerine ulaşılabilir.



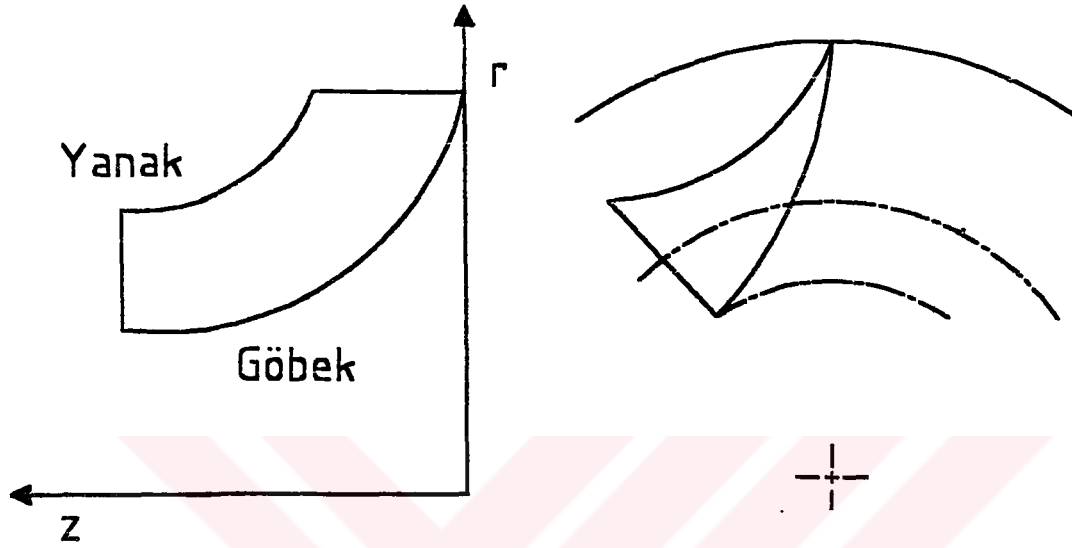
2. KAYNAK TARAMASI

Radyal pompa çarkı içindeki akışa etkiyen kuvvetler, aksenel çarkların içersindeki akışa etkiyen kuvvetlere oranla daha çeşitlidir. Pompa çarkı içinde yavaşlayan akışın ve etkiyen merkezkaç kuvvetlerin sonucunda oluşan basınç artışı ve buna ilave olarak akışa etkiyen Coriolis atalet kuvvetleri çark içersindeki akışın daha da karmaşık hale gelmesine neden olmaktadır[4]. Radyal çark içersindeki akış yapısı detaylı bir biçimde Şekil 2.1’de gösterilmiştir.[5]



Şekil 2.1 Radyal çarklar içersindeki akışın yapısı[5]

Radyal çark geometrisinin dönme eksenini içine alan r (çark radyal doğrultusu) ve z (çark eksenel doğrultusu) düzlemi üzerindeki izdüşümü (meridyenel düzlem) ve dönme eksenine dik düzlem üzerindeki izdüşümü (kanatlar arası düzlem) sırasıyla Şekil 2.2.a ve 2.2.b’de gösterilmişlerdir.



Şekil 2.2. a Meridyenel düzlem

b. Dönme eksenine dik düzlem

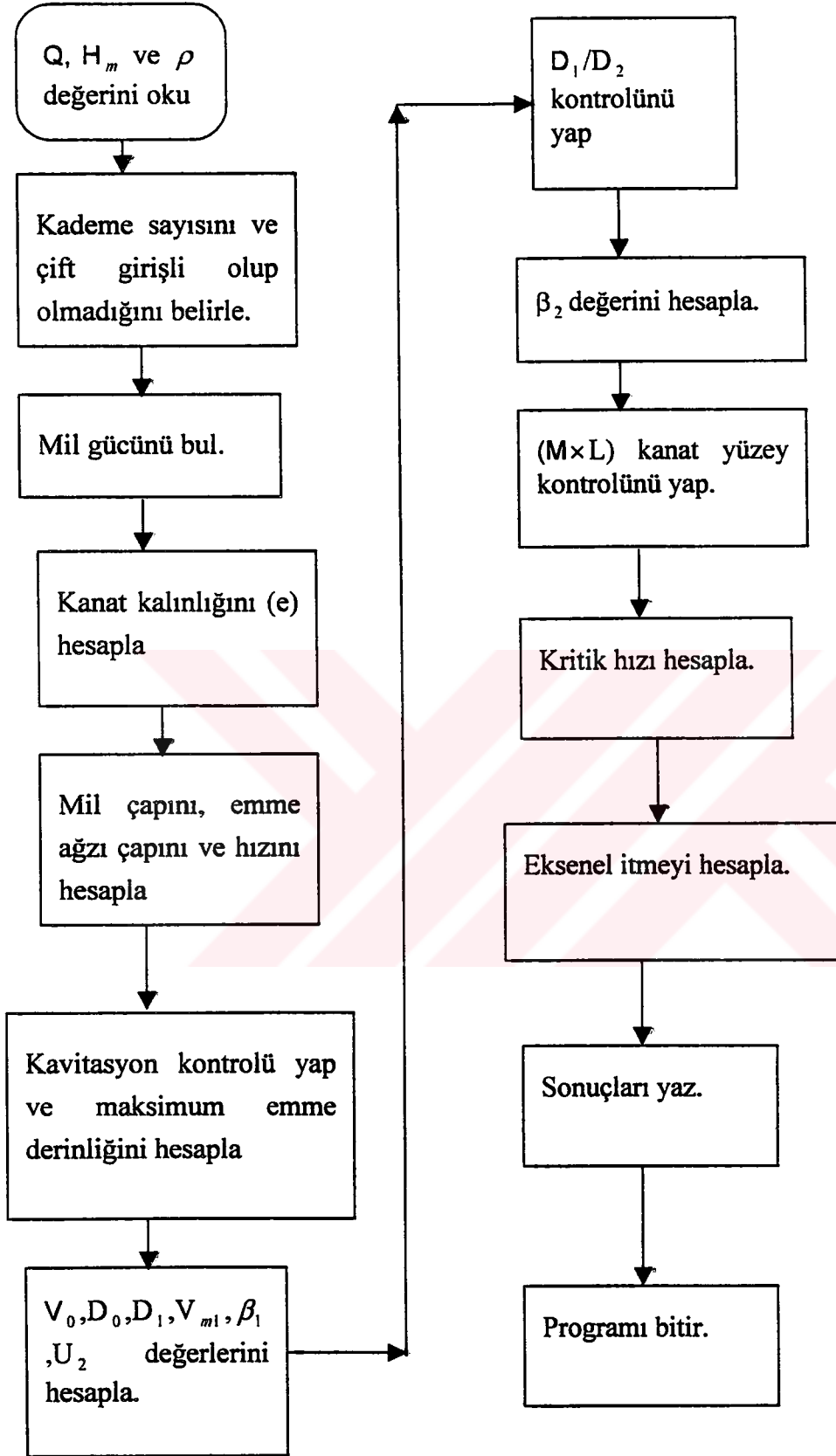
Çark tasarımında, öncelikle çarkın ana boyutlarının hesaplanması gerekmektedir. Bu bölümün birinci kısmında önce literatürde bulunan ve radyal pompa çarklarının tasarımında kullanılan bir boyutlu yöntem özetlenecektir.

Bu çalışmanın ana amacının Şekil 2.2.a’da meridyenel düzlem üzerinde gösterilen yanak geometrisinin belirlenmesi olduğu göz önünde tutulursa, literatürde bu konuda bugüne kadar yapılan çalışmalar bu bölümün ikinci kısmında özetlenecektir.

2.1 Radyal Çark Tasarımında Kullanılan Bir Boyutlu Tasarım Yöntemleri

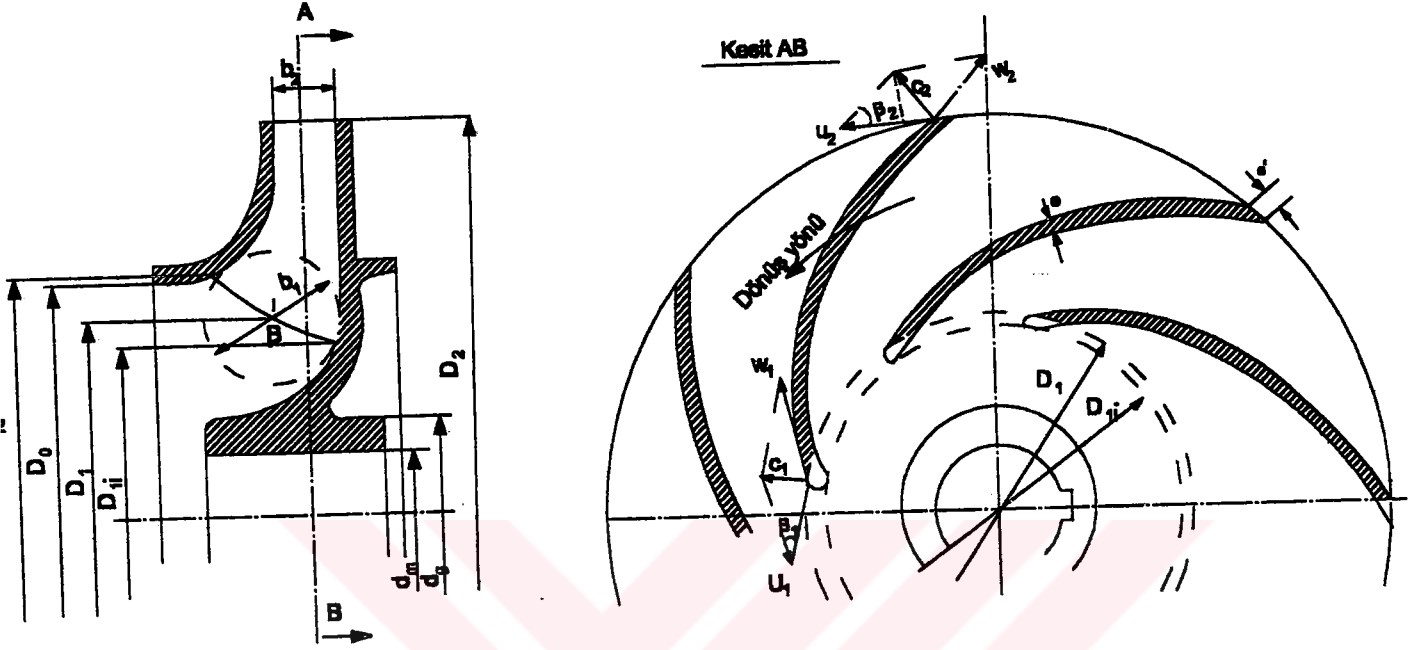
Pompa çarkı ana geometrik boyutların belirlenmesinde takip edilen yöntemin[2] ana adımları aşağıda özetlenmiş olup, tasarımın akış diyagramı Şekil 2.3’de verilmiştir. Bu akış diyagramına uygun olarak geliştirilen bilgisayar programı bu çalışma kapsamında yanak profili belirlenecek olan çarkların ön tasarımında kullanılmıştır.

BİR BOYUTLU TASARIM PROGRAMINA AİT AKIŞ DİYAGRAMI



Şekil 2.3 Bir boyutlu tasarım programına ait akış diyagramı

Çarkın tasarım büyüklükleri olarak istenilen manometrik yükseklik (H_m), debi (Q) ve devir sayısı (n) verildikten sonra, tasarımcının ilk yapması gereken, radyal pompa çarkının çark giriş çapını (D_1), çark çıkış çapını (D_2), çark giriş genişliğini (b_1), çark çıkış genişliğini (b_2) hesaplamasıdır. Şekil 2.4.



Şekil 2.4 Çark ana boyutları[2]

D_2 -dış çapı U_2 -çevresel hızına, bu da H_m yüksekliğine bağlıdır. Fakat, U_2 ile H_m değeri arasındaki oran oldukça geniş sınırlar arasında seçilebilir..

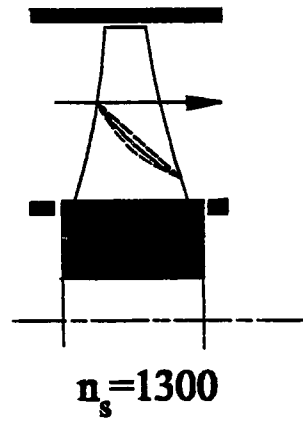
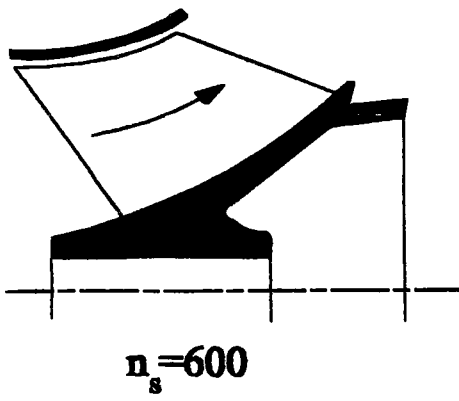
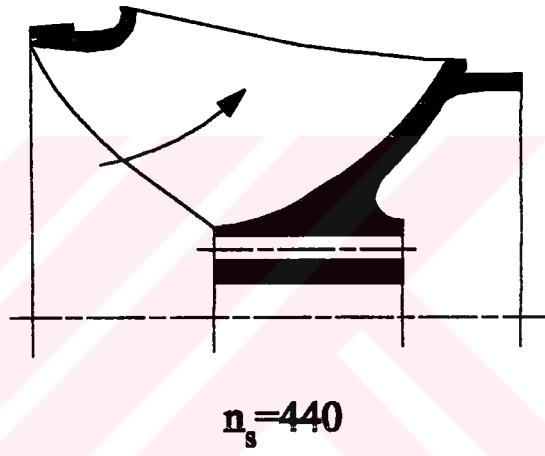
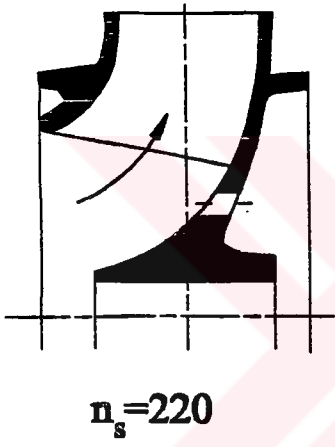
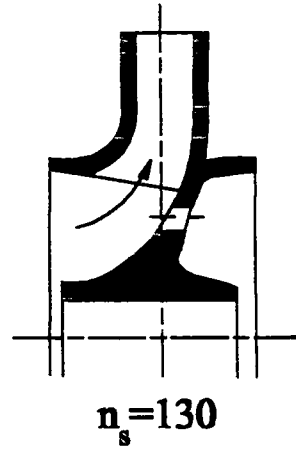
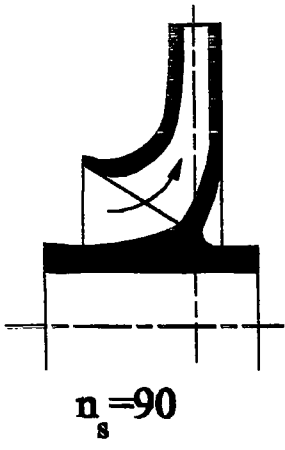
Benzerlik kurallarından bilindiği gibi, 1 m basma yüksekliği ve 1 m³/sn debi değerlerini en iyi verim değerinde veren geometrik olarak benzer pompaların özgül hızları aynı olup (2.1) ile hesaplanabilir.

$$n_s = 3.65n \frac{\sqrt{Q}}{H_m^{3/4}} \quad (\text{d/dak}) \quad (2.1)$$

Burada n , d/dak olarak dönme sayısını, Q , m³/sn olarak debiyi ve H_m , m Akışkan Yüksekliği(mAY) olarak basma yüksekliğini göstermektedir. Pompalarda basma yüksekliği özgül kütleden bağımsız olduğundan H_m , mAY ile ifade edilebilir.

