

Pompalarda Eksenel ve Radyal İtmenin Analizi

Fatih Kaya

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Temmuz 2011

Analysis of Axial and Radial Thrust in Pumps

Fatih Kaya

MASTER OF SCIENCE THESIS

Department of Mechanical Engineering

July 2011

Pompalarda Eksenel ve Radyal İtmenin Analizi

Fatih Kaya

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
Enerji-Termodinamik Bilim Dalında
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır

Danışman: Yard. Doç. Dr. İrfan Üreyen

Temmuz 2011

ONAY

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans öğrencisi Fatih Kaya'nın YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı "Pompalarda Eksenel ve Radyal İtmenin Analizi" başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

Danışman : Yrd. Doç. Dr. İrfan Üreyen

İkinci Danışman : -

Yüksek Lisans Tez Savunma Jürisi:

Üye : Yrd. Doç.Dr. İrfan Üreyen

Üye : Prof.Dr.Kemal Taner

Üye : Doç.Dr.Necati Mahir

Üye : Yrd.Doç.Dr.Sezan Orak

Üye : Yrd.Doç.Dr.Mesut Tekkalmaz

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun tarih ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Nimetullah BURNAK

Enstitü Müdürü

ÖZET

Bu çalışmada, pompalar hakkında genel bilgi verilmiş ve pompaların sınıflandırılması ele alınmıştır. Pompalarda aksel ve radyal itmelerin oluşumu teorik olarak incelenmiştir. Bu itmelerin dengelenmesi için kullanılan yöntemler araştırılarak sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Pompalar, aksel itme, radyal itme

SUMMARY

In this study, general information about pumps was given and classification of pumps was dealt. Formation of axial and radial thrust in the pumps was theoretically investigated. Method used for balancing of this thrusts were researched and presented.

Key words: Pumps, axial thrust, radial thrust

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam boyunca beni yönlendiren ve her türlü olanağı sağlayan danışmanım Yard. Doç. Dr. İrfan Üreyen'e, desteğini esirgemeyen sevgili eşim Şefika Kaya'ya teşekkür ederim.

Fatih Kaya

İÇİNDEKİLER

| | <u>Sayfa</u> |
|---|--------------|
| ÖZET | v |
| SUMMARY | vi |
| TEŞEKKÜR | vii |
| ŞEKİLLER DİZİNİ | xi |
| ÇİZELGELER DİZİNİ | xiv |
| SİMGELER ve KISALTMALAR | xv |
| | |
| 1.GİRİŞ | 1 |
| 2.POMPA | 2 |
| 2.1. Pompa Teknolojisinin Tarihçesi..... | 3 |
| 3.POMPALARIN SINIFLANDIRILMASI | 6 |
| 3.1. Rotodinamik Pompalar..... | 7 |
| 3.1.1.Santrifüj pompa..... | 7 |
| 3.1.2.Özel pompalar..... | 9 |
| 3.1.2.1.Jet ve ejektörlü pompalar..... | 9 |
| 3.2. Pozitif Yer Değiştirmeli Pompalar..... | 10 |
| 3.2.1. Doğrusal hareketli pompalar..... | 10 |
| 3.2.1.1. Pistonlu pompalar..... | 10 |
| 3.2.1.2. Diyaframlı pompalar..... | 11 |

İÇİNDEKİLER (devam)

| | <u>Sayfa</u> |
|--|---------------------|
| 3.2.2. Rotatif pompalar..... | 12 |
| 3.2.2.1. Tek rotorlu pompalar..... | 12 |
| 3.2.2.2. Çok rotorlu pompalar..... | 14 |
| 4.EKSENEL İTME..... | 16 |
| 4.1.Eksenel İtmenin Tanımı..... | 16 |
| 4.1.1.Statik eksenel itme..... | 16 |
| 4.1.2.Dinamik kararlı hal eksenel itme..... | 16 |
| 4.1.3.Dinamik devirli eksenel itme..... | 16 |
| 4.1.4.Dinamik geçici eksenel itme..... | 16 |
| 4.2.Tek Kademeli Pompalarda Eksenel İtme ve Dengelenmesi..... | 17 |
| 4.2.1.Tek kademeli pompalarda delikler ile eksenel itmenin dengelenmesi | 24 |
| 4.2.2.Tek kademeli pompalarda borular ile eksenel itmenin dengelenmesi | 26 |
| 4.2.3.Tek kademeli pompalarda çubuklar ile eksenel itmenin dengelenmesi..... | 27 |
| 4.2.4.Tek kademeli pompalarda sızdırmazlık bileziği ile eksenel itmenin dengelenmesi..... | 29 |
| 4.2.5. Tek kademeli pompalarda kanatlar ile eksenel itmenin dengelenmesi..... | 30 |
| 4.3.Çok Kademeli Pompalarda Eksenel İtme ve Dengelenmesi..... | 31 |
| 4.3.1.Çok kademeli pompalarda hidrolik dengeleme düzenleri ile eksenel itmenin dengelenmesi..... | 33 |

İÇİNDEKİLER (devam)

| | <u>Sayfa</u> |
|---|--------------|
| 5.RADYAL İTME..... | 40 |
| 5.1.Radyal itmeyi etkileyen pompa özellikleri..... | 44 |
| 5.1.1.Difüzörler..... | 44 |
| 5.1.2.Salyangozlu pompalar..... | 44 |
| 5.1.3. Türbin pompalar..... | 46 |
| 5.2.Radyal İtmenin Hesaplanması..... | 47 |
| 5.3. Radyal İtmenin Dengelenmesi | 47 |
| 6. EKSENEL İTMENİN BAZI PARAMETRELERE (H_m, Q, r_2, r_a) GÖRE HESAPLANMASI VE İNCELENMESİ..... | 49 |
| 6.1.Basma Yüksekliğinin (H_m) Eksenel İtme Üzerine Etkisi..... | 49 |
| 6.2.Debinin (Q) Eksenel İtme Üzerine Etkisi..... | 50 |
| 6.3.Çark Basma Kenarı Yarıçapının (r_2) Eksenel İtme Üzerine Etkisi..... | 51 |
| 6.4.Çark Emme Kenarı Yarıçapının (r_a) Eksenel İtme Üzerine Etkisi..... | 52 |
| 6.5.Mil Yarıçapının (r_s) Eksenel İtme Üzerine Etkisi..... | 53 |
| 7.SONUÇ..... | 55 |
| 8.KAYNAKLAR DİZİNİ..... | 56 |

ŞEKİLLER DİZİNİ

| <u>Sekil</u> | <u>Sayfa</u> |
|--|--------------|
| 2.1 Çin su değirmeni..... | 3 |
| 2.2 Jacob Leupold' un su değirmeni..... | 4 |
| 3.1 Santrifüj pompalar..... | 7 |
| 3.2 Santrifüj pompa kısımları..... | 8 |
| 3.3 Santrifüj pompa çeşitleri..... | 8 |
| 3.4 Ejektörlü pompa..... | 9 |
| 3.5 Bir lokomotif kazanının buhar enjektörü..... | 9 |
| 3.6 Pistonlu pompalar..... | 11 |
| 3.7 Diyaframli pompalar..... | 12 |
| 3.8 Tek vidalı ve iki vidalı pompalar..... | 13 |
| 3.9 Üç vidalı pompa..... | 13 |
| 3.10 Esnek borulu pompa..... | 13 |
| 3.11 Dişli pompalar..... | 14 |
| 3.12 Loblu pompa..... | 15 |
| 3.13 Çevresel pistonlu pompa..... | 15 |
| 4.1 Çift girişli (a) ve tek girişli (b) çarklarda basınç dağılımı..... | 17 |
| 4.2 Eksenel itmeyi oluşturan kuvvetler | 18 |
| 4.3 Tek salmastra kutulu, uçtan bağlanmış tek girişli çarkta eksenel itme.... | 23 |
| 4.4 İki adet tek kademeli santrifüj pompa dönel çarkında açılan dengeleme delikleri..... | 25 |
| 4.5 I ve II boşlukları içindeki basıncı dengelemek için dengeleme deliği..... | 26 |
| 4.6 I ve II boşlukları içindeki basıncı dengelemek için by-pass boru..... | 27 |

ŞEKİLLER DİZİNİ(devam)

| <u>Sekil</u> | <u>Sayfa</u> |
|---|--------------|
| 4.7 R _b radyal çubuklar aracılığıyla santrifüj pompada aksenal itmenin dengelenmesi..... | 28 |
| 4.8 R _b radyal çubuklar aracılığıyla çapraz akışlı pompalarda aksenal itmenin dengelenmesi..... | 28 |
| 4.9 Tek kademeli tek girişli çarkta sızdırmazlık bilezikleri ve dengeleme delikleri ile aksenal itmenin dengelenmesi..... | 29 |
| 4.10 Tek girişli çarkta eğimli kanatlar kullanılarak aksenal itmenin dengelenmesi..... | 30 |
| 4.11 Sırt kanatları uygulaması ile aksenal itmenin dengelenmesi..... | 31 |
| 4.12 Çift girişli pompada aksenal itmenin kendiliğinden dengelenmesi..... | 32 |
| 4.13 Kademeli pompalarda dönel çarkların çeşitli biçimlerde yerleştirilmesi ile sağlanan aksenal itme..... | 33 |
| 4.14 Dengeleme silindiri..... | 34 |
| 4.15 Dengeleme diski..... | 36 |
| 4.16 Dengeleme diski..... | 37 |
| 4.17 Dengeleme diski ve dengeleme silindirinin kombinasyonu..... | 38 |
| 4.18 Dengeleme diski ve dengeleme silindirinin kombinasyonu..... | 39 |
| 5.1 En iyi verimlilik noktasındaki akış hızında çalışan tek salyangozlu pompada radyal itme..... | 41 |
| 5.2 En iyi verimlilik noktasından daha yüksek akış hızında çalışan tek salyangozlu pompada radyal itme..... | 42 |
| 5.3 En iyi verimlilik noktasından daha düşük akış hızında çalışan tek salyangozlu pompada radyal itme..... | 43 |
| 5.4 Difüzör / Çark tasarımı..... | 44 |
| 5.5 Tek salyangozlu pompalarda radyal itme..... | 45 |

ŞEKİLLER DİZİNİ(devam)

| <u>Sekil</u> | | <u>Sayfa</u> |
|---------------------|--|---------------------|
| 5.6 | Çift salyangozlu pompalarda radyal itme..... | 45 |
| 6.1 | $H_m - F_{eks}$ ilişkisi..... | 49 |
| 6.2 | $Q - F_{eks}$ ilişkisi..... | 50 |
| 6.3 | $r_2 - F_{eks}$ ilişkisi..... | 51 |
| 6.4 | $r_a - F_{eks}$ ilişkisi..... | 52 |
| 6.5 | $r_s - F_{eks}$ ilişkisi..... | 53 |

ÇİZELGELER DİZİNİ

| <u>Çizelge</u> | <u>Sayfa</u> |
|---|---------------------|
| 4.1 Basma yüksekliğinin $F_{eksenel}$ ' e etkisi | 21 |
| 4.2 Debinin $F_{eksenel}$ ' e etkisi..... | 22 |
| 6.1 Eksenel itmenin (F_{eks}) basma yükseliği (H_m) ile ilişkisi..... | 49 |
| 6.2 Eksenel itmenin (F_{eks}) debi (Q) ile ilişkisi..... | 50 |
| 6.3 Eksenel itmenin (F_{eks}) çark basma kenarı yarıçapının (r_2) ile ilişkisi... | 51 |
| 6.4 Eksenel itmenin (F_{eks}) çark emme kenarı yarıçapının (r_a) ile ilişkisi... | 52 |
| 6.5 Eksenel itmenin (F_{eks}) mil yarıçapı (r_s) ile ilişkisi..... | 53 |

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

| <u>Simge</u> | <u>Açıklama</u> |
|---------------------|--|
| b_2 | Çarkın çıkış genişliği, m |
| d_2 | Çarkın çapı, m |
| F_{eks} | Eksenel kuvvet, N |
| F_I | Çarkın arka yüzüne etkiyen kuvvet, N |
| F_{II} | Çarkın ön yüzüne etkiyen kuvvet, N |
| F_{III} | Çarkın girişinde v akışkan hızının yönü ve şiddeti değiştiğinde oluşan momentum kuvveti, N |
| F_r | Radyal kuvvet, N |
| H_m | Basma yüksekliği, m |
| K_r | İtme faktörü |
| P | Basınç, N/m ² |
| P_0 | Çarkın girişindeki basınç, N/m ² |
| P_3 | Çarkın çıkışındaki basınç, N/m ² |
| Q | Akışkan debisi, m ³ /s |
| r_2 | Çarkın basma kenarı yarıçapı, m |
| r_a | Çarkın emme kenarı yarıçapı, m |
| r_s | Mil yarıçapı, m |
| v | Çark girişindeki akışkanın hızı, m/s |
| w | Çarkın açısal hızı, 1/s |
| w_{aI} | I yan hacmini işgal eden akışkanın açısal hızı, 1/s |
| w_{aII} | II yan hacmini işgal eden akışkanın açısal hızı, 1/s |
| Y_a | Özgül basma yüksekliği, m ² /s ² |
| ρ | Akışkan yoğunluğu, kg/m ³ |

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

| <u>Kısaltma</u> | <u>Açıklama</u> |
|------------------------|------------------------|
| kg | Kilogram |
| m | Metre |
| M.Ö. | Milattan önce |
| N | Newton |
| s | Saniye |
| sa | saat |
| vb. | Ve benzerleri |
| vd. | Ve diğerleri |

1.GİRİŞ

Akışkana kinetik veya potansiyel enerji kazandırarak bir yerden başka bir yere transfer veya sevk eden mekanik sistemlere pompa denir.

Pompalar, güç kaynağından aldıkları mekanik enerjiyi ilgili sıvıya veren makinelerdir. Pompalar Diesel, Otto, elektrik ya da başka bir güç kaynağından aldıkları mekanik enerjiyi, sıvının bir yerden başka bir yere iletilmesi amacıyla, değişik yöntemlerle sıvıya iletirler.

Tüm pompalar artan hacim ve azalan hacim prensibine göre çalışır. Artan hacimde emme, azalan hacimde basma olayı gerçekleşir. Pompa mili aldığı dönme hareketi sonucu artan hacim kısmında vakum oluşur. Oluşan bu vakum sonucu emme işlemi gerçekleşir (<http://www.bilgiustam.com>).

Pompalar günümüzde kendilerine oldukça geniş bir kullanım alanı bulmuşlardır. Su temininde, yangın söndürmede, tarımsal sulamada, yağmurlamada, klima tesislerinde, soğutma ve ısıtma tesislerinde, endüstride, özellikle kimya sanayide, gıda ve içecek sanayisinde, ham maddelerin iletilmesinde, tesislerin ve konutların su ihtiyacının karşılanmasında ve birçok alanlarda pompalardan yararlanılmaktadır (Marti, 2006).

2.POMPA

Pompa akışkanları bir yerden bir yere iletmeye, daha yükseğe çıkarmaya ve gazları sıkıştırıp kapalı kapların içindeki gazları boşaltmaya yararlar. (<http://www.superbilgiler.com>).

Pompalar, enerjinin akışkana uygulanış biçimine göre sınıflandırılırsa;

1. Pozitif (Hacimsel-Volumetrik) yer değiştirme: Bir akışkanın yeri mekanik olarak ya da bir başka akışkanın aracılığıyla değiştirilebilir.

2. Kinetik enerji eklenmesi: Akışkana kinetik enerji, akışkanı hızla döndürerek ya da akış yönünde bir itme vererek eklenebilir.

3. Elektromagnetik kuvvet: Elektromagnetik kuvvet kullanabilmek için, pompalanan akışkanın iyi bir elektrik iletkeni olması gerekir.

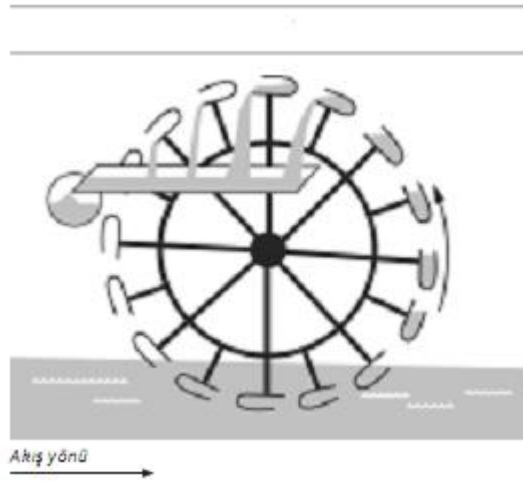
Gazların taşınması ya da basınçlarının arttırılmasında kullanılan pompalara sıkıştırıcı (kompresör), üfleç ya da fan denir. Yer değişiminin mekanik yolla gerçekleştirildiği pompalara pozitif yer değiştirmeli ya da hacimsel (volumetrik) pompalar denir. Hızla dönen bir pervanenin yardımıyla akışkana kinetik enerji yükleyen pompalara da rotodinamik pompa denir.

Genel olarak söylenecek olursa, pozitif yer değiştirmeli pompalar görece az miktardaki akışkanı yüksek basınçla hareketlendirir, rotodinamik pompalar ise daha büyük miktardaki akışkanı daha düşük basınçla iter. (<http://www.slidefinder.net/p/pompalar>)

Her pompanın kendine özgü karakteristik eğrisi vardır. Bu eğri onun hangi çalışma noktasında en yüksek verimi alacağımızı gösterir. Pompanın karakteristik eğrisinde yer alan en önemli iki unsur vardır; verim eğrisi ve basma yüksekliği eğrisi (Erek, 2007).

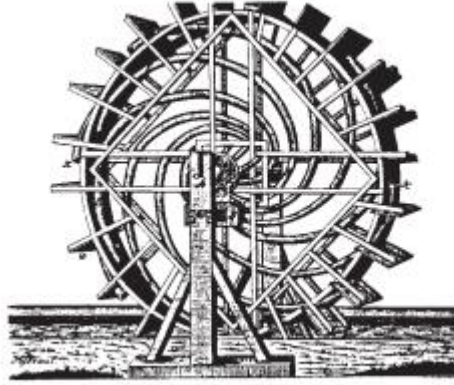
2.1. Pompa Teknolojisinin Tarihçesi

Pompaların geçmişini düşündüğümüzde, özellikle ilk zamanlarda insanların akışkanları öncelikle de suyu daha yüksek seviyelere taşımak için kullandıkları teknikleri hatırlamak gerekmektedir. Bu tekniklerle yerleşim yerlerini ve kalelerin etrafındaki kanalları doldurmuşlar ve tarım alanlarını sulamışlardır. Su taşımak için kullanılan ilk araç insan eli olmuş iki elin bir elden daha çok iş yaptığı anlaşılmıştır. İlk çağlarda önce toprak kaplardan kovalar yapılmış ve bu da su değirmeninin keşfine doğru ilk adımlar olmuştur. Atalarımız, birden fazla kovayı bir zincire veya tekerleğe asıp, insan veya hayvanların enerjilerinden faydalanarak bu su değirmenine hareket verip suyu taşımışlardır. M.Ö. 1000 yıllarında yapılan arkeolojik kazılarda hem Çin’de hem de Mısır’da bu çeşit kovalı konveyörlere rastlanmıştır. Aşağıdaki resim bir Çin su değirmeninin rekonstrüksiyonudur. Bu düzenekte toprak kovaların asıldığı bir tekerlek, en üst noktaya geldiğinde suyu bir kanala aktarmaktadır.



