

BİLGİSAYAR DESTEKLİ POMPA TASARIMI

Tunç Değer
A.Özden Ertöz
Vansan Makina Sanayii

ÖZET

Tam radyal ve yarı eksenel pompa dizaynında kullanılabilen, tasarımda deneysel sonuçlardan faydalanma imkanı sunan, "VP04.0" adında VB6.0 tabanlı bir yazılım geliştirilmiştir. Bildiride, yeni geliştirilen yazılım ile pompa dizaynına yer verilmiş; çark projeksiyonu çiziminin, profilin eğimi ile olan ilişkisi ve merkez açının, kanat açısı ile değişimi üç boyutta incelenmiş ve hata üçgenleri metodundaki hatanın azaltılmasına değinilmiştir.

1.GİRİŞ

Günümüzde yazılım teknolojilerinin gelişmesi ve bilgisayarların kapasitelerinin artmasıyla birlikte, pompa dizaynı ve analizi konusunda önemli gelişmeler kaydedilmiştir. Kompleks diferansiyel denklemler ve birçok iteratif hesap, artık elektronik ortamda gerçekleşmekte, bu sayede; dizaynı biten akım makinesinin analizi yapıldığında, deney sonuçlarına çok yakın performans değerleri elde edilebilmektedir.

En gelişmiş yazılımlarda dahi, yeni bir akım makinesi dizaynı yapılırken, veya mevcut bir dizayn kontrol edilirken; Pfleiderer , Stepanoff, Cordier, Dicmas, Lobanoff gibi bilim adamlarının korelasyonlarından faydalanılmakta, geometriyi etkileyen boyutsuz oranlar özgül hızı bağı olarak seçilmekte veya programlar tarafından tavsiye edilmektedir.

2.ÇARK TASARIMI

Çark geometrisinin belirlenmesinde kullanılacak oranlar başlangıçta korelasyonlar kullanılarak seçilmekte, iterasyonlar ilerledikçe revize edilmektedir.

"VP04.0" arayüzünde görülen combo-box'lar, tecrübelerle saptanmış ve özgül hızlara bağı olarak tavsiye edilen boyutsuz sayılara erişimi sağlamaktadır. Boyutsuz özgül hızı, basınç ve debi sayılarına göre orta akım iplikçığı çıkış açısının tayin edildiği "Stepanoff Master Chart" diyagramı dizayn prosedürünü hızlandırır. Pop-up menüler sayesinde katsayıların ekstremum değeri veya ortalaması seçilebildiği gibi ara değerler manuel olarak ayarlanabilir. Boyutsuz oranların analog seçimi sırasında bu oranlara bağı önemli geometrik boyutlardaki değişiklik eş zamanlı olarak görüntülenmektedir.

çark dizayn (giris)

Dizaynın Adı: Nq162

- Q -	-n gen-	- A -	- b2/D2m -	- D1iç -	- U1iç -	- iç -	- ort -	- m -	- dış -	
1	0.95	1.4167 manuel	.31 manu	0.15	7.696	Cu1	7.696	1.584	1.781	2.398
- Hm -	-n mek-	- D2m -	- U2m -	- A2/A1 -		Cu2	6.237	7.885	8.056	9.533
11	0.98	.439	22.554	1.13 manu		Cu2	3.742	4.731	4.833	5.720
- n (d/dk) -	-n kaç-	- D2m/D2dış -	- Dm -	- A1 -	- A1(net) -	C2	6.261	6.968	6.968	7.610
980	0.98	0.845	0.068	.166	.157					
- nq(özg.hız) -	-n hid -	- D2dış -	- U2dış -	- C1m/U1dış -		- C1um/U1m		- C1um -		
162.248	.901	.520	26.691	.2706 manu		0.001	1.781-02			
		- D2iç -	- U2iç -	- C1m	- C1m2 -	- Nvortex (C2ud/C2u)				
		.340	17.463	6.490	5.020	2	1.528			
- P (kW) -		- D2ort -	- U2ort -	- D1dış	- U1dış -	- A1.B	- A2.B -			
126.952		.430	22.077	.467	23.985	6.497	8.432			
- q' -		- W1iç -	- W2iç -	- D1m	- U1m -					
1.02		10.062	12.466	.347	17.812					
- qs (özgül debi) -		- W1ort -	- W2ort -	- D1ort	- U1ort -					
6.922-02		17.104	15.191	.308	15.841					
		- W1m -	- W2m -	- b1 -						
		18.941	15.478	.1832						
		- W1dış -	- W2dış -	- Col(giris) -	- Co -					
		24.825	17.994	6.072	6.125					
		- H -	- Delta -							
		8.432	-1.350-13							
		- D -	- C -							
		-1.818	-1.477							
		- tanβ 2m -								
		.371 kontrol								
		- β 2m -	- β 2m -							
		20.392	20.5							