Özgöl hız değerlerine göre pompa çarklarının geometrilerindeki değişim Şekil 2.5’de gösterilmektedir. Özgöl hız küçüldükçe pompa tam radyal tipe döner ve çap büyür, suyun geçiş kesiti Şekil 2.5’de görüldüğü gibi daralır. Aynı özgöl hız değerine sahip pompa çarklarının göbek-yanak profilleri de benzerdir. Benzer şekilde yüksek özgöl hızlı pompaların, özellikle çarklarının dönük kanatlı imal edilme zorunluluğu ve pahalı olmaları nedeniyle, çok zaman aynı işi görecek ve fakat daha ucuz olan pompa tipine kaymayı zorunlu kılar. Bu nedenle özgöl hızı küçültme olanakları aranır.





Şekil 2.5 Özgül Hıza (n_s : d/dak) Göre Çark Şeklinin Değişimi[6]

Pompanın bastığı sıvının özgül ağırlığı, basılan debi, manometrik yükseklik ve genel verim değeri, pompanın miline verilmesi gerekli gücü hesaplamak için yeterlidir.

Pompa milinin çapı; ileteceği moment, devir sayısı ve malzeme özelliğine göre tayin edilir ve boyutlandırılır.

Emme borusu çapını tayin için önce emme borusundaki V_c -akışkan hızı hesaplanır. Bu hız değerini sınırlayan en önemli faktör kavitasyondur. Hızların büyük değerleri, basınç düşmelerine ve dolayısı ile kavitasyona sebep olacağından emme borusunun çapının büyük seçilmesi uygun olur. Emme borusundaki hızlar için deneysel olarak elde edilen ampirik formüllerden yararlanılabilir. Ancak bu hız değerlerinin kavitasyon bakımından uygun olup olmadığının kontrol edileceği ve gerekirse çapta ve dolayısı ile hız değerlerinde düzeltmelerin yapılacağı gözden uzak tutulmamalıdır.

Kanat çıkış hız üçgenleri, inceliği sıfır olan ve sonsuz sayıda kanat kabulü yapılarak hesaplanan çıkış teorik hız üçgeni ile, akışa ait gerçek hız üçgenlerinin saptanır ve gerekli boyutlar bulunur. Bazı hallerde gerçek çıkış hız üçgeninde akış açısı (α_2) açısı çok küçük değerler alabilir. Bu durum çıkış mutlak hızının çok artmasına ve kayıpların büyümesine sebep olur. Bundan dolayı bir difüzör yardımıyla hız enerjisinin basınç enerjisine dönüştürülmesi gerekebilir. Çıkış akış açısı kontrol edilerek bu durum tesbit edilir.

Bu yöntemin sonunda ana boyutları elde edilen çarka tasarımcının uygun bir yanak profili ilave etmesiyle çarkın tasarımı tamamlanmış olur. Yanak profilinin belirlenmesi tasarımcının deneyimlerine dayanacağı gibi meridyenel düzlemdeki akışı tanımlayan denklemlerin çözülmesi yolu ile de yapılabilir.

Akış denklemlerinin çözülmesi yolu ile yanak geometrisinin belirlenmesinde iki farklı yaklaşım mevcuttur. Birinci yaklaşımda, tanımlanan bir göbek geometrisinden yola çıkılarak akım çizgileri eğriliği yöntemi kullanılarak yanak geometrisi belirlenir. Bu yöntem oldukça hızlı sonuca ulaşılan bir yöntem olup, ana yakınsama kriteri, meridyenel düzlemde akış ayrılmasına yol açmayacak bir yanak profilinin oluşturulmasıdır.

İkinci yaklaşımda ise yanak profili bir şekilde oluşturulur ve tasarımcısının isteğine göre sürtmeli veya sürtmesiz akışı tanımlayan denklemler sayısal yöntemler kullanılarak çözülür. Elde edilen akış alanı tasarımcının istediği koşulları sağlıyorsa belirlenen yanak profilinin uygun olduğu anlaşılır. Tasarımcı istediği akış alanını elde edilen sonuçlarda göremiyor ise, yanak profili değiştirilerek istenilen akış koşulları oluşuncaya kadar iterasyonlara devam edilir.

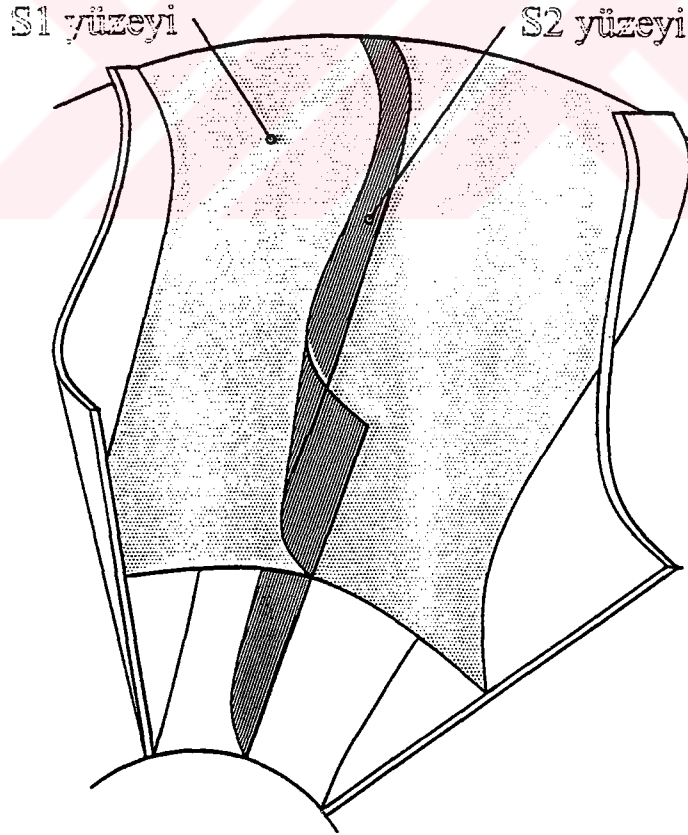
Akım Çizgisi Eğriliği Yöntemi

Akım çizgisi eğriliği yöntemi, radyal çarkların Şekil 2.2’de gösterilen meridyonel düzlemlerindeki akış alanlarının hesaplamalarında geniş olarak kullanılan bir yöntemdir ve günümüzde de yaygın olarak kullanılmaktadır.

Akım çizgisi eğriliği yöntemine dayalı olarak geliştirilen bilgisayar programları, gerçek turbomakinalara uygulandığında farklı sonuçlar verebilmektedir. Bu duruma en tipik örnek, belirli işletim karakteristiklerine sahip turbomakinalar için farklı geometrilerin elde edilmesidir. Bu farklılıkların en temel kaynağı, akım çizgilerinin uydurulması sırasındaki değişik yaklaşımlardır.

Akım çizgisi eğriliği yöntemi meridyonel akış yüzeyi için kullanıldığında çark içindeki akım çizgisi şekli kontrol edilebilir ve hesap noktası sayısı yeter derecede fazla seçilebilir. Eğri uydurma için, aralarında polinom fonksiyonları, spline eğrileri, Bezier eğrileri gibi analitik ve parametrik eğriler seçilebilir. Çözümde sayısal kararsızlıkların olmamasına dikkat edilmeli ve süreklilik sağlanmalıdır.

Akım çizgisi eğriliği yöntemi kanatlar arası akım yüzeyleri (S_1) üzerindeki akış alanının hesaplanması amacı ile de kullanılabilir.[5,10] Radyal çarkta tanımlı S_1 ve S_2 yüzeyleri Şekil 2.6’de gösterilmişlerdir.



Şekil 2.6 S_1 (kanattan kanada) ve S_2 (göbekten yanağa) Yüzeyleri

Aynı yöntem literatürde yüksek hızlı radyal kompresör çarkları içinde kullanılmıştır[11]. Bu yaklaşımda temel fikir, göbekten yanağa kadar olan meridyenel akım alanını, aynı debiyi sağlayan akım tüplerine bölmek ve başlangıçta belirlenen göbek profilinden normal doğrultuda ilerleyerek yanak profiline iteratif yöntemlerle ulaşmaktır[7].

2.2.Meridyenel Düzlemdeki Akışı Hesaplamakta Kullanılan Yöntemler

Bu bölümün birinci kısmında anlatılan yöntem ile ana boyutları belirlenen çarkın sıranması pek çok farklı yöntemle yapılabilir. Bu yöntemler iki boyutlu ve üç boyutlu akışları karakterize eden akış denklemlerinin çözülmesidir. İki boyutlu analiz yöntemleri, akışın irrotasyonel yada rotasyonel olmasına göre iki ana kısma ayrılabilirler.

2.2.1. İrrotasyonel Yöntemler

Potansiyel akış kabulü bu yöntemin esasını oluşturmaktadır. Bu yöntemde hız alanının bir skaler potansiyel fonksiyonundan türediği kabulü yapılır.[3] Bu potansiyelin kısmi türevleri hızın bileşenlerine eşittir. Silindirik koordinat sistemindeki bu ifadeler (2.1) denklemleriyle gösterilmişlerdir. Tanımlanan potansiyel fonksiyonunun momentum denklemlerine dahil edilmesi sonucunda ikinci mertebe diferansiyel denklem elde edilir. Bu denklemler çok farklı çözüm yöntemleri kullanılarak oldukça hızlı bir biçimde çözülebilir.

$$C = \nabla \Phi, \quad C_r = \frac{\partial \Phi}{\partial r}, \quad C_\theta = \frac{1}{r} \frac{\partial \Phi}{\partial \theta}, \quad C_z = \frac{\partial \Phi}{\partial z} \quad (2.2)$$

2.2.2. Rotasyonel Yöntemler

Sürtmesiz Akış Yaklaşımı

Akım Fonksiyonu Yöntemi

Akım fonksiyonu yönteminde, akım yüzeyi üzerinde, süreklilik denklemini sağlayacak bir skaler akım fonksiyonu (Ψ) tanımlanır. Akım fonksiyonu r-z düzleminde (meridyenel düzlem)

$$\frac{\partial \Psi}{\partial r} = -b\rho C_z, \quad \frac{\partial \Psi}{\partial z} = b\rho C_r \quad (2.3)$$

Burada (b), akış bölgesini oluşturan akım yüzeyinin yerel kalınlığıdır. Momentum denklemi akım fonksiyonu bileşenleri cinsinden yazılır ve daha sonra matematiksel yöntemler yardımıyla çözülür.

Euler Denklemlerinin Çözümü

Genel olarak zaman boyutunda ilerleme tekniğinin kullanılması ile çözüldükleri için, daimi olmayan terimleri de içerirler. Başlangıçta kabul edilen bir akış alanından hareketle denklemleri zaman boyutunda entegre ederek, zamanla değişmeyen çözüme ulaşmak amaçlanır. Bu nokta daimi halin olduğu haldir. Bu yöntem sürtmesiz akış için geçerli olmakla birlikte izentropik ya da irrotasyonel sınırlaması yoktur. Bununla birlikte, iteratif bir yöntem olduğu için yakınsaması oldukça uzun sürmektedir.

Sürtmeli Akış Yaklaşımı (Navier-Stokes Denklemleri)

Sürtmeli akış kabulünün yapıldığı akış denklemleri (Navier-Stokes denklemleri) turbomakina çarkları içerisindeki akışın analizinde önemli yeri olan yöntemlerdir. Turbomakina çarkı içerisindeki akışlarda bazı durumlarda viskoz kuvvetler önem kazanabilir ve sürtmesiz akış kabulünün yapıldığı yaklaşımlar yetersiz kalabilirler. Akım alanı hakkında gerçeğe çok yakın sonuçlar vermesiyle birlikte, özellikle hızın bileşenlerini hesaplaması, akışkanın termodinamik özelliklerini belirlemesi ve türbülans etkilerini hesaba katması nedeniyle hem çok fazla bilgisayar hafızasına ihtiyaç gösterir hem de zaman yönünden ekonomik olmaktan uzaklaşır.

2.3. Sonuç

Bu çalışmada ön tasarımı yapılan bir pompa çarkının yanak profilinin literatürde mevcut olan akım çizgisi eğriligi yöntemi kullanılarak belirlenmesini sağlayacak bir bilgisayar programının geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu yöntemin seçilmesinin temel nedeni çözümü çok hızlı olarak verebilmesidir.

Sayısal akışkanlar dinamiği son yıllarda özellikle bilgisayar teknolojisindeki gelişmelere paralel olarak ilerlemektedir. Her sayısal yöntemin kendine özgü avantaj ve dezavantajları mevcuttur. Sayısal yöntemler, akışla ilgili olarak belirli kabullerin yapılması sonucu uygulandıklarından bütün akış ve çark tipleri için tam doyurucu çözümler elde edilememiştir. Oldukça karmaşık bir yapıya sahip olan radyal çarklar içindeki akışın da çeşitli sayısal yöntemlerle çözülmesi kaçınılmazdır. Çalışmada ilk yaklaşım olarak 2- boyutlu akım çizgisi eğriligi yöntemi S_2 -yüzeyinde (through-flow) kullanılmış ve bir boyutlu tasarım verilerinden faydalananak meridyenel düzlem içinde göbek-yanak profilleri belirlenmeye çalışılmıştır. Akım çizgisi eğriligi

yönteminde, özellikle göbek profilinin doğru olarak belirlenmesi önemlidir. Aksi durumlarda çözümde ilerlenirken yakınsama problemiyle karşılaşmaktadır. Göbek profilini hızlı bir şekilde değiştirmek için parametrik Bezier eğrileri programa dahil edilmiştir. Bu şekilde yakınsama sağlanıncaya kadar göbek profili değiştirilmektedir.



3.RADYAL POMPA ÇARKI YANAK PROFİLİNİN BELİRLENMESİNDE KULLANILAN YÖNTEM

Çalışmanın bu bölümünde, çark yanak profilini belirlemekte kullanılan akım çizgisi eğriliği yöntemi açıklanmıştır.

Sıkıştırılamayan, sürtmesiz bağıl akışı tanımlayan denklemler meridyenel düzleme izdüşürülerek akım çizgilerinin bulunmasında kullanılmışlardır. Bu sayede, ön tasarımda belirlenen göbek geometrisi ve kabul edilen akış koşulları yardımı ile yanağa kadar olan akım çizgilerinin bulunması sağlanır. Elde edilen son akım çizgisi yanak geometrisi olarak kabul edilir.

Bu yöntemde, akım çizgilerinin çark eksenini etrafında döndürülmesiyle elde edilen yüzeylerin akım yüzeyleri olduğu kabul edilir ve akım çizgileri arasında kalan bölgelerden başka bir deyişle akım tüplerinden aynı debinin geçtiği varsayımı yapılır.

Pompa çarkının iki kanadının arasında kalan bir akım tübünden geçen debi,

$$\frac{\Delta Q}{M} = \int_A W_m dA = \int_{n_1}^{n_2} \int_{\theta_1}^{\theta_2} W_m r d\theta dn \quad (3.1)$$

bağıntısı ile hesaplanır. Burada dA , akım tübü giriş ve çıkış yüzeyindeki sonsuz küçük yüzey alanı ve W_m , bağıl hızın meridyenel bileşenidir.

Koordinatları bilinmeyen bir akım çizgisinin formu ve üzerindeki bağıl hızın meridyenel değerlerinin değişimi, ona komşu bilinen bir akım çizgisinin koordinatlarını, üzerindeki hızın değişimini, süreklilik denklemini ve momentum denklemlerini kullanarak elde edilebilir.

Bir türbomakina çarkı içersindeki sürtmesiz sıkıştırılmaz üç boyutlu bağıl akışı tanımlayan momentum denklemleri göbekten yanağa tanımlanan göbekten yanağa

uzanan ve iki kanatın tam ortasında bulunan bağıl akım yüzeyi üzerine izdüşürülerek iki boyutlu akışı tanımlar duruma getirilebilirler [7]. Söz konusu akım yüzeyi, en genel halde, daimi bağıl akış için üç boyutludur. Bu yüzeyin denklemi

$S(r, \theta, z)=0$ biçiminde tanımlanır ve buradan θ 'nın çekilmesi ile yüzey denklemi $\theta = \theta(r, z)$ biçimini alır.