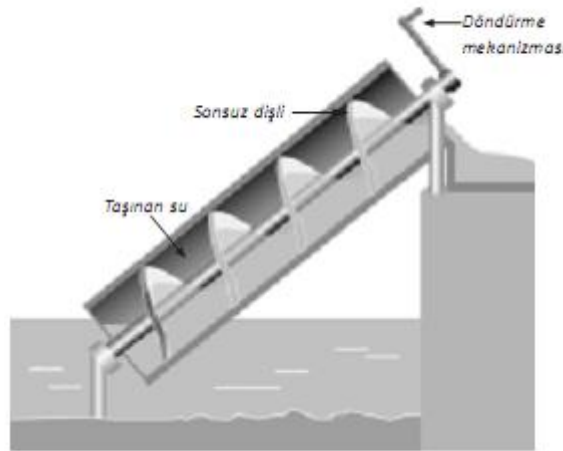
Şekil 2.1.Çin su değirmeni

Bu düzenekteki en ustaca geliştirme 1724’de Jacob Leupold (1674-1727) tarafından tekerleğe dirsekli borular takılarak tasarlanmıştır. Tekerleği döndürerek su, en üst noktaya kadar taşınmaktadır. Nehirdeki su akışı güç sağlayıcı olarak kullanılmıştır. Bu tasarımın en dikkat çekici özelliği dirsekli boruların şeklinin günümüz santrifüj pompalarının tasarımlarına olan olağanüstü benzerliğidir.



Şekil 2.2.Jacob Leupold' un su değirmeni

Eski çağların büyük matematikçisi ve bilim adamı Arşimet (M.Ö. 287-212) kendi adı verilen ve borunun içinde bulunan sonsuz dişlinin dönerek suyu kaldırması prensibiyle çalışan bir vida tasarlamıştır. O zamanlar sızdırmazlık elemanları bilinmediğinden, transfer edilmesi istenen suyun bir kısmının geri kaçması önlenememiştir. Arşimet'in bu tasarımında, debiyle vidanın eğimi arasında bir ilişki vardır. Suyun daha yükseğe mi yoksa daha çok miktarda mı taşınması arasında seçim yapılabilmektedir. Vidanın eğimi dikleştikçe debi azalmakta, basma yüksekliği artmaktadır (<http://tr.wikipedia.org/wiki/Pompa>).



Şekil 2.3.Arşimet vidası

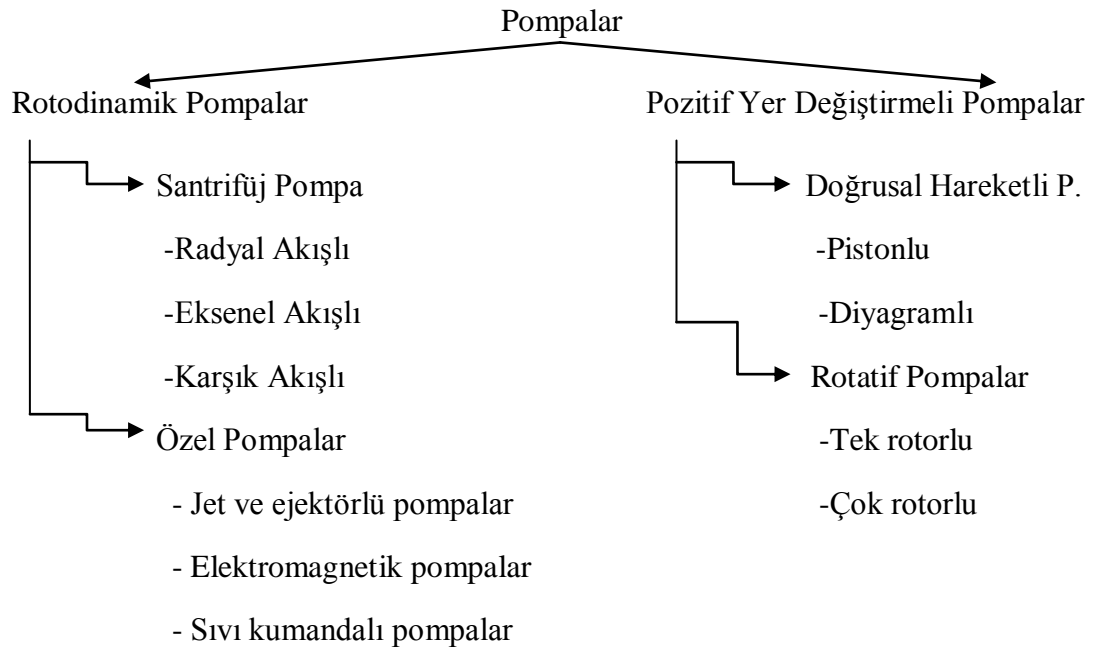
Bu çalışma şekli, günümüzün santrifüj pompalarının tasarımına dikkat çekici bir benzerlik göstermektedir. Debi-basma yüksekliği arasında aynı benzeşimler bulunmaktadır. Çeşitli tarihi kaynaklardan elde edilen bilgiler, Arşimet vidasının 37° ve 45° eğimlerde çalıştığını ve 10 m³/sa debi, 2 - 6 m basma yüksekliği değerlerine kadar hidrolik kapasitelere ulaşabildiğini göstermektedir (www.wilo.com.tr).

3.POMPALARIN SINIFLANDIRILMASI

Pompaların sınıflandırılmasında çok değişik faktörler göz önüne alınabilir. Örneğin; pompaların kullanım yerleri (su çıkartmada kullanılan pompalar, endüstride kullanılan pompalar vb.), pompaların yapıldıkları malzeme (dökme demir, döküm çelik, bronz, paslanmaz çelik, bazı özel cam ya da porselen pompalar vb.), pompaların ilettikleri sıvılar (su pompaları, kağıt hamuru pompaları, çöp ve atık su pompaları, çamur pompaları, kimyasal madde pompaları vb.) gibi faktörler pompaların sınıflandırılmasında kullanılmaktadır.

Geniş bir uygulama alanına sahip pompalar imalat şekilleri ve çalışma prensiplerine göre genel olarak pozitif yer değiştirmeli (hacimsel-volumetrik) ve rotodinamik pompalar olarak ayrılırlar.

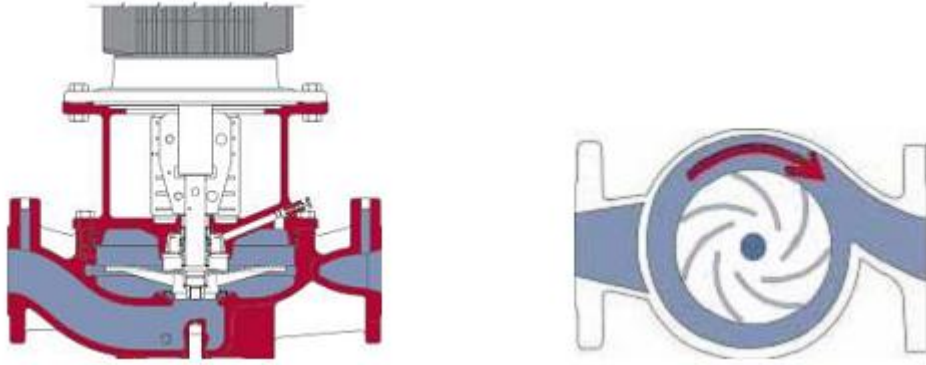
Pozitif yer değiştirmeli pompalarda akışkana verilen enerji kesiklidir ve dolayısıyla akışkanın iletimi kesikli olur. Rotodinamik pompalar ise akışkana sürekli enerji verir ve önce akışkanın hızı sonra basıncı yükselir (Keskin ve Güner, 2007).



3.1. Rotodinamik Pompalar

3.1.1.Santrifüj pompa

Santrifüj pompa bir eksen üzerinde dönmesiyle içinde akışın ve basıncın dinamik olarak oluştuğu makinedir. Santrifüj pompalar sulamada, yangın söndürmede, endüstride, su şebeke sistemlerinde ve daha birçok alanda kullanılmaktadır (Çallı, 1991).



Şekil 3.1.Santrifüj pompalar (www.arpon.com.tr)

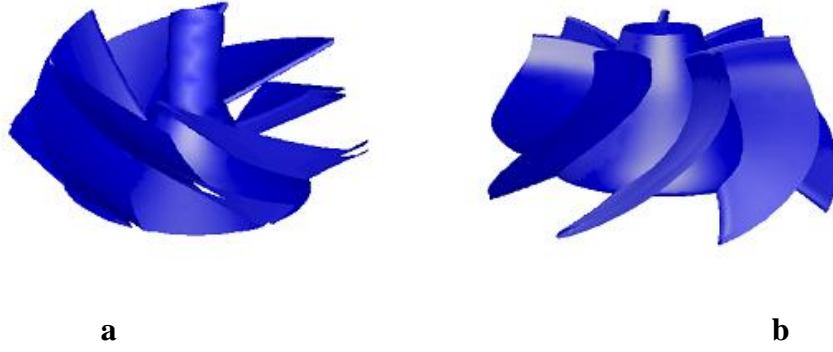
Genel olarak bir santrifüj pompa iki ana kısımdan oluşur.

1. Çark (impeller)
2. Yayıcı (diffuser)

Giriş ağzından aksenel doğrultuda giren akışkan çarkın kanatları tarafından kavranarak, teğetsel ve radyal doğrultuda çarkı tüm çevresi boyunca terk edene kadar döndürülür ve gövdenin yayıcı bölümünün içine girer. Akışkan çarkın içinden geçerken hızı ve basıncı artar. Gövdenin bir bölümü olan yayıcı ya da salyangoz, akışın hızını yavaşlatır ve basıncını arttırır.

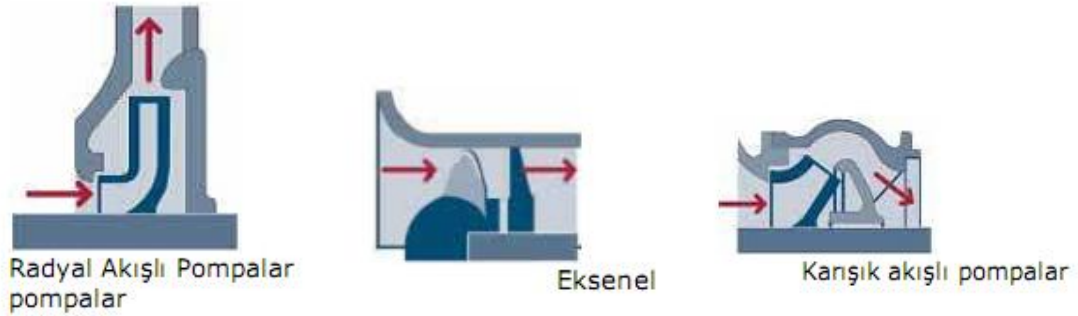
Çarkın kanatları, genellikle geriye dönüktür fakat radyal ve ileriye dönük kanat tasarımları da vardır ve bunlar çıkış basıncını az değiştirir. Kanatlar açık olabilir yani gövdenin ön bölümünden küçük bir boşluk ile ayrılırlar; ya da kapalı olabilir yani her

iki taraftan çarkın yanakları ile sınırlandırılmıştır. Yayıcı, kanatsız ya da yönlendirici sabit kanatlar ile donatılmış olabilir.



Şekil 3.2. Santrifüj pompa kısımları: a) Çark, b) Yayıcı (Erek, 2007)

Santrifüj pompalar akışkanın pompa içinde akış şekline göre sınıflandırılırlar.



Şekil 3.3. Santrifüj pompa çeşitleri (www.arpon.com.tr)

Radyal akışlı pompalar; sıvı çarkın merkezinden girer ve pompa miline dik doğrultuda çarkın kanatları boyunca yönlendirilir.

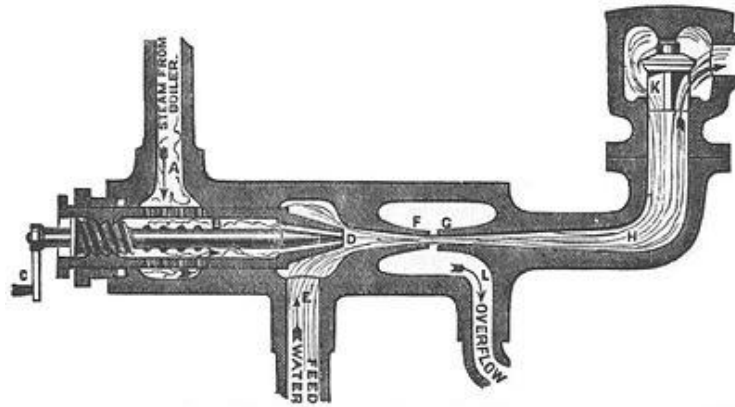
Eksenel akışlı pompalar; çark sıvıyı pompa mili doğrultusunda iter. Eksenel akışlı pompalar pervane pompalar olarak da isimlendirilir.

Karışık akışlı pompalar; hem radyal hem de eksenel akışlı pompaların karakteristiklerini gösterirler (www.gidb.itu.edu.tr).

3.1.2.Özel pompalar

3.1.2.1.Jet ve ejektörlü pompalar

Ejektörlü pompa, bir enjektör veya fişkırtıcı kısılıp genişleyen bir memenin ventüri etkisini kullanarak, hareketli akışkanın basınç enerjisini; bir düşük basınç alanı yaratıp, hız enerjisine çevirerek; hareketli akışkanı çekip, emme akışkanının buna karışmasını sağlar ve hemen ardından bu karışmış akışkanları, hız enerjisini tekrar basınç enerjisine dönüştürerek, yeniden sıkıştıran pompa benzeri bir alettir. Hareketli akışkan gaz veya sıvı olabilir. Emme akışkanı bir gaz, bir sıvı, bir bulamaç, toz yüklü bir gaz akışı olabilir.



Şekil 3.4. Ejektörlü pompa (A- Buhar kazanından gelen buhar, B- İğne valf, C- İğne valf tutacağı, D- Buhar ve su karışımı, E- Su beslemesi, F- Birleştirme konisi, G- Dağıtma memesi ve konisi, H- Dağıtma odası ve borusu, K- Çek valf)



Şekil 3.5. Bir lokomotif kazanının buhar enjektörü

3.2. Pozitif Yer Değiştirmeli Pompalar

Sıvının kapalı hacimlere hapsedilip düşük basınçlı bölgeden yüksek basınçlı bölgeye taşınarak basıldığı pompalardır.

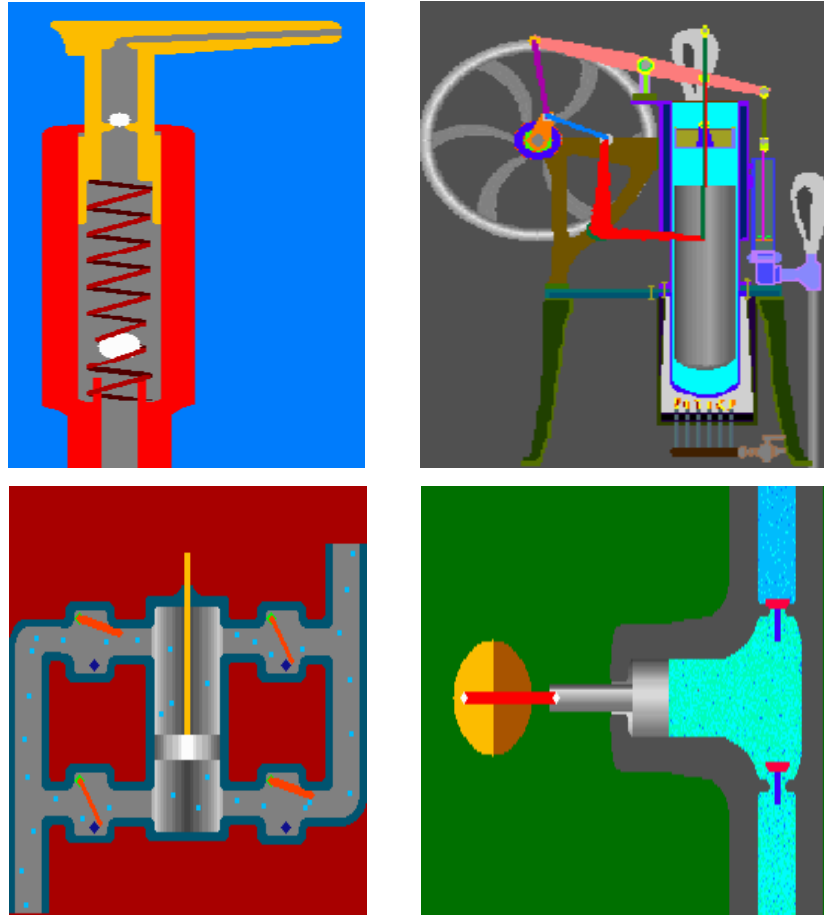
Dönel tipte pozitif yer değiştirmeli pompalar, pompanın emme tarafında sıvıyı hapsederek değarj tarafına iletirler. Bu tip pompaların emme hattından sıvıyı çıkarma yeteneği olduğundan yüksek emme lifti oluşturabilirler. Deęarj tarafından emme tarafına kaçışları önlemek için dönen ve hareketsiz kısımlar arasındaki boşluklar en aza indirilmelidir (www.gidb.itu.edu.tr).

3.2.1. Doğrusal hareketli pompalar

3.2.1.1. Pistonlu pompalar

Pistonlu pompaların etki şekli, akışkanın pompa silindirinde piston tarafından ileri doğru itilmesi şeklinde olur. Bu bakımdan pistonlu pompalar akışkanın basınçlandırılması veya kaldırılması şeklinde çalışmaktadırlar.

