

T.C.
GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK VİSKOZİTELİ AKIŞKANLAR İÇİN
PNÖMATİK POMPA GELİŞTİRİLMESİ

Süleyman ÖZKAN
YÜKSEK LİSANS TEZİ
TASARIM VE İMALAT MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİMDALI

GEBZE
2003

T.C.
GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK VİSKOZİTELİ AKIŞKANLAR İÇİN
PNÖMATİK POMPA GELİŞTİRİLMESİ

Süleyman ÖZKAN
YÜKSEK LİSANS TEZİ
TASARIM VE İMALAT MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

TEZ DANIŞMANI
Doç. Dr. Fehmi ERZİNCANLI

GEBZE
2004

Süleyman Özkan'ın tez çalışması, G.Y.T.E. Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun tarih ve/..... sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından Tasarım ve İmalat Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE : Doç. Dr. Fehmi Erzincanlı
(Tez Danışmanı)

ÜYE : Yrd. Doç. Dr. Babür Özçelik

ÜYE : Yrd. Doç. Dr. İlyas Kandemir

ONAY

G.Y.T.E. Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun tarih ve/..... sayılı kararı.

İmza/Mühür

ÖZET

Yüksek viskoziteli sıvı akışkanların taşınmasında çoğunlukla hava tahrikli çift diyafram pompalar kullanılır. Hava tahrikli çift diyafram pompa basınçlı havayı güç kaynağı olarak kullanır. Bundan dolayı elektriğin mevcut olmadığı veya elektrik kullanımının yasak ve tehlikeli olduğu her iki alanda kullanılabilir. Kendilerini otomatik çalışmaya hazırlar ve zarar vermeden kuru çalışırlar. Bu pompalar aynı zamanda farklı derecede değişken akış kontrol özellikleri ve viskoz akışkanların hem geniş oranını hem de korozyif veya katı parçacıklar içeren ortamları işleme yeteneğine sahiptirler. Hava tahrikli çift diyafram pompalar santrifüj veya pozitif iletimli pompalardan daha çok yönlüdür ve çalıştığı ortamı kirletmeyen temiz uygulamalar sunarlar.

Hava tahrikli çift diyafram pompaların anahtar parçaları hava dağıtım valfi, pilot valf ve diyaframlardır. Bu çalışmada hava dağıtım valfi ve pilot valfin işlevini yapabilecek yeni bir tasarım geliştirilmiştir. Yeni tasarımın avantajları minimum parça sayısı, kullanışlı valf tasarımı ve düşük maliyete sahip olmasıdır. Çalışmanın sonunda yeni tasarım su ile başarılı olarak test edilmiştir.

SUMMARY

Air operated double diaphragm pumps (AODD) which to transfer high viscosity liquid are used mostly. The AODD pump uses compressed air as its power source and therefore can be used in areas either where electricity simply isn't available, or in hazardous areas where electrical supplies are forbidden. They are self priming and run dry without damage. These pumps also feature infinitely variable flow control, and the ability to handle a wide range of fluid viscosities as well as abrasive or solid laden media. This gives AODD pumps greater versatility than centrifugal or positive displacement pumps and offers pollution-free operation.

The key components in the AODD pump are the air distribution valve, pilot valve and diaphragms. In this study, a new design was developed for air distribution valve and pilot valve which will make their functions. The new design advantages include at least equipment number, the air valve serviceable and low cost. In result of the study, the new design was tested as successful with the water.

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans tezimin hazırlanması süresince her türlü kolaylıkları sağlayan, yol gösteren ve gerekli izinleri sağlayan tez yöneticisi Sayın Doç. Dr. Fehmi Erzincanlı'ya teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek Lisans çalışmamın başından sonuna kadar ki tüm aşamalarda gösterdikleri yakın ilgi ve desteklerden dolayı Tasarım ve İmalat Mühendisliğinde görevli tüm Sayın hocalarımıza ve Araştırma görevlisi arkadaşlara ;

Tez çalışmamda, desteklerini esirgemeyen Sayın Araş. Gör. Oğuz Kayabaşı'na, Araş. Gör. Bülent Kaya, Araş. Gör. Mehmet Ermurat, Araş. Gör. İsmail Bican ve Teknisyen Selahattin Uysal'a teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak da bana manevi destek olmalarından dolayı sevgili aileme teşekkürlerimi belirtmek isterim.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	iv
SUMMARY	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
1. GİRİŞ	1
1.1. Pompaların Sınıflandırılması	3
2. YÜKSEK VİSKOZİTE POMPALARI	6
2.1. Viskozite	7
2.2. Akışkan Tipleri	9
2.2.1. Newtonsal Akışkanlar	9
2.2.2. Newtonsal Olmayan Akışkanlar	10
2.2.2.1. Zamandan Bağımsız Davranışlar	10
2.2.2.2. Zaman Bağımlı Davranışlar	11
3. HAVA TAHRİKLİ ÇİFT DİYAFRAM POMPALAR	13
3.1. Pompanın Yapısı ve Parçaları	15
3.1.1. Hava Odası	16
3.1.2. Hava Dağıtım Sistemi	16
3.1.3. Diyafram Bağlantı Kapağı	16
3.1.4. Diyafram Bağlantı Pistonu	16
3.1.5. Çek Valf Sistemi ve Çek Valf Topu	17
3.1.6. Çek Valf Yatağı	17
3.1.7. Sıvı Çıkış Manifoltu	18
3.1.8. Sıvı Odası	18

3.1.9. Diyafram	18
3.1.10. Sıvı Giriş Manifoldu	18
3.2. Pompanın Çalışma Sistemi	19
3.3. Pompalanan Akışkanlar	22
3.4. Diyafram Seçimi ve Malzemeleri	23
3.4.1. Elastomer Malzemeler	23
3.4.1.1. Kauçuk Bileşimler	24
3.4.1.2. Termoplastik Bileşimler	26
3.4.1.3. Teflon Bileşimler	27
3.5. Hava Tahrikli Çift Diyafram Pompa Çeşitleri	28
3.5.1. Metal Pompalar	29
3.5.2. Plastik Pompalar	30
3.5.3. Paslanmaz Çelik Pompalar	31
3.5.4. Toz Pompalar	33
3.5.5. Yüksek Basınç Pompaları	33
3.5.6. Varil Pompalar	34
3.5.7. Çift Yönde Etkili Pompalar	35
3.6. Kurulum ve Bakım	35
3.7. Yaşam Döngüsü ve Maliyetleri	37
3.8. Hava Tahrikli Çift Diyafram Pompa Seçerken Dikkat Edilecek Hususlar	38
4. YENİ GELİŞTİRİLEN ÇALIŞMA SİSTEMİ	40
4.1. Yeni Tasarımın Parçaları ve Yapısı	41
4.1.1. Hava Dağıtım ve Pilot Yönlendirme Sürgüsü	42
4.1.2. Hava Valf Gövdesi	44
4.1.3. Pompa Gövdesi	45
4.1.4. Hava Odası İç Duvar Kapağı	46
4.1.5. Hava Odası Yan Duvar Kapağı	48
4.1.6. Yeni Tasarımın Montajı	49
4.2. Yeni Tasarımın Çalışma Sistemi	50

4.3. Yeni Tasarımın Avantajları	54
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	55
KAYNAKLAR	56
ÖZGEÇMİŞ	57
EKLER	

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklaması</u>	<u>Birim</u>
μ	Viskozite	Ns/m ² , Pa.s
ν	Kinematik viskozite	m ² /s
τ	Kayma gerilimi	N/m ²
ρ	Yoğunluk	kg/m ³
u	Hız	m/s
F	Kuvvet	N
y	Uzunluk	m
T	Sıcaklık	°C
kPa	Kilopaskal	10 ³ Pa
p	Poise	
cp	Centipoise	
St	Stokes	
cSt	Centistokes	

Kısaltmalar

HTÇD	Hava Tahrikli Çift Diyafram
AODD	Air Operated Double Diaphragm
CGS	Metrik ölçü sistemi
SI	International System of Units (Uluslar arası birim sistemi)
PTFE	Polytetrafluoroethylene (Teflon)
FKM	Florokarbon Kauçuk
EPDM	Etilen Propilen Kauçuk
ASTM	The American Society for Testing and Materials
TPE	Termoplastik Elastomerler
CIP	Clean in Place (Temiz yer)
SIP	Sterilise in place (Sterilize yer)
NSPH	Net Positive Suction Head (Net Pozitif Emiş Yüksekliği)
ANSI	American National Standards Institute
DIN	German Institute for Standardization

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
1.1. Dinamik Pompaların Sınıflandırılması	4
1.2. İletimli Pompaların Sınıflandırılması	5
2.1. Yüksek Viskozite İçin Pompaların Karşılaştırılması	6
2.2. İki Paralel Levha Arasındaki Akışkanın Deformasyonu ve Hız Gradyanı Oluşumu	7
2.3. Çeşitli Newtonsal Olmayan Zamandan Bağımsız Akışkanların Davranışları	11
2.4. Kaymanın Süresine Bağımlı Newtonsal Olmayan Akışkanların Davranışları	12
3.1. Hava Tahrikli Çift Diyafram Pompa Tipi Örnekleri	14
3.2. Hava Tahrikli Çift Diyafram Pompanın Kesit Resmi	15
3.3. Hava Tahrikli Çift Diyafram Pompanın Çalışma Sistemi	20
3.4. Kapaklı Valf Sistemine Sahip HTÇD Pompanın Çalışma Sistemi	21
3.5. HTÇD Pompanın Farklı Kurulum Şekilleri	36
3.6. HTÇD Pompanın Bağlantı Sisteminin Şematik Resmi	36
4.1. Yeni Geliştirilen HTÇD Pompanın Yapısı ve Parçaları	41
4.2. Yeni Tasarlanan Valf Sürgüsü	42
4.3. Yeni Tasarlanan Valf Sürgüsünün İmal Edilmiş Hali	43
4.4. Kriter Alınan Pompanın Çalışma Sistemi	43
4.5. Hava Valf Gövdesinin İmalat Resmi	44
4.6. Hava Valf Gövdesinin İmal Edilmiş Hali	45
4.7. Pompa Gövdesi İmalat Resmi	45
4.8. Pompa Gövdesi İmal Edilmiş Hali	46
4.9. Hava Odası İç Duvarının İmalat Resmi	47
4.10. Hava Odası İç Duvarının İmal Edilmiş Hali	47
4.11. Hava Odası Yan Duvar Kapağının İmalat Resmi	48
4.12. Hava Yan Duvar Kapağının İmal Edilmiş Hali	48
4.13. Yeni Tasarımın Montaj İşlemi Yapılmış Hali	50
4.14. Yeni Tasarımın Çalışma Sistemi	51
4.15. Valf Sürgüsü'nün I no'lu Konumu	52

4.16. Valf Sürgüsü'nün II no'lu Konumu	53
4.17. Pompanın İlk Çalıştırma Denemesi	54

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Cizelge</u>	<u>Sayfa</u>
3.1. Kauçuk bileşimlerin sıcaklık limitleri	24
3.2. Termoplastik bileşimlerin sıcaklık limitleri	26
3.3. Teflon malzemenin sıcaklık limitleri	28
3.4. Paslanmaz çelik 304, 316 ve 316L'nin bileşenleri	32

1. GİRİŞ

En eski buluş olarak bilinen pompa, günümüzde elektrik motorundan sonra en çok kullanılan makine olarak ikinci sırada gelmektedir [Karassik et al, 1996]. Modern çağda bilimsel ve teknolojik araştırmaların büyük bir ivme kazanması ile her sektörde olduğu gibi pompa üretim sektöründe de büyük gelişmeler olmuştur. Çok uzun zamandır yaygın olarak kullanılan pompalar son zamanlarda, uygulamalar için seçim yaparken güçlüklerle karşılaşmaktadır. Bu güçlükler, sınırsız sayıdaki değişik tip ve boyutlar, ayrıca birbiriyle ilişkili sınırsız sayıdaki çeşit ve servis uygulamaları denilebilir.

Yüksek viskoziteli sıvıların taşınmasında kullanılan pompalar; uygulama alanlarının genişliği, pompalama metotları, düşük maliyet ve servis gereksinimlerine göre karşılaştırıldığında Hava Tahrikli Çift Diyafram (HTÇD) pompaların (Air Operated Double Diaphragm) bu gereksinimleri karşıladığı görülmüştür.

Bu çalışmada yüksek viskoziteli sıvıların taşınmasında hali hazırda kullanımda olan hava tahrikli çift diyafram pompaların hava dağıtım sistemlerinden oldukça farklı, basit ve düşük maliyetli yeni bir tasarım geliştirilmiştir. Hava dağıtım sistemi pompanın emme ve boşaltma stroklarının oluşmasını sağlayan mekanizmalardır. Ayrıca bu sistemler pompanın kalbi olarak da nitelendirilir.

Hava tahrikli çift diyafram pompalar santrifüj ve pozitif iletimli pompalara alternatif sızdırmazlık sağlamaktadırlar. Sıkıştırılmış havadan tam güç alarak çalışma, kendilerini otomatik işleme hazırlama, zarar vermeden kuru çalışma (non lube) ve elektriğe ihtiyaç duymamaları diğer pompalardan farklı kılan özellikleridir. Elektrik kullanımının tehlikeli olduğu veya kullanılmaması gerektiği durumlarda, örneğin tehlikeli, patlayıcı veya parlayıcı ve uzak yerlerdeki uygulamalar için önemlidir [Roze, 2002].

Doğal elastomer malzemelerden daha üstün özelliklere sahip elastomer bileşimlerin geliştirilmesi ile diyafram tasarımları ve tasarım ilkelerinde dikkate değer gelişmeler görülmüştür. Buna bağlı olarak kullanım alanları kimyasal maddeler, gıda işleme, boyalar, elektronik sanayisi, yapı sanayisi, endüstriyel bakım, kamu hizmetleri, madencilik, atık su katı-sıvı karışımlar vb. içeren sıvıların taşınmasında kullanılacak şekilde artmaktadır.

Bu çalışma kapsamında Endüstride yaygın olarak kullanılan pompaların sınıflandırılması ve hava tahrikli çift diyafram pompaların bu sınıflandırmada hangi grupta yer aldığı verilmiştir. HTÇD pompalar çoğunlukla yüksek viskoziteli sıvı akışkanlar ve ayrıca geniş bir sıvı akışkan aralığında kullanılmaktadır. Bu doğrultuda viskozite ve akışkan tipleri detaylı bir şekilde incelenmiştir. Hava tahrikli çift diyafram pompaların yapısını oluşturan parçalar, çalışma sistemi ve avantajları belirtilmiştir. HTÇD pompanın önemli bir parçası olan ve pompa elastomerleri olarak isimlendirilen diyaframların yapı malzemeleri, çeşitleri ve diyafram seçimi detaylı bir şekilde incelenmiştir.

Hava tahrikli çift diyafram pompalar, ilk etapta çalışma sistemini oluşturan çek valf tiplerine göre iki ana grupta ayrılır ve ikinci grupta pompalanan sıvı akışkanın tipine göre sınıflandırılması verilmiştir. Ayrıca HTÇD pompalar, yapıldıkları malzemelerin özelliklerine göre çeşitlerine ayrılabilir. Hava tahrikli çift diyafram pompaların çeşitlerine göre uygulama alanları, HTÇD pompaları seçerken dikkat edilecek hususlar ve optimum çalışma için yapılması gerekenler detaylı olarak incelenmiştir.

Yeni tasarımın geliştirme işlemine başlanılmadan önce bazı nicelikler hedef olarak belirlenmiştir. Bu niceliklere göre geliştirilen tasarımlardan, belirlenen hedeflere en uygun olanı seçilerek deney olarak yapılmıştır. Yeni tasarımın yapısı, parçaları ve çalışma sistemi detaylı bir şekilde belirtilmiştir. Bu çalışmanın sonucunda yeni tasarımın avantajları, eksiklikleri ve öneriler kısmında yapılması gerekenli görülen iyileştirme işlemleri belirtilmiştir.