İkinci adımda, iki boyutlu denklemler, meridyenel akım çizgileri boyunca akım şartlarını düşünerek ve bu akım çizgilerine normal yöndeki (Şekil 3.1'de görülen n doğrultusu) hız gradyanı gözönüne alınarak daha basitleştirilmektedir.

3.1 Hız Denklemlerinin Türetilmesi

Bilinen bir akım çizgisi üzerindeki bağıl hız ve ona komşu olan akım çizgisi üzerindeki hız arasında basitleştirilmiş bir ilişki kurulabilir.

Bunun için, daimi, bağıl, üç boyutlu, sıkıştırılamaz ve viskoz olmayan akışın hareket denklemleri temel alınabilir.

$$\frac{dW_r}{dt} - \frac{(W_\theta + \omega r)^2}{r} = W_r \frac{\partial W_r}{\partial r} + \frac{W_\theta}{r} \frac{\partial W_r}{\partial \theta} + W_z \frac{\partial W_r}{\partial z} - \frac{(W_\theta - \omega r)^2}{r} = -\frac{\partial h}{\partial r} g \quad (3.2)$$

$$\frac{V_\theta}{r} \frac{dr}{dt} - \frac{dW_\theta}{dt} + \frac{W_r W_\theta}{r} + 2\omega W_r =$$

$$W_r \frac{\partial W_\theta}{\partial r} + \frac{W_\theta}{r} \frac{\partial W_\theta}{\partial \theta} + W_z \frac{\partial W_\theta}{\partial z} + \frac{W_r W_\theta}{r} + 2\omega W_r = -\frac{g}{r} \frac{\partial h}{\partial \theta} \quad (3.3)$$

$$\frac{dW_z}{dt} = W_r \frac{\partial W_z}{\partial r} + \frac{W_\theta}{r} \frac{\partial W_z}{\partial \theta} + W_z \frac{\partial W_z}{\partial z} = -g \frac{\partial h}{\partial z} \quad (3.4)$$

Denklemlerde, $V_\theta = W_\theta + \omega r$ olarak belirlenen değer mutlak teğetsel hızdır.

Problem, üç boyuttan iki boyuta, bağıl bir akış yüzeyi (göbek'tan yanak'a kadar) düşünülerek indirgenebilir. Daimi bağıl akış için böyle bir yüzey, çark ile dönen bir yüzeydir ve (3.5) ile verilir.

$$S(r, \theta, z) = 0 \quad (3.5)$$

Ya da θ için çözüldürse,

$$\theta = \theta(r, z) \quad (3.6)$$

elde edilir. Bu denklem, üç boyutlu akışın basıncını akım yüzeyindeki basınç ile ilişkilendirmek için kullanılır. Genelde basınç (3.7) ile verilir.

$$h = h(r, \theta, z) \quad (3.7)$$

Fakat yüzeyde, (θ) bağımsız değişken olmadığından (3.8) denklemi geçerlidir.

$$h^* = h(r, \theta(r, z), z) = h^*(r, z) \quad (3.8)$$

Bu denklemlerin kimi türevleri yazılırsa,

$$\frac{\partial h^*}{\partial r} = \frac{\partial h}{\partial r} + \frac{\partial h}{\partial \theta} \frac{\partial \theta}{\partial r} \quad (3.9)$$

$$\frac{\partial h^*}{\partial z} = \frac{\partial h}{\partial z} + \frac{\partial h}{\partial \theta} \frac{\partial \theta}{\partial z} \quad (3.10)$$

elde edilir.

Bu denklemlerin (3.2), (3.3) ve (3.4) denklemlerinde yerine konmasıyla,

$$\frac{dW_r}{dt} - \frac{(W_\theta + \omega r)^2}{r} = -g \frac{\partial h^*}{\partial r} + g r \frac{\partial \theta}{\partial r} \frac{1}{r} \frac{\partial h}{\partial \theta} \quad (3.11)$$

$$\frac{V_\theta}{r} \frac{dr}{dt} = - \frac{dW_\theta}{dt} + \frac{W_r W_\theta}{r} + 2\omega W_r = - \frac{g}{r} \frac{\partial h}{\partial \theta} \quad (3.12)$$

$$\frac{dW_z}{dt} = -g \frac{\partial h^*}{\partial z} + g r \frac{\partial \theta}{\partial z} \frac{1}{r} \frac{\partial h}{\partial \theta} \quad (3.13)$$

denklemleri elde edilir. Denklem (3.12), denklem (3.11) ve (3.13) ile birlikte çevresel basınç gradyeni $\partial h / \partial \theta$ - değerini elimine etmek için kullanılırsa,

$$\frac{dW_r}{dt} - \frac{V_\theta^2}{r} = -g \frac{\partial h^*}{\partial r} - r \frac{\partial \theta}{\partial r} \left(\frac{V_\theta}{r} \frac{dr}{dt} \right) \quad (3.14)$$

$$\frac{dW_z}{dt} = -g \frac{\partial h^*}{\partial z} - r \frac{\partial \theta}{\partial z} \left(\frac{V_\theta}{r} \frac{dr}{dt} \right) \quad (3.15)$$

denklemleri elde edilir.

Bu iki denklem, bilinen geometriyi, yüzeydeki akış özelliklerini ve onların z ve r doğrultularındaki türevlerini kapsar. Buradaki matematiksel önem, problemin r ve z düzleminde düşünülebilmesidir. Akım yüzeyinin meridyenel düzlem üzerindeki izdüşümü meridyenel akım çizgisi olarak adlandırılır. Bu doğrultudaki hız da meridyenel ya da through-flow olarak bilinir. W_r ve W_z bileşenleri birbirleriyle ilişkilidir ve W_m ile de α - açısıyla bağlıdır. Akım çizgisi boyunca, $r = r(z)$ olduğundan,

$$\alpha = \tan^{-1} \frac{dr}{dz} \quad (3.16)$$

eşitliği geçerlidir.

W_r ve W_z bileşenleri de W_m cinsinden ifade edilebilir.

$$W_r = W_m \sin \alpha \quad (3.17)$$

$$W_z = W_m \cos \alpha \quad (3.18)$$

Bu denklemlerin türevleri alınırsa,

$$\frac{dW_r}{dt} = W_m \cos \alpha \frac{d\alpha}{dt} + \frac{dW_m}{dt} \sin \alpha \quad (3.19)$$

$$\frac{dW_z}{dt} = -W_m \sin \alpha \frac{d\alpha}{dt} + \frac{dW_m}{dt} \cos \alpha \quad (3.20)$$

elde edilir.

Akım çizgisinin eğrilik yarıçapı (3.21) kullanılarak denklemlerden $d\alpha/dt$ terimi yok edilebilir.

$$\frac{1}{r_c} \cong \frac{d\alpha}{dm} = \frac{d\alpha/dt}{dm/dt} = \frac{1}{W_m} \frac{d\alpha}{dt} \quad (3.21)$$

Bu işlem yapıldığında (3.14), (3.15), (3.19), (3.20) denklemlerinden,

$$\frac{W_m^2}{r_c} \cos \alpha + \frac{dW_m}{dt} \sin \alpha - \frac{V_\theta^2}{r} = -g \frac{\partial h^*}{\partial r} - r \frac{\partial \theta}{\partial r} \frac{V_\theta}{r} \frac{dr}{dt} \quad (3.22)$$

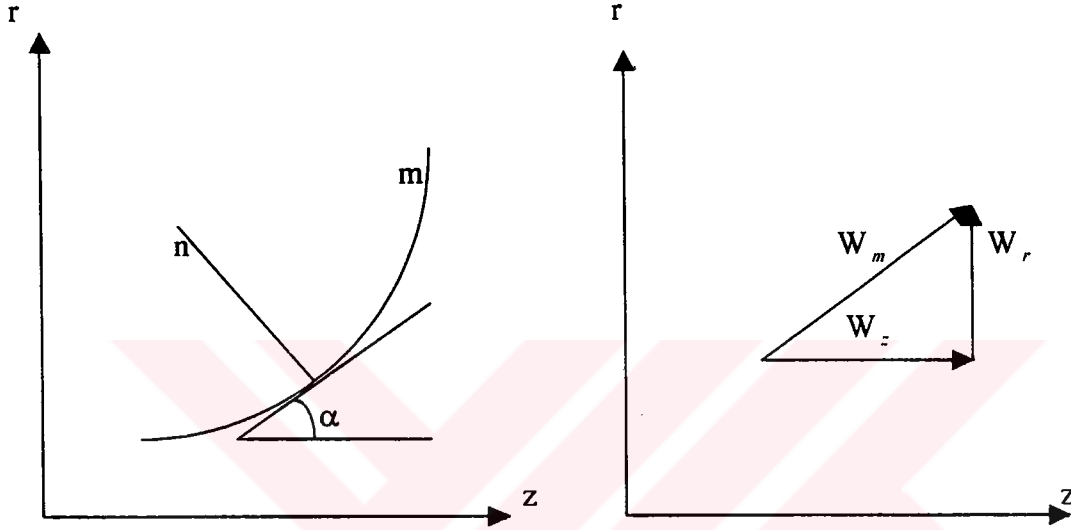
$$-\frac{W_m^2}{r_c} \sin \alpha + \frac{dW_m}{dt} \cos \alpha = -g \frac{\partial h^*}{\partial z} - r \frac{\partial \theta}{\partial z} \frac{V_\theta}{r} \frac{dr}{dt} \quad (3.23)$$

elde edilir.

Bir sonraki adım, $\partial h^* / \partial z$ ve $\partial h^* / \partial r$ denklemlerini birleştirerek (3.22) ve (3.23) denklemlerini tek bir denkleme indirmektir. Bu amaçla h^* - değerinin, Şekil 3.1’de görülen meridyenel doğrultuya normal yöndeki tam türevi alınır ve bu yöndeki mesafeye n - denirse,

$$\frac{dh^*}{dn} = \frac{\partial h^*}{\partial r} \frac{dr}{dn} + \frac{\partial h^*}{\partial z} \frac{dz}{dn} \quad (3.24)$$

eşitliği elde edilir.



Şekil 3.1. Meridyenel Doğrultudaki Hızlar ve Akım Çizgisine Normal Doğrultu

Ancak Şekil 3.1’den,

$$\frac{dz}{dn} = \cos(\alpha+90) = -\sin\alpha \quad (3.25)$$

$$\frac{dr}{dn} = \sin(\alpha+90) = \cos\alpha \quad (3.26)$$

denklemleri elde edileceğinden, (3.24) denklemini,

$$g \frac{dh^*}{dn} = g \frac{\partial h^*}{\partial r} \cos\alpha - g \frac{\partial h^*}{\partial z} \sin\alpha \quad (3.27)$$

halini alır. (3.22) denklemini $\cos\alpha$ ile ve (3.23) denklemini $\sin\alpha$ ile çarpıp (3.27) ile birleştirerek,

$$g \frac{dh}{dn} = \frac{V_\theta^2 \cos \alpha}{r} - \frac{W_m^2}{r_c} + \frac{B}{r} \frac{d(rV_\theta)}{dt} \quad (3.28)$$

elde edilmiş olur. Burada geçen B terimi,

$$B \equiv r \frac{\partial \theta}{\partial z} \sin \alpha - r \frac{\partial \theta}{\partial r} \cos \alpha \quad (3.29)$$

olarak tanımlanır. (3.28) denklemi kuvvet denklemi olarak bilinir. Sol taraf akım çizgisinin normali doğrultusundaki toplam kuvvet, sağ tarafın ilk terimi merkezci kuvvetin normal bileşeni, ikinci terim akım çizgisinin eğriliğinden kaynaklanan merkezci kuvvet ve üçüncü bileşen ise Coriolis kuvvetlerinden doğan çevresel basınç gradyeninin normal bileşenidir. İlk bakışta çevresel basınç gradyeninin meridyenel düzlemde bileşeni olmaması gerektiği düşünülebilir. Bununla birlikte, hatırlanmalıdır ki meridyenel düzlem içinde akışın olduğu fiziksel bir düzlem değildir. Ancak meridyenel akışı hayal etmemize yarayan, hesaplama kolaylığı sağlayan bir mekanizmadır. Çevresel basınç gradyeninin normal bileşeni, normal meridyenel düzlem olan bir akım yüzeyindeki hat boyunca olan bileşendir. Genelde akım yüzeyi içinde bir hat boyunca harekette, θ , çevresel basınç gradyeninin oluşmasını sağlayan etkidir. Doğrusal kanatlarda yarı $\partial \theta / \partial r$ ve $\partial \theta / \partial z$ değerlerinin sıfır olduğu kanatlarda meridyenel düzlem üzerinde çevresel basınç gradyeninin bileşeni olmaz.

W_θ ve W_m hız bileşenleri birbirleriyle ve bileşke W hızı ile β - açısı yoluyla ilişkilidir. Bu açı sıklıkla akış açısı olarak adlandırılır ve aynı zamanda akım yüzeyi, ortalama kanat yüzeyine paralel olduğunda kanat açısına eşittir. Söz konusu ilişkiden,

$$W_m = W \cos \beta \quad (3.30)$$

$$W_\theta = W \sin \beta \quad (3.31)$$

elde edilir. Bulunan değerler birleştirilerek,

$$g \frac{dh}{dn} = \frac{W^2 \cos^2 \beta}{r_c} + \frac{(W \sin \beta + \omega r)^2}{r} \cos \alpha + BW \cos \beta \left(\frac{dW_\theta}{dm} + \frac{W \sin \beta \sin \alpha}{r} + 2\omega \sin \alpha \right) \quad (3.32)$$

şeklinde kullanışlı bir denklem elde edilir.

Bu denklemden bir adım daha giderek h - terimini yok etmek amacıyla bir akım çizgisi boyunca enerji denklemi kullanılabilir. (3.2), (3.3) ve (3.4) denklemlerini sırasıyla $W_r = \frac{dr}{dt}$, $W_\theta = r \frac{d\theta}{dt}$ ve $W_z = \frac{dz}{dt}$ ile çarpıp terimleri toplarsak,

$$\frac{1}{2} \frac{dW^2}{dt} - \omega^2 r W_r = -g \frac{dh}{dt} \quad (3.33)$$

elde edilir.

(3.33) denklemini akım çizgisi boyunca pompa girişinden herhangi bir noktaya kadar entegre ederek,

$$\frac{1}{2} (W^2 - W_i^2) - \frac{\omega^2}{2} (r^2 - r_i^2) = -g(h - h_i) \quad (3.34)$$

bulunur. Burada,

$$W^2 = V^2 - 2V_\theta \omega r + \omega^2 r^2 \quad (3.35)$$

ve,

$$H = h + \frac{V^2}{2g} \quad (3.36)$$

olduğundan, (3.34) denklemi ,

$$h = H_i - \frac{W^2}{2g} + \frac{\omega^2 r^2}{2g} - \frac{\omega \lambda}{g} \quad (3.37)$$

şeklinde yazılabilir. Burada $r_i(V_\theta)_i$ terimi yerine sıklıkla kullanılan λ - öndönme sayısı kullanılmıştır. λ , giriş koşullarına bağlıdır ve tasarımcı tarafından belirlenir.

(3.37) denkleminin n - doğrultusunda tam türevi alınır,

$$\frac{dh}{dn} = \frac{dH_i}{dn} - \frac{W}{g} \frac{dW}{dn} + \frac{\omega^2 r}{g} \frac{dr}{dn} - \frac{\omega}{g} \frac{d\lambda}{dn} \quad (3.38)$$

elde edilir.