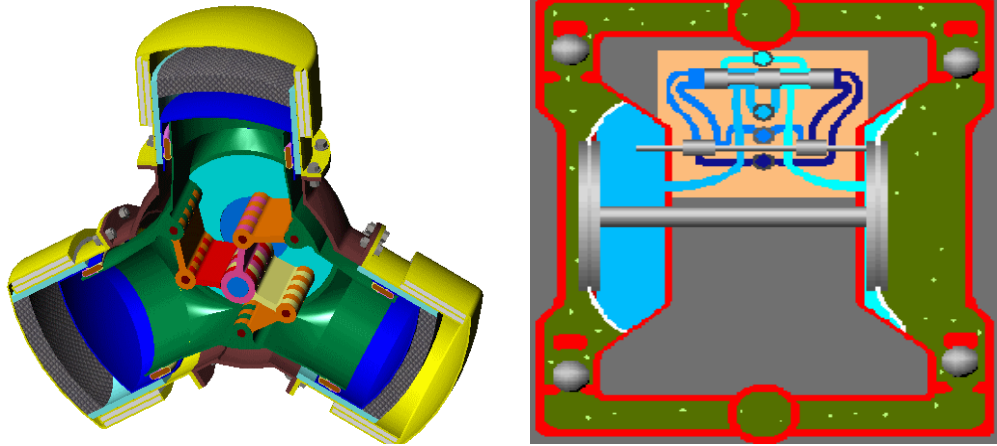
Pistonlu pompalarda emme ve basmada kuvvet dağılımı çok değişkendir. Bu elverişsiz durumun önüne geçmek, kuvvetlerin daha iyi dağılımını temin etmek ve eşit hacim akımı temin etmek için iki, üç ve daha fazla piston yan yana konularak kranka gelen kuvvetler dengelenir, homojen bir dağılım sağlanmaya çalışılır. Bu şekilde çok silindirli pompalar, özellikle yüksek basınçlı pompalarda kullanılmaktadır (<http://www.bilgiustam.com>).



Şekil 3.6. Pistonlu pompalar (<http://www.slidefinder.net/p/pompalar>)

3.2.1.2. Diyaframlı pompalar

Havayla çalışan diyaframlı pompalar (kısaca "havalı pompalar") endüstrinin birçok alanında değişik amaçlarla kullanılmaktadır. Pompa ölçüsüne uygun kapasitedeki bir kompresöre bağlanarak çalıştırılır.



3.7. Diyaframalı pompalar (<http://www.slidefinder.net/p/pompalar>)

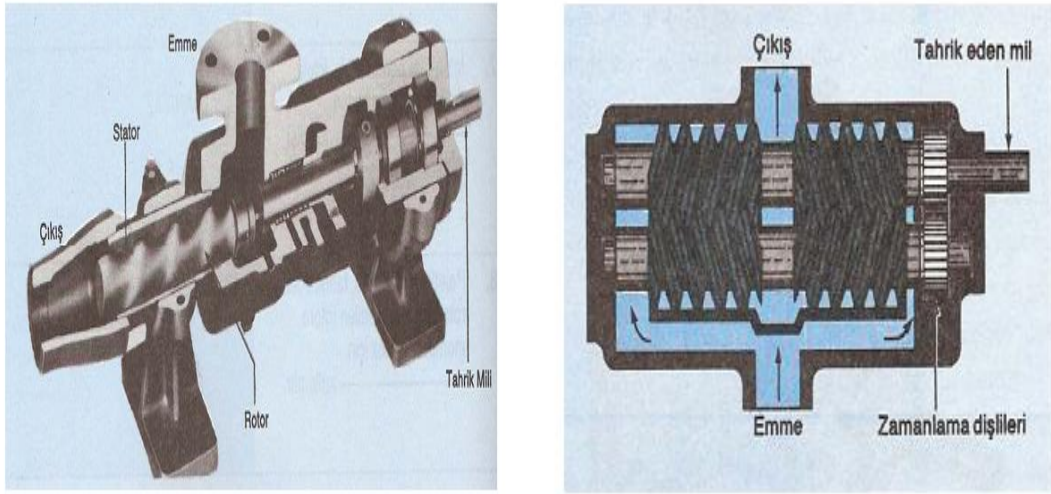
3.2.2. Rotatif pompalar

3.2.2.1. Tek rotorlu pompalar

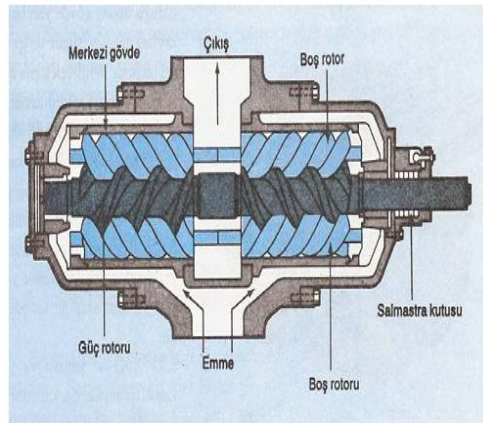
Tek rotorlu pompalar; kayar paletli pompalar, esnek borulu pompalar, vidalı pompalar ve peristaltik pompalar olarak sınıflandırılabilir.

Kayar paletli pompalar; Çevresinde belirli sayıda palet yerleştirilmiş bir rotorun, eksenden kaçık olan bir gövde içinde dönmesi ile çalışır. Gövde ve rotor arasındaki eksantriklik miktarı arttıkça debi de artar. Paletler rotor üzerine yerleştirildikleri kanallar içinde radyal olarak (eksene dik) hareket edebilirler. Böylece emme işlemi esnasında dışarıya çıkıp, basma işlemi esnasında içeriye girerler (Boztaş, 2006).

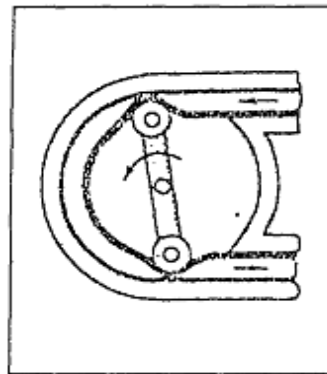
Vidalı pompalar; yüksek devirde çalışabilirler, bu yüzden elektrik motoru ve buhar türbinine direkt bağlanabilirler. Şekil itibarıyla vidaya benzerler. Elemanları genel itibarıyla dişli pompanın aynısıdır.



Şekil 3.8. Tek vidalı ve iki vidalı pompalar



Şekil 3.9. Üç vidalı pompa

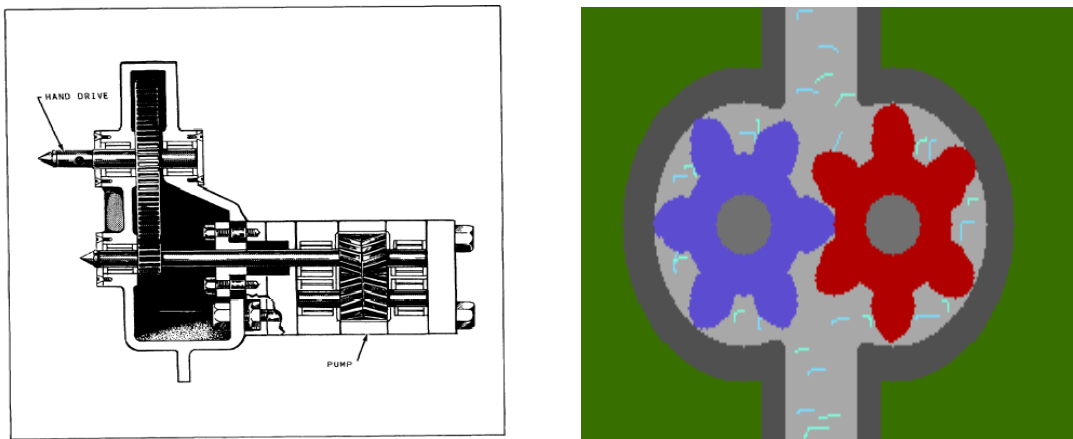


Şekil 3.10. Esnek borulu pompa

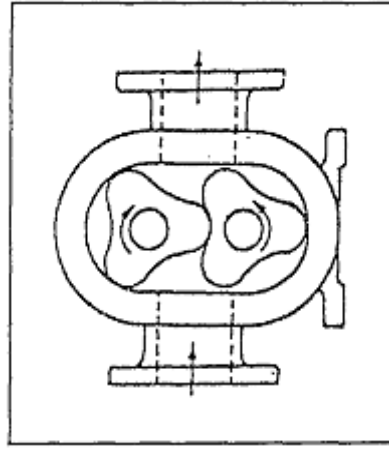
3.2.2.2. Çok rotorlu pompalar

Çok rotorlu pompalar; dişli pompalar, loblu pompalar, vidalı pompalar ve çevresel pistonlu pompalar olarak sınıflandırılırlar.

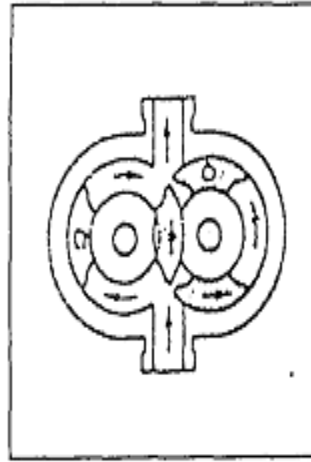
Dişli pompalar; Biri çeviren diğeri de çevrilen olmak üzere iki dişliden meydana gelmiştir. Çeviren dişli motordan aldığı dönme hareketini çevrilen dişliye iletir. Böylece dişliler diş boşluklarına aldıkları akışkanı sisteme gönderir (Boztaş, 2006). Emme yetenekleri çok yüksektir. Yapıları küçük olmasına rağmen verim ve kapasiteleri yüksektir. Basınç kontrolü by-pass valfleri ile olur. Bastıkları sıvı ile yağlandıkları için sorunsuz çalışırlar.



Şekil 3.11.Dişli pompalar



Şekil 3.12.Loblu pompa



Şekil 3.13.Çevresel pistonlu pompa

4.EKSENEL İTME

4.1.Eksenel İtmenin Tanımı

Pompanın emme ve basma bölgesi arasındaki (çarkın ön ve arka tarafı arasındaki) farklı basınç ve statik yükün neden olduğu çarka ve dolayısıyla pompanın bütün dönen elemanlarına mil eksenini boyunca etkileyen kuvvettir (www.irrigationcraft.com; www.pompaakademisi.com).

Eksenel itme yükleri statik, kararlı hal, devirli ve geçici olmak üzere dörde ayrılır.

4.1.1.Statik eksenel itme

Pompa çalışmazken sistemdeki değişimlerden dolayı statik yük oluşabilir. Pompadaki sıvının ve sistem borularının kütlesi ve ağırlığı ile eksenel yönde yükün pompaya aktarılmasıyla oluşur.

4.1.2.Dinamik kararlı hal eksenel itme

Dinamik koşullar altındaki mil yatağı ve çark şaftı üzerindeki eksenel itme, çarkın ön ve arka tarafı arasındaki farklı basınçtan kaynaklanır.

4.1.3.Dinamik devirli eksenel itme

Sistem koşulları değiştiğinde giriş ve çıkış basınçlarının değişmesinden dolayı devirli eksenel itme meydana gelir. Mil yatağı arızalarının çoğunluğu devirli eksenel itme problemlerinden dolayı olabilir.

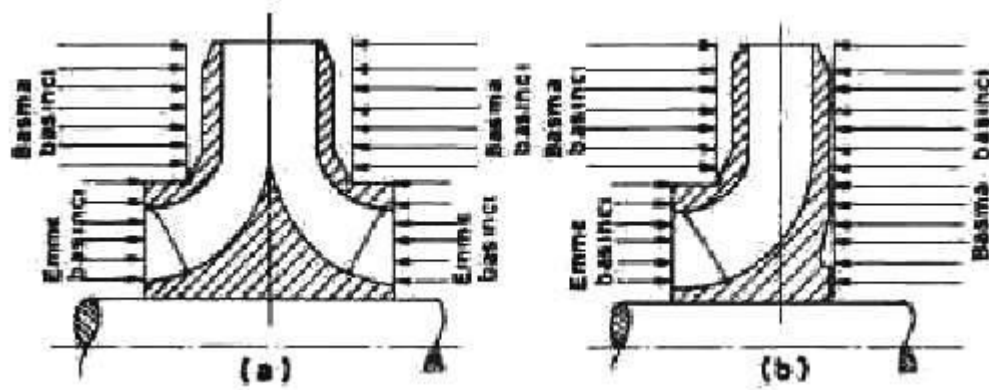
4.1.4.Dinamik geçici eksenel itme

Çark şaftı ve mil yatağına uygulanan basınç, pompanın sistem içine yüklenmesiyle meydana gelir. Geçici itmeler, aşırı yüksek ve kısa enerji patlamalarını oluşturabilir. Ataletsel enerji salınımı (su dalgası veya basınç kırıcı), vana kilitlemesi, pompanın ve sıvı yatağının kapanması geçici eksenel itmenin genel kaynağıdır (www.irrigationcraft.com).

4.2. Tek Kademeli Pompalarda Aksel İtme ve Dengelenmesi

Bir santrifüj pompanın meydana getirdiği basınç pompanın hem basit hem de hareketli parçalarına etki etmektedir. Pompanın bu sabit ve hareketli parçaları meydana gelebilecek basınca göre tasarlanır ve bu basınca karşı koyar. Ancak bazı durumlarda basınç farklılığının bazı ilave donanımlarla dengelenmesi gerekir.

Son yıllarda büyük kapasiteli pompalarda aksel itmeyi dengeleyen yatak bulunduğu için, aksel itme çoğunlukla tek kademeli pompalarda sorun olmaktadır. Teorik olarak çift girişli çarklarda her iki yandaki emme basınçları birbirine eşit olduğundan aksel itme ortaya çıkmamaktadır (Şekil 4.1.). Ancak pratikte aksel itme aşağıdaki nedenlerden dolayı meydana gelebilmektedir.



Şekil 4.1.Çift girişli (a) ve tek girişli (b) çarklarda basınç dağılımı

- Çarkın her iki emme gözüne bağlı emme kanalları eşit ya da homojen akış sağlamayabilir.
- Emme ağzına bağlı dirsek gibi dış koşullar emme ağzında homojen olmayan akışa neden olabilir.
- Gövde çıkışının her iki yanı simetrik olmayabilir ya da çark merkezden kaçık olarak yerleştirilmiş olabilir. Bu da çark gövdesi ile pompa gövdesi arasında akışkanın akım karakteristiklerini değiştirir.
- Çarkın her iki gözündeki sızdırmazlık bileziklerinin (aşınma halkalarının) sızdırmazlıklarının eşit olmaması dengeyi bozulmasına neden olabilmektedir.

Dönel çarka etkileyen kuvvetler;

F_I ; Çarkın arka yüzüne etkileyen basınç kuvveti,

F_{II} ; Çarkın ön yüzüne etkileyen basınç kuvveti,

F_{III} ; Çarkın girişinde v akışkan hızının yönü ve şiddeti değiştiğinden oluşan momentum kuvvetidir.

Şekil 4.2.'de kuvvetlerin etki yönleri göz önünde bulundurularak ve F_I kuvvetinin yönü pozitif kabul edildikten sonra aksenal itme kuvveti için;

$$F_{eks} = F_I - F_{II} - F_{III} \quad (4.1)$$

eşitliği elde edilir.

Bu eşitlikteki F_I kuvveti, Şekil 4.2.'de görüldüğü gibi I yan hacminin dar ve pompa mili ile gövde arasında salmastra ile sağlanan sızdırmazlık sayesinde bu hacimde geçiş akışı yok kabul edilerek, akışkanın zorunlu burgaç hareketi yaptığı yani aynen bir katı cisim gibi döndüğü esastan hareket edilerek belirlenir. I yan hacmini işgal eden akışkanın, çarkın açısal hızının $w_{al} = 0,4.w$ kadarı ile döndüğü kabul edilir. Zorunlu burgaç hareketinde basınç dağılımı düzlemde paraboliktir. Dönel çarkın çıkışındaki basınç P_3 ve çark girişindeki basınç P_0 olduğuna göre çarkın r_2 yarıçapında emme tarafı da göz önünde bulundurularak basınç farkı olarak;

$$\Delta P = P_3 - P_0 - w_{al}^2 \cdot \frac{r_2^2 - r^2}{2} \quad (4.2)$$

yazılabilir. Y_a özgül basma yüksekliği;

$$Y_a = \frac{P_3 - P_0}{\rho} \quad (4.3)$$

eşitliği ile verilir. Bu eşitlik (4.2) eşitliğinde yerine konursa;

$$\Delta P = \rho \cdot \pi \cdot (Y_a - w_{at}^2 \cdot \frac{r_2^2}{2}) \quad (4.4)$$

sonucu elde edilir. Diğer taraftan Şekil 4.2.'de görüldüğü gibi F_I kuvveti için;

$$F_I = 2 \cdot \pi \cdot \int_{r_s}^{r_2} \Delta P \cdot r \cdot dr$$

yazılır ve (4.4) eşitliğinden elde edilen ΔP değerinin karşılığı yerine yazılır ve integral işlemi tamamlanırsa;

$$F_I = \rho \cdot \pi \cdot (r_2^2 - r_s^2) \cdot (Y_a - w_{at}^2 \cdot \frac{r_2^2 - r_s^2}{4}) \quad (4.5)$$

eşitliği bulunur.

F_{II} kuvveti şöyle belirlenir. F_{II} hacmindeki akışkan çark ile emme ağzı tarafında bırakılan zorunlu aralıktan dolayı serbest dönme yasasına göre hareket eder. Hesabı kolaylaştırmak için bu yan hacmindeki akışkanın sabit bir açısal hızla döndüğü ve bu hızın $w_{aII} = 0,8 \cdot w$ olduğu kabul edilerek F_I kuvveti için yapılan işlemler tekrarlanarak;

$$F_{II} = \rho \cdot \pi \cdot (r_2^2 - r_a^2) \cdot (Y_a - w_{aII}^2 \cdot \frac{r_2^2 - r_a^2}{4}) \quad (4.6)$$

sonucu elde edilir.

F_{II} momentum kuvveti ise çarka aksenal olarak giren akışkanın yön değiştirerek radyal konum almasından dolayı oluşur.

$$F_{III} = \rho \cdot Q \cdot v \quad (4.7)$$

eşitliğinden bulunur (Çallı, 1986, 2011; Pflöiderer, 1961; Edis vd., 1978).

Aşağıdaki veriler kullanılarak bir pompa için aksel itme kuvveti hesaplanmış, debi ve basma yüksekliğiyle değişimi tablolar halinde verilmiştir.

