



YARIDAİRESEL ve DÜZ LOBLU VİSKOZ POMPALARIN ANALİZİ ve OPTİMİZASYONU

Nuri CEYLAN*
Prof. Dr. Yaşar PANCAR**
Özer AYDIN***

ÖZET

Bu çalışmada, loblu viskoz pompaların analiz ve optimizasyonuna yönelik yeni bir dizayn geliştirilmiştir. Bu yeni dizayn, yaridairesel loblu pompaların ön dizaynının aksine düz lobların durumunu ortaya koymaktadır. Düz lobların geometrisi ise yaridairesel lob geometrisindeki açık çözüme aynen uymaktadır. Bu geometrilere göre yaklaşımlar elde edilmiş ve yüksek ve düşük şekil faktör sınırları kullanılarak yaklaşımların doğruluğu kanıtlanmıştır. Lob geometrisi, maksimum pompalama kapasitesini elde etmek üzere optimize edilmiştir. Optimizasyon sonuçları düz loblu pompaların yaridairesel loblu pompalara göre daha üstün olduğunu göstermiştir.

TERİMLER DİZİNİ

c	Stator ve rotor arasındaki küçük tolerans
C	Stator ve rotor arasındaki büyük tolerans
h	Akışkan filminin kalınlığı

* D.P.Ü. Müh.Fak. Mak.Müh.Bl.

** O.G.Ü. Müh. Mim. Fak. Mak. Müh. Bl.

*** D.P.Ü. Müh.Fak. Mak.Müh.Bl.

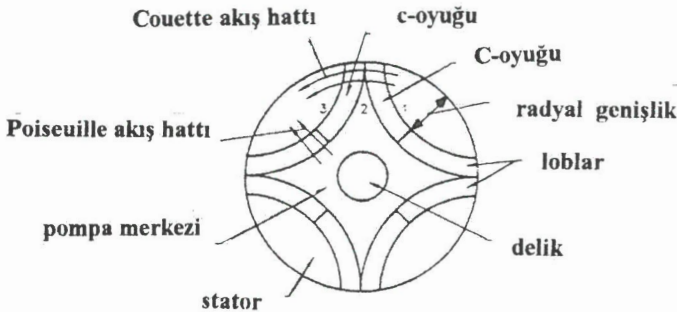
L	Değişken geometriler için uzunluk ölçüsü
p	Basınç
P	Diferansiyel boşaltma basıncı
q	Birim boydan geçen akış miktarı
Q	Hacimsal debi
R	Stator merkezinden itibaren ölçülmüş radyal koordinat
r	Genel radyal koordinat
s	Lob adım yüksekliği
S	Şekil faktörü
α	Değişken lob açısı
β	Lobların numaralandırılmasıyla belirlenen lob açısı
δ	Boyutlu V-lob kalınlığı
μ	Akışkanın mutlak viskozitesi
ξ	Boyutsuz lob kalınlığı
σ	Boyutsuz adım yüksekliği
ω	Rotorun açısal hızı

1. GİRİŞ

Viskoz pompalarda; bir yarıdairesel lob dizaynı yardımıyla pompa mekanizmasına değişik ve yeni bir şekil vermek mümkündür. Bu prensip ışığı altında dizayn edilecek pompada; debi ve boşaltma basıncı darbesiz elde edilir, akış basıncı bağıntıları lineerleştirilir, çalışma şartlarına daha kolay adapte olunur ve pompa dinamik sızdırmazlık elemanları içermez.