Sonuçta (3.38) denklemi (3.32) denkleminden dh / dn terimini elinine etmek için kullanıldığında,

$$\begin{aligned} \frac{dW}{dn} = & W \left[\left(\frac{\cos^2 \beta}{r_c} \right) - \left(\frac{\sin^2 \beta \cos \alpha}{r} \right) - \left(\frac{B \cos \beta \sin \beta \sin \alpha}{r} \right) \right] - \\ & (2w \sin \beta \cos \alpha) - \left[B \cos \beta \left(\frac{dW_\theta}{dm} + 2w \sin \alpha \right) \right] + \\ & \left(\frac{g}{W} \frac{dH_i}{dn} - \frac{\omega}{W} \frac{d\lambda}{dn} \right) \end{aligned} \quad (3.39)$$

elde edilir. Bu denklemde,

$$a = \left(\frac{\cos^2 \beta}{r_c} \right) - \left(\frac{\sin^2 \beta \cos \alpha}{r} \right) - \left[\frac{B \cos \beta \sin \beta \sin \alpha}{r} \right] \quad (3.40)$$

$$b = (2w \sin \beta \cos \alpha) + \left[B \cos \beta \left(\frac{dW_\theta}{dm} + 2w \sin \alpha \right) \right] - \left(\frac{g}{W} \frac{dH_i}{dn} + \frac{w}{W} \frac{d\lambda}{dn} \right) \quad (3.41)$$

şeklinde katsayılarıdır.

Bu denklem, süreklilik denkleminin uygun formuyla ve akım yüzeyinin bilinmesi şartıyla yüzeydeki herhangi bir akım çizgisinin koordinatlarının ve hız dağılımının hesaplanmasına olanak tanır. Bundan başka, akım yüzeyindeki basınç da denklem (3.37)'den hesaplanabilir. Toplam yük H , $h = H - \frac{V^2}{2g}$ değerini (3.37)'de yerine konarak düzenlenirse,

$$H = H_i + \frac{\omega r V_\theta}{g} - \frac{\omega \lambda}{g} = H_i + \frac{\omega r W_\theta}{g} + \frac{\omega^2 r^2}{g} - \frac{\omega \lambda}{g} \quad (3.42)$$

şeklinde elde edilir.

(3.40) ve (3.41) denklemlerindeki terimlerden bazıları aşağıda verilen bağıntılar yardımıyla hesaplanır.

$$\tan \alpha = \frac{dr}{dz} \quad (3.43)$$

$$dm = (dr^2 + dz^2)^{1/2} \quad (3.44)$$

$$\frac{1}{r_c} = \frac{d\alpha}{dm} \quad (3.45)$$

ve $\partial \theta / \partial z$ ile $\partial \theta / \partial r$ 'den ,

$$B = r \frac{\partial \theta}{\partial z} \sin \alpha - r \frac{\partial \theta}{\partial r} \cos \alpha \quad (3.46)$$

$$\tan \beta = r \frac{\partial \theta}{\partial r} \sin \beta + r \frac{\partial \theta}{\partial z} \cos \alpha \quad (3.47)$$

olarak bulunur.

Fiziksel olarak β - açısı, meridyenel izdüşümle akım yüzeyi üzerindeki akım çizgisi arasındaki açıdır. Çarkın dönme yönünde ölçüldüğünde pozitiftir. Hız ve süreklilik denklemleriyle, göbek-yanak profili, verilen bir kanat şekli, meridyenel akım çizgisi ve akım çizgisinin hız dağılımı yardımıyla elde edilir. $W_\theta = W \sin \beta'$ ya eşittir.

3.2 Basınç

Bir akım çizgisi boyunca olan basınç;

$$h = H_i - \frac{W^2}{2g} - \frac{\omega^2 r^2}{2g} - \frac{\omega \lambda}{g} \quad (3.48)$$

şeklinde tanımlanmıştır. Burada H_i , her akım çizgisi için çark girişindeki toplam basınçtır.

Bir akım çizgisi boyunca olan toplam basınç ise;

$$H = H_i + \frac{W \cdot r \cdot V_\theta}{g} - \frac{\omega \lambda}{g} \quad (3.49)$$

olarak elde edilir.

Göbek boyunca olan hız, göbeğin şekli ve kanat sayısı tasarımcının belirlediği özelliklerdir.

3.3 Tasarım Verileri

Önceki bölümlerde verilen denklemler, aşağıdaki büyüklüklerin belirtilmesi şartıyla iç akışın ve yanak şeklinin hesaplanmasına olanak tanır. Bunlar, debi, manometrik basma yüksekliği, H_i , λ - öndönme oranı, göbek şekli, kanat geometrisine ait olan $\partial \theta / \partial r$ ve $\partial \theta / \partial z$ değişimleri, t_θ ve t_n -kanat kalınlıkları, kanat sayısı ve β -sapma açısıdır. ω , Q , ΔH , H_i ve λ doğrudan göbek şekliyle, göbek boyunca hızın

değişimiyle, kanat şekliyle ve kanat sayısı ile ilgili değildir. Bundan dolayı tasarımcı bu değerleri seçmekte özgürdür.

3.4 Çıkış Şartları

Çıkışta iki önemli denklem sağlanmalıdır. İlki Euler denklemidir.

$$\Delta H = \frac{\eta \omega}{g} (r W \sin \beta + \omega r^2 - \lambda) \quad (3.50)$$

$$\eta = H_{gerçek} / H_{ideal} \quad (3.51)$$

Kayma faktörü de dikkate alınarak;

$$\Delta H = \frac{\eta \omega}{g} (r f_s (W \sin \beta + \omega r - \lambda)) \quad (3.52)$$

elde edilir.

İkinci denklem debi eşitliğidir.

$$Q = (W \cos \beta) (2\pi r - M t_{\theta}) \left(\frac{r_s - r_h}{\cos \alpha} \right) \quad (3.53)$$

Çıkışta $\alpha=90^\circ$ kabul edilerek, $r_s = r_h$ ve,

$$\Delta Q = W \cos \beta \times (2\pi r - M t_{\theta}) \times \Delta n \quad (3.54)$$

elde edilir.

Tasarımda gerekli olan büyüklüklerin her biri, çıkış için tayin edilmeli ve denklem (3.53) ve (3.54) ile diğer sınırlamalar, örneğin, pompanın kullanılacağı sistemin geometrisiyle de tutarlı olmalıdır. Denklem (3.53) ve (3.54) göbek ve yanak arasındaki ortalama bir değeri temsil etmektedir. Pratikte, bununla beraber, bu denklemler belirlenen akım çizgisinin üzerindeki giriş değerlerini elde etmek için kullanılırlar. Bu sürecin sonucunda, pompa bir dereceye kadar farklı bir düşü artması ve debi oranı sağlayabilir. Eğer bu fark önemliyse, belirlenen akım çizgisi ve onunla ilişkili giriş değerleri deneme tasarımından sonra ayarlanabilir. Bu ayarlama sayısı gerektiği kadar artırılabilir.

3.5 Giriş Şartları

Pompa girişinde tasarımcıyı kısıtlayan dört olası durum vardır.

- 1- Çark girişindeki koşullar belirlidir. Örneğin, pompadan önce bir yöneltici vardır.
- 2- Çark giriş geometrisi belirlidir. Örneğin, giriş borusunun çapının belli olması.
- 3- Pompa girişi pompa tasarımcısının sorumluluğu olabilir.
- 4- Giriş koşullarında hiçbir sınırlama yoktur.

2- için pompa tasarımında kullanılan denklemler yardımıyla, pompa girişi analiz edilebilir. 3- için, giriş bölümü bu çalışmada bahsedilen yöntemle belirlenebilir (kanat olmadığından bazı değişiklikler yapmak gerekir). Böylece tasarım için gereken giriş durumları için, 1 ve 4 maddelerindeki durumlar dikkate alınmalıdır. Her iki durumda süreklilik denklemi,

$$\Delta Q = W \cos \beta \times (2\pi r - M t_{\theta}) \times \Delta n \quad (3.55)$$

ve açısal momentumun korunumundan,

$$W \sin \beta = \frac{\lambda}{r} - \omega r \quad (3.56)$$

değerleri her bir akım çizgisi için tatmin edici olmalıdır. (3.56) denkleminin çarkın tam girişinde olduğu ve bundan dolayı kanat blokajıyla karşılaşıldığı unutulmamalıdır.

Sadece λ ve H_i (denklemden görünmese de), çark giriş koşulları belirlenmiş olmasa da her akım çizgisi için gereken girdi değeridir.

Giriş boyunca β , t_{θ} ve M değerleri kanat girdilerine dahil edilir. β - Açısı kanat yüzeyinin değil akım yüzeyinin açısıdır ve bu açılar birbirine (hücum açısı sıfır değilken) eşit olmadığından girişteki kanat şekli, gerekli β -değerini sağlayacak şekilde belirlenmelidir.

3.6 Göbek Şekli ve Hız Dağılımı

Giriş ve çıkış durumları belirlendikten sonra, bazı akım çizgilerinde meridyenel akım ve hız dağılımı seçilmelidir. Bu göbek, yanak veya aradaki herhangi bir akım çizgisi olabilir. Göbek'la başlamak en iyisidir. Çünkü meridyenel düzlem içindeki akım çizgileri, göbek yakınındaki hız değişimlerine karşı çok hassastır ve istenmeyen şekil

bozukluklarının elimine edilmesi daha kolaydır. Genellikle göbeğin r - yarıçapı ve W -bağıl hızı, z 'in fonksiyonu olarak verilir. r ve W değerlerinin her ikisi de doğrudan ya da kavitasyonun daha iyi kontrol edilebilmesi için basınç, W ya da r ile birlikte tayin edilebilir. Eğer basınç ve hız belirlendiyse, göbek şekli,

$$r = \frac{1}{\omega} \sqrt{2g(h - H_i) + W^2 + 2\omega\lambda} \quad (3.57)$$

formülünden bulunur. Eğer basınç ve göbek şekli seçildiyse, hız,

$$W = \sqrt{2g(H_i - h) + \omega^2 r^2 - 2\omega\lambda} \quad (3.58)$$

eşitliği ile elde edilir. Çalışmada göbek profili Bezier eğrileri kullanılarak belirlenmektedir.

3.7 Kanat Geometrik Özellikleri

Ortalama akım yüzeyinin ortalama kanat yüzeyini izlediği varsayıldığında, kanat şekli genelde iki kısımda belirlenir. Bunlar ortalama kanat yüzeyi ve kanat kalınlığı dağılımıdır. Genelde kanat yüzeyi $\theta = \theta(r, z)$ olarak verilir. Kanat yüzeyi, β 'nın her noktada uygun şekilde hesaplanabilmesine olanak tanıyacak şekilde belirlenmelidir. Bunun anlamı $\partial\theta/\partial r$ ve $\partial\theta/\partial z$ değerlerinin belirlenmesidir. Sırasıyla bu değerler, r ve z doğrultularındaki kanat eğrilikleridir. Buna göre β -kanat açısı,

$$\tan\beta = r \frac{d\theta}{dm} = r \frac{\partial\theta}{\partial r} \frac{dr}{dm} + r \frac{\partial\theta}{\partial z} \frac{dz}{dm} \quad (3.59)$$

denkleminde,

$$\tan\beta = r \frac{\partial\theta}{\partial r} \sin\alpha + r \frac{\partial\theta}{\partial z} \cos\alpha \quad (3.60)$$

elde edilir.

Bu eşitlikte, bir akım çizgisi boyunca θ, r, z 'i m 'in fonksiyonu olarak ifade edersek aşağıdaki eşitliği elde ederiz. Radyal çark elemanları için ($\partial\theta/\partial r = 0$ veya $\partial\theta/\partial z = 0$) aşağıdaki metot kullanılarak çark yüzeyi elde edilir. Kanat açısını belirlemek yerine toplam yük artışı ya da göbek boyunca bağıl teğet hız belirlenir. Böylece göbek boyunca β değeri,

$$\beta = \sin^{-1} \frac{W_\theta}{W} \quad (3.61)$$

elde edilir. Burada W_θ ,

$$W_{\theta} = \frac{g(H - H_1)}{\omega r} + \frac{\lambda}{r} - \omega r \quad (3.62)$$

eşitliği ile belirlidir.

Radyal kanat elemanı için ,

$$\frac{\partial \theta}{\partial z} = \frac{1}{r_h} \frac{\tan \beta}{\cos \alpha} \quad (3.63)$$

ifadesi yazılabilir.

Eksenel kanat elemanı için,

$$\frac{\partial \theta}{\partial r} = \frac{1}{r_h} \frac{\tan \beta}{\sin \alpha} \quad (3.64)$$

elde edilir.

θ , değerine tasarım sürecinde ihtiyaç duyulmasa da genellikle imalat sırasında önemlidir.

Çıkışta akış, kanatları tam olarak izleyemediğinden, f_s -kayma faktörü tanımlanarak, gerçeğe daha yakın bir yaklaşım elde edilir. Kayma faktörü, çıkışta akışkanın mutlak teğetsel hızının, akışkanın mükemmel akışındaki mutlak teğetsel hızına oranı olarak tarif edilir. Kayma faktörü, β - açısı hesaplanırken gözönüne alınır. Çıkışta β . kayma faktöründen, ortalama kanat açısından ve debiden hesaplanır.

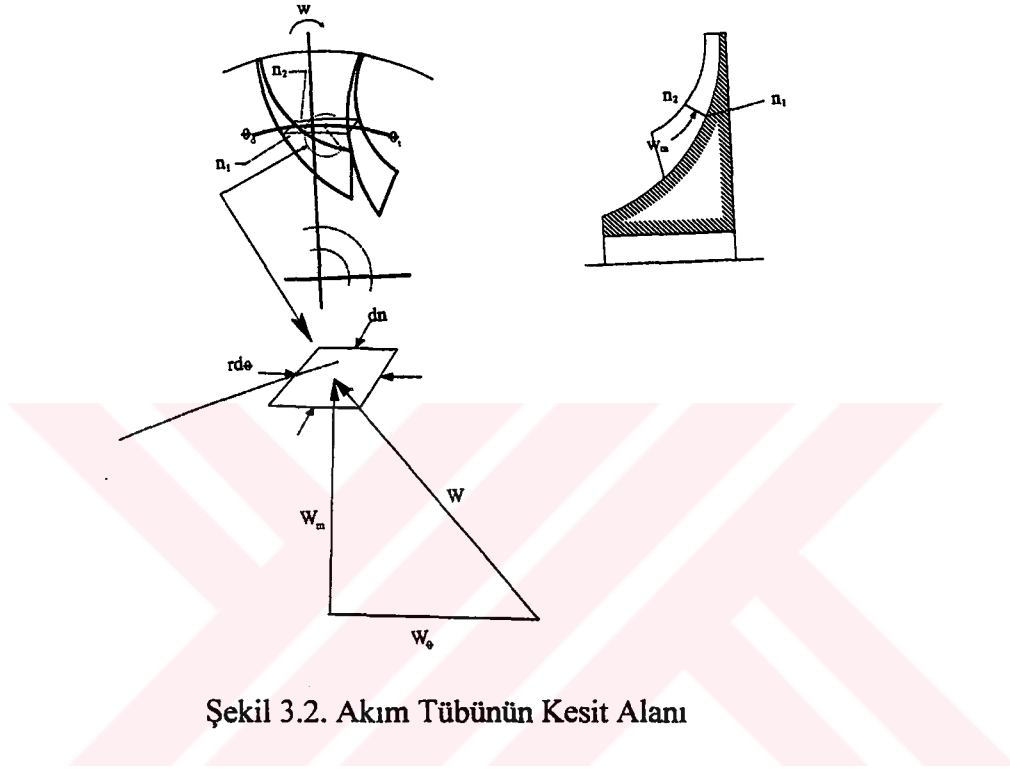
Benzer bir durum girişte de mevcuttur. Bu durum sıfırdan farklı hücum açılarında ortaya çıkar. Hücum açısı, girişteki ortalama akım yönüyle, ortalama kanat yüzeyi arasındaki açı olarak tanımlanır. Bundan dolayı girişteki ortalama kanat yüzeyi, hücum açısını varolan β - açısına eklemek suretiyle belirlenmelidir. Hücum açısının etkisi bir dereceye kadar çark içinde de hissedilir. Kanat kalınlığı, z ve r 'nin fonksiyonu olacak şekilde belirlenebilir.