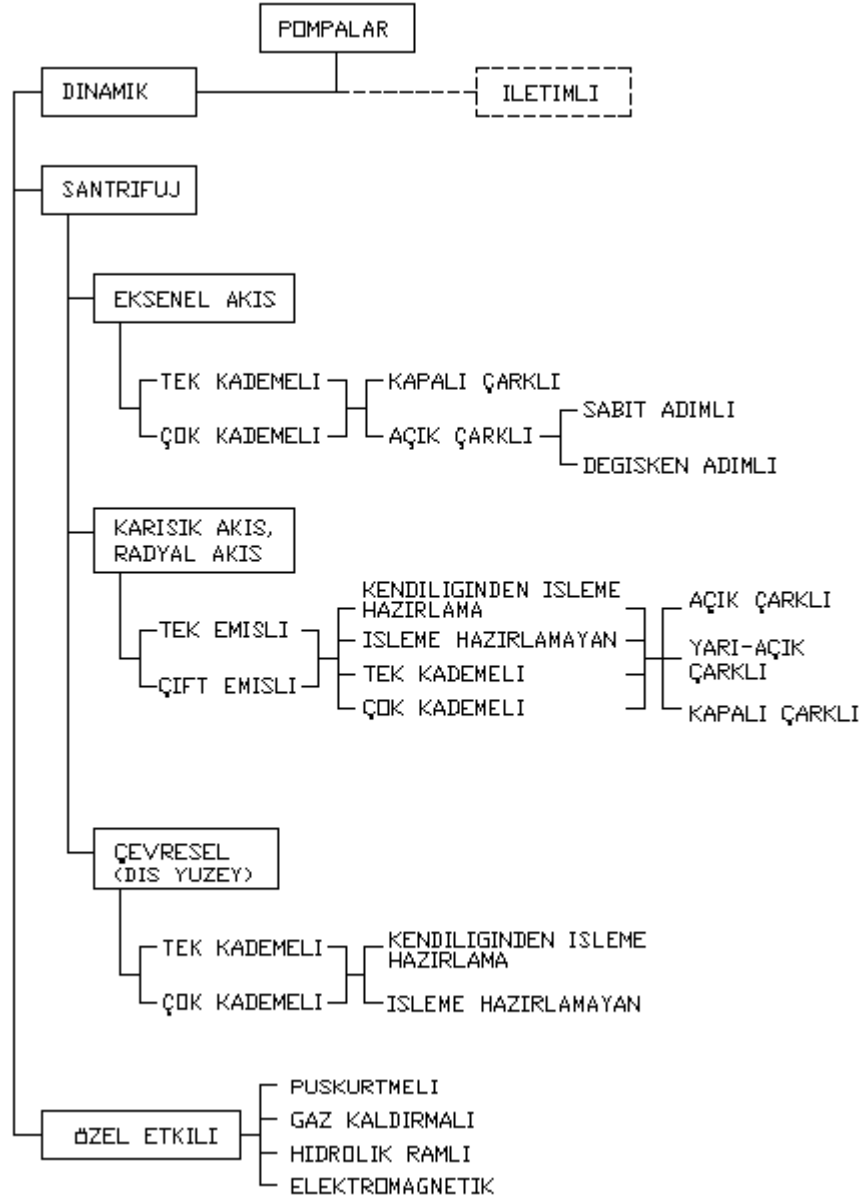
1.1. Pompaların Sınıflandırılması

Pompalar, onları oluşturan elemanların malzemesi, kullanıldıkları sıvılar, içerisine aldıkları sıvıları yönlendirmeleri ve hizmet verdikleri uygulamaların temelleri üzerine sınıflandırılabilir. Tüm sınıflandırmalarda, birbirlerini kapsama ve birbirleriyle örtüşme eğilimleri sınırlandırılmıştır. Bundan dolayı sınıflandırma pompanın kendisi ile ilgilidir ve pompa için düşünülen herhangi harici ekipman veya onun yapıldığı malzemelerle ilişkisi yoktur.

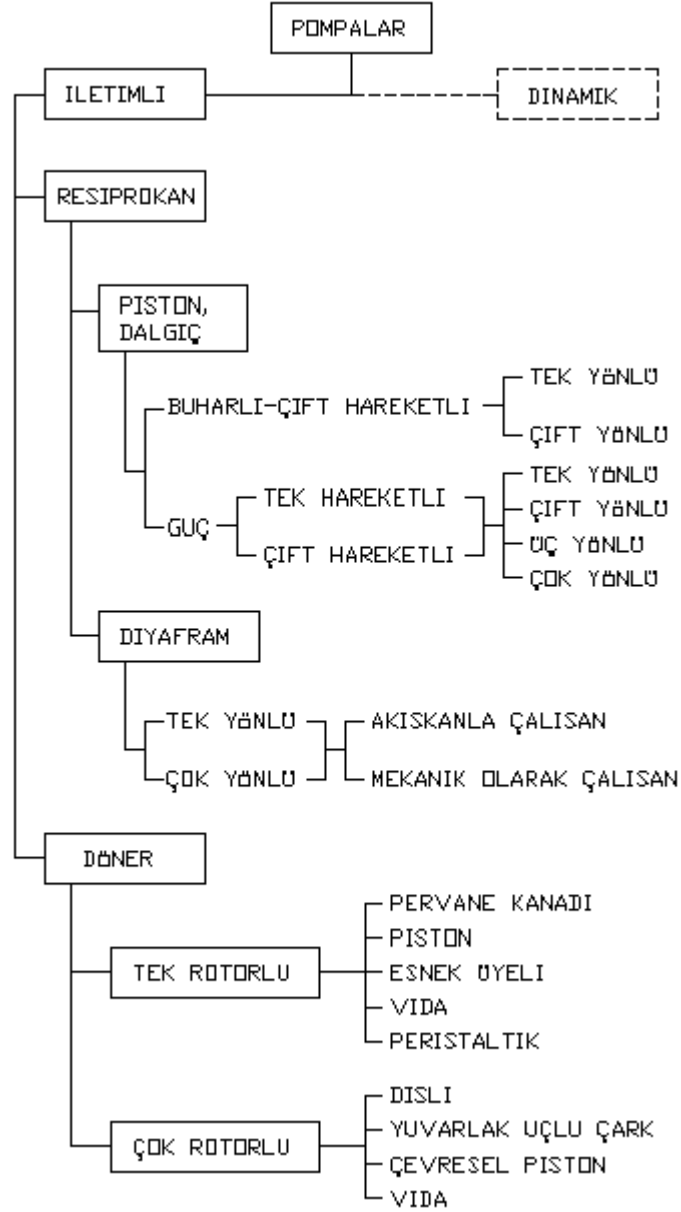
Buradaki sınıflandırmada, tüm pompalar iki ana kategoride bölümlendirilmiştir. (1) Dinamik (dynamic), boşaltma işlemi esnasında pompa içerisinde sonradan gelen akışkanın hızı azalır veya ilerisinde pompa bir basınç artışı üretir. Bu meydana gelen aşırı değerleri dengelemek için makine içerisindeki akış hızını artırmak için enerji devamlı olarak eklenir. (2) İletimli (displacement), akışkan içeren hacimlerin, boşaltma hattı içerisinde veya portlar arasında hareket etmesi için gerekli değere kadar basıncın doğrudan artırılması gerekir. Bunun için akışkan içeren hacimlerin sayısı bir veya isteğe göre daha fazla olacak şekilde belirli aralıklarla eklenmesidir [Karassik et al, 1996].

Dinamik pompalar santrifüj ve diğer özel etkili pompaların birkaç çeşidi içerisinde alt dallara ayrılır. Şekil 1.1’de bu kategori içerisindeki alt sınıflandırmalar ve önemli sınıflandırmaların özeti sunulmaktadır.

İletimli pompalar aslında basınç üreten üyelerinin hareket tipine bağlı olarak resiprokan ve döner tipler içerisinde bölünür. Bu başlıca (major) sınıflandırma bunun dışında ticari etkiyle birkaç özel tip içerisinde Şekil 1.2’de görüldüğü gibi bölümlendirilmiştir.



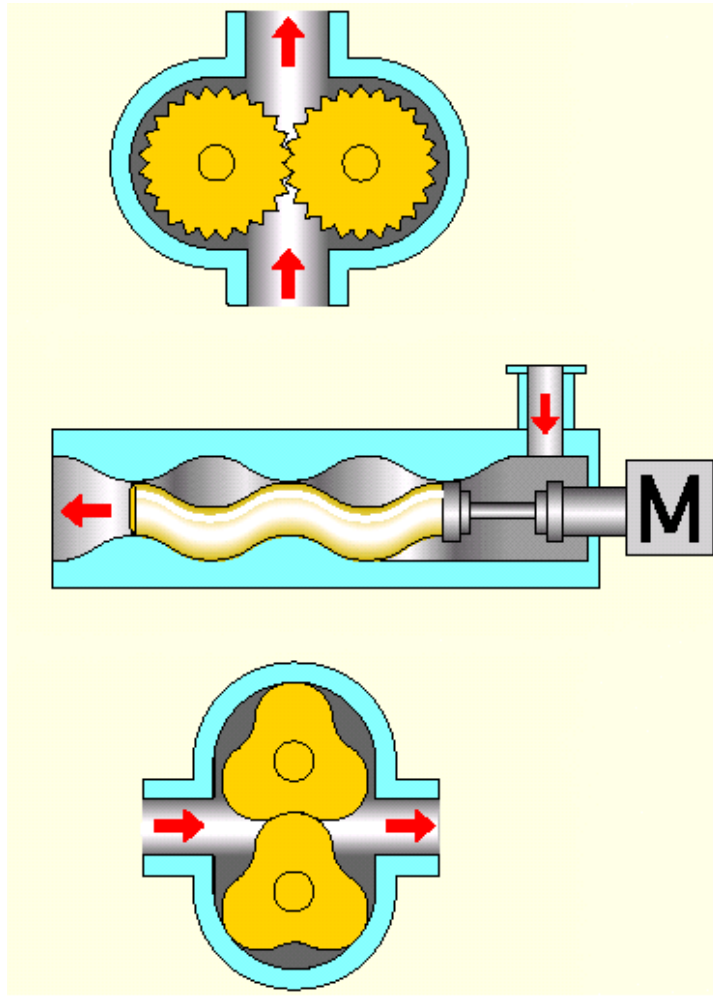
Şekil 1.1. Dinamik Pompaların Sınıflandırılması [Karassik et al, 1996].



Şekil 1.2. İletimli Pompaların Sınıflandırılması [Karassik et al, 1996].

2. YÜKSEK VİSKOZİTE POMPALARI

Yüksek viskoziteli sıvıların tesis veya atölyelerde işlenmesinde ve taşınmasında en çok Hava Tahrikli Çift Diyafram pompalar (HTÇD) kullanılır. Viskoz akışkanların çeşidine ve viskozitesine bağlı olarak farklı çalışma mekanizmalarına sahip pompalar da kullanılır. Yüksek viskoziteli sıvılar için HTÇD pompa dışında kullanılan pompaların mekanizmaları ve sınıflandırılması Şekil 2.1’de verilmiştir.



Dişli pompa (Gear pump)

Bu pompalar sıvıyı karıştırır ve kolayca aktarır.

Kıvrımlı pompa (Snake-pump)

Çok pahalıdır. Fakat en hızlı çalışma sonuçlarına sahiptir.

Döner pompa (Rotary pump)

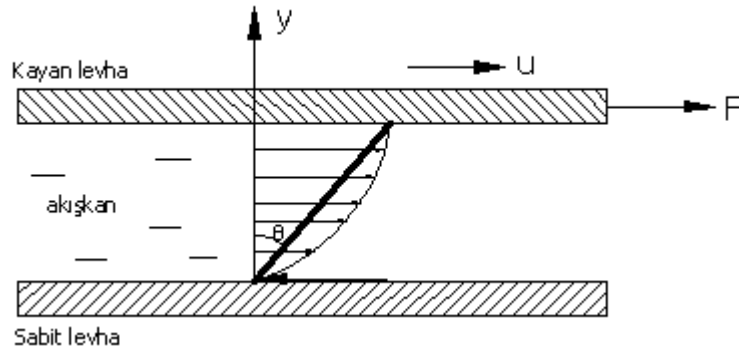
Sıvıları karıştırır ve contadan sızıntı yapabilir.

Şekil 2.1. Yüksek Viskozite İçin Pompaların Karşılaştırılması [Tacmina, 2000].

2.1. Viskozite

Bir akışkan katmanının bitişik (komşu) katman üzerindeki hareketine karşı olan dirence mutlak viskozite veya kısaca viskozite denir. Ayrıca bir akışkanın viskozitesi (μ) uygulanmış bir kayma gerilmesi altında akmak için onun gösterdiği direncin ölçülmesidir. Daha yüksek viskoziteli akışkanlar akmak için düşük viskoziteli akışkanlardan daha fazla kuvvete gerek duyarlar [Koca, 1998].

Akışkanların şekil değiştirmeye karşı gösterdikleri direnç kuvveti ve bunun değişimi ilk kez Newton tarafından bulunmuştur. Şekil 2.2’de Newton’un yaptığı deneye göre F kuvveti etkisiyle akışkanın deformasyonu ve hız gradyanı oluşumu gösterilmiştir. Buna göre arasında akışkan bulunan birbirine paralel iki levhadan alt kısımdaki sabit tutulup ve üst kısımdaki levhaya sabit bir F kuvveti uygulandığında. Üst levhanın alanı A ’ya göre kayma gerilmesi F/A olur. Uygulanan F kuvveti ile üst levhaya bir U hızı kazandırılır [Coutte, 1923].



Şekil 2.2. İki Paralel Levha Arasındaki Akışkanın Deformasyonu ve Hız Gradyanı Oluşumu.

Hız değişiminin doğrusal yani doğru orantılı olduğu durumda denklem;

$$\tau = \frac{F}{A} = \mu \frac{u}{y} \quad (2.1)$$

Hız değişiminin doğrusal olmadığı haller için denklemin diferansiyel biçimi;

$$\tau = \mu \frac{du}{dy} \quad (2.2)$$

Bu ifade kayma kuvveti ile açılmal şekil değişimi arasındaki bağıntıdır. Denklem (2.2)'deki ifadeye Newton'un Viskozite yasası adı verilir. Viskozitenin birimi SI'da $\text{Ns/m}^2 = \text{Pa.s}$ olarak CGS'de Poise (p) veya centipoise (cp) olarak kullanılır. Ek 1'de Genel akışkanların yaklaşık viskozite değerleri centipoise (cp) olarak verilmiştir.

Viskozitenin farklı ölçü sistemlerindeki birim karşılıkları;

$$1 \text{ poise (CGS)} = 0.1 \text{ Pa.sn(SI)} = 0.1 \text{ Ns/m}^2 \text{ (SI)}$$

$$0.01 \text{ poise (CGS)} = 1 \text{ centipoise (CGS)}$$

Genel olarak sıvıların viskozitesi sıcaklığın artması ile azalır. Sıcaklık ile viskozite ters orantılı, basınç ile sabittir. Bu nedenle yüksek viskoziteli sıvılar için ekipman (pompa, sayaç, valf vb.) seçerken dikkat edilmelidir. Örneğin yazın sıcaklığında açık havadaki bir depodan gelen viskoz bir sıvı sayaçtan geçerken aynı sıvı hava sıcaklığı düştüğü zaman sayaçtan geçmeyebilir.

Kinematik viskozite (ν), mutlak viskozitenin yoğunluğa oranına denir. Isı transferi ve akış hesaplarında kinematik viskozite kullanılır. Hesaplamalarda bu büyüklük kullanılır. Kinematik viskozitenin birimi SI'da m^2/s ve CGS'de stokes (St) veya centistokes (cSt) olarak kullanılır.

Kinematik viskozite;

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (2.3)$$

Yapışkanlığı ölçen aygıta Viskozimetre denir. Yapışkanlık 20 °C, 50 °C ve 100 °C deki değerlerle belirlenir. 20 °C’ da suyun viskozitesi $\nu=10^{-6}$ m²/sn’dir. Yüksek viskoziteli yağlar için referans sıcaklık 50 °C’ dir.

Kinematik viskozitenin farklı ölçü sistemlerindeki birim karşılıkları;

$$1\text{stokes (St) (CGS)} = 10^{-4} \text{ m}^2/\text{sn (SI)}$$

$$1\text{centistokes (cSt) (CGS)}=10^{-6} \text{ m}^2/\text{sn (SI)}$$

$$0.01 \text{ stokes (St) (CGS)} = 1 \text{ centistokes (cSt) (CGS)}$$

2.2. Akışkan Tipleri

Akışkanların genel olarak tanımlanması Stokes tarafından yapılmıştır. Tüm akışkanlar Newtonsal ve Newtonsal olmayan akışkanlar olarak ikiye ayrılır.