2. LOBLU POMPALARIN ÇALIŞMA PRENSİPLERİ

Bir loblu pompada, rotor ve stator, sıvı prosesinden ayrılmış paralel dairesel diskler şeklinde yer almıştır. Özel dizayn edilmiş dairesel loblar Şekil-1'de gösterilmiştir. Uygun bir lob dizaynı, net bir pompalama etkisi elde etmeyi sağlar. Akışkan üzerindeki kesme gerilmesine neden olan akış (Couette Akışı) çevre boyunca rotor dönüş yönü ile ortak merkezli olan "akış hattı" yardımıyla ifade edilir. Bu akış; radyal genişlik ve oyuk yüksekliği ile orantılıdır. Oyuk yüksekliği farklı olduğundan dolayı (C ve c) daha fazla



Şekil-1 Bir yarıdairesel loblu pompanın statoru

akışkan pompa merkezinde 1 noktasından 2 noktasına doğru kesilmeye uğrar. Sonra 2'den 3 noktasına doğru çıkışına müsaade edilir. Pompa merkezindeki akışkan, stator merkezindeki delik içinden geçerek dışarı çıkabilir. Eğer delik içindeki akış bir valf yardımıyla kısıtlanırsa pompa merkezindeki basınç artar. Bu yüzden eğer bu basınç, rotor ve stator çevresindeki akışkanın basıncından büyük olursa o zaman basınç gradiyentinin sebep olduğu akış (Poiseuille Akışı) pompa merkezinden harekete başlar ve lobların üzerinden geçerek düşük basınç bölgesine doğru hareketine devam eder. Poiseuille akışı (kaçak kayıplar) minimum olurken içeriye doğru olan net Couette akışı maksimum olur ki; işte bu anda maksimum pompa verimi elde edilir. (Green, 1990)

Pompa içerisindeki akış bölgelerinin modellenmesi için Reynolds denklemi kullanılır. Bu denklemin, yarıdairese lob geometrisi için kapalı formda integrasyon kullanılarak elde edilen bir çözümü olmasına rağmen düz lobların daha karışık geometrileri için bazı kabüllerin yapılması gerekir. Yapılan bu kabüllerle, maksimum pompa verimini sağlayacak geometri için denklemler optimize edilecektir. Sonuç olarak düz ve yarıdairese lob dizaynı için optimize edilen sonuçlar kıyaslanacaktır.

3. ANALİZ

x doğrultusunda U hızıyla sınır hareket yapan ve izotermal, daimi ve sıkıştırılmaz bir akışkan filmi için Reynolds denklemi (1) ifadesi ile verildiği gibidir:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(h^3 \frac{\partial p}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(h^3 \frac{\partial p}{\partial y} \right) = 6\mu U \frac{\partial h}{\partial x} \quad (1)$$

Lineer bir denklem için net akış; Couette ve poiseuille akış bileşenlerinin üst üste konmasıyla hesaplanabilir. (Green, 1990)

4. YARIDAİRESEL LOB ANALİZİ

Yarıdairese bir loba ait belirleyici geometrik büyüklükler Şekil-2'de gösterilmiştir. Yarıdairese lobun sabit disk (stator) üzerinde yerleştirildiği yerin dış çapı R_o 'dır. Loblar, bir büyük oyuk (C) ve bir küçük oyuk (c) formu içerecek şekilde düz bir rotor ile kademelendirilmiştir. Bu ön bilgilerden sonra, birim uzunluk boyunca olan Couette akışı (2) denklemi ile ifade edilebilir. (Mainland, 1990)

$$q_s = \frac{wRh}{2} \left[R_i - \Delta r \leq R \leq R_o \right] \quad (2)$$

Aynı şekilde birim uzunluk boyunca olan Poiseuille akışı ise (3) denklemi ile verilebilir:

$$q_p = - \frac{h^3}{12\mu} \frac{\partial p}{\partial x} \left[r_i \leq r \leq r_o \right] \quad (3)$$

q_s 'in, radyal genişliğine bir ucundan diğer ucuna ve q_p 'nin de lobların çevresi boyunca integrale edilmesiyle elde edilen sonuçlar sırasıyla Q_s ve Q_p 'dir. Net akış; bu iki akış bileşeninin toplamı olarak yani; $Q = Q_s + Q_p$ şeklinde elde edilir.