çıkış önizleme | hassas | eski dizaynı yükle | araçanak | R x b tablosu | kanat açıkları | akım iplikçikleri | programı kapat

Şekil 2.1

Özgül hız; birim düşüye karşılık birim debiyi sağlayan ve geometrik olarak benzerlik gösteren çarkların dönme sayısı olarak tanımlanmaktadır. Dizayn noktası için gerekli parametreler olan debi, basınç ve hız terimlerinin tümünü içerdiği için, çark hesabına özgül hız hesaplanarak başlanmaktadır.

$$n_q = \frac{n\sqrt{Q}}{\sqrt[4]{H_m^3}} \quad (1)$$

Q:[m³/s]
H:[mSS]
n:[d/d]

Cordier diyagramı yardımıyla özgül hızı bağlı olarak özgül çap "Δ" yazılım tarafından otomatik olarak seçilir. Tecrübeli kullanıcılar dizaynın ilerleyen safhalarını gözönüne alarak "Δ" değerini kendileri seçebilirler. Özgül çap sayesinde orta akım iplikçigi çıkış çapı hesaplanmaktadır.

Karışık akımda dış ve iç akım iplikçiklerinin çıkış çapları, çark profilinin geriye yatık olması nedeniyle farklıdır. D_{2o}; orta akım iplikçiginin çıkış çapıdır. Özgül hızı bağlı "D_{2o}/D_{2d}" oranı kullanılarak iç ve dış akım iplikçikleri çıkış çapları ve teğetsel hızları bulunmaktadır.

"VP04.0" özgül hızı bağlı boyutsuz oranları kullanarak sırasıyla; çıkış genişliği "b₂" giriş alanı "A₁", girişteki teğetsel hız "U_{1d}" ve giriş genişliği için dizayna başlangıç değerlerini seçer.

Grafiklerde; özgül hız değerleri için seçilen oranlar başarılı dizaynlardan elde edilen deneysel veriler olduğundan belirli bir aralıkta değişmektedir. Tasarımcılar, tecrübelerine göre aynı özgül hız değeri için farklı dizaynlar geliştireceklerdir.