Tasarımın başlangıcında normal doğrultudaki kanat kalınlığı t_n belirlenir. Ancak tasarım metodu için çevresel yöndeki kanat kalınlığı t_{θ} 'ya ihtiyaç vardır. Bu iki değer arasındaki ilişki denklem (3.65) ile belirlidir.

$$t_{\theta} = t_n \sqrt{1 + r^2 \left(\frac{\partial \theta}{\partial z} \right)^2 + r^2 \left(\frac{\partial \theta}{\partial r} \right)^2} \quad (3.65)$$

3.8 Sayısal Yöntem

(3.1) ve (3.39) denklemlerinin sayısal çözümü, Şekil 3.2'den de görülebileceği gibi Δn -mesafesini, herhangi iki akım çizgisi arasındaki özelliklerin sabit kalmasını sağlayacak şekilde küçük alınması temeline dayanır.



Şekil 3.2. Akım Tübünün Kesit Alanı

(3.39) denkleminde, a ve b katsayılarının bir akım tübü boyunca n_1 'den n_2 'ye kadar sabit olduğu varsayılır. (3.39) denklemi integral faktörü olarak $e^{\int -a dn}$ ile çarpılırsa,

$$W_2 = W_1 e^{a \Delta n} + \frac{b}{a} (1 - e^{a \Delta n}) \quad (3.66)$$

eşitliği elde edilir. Bu denklem W_1 bilindiğinde W_2 'yi hesaplamak için kullanılır. (3.1) denklemi, ortalama değer teoremi kullanılarak çözülebilir.

$$\int_{\theta_d(n)}^{\theta_i(n)} W_m r d\theta = \bar{W}_m r [\theta_i(n) - \theta_d(n)] \quad (3.67)$$

(3.67) denkleminde $\bar{W}_m$ değeri ortalama yüzeyin hızıdır. n'nin herhangi bir değerinde ,

$$r[\theta_i(n) - \theta_d(n)] = (2\pi r - M t_\theta) / M \quad (3.68)$$

eşitliği elde edilir. r ve t_θ , θ 'nın fonksiyonudur. Buradan (3.1) denklemi,

$$\Delta Q = \int_{n_1}^{n_2} \bar{W}_m (2\pi r - M t_\theta) dn \quad (3.69)$$

halini alır. Δn boyunca sabitlik şartı gözönüne alınarak (3.69) denklemi,

$$\Delta Q = \bar{W}_m (2\pi r - M t_\theta) (n_2 - n_1) \quad (3.70)$$

şeklini alır.

Yeni akım çizgisinin koordinatları da, α - açısını akım tübü boyunca sabit olarak kabul ederek,

$$r_2 = r_1 + \Delta n \cos \alpha \quad (3.71)$$

$$z_2 = z_1 - \Delta n \sin \alpha \quad (3.72)$$

denklemleri ile elde edilir.

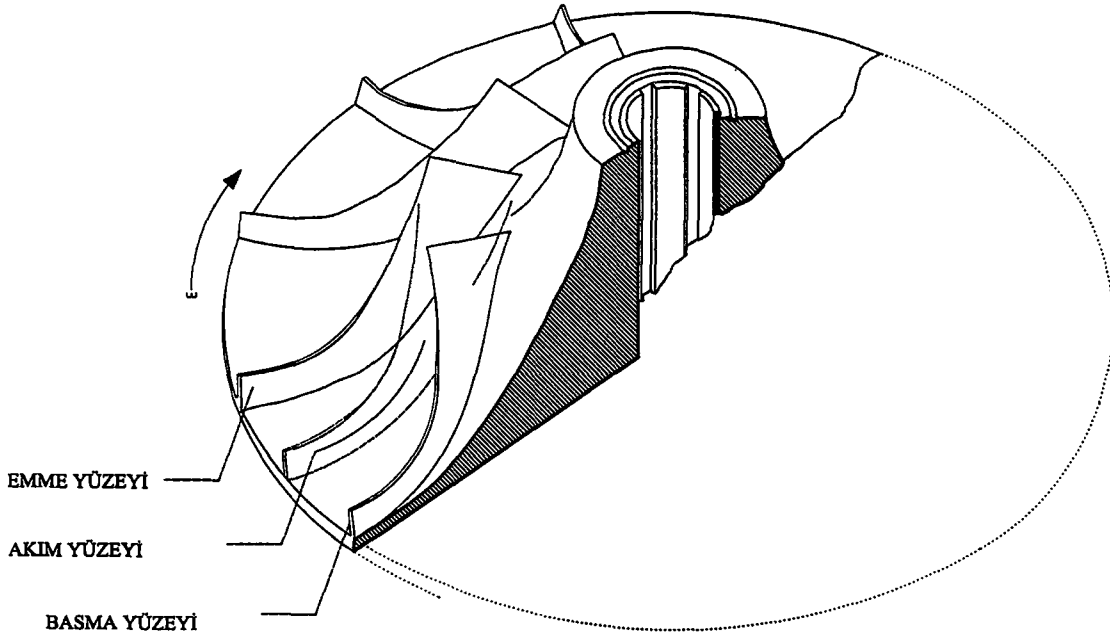
Akım çizgisine normal yöndeki türevler, akım çizgisi giriş verilerinden lineer bir değişim kabul edilerek her noktada denklem (3.73) ve (3.74) ile hesaplanabilir.

$$\left(\frac{dH_i}{dn} \right)_1 = \frac{(H_i)_2 - (H_i)_1}{\Delta n} \quad (3.73)$$

$$\left(\frac{d\lambda}{dn} \right)_1 = \frac{\lambda_2 - \lambda_1}{\Delta n} \quad (3.74)$$

3.9 Kanat Yüzeyi Hızları ve Basınçları Denklemleri

Basitleştirici varsayımlarla, kanat yüzeyi üzerindeki hızlar ve yük hesaplanabilir. Şekil 3.3. Çevresel doğrultudaki kanattan kanata basıncın türevi denklem (3.3) ile verilmiştir.



Şekil 3.3. Kanatlar Arası Akım Yüzeyi

Hız bileşenleri ve açılar arasındaki ilişkiler kullanılarak (3.3) denklemi,

$$W \cos \beta \left(\frac{dW_\theta}{dm} + \frac{W}{r} \sin \beta \sin \alpha + 2\omega \sin \alpha \right) = - \frac{g}{r} \frac{\partial h}{\partial \theta} \quad (3.75)$$

halini alır.

Çevresel doğrultuda ve kanattan kanata olan basıncın lineer değiştiği varsayılırsa,

$$\frac{1}{r} \frac{\partial h}{\partial \theta} = - \frac{\Delta h}{r \Delta \theta} \quad (3.76)$$

elde edilir. Burada $-\Delta h$ ve $r \Delta \theta$ değerleri sırasıyla,

$$-\Delta h = h_i - h_d \quad (3.77)$$

$$r \Delta \theta = r (\theta_i - \theta_d) = \frac{2\pi - Mt_\theta}{M} \quad (3.78)$$

ile verilir.

Denklem (3.77) ve (3.78) Δh 'ı çözmek için düzenlenirse,

$$\Delta h = \frac{1}{g} \left(\frac{2\pi - Mt_\theta}{M} \right) W \cos \beta \left(\frac{dW_\theta}{dm} + \frac{W}{r} \sin \beta \sin \alpha + 2\omega \sin \alpha \right) \quad (3.79)$$

bulunur.

Eğer akım yüzeyindeki basıncı kanatlar arasındaki ortalama değer olarak kabul edersek, indis (d) kanatın basma yüzeyini ve indis (t) kanatın emme yüzeyini göstermek üzere,

$$h = \frac{h_d + h_t}{2} = h_d - \frac{\Delta h}{2} = h_t + \frac{\Delta h}{2} \quad (3.80)$$

olarak elde edilir.

Kanat yüzeyindeki bağıl hız, bağıl toplam basıncı kullanarak,

$$H_{hağ} = h + \frac{W^2}{2g} \quad (3.81)$$

olarak bulunur.

(3.81) denklemini (3.37)'de yerine konursa,

$$H_{hağ} = H_i + \frac{\omega^2 r^2}{2g} - \frac{\omega \lambda}{g} \quad (3.82)$$

elde edilir ve eğer H_i ve λ , θ 'nin fonksiyonu değilse, sabit r değerinde $H_{hağ}$ sabittir, yani,

$$h + \frac{W^2}{2g} = h_d + \frac{W_d^2}{2g} = h_t + \frac{W_t^2}{2g} \quad (3.83)$$

eşitliği geçerlidir. Buradan,

$$W_d = \sqrt{W^2 - g\Delta h} \quad (3.84)$$

$$W_t = \sqrt{W^2 + g\Delta h} \quad (3.85)$$

denklemleri elde edilir.

(3.83) denkleminde, eğer $\sqrt{W^2 - g\Delta h}$ değeri negatifse, W_d değeri sanal bir değer olarak karşımıza çıkar. Bununla beraber, bu hız bileşeni kanat yüzeyinde ters yönlü bir akım olarak yorumlanabilir.

3.10 Bilgisayar Programının Akış Şeması

Geliştirilen bilgisayar programı için akış şeması Şekil 3.4'de verilmiştir. İki boyutlu programın çalışması aşağıdaki adımlardan oluşmaktadır:

1- Pompaya ait giriş verilerinin okunması

- (a) Akım çizgisi boyunca olan nokta sayısı, J
- (b) Akım çizgisi sayısı, K
- (c) Çarkın açısal hızı, ω
- (d) Hacımsal debi, Q
- (e) Kanat sayısı, M
- (f) Herbir akım çizgisi için öndönme oranı, λ
- (g) Herbir akım çizgisi için girişteki toplam yük, H_i
- (h) Radyal doğrultudaki koordinat, r
- (i) Göbek üzerindeki bağıl hız, W
- (i) Kanat şekil verileri, $\frac{\partial \theta}{\partial r}, \frac{\partial \theta}{\partial z}$
- (j) Normal doğrultudaki kanat kalınlığı, t_n

2- $\left(\frac{dr}{dz}\right)_j$ 'yi, α_j 'yi ve m_j 'yi hesapla,

$$m_j = m_{j-1} + \left[1.0 + \left(\frac{dr}{dz}\right)_j^2 \right]^{1/2} dz$$

3- $\left(\frac{d\alpha}{dm}\right)_j$ 'yi hesapla,

4- $\left(\frac{\partial \theta}{\partial z}\right)_j$ ve $\left(\frac{\partial \theta}{\partial r}\right)_j$ kanat şekil verilerini verilen başlangıç değerlerinden hesapla,

5- β_j 'yi hesapla,

6- $(W_\theta)_j$ 'yi, $(W_m)_j$ değerini ve $\left(\frac{dW_\theta}{dm}\right)_j$ değerini hesapla,

7- $(t_n)_j$ ve $(t_\theta)_j$ kanat kalınlıklarını hesapla,

8- B_j değerlerini hesapla,

9- Basınç h_j ve toplam yük H_j değerlerini hesapla,

10- $(\Delta h)_j$, $(h_t)_j$ ve $(h_d)_j$ değerlerini hesapla,

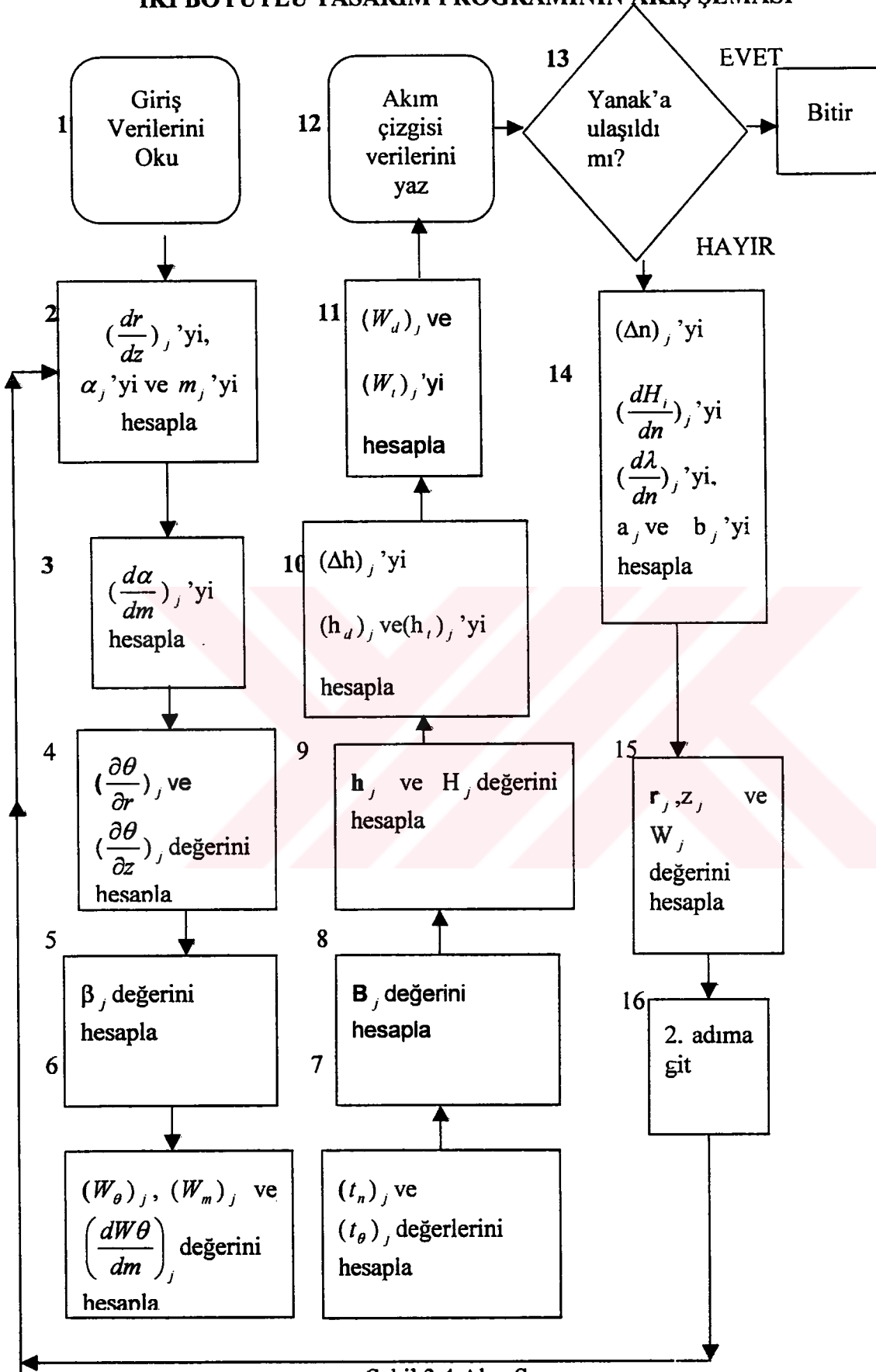
11- $(W_d)_j$ ve $(W_t)_j$ 'nin hesaplanması,

12- Aranan akım çizgileri bilgilerinin yazdırılması.

Programda, 10 ve 11. Adımlar kanat yüzeyine ait bilgilerdir ve seçime bağılı olarak hesaplanabilir.

Göbekten yanağa gidilerek hesap yapılmak istendiğinde ilk akım çizgisi bilgileri göbeğe ait olanlardır.

İKİ BOYUTLU TASARIM PROGRAMININ AKIŞ ŞEMASI



Şekil 3.4 Akış Şeması

4.BEZIER EĞRİLERİ İLE MODELLEME YAPILMASI

Kanat profilinin belirlenmesi için gereken göbek, yanak ve kamburluk eğrilerinin parametrik eğri ailelerinden seçilmesi bu eğrilerin modifikasyonu ve belirlenmesi açısından kolaylık sağlar. Genel olarak eğriler birden fazla eğrinin birleşiminin şeklinde olduğu için her eğri birleşim noktalarında birinci ve ikinci dereceden süreklilik şartını sağlamalıdır. Kanat giriş ve çıkış açılarının sağlanması ve akış kanalında süreksizlik olmaması için eğrilerin birleşme noktalarında ve kanat başlangıcında eğimlerin uygun olmasına dikkat edilmelidir.[1]

Daire ya da elips gibi konik eleman parçalarını geometrik tanımlamada kullanmak kolaylık sağlamasına karşın birleşim noktalarındaki birinci türevin eşit olması şartını sağlamayabilirler. Doğru parçaları kullanılarak yapılan kombinasyonlar da çoğunlukla istenen geometriyi yaklaşık olarak vermesine ve modifikasyonda esneklik sağlamasına karşın birleşme noktalarında meydana gelebilecek süreksizliklerin akış çalkantıları oluşturma tehlikesi, bu tip eğrilerin kullanımını sınırlandırmaktadır. Profilin sürekliliği ve düzgünlüğü açısından bakılacak olursa, geometriyi tanımlamak için yüksek serbestlik dereceli eğrilerin kullanılması tasarımcıya istenen kanat profilini oluşturabilmesi için daha geniş olanaklar sunmaktadır. Bezier tarafından tanımlanan eğriler geometrinin tanımlamasında genel amaçlar için yeterli olmaktadır.