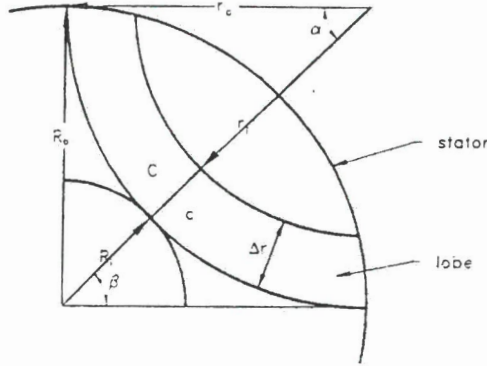
$$Q = \frac{n}{4} \omega s R_o^2 \left[1 - \left(\frac{R_i + \Delta r}{R_o} \right)^2 \right] + \frac{n}{12\mu} (C^3 + c^3) \frac{\alpha P}{\ln \left(1 - \frac{\Delta r}{r_o} \right)} \quad (4)$$

n ; yarıdairesel lobların lob sayısını göstermek üzere net akış için sonuç olarak elde edilen denklem aşağıda (4) ifadesiyle verildiği gibidir:

Burada α ; aşağıdaki gibi (5) ifadesi ile ve F_n de lob sayısının bir fonksiyonu olmak üzere (6) ifadesi ile tanımlanabilir.

$$\alpha = \frac{\pi}{2} - \beta = \frac{\pi}{2n} (n-2) \quad (5)$$

$$F_n = \frac{1 - \sin \beta}{\cos \beta} = \frac{R_i}{R_o} \quad (6)$$



Şekil-2 Yarıdairesel lob dizaynı için geometrik değişkenlerin belirlenmesi (Missimer,1982)

Boyutsuz lob genişliği; $\xi = \Delta r / R_o$ olarak alınırsa (4) ifadesi aşağıdaki gibi yeniden düzenlenebilir:

$$Q = \frac{\omega sn}{4} R_0^2 \left[1 - (F_n + \xi)^2 \right] + \left[\frac{\pi P (C^3 + c^3)}{24\mu} \frac{n-2}{\ln \left(1 - \frac{\xi}{\tan\beta} \right)} \right] \quad (7)$$

5. YARIDAİRESEL LOBLARIN OPTİMİZASYONU

Bu bölümde lobe dizaynını daha mükemmel hale getiren optimum lob geometrisini saptamak için maksimum akış hali optimize edilecektir. Yarıdairese lob dizaynı için gerekli değişkenler; lob sayısı n , boyutsuz lob genişliği ξ ve adım yüksekliği s' 'dir. Çalışma şartlarındaki parametre S' şöyle tanımlanır: (Mainland, 1990)

$$S' = \frac{\pi P}{12\mu\omega} \left(\frac{c}{R_0} \right)^2 \quad (8)$$

S' pompa dizayn kabulleri yardımıyla çoğu zaman açıkça belirtilen değişkenlerin hepsini kapsar. Akış denklemi ise (7) denklemi yardımıyla aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$Q = \frac{1}{2} \omega c R_0^2 Q' \quad (9)$$

Burada Q' boyutsuzlaştırılmış akış debisidir ve çalışma şartlarındaki S' parametresini de içerir ve (10) denklemi ile tanımlanabilir.

$$Q' = \frac{\sigma n}{2} \left[1 - (F_n + \xi)^2 \right] + S' \left[(\sigma + 1)^3 + 1 \right] \frac{(n-2)}{\ln \left(1 - \frac{\xi}{\tan\beta} \right)} \quad (10)$$

Bu denklem, verilen çalışma şartlarındaki S' parametresi için optimize edilir. Sonuç ise $\partial Q' / \partial \xi = 0$ 'dan gidilerek aşağıdaki gibi bulunur:

$$S' = \frac{n\sigma(F_n + \xi) \left[\ln \left(1 - \frac{\xi}{\tan\beta} \right) \right]^2 (\tan\beta - \xi)}{(n-2) \left[(\sigma+1)^3 + 1 \right]} \quad (11)$$