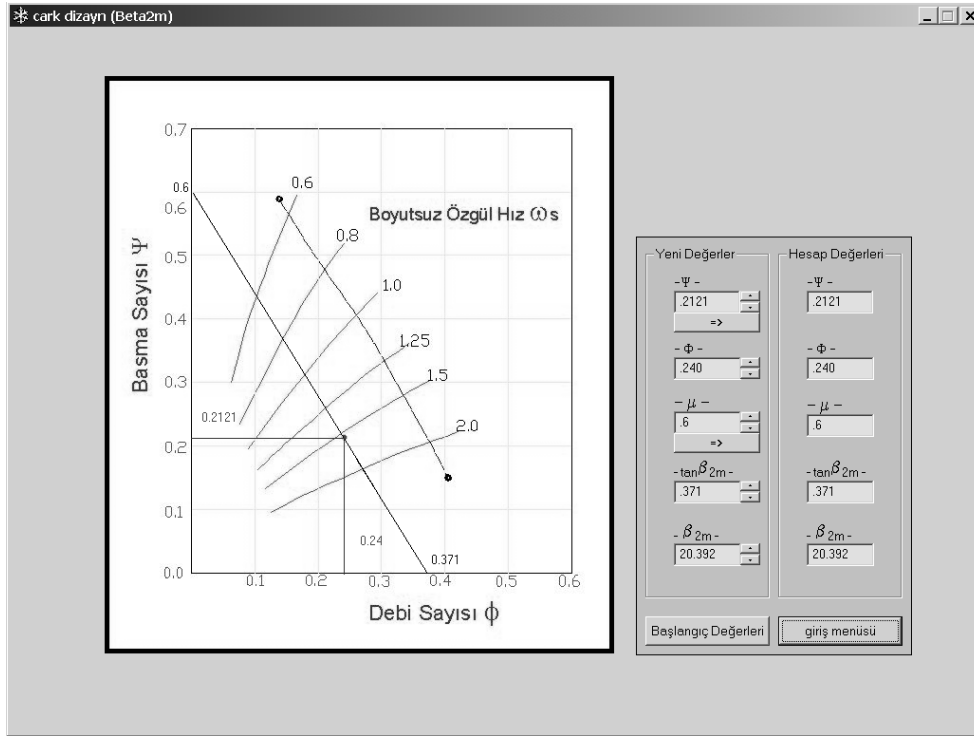
"VP04.0" yazılımı içerisinde ; "Stepanoff Master Chart" adıyla bilinen genelleştirilmiş pompa diyagramının karışık akış için düzenlenen(Şekil2.2) sayısallaştırılmış modeli mevcuttur.

$$[\mu] = f_1(n_q)$$

$$\psi = \frac{g \cdot H_m}{U_{2m}^2}$$

$$\phi = \frac{C_{m2}}{U_{2m}}$$

$$\omega_s = \frac{\sqrt{\phi}}{\sqrt[4]{\psi^3}}$$



Şekil 2.2

Dizayn noktası boyutsuz basınç “ ψ ” ve debi sayıları “ ϕ ” grafik üzerinde işaretlenir. Özgül hıza göre seçilen kayma faktörü düşey eksende ($\phi=0, \mu$) bulunur ve dizayn noktasından geçecek şekilde uzatıldığında yatay eksenini kestiği noktada akım iplikliğinin çıkıştaki kanat açısı (β_2) elde edilmektedir.

$$[\tan(\beta_{2m})] = f(\mu, \psi, \phi) = \left(\frac{\mu \cdot \phi}{\mu - \psi} \right)$$

$$\beta_{2m} = \arctan([\tan(\beta_{2m})])$$

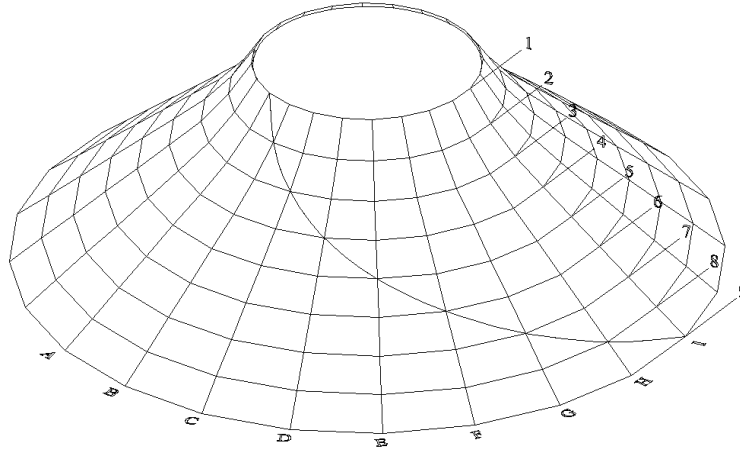
Basınç sayısı ve debi sayısı ifadeleri $f_4(\mu, \psi, \phi)$ fonksiyonunda yok edilerek dizayn noktasında çark çıkış genişliği ve çapına bağlı olarak orta akım iplikliği çıkış açısı (2) ifadesi yardımıyla yaklaşık olarak hesaplanabilir. Bildiride (2) ampirik ifadesinin türetilişine yer verilmeyecektir.

$$\beta_{2m} = \arctan \left[\frac{6.21 \cdot Q \cdot n}{b_2 (D_{2m}^2 \cdot n^2 - 5685H)} \right] \quad (2)$$