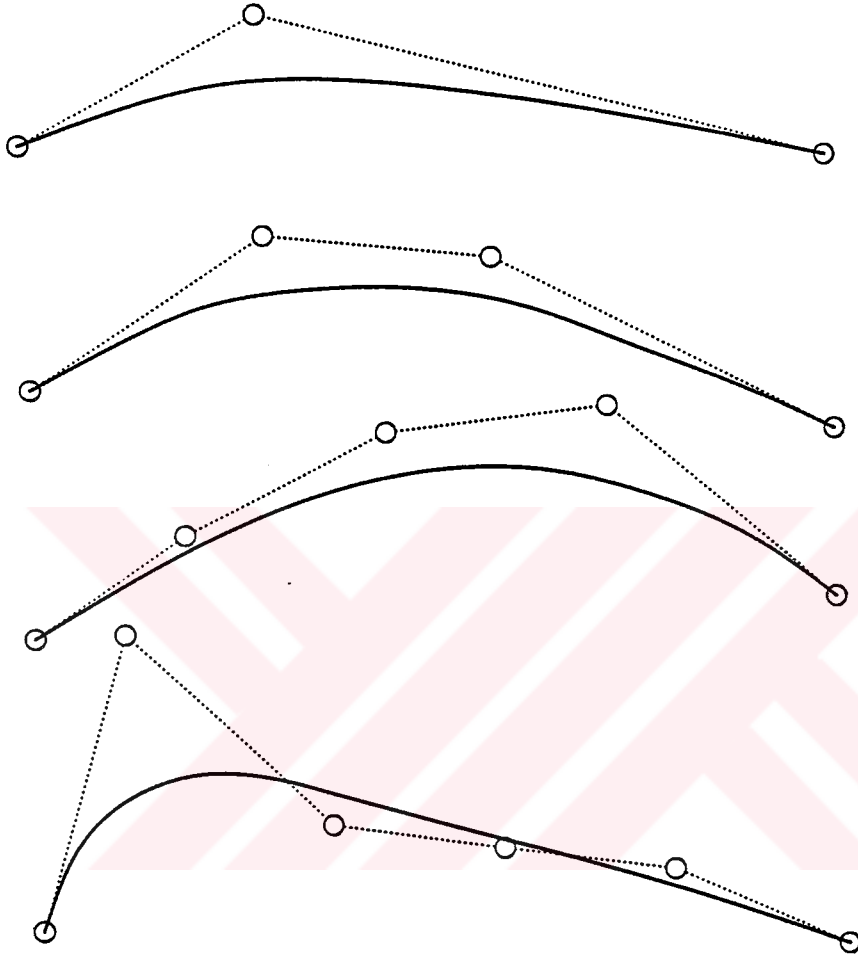
Bir Bezier polinomu için genel denklem;

$$p(u) = \sum_{i=0}^n p_i B_i^n(u) \quad (4.1)$$

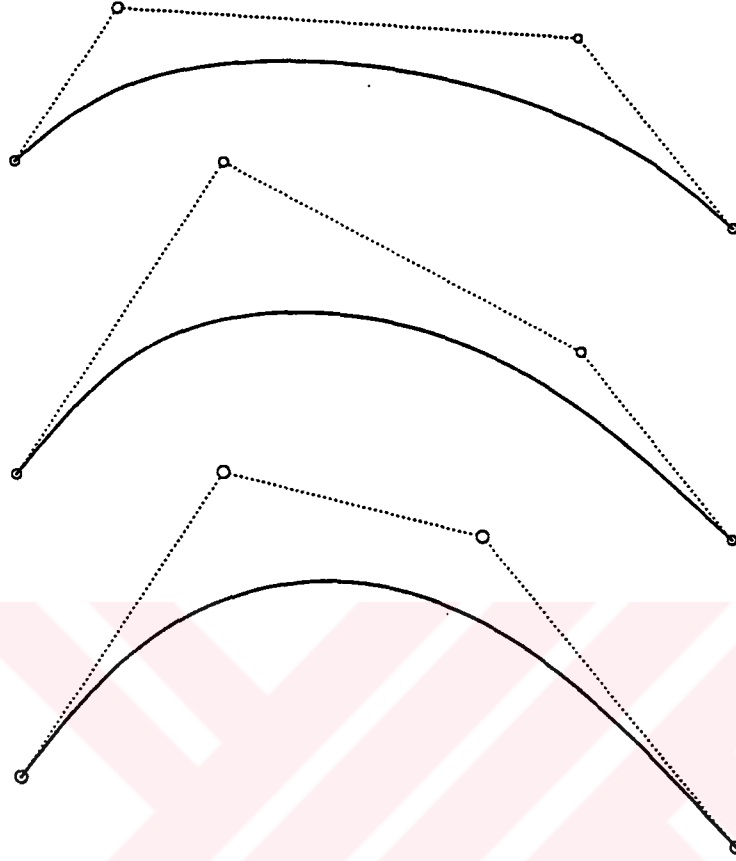
şeklindedir. Bu denklemde,

$$B_i^n(u) = \binom{n}{i} u^i (1-u)^{n-i} \quad (4.2)$$

olarak tanımlanır. Birinci dereceden Bezier polinomu düz bir doğrudur. Tasarımcı kullanılan tanım noktalarını ve polinomun derecesini değiştirerek Şekil4.1 ve Şekil 4.2’de görüldüğü gibi en uygun geometriyi elde etmeye çalışır.



Şekil 4.1 Farklı Tanım Derecelerine Sahip Bezier Eğrileri



Şekil 4.2 Farklı Tanım Noktalarına Sahip Bezier Eğrileri

Bilgisayar programı içinde dördüncü dereceden bir Bezier eğrisi kullanılmıştır. Bu polinomu,

$$p(u) = (1-u)^3 p_0 + 3u(1-u)^2 p_1 + 3u^2(1-u)p_2 + u^3 p_3 \quad (4.3)$$

şeklinde yazabiliriz. Denklemden p_0, p_1, p_2 ve p_3 eğriyi oluşturan noktaları (x,y koordinatları olarak), (u) ise 0 ile 1 arasında değişen parametrik değeri göstermektedir. Elde edilen eğri parçalarının uygun şekillerde birleştirilmesi akım alanı geometrisinin oluşturulmasında yeterince iyi sonuçlar vermektedir.

5.ÖZGÜL HIZA BAĞLI OLARAK GÖBEK PROFİLLERİNİN DENKLEMLERİ

Tasarımı yapılacak her bir çark , belirli özgül hızlara sahip çark sınıflarına sokulabilir ve böylelikle benzeşim kurallarına uygun olarak çark geometrileri de benzer biçim alırlar. Bununla beraber, her çarkın geometrik olarak boyutları farklıdır. Bu yüzden çarklar belirli sınıflara dahil edilseler de göbek ve yanak profilleri için tek bir analitik denklem elde edilemez. Ancak profiller arasında şekil benzerliği olduğundan, elde edilen göbek-yanak profilleri, çark boyutlarına uygun ölçekte değiştirilebilir. Çalışmada radyal çarklar üç özgül hız grubuna ayrılmış ve her bir grup için elde edilen profiller kendi özgül hız grupları içinde değerlendirilmiştir.



Şekil 5.1 $n_s=60-90$ d/dak Aralığındaki Çarklar İçin Göbek ve Yanak Profili

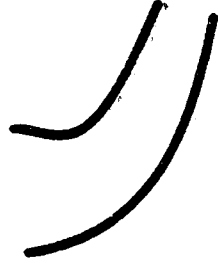
Tablo 5.1 Birinci Örnek Çark İçin Bezier Koordinatları

X1(CM)	0.6	Y1(CM)	6.0
X2(CM)	9.0	Y2(CM)	7.5
X3(CM)	10.5	Y3(CM)	12.0
X4(CM)	12	Y4(CM)	27.0

Birinci Örnek Çark İçin Göbek Profili Denklemi;

$$R= 0.00044Z^5 -0.0094Z^4 +0.081Z^3 -0.28Z^2 +0.60Z+5.70 \quad (5.1)$$

şeklindedir.



Şekil 5.2 $n_s=90-130$ d/dak Aralığındaki Çarklar İçin Göbek ve Yanak Profili

Tablo 5.2 İkinci Örnek Çark İçin Bezier Koordinatları

X1(CM)	0.6	Y1(CM)	4.8
X2(CM)	7.2	Y2(CM)	6.0
X3(CM)	7.8	Y3(CM)	12.0
X4(CM)	9.0	Y4(CM)	19.5

İkinci çark için göbek profili denklemi;

$$R=0.006Z^4 -0.08Z^3 +0.418Z^2 -0.51Z + 5.011 \quad (5.2)$$

olarak elde edilir.



Şekil 5.3 $n_s=130-210$ d/dak Aralığındaki Çarklar İçin Göbek ve Yanak Profili

Tablo 5.3 Üçüncü Örnek Çark İçin Bezier Koordinatları

X1(CM)	0.6	Y1(CM)	4.5
X2(CM)	7.5	Y2(CM)	5.4
X3(CM)	8.7	Y3(CM)	9.0
X4(CM)	10.5	Y4(CM)	15.0

Üçüncü çark için göbek profili denklemi;

$$R=0.0017Z^4 -0.02Z^3 +0.123Z^2 -0.08Z + 4.52 \quad (5.3)$$

şeklinde bulunmuştur.

6.TASARIM ÖRNEKLERİ

Akım çizgisi eğriliği yöntemi kullanılarak oluşturulan program yardımıyla üç farklı özgül hızda göbek-yanak profilleri elde edilmiştir. Çarklara ait tasarım verileri Tablo 6.1 ,6.2 ve 6.3'te görülmektedir. Tasarım verilerinden faydalanılarak önce bir boyutlu geometrik sonuçlar ardından iki boyutlu sonuçlar elde edilmiştir.

Tablo 6.1 Birinci Çarka Ait Veriler

DEBİ (Q)	0.15 m ³ /sn
MANOMETRİK YÜKSEKLİK (H _m)	92 m
DEVİR SAYISI (n)	1500 d/dak
ÖZGÜL HIZ (n _s)	70 d/dak
AKIM ÇİZGİSİ ÜZERİNDEKİ HESAP NOKTASI SAYISI (J)	20
AKIM ÇİZGİSİ SAYISI (K)	10
KANAT ŞEKİL DEĞERLERİ ($\partial\theta/\partial r$ ve $\partial\theta/\partial z$)	0.0
ÖNDÖNME ORANI (λ)	0.0

Tablo 6.2. İkinci Çarka Ait Veriler

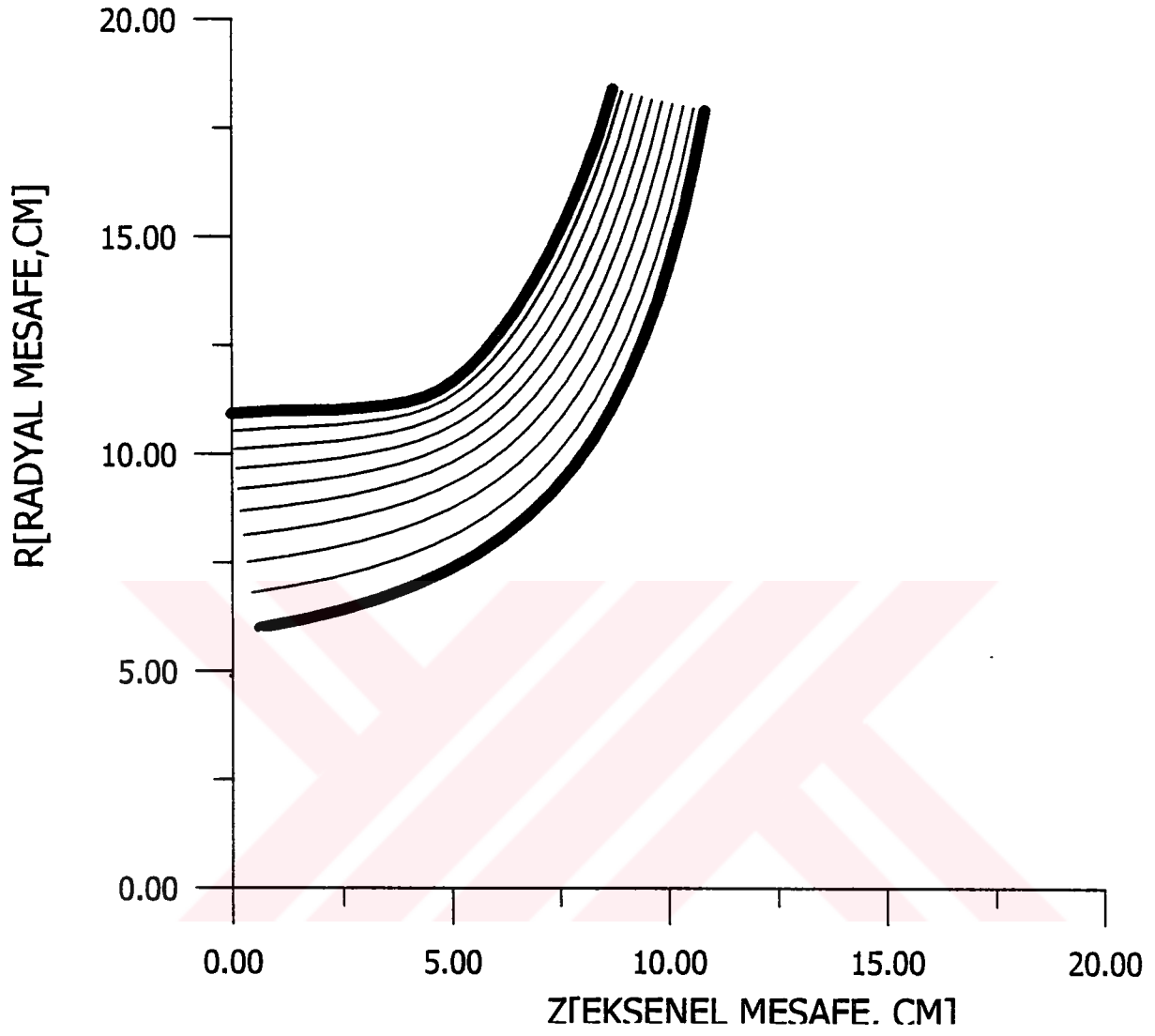
DEBİ (Q)	0.1 m ³ /sn
MANOMETRİK YÜKSEKLİK (HM)	40 m
DEVİR SAYISI (n)	1470 d/dak
ÖZGÜL HIZ (n _s)	106 d/dak
AKIM ÇİZGİSİ ÜZERİNDEKİ HESAP NOKTASI SAYISI (J)	20
AKIM ÇİZGİSİ SAYISI (K)	10
KANAT ŞEKİL DEĞERLERİ ($\partial\theta/\partial r$ ve $\partial\theta/\partial z$)	0.0
ÖNDÖNME ORANI (λ)	0.0