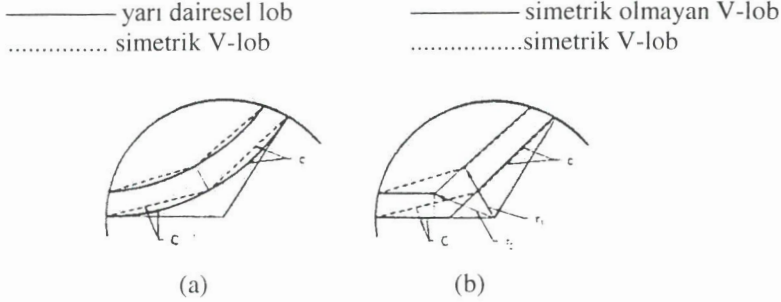
$\partial Q' / \partial \sigma = 0$ 'dan hareketle ise denklem şu hale girer:

$$S' = \frac{n \left[(F_n + \xi)^2 - 1 \right] \left[\ln \left(1 - \frac{\xi}{\tan \beta} \right) \right]}{6(n-2) \left[(\sigma + 1)^2 \right]} \quad (12)$$

Denklem (11) ve (12)'deki sonuçlar, eşzamanlı olarak verilen bir S' parametresinde açıkça belirtilen bir n lob sayısı durumunda en uygun ξ ve σ değerini elde etmek için çözülmüştür. Boyutsuz debi Q' ; ξ , σ ve n değerleri ile birlikte bir bilgisayar yardımıyla hesaplanmıştır. Q' için değerler, maksimum akışı sağlayan n değerini saptamak için, belli bir sıra halinde verilen n değerleri üzerinde kıyaslanmıştır. Lob sayısının tam sayı olması gerektiğinden, optimizasyon bu şekilde yapılmıştır.

6. DÜZ LOBLARIN ANALİZİ

Simetrik V şekilli düz bir lob şekil (3a)'da gösterilmiştir. Buradaki her iki lob dizaynı da aynı radyal genişliğe sahiptir. Simetrik V-lobları, akışkan üzerinde daha etkili bir uzunluğa sahip olduğu için V-lobların Poiseuille akışı; yarıdairese lobların Poiseuille akışından daha küçüktür. Diğer bir deyişle, her iki lob dizaynının iç akışlarının aynı olduğu zamanda bile düz lobların kayıpları daha azdır. Düz lobların önemli bir diğer üstünlüğü de; radyal genişliğin geometrik temasla sınırlı olmayışındır.



Şekil-3 Lob dizaynlarının grafiksel kıyaslanması

- Simetrik V-lobların yarıdairese loblara göre
- Simetrik olmayan V-lobların simetrik V-loblara göre

Bundan başka, düz loblarla ilgili kavramlar daha da geliştirilebilir. Şekil (3b)'de simetrik olmayan V-lobları ile simetrik V-lobları arasındaki ilişki gösterilmiştir. Eğer $r_1 = r_2$ ise her iki dizayn için de içeriye doğru olan net Poiseuille akışı aynıdır.

Akışı maksimum yapmak için iki düz loblu dizayn geometrisi optimize edilir. Dolayısıyla simetrik olmayan V-lobların daha üstün olduğu meydana çıktığı için, simetrik V-loblarla ilgili araştırma burada sunulmamıştır.