2.2.1. Newtonsal Akışkanlar

Newton’un viskozite yasasına uyan akışkanlar Newtonsal akışkanlar olarak isimlendirilir. Başka bir ifadeyle Kayma gerilmesi (τ), kayma oranı (du/dy) ile doğrusal olarak değişen akışkanlar Newtonsal akışkanlar olarak isimlendirilir.

Viskozitenin Newton yasası;

$$\tau = \mu \frac{du}{dy} \quad (2.2.)$$

Tüm gazlar ve çoğu sıvılar, daha basit moleküler formüllü ve düşük moleküler ağırlıklı; örneğin, su, benzene, etil alkol (ispirto), heksan ve basit moleküllerin çoğu çözeltileri Newtonsal akışkanlardır.

2.2.2. Newtonsal Olmayan Akışkanlar

Kayma gerilmesi (τ), kayma oranı (du/dy) ile doğrusal olarak değişmeyen akışkanlara Newtonsal olmayan akışkanlar denir. Bu akışkanlar zamandan-bağımsız ve zaman-bağımlı Newtonsal olmayan akışkanlar olarak iki sınıfta incelenir. Genel olarak Newtonsal olmayan akışkanlar kompleks karışımlar, bulamaçlar (sulu çimento), macunlar, jeller, polimer çözeltiler, vb.dir.

2.2.2.1. Zamandan Bağımsız Davranışlar

Bu akışkanların belirli bir kayma kuvvetinde sahip olduğu viskozite zamanla değişmez. Bu sınıftaki Newtonsal olmayan akışkanlar Bingham, Pseudoplastic ve Dilatant akışkanları içerir. Çeşitli Newtonsal olmayan zamandan bağımsız akışkan tiplerinin davranışları Şekil 2.3’de verilmiştir.

- **Bingham akışkanlar**

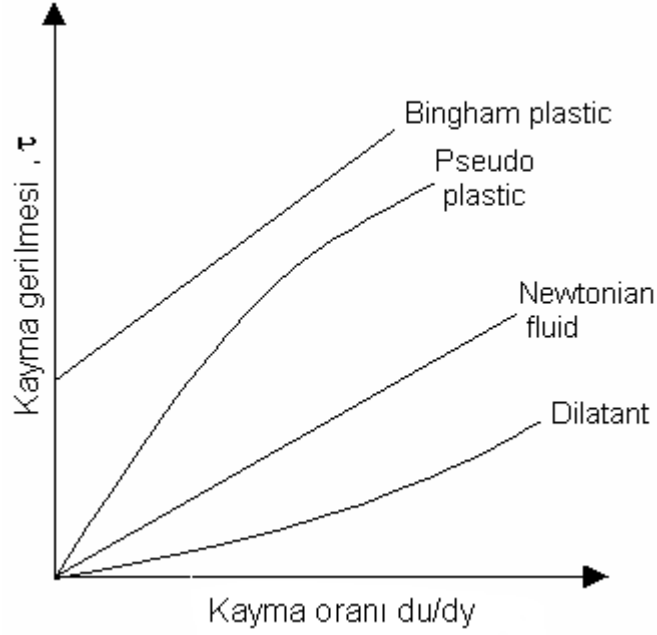
Genel olarak Plastik akışkanlar olarak bilinen bu akışkanlar Bingham veya plug-flow akışkanlar olarak isimlendirilir. Bu akışkanlar, kayma oranları kritik değere (akma değeri) ulaşılan kadar bir katı gibi davranırlar. Akma değerinde akışkan akmaya başlayacaktır. Kayma oranı devamlı artar, akışkan daha sonra Newtonsal, dilatant veya pseudoplastik karakterleri gösterebilir. Örnek olarak domates salçası, diş macunu, el kremi, çikolata, mayonez ve gres yağı gösterilebilir [Swearingen, 2001].

- **Pseudoplastic akışkanlar**

Bu akışkanlar aynı zamanda ince kaygan akışkanlar olarak da bilinirler. Viskozitenin azalması ile kayma oranı artar. Çoğu Newtonsal olmayan akışkanlar bu grup içerisine girer. Örnek olarak boyalar, şampuanlar ve polimer çözeltiler gösterilebilir.

- **Dilatant akışkanlar**

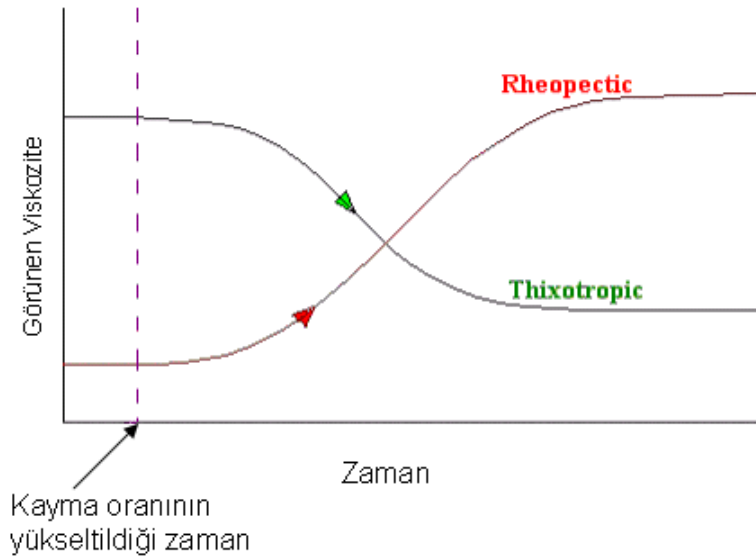
Dilatant akışkanlar aynı zamanda kaygan kalın akışkanlar olarak bilinirler. Viskozitenin artması ile kayma oranı artar. Örnek su-nişasta karışımı, titanyum dioksit ve ıslak kum gösterilebilir.



Şekil 2.3. Çeşitli Newtonsal Olmayan Zamandan Bağımsız Akışkanların Davranışları [Subramanian, 2002].

2.2.2.2. Zaman Bağımlı Davranışlar

Bu akışkanların belirli bir kayma kuvvetinde sahip olduğu viskozite, zaman ile bağımlı olarak değişir. Zaman Bağımlı Newtonsal olmayan akışkanlar thixotropic ve rheopectic akışkanları içerir. Şekil 2.4’de bu akışkanların kayma süresine bağlı olarak davranışları gösterilmiştir [Miller, 1996].



Şekil 2.4. Kaymanın Süresine Bağımlı Newtonsal Olmayan Akışkanların Davranışları [Subramanian, 2002].

- **Thixotropic akışkanlar**

Aynı zamanda bu akışkanlar zamanla incelen akışkanlar olarak da bilinirler, kayma oranı sabit iken zamana bağlı olarak viskozitede bir azalma görülür. Örnek olarak yoğurt ve jel boyalar gösterilebilir.

- **Rheopectic akışkanlar**

Aynı zamanda bu akışkanlar zamanla kalınlaşan akışkanlar olarak da bilinirler, kayma oranı sabit kalırken zamana bağlı olarak viskozitede bir artma görülür. Örnek olarak alçıtaşı macunu ve yazıcıların mürekkebi gösterilebilir.

3. HAVA TAHRİKLİ ÇİFT DİYAFRAM POMPALAR

İlk diyafram pompaların kim tarafından ve ne zaman geliştirildiği bilinmemektedir. İsa'dan önce 16.yy'da körüğün metal işlemede ocaktaki ateşi körüklemek için kullanıldığı, Mısır'ın Karnak'taki tapınak boyamalarında tarif edilmektedir. Bu körükler günümüzdeki diyafram pompaların ilk şekli olarak dikkate alınmıştır.

Daha sonra deriden yapılmış körük diyafram görevi yapmaya başladı. 1940'larda, Amerika Birleşik Devletleri sentetik elastomer'e katkıda bulunmak ve dünya çapında büyük başarı elde etmek için büyük bir program başlattı; buna karşılık olarak II. Dünya Savaşı süresince Güneydoğu Asya'dan doğal kauçuk tedarik ederek tüketti. Amerikalılar yapılan çalışma sonucunda, Alman Buna firmasının temel Elastomer malzeme çalışmalarına başlamıştır. Yüksek kalitede elastomer malzemeler üretilmesi ile tasarımlarda ve diyafram pompalarda kullanmak için (örneğin, kirli suların taşınması ve aynı zamanda tıbbi amaçlar) yeni teknik olasılıklarının sonunda önünü açmış oldu [Becker, 1997].

Hava tahrikli çift diyafram pompalar (Air Operated Double Diaphragm Pumps) santrifüj ve pozitif iletimli pompalara alternatif çok iyi sızdırmazlık sağlamaktadır. Elektrik kullanımının tehlikeli olduğu veya mümkün olmadığı yerlerdeki uygulamalar için çok önemlidirler. İlk olarak 40 yıl önce kullanıma sunulmuştur. Son zamanlarda pompanın tasarımındaki ve diyaframların yapısındaki yenilikler bu pompalar için talebi hızlandırmıştır.

HTÇD pompalar, endüstri uygulamalarında büyük oranda kullanılmalarına rağmen, henüz pompa seçiminde ilk seçim değildir. Bu endüstriler; kimyasal maddeler, gıda işleme, boyalar, elektronikler, yapı, endüstriyel bakım, kamu hizmetleri, işleme, atık su ve çamur işleme ve madenciliği içermektedir.

Son zamanlarda yeni diyafram tasarımları ve tasarım ilkelerinde dikkate değer gelişmeler olmuştur. Bu değişiklikler pompanın kendini otomatik işleme hazırlaması, zarar vermeden kuru çalışması, elektriğe ihtiyaç duymaması ve alternatif pompalama metodu sunmasıdır. HTÇD pompalar, enerji kaynağı olarak sıkıştırılmış havayı kullanır ve sıkıştırılmış havadan tam güç alarak çalışır. Bu nedenle elektriğin kullanılmadığı veya kullanılmaması gerektiği, örneğin tehlikeli, patlayıcı veya parlayıcı ortamlar ve elektriğin olmadığı yerlerdeki uygulamalarda kullanılır. Şekil 3.1’de AODD pompaların değişik tip ve boyutlardaki örnekleri gösterilmiştir [Roze, 2002].

Hava dağıtım sistemi HTÇD pompaların en önemli parçasıdır ve ilk zamanlarda yukarıdan aşağıya doğru bölmelerden oluşmaktaydı. Fakat pompa çalışma esnasında problem çıkararak durmuştur. Bu duruma sebep olarak valfin donması gösterilmiştir. Çünkü hava içerisinde çok miktarda nem taşır, bu nem atmosferin içerisinde yayılmış haldedir ve aniden hızlı soğumaya bağlı olarak hızlıca donar. Hava valfinin hareket eden parçalarının üzerinde buz oluşmasından dolayı onları yapıştırmıştır. Doğal olarak üreticiler probleme farklı çözüm yöntemleri bularak her biri değişik tasarımlar geliştirmiştir.

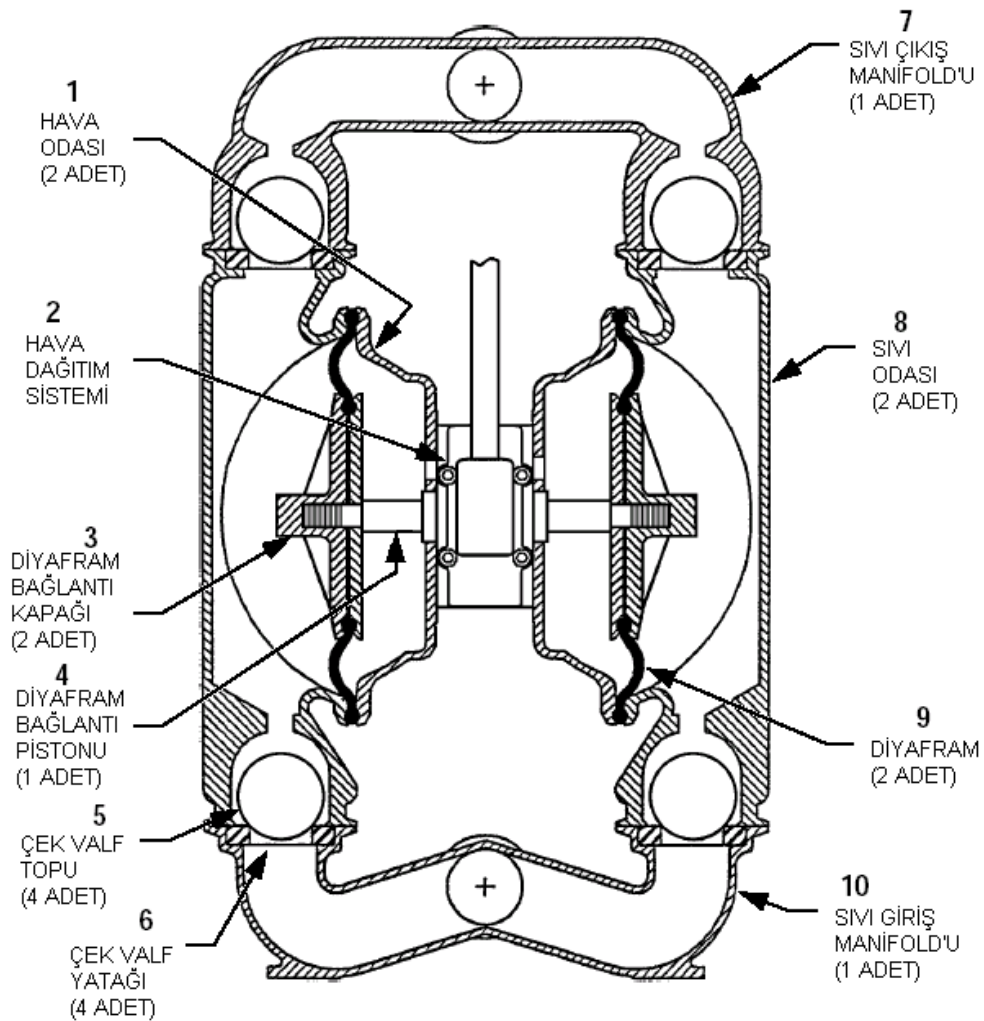
Hava valfindeki bölümlenme problemi bu pompa tipleri için kayda değer bir problem olarak fazla uzun sürmemiştir. Çoğu pompa tipinde hava valfi sistemi harici olarak tasarlanmıştır. Böylece pompanın geri kalan kısımlarını sökmeye gerek kalmadan hava valfi basitçe söküp takılabilir.



Şekil 3.1. Hava Tahrikli Çift Diyafram Pompa Tipi Örnekleri [Yamadapump, 2000].

3.1. Pompanın Yapısı ve Parçaları

Hava tahrikli çift diyafram pompaların çalışma sistemlerinin basit olması nedeni ile birkaç anahtar parça ön plana çıkmaktadır. Pompada anahtar parçalar hava valfi (genellikle her iki diyafram için sıkıştırılmış havayı sırayla yönlendirmek için iki yer arasında gidip gelen valf), hava boşaltma valfleri ve diyaframlardır. Pompanın yapısı ve çeşitli parçaların konumu kesit resim olarak Şekil 3.2’de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Hava Tahrikli Çift Diyafram Pompanın Kesit Resmi [Wildenpump, 2003].

3.1.1. Hava Odası

Bu odaların dıştaki duvarlarını diyaframlar oluşturur. Sıkıştırılmış havanın bu odalara yönlendirilmesi ile diyaframlara hareket kazandırılır. Diyaframlar belirli mesafede aksenel olarak basınçlı havanın etkisiyle eş zamanlı olarak hareket ettirilir ve böylece sıvı odasında vakumlama oluşturulur.

3.1.2. Hava Dağıtım Sistemi

Hava dağıtım sistemi pompanın emme ve boşaltma stroklarının oluşmasını sağlayan mekanizmalardır. Ayrıca bu sistemler pompanın kalbi olarak da nitelendirilir. Pompa üreticileri çeşitli hava dağıtım sistemleri geliştirmişlerdir. Hava dağıtım sistemi bu çalışmadaki esas tasarım kısmını oluşturmuştur.

3.1.3. Diyafram Bağlantı Kapağı

Pompanın çalışma prensibine göre iki diyaframın eş zamanlı olarak çalışması gerekmektedir. Bu nedenle diyaframlar, pompa gövdesinin merkezinden geçen pistonun uçlarına kapak olarak adlandırılan parçalar ile bağlanır. Bu kapaklar kullanılacak diyaframın tipine ve diyafram sıkma yüzeyine göre tasarlanırlar. Genellikle saç ve döküm parçalardan yapılırlar.