Çark basma kenarı yarıçapı, $r_2 = 0,3$ m

Çark emme kenarı yarıçapı, $r_a = 0,15$ m

Mil yarıçapı, $r_s = 0,018$ m

Çarkın açısal hızı, $w = 150$ 1/s

Çark girişindeki akışkan hızı, $v = 4$ m/s

$$w_{aI} = 0,4 \cdot w \text{ ise } w_{aI} = 60 \text{ 1/s}$$

$$w_{aII} = 0,8 \cdot w \text{ ise } w_{aII} = 120 \text{ 1/s}$$

Basma yüksekliği, $H_m = Y_a / g$

Veriler denklem (4.5), (4.6) ve (4.7)' de yerine yazılarak F_I , F_{II} ve F_{III} hesaplanırsa,

$$F_I = 1 \cdot 3,14 \cdot (0,3^2 - 0,018^2) \cdot (300 - 60^2 \cdot \frac{0,3^2 - 0,018^2}{4}) = 61,7N$$

$$F_{II} = 1 \cdot 3,14 \cdot (0,3^2 - 0,15^2) \cdot (300 - 120^2 \cdot \frac{0,3^2 - 0,15^2}{4}) = 12,1N$$

$$F_{III} = 1 \cdot 0,025 \cdot 4 = 0,1N$$

$$F_{eks} = 61,7 - 12,1 - 0,1 = 49,5N \text{ olarak bulunur.}$$

Çizelge 4.1. Basma yüksekliğinin $F_{eksenel}$ ' e etkisi

| H_m, m | 30 | 40 | 50 |
|------------------------------------|-------------|-------------|-------------|
| F_I, N | 61,7 | 89,9 | 118,1 |
| F_{II}, N | 12,1 | 33,3 | 54,5 |
| F_{III}, N | 0,1 | 0,1 | 0,1 |
| $F_{eksenel}, N$ | 49,5 | 56,5 | 63,5 |

Debiyi sabit tutup ($Q = 0,025 \text{ m}^3/\text{s}$), basma yüksekliğini değiştirdiğimizde aksenal itme kuvvetinin basma yüksekliğiyle doğru orantılı olarak değiştiği görülmektedir.

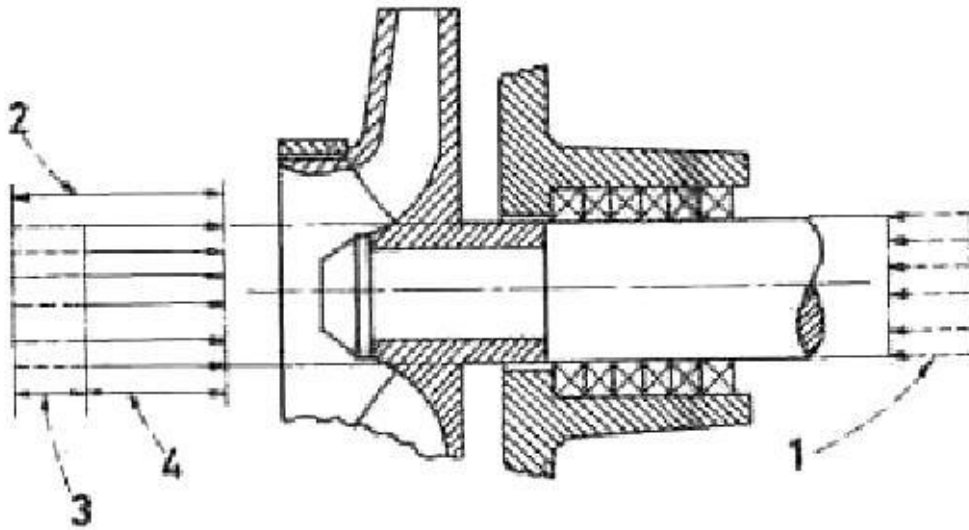
Çizelge 4.2. Debinin $F_{eksenel}$ ' e etkisi

| $Q, \text{m}^3/\text{s}$ | 0,025 | 0,05 | 0,1 |
|--|--------------|-------------|-------------|
| F_I, N | 61,7 | 61,7 | 61,7 |
| F_{II}, N | 12,1 | 12,1 | 12,1 |
| F_{III}, N | 0,1 | 0,2 | 0,4 |
| $F_{eksenel}, N$ | 49,5 | 49,4 | 49,2 |

Basma yüksekliğini sabit tutup ($H_m=30 \text{ m}$), debiyi değiştirdiğimizde aksenal itme kuvvetinin debiyle ters orantılı olarak değiştiği görülmektedir.

Tek salmastra kutulu ve milin ucuna bağlanmış çarka etkiyen aksenal kuvvetler emme basıncından önemli oranda etkilenmektedir (Şekil 4.3.). Bu pompalarda iki salmastra kutulu tek girişli çarklarda bulunan dengelenmemiş kuvvete ilaveten, emme ve atmosfer basıncı arasındaki fark basınç ile salmastra kutusu içinde kalan pompa mili alanının çarpımından oluşan aksenal kuvvette bulunmaktadır. Bu kuvvet, emme basıncı atmosfer basıncından küçükse çarkın emme tarafına doğru, emme basıncı atmosfer basıncından büyükse aksi yöne doğru etkilemektedir. Eğer bir uçtan bağlamalı çark pompa ekseninden daha aşağıda (emme derinliği) bulunan bir sıvıyı emiyorsa bu ilave aksenal kuvvetin değeri oldukça küçük olur.

Pompalar her iki koşul içinde kullanılabileceğinden uçtan bağlantılı pompalarda aksenal yataklama her iki yönde yapılmalıdır. Yatak seçimi de etki edebilecek kuvvetlerin büyüklüğüne göre yapılmalıdır.



Şekil 4.3. Tek salmastra kutulu, uçtan bağlanmış tek girişli çarkta aksenal itme (1-Atmosfer basıncı, 2-Mutlak emme basıncı, 3-Dengelenmiş atmosfer basıncı, 4-Dengelenmemiş manometrik emme basıncı)

Çok büyük kapasiteli ve özel bazı uygulamalar dışında karışık akışlı ve aksiyal akışlı çarklarda meydana gelen maksimum aksinel itme önemli olmamaktadır. Çünkü bunlarda çalışma basınçları daha düşüktür.

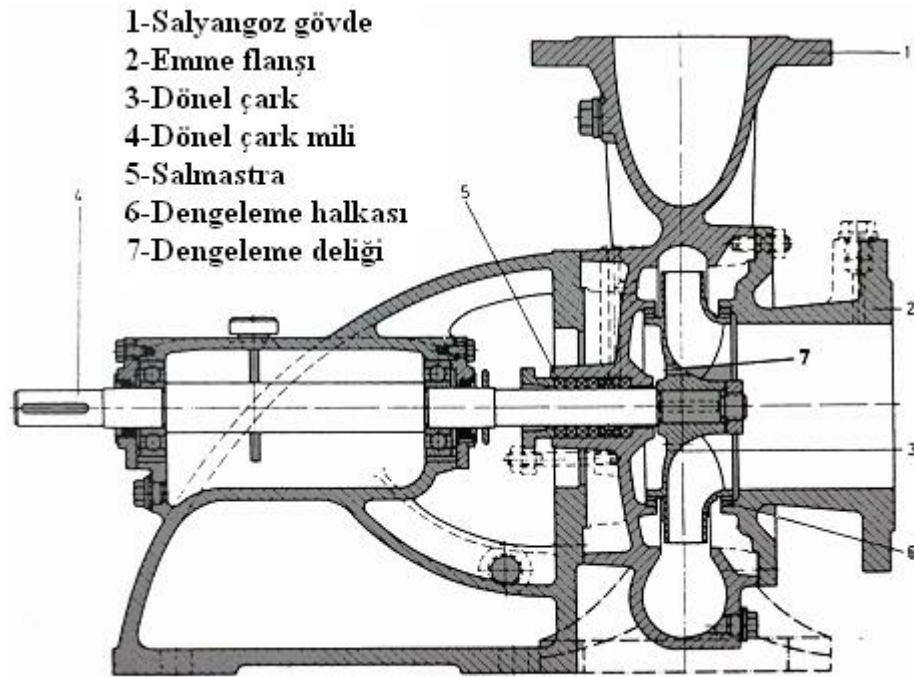
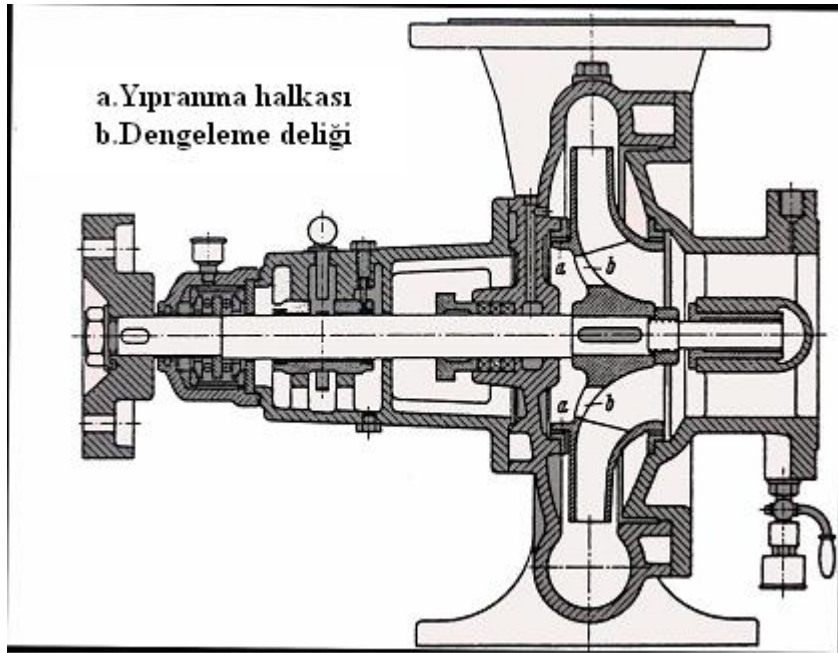
Aksiyal akışlı çarklarda aksinel itmeye kanatlar üzerindeki basınç neden olur. Ayrıca biri emme tarafında diğeri basma tarafındaki iki mil göbeğine etkiyen basınçlar arasındaki fark da aksinel itmenin nedenlerindedir. Karışık akışlı çarklarda aksinel itme, çarka ve diğeri yüzeylere gelen kuvvetlerin kombinasyonundan oluşur (Keskin ve Güner, 2007).

4.2.1. Tek kademeli pompalarda delikler ile aksinel itmenin dengelenmesi

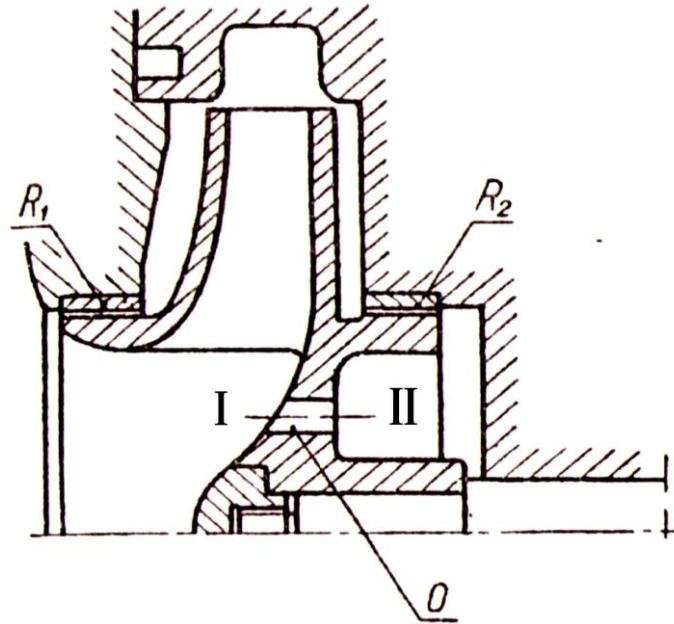
Genel olarak küçük aksinel itme kuvvetleri (100 ila 200 daN'a kadar) söz konusu olduğu takdirde çarkın arka yüzüne açılacak delikler ile dengeleme sağlanır.

Çarka açılacak dengeleme deliklerinin kanat başlangıcına yakın bir konumda olması sağlanmalıdır (Şekil 4.4.). Kanat kanalları içinde açılacak dengeleme delikleri pompanın manometrik yüksekliğine olumsuz etki yapacağı gözden kaçırılmamalıdır.

Çark çapına uygun olarak dengeleme delikleri sayısı kanat sayısına eşit veya 4 ila 8 arasında değişirken, delik çapı 5 mm den 30 mm' ye kadar seçilebilir. Dengeleme delikleri ile donatılan çarklarda önemli derecede kaçak kayıpları oluşacağından mutlaka hidrolik contaların (yıpranma halkaları) kullanılmasının gerektiği unutulmamalıdır (Şekil 4.4.) (Çallı, 2011).



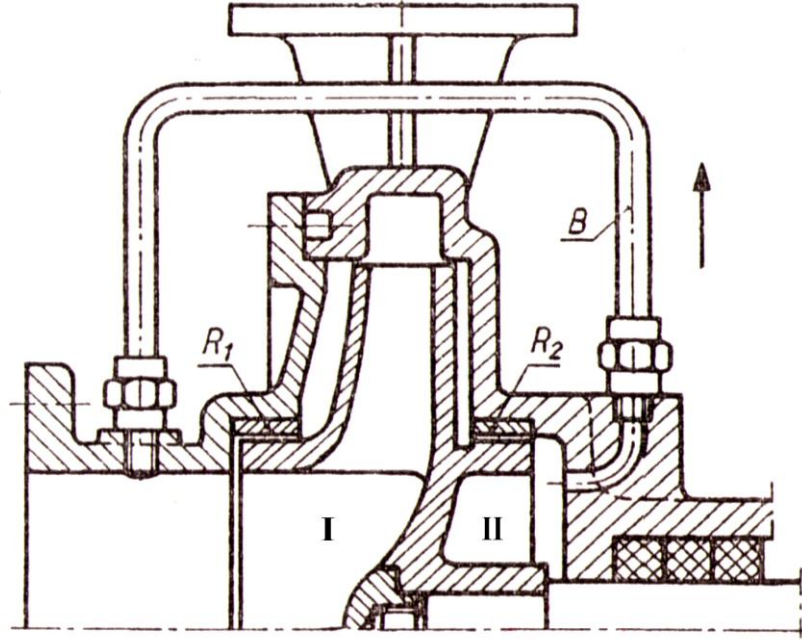
Şekil 4.4. İki adet tek kademeli santrifüj pompa dönel çarkında açılan dengeleme delikleri



Şekil 4.5. I ve II boşlukları içindeki basıncı dengelemek için dengeleme deliği (O) (R_1 ve R_2 - yıpranma halkaları) (Lazerkiewicz and Troskolanski, 1965).

4.2.2. Tek kademeli pompalarda borular ile aksel itmenin dengelenmesi

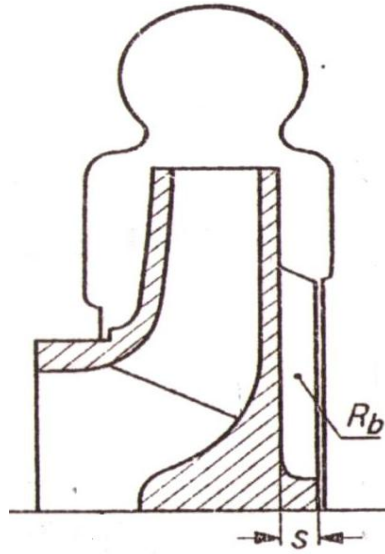
Dengeleme delikleri delmek yerine, boşluk I ve II bir by-pass boru vasıtasıyla bağlanabilir. Böylece aksel itme dengelenmiş olur. Bu yöntem büyük pompalarda kullanılır.



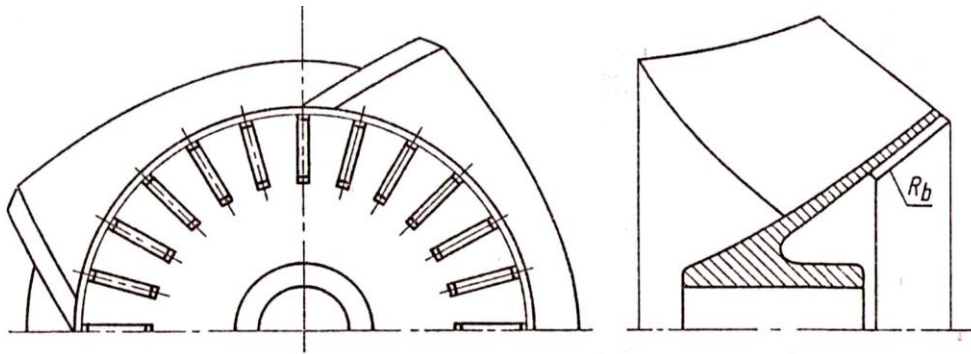
Şekil 4.6. I ve II boşlukları içindeki basıncı dengelemek için by-pass boru (B) (R_1 ve R_2 - yıpranma halkaları) (Lazerkiewicz and Trokolanski, 1965)

4.2.3. Tek kademeli pompalarda çubuklar ile aksel itmenin dengelenmesi

Gövdeye dikkatle yerleştirilen radyal çubuklar ile aksel itme dengelenebilir. Radyal çubuklar arka tabakanın üzerine dökülür. Çarkın arkasında yüzeydeki su yüksek hızda (şaft ile hemen hemen eşit açısız hız) döner bu basınç dağılımının değişmesini ve aksel itmenin dengelenmesini sağlar (Wilk, 2009).



Şekil 4.7. R_b radyal çubuklar aracılığıyla santrifüj pompada aksel itmenin dengelenmesi (s-çubukların yüksekliği)



Şekil 4.8. R_b radyal çubuklar aracılığıyla çapraz akışlı pompalarda aksel itmenin dengelenmesi

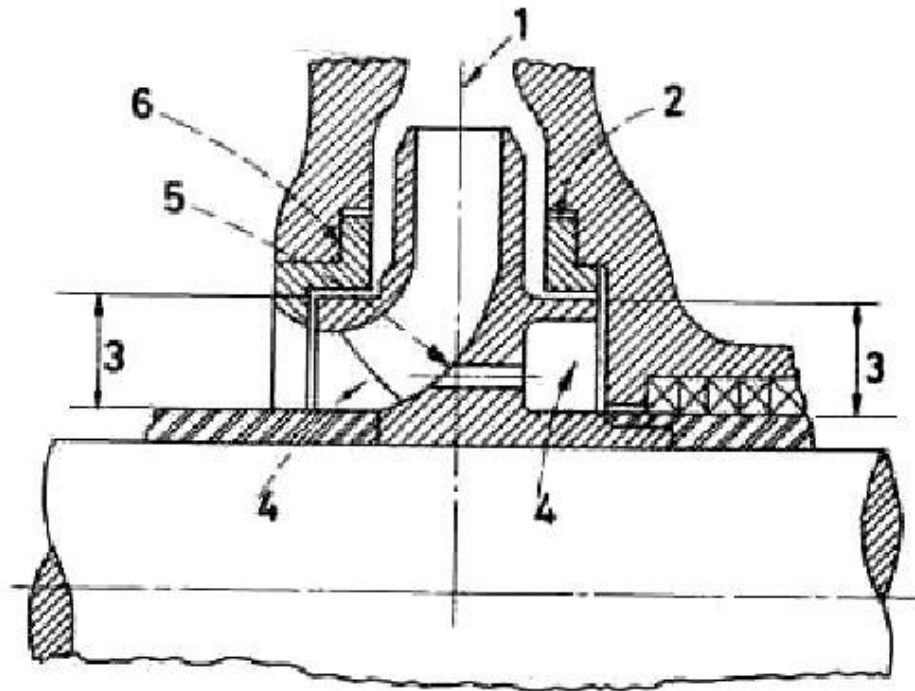
Dengeleme çubukları kirli ve korozif sular için kullanılan pompalarda yaygın olmasına rağmen temiz su pompalarında sık kullanılmazlar.