Simetrik olmayan V-lobları için düşünülen geometri için belirlenecek değişkenler; lob genişliği δ , adım yüksekliği $S = C-c$, α açısı ve lob sayısı n 'dir. Net akış için denklem, Couette ve Poiseuille akış bileşenlerinin üstüste konulmasıyla bulunur. Şekil-4'de verilen geometri için Couette akışı ise, birim uzunluktaki akışın integrasyonu ile bulunur. İntegrasyon R_s 'den R_o 'a kadardır ve sonuçlar aşağıda verildiği gibidir: (Sato,1988)

$$Q_s = \frac{\omega s}{4} (R_o^2 - R_s^2) \quad (13)$$

$$R_s^2 = \delta^2 + \left[\frac{R_o \sin \alpha}{\sin(\alpha + 2\beta)} + \frac{\delta}{\tan\left(\frac{\alpha + 2\beta}{2}\right)} \right]^2 \quad (14)$$

7. SİMETRİK OLMAYAN V-LOBLARIN OPTİMİZASYONU

Bu bölümde; V-loblarla ilgili araştırma, denklem (15)'nin α , ξ , σ ve n değişkenlerine göre optimize edilmesiyle yapılacaktır. Optimizasyon, yörüngeyi yüksekliği metodu kullanılarak yapılmıştır. Genel optimizasyon metodu, verilen herhangi bir çalışma şartındaki S parametresinde akışı maksimum yapan geometriyi bulmak için α , ξ , σ ve n değişkenlerini değiştirmekten ibarettir. Sonuçlar gösterir ki; n arttıkça Q artar ve en uygun n 'i bulmak zordur. Çok büyük bir lob sayısı teorik olarak mümkün iken, pompa merkezine doğru yönelmiş akış yeterli olduğundan bunun pratik olarak uygulanması mümkün değildir. Ayrıca α açısının sıfır değerinin en uygun açı değeri olduğu not edilmelidir. Verilen net bir Couette iç akışı için bu açı yani $\alpha = 0^0$ değeri maksimum lob kalınlığını sağlar ve bu yüzden Poiseuille kayıpları minimum olur. Ancak pompa merkezinden dışarıya doğru hareket etmekte olan akışkan için yeterli hacim bulunmadığından verilen α değerinin (sıfır) pratik bir değer olmadığı belirtilmelidir. Dolayısıyla uygulanması mümkün bir α değeri için geometri optimize edilmelidir. (Sato, 1988)

$$Q' = n \left\{ \frac{\sigma}{2} \left[1 - \xi^2 - \left(\frac{\sin \alpha}{\sin(\alpha + 2\beta)} + \frac{\xi}{\tan \psi} \right)^2 \right] \right. \\ \left. \frac{2S'}{\xi \pi} \left[(1 + \sigma)^3 \left(1 - \frac{\xi}{\tan \psi} - \frac{\sin \alpha}{\sin(\alpha + 2\beta)} \right) + \frac{\sin(2\beta)}{\sin(\alpha + 2\beta)} \right] \right\} \quad (15)$$

8. ŞEKİL FAKTÖRÜ KULLANILARAK V-LOBLARIN ANALİZİNİN GERÇEKLENMESİ

Uygulanabilir kapalı formulu bir çözümü veya tam bir sayısal çözümü olmayan kompleks geometrilerdeki akış için analitik yaklaşımları sağlamak üzere şekil faktörü kullanılır. Analitik ifadeler, performansın önceden tahmini, ön dizayn ve optimizasyon için kullanılabilir. Burada, simetrik olmayan V-lobları üzerindeki Poiseuille akışının hesabı için önceden derivasyonu yapılan L_1 ve L_2 boylarının uygunluğunun kontrolü yapılacaktır. Bu kontrolün ilk adımı olarak $U = 0$ için Reynolds denklemi aşağıdaki hale indirgenir: (Hasinger, 1963)

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(h^3 \frac{\partial P}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(h^3 \frac{\partial P}{\partial y} \right) = 0 \quad (16)$$