3.1.4. Diyafram Bağlantı Pistonu

Bu pistonlar genel olarak paslanmaz çelikten yapılırlar ve bronz veya teflon burçlar ile yataklanır. Bu pistonlar eksende belirli mesafede (strolda) yaklaşık olarak maksimum dakikada 560 kez hareket ederler. Ayrıca bu pompalar kuru (yağlamasız) ve boşluksuz çalıştıkları için bu pistonun yapı malzemesi, yataklama parçaları ve imalatı çok önemlidir.

3.1.5. Çek Valf Sistemi ve Çek Valf Topu

Hava tahrikli çift diyafram pompalarda akışkanı sıvı odalarına emerek çekmek ve odadaki akışkanın sıkıştırılarak boşaltılması için çek valf sistemleri kullanılır. Kapaklı (flap-type) ve Top valf (ball check valve) olmak üzere iki tip çek valf sistemi kullanılır. Top valf tipi basit ve en güvenilir olan tasarımıdır. Bu valf tipi iyi sızdırmazlık yeteneğine sahiptir ve gerektiğinde kolayca temizlenerek yerine takılabilir. Çek valf topları, emme ve boşaltma işlemleri esnasında akışkanın çek valf yatakları arasından geçmesini veya geçmemesi sağlar. Top valfler çok küçük katı parçaların geçmesine olanak sağlarken kapaklı tip valfler neredeyse hattın boyutuna (manifolt çapı) eşit yumuşak katı parçaların pompalanmasını sağlar.

Bu çek valf toplarının yapı malzemesi diyaframlarda olduğu gibi akışkanların tipine göre değişmektedir. Valf topları Buna-N, Neoprene, Nordel (EPDM), Polyurethane, Viton, PTFE, Paslanmaz çelik 316, Seramik vb. malzemelerden yapılırlar [Tapflo, 2002].

3.1.6. Çek Valf Yatağı

Valf topu ile temas ettiğinde akışkanın akmasını önleyecek şekilde yapılmış parçalardır. Bu yataklar çek valflerin konumuna ve tasarım şekline göre adet ve biçim olarak değişmektedir. Standart olarak HTÇD pompada 4 adet bulunmakta iken bazı pompalarda 8 adet veya farklı şekillerde olabilmektedir. Valf yatakları gerektiğinde basitçe sökülüp ve kolayca temizlenebilecek şekilde tasarlanmışlardır.

Valf yatağının yapı malzemesi Alüminyum, Buna-N, Kynar , Neoprene, Nordel (EPDM), Polyurethane, Paslanmaz Çelik 316, Teflon (PTFE), Hytrel ve Viton vb.leri kullanılmaktadır [Tapflo, 2002].

3.1.7. Sıvı Çıkış Manifoldu

Sıvı odalarından gelen akışkanın dışarı atılması için üzerinde bir çıkış portu bulunan ve çeşitli tiplerde tasarlanan borulardır. Bu manifold top valf kullanıldığında pompanın üst kısmına monte edilir. Kapaklı valf sistemi kullanıldığında pompanın alt kısmına monte edilir. Bu manifold'un çıkış portu'nun çapı pompa seçim kriterlerinden birisini oluşturur.

3.1.8. Sıvı Odası

Sıvı odası pompanın çalışması süresince, sıvı emme strokun'da sıvı ile dolar ve boşaltma stroku esnasında sıvının boşaltıldığı odalardır. Bu odalar diyaframlar ile sıkıştırılmış hava odalarından ayrılmıştır.

3.1.9. Diyafram

Diyafram, sıkıştırılmış hava ile pompalanan akışkanın ayrılmasını sağlayan esnek zardır. Optimum çalışmayı sağlamak için diyaframlar yeterli kalınlıkta olmalı ve özel akışkan uygulamalarında bozulma ve etkilenmeyi önleyecek en uygun malzemelerden yapılması gerekir. Özel uygulamalar için çeşitli tip ve yapılarda diyaframlar geliştirilmiştir. Diyaframlar pompanın kritik parçalarından birisini oluşturmaktadır.

3.1.10. Sıvı Giriş Manifoldu

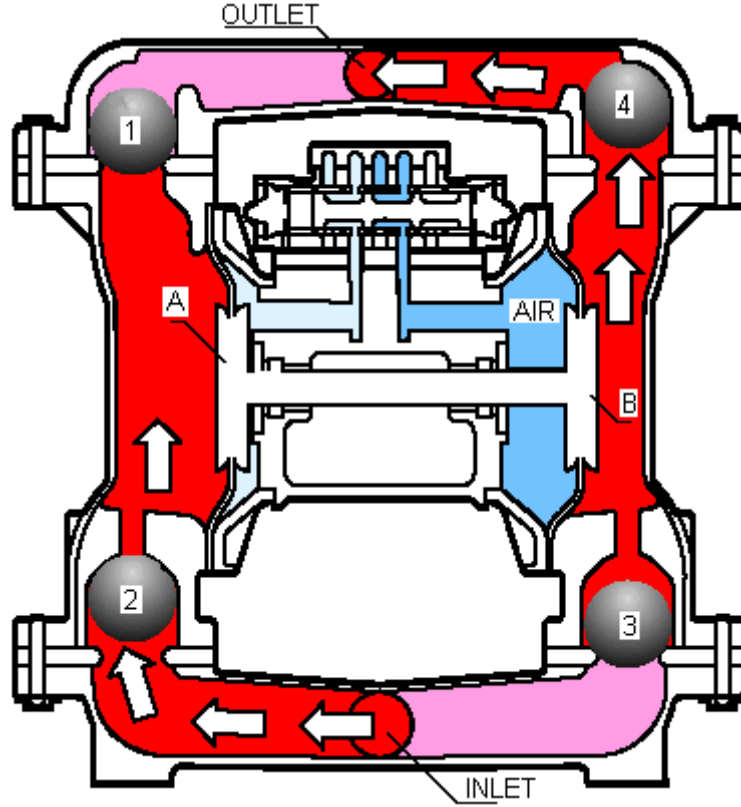
Dışarıdan gelen akışkanı pompa içerisine almak için üzerinde bir giriş portu bulunan çeşitli tip ve boyutlarda tasarlanan borulardır. Giriş manifoldu top valf kullanıldığında pompanın alt kısmına monte edilir. Kapaklı valf sistemleri kullanıldığında pompanın üst kısmına monte edilirler. Bu manifoldun giriş portunun çapı, pompa seçiminde etkili bir kriterdir.

3.2. Pompanın Çalışma Sistemi

Hava ile çalışan çift diyafram pompalar kuru olarak (yağsız) çalışma ve otomatik işleme hazırlama özelliklerine sahiptirler. Santrifüj pompalar çalışmaya başlamak için bir miktar sıvı doldurmasını gerektirirken diyafram pompalar sıvı seviyesinden yukarıda kurulmuş olsalar bile sıvıyı yukarı çekebilme yeteneğine sahiptirler. Bu otomatik işleme hazırlama karakteri pompanın fiziksel yerleşimine fazlasıyla yardım eder. Aynı zamanda da sıvı giriş kısmına bir hortum bağlama vasıtası ile pompa, boş variller, fıçılar, lağım çukuru vb. boşaltma işlemleri için kullanılabilir. Konteynırların tamamını boşaltma özelliği kullanıcılar için önemli maliyet tasarrufu sunar.

Çoğu pozitif iletimli ve santrifüj pompalar kuru çalıştırıldığında arıza yaparlar. Bundan dolayı onların sık sık şaftlarının sızdırmazlığının sağlanması, dişli kutularının yağlaması veya sıvı pompalarken soğutulması işlemleri yapılır. Kuru çalışma süresince sıkıştırılmış havanın boşaltma miktarını azaltmak için hava tertibatına hava kısma valfleri eklenebilir.

Hava ile çalışan çift diyafram pompanın çalışma prensibi Şekil 3.3'e göre; A ve B diyaframlarına bir merkezi hava valfi tarafından, sıkıştırılmış havanın sırayla yönlendirilmesi ile soldan sağa ve tekrar geriye hareket ettirilirler. A diyaframı'nın pompanın merkezine doğru hareketi sıvı odasında kısmi vakumlama oluşturur. Bu nedenle 1 no'lu çek valf topu kapanır ve 2 no'lu çek valf topu açılır. Böylece giriş portu (I)'den sıvı odasının içerisine sıvı alınır. Aynı zamanda B diyaframı da sıvı odasının içerisindeki sıvı hacmi sıkıştırır 3 no'lu çek valf topu kapanır ve 4 no'lu çek valf'den sıvı geçerek çıkış (O) portundan dışarı atılır. Hava valfi aksi yöne hareket ettiğinde diyaframlarda pompanın diğer tarafına hareket eder ve böylece A diyaframının bulunduğu kısımdaki sıvı pompalanır. Sıkıştırılmış havanın, hava odalarına yönlendirilmesi ve hava odasındaki sıkışmış havanın boşaltılması çevrimi bu şekilde devam eder.

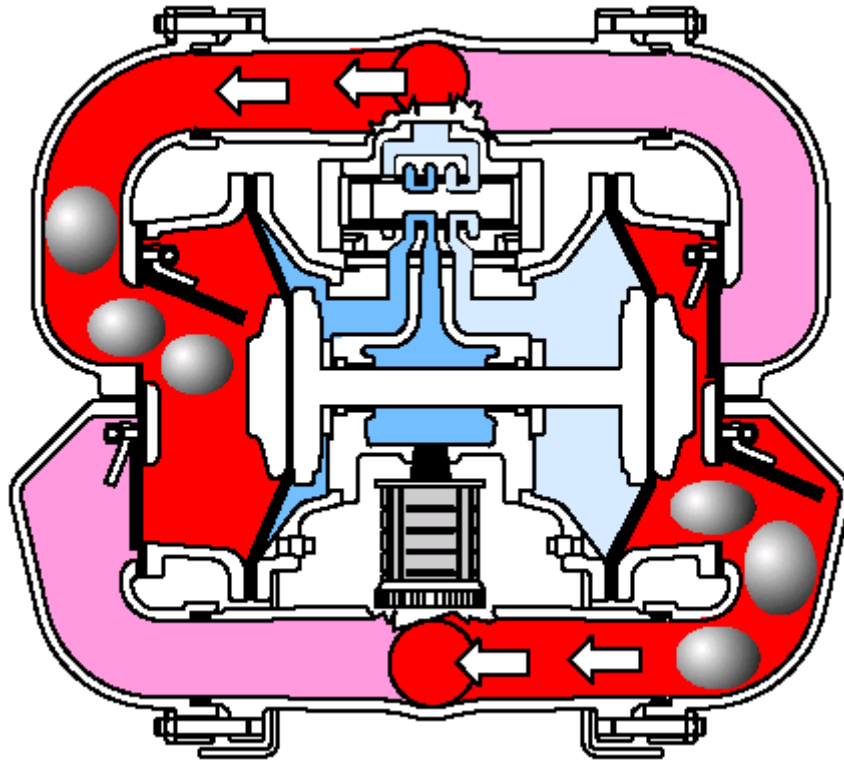


Şekil 3.3. Hava Tahrikli Çift Diyafram Pompanın Çalışma Sistemi [Warrenrupp, 2003].

Diyaframlar, pompalama odalarının duvarları arasına sıkıştırıldığından dolayı pompada sızıntı olmaz. Şekil 3.3’de top valf sistemine sahip pompada sıvı akışının alttan yukarı olduğu gösterilmiştir. Çek valf sistemi, kapaklı valf tipinde tasarlanan pompalarda sıvı akışı pompanın üstünden aşağı doğrudur. Şekil 3.4’de kapaklı çek valf sistemi ve sıvı akışının yukarıdan aşağıya doğru olduğu gösterilmiştir.

HTÇD pompalar diğer pompa tiplerinin çoğundan daha az hareket eden parçalar içerir ve bundan dolayı daha az bakım gerektirir. Aynı zamanda onların servis ihtiyaçlarında bu parçalara kolayca erişim imkanı sunar. Mil sızdırmaları ve koruyucu çerçevelere gereksinimleri yoktur. Diyafram bir yanındaki pnömatik basıncı diğer tarafında akışkan basıncına dönüştüren dinamik bir sızdırmazdır. Boşaltma akış oranı, hava girişi veya hava boşaltma akışının kontrol edilmesiyle ayarlanabilir. Böylece karmaşık (kompleks) bir sisteme gerek duyulmaz.

Hava tahrikli çift diyafram pompalarda, diyaframın bir yanından diğer tarafına hava basıncı ve iç gerilimlere ilişkin gösterdiği farklar, mekanik sürücülü diyafram pompalar ile karşılaştırıldığında daha düşüktür. Mekanik sürücülü pompalarda diyafram pistondan aldığı kuvvetle hareket eder ve vakumlama yapar. Böylece diyaframın sadece belirli kısımları esneme hareketi yapar ve diyaframın yüzeyine düşen basınç kuvvetleri merkezden (piston bağlantı yeri) dışa doğru farklıdır. Bu durum diyaframın belirli kısımlarından kısa zamanda deforme olmasına sebep olur. Fakat hava basıncı ile çalışan pompalarda basınçlı hava diyaframın tüm yüzeyine aynı oranda etki yapar. Diyaframın esneme hareketi sadece belirli kısımlarda değil tüm yüzeyine yayılır ve diyafram kısa zamanda deforme olmaz.



Şekil 3.4. Kapaklı Valf Sistemine Sahip HTÇD Pompanın Çalışma Sistemi
[Warrenrupp, 2003].

3.3. Pompalanan Akışkanlar

Hava tahrikli çift diyafram pompalar kuru tozların sıvıya karışarak oluşturduğu yoğunluklar, viskoz sıvılar ve aşındırıcı çamur veya çimento gibi malzemeleri pompalama özelliğiyle çok yönlüdür. Bu pompaların hava valf tipleri dar kısımda kayan veya dönen mekanizmalar olması pompa için kayda değer faydalar sağlar. Bazı pompalar ile aşındırıcı maddeler taşındığında pompanın hareket eden parçalarında aşırı yıpranma oluşur. Bu durumda pompanın bozuk kalma süresi ve yeniden yapılması önemli maliyet kayıplarına sebep olabilir.

HTÇD pompalarında önemli faktörler; büyük iç boşlukları, engellemeler arasından geçen katı parçacıkların ve pompanın boyutlarıdır. Pompanın gövdesini ve yapısını oluşturan parçalar, diyaframlar ve çek valfler acetal içeren, polypropylene, teflon (PTFE) bileşimler, alüminyum ve paslanmaz çelik gibi malzemelerden yapılırlar. Pompa elemanları malzemesindeki bu çeşitlilik sayesinde endüstri ve belediyeye ait atık su uygulamalarında tortulaşmış çamur, kömür çamuru ve sulu çimentonun bulunduğu yerlerdeki aşındırıcı akışkanların çoğu çeşidinde kullanılmasına olanak sağlar.

Pompa elemanlarının malzemesinin uygun seçilmesi ile hava tahrikli çift diyafram pompalar yiyecek ve içecek endüstrilerindeki akışkanlar için örneğin, bira, süt, şarap, domates suyu, çilek marmelatı ve vişne suyu gibi hijyenik uygulamalarda kullanılır. HTÇD pompa, aynı zamanda, akış oranı pompanın hızıyla orantılı olduğundan dolayı özellikle viskoz akışkanları pompalamaya uygundur. Ek 1’de Genel akışkanların yaklaşık viskozite değerleri verilmiştir. HTÇD pompalarda yüksek viskoziteli sıvı akışkanlar pompalanırken pompanın manifold duvarları ile sıvı akışkan arasında sürtünme kayıpları olmaktadır [Roze, 2002]. Viskozite yükseldiğinde HTÇD pompa otomatik olarak pompalama oranını düşürür. Pompa, sıvının uzun süre hareket etmediği noktada kendisine zarar vermeden basitçe durur.

3.4. Diyafram Seçimi ve Malzemeleri

Diyaframın özgün tasarımı yıllardır sürekli olarak geliştirilmiştir. Üretim işlemi diyaframın ömrü için son derece önemlidir. Biçimlendirme işlemi süresince ek olarak bir ağ örgülü kumaş katmanı diyaframın çeşitli tipleri içerisinde birleştirilerek sağlamlık artırılır. Hava tahrikli çift diyafram pompaların çalışma alanı'nın çok geniş olması diyafram malzemelerinin geniş bir ürün aralığına sahip olmasına yol açmıştır.