Q : [m³/s]
H : [mSS]
n : [d/d]
b , D_{2m} : [m]

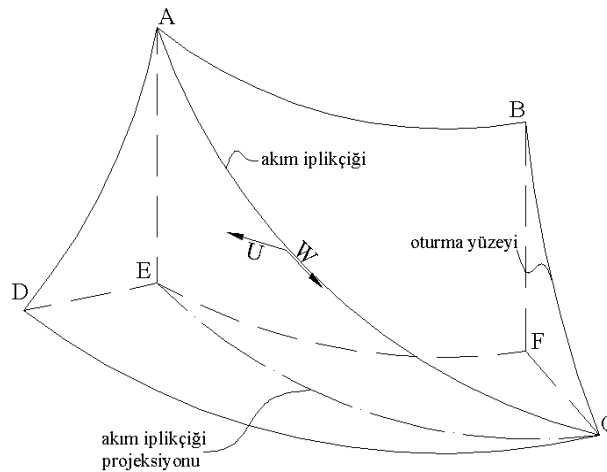
3.AKIM İPLİKÇİĞİNİN ÜÇ BOYUTTA İNCELENMESİ

Çizim programlarında; çark geometrisi, kanatların sarım yüzeyi (oturma yüzeyi) ve akım iplikçikleri hazırlanırken, çizimi kolaylaştırmak açısından, üç boyutlu eksen takımı genellikle yan görünüş(profil) ve üst görünüş(projeksiyon) ile örtüşecek şekilde seçilmektedir. Tam radyal çarklarda sarım yüzeyleri projeksiyon düzlemi ile çakışacağından projeksiyondaki kanat açısı gerçek kanat açısıdır. Ancak yüksek özgül hızlı çarklarda, sarım yüzeyleri geriye yatık çarkların akım iplikçikleri çizilirken, gerçek kanat açıları(β_{3d}) ve projeksiyon kanat açıları(β') arasında önemli farklar olduğundan,gerçek açının hesaplanabilmesi için, açılarda dönüştürme yapılması gerekmektedir.



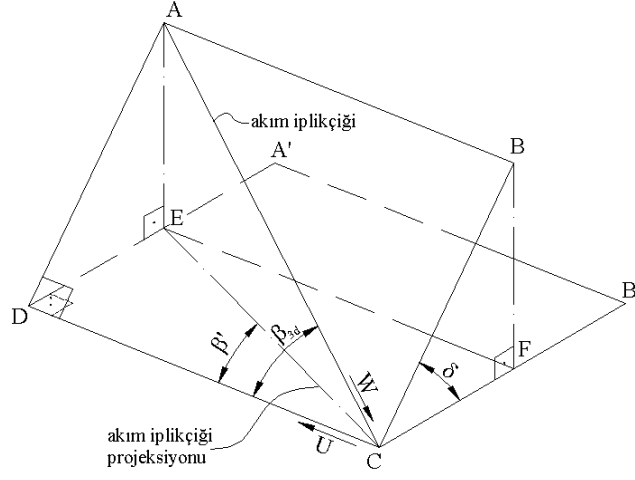
Şekil(3.1)

Kanat üzerindeki akım iplikçiklerinin yörüngelerinin belirlenmesi için meridyenel hız bileşeni " C_m ", çevresel hız " U " ve kanat açısı " β " bilinmelidir. Bu parametreler giriş ve çıkış arasındaki herhangi bir noktada "hız üçgeni" oluşturmak için gereklidir. Hız bileşenlerinin bir noktada gösterimi için Şekil (3.1)'de gösterilen akım iplikçığı oturma yüzeyi üzerinde sonlu bir parça (Örneğin : C ve D meridyenleri- 4 ve 5 paralelleri) büyütülerek çizilmiştir.