Çubuklar enerji kaybına neden olduğundan çapları aksel itmeyi dengelemek için gerekli olandan büyük olmamalıdır.

Çarkın büyüklüğüne bağlı olarak, çubukların yüksekliği 4-7 mm arasındadır. Genellikle 4-6 çubuk kullanılır.

4.2.4. Tek kademeli pompalarda sızdırmazlık bileziği ile aksel itmenin dengelenmesi

Tek kademeli tek girişli çarkta aksel itmenin dengelenebilmesi için çarkın giriş ve çıkış kısmının her ikisine sızdırmazlık bileziği konabilir. Genel olarak çarkın giriş kısmında bilezik bulunmaktadır. Bu durumda sızdırmazlık bileziklerinin iç çapları, itme alanlarını dengelemek için aynı alınır (Şekil 4.9.).



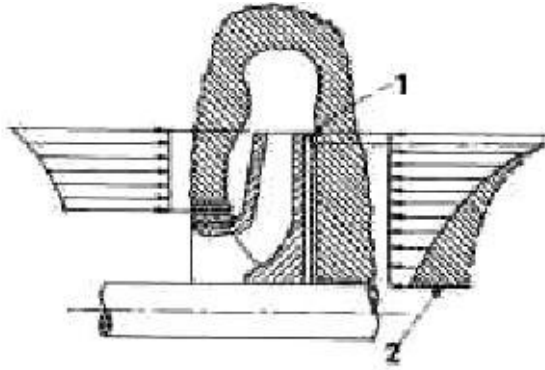
Şekil 4.9. Tek kademeli tek girişli çarkta sızdırmazlık bilezikleri ve dengeleme delikleri ile aksel itmenin dengelenmesi (1-Çıkış basıncı, 2-Çıkış sızdırmazlık bileziği, 3-Alan, 4-Emme-giriş basıncı, 5-Dengeleme deliği, 6-Giriş sızdırmazlık bileziği)

Çarkın giriş ve çıkışına sızdırmazlık bileziklerinin takılmasıyla birlikte çarkın arka duvarı üzerinde kanatsız kısma delikleri açılarak II odasının bir kısmı emmeye bağlanır ve buradaki basınç düşürülür. Açılan bu deliklere conta takılarak kaçak kayıpları önlenir. Çarkın çıkış bileziğini geçen su bu delikler yardımıyla tekrar emme girişine döner ve böylece ön ve arka odadaki basınç dengelenir (Şekil 4.9.). Büyük kapasiteli tek kademeli tek girişli pompalarda dengeleme deliklerinin açılması istenmez. Çünkü çarkın arkasındaki suyun emme-giriş-ağızına geçmesi esas akışın düzenini bozar

ve türbülansa dolayısıyla kayba neden olur. Böyle pompalarda basma tarafından bir boru ile emme girişine bağlantı yapılır.

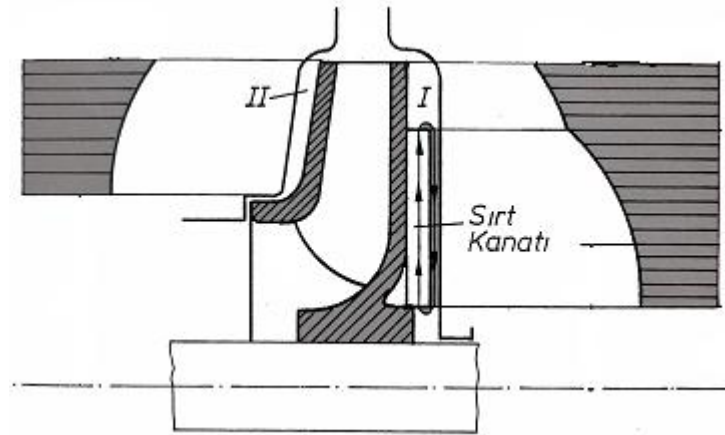
4.2.5. Tek kademeli pompalarda kanatlar ile aksel itmenin dengelenmesi

Tek girişli çarklarda aksel itmeyi dengelemenin diğer bir yolu da çarkın arka tarafında eğimli kanatların kullanılmasıdır (Şekil 4.10.). Bu kanatlar çarkın arka yüzeyine gelen basıncı azaltarak aksel itmenin dengelenmesine yardımcı olurlar. Bu tasarım genellikle yalnızca kumlu suların iletilmesinde kullanılır. Eğimli kanatlar çarkın arka yüzeyi ile gövde arasındaki boşluğu yabancı materyallerden korur.



Şekil 4.10. Tek girişli çarkta eğimli kanatlar kullanılarak aksel itmenin dengelenmesi (1-Eğimli kanatlar, 2-Azaltılmış basınç)

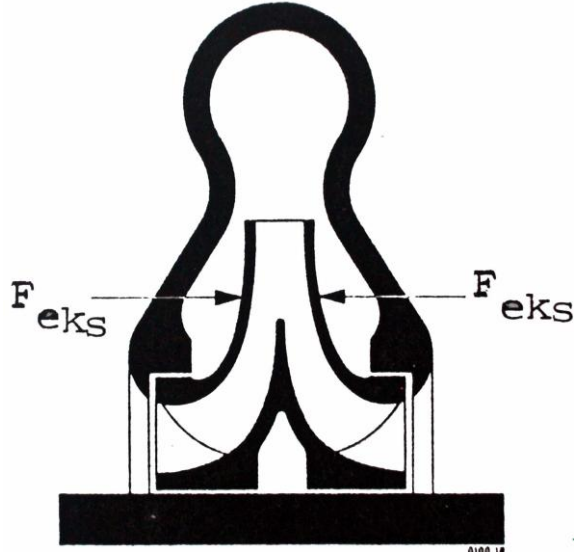
Şekil 4.11.'de görülen sırt kanatlar yardımı ile aksel itmenin dengelenmesi mümkündür. Oluşturulan sırt kanatları akışkanı dışa doğru itecektir. Böylece kanat bölgesinde içten dışa doğru olan akış, kanatlar ile gövde arasında kalan kısımda dıştan içe doğrudur (Çallı, 2011).



Şekil 4.11. Sırt kanatları uygulaması ile aksel itmenin dengelenmesi

4.3.Çok Kademeli Pompalarda Aksel İtme ve Dengelenmesi

Çift girişli çarklarda aksel itmenin çoğunlukla meydana gelmemesi ya da dengelendiği kabul edilmesi ve bu çarkların daha büyük emme alanına sahip olması kademeli pompalarda kullanılmalarını sağlamıştır. Ancak pratikte bazı kısıtlar bulunmaktadır. Genelde kademeli pompaların kapasiteleri modern santrifüj pompalarından nispeten daha az olmaktadır. Bu nedenle belirli bir verim için net pozitif emme yükünün küçültülmesi amacıyla çift girişli çark kullanılır. Çift girişli çark kademeli pompalarda ilk kademeyi oluşturabilmekte ancak geri kalan kademelerin çift girişli yapılması zorluklara neden olmaktadır. Bu nedenle pratikte tüm santrifüj pompalarda az da olsa bir aksel itme bulunmaktadır (Keskin ve Güner, 2007)



Şekil 4.12. Çift girişli pompada aksenal itmenin kendiliğinden dengelenmesi

Kademeli pompalarda çift girişli çarkların kullanımı pompa milinin gereksiz olarak uzun ve kademeler arasındaki aralığın fazla olmasına yol açmaktadır. Her kademedeki çıkan suyun diğer kademeye girmesi için gereken ilave kanallar ilave aralığa neden olmaktadır. İlave aralık milin daha uzun olmasına ve ilave yataklama sorunlarına yol açmaktadır. Milin uzun olmasıyla meydana gelecek mil sapmalarını önlemek için mil çapı artırılmakta ancak bu da su girişini azaltmaktadır. Sonuçta çift girişli çarkın sağladığı avantajlar diğer olumsuzlukların ortaya çıkmasıyla elimine olmaktadır. Bu nedenle çift girişli çarkın her kademede kullanılması pratik değildir ve kademeli pompaların tek girişli yapılması daha uygundur.

Kademeli pompalarda tek girişli çarklar iki şekilde düzenlenir. Birinci düzenlemede çarklar birbiri arka sıra bir mil üzerine sıralanır ve bir çarktan çıkan su diğerine girer. Bu tip düzenlemede aksenal itme hidrolik dengeleme düzenleriyle (dengeleme diski ve dengeleme silindiri) önlenir. İkinci düzenlemede çarklar karşıt olarak yerleştirilir. Bir çarkın aksenal itmesi diğer çark tarafından dengelenir. Ancak karşıt düzenlemede tam dengelemenin yapılabilmesi için;

- a) Pompada iki salmastra kutusu olmalıdır
- b) Milin sabit bir çapı olmalıdır

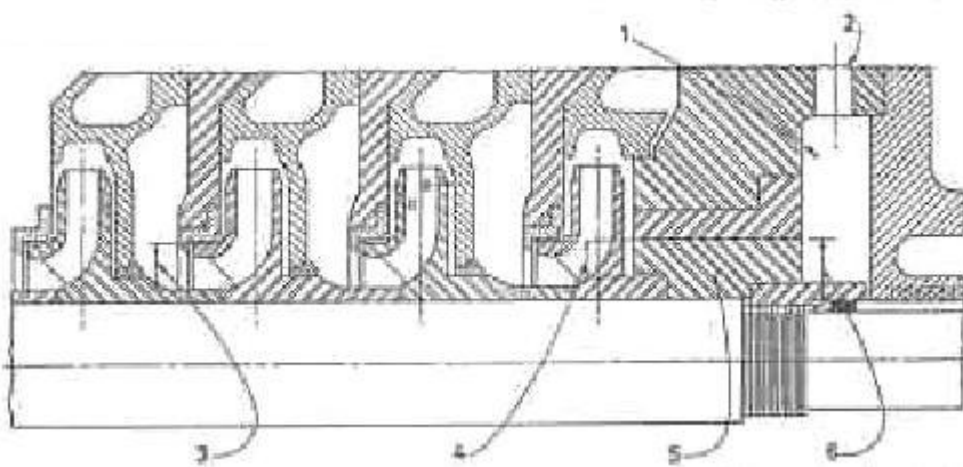
dengeleme düzenleri aksenal itmeyi dengelemekte ve en son çarkın yanındaki salmastra kutusuna gelen basıncı azaltmaktadır. Hidrolik dengeleme düzenleri; dengeleme silindirleri, dengeleme diskleri ya da her ikisinin kombinasyonu şeklinde olmaktadır.

Şekil 4.14.' de dengeleme silindiri görülmektedir. Dengeleme silindirine şu kuvvetler etki etmektedir.

a) Çıkışa doğru etki eden, silindirin B alanı ile çıkış basıncının çarpımından oluşan kuvvet

b) Pompa girişine doğru etki eden dengeleme odasındaki basınç ile dengelem alanı C'nin çarpımından oluşan kuvvet.

Birinci kuvvet yani çıkışa doğru etkili olan kuvvet diğerinden daha büyüktür ve bu durum aksenal itmenin dengelenmesini sağlar. Aksenal itmenin tamamının ya da hiç olmazsa % 90-95'inin dengelenmesi için silindir çapı seçimi yapılabilir.



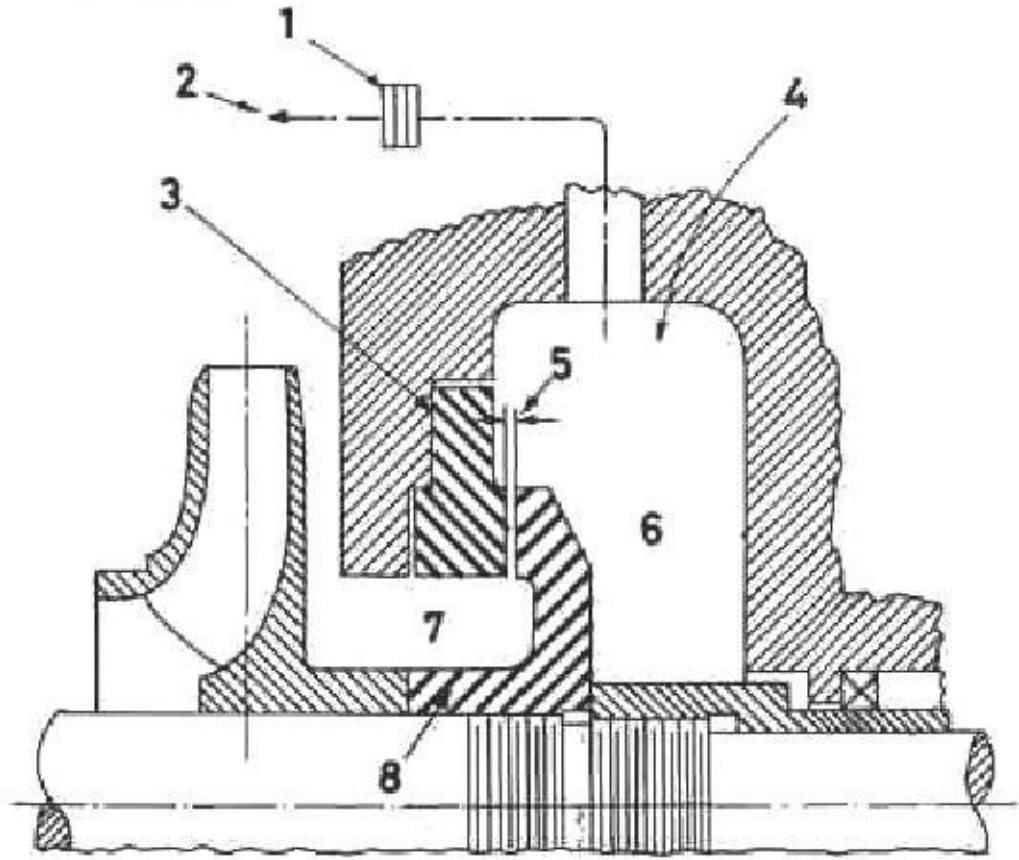
Şekil 4.14. Dengeleme silindiri (1-Dengeleme odası, 2-Emme ağzına giden bağlantı, 3-Dengelenmemiş A alanı, 4-B alanı, 5-Dengeleme silindiri, 6-C alanı)

Dengeleme silindiri tek girişli çarklarda aksenal itmeyi yeterince karşılamakta ve çıkıştaki salmastra kutusuna gelen basıncı azaltmaktadır. Bununla birlikte bir dezavantajı aksenal itmedeki ani değişiklikleri karşılayamamasıdır. Aksenal itme ile dengeleme silindiri kuvvetleri birbirine eşit değilse, döner elemanlar daha büyük kuvvetin doğrultusunda harekete zorlanacaktır. Bu nedenle yataklar bu farklılığı

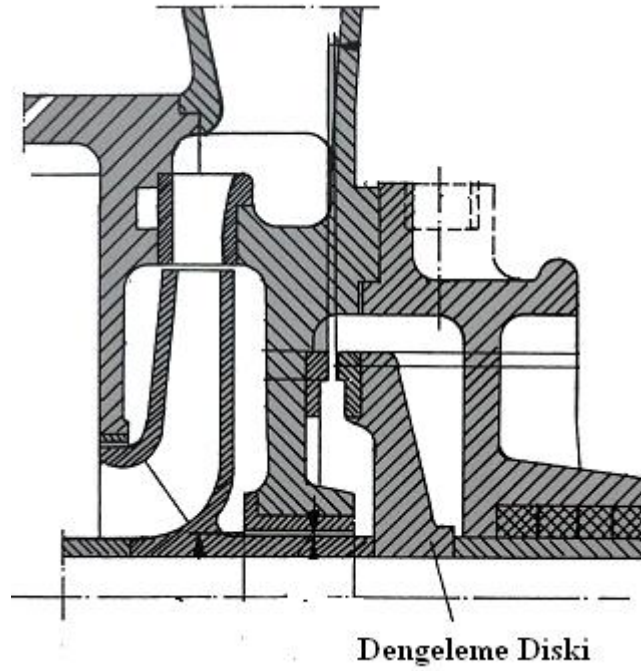
yenecek şekilde tasarlanmalıdır. Dengeleme silindiri kendisini aksenal itmenin büyüklüğüne göre ayarlayamaz. Zaten dengeleme silindiri ile dengeleme diski arasındaki en büyük fark bu olmaktadır.

Basit bir dengeleme diski Şekil 4.15.'de verilmiştir. Son kademeyi oluşturan çarktan sonra mil üzerine tespit edilmiş bulunan bir disk mil ile birlikte dönmektedir. Dengeleme diski ile dengeleme diski başlığı arasında küçük bir aksiyal açıklık (5) vardır. Bu açıklıktan sızan su ya dengeleme odasına geçer oradan ya pompa girişine ya da pompanın emme yaptığı depoya gider. Dengeleme diskinin ön yüzeyi pek çok basıncın etkisi altında iken arka yüzeyine yalnızca dengeleme odasındaki basınç etki etmektedir. Diskin iç ve dış çapı, diskin ön yüzeyine ve arka yüzeyine etkileyen toplam basıncın çarkın aksenal itmesini dengeleyecek büyüklükte olacak şekilde seçilir.

Çarkın aksenal itmesi, diskin meydana getirdiği kuvveti yendiğinde pompa mili blok halinde sola yani emme tarafına doğru hareket eder ve disk ile disk başlığı arasındaki açıklığı azaltır. Bunun sonucu olarak açıklıktan geçen su miktarı ve buna bağlı olarak da dengeleme odasındaki basınç azalır. Bu otomatik olarak disk üzerine etkileyen basınç farklılığını artırmakta ve sağa doğru meydana gelen kuvvetin etkisiyle dengeleme diski ile disk başlığı arasındaki aralık artmaktadır. Eğer mil sağa doğru fazla hareket ederse aralık çok artmakta ve dengeleme odasındaki düşük basınç nedeniyle çıkış basıncı da düşmektedir. Bunun sonucunda çarklara etki eden aksenal itme mili sola doğru hareket ettirmekte ve aralığı azaltmaktadır. Bu işlemler otomatik olarak sürekli meydana gelmekte, denge oluşmaktadır.