Özel bir uygulama için diyaframın uygunluğunu belirleyen anahtar faktörler şu şekilde sıralanabilir; esneklik ömrü, pompalanan akışkanın kimyasal bileşiminin diyaframlar üzerine etkisi, pompalanan akışkanın aşırı uçlardaki sıcaklık limitleri ve doğal aşındırıcı ortamda pompalanan her bir katı parçanın büyüklüğünü kapsama.

Çoğu pompa üreticileri uygun diyaframların seçimine yardımcı olmak için kimyasal maddelere dayanıklı kapsamlı rehberler hazırlamışlardır. Bununla beraber, diyaframa devamlı etkiden faktör korozyon (pas veya kimyasal maddeden ileri gelen çürüme) etkisi olarak bilinir. Diyafram için kullanılan özel bir malzemenin bir önceki performansının pratik bilgileri daha sonraki çalışmalar için önem taşır.

3.4.1. Elastomer Malzemeler

Hava tahrikli çift diyafram pompaların kritik parçalarından biri olan diyaframlar, valf topları, valf yatakları ve O-ringler elastomer malzemeler veya onların bileşimlerinden yapılır. Ayrıca bu parçalar pompa elastomerleri olarak da bilinir.

Elastomer üretimi için temel ürünler doğal ve sentetik kauçuklardır. Elastomer malzemelerin aşınma direnci, kimyasal maddeye uygunluğu, farklı ısı değerlerine karşı direnci, esneklik ömrü ve hijyenle ilgili standart özelliklerin kazandırılması farklı malzemelerle bileşimine ve üretim yöntemine göre değişir. Elastomerlerin 3 tipi vardır; Kauçuk bileşimler, Termoplastikler ve Teflon (PTFE) [Wildenpump, 2003].

3.4.1.1. Kauçuk Bileşimler

Bu bileşimler doğal kauçukları içerir. Akışkanların özel tiplerine karşı dayanıklılığını artırmak için insan yapımı katkı maddeleri ile birleştirilir. Bu bileşimden yapılan diyaframlarda bir naylon ağ örgülü kumaş katmanı kullanılır. Ağ örgülü kumaş katmanı kalıplama işlemi esnasında diyaframın içerisine yerleştirilir. Bu katman birleşimin ölçüsel tutarlılığına ve dayanıklılığına yardım eder. Bileşimlerin en çok kullanılanları Buna-N, Nordel, Neoprene ve Viton'dur. Tablo 3.1'de Kauçuk bileşimlerin sıcaklık limitleri gösterilmiştir [Wildenpump, 2003].

Tablo 3.1. Kauçuk bileşimlerin sıcaklık limitleri [Warrenrupp, 2003].

Malzemeler	Uygulama sıcaklıkları		
	En yüksek	En düşük	En uygun
Buna-N	88 °C	-23 °C	10 - 60 °C
Nordel	77 °C	-23 °C	10 – 54 °C
Neoprene	77 °C	-23 °C	10 – 54 °C
Viton	100 °C	0 °C	24 – 100 °C

- **Buna-N**

Buna-N, petrol/yağ tabanlı akışkanları kapsayan uygulamalar için mükemmel seçimdir. Ayrıca iyi esneklik ömrü gösterirler. Çözücüler, su, yağ ve hidrolik akışkan direnci iyidir. Aseton, ozon, klorlu hidrokarbonlar ve azotlu hidrokarbonlar gibi yüksek polar çözücülerle kullanılmaması gerekir.

- **Nordel**

Malzeme çeşidi Etilen propilen kauçuk olan Nordel'in piyasada ASTM kısaltması EPM/EPDM olarak kullanılır. Aşırı derecede düşük ısıların gereksinim duyulduğu uygulamalar için mükemmeldir. Yüksek esneklik ve mekanik özellikler gerektiren yerlerde kullanılır. Çok iyi su ve kimyasal madde direnci gösterir. Yağ ve çözücüler için düşük direnç'e sahiptir. Nordel kimyasal maddeler, sıcak su ve buharı, çözücüler, alkoller, vb. akışkanlar için kullanılır. Gri Nordel tipi yiyecek, ilaç ve içecek endüstrisinin de kullanılır.

- **Neoprene**

Neoprene çok amaçlı ve özellikle korozyon etkisi aşırı olmayan akışkan uygulamaları için kullanılır. Mükemmel esneklik ömrü ve düşük maliyet gösterirler. Bitkisel yağlar için dirençli fakat gres yağlar, hafif kimyasal maddeler, çoğu yağlar ve çözücüler için etkili değildir. Genellikle güçlü oksitlenme asitleri, ketonlar, esterler, azotlu hidrokarbonlar ve klorlu aromatik hidrokarbonlar bozulmasına neden olur.

- **Viton**

Malzeme çeşidi Florokarbon kauçuk olan Viton'un ASTM kısaltması FKM dir. Aşırı derecede yüksek ısıların gereksinim duyulduğu uygulamalar için mükemmeldir. Gres yağı, yağlar, yakıt, çözücü ve kimyasal maddelerin büyük çoğunluğuna dayanıklıdır. Özellikle tüm alifatik, aromatik ve hidrokarbonlar, asitler ile hayvansal ve bitkisel yağlar. Sıcak su veya sıcak sulu çözeltiler (20 °C'nin üzerinde) için Viton isabetli bir seçim olacaktır. Viton'un maliyeti yüksek ve esneklik ömrünün kısa olması kullanımını kısıtlar. Genellikle yüksek sıcaklıklar ve aromatik hidrokarbonlar için kullanılır.

3.4.1.2. Termoplastik Bileşimler

Bu bileşimler tamamen insan yapımı elementlerin karışımından oluşur. Bu bileşimlerden yapılmış diyaframlar, içerisindeki Termoplastik Elastomer (TPE) bileşimler ölçüsel tutarlılık ve gerilme kuvveti özelliğine sahip olduğundan dolayı ağ örgülü kumaş katmanına gereksinim duyulmaz. Kumaş örgü katmanı bulundurmeyen termoplastik elastomerler enjeksiyon kalıplama yöntemi ile imal edilir. En popüler olanları Santoprene, Polyurethane ve Hytrel dir. Tablo 3.2’de Termoplastik bileşimlerin sıcaklık limitleri gösterilmiştir [Wildenpump, 2003].

Tablo 3.2. Termoplastik bileşimlerin sıcaklık limitleri [Warrenrupp, 2003].

Uygulama sıcaklıkları			
Malzemeler	En yüksek	En düşük	En uygun
Santoprene	100 °C	-23 °C	10 -100 °C
Polyurethane	65 °C	-12°C	10 – 50 °C
Hytrel	104 °C	-28 °C	10 – 80 °C

- **Santoprene**

Santoprene düşük maliyetinden dolayı çoğu asidik ve dokuya zarar verici kostik madde uygulamaların da Teflon’un alternatifidir. Mükemmel aşınma direnci ve esneklik ömrü gösterirler.

- **Polyurethane**

Polyurethane aşınma direnci göstermeyen ve/veya yüksek derecede aşındırıcı uygulamalarda kullanılan genel amaçlı diyaframlardır. Ayrıca Polyurethane tüm malzemelerin en ekonomik olanıdır.

- **Hytrel**

Mükemmel aşınma direnci, esneklik ömrü ve dayanıklılık gösterir. Bu malzemeler aynı zamanda yiyecek işleme uygulamalarında kullanılır. Genel amaçlı çok iyi bir diyaframdır. Yağ ve soğutma sıvıları için idealdir.

3.4.1.3. Teflon Bileşimler

Malzeme çeşidi Polytetrafluoroethylene olan Teflon'un ASTM kısaltması PTFE dir. İnsan yapımı bileşimler olan PTFE esnek olmayan kimyasal maddelerden biridir. Fakat çok az elastikliğe sahiptir % 20'ye kadarı bile akış oranını azaltabilir. Teflon'un kimyasal madde direnci çok iyi fakat çalışma ömrü ve maliyeti sınırlıdır. Bu nedenle, elastomerin esneklik karakteri ile PTFE'nin kimyasal direnci birleştirilerek katkılı PTFE diyaframlar geliştirilmiştir. Böylece esneklik ve esneklik ömründe iyileşmeler görülmüştür.

PTFE diyafram teknolojisinde bir başka önemli gelişmede diyaframın tek bir katmandan oluşması ve ara bir katmanın bulunmamasıdır. İlk zamanlar da pompanın sıvıyla temas eden kısımda Teflon ve iç kısımda EPDM gibi lastik katmanlar kullanılırdı. Katkılı Teflon diyaframın imalatından sonra katmansız lastik diyaframlar kullanılmaya başlanmıştır. Tablo 3.3'de Teflon malzemenin sıcaklık limitleri gösterilmiştir [Wildenpump, 2003].

Tablo 3.3. Teflon malzemenin sıcaklık limitleri [Warrenrupp, 2003].

Malzemeler	Uygulama sıcaklıkları		
	En yüksek	En düşük	En uygun
Teflon (PTFE)	100 °C	-37 °C	10 – 100 °C

- **PTFE**

Teflon (PTFE) aşırı derecede etkin akışkanlar örneğin, Aromatik veya klorlu hidrokarbonlar, asitler, kostik (yakıcı) maddeler, ketonlar, asetik asit tuzu vb. maddeleri pompalamada mükemmel seçimdir. Standard bir diyaframa göre iyi esneklik ömrü gösterir.

3.5. Hava Tahrikli Çift Diyafram Pompa Çeşitleri

Hava tahrikli çift diyafram pompalar iki kategoride sınıflandırılır. Birinci kategoride, çek valf tipinin top veya kapaklı oluşuna göre ikiye ayrılır. Endüstride en çok top valf sistemi ve özel uygulamalar için kapaklı valf sistemi kullanılır.

İkinci kategoride, HTÇD pompalar kullanıldıkları akışkanın çeşidine uygun elemanlarının malzemesine göre standart ve özel tasarımlar olarak çeşitlerine ayrılır. Burada akışkanın tipi pompa çeşidinin belirlenmesinde en önemli etkidir. Hava ile çalışan çift diyafram pompaların tipleri;

1. Standart Pompalar

- Metal pompalar
- Plastik pompalar
- Paslanmaz çelik pompalar

2. Özel Tasarımlar

- Toz pompalar
- Yüksek basınç pompaları
- Varil pompalar
- Çift yönde etkili pompalar

3.5.1. Metal Pompalar

Farklı boyut ve tip'deki metal döküm pompalar yaklaşık her uygulama tipinde kullanılır. Sağlam döküm yapı, aşındırıcı ortam uygulamalarında yüksek aşınma direnci, geniş ısı derecesi aralıklarında kullanılabilirlik, mükemmel paslanma direnci ve uzun ömür sağlar. Hava kontrol sistemi ve diğer parçaların birleştirme işleminin iyi tasarlanmış olması, metal döküm pompaları taşınabilir üniteler veya sabit gereçler olarak kullanılmasını sağlar [All-flo, 2003].

Metal Serisi Tipleri

- 1- Alüminyum
- 2- Dökme demir/bronz
- 3- Dökme paslanmaz çelik 316L
- 4- Dökme paslanmaz çelik 316L/bronz

Uygulama Alanları:

- Boya ve Cila Endüstrisi
- Otomobil Endüstrisi
- Seramik ve Porselen Endüstrisi
- Madencilik, Atık Su, İnşaat Endüstrisi
- Kimya Endüstrisi

3.5.2. Plastik Pompalar

Teknik olarak koroziif ortamlarda metal pompalar kullanıldığında gerek duyulan kimyasal direnci sağlayamazlar. Koroziif ortamlar için plastik malzemeden yapılmış pompalar geliştirilmiştir. Plastik pompalar ile metal döküm pompalar karşılaştırıldığında pompalama basıncında herhangi bir azalma olmamıştır. Bu pompalar aynı zamanda düşük akış kayıpları, mükemmel aşınma direnci ve max. 860 kPa basınçta kullanılabilir. Bilgisayar destekli enjeksiyon kalıplama metodu kullanılarak üretilen pompa parçaları aynı boyutlarda ve yüksek kalitede bitmiş yüzeyler olarak elde edilir [All-flo, 2003].

Plastik Serisi Tipleri

- 1- Polypropylene, Katı
- 2- Polypropylene, Enjeksiyon kalıplama
- 3- Polypropylene, İletken
- 4- PTFE
- 5- PTFE, İletken

Uygulama Alanları:

- Galvanik ve Kaplama Endüstrisi
- Kağıt ve Kereste Endüstrisi
- Boya ve Cila Endüstrisi
- İlaç Endüstrisi
- Kimya Endüstrisi
- Güç İstasyonları, Artıkları yok etme uygulamaları
- Makine İmalat Endüstrisi

3.5.3. Paslanmaz Çelik Pompalar

Ekstra parlatılmış paslanmaz çelik pompalar yiyecek, ilaç, kozmetik ve içecek endüstrileri için geliştirilmiştir. Bu endüstriler de paslanmaz çelik pompalar vazgeçilmez standart olarak işleme ve taşıma görevlerin de kullanılır. Uygulama alanlarındaki yüksek gereksinimler nedeniyle kullanılan malzemeler ANSI standardına göre paslanmaz çelik 304, 316, 316L ve yüzey kalitesi yaklaşık olarak $0.5\ \mu\text{m}$ değerlerin de imal edilir. Tablo 3.4’de paslanmaz çelik tiplerinin bileşenleri verilmiştir.

Paslanmaz çelik pompaların çalışma alanları, Dünya’nın her yerinde değişik temizleme metotları ve sterilize yeterliliği olan örneğin, Temiz yer CIP (Clean in place), Sterilize yer SIP (Sterilise in place) standartlarına sahiptir. Bu nedenle paslanmaz çelik pompaların tasarımı ve imalatı süresince bu standartlara dikkat edilir. Paslanmaz çelik 304, 316 ve 316L’nin ekstra parlatılmış, kelepçeli ve flanşlı tipleri mevcuttur [All-flo, 2003].

Paslanmaz çeliklerin fiziksel özellikleri:

Korozyona dirençli paslanmaz çelik alaşımların iki tipi 304 ve 316 çeşitli uygulamalar için idealdir.

Tip 304: Genellikle kimyevi madde işleme ekipmanları, yiyecek, mandıra, içecek endüstrisi ve ısıtıcılar için kullanılır.

Tip 316: Yapısında molibden içerdiğinden dolayı Tip 304 paslanmaz çelik’e göre korozyona karşı biraz daha az direnç gösterir. Tip 316 kimyevi ve meyve özü işleme ekipmanları, fotoğrafçılık gereçleri, yiyecek-içecek işleme ve dağıtım ekipmanları ayrıca tuzlu suya maruz kalacak ekipmanlar için idealdir [Coleparmer, 2003].

Tip 316L: Kaynaklı uygulamalar da kullanmak için Tip 316'nın karbon oranının biraz daha düşürülerek değiştirilmiş halidir.

Tablo 3.4. Paslanmaz çelik 304, 316 ve 316L'nin bileşenleri [Coleparmer, 2003].

Bileşenler	Tip 304	Tip 316	Tip 316L
Krom	% 18-20	% 16-18	% 16-18
Nikel	% 8-10.5	% 10-14	% 10-14
Karbon	% 0.08	% 0.08	% 0.03
Mangan	% 2	% 2	% 2
Silisyum	% 1	% 1	% 1
Molibden	—	% 2-3	% 2-3

Paslanmaz Serisi Tipleri

- 1- Paslanmaz çelik 304, cilalı
- 2- Paslanmaz çelik 316 L, parlatılmış
- 3- Paslanmaz çelik 316 L, flanşlı tasarım

Uygulama Alanları:

- Kimya Endüstrisi
- İlaç Endüstrisi
- Biotechnology
- Tıbbi Uygulamalar
- Kozmetik Endüstrisi
- Yiyecek ve İçecek Endüstrisi
- Mandıralar

3.5.4. Toz Pompalar

Havalı diyafram pompalar akışkan tozlarını ekonomik olarak ve neredeyse tozsuz bir şekilde kolayca taşıyabilir. Endüstrilerin çoğun da toz pompalar, konteynırlar veya araçların hızlı bir şekilde boşaltılmasın da kullanılır. Toz'un kolay taşınması için pompanın tipine bağılı olarak standart Y-şeklinde emme ve boşaltma manifoldları kullanılır.