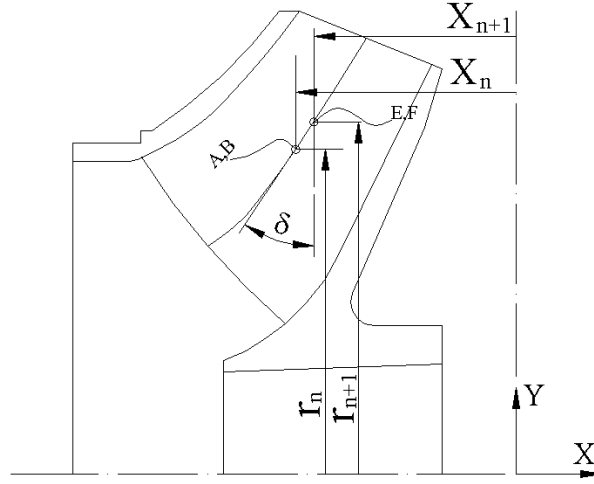
Şekil(3.2)

Bu elemanların sayısı arttıkça yörüngedeki süreksizlikler azalır ,daha düzgün bir kanat formu elde edilir. Şekil(3.2)'deki oturma yüzeyi ile projeksiyon yüzeyi Şekil(3.3)'deki halini alır.



Şekil(3.3)

Kanat açısı; bağıl hız bileşeni (W) ile o noktadaki çevresel hız arasındaki açıdır. Kanadın üç boyutta alacağı formun belirlenebilmesi için en çok kullanılan çizimler çark profili ve kanadın üst görünüşüdür. Bu yüzden kanat açısının projeksiyonun, bilinen parametreler cinsinden ifade edilebilmesi gerekmektedir.



Şekil 3.4

$$\cos \delta = \frac{\Delta r}{\sqrt{\Delta r^2 + \Delta x^2}} = \frac{|CF|}{|AD|} = \frac{|ED|}{|AD|}$$

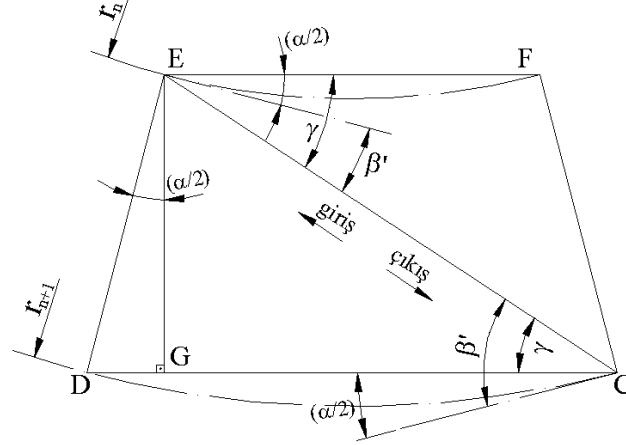
Şekil (3.3)'de kullanılırsa ;

$$\tan \beta_{3d} = \frac{|AD|}{|DC|} \left\{ \begin{array}{l} \tan \beta' = \frac{|ED|}{|AD|} = \cos \delta \\ \tan \beta_{3d} = \frac{|ED|}{|DC|} \end{array} \right.$$

$$\beta' = \arctan[\tan \beta_{3d} \cdot \cos \delta] \quad (4)$$

Yukarıdaki (4) ifadesi; herhangi bir kesitte kanadın yatıklığı “ δ ” bilindiğinde üst görünüşte kullanılacak izdüşüm kanat açısını veren ifadedir. Akım iplikliğinin profildeki yatıklığı özgül hızı düşük çarklarda küçülür, dolayısıyla kanat açısı üç boyutta ve projeksiyonda yaklaşık olarak aynıdır. Ancak özgül hız arttıkça özellikle çark girişinde kanat açısının izdüşümü” β' ” ile hesaplanan kanat açısı” β_{3d} ” arasındaki fark artar.