Şekil 4.15. Dengeleme diski (1-Deliğin sınırlandırılması, 2-Emme ağzına gidiş, 3-Dengeleme diski başlığı 4-Dengeleme odası, 5-Aksiyal açıklık, 6-Dengeleme odası, 7-Çıkış basıncı, 8-Dengeleme diski)

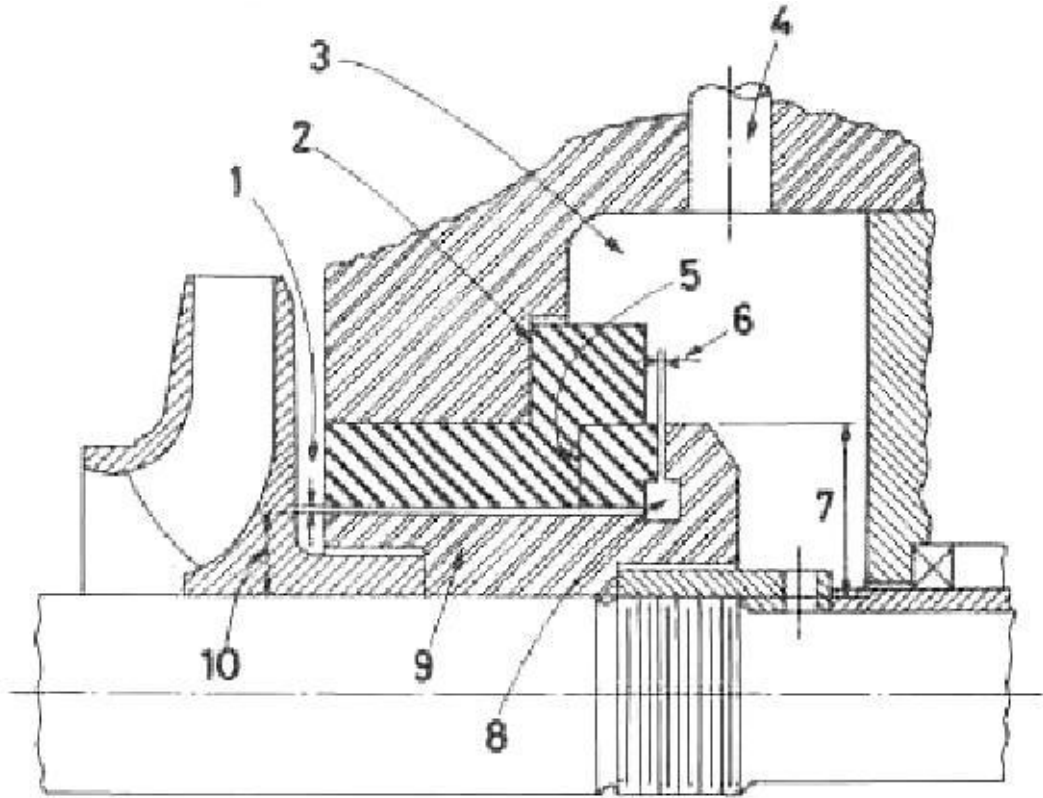


Şekil 4.16. Dengeleme diski

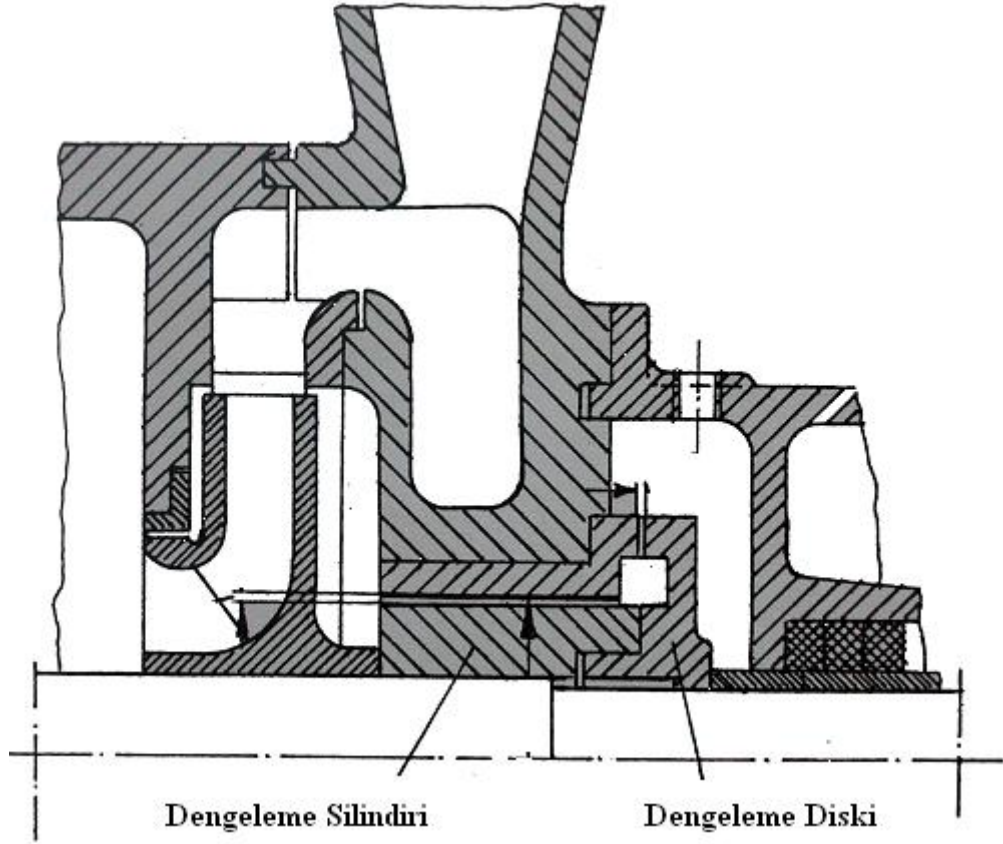
Dengeleme silindirinin ve diskinin olumlu yanlarını bir araya getirmek amacıyla her ikisinin kombinasyonu ile aksel itme dengelenmeğe çalışılmaktadır (Şekil 4.17.). Bu düzenlemede mil ile birlikte dönen kısım, disk başlığının silindirik kısmının içinden dönen uzun silindirik bir gövdeden oluşmaktadır. Bu tasarımda radyal açıklık(1) diskin konumuna bağlı olmadan sabit kalırken, aksiyel açıklık (6) pompa milinin konumuna bağlı olarak değişir. Bu tasarımda dengeleme düzenine şu kuvvetler etki eder.

a) Çıkış basıncının A alanı ile çarpılmasıyla oluşan kuvvet ile B alanıyla orta emniyet odasındaki basıncın çarpılmasıyla oluşan kuvvetin toplamı olan ve çıkış ağızına doğru etki eden kuvvet

b) C alanı ile dengeleme odasındaki basıncın çarpılmasından oluşan ve emme ağızına doğru yönelen kuvvet.



Şekil 4.17. Dengeleme diski ve dengeleme silindirinin kombinasyonu (1-Radyal açıklık, 2-Dengeleme diski başlığı, 3-Dengeleme odası, 4-Emme ağzına dönüş hattı, 5-B alanı, 6-Aksiyal açıklık, 7-C alanı, 8-Orta emniyet odası, 9-Dengeleme diski, 10-A alanı)



Şekil 4.18. Dengeleme diski ve dengeleme silindirinin kombinasyonu

Dengeleme diskindeki konum düzeltme özelliğinin dengeleme odasındaki basıncın ayarlanmasıyla meydana gelmesi bu düzenlemede ortadan kalmakta yalnızca orta emniyet odasındaki basınç değişimine bağlı olmaktadır. Pompa mili sola yani emme tarafına doğru hareket ettiğinde, aksiyal açıklık azalmakta ve orta emniyet odasındaki basınç artmakta B alanına etkiyen basınç da yükselmektedir. Diğer yandan dengeleme odasına sızan suyun azalmasıyla radyal açıklıktaki basınç düşümü azalır ve bu da aksiyal açıklıktaki basınç düşümünü artırır. Orta emniyet odasındaki basıncın artması dengeleme diskini, kuvvetlerin dengelenmesine kadar çıkış tarafına doğru iter. Pompa milinin sağa yani çıkışa doğru hareket etmesi aksiyal açıklığı ve dolayısıyla dengeleme odasına geçişi artıracak, orta emniyet odasındaki basıncı düşürecektir. Orta emniyet odasındaki basıncın düşmesi B alanına etkiyen basıncın düşmesine yol açacaktır. Bu düzenlemede geri dönüş hattına sınırlandırıcı konabilir ancak bu sınırlandırıcı dengeleme basıncından çok geri dönen su miktarını ayarlamaktadır.

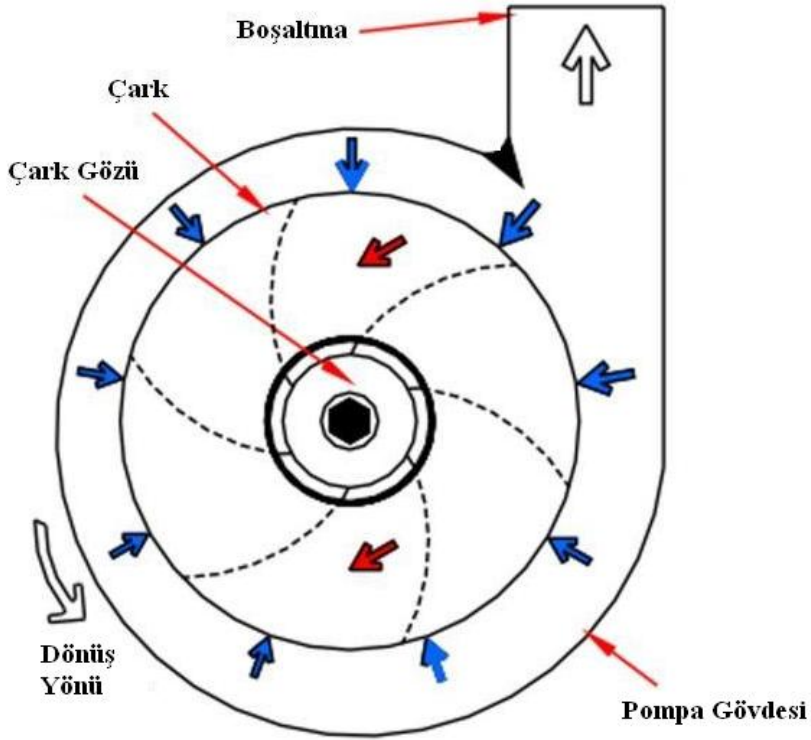
5.RADYAL İTME

Salyangoz gövdenin iç çevresinde basınç her yerde aynı değildir. Çarkın silindirik yüzeyinin yan kesitinde etkili basınç farklılıkları nedeniyle, bir dengesiz kuvvet ortaya çıkar. Bu kuvvetin adı radyal itmedir.

Radyal itme hidrolik ve mekanik dengesizliklerden oluşur. Mekanik kuvvetler esasen pompanın çalışma noktasında sabittir. Hidrolik radyal dengesiz kuvvetler normalde maksimum verimlilik noktasında en azdır. Pompa kapasitesinin %125' inden fazla ve %75' inden az çalıştırıldığında bu kuvvetler artar. Bundan dolayı tam kapasiteyle çalıştırılmayan pompalar ve diğer birimler yüksek radyal itme yüklerine sahip olabilir (www.peerlesspump.com).

Santrifüj pompalarda sıvı hızları ve bundan dolayı çark ve şaft üzerindeki kuvvetlerin en elverişli olduğu bir nokta vardır. Bu noktada pompa en yüksek verimde çalışır ve titreşim en azdır. Diğer akış durumlarında çarkın çevresi etrafında farklı noktalarda basınç değişir. Sonuç olarak önemli radyal yükler üretilir. Küçük pompalarda şaft ve yağ ya da gresle yağlanmış mil yatağı bu yükleri ortadan kaldıracaktır (Cullen, et al.).

Salyangoz tipli pompalarda radyal itme aşağıdaki çizimlerle gösterilirse,



Şekil 5.1. En iyi verimlilik noktasındaki akış hızında çalışan tek salyangozlu pompada radyal itme



Radyal itmenin yönü



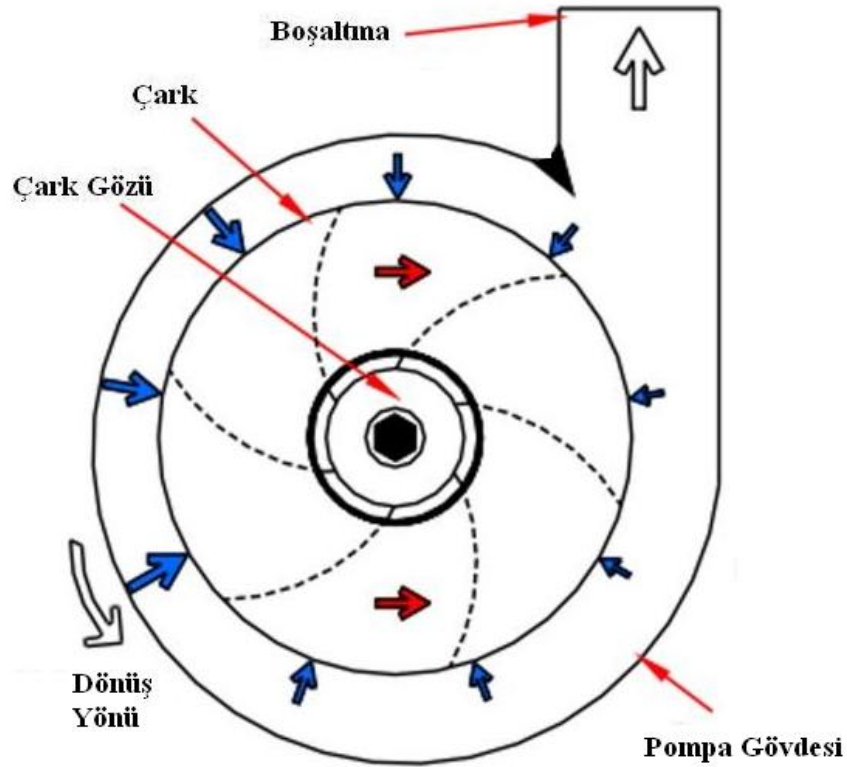
Mavi oklar basınç şiddetini gösterir.

Büyük Oklar = Yüksek Basınç

Küçük Oklar = Düşük Basınç

Çarkın çevresini saran uniform olmayan basınç şiddetleri radyal itme meydana getirir. Çark dengelenirse ve çarkın çevresi etrafına sıvı basıncı uniform olursa radyal itme kalkacaktır.

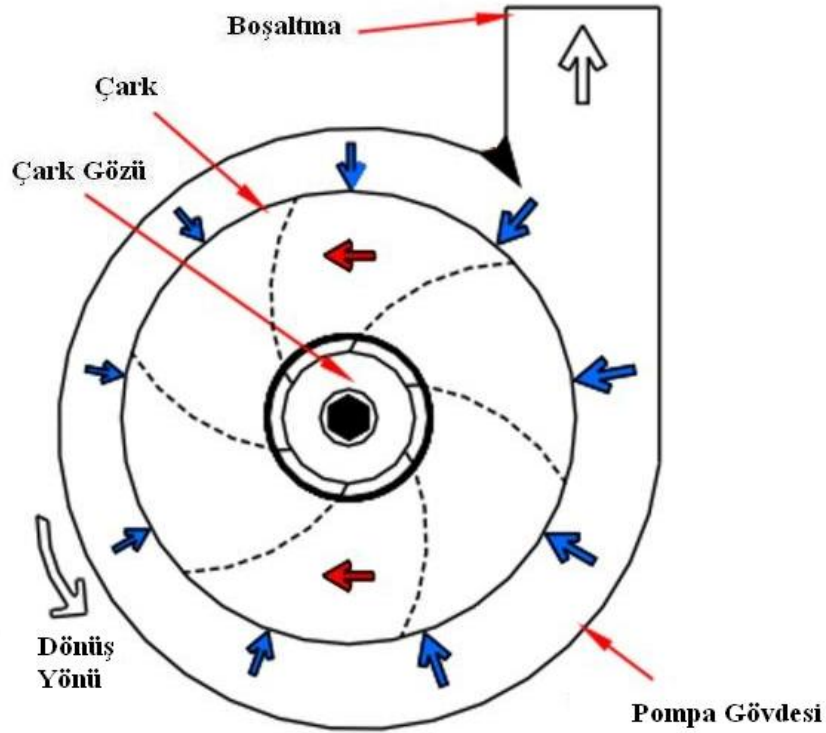
En iyi verimlilik noktasındaki akış hızında çalışan tek salyangozlu pompada çarkı çevreleyen basınç, düşük seviyeli titreşim, maksimum hidrolik verim, salyangoz dilinden uzak radyal itmenin küçük miktarıyla diğer akış hızlarından daha fazla dengelenir.






Şekil 5.2.En iyi verimlilik noktasından daha yüksek akış hızında çalışan tek salyangozlu pompada radyal itme

- ➔ Radyal itmenin yönü
- ➔ ➔ Mavi oklar basınç şiddetini gösterir.
Büyük Oklar = Yüksek Basınç
Küçük Oklar = Düşük Basınç

En iyi verimlilik noktasından daha yüksek akış hızında çalışan tek salyangozlu pompada çarkı çevreleyen basınç, en iyi verimlilik noktasından daha yüksek seviyeli titreşim, düşük hidrolik verim ve hacim genişlemesine karşı şafttaki sapma sonucu daha az dengelenir.



Şekil 5.3. En iyi verimlilik noktasından daha düşük akış hızında çalışan tek salyangozlu pompada radyal itme

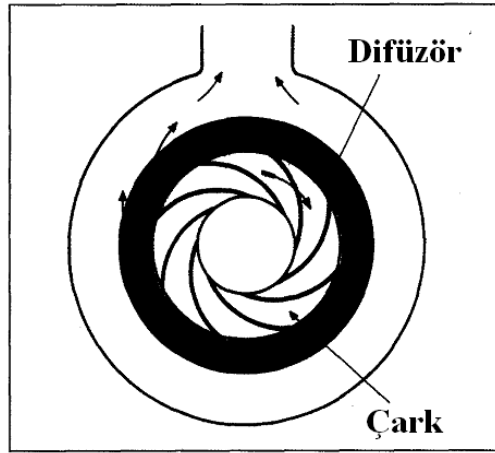
-  Radyal itmenin yönü
  Mavi oklar basınç şiddetini gösterir.
 Büyük Oklar = Yüksek Basınç
 Küçük Oklar = Düşük Basınç

En iyi verimlilik noktasından daha düşük akış hızında çalışan tek salyangozlu pompada çarkı saran basınç, yüksek seviyeli titreşim, düşük hidrolik verim, hacim genişlemesine karşı yönde şafttaki sapma sonucu pompanın en iyi verimlilik noktasından daha az dengelenir (www.irrigationcraft.com).