Uygulama Alanları:

- Plastik Ürünlerin Üretimi
- Kimya Endüstrisi
- Farmasötik (Eczacılağı aıt) Endüstrisi
- Bira Fabrikaları
- Yiyecek Endüstrisi

3.5.5. Yüksek Basınç Pompaları

Endüstrinin gereksinimleri için 1300, 1600 veya 2100 kPa basınç oranların da yüksek pompalama kapasiteli, yüksek basınç pompaları geliştirilmiştir. Yüksek basınç pompalarına ayrı bir güçlendirici ünite doğrudan takılmış veya harici takılabilecek şekilde tasarlanmıştır. Standart metal diyafram pompalar ile bu pompaların maksimum 700 kPa basınçtaki pompalama performansları karşılaştırıldığında, güçlendiricinin basıncı 3 :1 oranına kadar yükselttiğı görülmüştür [All-flo, 2003].

Uygulama Alanları:

- Seramik Endüstrisi
- Otomobil Sanayi
- Atık Su Endüstrisi
- Kimya Endüstrisi
- Çevresel Teknoloji

3.5.6. Varil Pompalar

Varil tipi havalı diyafram pompalar variller ve konteynırların boşaltılması için diğer pompalama sistemlerine alternatif aşınma direnci ve ekonomiklik sağlar. Varil tipi pompaları akışkanların geniş bir aralığında kullanmak için üç farklı malzemeden yapılmış seçenekleri bulunur. Alüminyum, Paslanmaz çelik 316L ve Polypropylene tipleri mevcuttur. Bunlar varili boşaltmak için üzerine kolayca monte edilecek şekilde tasarlanmışlardır [All-flo, 2003].

Uygulama Alanları:

- Kimya Endüstrisi
- Otomobil Sanayii
- Artıkları Yok etme Teknolojisi
- Mobilya Endüstrisi
- Ağır Sanayi

3.5.7. Çift Yönde Etkili Pompalar

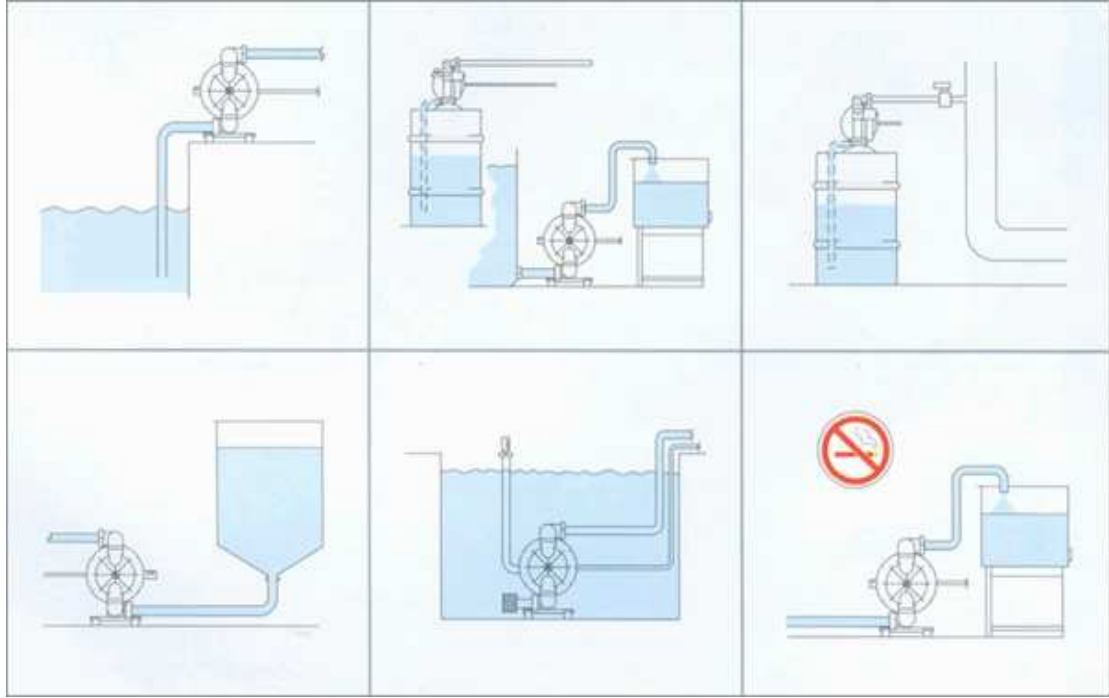
Bu pompalar kağıt işleme ve tekstil endüstrisinde kullanılmaktadır. Çift yönde etkili pompalar akışkanı eş zamanlı ve iki farklı ortama birbirinden bağımsız olarak transfer edilmesini sağlar. Emme ve boşaltma portları'nın üzerindeki bağlantılar farklı olduğundan iki çeşit akışkan pompalanabilir. Baskı ve Boya endüstrisinin de ürün hattı için eş zamanlı olarak farklı viskozitedeki akışkanların ortama pompalanması tipik bir uygulama örneğidir. Ayrıca ekonomik ve çevreyi koruma faydaları vardır [All-flo, 2003].

Uygulama Alanları

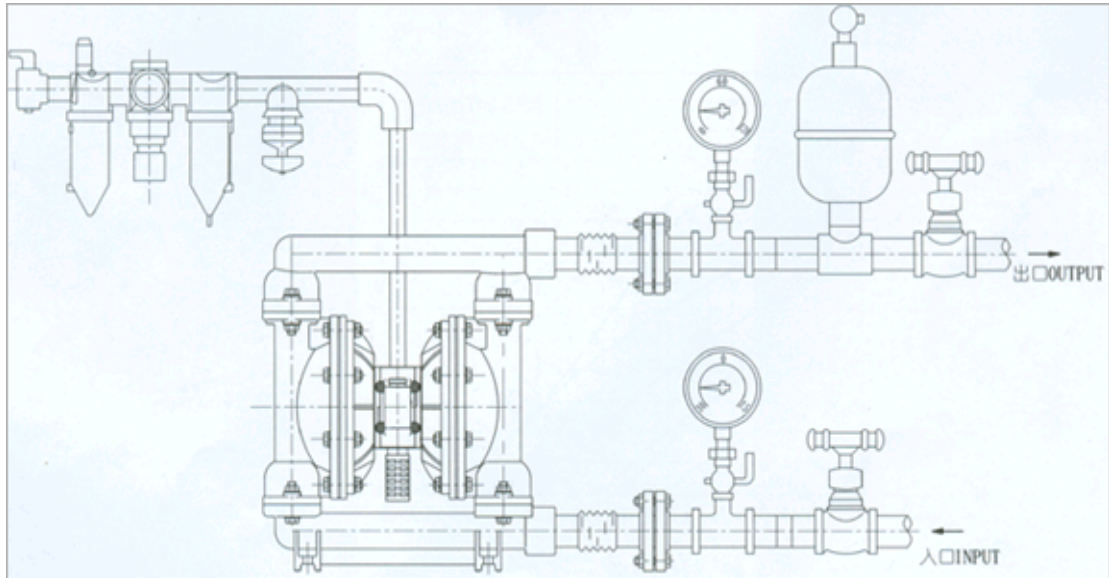
- Yüzey Kaplama Teknolojisi
- Atık Su Teknolojisi
- Baskı Endüstrisi
- Kağıt İşleme
- Mobilya Endüstrisi

3.6. Kurulum ve Bakım

Hava ile çalışan çift diyafram pompalar çok az hareketli parçalara sahip olmaları nedeniyle kurulumları güvenlidir. Fiziksel olarak boşluğun olduğu her yere takılabilir, eğer pompanın malzemesi sıvı ile uyumlu ise içerisine batırılır ve çıkış kısmı sıvının dışına konumlandırılır. Şekil 3.5'de HTÇD pompaların farklı kurulum şekilleri gösterilmiştir. Onların çalışma modu basittir, bypass yoluyla yönlendirme veya emniyet valfi gibi vasıtalarla ihtiyaç duymaz. Eğer boru sistemlerin de titreşim ve dalgalanma problemlerine neden oluyorsa pulsasyon kırıcı bağlanabilir. Şekil 3.6'da bir HTÇD pompanın bağlantı sistemi gösterilmiştir [Roze, 2002].



Şekil 3.5. HTÇD Pompanın Farklı Kurulum Şekilleri [Pumpvalveworld, 2003].



Şekil 3.6. HTÇD Pompanın Bağlantı Sisteminin Şematik Resmi [Pumpvalveworld, 2003].

HTÇD pompalar güç kaynağı olarak sıkıştırılmış hava kullanır. Elektriğin mevcut olmadığı veya elektrik kullanımının yasak olduğu tehlikeli alanlar da kullanılabilir. Sıkıştırılmış hava, patlamaz (explosion-proof), elektriksel veya ısı oluşumuyla parçalarda kıvılcım oluşturmaz ve ürün koruması sağlar.

HTÇD pompalar santrifüj veya pozitif iletimli pompalara göre çok yönlü ve çevre kirliliği yapmayan uygulama alanına sahiptir. Çoğu HTÇD pompalar yağsız buharın atmosferin içerisinde havalandırılmış olmasından dolayı bulunduğu ortamdaki yağsız sıkıştırılmış havayı kullanabilir. Ek olarak, yağ tüketimi veya yağlama maliyetleri yoktur. Bakım ve diyaframları değiştirmek için kolayca sökülebilir.

3.7. Yaşam Döngüsü ve Maliyetleri

Bir pompanın sahibine maliyeti değerlendirildiğinde tüm kurulum işlemleri, pompanın satın alınması ve çalıştırılması maliyetleri kadardır. Eğer atölye (tesis) uygulama için uygun bir şekilde tasarlanmamışsa, pompa çalışma için gerekenden daha fazla maliyet gerektirebilir.

HTÇD pompada başlıca tüketilen parçalar valfler, valf yatakları ve diyaframlardır. Genel olarak, yedekler düşük maliyetlidir fakat en uygun parçaları kullanmak önemlidir. örneğin, Neoprene diyaframlar genel amaçlı kullanım, düşük maliyet ve yüksek esneklik ömrü sunması mükemmeldir. Buna-N (aynı zamanda Nitrile olarak bilinen) yaklaşık olarak Neoprene'den %70 daha pahalı iken Nordel (aynı zamanda EPDM olarak bilinen) yaklaşık olarak Neoprene'den %40 daha pahalıdır. Viton yüksek derecede dirençli fakat Neoprene'den yaklaşık olarak 9 kez daha pahalıdır. Teflon diyaframlar polyurethane'dan tipik olarak 10 kez daha pahalıdır. Bu suretle uygulama için en uygun diyaframın seçimi bakım maliyetlerini önemli etkileyebilir [Rozee, 2002].

Sıkıştırılmış havanın kompresörler gerektirmesi, hava dağıtım sistemleri ve yüksek enerji maliyetleri çoğu tesislerde diğerlerine göre pahalıya faydalanılabilir. Bundan dolayı mühendisler faydalanma maliyetlerini iyi araştırmalıdır. HTÇD pompanın çok yönlü olması neredeyse hesaplanması mümkün olmayan bir değere sahiptir. HTÇD pompa santrifüj ve pozitif iletimli pompalara gerçek bir alternatiftir ve pompa seçim işleminde gözden kaçırılmaması gerekir.

3.8. Hava Tahrikli Çift Diyafram Pompa Seçerken Dikkat Edilecek Hususlar

Pompa seçiminin doğru yapılmış olması ve çalışma şartlarına uyulması uzun süreli çalışmalarda çıkabilecek problemlerin önlenmesi ve enerji tasarrufu açısından oldukça önemlidir. En uygun pompayı seçmek için aşağıdaki özellikler göz önüne alınmalıdır.

1. HTÇD pompa seçiminde üretici firmaların hazırladığı pompa seçim tabloları kullanılır. Bu tablolar pompa boyutu, maksimum katı partikülün büyüklüğü, maksimum akma oranı ve pompanın yapı malzemesine göre çeşitlerini içerir.
2. Pompalanacak sıvının miktarı öncelikle pompanın boyutlarını etkiler. Seçilen pompanın kritik ölçüleri, yeni bir tesisat kurulumu çok pahalıya mal olacağı için var olan pompalama tesisatına karşı kontrol edilmelidir.
3. Bulamaç (sulu çimento, kömür çamuru, vb.) içerisindeki katı parçacıkların büyüklüğü pompanın katı geçit sınırından büyük olmamalıdır. Pompanın katı geçit sınırından daha büyük parçacıkların geçişini önlemek için pompa giriş hattının uç kısmına bir süzgeç takılır.

4. Bir uygulama'nın emme yüksekliği gereksinimleri pompanın emme yüksekliği yeterliliğinden büyük olmamalıdır. Emme yüksekliği giriş ve boşaltma dirseklerinin sayısı, pompalanan sıvının viskozitesi, yükseklik (atmosferik basınç) ve boru sürtünme kayıplarına bağlı olarak değişecektir.
5. Optimum ömür ve performans için, pompaların günlük çalışma parametreleri pompa performans eğrisinin ortalarında olması gerekir. HTÇD pompa üreticilerinin her biri kendi ürünleri için performans eğrisi grafikleri çıkarmıştır. Performans eğrisini etkileyen en önemli etmen diyafram çeşididir.
6. Kimyasal madde dayanım rehberleri; Pompalanan akışkan, ıslanan parçalar ve elastomerlerin seçimi için kimyasal madde uygunluğu kişisel tecrübeye bağlı olarak kullanılması gerekir.
7. Sıcaklık limitleri sadece mekanik gerilim tabanlıdır. Kimyasal maddeler maksimum güvenli uygulama sıcaklıklarını önemli derecede azaltacaktır. Pompanın yapı malzemeleri ve elastomerlerin sıcaklık limitleri için üretici firmaların hazırladığı rehberler kullanılmalıdır.
8. Yüksek derecede aşındırıcı akışkanlar pompalandığın da pompanın iç kısımları zarar görebilir. Aşındırıcı akışkanların içerisindeki küçük taşlar, ince metal parçaları ve kumlar pompa elastomerlerinin (valf yatağı, çek valf topu ve diyafram) zamanından önce aşınmasına neden olur. Bu durum pompanın performansını etkiler. Bu nedenle yüksek aşındırıcı maddeler içeren akışkanlar pompalanırken elastomerlerin aşınmasını ve akışkanın hızını azaltmak için daha büyük boyutlu pompa kullanılmalıdır.
9. Kaviteasyon, her pompa tipinde olabilir hidrolik bir durumdur. Pompaya sağlanan akışkanın yetersizliği veya azalmasından dolayı kapasitesinin altında sıvı boşaltması kaviteasyona sebep olur. Genel olarak kaviteasyonun sebepleri, çok fazla emme yüksekliği, yetersiz net pozitif emiş yüksekliği (Net Positive Suction Head - NSPH) ve pompanın çok yüksek hızda çalıştırılmasıdır.