Üst görünüşte akım iplikliğinin gördüğü toplam açiya “merkez açısı” denilir. Sonlu akım parçasının her projeksiyon yüzeyinde (EDCF) gördüğü ‘ $\Delta\alpha$ ’ açılarının toplamı merkez açısı vermektedir. (Şekil 3.5)



Şekil3.5

$$\tan \gamma = \frac{(r_{n+1} - r_n) \cdot \cos(\Delta\alpha/2)}{2r_{n+1} \cdot \sin(\Delta\alpha/2) - (r_{n+1} - r_n) \sin(\Delta\alpha/2)}$$

$$\tan \gamma = \frac{(r_{n+1} - r_n)}{(r_{n+1} + r_n)} \cdot \cot(\Delta\alpha/2),$$

$$\alpha = 180 - 2 \arctan \left[\tan \gamma \frac{(r_{n+1} + r_n)}{(r_{n+1} - r_n)} \right] \quad \dots(5)$$

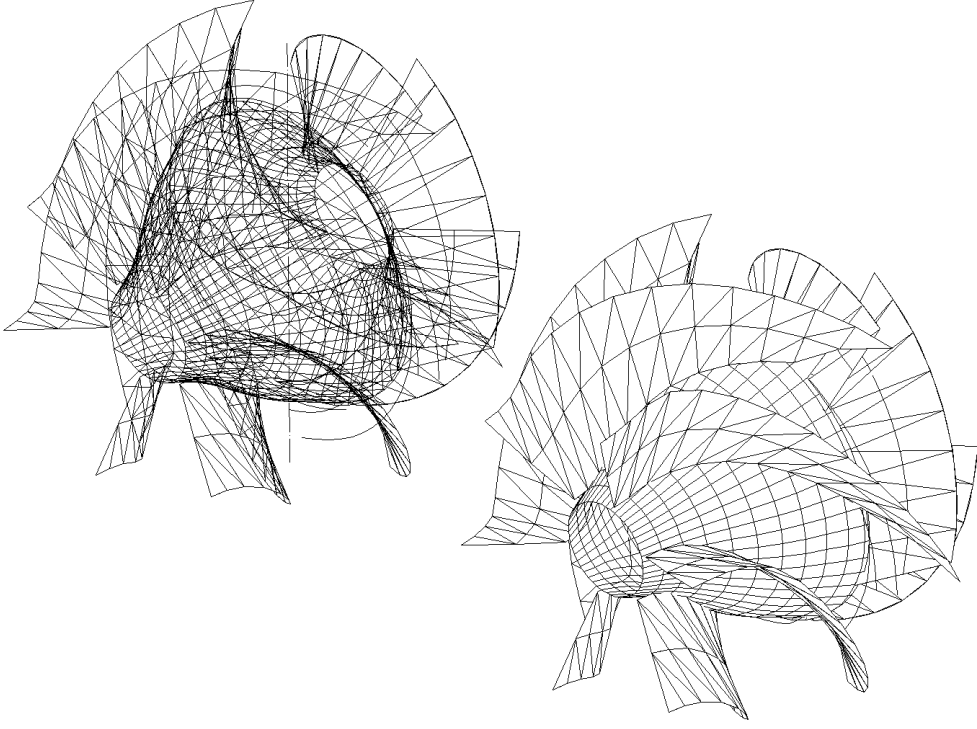
Yukarıdaki (5) ifadesi; herhangi bir istasyonda kanat açısının değeri bilindiğinde buradaki merkez açısı bileşenini veren eşitliktir. Sonsuz eleman çizilmesi durumunu temsil eden Şekil 3.2 ve Şekil 3.5'deki U hızı ve akım iplikliğinin izdüşümü “EC” arasındaki açı olan “ β' ” açısı ile sonlu eleman durumunu gösteren Şekil 3.5 'deki “ γ ” açısı arasında çember sentetiği gereğince bu istasyondaki merkez açısı bileşeninin yarısı kadar hata oluşacaktır ;

$$\beta' = \gamma \pm \left(\frac{\Delta\alpha}{2} \right) \quad \text{girişte (+), çıkışta (-) işareti geçerlidir.}$$