Şekil-4'de görüldüğü gibi h yüksekliği, kısa olan oyuk üzerinde ve uzun olan oyuk üzerinde değişkenlik gösterir. h yüksekliği her bir oyuk üzerinde sabit olduğundan dolayı denklem (18); $\nabla^2 p = 0$ olacak şekilde Laplace denklemine indirgenir. Düşünülen geometri için basınç ayarlaması, Dirichlet sınır şartlarında Laplace denklemi yardımıyla yapılır. Burada Poiseuille akış probleminin ısı akış problemine benzediği görülür. Yani Potansiyel; basınca ve ısı iletkenlik de $h^3/12\mu$ 'ye tekabül eder. Sadece geometri yardımıyla saptanan şekil faktörü, aynen ısı transferi problemlerine benzer. Üst sınır; eşsıcaklığa benzer eşbasınç kabülü yapılarak bulunur. Alt sınır ise akış hattı sanki adyabatikmiş gibi kabul edilerek bulunur

Simetrik olmayan V-loblarının akış denklemi, pompa performansının önceden tahminine imkan sağlar. Denklemlerden çıkarılan sonuçlar, sınırlar yardımıyla önceden tahmin edilen sınırların biraz dışında olmasına rağmen değişimler ihmal edilebilir.

SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Yukarıda, yarıdairese ve V-loblu viskoz pompaların her ikisi de analitik olarak incelenmiş ve analiz, bir kaç değişik yaklaşımla yapılmıştır. Yarıdairese lob için çözüm kesindir. (Kapalı olarak birleştirme formuna dayanmaktadır.) Ne var ki; V-loblar için, kapalı form çözüm olamamaktadır. Makul yaklaşımlarla analitik bir model üretilir. Bu yaklaşımlar; şekil faktörleri ve sonlu elemanlar modelleri kullanılarak geçerli kılınabilir. Her iki tür lob dizaynı için de maksimum pompalama kapasitesini sağlamak, pompa geometrisini optimize etmekle mümkündür. Optimizasyon sonuçları; yarıdairese loba göre V-tipi lobun çok daha iyi pompalama kapasitesi sağladığını göstermektedir.

V-loblar; yarıdairese loblara göre iki ana avantaja sahiptir. Bunlardan birincisi; lobların eğri olmasının tersine, basit ve düz yapılmasının pompa kayıplarını azaltmasıdır. İkincisi ve en önemli olanı; V-loblarının radyal genişliğinin ve lob sayısının geometrik zorlamalarla sınırlandırılmasıdır. (Yarıdairese lobların teğetsel olması gereği gibi) Düz loblar için ise; lob sayısı ve radyal genişlikle pompalama kapasitesi artar.

İki stator arasına bir rotor yerleştirilerek pompa kapasitesinin artması sağlanır. Bu durum iki pompanın paralel bağlanmasına denktir. Lob oyuklarının uzunluğu boyunca adım yüksekliği ve lob genişliğinin çeşitli olması gibi lob oyuklarına çeşitli konfigürasyonlar yaparak fazladan iyileştirmeler oluşturmak mümkündür. Bu optimizasyon; Q nun yani debinin maksimuma getirilmesiyle basitçe halledilebilir. Basıncı maksimuma arttırarak başka bir alternatif optimizasyon oluşturulabilir.

YARARLANILAN KAYNAKLAR

- Green, I., 1990, **Experimental Investigation of a New Concept Viscous Pump**, ASME Journal of Tribology
- Hasinger, S., Kehrt, L., 1963, **Investigation of a Shear-Force Pump**, ASME Journal of Lubrication Technology
- Mainland, M., 1990, **Analytical and Experimental Investigation of an Efficient Viscous Pump**, M.S. thesis, Georgia Institute of Technology, Atlanta
- Missimer, J. R., 1982, **Flow Between a Smooth Stationary Disk and Grooved Rotating Disk**, ASME Journal of Lubrication
- Sato, Y., Ono, K., 1988, **Analysis of Viscous Pumps With Shrouded Rayleigh Steps Using Compressible Fluid**, ASME Journal of Tribology