4. YENİ GELİŞTİRİLEN ÇALIŞMA SİSTEMİ

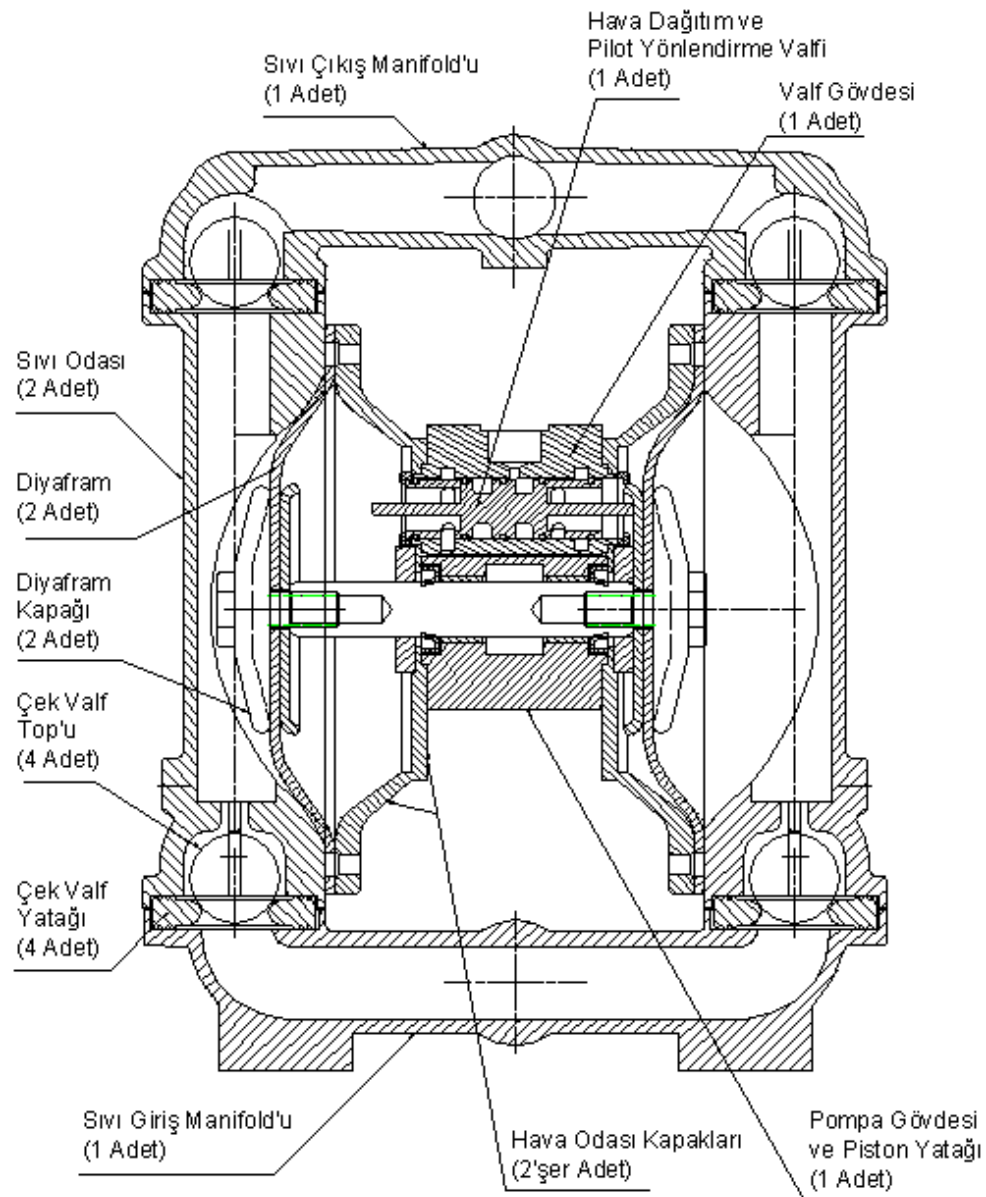
Hava tahrikli çift diyafram pompaların çalışma sistemini oluşturan en önemli parçalar hava dağıtım valfi ve pilot yönlendirme valfidir. Üretici firmaların çoğu ürünlerinde bu iki valf sistemini birlikte kullanmaktadır. Son zamanlarda üretici firmalar, hava dağıtım ve pilot valflerin görevini yapabilecek tek sistem üzerinde çalışmaktadır.

Yeni geliştirilen çalışma sistemi hava dağıtım ve pilot yönlendirme valfinin görevlerini yapabilecek tekli valf sistemi olarak tasarlanmıştır. Yeni tasarımın geliştirilmesinde hedef alınan nicelikler; var olan sistemlere göre çok basit, ekonomik ve en önemlisi tamamen farklı orijinal bir tasarım olmasıdır. Yeni pompanın geliştirme aşamasında kriter olarak Warren Rupp firmasının Model S1F Metalik tasarımı alınmıştır. Kriter alınan pompanın sıvı odalarını oluşturan yan duvarlar, sıvı giriş ve çıkışının bulunduğu alt ve üst manifoldlar, çek valf topları ve çek valf yatakları yeni tasarımda kullanılmıştır. Genel olarak, HTÇD pompalarda bu parçalar sadece boyutsal olarak değişir ve biçimsel olarak herhangi bir değişiklik yapılmadan kullanılır. Yeni tasarım ile kriter alınan pompanın karşılaştırılmasını yapmak için tasarım açısından önemli etkisi olmayan bu parçalar kullanılmıştır.

Yeni HTÇD pompanın hava dağıtım sisteminin geliştirilmesi süresince çok değişik tasarımlar yapılmıştır. Tasarım aşamasında karşılaşılan problemler çoğu zaman karmaşık olduğu gibi aynı zamanda basitde olmuştur. Tasarım veya çözüme ulaşmak için daima bir yöntem veya yoldan daha fazlası olacaktır ve sadece bir “doğru” cevap olmayacaktır. Olabilir bir cevaba sahipsek, aynı zamanda bu cevabın da en iyi olduğunu kabul edemeyiz. Final tasarımına kadar orijinal etkin ürün tasarımı teorisinin gerektirdiği çağdaş uygulamalar yapılmıştır. Yeni tasarımın parçaları imal edilerek montajı yapıldıktan sonra ilk denemesinde istenilen optimum çalışmaya yaklaşık bir değerde çalışma ve doğrusal akış üretilmiştir. Bu sonuçtan sonra tasarımda istenilen optimum çalışma performansını verecek gerekli düzenlemeler yapılmıştır.

4.1. Yeni Tasarımın Parçaları ve Yapısı

Yeni tasarımın geliştirilmesine başlamadan önce tespit edilen niteliklere göre; çalışma sistemi basit ve minimum parça sayısına sahip olacak şekilde tasarlanmış ve imal edilmiştir. Yeni tasarlanan HTÇD pompanın yapısı ve parçalarının kesit alınmış görüntüsü Şekil 4.1’de verilmiştir. Yeni tasarımda, kriter alınan Warren Rupp firmasının S1F metal modelindeki bazı parçalar kullanılmıştır. Bu parçalar tüm HTÇD pompalarda standart olduğu için tekrar üretilmesine gerek duyulmamıştır.

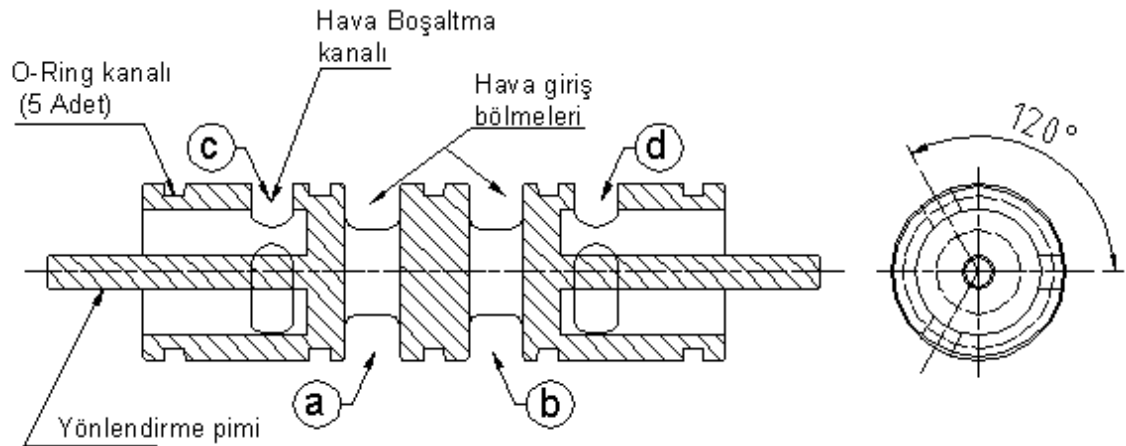


Şekil 4.1. Yeni Geliştirilen HTÇD Pompanın Yapısı ve Parçaları.

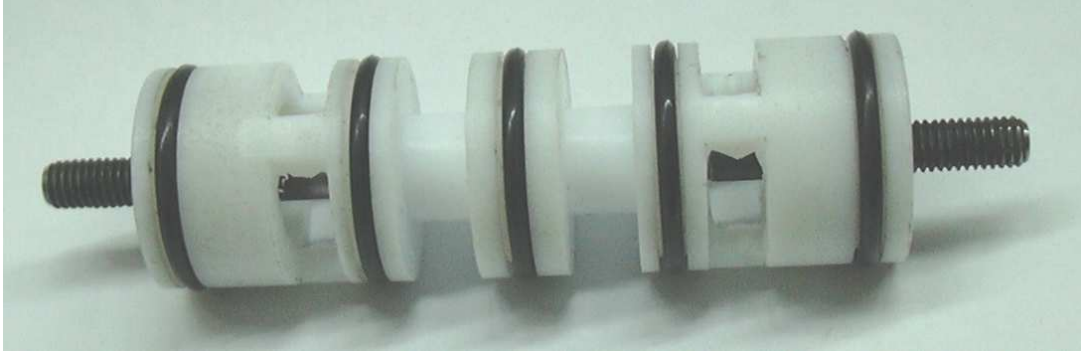
4.1.1. Hava Dağıtım ve Pilot Yönlendirme Sürgüsü

Hava dağıtım ve pilot yönlendirme sürgüsü yeni tasarımın çalışma sistemini oluşturan en önemli parçasıdır. Bu sürgünün özelliği diğer HTÇD pompa tasarımlarında kullanılan hava dağıtım ve pilot yönlendirme valflerinin görevlerini tek başına yapabilmesidir. Ayrıca imalatının basit olması maliyeti önemli ölçüde düşürmektedir. Şekil 4.2’de yeni tasarlanan valf sürgüsünün kesit resmi verilmiştir.

Yeni tasarlanan sürgüde basınçlı havanın odalara yönlendirilmesi için orta kısmında (a) ve (b) olarak iki fatura bulunur. Hava odalarında sıkışan havanın boşaltılma işlemi sürgüsünün içerisinden yapılmaktadır. Bunun için sürgünün uçları belirli çapta boşaltılarak dış kısmına 120° açıyla oblong kanallar (c) ve (d) açılarak birleştirilmiştir. Sürgünün yönlendirilmesi için uç kısımlarına St-37 malzeme’den yapılmış pimler konulmuştur. Sızdırmazlığı sağlamak için 5 adet O-ring kanalı açılmıştır. Sürgü deneme amaçlı olarak kestamid malzemeden üretilmiştir. Şekil 4.3’de Kestamid malzemeden imal edilmiş sürgünün son hali görülmektedir. Tasarımın iyileştirme aşamalarında sürgü malzemesi olarak bronz, derlin 150 ve paslanmaz çelik ANSI 316 kullanılarak değerlendirilmesi yapılacaktır.

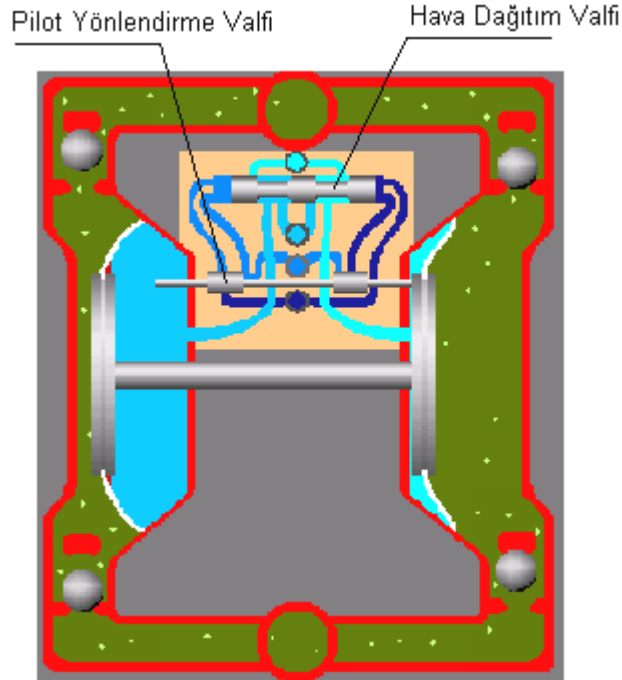


Şekil 4.2. Yeni Tasarlanan Valf Sürgüsü.



Şekil 4.3. Yeni Tasarlanan Valf Sürgüsünün İmal Edilmiş Hali.

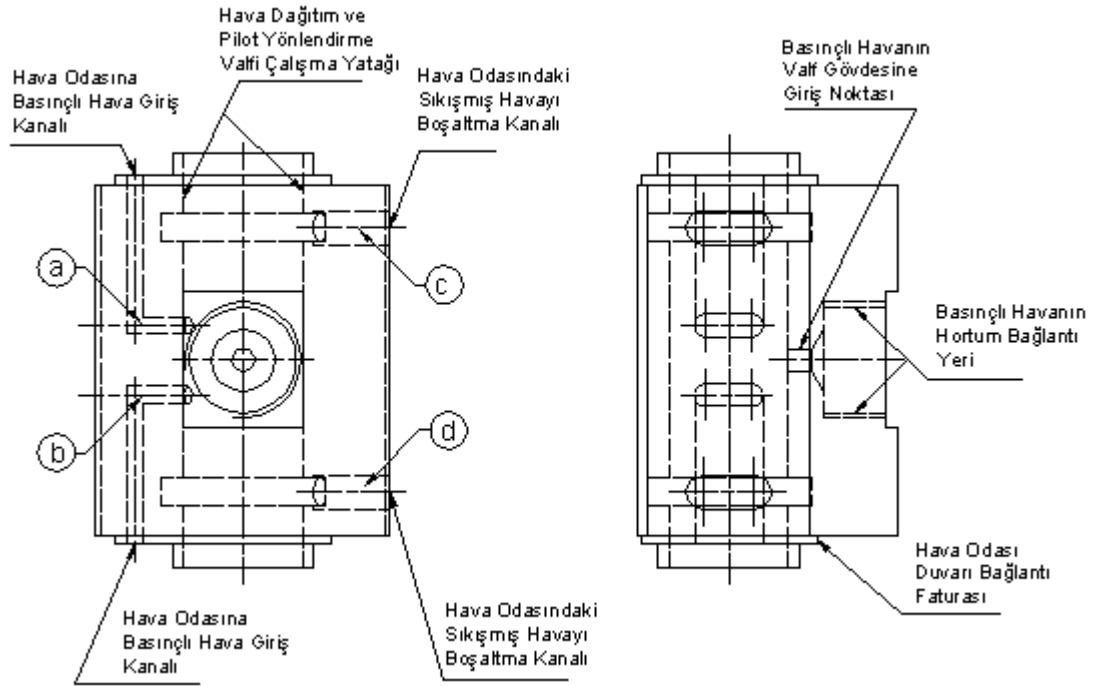
Kriter alınan HTÇD pompanın çalışma sistemi hava dağıtım ve pilot yönlendirme valfi olmak üzere iki ayrı valften oluşur. Hava dağıtım valfi, pilot yönlendirme valfine bağlı olarak basınçlı havayı odanın birisine gönderirken aynı zamanda diğer odadaki sıkışmış haldeki havanın boşaltma işlemini yapar. Şekil 4.4’de Kriter alınan pompanın çalışma sistemini ve valflerin konumunu gösteren kesit resmi verilmiştir.



Şekil 4.4. Kriter Alınan Pompanın Çalışma Sistemi [Animatedsoftware, 2002].

4.1.2. Hava Valf Gövdesi

Hava valf gövdesinde basınçlı havanın odalara dağıtılması ve odalardaki sıkışmış havayı dışarı atmak için simetrik ve asimetrik açılmış kanallar bulunur. Valf gövdesindeki kanallar ve deliklerin ölçüleri hesaplanarak açılmıştır. Tasarımın deneme işleminden sonra bu ölçülerde değişiklik yapılacağı saptanmıştır. Bu değişiklik Şekil 4.5’de imalat resminde gösterilen (a) ve (b) hava dağıtım kanallarının büyütülmesini içermektedir. Hava valf gövdesi DIN 1747 Alüminyum alaşımlı 4365 malzemeden imal edilmiştir. Tasarımın son halinde valf gövdesi pompa gövdesi ile birleşik olarak Alüminyum dökümden imal edilecektir. Basınçlı havanın valf gövdesine bağlantısı için $\frac{1}{2}$ " - Ø10 hortum girişi kullanılmıştır. Şekil 4.6’da hava valf gövdesinin imal edilmiş son hali verilmiştir.