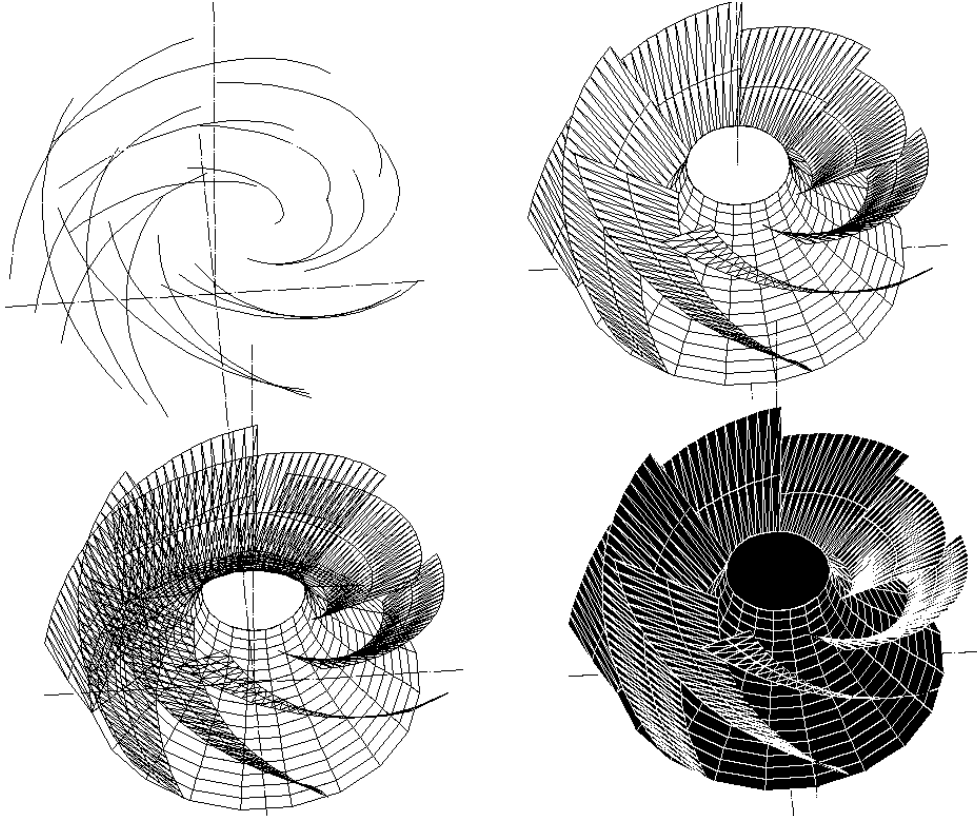
Akım iplikçiklerinin az sayıda sonlu elemana ayrıldığı manuel çizimlerde kanat açısı hatasının giderilmesi için “m” elemana bölünmüş bir sarım yüzeyi için girişte $1 < K_{\beta(0)}$, çıkışta $K_{\beta(m)} < 1$ olacak bir düzeltme faktörü kullanılmalıdır.

“VP04.0” giriş ve çıkışta hesaplanan kanat açılarını bozmadan akım iplikçiklerinin birbirlerine göre olan konumlarını ve kanat burulmasını modifiye edebilen şekil faktörleri kullanılmaktadır. Böylece analitik hesap sonuçlarını sağlayan kanat formları arasından imalatı en kolay olanı seçilebilmektedir. Bünyesinde yer alan text processor; hafızada bulunan koordinatları, çizim komutları ile eşleştirir, yaygın olarak kullanılan Acad programında üç boyutta otomatik çizim imkanı sağlar. Yazılımda çok kademeli pompalar için difüzör(araçanak) dizaynı mevcuttur, ancak yer darlığı nedeniyle bildirinin metin kısmında araçanak dizaynı sunulmamıştır.

Aşağıda (Şekil3.6-Şekil3.9) dizaynı biten çark ve difüzörler Acad ve UG ortamında görülmektedir.