5.1.Radyal itmeyi etkileyen pompa özellikleri

5.1.1.Difüzörler

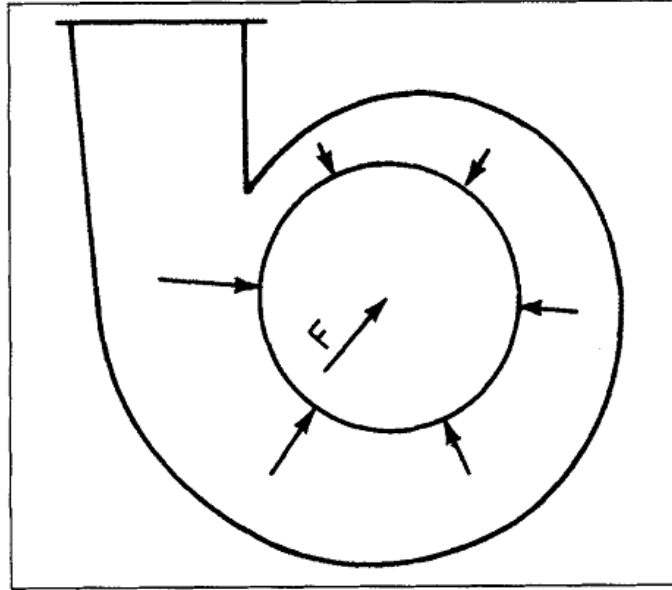
Difüzörler, çark çıkışında yüksek hızlı sıvıyı yavaşlatır ve sıvı enerjisini basınç enerjisine dönüştürür. Çarklı saran difüzörler, düşük titreşim seviyeleri, daha az radyal şaft sapmaları, çark çevresindeki hidrolik basınç kuvvetlerinin daha fazla dengelenmesi sonucu çarklı saran sabit hidrolik ortamı korur. Bu nedenle difüzörlerin çalışma aralığı geniştir.



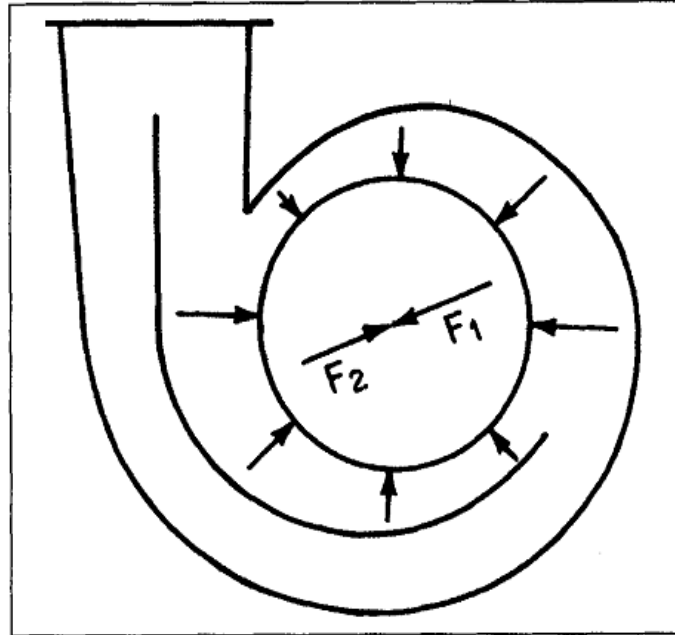
Şekil 5.4.Difüzör / Çark tasarımı

5.1.2.Salyangozlu pompalar

En basit ve en geniş kullanımı olan pompa tek salyangozlidir. Tek salyangozlu pompalar hızı ve kinetik enerjiyi basınca dönüştüren tek geçişten oluşur. Tek salyangozun bir geliştirilmiş 180° ayrı iki salyangozun birleştirilmesidir. Bu salyangozlar çark çevresinde meydana gelen basınç değişimleri ile oluşan dengelenmemiş kuvvetleri elimine eder, eşit ve zıt basınç dağılımı oluşturur.



Şekil 5.5. Tek salyangozlu pompalarda radyal itme



Şekil 5.6. Çift salyangozlu pompalarda radyal itme (Cullen, et al.).

Çift salyangozlu pompalar tek salyangozlu pompalardan daha düşük radyal itmeye sahiptir. Ancak çift salyangozlu pompalar teklerden daha pahalıdır, küçük boyutta yapılması daha zordur ve pompa verimleri daha düşüktür. Çift salyangozlu pompalar en iyi verimlilik noktasının altında uzun periyotlarda çalışılacağı zaman tercih edilir (www.peerlesspump.com).

5.1.3. Türbin pompalar

Türbin pompaları iki durum için hemen hemen hiç radyal itme oluşturmaz.

- Eş merkezli akış (concentric); bir türbin çarkı boyunca sıvı akış yolu eş merkezlidir. Sıvı aynı anda sürekli olarak tüm çark kanatçıkları boyunca eşit olarak akar. Her bir çark kanatçığı çıkışında sıvının miktarı tüm zamanlarda aynıdır. Salyangoz pompalarda sıvı her çark kanatçığı boyunca eşit olmayan hızda akar.

- Difüzör; türbin çarkı boyunca hareket eden sıvı, sıvı yavaşlatan bir difüzöre girer. Akış düzenli ve daha az türbülans olduğundan çarkı saran uniform basınç ortamı meydana gelir.

5.2. Radyal İtmenin Hesaplanması

Radyal kuvvetin (F_r) büyüklüğü, yaklaşık olarak aşağıdaki ampirik formülden hesaplanabilir.

$$F_r = K_r \cdot P \cdot d_2 \cdot b_2 \quad (5.1)$$

K_r = İtme faktörü

P = Pompa tarafından üretilen basınç, N/m^2

d_2 = Çarkın çapı, m

b_2 = Çarkın çıkış genişliği, m

Tek salyangozlu bir pompa için aşağıdaki değerlerle radyal itmeyi hesaplırsak;

$$K_r = 0,21$$

$$P = 54 N/m^2$$

$$d_2 = 0,55 \text{ m}$$

$$b_2 = 0,08 \text{ m}$$

$$F_r = 0,21 \cdot 54 \cdot 0,55 \cdot 0,08 = 0,5 \text{ N bulunur.}$$

5.3. Radyal İtmenin Dengelenmesi

Tek ve çok kademeli pompalarda radyal itmenin dengelenmesi için çift salyangoz kullanılabilir. Bu salyangozlar eşit ve zıt basınç dağılımı oluşturarak, çark çevresindeki basınç farklılıklarından dolayı oluşan radyal kuvvetleri dengeler.

Radyal itme, gövdenin bir parçası (örneğin 270° , salyangoz dilinden başlayan) sabit çapraz kesitli, geriye kalanı salyangoz şekle sahip, çalışan modifiye dairesel gövde tarafından da azaltılabilir (Lazerkiewicz and Troskolanski, 1965).

Diğer bir yöntem difüzör halkanın kullanılmasıyla radyal itmenin azaltılmasıdır. Çok kanatçıklı difüzör salyangozun çoklu hidrolik fonksiyonlarını ayırır. Çarkı saran difüzör kanatçığı hızı azaltır ve basınç enerjisine dönüştürür. Dönüş kanalı sıvıyı toplar ve diğer kademeye ya da pompa dışına yönlendirir. Difüzörlerin avantajı; teorik olarak tüm çalışma koşulları altında tam radyal denge sağlar (Cullen, et al.).

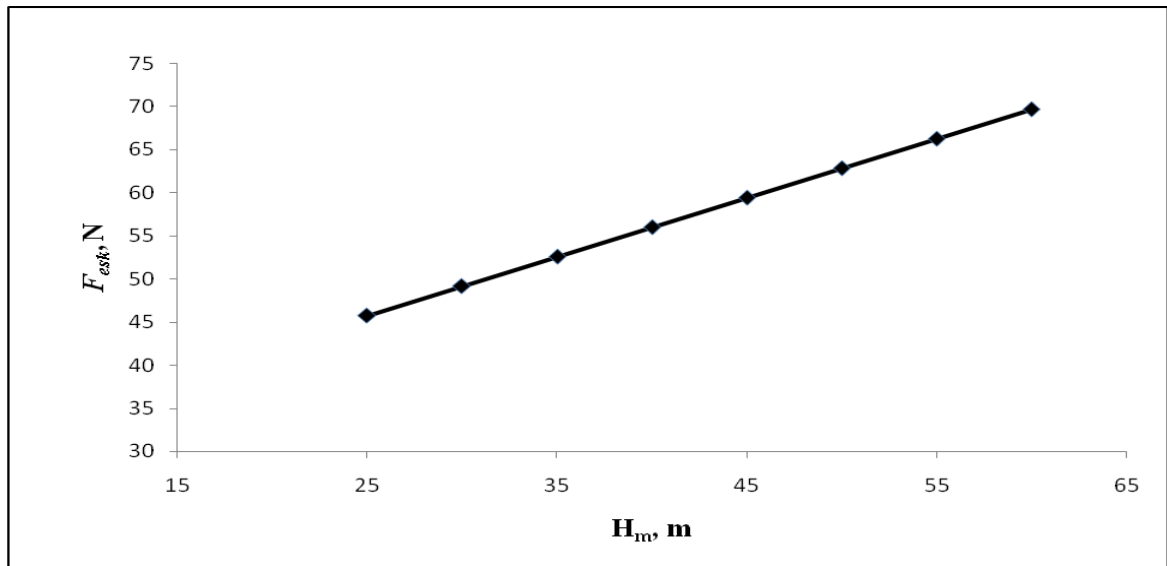
6.EKSENEL İTMENİN BAZI PARAMETRELERE (H_m , Q , r_2 , r_a) GÖRE HESAPLANMASI VE İNCELENMESİ

6.1.Basma Yüksekliğinin (H_m) Eksenel İtme Üzerine Etkisi

Basma yüksekliğinin (H_m) eksenel itme üzerine etkisi; debi (Q), çark basma kenarı yarıçapı (r_2), çark emme kenarı yarıçapı (r_a) ve mil yarıçapı (r_s) sabit tutularak incelendi.

Çizelge 6.1.Eksenel itmenin (F_{eks}) basma yükseliği (H_m) ile ilişkisi

| H_m , m | Q , m ³ /s | r_2 , m | r_a , m | r_s , m | w , 1/s | v , m/s | w_{aI} , 1/s | w_{aII} , 1/s | Y_a , m ² /s ² | F_I , N | F_{II} , N | F_{III} , N | F_{esk} , N |
|-----------|-------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------------|-----------------|--|-----------|--------------|---------------|---------------|
| 25 | 0,025 | 0,3 | 0,15 | 0,018 | 150 | 4 | 60 | 120 | 245,25 | 46,33 | 0,48 | 0,10 | 45,76 |
| 30 | 0,025 | 0,3 | 0,15 | 0,018 | 150 | 4 | 60 | 120 | 294,30 | 60,14 | 10,87 | 0,10 | 49,17 |
| 35 | 0,025 | 0,3 | 0,15 | 0,018 | 150 | 4 | 60 | 120 | 343,35 | 73,96 | 21,27 | 0,10 | 52,59 |
| 40 | 0,025 | 0,3 | 0,15 | 0,018 | 150 | 4 | 60 | 120 | 392,40 | 87,77 | 31,67 | 0,10 | 56,00 |
| 45 | 0,025 | 0,3 | 0,15 | 0,018 | 150 | 4 | 60 | 120 | 441,45 | 101,58 | 42,06 | 0,10 | 59,42 |
| 50 | 0,025 | 0,3 | 0,15 | 0,018 | 150 | 4 | 60 | 120 | 490,50 | 115,39 | 52,46 | 0,10 | 62,83 |
| 55 | 0,025 | 0,3 | 0,15 | 0,018 | 150 | 4 | 60 | 120 | 539,55 | 129,20 | 62,85 | 0,10 | 66,25 |
| 60 | 0,025 | 0,3 | 0,15 | 0,018 | 150 | 4 | 60 | 120 | 588,60 | 143,01 | 73,25 | 0,10 | 69,66 |



Şekil 6.1. $H_m - F_{eks}$ ilişkisi

Basma yüksekliğini arttırdığımızda çarkın ön ve arka yüzüne etkiyen basınç kuvvetleri (F_I ve F_{II}) artarken, akışkanın hızında ve debisinde bir değişme olmadığı için

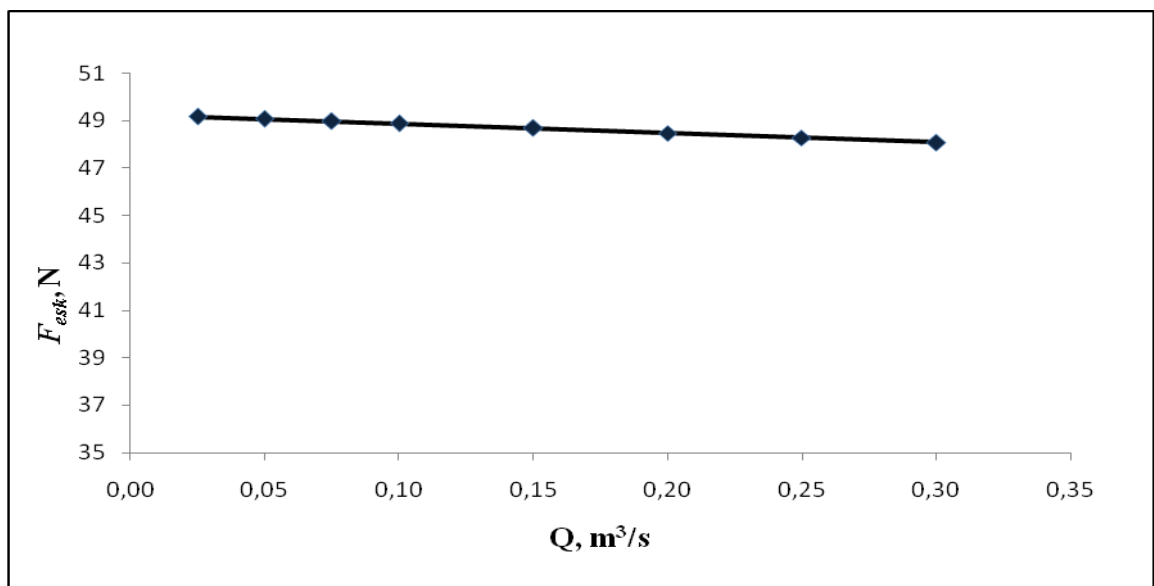
momentum kuvveti (F_{III}) değişmemektedir. F_I kuvveti yani çarkın arka yüzüne etkiyen basınç kuvveti daha fazla arttığından aksel kuvvet (F_{eks}) artış göstermektedir. Şekil 6.1.' de görüldüğü üzere basma yüksekliği ile aksel kuvvet doğru orantılı olarak değişmektedir.

6.2. Debinin (Q) Aksel İtme Üzerine Etkisi

Debinin (Q), aksel itme üzerine etkisi; basma yüksekliği (H_m), çark basma kenarı yarıçapı (r_2), çark emme kenarı yarıçapı (r_a) ve mil yarıçapı (r_s) sabit tutularak incelendi.

Çizelge 6.2. Aksel itmenin (F_{eks}) debi (Q) ile ilişkisi

| H_m , m | Q , m^3/s | r_2 , m | r_a , m | r_s , m | w , 1/s | v , m/s | w_{al} , 1/s | w_{all} , 1/s | \dot{Y}_a , m^2/s^2 | F_I , N | F_{II} , N | F_{III} , N | F_{eks} , N |
|-----------|---------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------------|-----------------|-------------------------|-----------|--------------|---------------|---------------|
| 30 | 0,025 | 0,3 | 0,15 | 0,018 | 150 | 4 | 60 | 120 | 294,30 | 60,14 | 10,87 | 0,10 | 49,17 |
| 30 | 0,050 | 0,3 | 0,15 | 0,018 | 150 | 4 | 60 | 120 | 294,30 | 60,14 | 10,87 | 0,20 | 49,07 |
| 30 | 0,075 | 0,3 | 0,15 | 0,018 | 150 | 4 | 60 | 120 | 294,30 | 60,14 | 10,87 | 0,30 | 48,97 |
| 30 | 0,100 | 0,3 | 0,15 | 0,018 | 150 | 4 | 60 | 120 | 294,30 | 60,14 | 10,87 | 0,40 | 48,87 |
| 30 | 0,150 | 0,3 | 0,15 | 0,018 | 150 | 4 | 60 | 120 | 294,30 | 60,14 | 10,87 | 0,60 | 48,67 |
| 30 | 0,200 | 0,3 | 0,15 | 0,018 | 150 | 4 | 60 | 120 | 294,30 | 60,14 | 10,87 | 0,80 | 48,47 |
| 30 | 0,250 | 0,3 | 0,15 | 0,018 | 150 | 4 | 60 | 120 | 294,30 | 60,14 | 10,87 | 1,00 | 48,27 |
| 30 | 0,300 | 0,3 | 0,15 | 0,018 | 150 | 4 | 60 | 120 | 294,30 | 60,14 | 10,87 | 1,20 | 48,07 |



Şekil 6.2. Q – F_{eks} ilişkisi

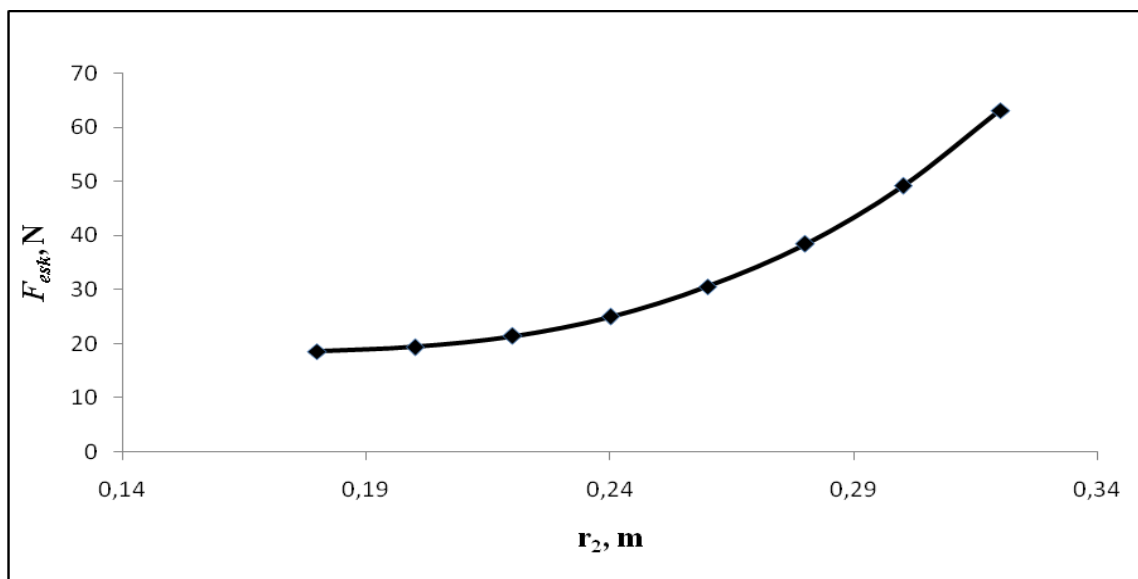
Debiyi arttırdığımızda momentum kuvveti (F_{III}) de artmaktadır. Ancak bu artış çok az miktarda olduğundan aksenal kuvvetin değişimine etkisi de çok az olmaktadır. Şekil 6.2.'de görüldüğü gibi aksenal itme ile debi ters orantılı değişmekte ancak debiyi 12 kat arttırmamıza rağmen, aksenal itme 1,5 kat bile azalmamıştır.