Tablo 6.3 Üçüncü Çarka Ait Veriler

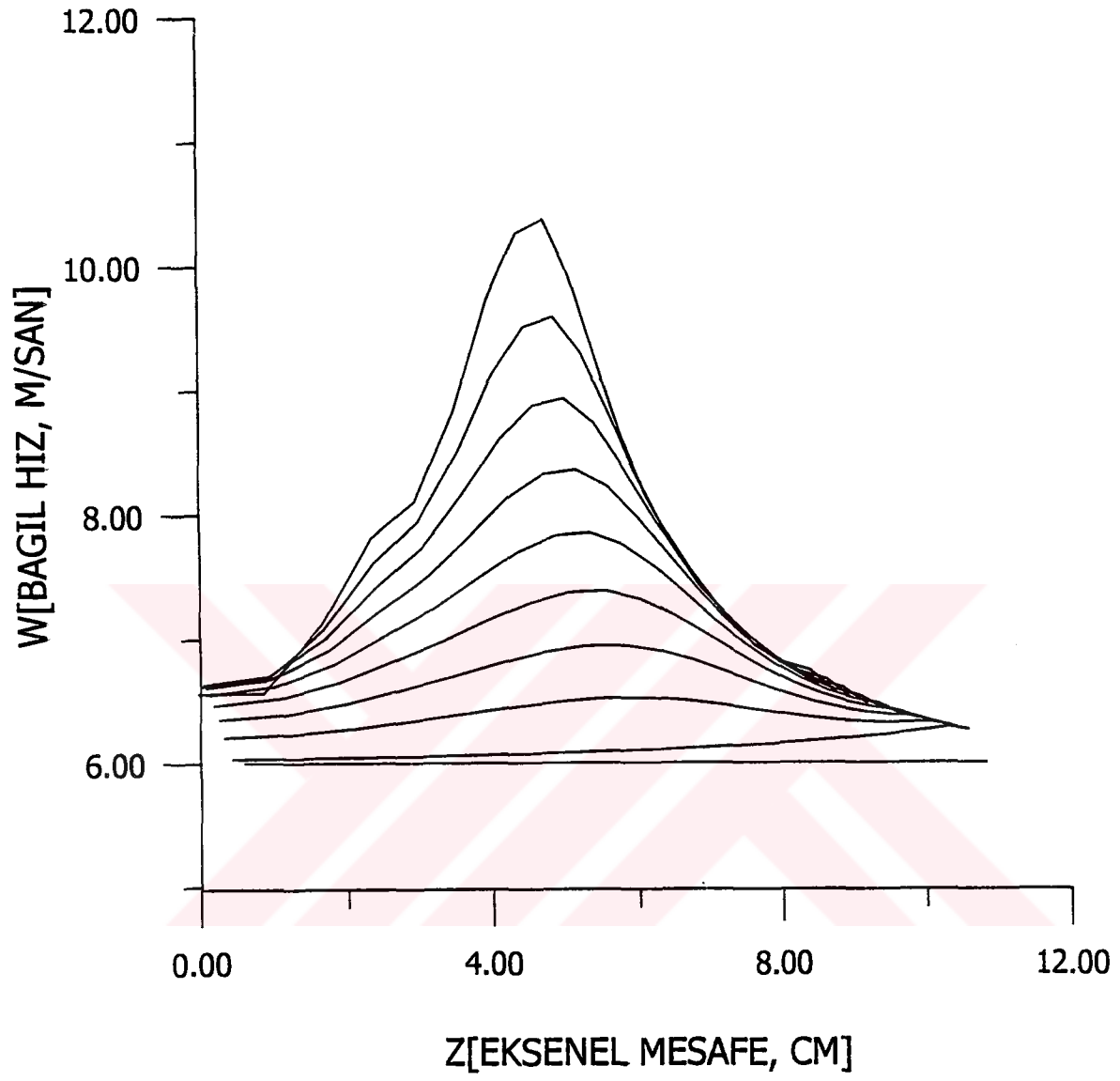
DEBİ (Q)	0.2 m ³ /sn
MANOMETRİK YÜKSEKLİK(HM)	70 m
DEVİR SAYISI(n)	3000 d/dak
ÖZGÜL HIZ (n _s)	202 d/dak
AKIM ÇİZGİSİ ÜZERİNDEKİ HESAP NOKTASI SAYISI (J)	20
AKIM ÇİZGİSİ SAYISI (K)	10
KANAT ŞEKİL DEĞERLERİ ($\partial\theta/\partial r$ ve $\partial\theta/\partial z$)	0.0
ÖNDÖNME ORANI (λ)	0.0

Tablo 6.4 Birinci çarka ait bir boyutlu tasarım sonuçları

KRİTİK HIZ	11054.3 d/dak
EMME DERİNLİĞİ	≤ 1.4 m
KADEME SAYISI	1
ÖZGÜL HIZ	71 d/dak
GENEL VERİM	0.78
MİL GUCU	235 BG
MİL ÇAPI	80 mm
GOBEK ÇAPI	120 mm
GOBEK BOYU	136 mm
EMME ÇAPI	200 mm
GİRİŞ ÇAPI	216 mm
ÇIKIŞ ÇAPI	519 mm
ÇARK GİRİŞ İÇ ÇAPI	195 mm
ÇARK GİRİŞ DIŞ ÇAPI	236 mm
GİRİŞ KANAT AÇISI	17.3°
GİRİŞ KANAT AÇISININ İÇ DEĞERİ	19°
GİRİŞ KANAT AÇISININ DIŞ DEĞERİ	16°
KANAT SAYISI (M)	8 ADET
KANAT KALINLIĞI	5 mm
ÇIKIŞ KANAT AÇISI	30°
GİRİŞ GENİŞLİĞİ	55 mm
ÇIKIŞ GENİŞLİĞİ	19 mm
GİRİŞ MERİDYEN HIZI	5.3 m/sn
MUTLAK HIZIN SÜRÜKLENME HIZI ÜZERİNDEKİ İZDÜŞÜMÜ	25 m/sn
GİRİŞ ÇEVRESEL HIZI	16.9 m/sn
GİRİŞ ÇEVRESEL HIZIN İÇ DEĞERİ	15.3 m/sn
EMME AĞZINDAKİ MUTLAK HIZ	5.02 m/sn
EKSENEL KUVVET	26291.5 Newton
ÇARK AĞIRLIĞI	29.84 Kg



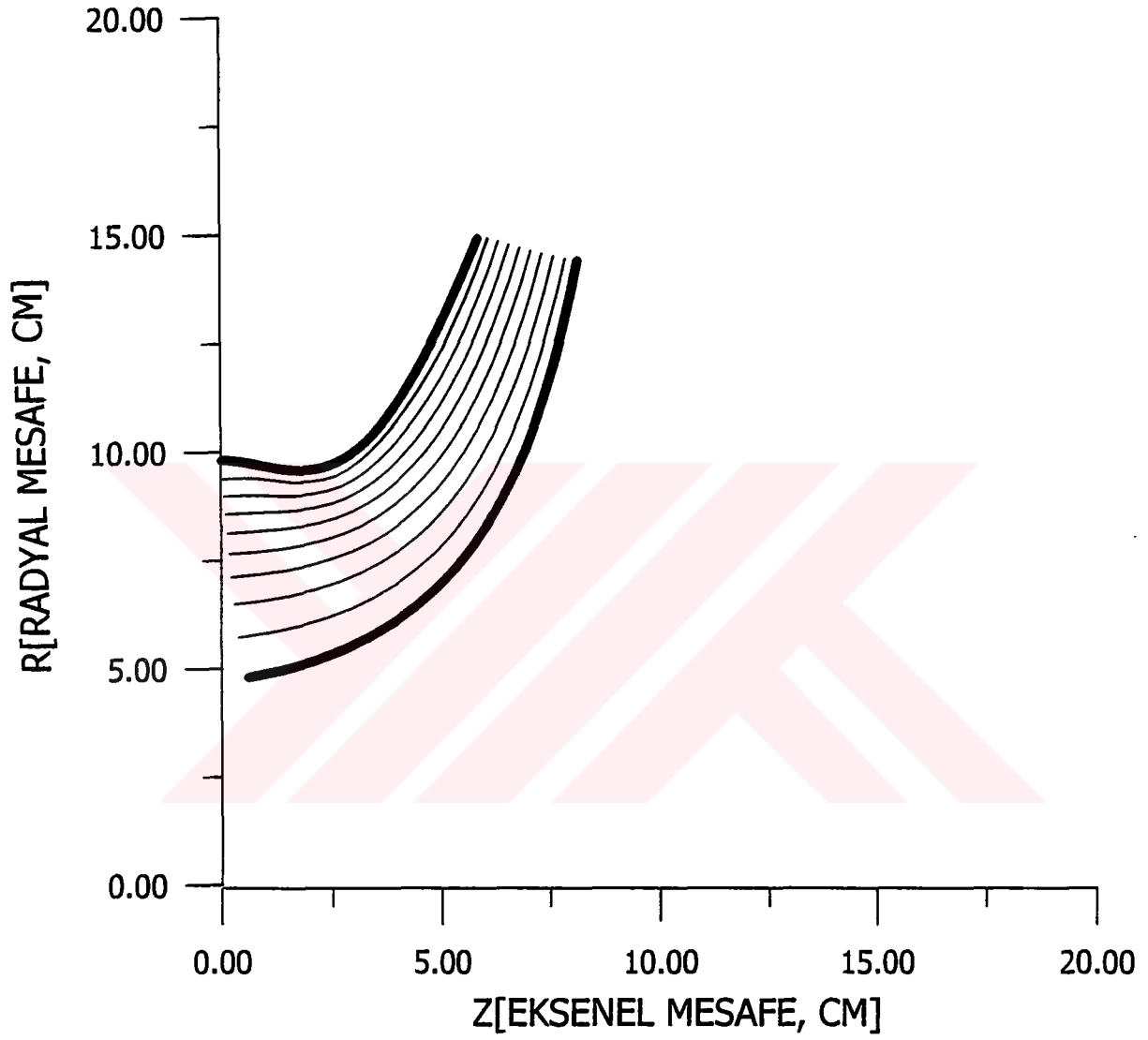
Şekil 6.1 Birinci çarka ait göbek-yanak profilleri



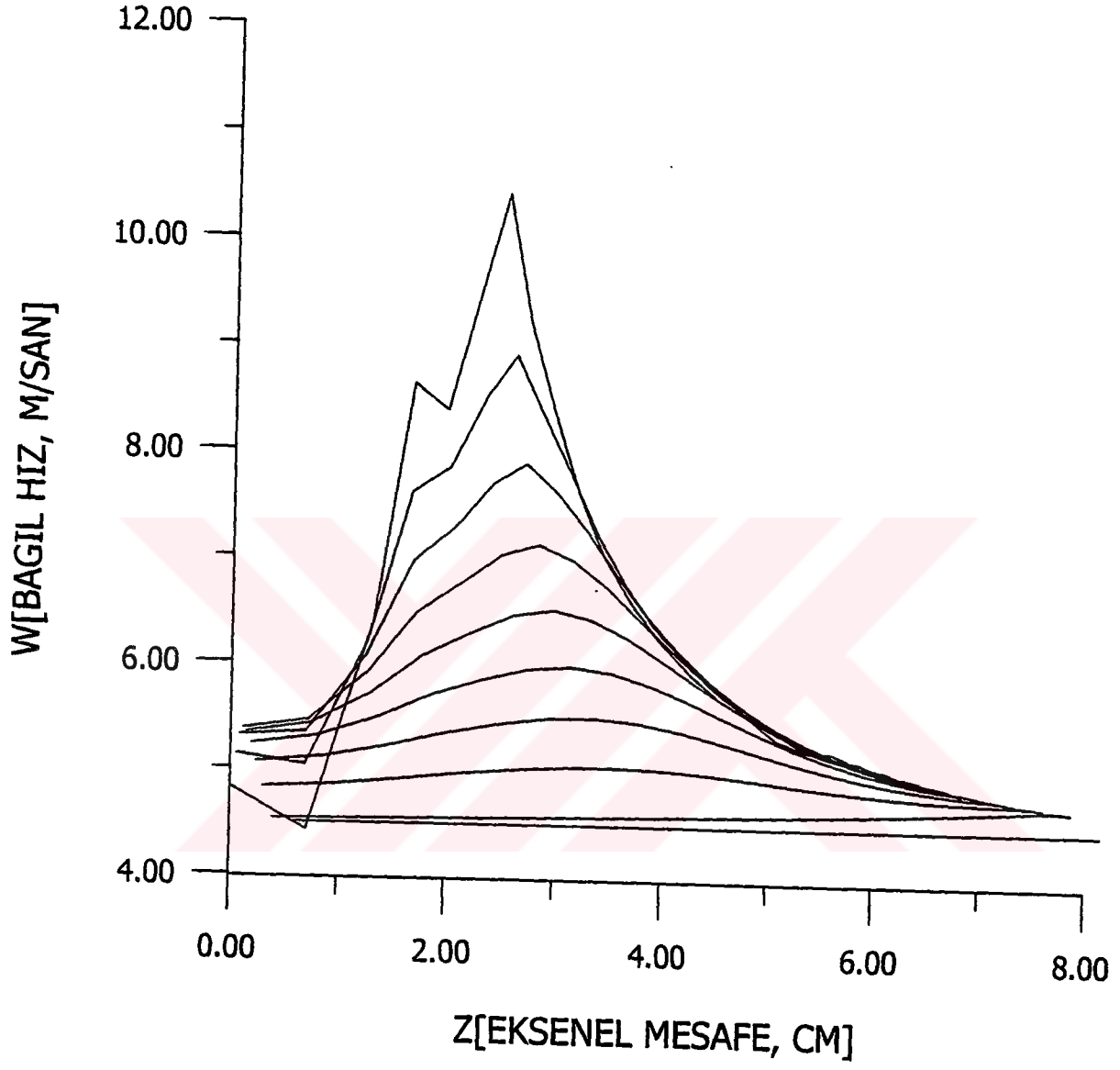
Şekil 6.2 Birinci çarka ait bağıl hız değişimi

Tablo 6.5 İkinci çarka ait 1- boyutlu tasarım sonuçları

KRİTİK HIZ	5956.48 d/dak
EMME DERİNLİĞİ	≤ 3.12 m
KADEME SAYISI	1
ÖZGÜL HIZ	106 d/dak
DEVİR SAYISI	1470 d/dak
GENEL VERİM	0.81
MİL GUCU	65 BG
MİL ÇAPI	50 mm
GÖBEK ÇAPI	75 mm
GOBEK BOYU	85 mm
EMME ÇAPI	200 mm
GİRİŞ ÇAPI	197 mm
ÇIKIŞ ÇAPI	375 mm
ÇARK GİRİŞİ İÇ ÇAPI	178 mm
ÇARK GİRİŞİ DIŞ ÇAPI	216 mm
GİRİŞ KANAT AÇISI	13°
GİRİŞ KANAT AÇISININ İÇ DEĞERİ	14.3°
GİRİŞ KANAT AÇISININ DIŞ DEĞERİ	12°
KANAT SAYISI	9 ADET
KANAT KALINLIĞI	5 mm
ÇIKIŞ KANAT AÇISI	27°
GİRİŞ GENİŞLİĞİ	71 mm
ÇIKIŞ GENİŞLİĞİ	22 mm
GİRİŞ MERİDYENEL HIZI	3.5 m/sn
ÇIKIŞ MUTLAK HIZININ ÇEVRESEL HIZ ÜZERİNDEKİ İZDÜŞÜMÜ	15.5 m/sn
GİRİŞ SÜRÜKLENME HIZI	15.2 m/sn
GİRİŞ ÇEVRESEL HIZIN İÇTEKİ DEĞERİ	13.7 m/sn
EMME AĞZI MULAK HIZI	3.34 m/sn
EKSENEL KUVVET	9994.92 Newton
ÇARK AĞIRLIĞI	15.7 Kg