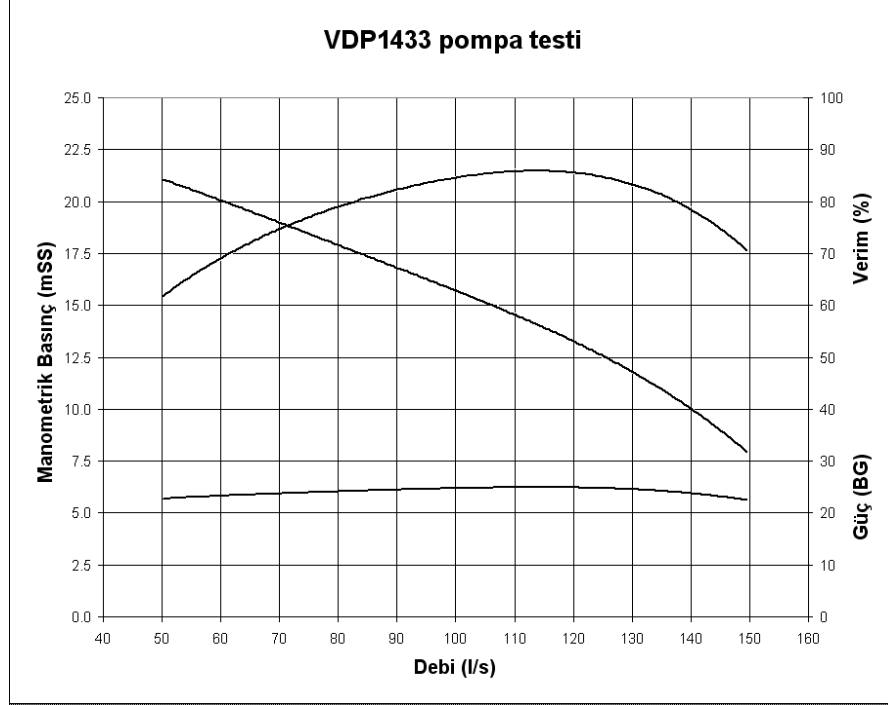
Şekil 3.6 : Araçanak dizaynında hesaplanan temel akım iplikçikleri yardımıyla difüzör çiziliyor.



Şekil 3.7 : Akım iplikçigi koordinatları Acad'e wireframe ve 3dface olarak aktarılıyor.

4.DENEY SONUÇLARI

“VP04.0” kullanılarak farklı özgül hızlarda, tasarım değerlerine çok yakın test sonuçları veren pompalar imal edilmiştir. Aşağıda “VP04.0” ile dizayn edilen; tasarım değerleri $Q_m=115(l/s)$, $H_m=14(mSS)$ $n=1450(d/d)$ olan “VDP1433” tipi pompanın deney sonucu görülmektedir.



Şekil 4.1 : Test sonuçları dizayn noktalarına çok yakın değerler vermektedir.

5.SONUÇ

Deney sonuçları incelendiğinde; “VP04.0” yardımıyla dizayn edilen pompaların test sonuçlarının dizayn noktalarına uyumlu olduğu görülmektedir. Program kullanılarak; yeni pompa dizaynında, veya varolan pompaların yeniden dizaynında önemli vakit tasarrufu sağlanmaktadır. Matematik modelinin gelişmeye açık olması ve kodlarının kolayca düzenlenebilmesi ise geliştirdiğimiz “VP04.0” pompa dizayn programının en büyük avantajıdır.

KAYNAKLAR

Stepanoff A., *Centrifugal and Axial Flow Pumps Theory, Design and Application*, New York John Wiley & Sons, Inc. London 1948.

Dicmas, J., *Vertical Turbine, Mixed Flow and Propeller Pumps*, McGraw-Hill Book Company, New York. 1987

Pfleiderer, C., *Die Kreiselpumpen für Flüssigkeiten und Gase*, Springer-Verlag, Berlin. 1961

Karassik, I., Krutzsch, W., Fraser, W., Messina, J., *Pump Handbook, Second Edition*, McGraw-Hill Book Company, Malaysia. 1986

Lobanoff, V., and Ross, R., *Centrifugal Pumps Design & Application*, Gulf Publishing Company, Houston, Texas. 1992

Csanady G.T. *Theory of Turbomachines*. McGraw-Hill Book Company, New York. 1964

SUMMARY

A pump design program (VP04.0) is developed for calculating “centrifugal” and “mixed-flow” pumps by “VANSAN Pump Company R&D Group”. Program is based on a mixture of Pfleiderer, Stepanoff, Dicmas, Lobanoff and Cordier’s findings. Vertical turbine pumps developed using this program showed efficiencies compatible with latest “HI Efficiency Graph”. We also developed another computer program for designing axial flow pumps of all possible specific speeds.