6.3.Çark Basma Kenarı Yarıçapının (r_2) Aksenal İtme Üzerine Etkisi

Çark basma kenarı yarıçapının (r_2) aksenal itme üzerine etkisi; debi (Q), basma yüksekliği (H_m), çark emme kenarı yarıçapı (r_a) ve mil yarıçapı (r_s) sabit tutularak incelendi.

Çizelge 6.3.Aksenal itmenin (F_{eks}) çark basma kenarı yarıçapının (r_2) ile ilişkisi

| H_m , m | Q , m ³ /s | r_2 , m | r_a , m | r_s , m | w , 1/s | v , m/s | w_{al} , 1/s | w_{all} , 1/s | Y_a , m ² /s ² | F_I , N | F_{II} , N | F_{III} , N | F_{esk} , N |
|-----------|-------------------------|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------------|-----------------|--|-----------|--------------|---------------|---------------|
| 30 | 0,025 | 0,18 | 0,15 | 0,018 | 150 | 4 | 60 | 120 | 294,30 | 26,73 | 8,04 | 0,10 | 18,59 |
| 30 | 0,025 | 0,20 | 0,15 | 0,018 | 150 | 4 | 60 | 120 | 294,30 | 32,22 | 12,71 | 0,10 | 19,41 |
| 30 | 0,025 | 0,22 | 0,15 | 0,018 | 150 | 4 | 60 | 120 | 294,30 | 37,90 | 16,35 | 0,10 | 21,44 |
| 30 | 0,025 | 0,24 | 0,15 | 0,018 | 150 | 4 | 60 | 120 | 294,30 | 43,66 | 18,51 | 0,10 | 25,05 |
| 30 | 0,025 | 0,26 | 0,15 | 0,018 | 150 | 4 | 60 | 120 | 294,30 | 49,38 | 18,68 | 0,10 | 30,59 |
| 30 | 0,025 | 0,28 | 0,15 | 0,018 | 150 | 4 | 60 | 120 | 294,30 | 54,92 | 16,33 | 0,10 | 38,49 |
| 30 | 0,025 | 0,30 | 0,15 | 0,018 | 150 | 4 | 60 | 120 | 294,30 | 60,14 | 10,87 | 0,10 | 49,17 |
| 30 | 0,025 | 0,32 | 0,15 | 0,018 | 150 | 4 | 60 | 120 | 294,30 | 64,88 | 1,67 | 0,10 | 63,11 |



Şekil 6.3. $r_2 - F_{eks}$ ilişkisi

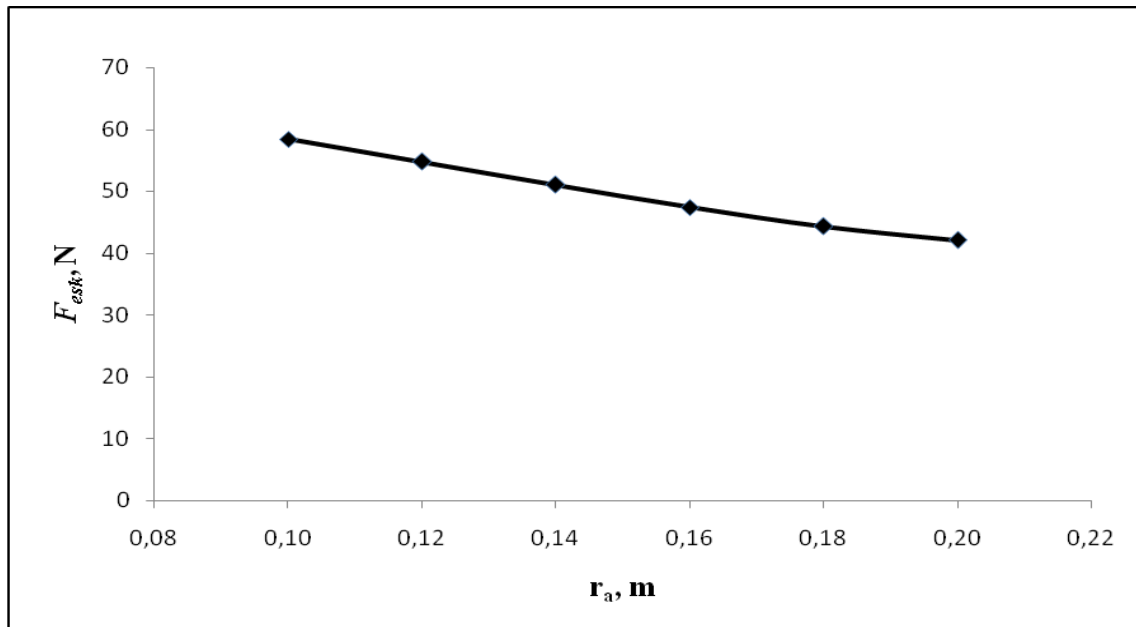
Çarkın basma kenarı yarıçapını (r_2) yaklaşık 2 kat arttırdığımızda, aksenal itmenin artarak arttığı görülmektedir (Şekil 6.3.). Basma kenarı yarıçapının ön ve arka yüze etkileyen basınç kuvvetlerini büyük oranda etkilendiğinden dolayı aksenal itmeye etkisi fazladır.

6.4.Çark Emme Kenarı Yarıçapının (r_a) Aksenal İtme Üzerine Etkisi

Çark emme kenarı yarıçapının (r_a) aksenal itme üzerine etkisi; debi (Q), basma yüksekliği (H_m), çark basma kenarı yarıçapı (r_2) ve mil yarıçapı (r_s) sabit tutularak incelendi.

Çizelge 6.4.Aksenal itmenin (F_{eks}) çark emme kenarı yarıçapının (r_a) ile ilişkisi

| H_m , m | Q, m ³ /s | r_2 , m | r_a , m | r_s , m | w, 1/s | v, m/s | w_{al} , 1/s | w_{all} , 1/s | Y_a , m ² /s ² | F_I , N | F_{II} , N | F_{III} , N | F_{esk} , N |
|-----------|----------------------|-----------|-------------|-----------|--------|--------|----------------|-----------------|--|-----------|--------------|---------------|---------------|
| 30 | 0,025 | 0,30 | 0,10 | 0,018 | 150 | 4 | 60 | 120 | 294,30 | 60,14 | 1,58 | 0,10 | 58,46 |
| 30 | 0,025 | 0,30 | 0,12 | 0,018 | 150 | 4 | 60 | 120 | 294,30 | 60,14 | 5,26 | 0,10 | 54,79 |
| 30 | 0,025 | 0,30 | 0,14 | 0,018 | 150 | 4 | 60 | 120 | 294,30 | 60,14 | 9,03 | 0,10 | 51,01 |
| 30 | 0,025 | 0,30 | 0,16 | 0,018 | 150 | 4 | 60 | 120 | 294,30 | 60,14 | 12,63 | 0,10 | 47,41 |
| 30 | 0,025 | 0,30 | 0,18 | 0,018 | 150 | 4 | 60 | 120 | 294,30 | 60,14 | 15,72 | 0,10 | 44,32 |
| 30 | 0,025 | 0,30 | 0,20 | 0,018 | 150 | 4 | 60 | 120 | 294,30 | 60,14 | 17,95 | 0,10 | 42,10 |



Şekil 6.4. $r_a - F_{eks}$ ilişkisi

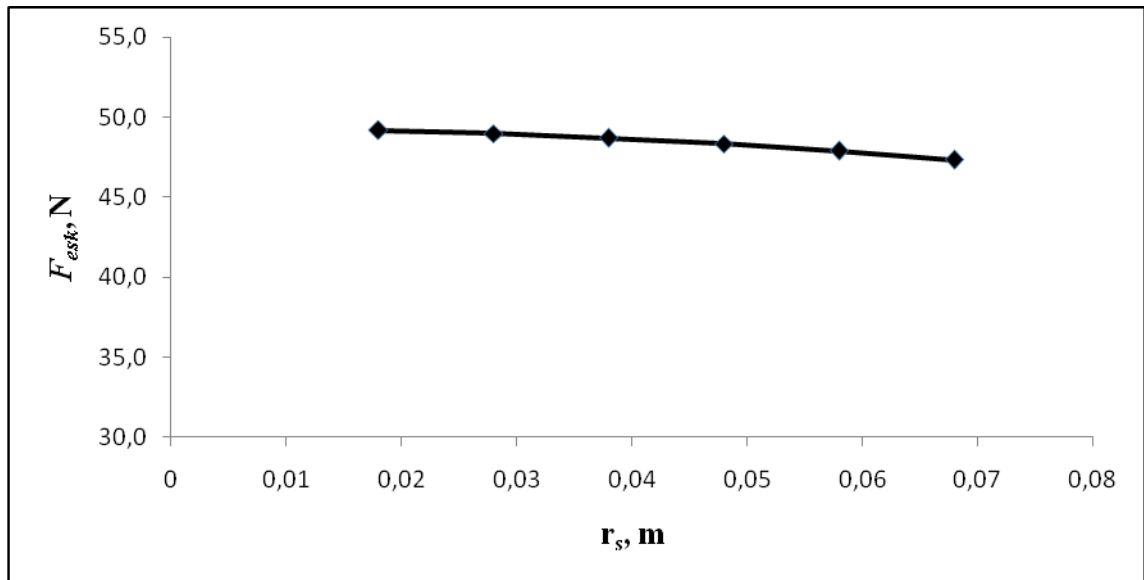
Emme kenarı yarıçapını (r_a) 2 kata kadar arttırdığımızda, çarkın ön yüzüne etki eden basınç kuvveti artarken çarkın arka yüzüne etki eden basınç kuvveti değişmemektedir. Debide de bir değişim olmadığından momentum kuvveti de sabit kalmaktadır. Dolayısıyla ön yüze etki eden basınç kuvveti ters yönde olduğundan aksel itmeye de ters etki yapmaktadır (Şekil 6.4.).

6.5.Mil Yarıçapının (r_s) Aksel İtme Üzerine Etkisi

Mil yarıçapının (r_s) aksel itme üzerine etkisi; debi (Q), basma yüksekliği (H_m), çark basma kenarı yarıçapı (r_2) ve çark emme kenarı yarıçapı (r_a) sabit tutularak incelendi.

Çizelge 6.5.Eksel itmenin (F_{eks}) mil yarıçapı (r_s) ile ilişkisi

| H_m , m | Q , m ³ /s | r_2 , m | r_a , m | r_s , m | w , 1/s | v , m/s | w_{al} , 1/s | w_{all} , 1/s | Y_a , m ² /s ² | F_I , N | F_{II} , N | F_{III} , N | F_{esk} , N |
|-----------|-------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------------|-----------------|--|-----------|--------------|---------------|---------------|
| 30 | 0,025 | 0,30 | 0,15 | 0,018 | 150 | 4 | 60 | 120 | 294,30 | 60,14 | 10,87 | 0,10 | 49,17 |
| 30 | 0,025 | 0,30 | 0,15 | 0,028 | 150 | 4 | 60 | 120 | 294,30 | 59,95 | 10,87 | 0,10 | 48,98 |
| 30 | 0,025 | 0,30 | 0,15 | 0,038 | 150 | 4 | 60 | 120 | 294,30 | 59,67 | 10,87 | 0,10 | 48,70 |
| 30 | 0,025 | 0,30 | 0,15 | 0,048 | 150 | 4 | 60 | 120 | 294,30 | 59,31 | 10,87 | 0,10 | 48,33 |
| 30 | 0,025 | 0,30 | 0,15 | 0,058 | 150 | 4 | 60 | 120 | 294,30 | 58,85 | 10,87 | 0,10 | 47,88 |
| 30 | 0,025 | 0,30 | 0,15 | 0,068 | 150 | 4 | 60 | 120 | 294,30 | 58,30 | 10,87 | 0,10 | 47,32 |



Şekil 6.5. $r_s - F_{eks}$ ilişkisi

Mil yarıçapını arttırdığımızda formül (4.5)'e göre çarkın arka tarafına etkiyen basınç kuvveti (F_t) azalmaktadır. Mil yarıçapını (r_s) 4 kata yakın arttırdığımız halde aksenal itme kuvveti 1,5 kat bile azalmamaktadır. Yani mil yarıçapının aksenal itmeye etkisi yok denecek kadar azdır.

7.SONUÇ

Pompalarda emme ve basma bölgesi arasındaki basınç farklılıklarından dolayı aksenal itme oluşur. Oluşan bu kuvvetler pompanın tüm hareketli parçalarına etki ettiğinden dolayı bazı ilave donanımlarla bu kuvvetlerin dengelenmesi gerekir. Delikler, çubuklar, kanatlar, borular, sızdırmazlık bileziği, diskler ve silindirler dengeleme için kullanılan yöntemlerdir.

Bu yöntemlerden dengeleme delikleri hem tek kademeli pompalarda hem de çok kademeli pompalarda aksenal itmenin dengelenmesi için kullanılan en yaygın yöntemdir. Kirli ve korozif sular için kullanılan pompalarda dengeleme çubukları sıklıkla kullanılırken, temiz su pompalarında pek tercih edilmezler. Çarkın arka yüzeyi ile gövde arasındaki boşluğu yabancı materyallerden koruduğu için genellikle kumlu suların iletilmesinde kullanılan pompalarda dengeleme için eğimli kanatlar tercih edilir. Büyük pompalarda aksenal itmenin dengelenmesi için ise borular kullanılır.

Çok kademeli pompalarda aksenal itmenin dengelenmesi için dengeleme silindirleri, dengeleme diskleri veya her ikisi de birlikte kullanılabilir. Yapısal basitliği ve salmastra bileziği üzerindeki basıncı azaltmaları disklerin avantajı olarak sayılabilirken; sadece temiz sularda kullanılması, şaftın izin verilebilir aksenal hareketi aşıldıktan sonra pompaya zarar verebilecek sürtünmelere neden olması ve emme sonunda hareketli parçaların yıpranmaması için sabit denetim gerektirmesi dezavantajlarındandır.

Pompa çarkının silindirik yüzeyinin yan kesitindeki basınç farklılıklarından dolayı oluşan dengesiz kuvvete radyal itme denir. Verimliliğin maksimum olduğu durumlarda radyal itme en azdır. Çift salyangozlu pompalar tek salyangozlu pompalardan daha düşük radyal itmeye maruz kaldığından tek ve çok kademeli pompalarda radyal itmenin dengelenmesi için kullanılırlar. Radyal itmenin dengelenmesi için tercih edilen diğer bir yöntem ise difüzör halkanın kullanılmasıdır. Difüzörlerin en önemli avantajı teorik olarak tüm çalışma koşullarında radyal denge sağlamasıdır.

Sonuç olarak; pompalarda aksenal ve radyal kuvvetler göz önünde bulundurularak tasarım yapılmalıdır.

8.KAYNAKLAR DİZİNİ

Altunok, N.G., 2005, Endüstriyel hidrolik, Ege Basım, İstanbul

Boztaş, M., 2006, Mekanik kontrollü bir hidrolik sistemin elektrik kontrollü hale çevrilmesi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, 58s.

Cullen, D.,Rush, S. and Madison, J., Radial and axial diffusers for submerged electric motor-driven pumps, Ebara International Corporation Cryodynamics Division, USA.

ÇALLI, İ., 1986, Santrifüj bir pompa salyangozu çıkışında yapılan ölçmeler ve salyangoz dili etkisinin deneysel olarak incelenmesi, Doktora Tezi, Yıldız Üniversitesi.

Çallı, İ., 2011, Santrifüj pompa hesabı ve çizimi, Sakarya Üniversitesi.

Edis, K. Ve Tekin, Y., 1978, Akım makinaları, Çeviri. İTÜ Yayını.

Erek, A., 2007, Yarı eksenel santrifüj pompanın hidrodinamik analizi ve tasarımı, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, 53s.

Gantar, M., Florjancic, D. and Sirok, B., 2001, Hydraulic axial thrust in multistage-origins and solutions, ASME Fluids Engineering Division Summer Meeting, New Orleans.

Kaya, M., 2009, Santrifüj pompa performansının sayısal analizi, İTÜ Enerji Enstitüsü, İstanbul.

Keskin, R. ve Güner, M., 2007, Su çıkartma makinaları, Ankara Üniversitesi Basımevi, Ankara, 303s.

Lazerkiewicz, S. and Troskolanski, A., 1965, İmpeller Pumps, Pergamon Press, New York, 648s.

Marti, O., 2006, Santrifüj pompalarının genel tasarımının incelenmesi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, 106 s.

7.KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

MEB, 1994, Pompaların çalışmasını kavrama (Çeviri), Milli Eğitim Bakanlığı Yayınları, Ankara

MEB, 1994, Hidrolik Arıza arama Becerisini Geliştirme (Çeviri), Milli Eğitim Bakanlığı yayınları, Ankara

Pfleiderer, C., 1961, Die Kreiselpumpen für flüssigkeiten und gase, 5. Auflage, Springer Verlag.

ROHNER, P., 1994, Endüstriyel hidrolik kontrol, Milli Eğitim Bakanlığı Yayınları, Ankara

Schaefer, G. And Olson, E., 1999, Experimental evaluation of axial thrust in pumps, Elsevier Science Ltd.

Wilk, A., 2009, Laboratory investigations and theoretical analysis of axial thrust problem in high rotational speed pumps, Institute of Power Engineering and Turbomachinery Silesian University of Technology, 13s.

<http://www.slidefinder.net/p/pompalar>

<http://www.superbilgiler.com>

<http://www.bilgiustam.com>

<http://www.wilo.com.tr>

<http://tr.wikipedia.org/wiki/Pompa>

<http://www.arpon.com.tr>

<http://www.gidb.itu.edu.tr>

<http://www.irrigationcraft.com>

<http://www.pompaakademisi.com>

<http://www.peerlesspump.com>