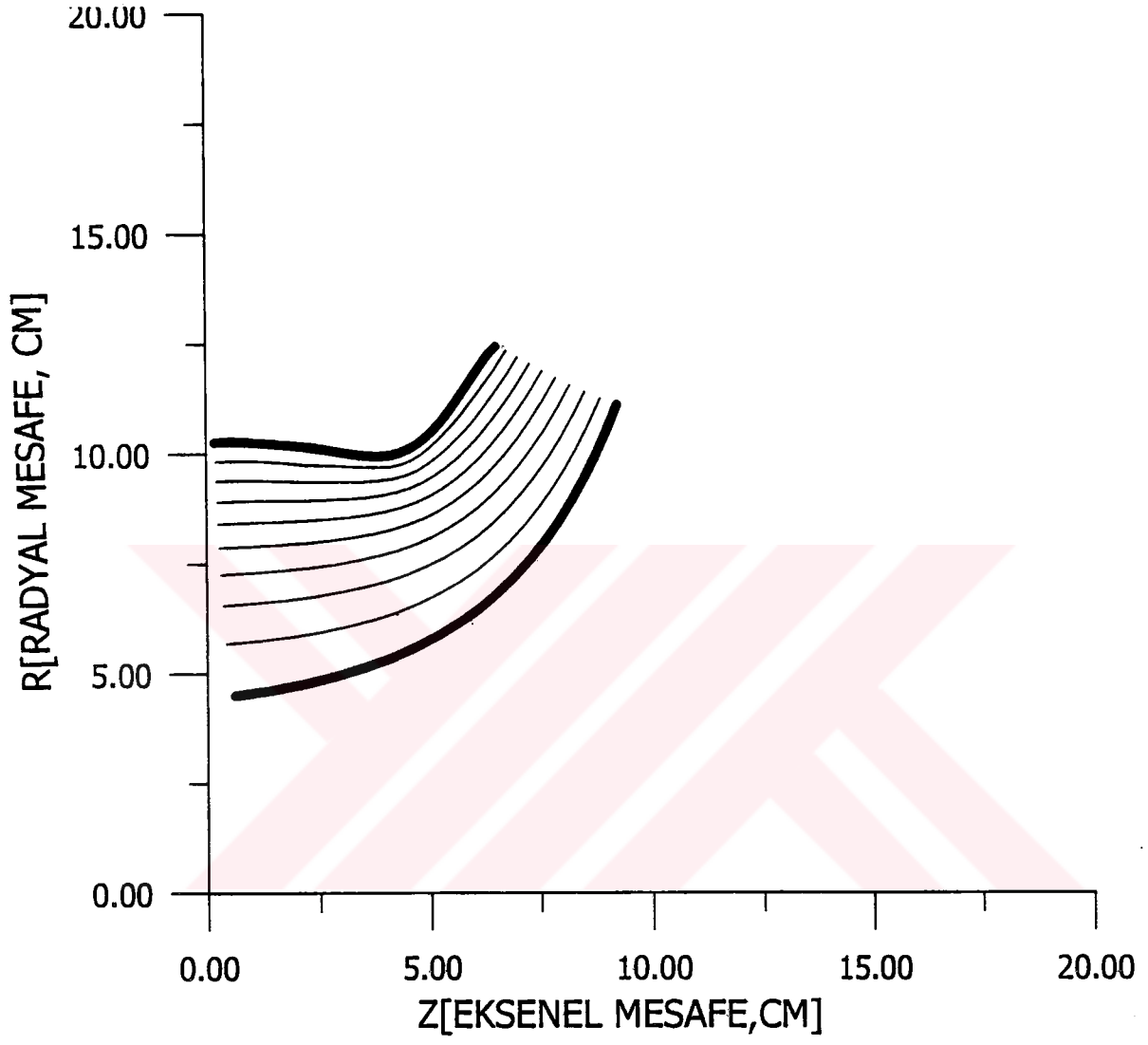
Şekil 6.3 İkinci çarka ait göbek-yanak profilleri



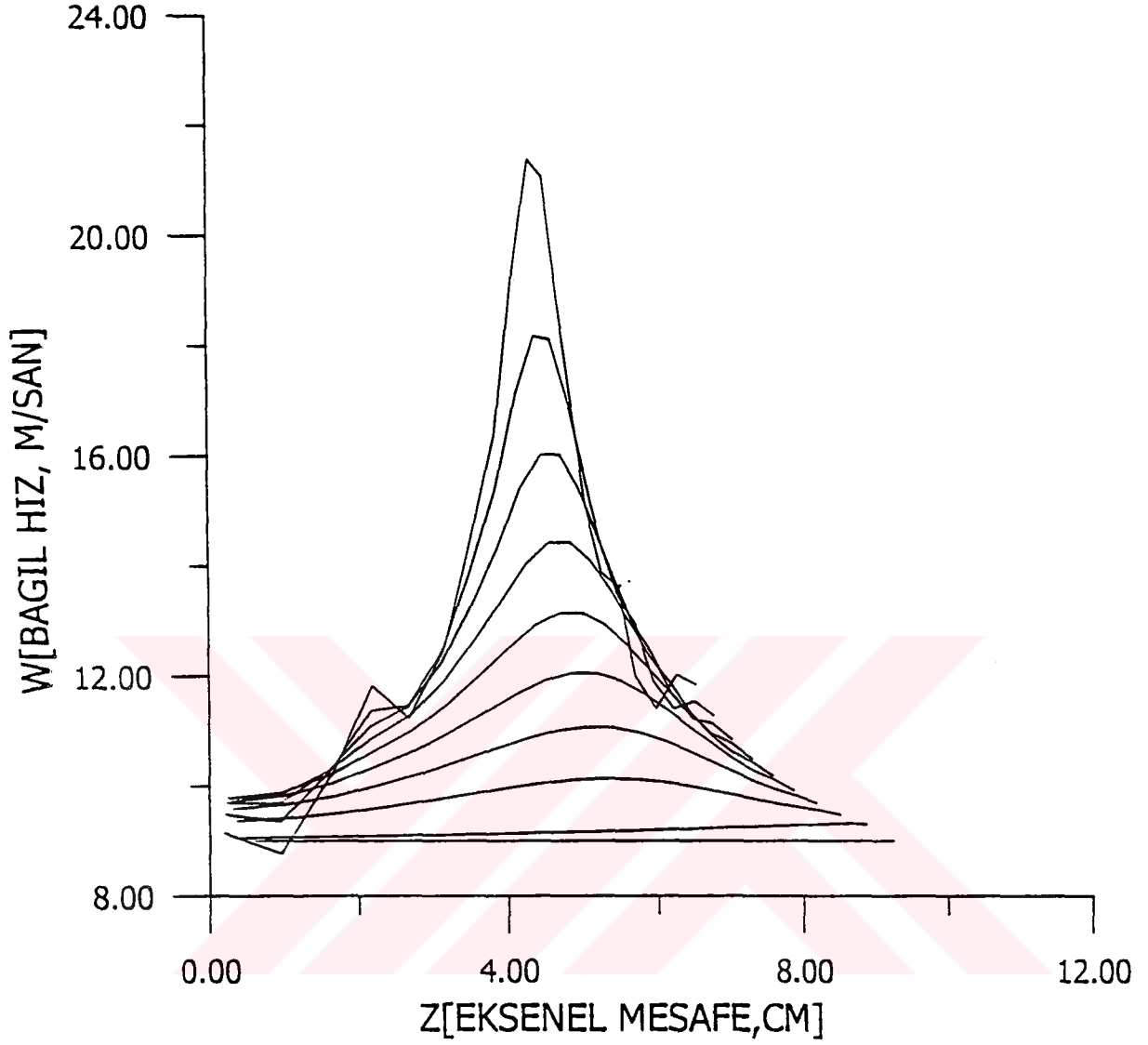
Şekil 6.4 İkinci çarka ait bağıl hız değişimi

Tablo 6.6 Üçüncü çarka ait bir boyutlu tasarım sonuçları

KRİTİK HIZ	15145.6 d/dak
EMME DERİNLİĞİ	≤ -18.5 m (negatif emme yüksekliği)
KADEME SAYISI	1
ÖZGÜL HIZ	202 d/dak
DEVİR SAYISI	3000 d/dak
GENEL VERİM	0.88
MİL GÜCÜ	212 BG
MİL ÇAPI	60 mm
GOBEK ÇAPI	90 mm
GOBEK BOYU	102 mm
EMME ÇAPI	200 mm
GİRİŞ ÇAPI	202 mm
ÇIKIŞ ÇAPI	297 mm
GİRİŞ ÇAPININ İÇ DEĞERİ	183 mm
GİRİŞ ÇAPININ DIŞ DEĞERİ	222 mm
GİRİŞ KANAT AÇISI	12.4°
GİRİŞ KANAT AÇISININ İÇ DEĞERİ	13.7°
GİRİŞ KANAT AÇISININ DIŞ DEĞERİ	11.3°
KANAT SAYISI	15 ADET
KANAT KALINLIĞI	5 mm
ÇIKIŞ KANAT AÇISI	27.7°
GİRİŞ GENİŞLİĞİ	103 mm
ÇIKIŞ GENİŞLİĞİ	21 mm
GİRİŞ MERİDYENEL HIZI	7 m/sn
ÇIKIŞ MUTLAK HIZIN İZDÜŞÜMÜ	16.4 m/sn
GİRİŞ SÜRÜKLENME HIZI	32 m/sn
GİRİŞ ÇEVRESEL HIZININ İÇ DEĞERİ	28 m/sn
EMME AĞZI MUTLAK HIZI	6.7 m/sn
EKSENEL KUVVET	15834.2 Newton
ÇARK AĞIRLIĞI	9.8 Kg



Şekil 6.5 Üçüncü çarka ait göbek-yanak profilleri



Şekil 6.6 Üçüncü çarka ait bağıl hız değişimi

Bağıl hız değişimleri incelenecek olursa, göbekten yanağa ilerledikçe bağıl hızlarda çark ekseninin ortalarında pik noktası olduğu ve bunun yanak yakınlarında arttığı görülmektedir. Bununla beraber, radyal çarklarda dirsek tesirinin meydana gelmesi, özellikle yanak yakınlarındaki akışta girdap oluşmasına neden olur. Bu sebepten çarkın yanak geometrisinin uygunluğuna dikkat edilmelidir. Göbek profili, kanat sayısı ve kanat geometrilerinin değiştirilmesiyle akım alanlarındaki düzensizlikler istenen seviyeye indirilebilir.

7. SONUÇ

Göbek geometrisinden başlayarak, yanağa kadar uzanan aralık boyunca, kanat sayısı, seçilen göbek geometrisi(fonksiyonu) ve göbeğin üzerindeki hız dağılımı elde edilen akım çizgileri için belirleyicidirler. Buradan yola çıkılarak, bu özelliklerin değişimiyle çok farklı geometrilerin elde edilebileceği öngörülebilir. Bu süreç, kabul edilebilir bir yanak geometrisi ve hız dağılımı sağlayıncaya kadar tekrarlanabilir.

Tasarım verileri bölümünde belirtildiği gibi, göbekten yanağa uygulanan metot (Δn) değerini negatif yaparak yanaktan göbeğe kadar da uygulanabilir.

Akım çizgileri üzerindeki istasyon sayılarını seçerken, özellikle büyük eğrilik yarıçaplı geometrilerde, yanağa doğru ilerlerken sayısal belirsizliklerin önüne geçmek amacıyla çok küçük aralıklardan kaçınılmalıdır. Bunun sebebi, yanak yakınlarında aralıkların azalması, bilgisayarın hata sınırıyla aynı mertebeye gelebilmesi ya da aralığın sıfırdan küçük değerler alabilmesidir. Her iki durumda da bu bölgede ki çözüm anlamsız olacaktır.

Sabit a ve b katsayısı oluşturma düşüncesini gerçekleyebilmek için, yeterli sayıda akım çizgisiyle başlayarak (Δn) değerini gerektiği kadar küçük tutmak önemlidir. (Δn) değeri çarkın boyutlarına bağlı olarak değişir ve birkaç denemeden sonra belirlenir. Özellikle yüksek hızlarda 10'dan daha az sayıda akım çizgisiyle başlamak doğru sonuç vermez. Gerekenden fazla akım çizgisi ise, pompa tipine ve tasarım değerlerine bağlı olarak, akım profilinin yanağa ya da göbeğe ulaşmadan anlamsız sonuçlara neden olmaktadır. Bu durumda, özellikle göbek üzerindeki başlangıç hızları arttıkça, daha fazla akım çizgisi seçilebilmesi olanaklı olmaktadır.

Çalışmada incelenen metotla, seçime bağlı olarak kanat yüzey hızlarının da hesaplanabilmesi mümkündür. Kanat yüzey hızlarının hesaplanmasının en büyük yararı, kanat yüzeylerindeki istenmeyen hız gradyanlarının ve türbülans oluşumlarının önüne geçilebilmesidir. Göbek üzerindeki hız dağılımlarıyla ya da kanat şekilleriyle oynayarak istenmeyen hız gradyanları giderilebilir.

Göbek profili tayin edilirken, matematiksel olarak sürekli bir fonksiyon olması, anlamlı sonuçlar bakımından önemlidir. Bu profil tek bir fonksiyon olabileceği gibi, birleşim noktalarındaki süreklilik sağlandığı takdirde birden fazla fonksiyondan da oluşabilir. Bu noktada pompa tipinin ve buna bağlı olarak mevcut çark şekillerinden

tecrübeye dayalı olarak yararlanmak da ilk hareket için kolaylık sağlar. Fonksiyonun yüksek dereceli bir fonksiyon olması da hassasiyeti önemli ölçüde etkiler.



KAYNAKLAR

- [1] **Ayder, E. ve Karakaş, A.**, 1996. Santrifüj Pompa Çarkının Bezier Eğrileri ile Modellenmesi, İkinci Pompa Kongresi, Bildiriler Kitabı, sf 132-135, 3-5 Nisan, Harbiye, İstanbul
- [2] **Baysal, K.**, 1975. Tam Santrifüj Pompalar, İ.T.Ü Yayınları Sayı:1078 İ.T.Ü Matbaası, Gümüşsuyu, İstanbul.
- [3] **Japikse, D. ve Baines, Nicholas C.**, 1994. Introduction to Turbomachinery, Oxford University Press.
- [4] **Karakaş, A.**, 2000. Radyal Pompa Çarkları İçindeki Üç Boyutlu Sürtmeli ve Sürtmesiz Akışın Sayısal Analizi, Doktora Tezi, İ.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [5] **Lakshminarayana, B.**, 1996. Fluid Dynamics and Heat Transfer of Turbomachinery, The Pennsylvania University, Department of Aerospace Engineering, John Wiley & Sons Inc.
- [6] **Özgür, C.**, 1983. Su Makinaları Dersleri, İ.T.Ü Yayınları Sayı:1260 İ.T.Ü Matbaası, Gümüşsuyu, İstanbul.
- [7] **Stockman, Norbert O. ve Kramer, John L.**, Method For Design of Pump Impellers Using A High Speed Digital Computer, NASA Technical Note D-1562.
- [8] **Tunç, M. ve Parmaksızoğlu, C.**, 1999. FORTRAN 90&95, Beta Yayınları.
- [9] **Uysal, M. ve Uysal, A.**, 1998. FORTRAN 90, Beta yayınları.
- [10] **Üçer, A.Ş., Stow, P. and Hirsch, Ch.**, 1985. Thermodynamics and Fluid Mechanics of Turbomachinery-Volume1, NATO ASI Series.
- [11] **Yazgıç, M.K.**, 1986. Santrifüj Pompa Çarkının Dizaynının Bilgisayarla Programlanması, *Lisans Bitirme Tezi*, İ.T.Ü. Makine Fakültesi, İstanbul.
- [12] **Yazıcı, H.F.**, 1998. Pompa Normları Hakkında, Üçüncü Pompa Kongresi, Bildiriler Kitabı, sf 1-9, 24-26 Eylül, Harbiye, İstanbul.

ÖZGEÇMİŞ

1972 yılında İzmir’de doğdu. Orta öğrenimini 1989 yılında Kabataş Erkek Lisesi’nde tamamladı. Aynı yıl İstanbul Teknik Üniversitesi Makine Fakültesine girmeye hak kazandı. 1993 yılında mezuniyetinin ardından Türk Silahlı Kuvvetlerine katılarak Milli Savunma Bakanlığı Sivas İnşaat Emlak Başkanlığında makine kontrol mühendisliği görevini dört yıl süreyle sürdürdü. Halen M.S.B İstanbul İnşaat Emlak Başkanlığı’nda makine kontrol kısım amiri olarak görevlidir.