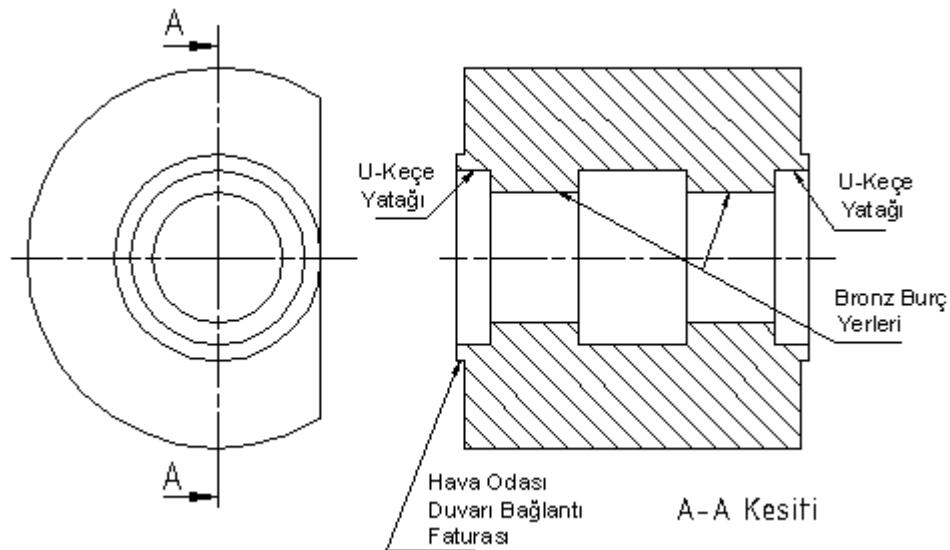
Şekil 4.5. Hava Valf Gövdesinin İmalat Resmi.



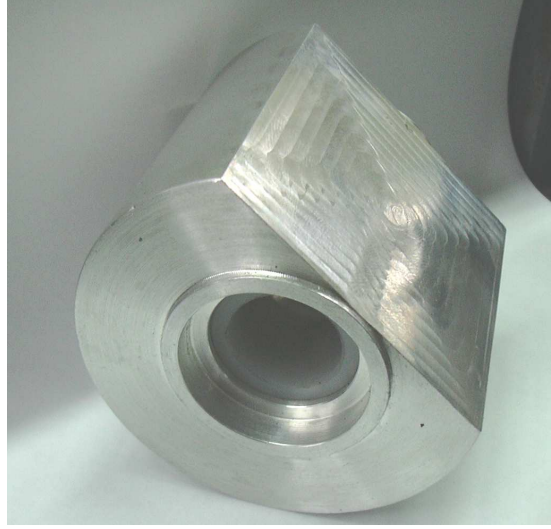
Şekil 4.6. Hava Valf Gövdesinin İmal Edilmiş Hali.

4.1.3. Pompa Gövdesi

Pompa gövdesinde diyaframların bağlandığı pistonun burçları ve pistonun sızdırmazlığını sağlayan U-keçe yuvaları bulunur. DIN 1747 Alüminyum alaşım 4365 malzemeden imal edilen pompa gövdesinin Şekil 4.7’de imalat resmi verilmiştir. Yeni tasarımda hava odasını oluşturan yan duvarlar, hava valf gövdesi ve pompa gövdesi ayrı parçalar olarak tasarlanmıştır. Tasarımın son halinde bu parçalar pompa gövdesiyle bir bütün olarak tasarlanarak Alüminyum dökümden üretilecektir. Pompa gövdesinin piston burçları takılmış ve imalatı yapılmış son hali Şekil 4.8’de görülmektedir.



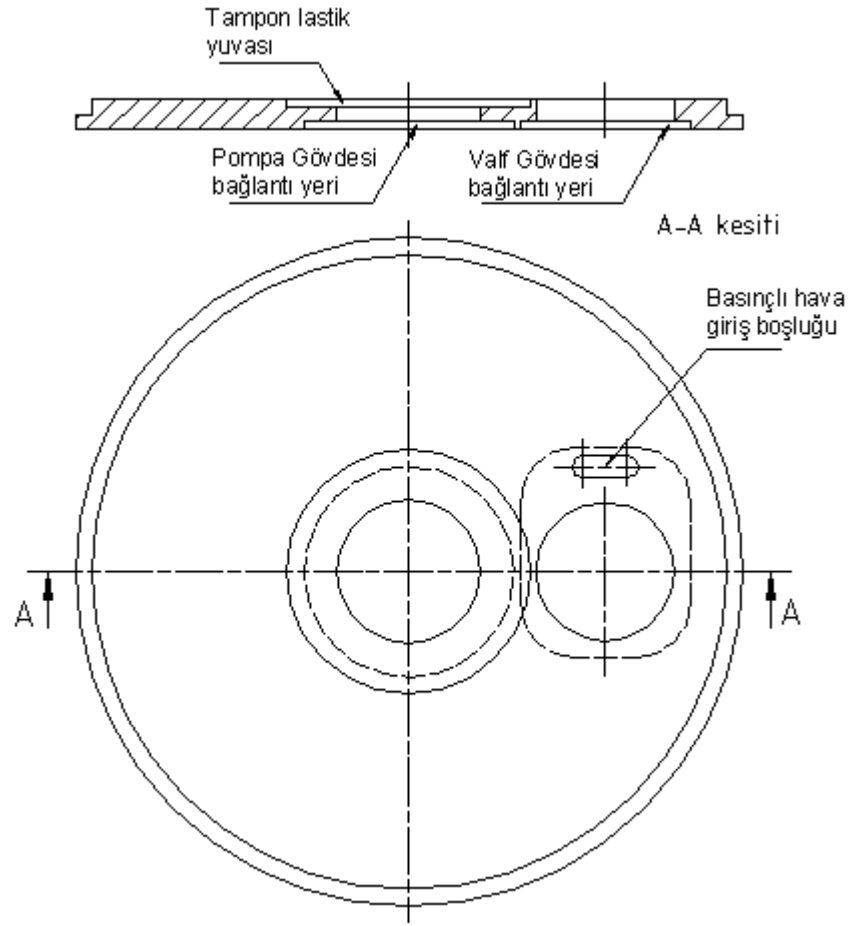
Şekil 4.7. Pompa Gövdesi İmalat Resmi.



Şekil 4.8. Pompa Gövdesi İmal Edilmiş Hali.

4.1.4. Hava Odası İç Duvar Kapağı

Hava odası, yan ve iç duvar olarak isimlendirilen iki parçadan imal edilmiştir. Yeni tasarımın son halinde bu parçalar diğer gövde parçaları ile bir bütün olarak imal edilecektir. Hava odasının iç duvarını oluşturan parçanın imalat resmi Şekil 4.9’da verilmiştir. Hava odası iç duvar kapağına pompa ve valf gövdesi bağlantısını sağlamak için birleşim yerlerine faturalar açılmıştır. Ayrıca diyaframların bağlandığı metal kapakların çalışma esnasında iç duvarlara hızlı olarak çarpmasını önlemek için tampon lastik yuvası açılmıştır. St-37 Malzemedan imal edilmiş parçanın son hali Şekil 4.10’da gösterilmiştir.



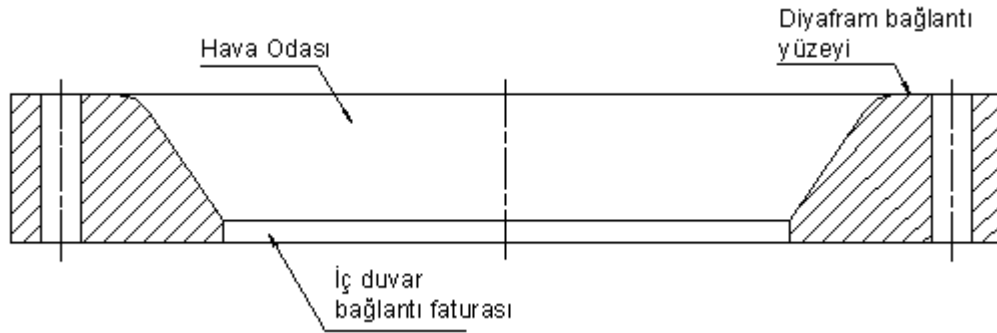
Şekil 4.9. Hava Odası İç Duvarının İmalat Resmi.



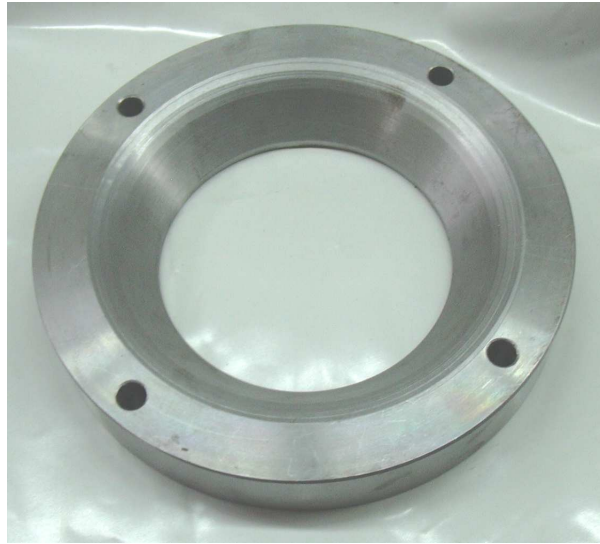
Şekil 4.10. Hava Odası İç Duvarının İmal Edilmiş Hali.

4.1.5. Hava Odası Yan Duvar Kapağı

Hava odası yan duvar kapağı hava odasının hacim (vakumlama) kısmını oluşturmaktadır. Şekil 4.11’de yan duvar kapağının imalat resmi verilmiştir. St-37 malzemeden yapılan parça tasarımın son aşamasında gövdedeki parçalar ile bütün olarak alüminyum dökümden imal edilecektir. Hava odasının hacim miktarı kriter alınan pompaya göre belirlenmiştir. Hava odası yan kapağının imal edilmiş son hali Şekil 4.12’de verilmiştir.



Şekil 4.11. Hava Odası Yan Duvar Kapağının İmalat Resmi.



Şekil 4.12. Hava Yan Duvar Kapağının İmal Edilmiş Hali.

4.1.6. Yeni Tasarımın Montajı

Yeni tasarımın geliştirme aşamasında, tasarımın imal edildikten sonra bazı problemlerle karşılaşılacağı düşünülmüştür. Buna göre; tasarımın yeni düzenlemeler gerektireceği, pompanın ilk denemede çalışmayabilir olması ve diğer düşünülen çalışma sistemlerine geçişi kolaylaştırmak için pompa gövdesi ile bütün olarak imal edilebilecek parçalar birbirinden bağımsız olarak tasarlanmıştır. Yeni tasarımda gerekli düzenlemeler yapıldıktan sonra parçaların imalat kolaylığı ve maliyet değerlendirilmesi yapılarak tasarımdaki parçaların son şekli belirlenecektir.

Montaj işleminde sızdırmazlık ve rijitliği sağlamak için parçalar iç ve dış faturalı olarak tasarlanmıştır. Montaj işleminde ilk önce hava odalarını oluşturan parçalar birleştirilir sonra bu parçalar pompa gövdesi ve hava valfi gövdesini oluşturan parçalar ile birleştirilir. Diyaframların bağlanacağı pistonun tek tarafına diyafram ve kapağı takılır bu şekilde iken pompa gövdesine piston geçirilir ve diğer ucuna diyafram ve kapağı takılarak sıkılır. Montaj bu şekilde iken sıvı odalarını oluşturan yan duvar kapakları ile pompanın gövdesini oluşturan kısım saplamalar ile birleştirilir. Alt ve üst manifoldlar sıvı odası ile birleştirilmeden önce valf yatakları ve valf topları yuvalarına uygun olarak yerleştirilir. En son olarak alt ve üst manifoldlar sıvı odası ile cıvatalı olarak birleştirilerek montaj işlemi tamamlanır. Birleştirme işlemi esnasında faturalı kısımlara sıvı conta kullanılarak sızdırmazlık sağlanmıştır. Şekil 4.13’de Yeni tasarımın montaj işlemi bitmiş son hali verilmiştir.



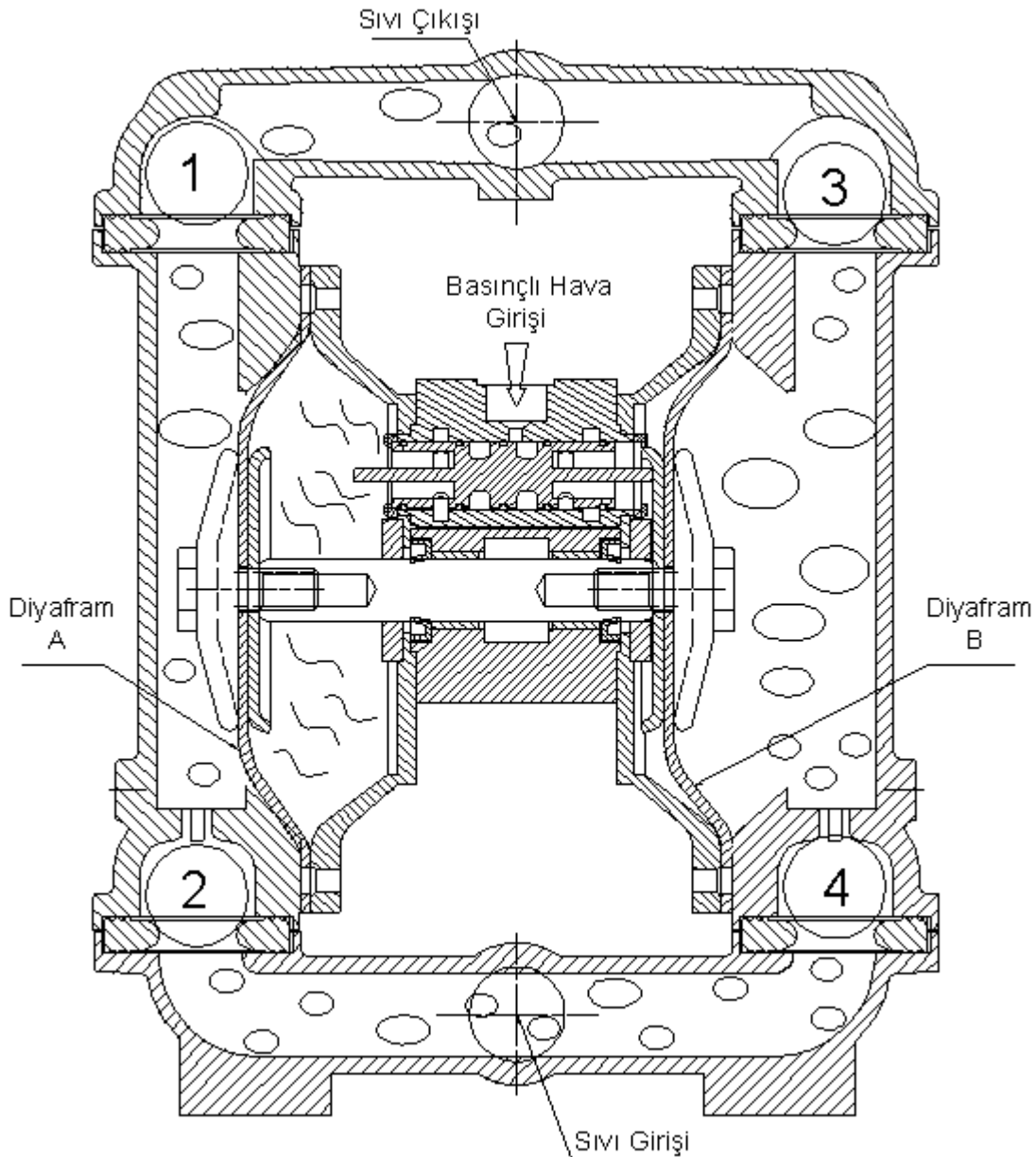
Şekil 4.13. Yeni Tasarımın Montaj İşlemi Yapılmış Hali.

4.2. Yeni Tasarımın Çalışma Sistemi

Yeni tasarım diğer hava tahrikli çift diyafram pompaların çalışma sistemiyle benzer şekildedir. Diyaframlara basınçlı hava belirli aralıklarla yönlendirilir ve sıvı odalarının birisinde vakumlama ile pompanın içerisine sıvı alınırken diğer sıvı odası pompanın içerisindeki sıvıyı boşaltılır. Yeni tasarımın diğer HTÇD pompalardan farkı hava dağıtım sisteminin tek sürgülü valf sitemine sahip olmasıdır.

Pompanın çalışma esnasında çek valflerin, diyaframların ve hava valfi sürgüsünün konumunu gösteren kesit resmi Şekil 4.14'te verilmiştir. Pompanın çalışmasını Şekil 4.14'de göre açıklarsak (2) ve (3) no'lu çek valfler kapalı (1) ve (4) no'lu çek valfler açık durumdadır. A diyaframının bulunduğu sıvı odası boşaltma işlemini tamamlamış ve hava odasındaki sıkışmış havayı boşaltıp, sıvı odasında vakumlama yapacak pozisyonundadır. A diyaframı bu konumda iken B diyaframının bulunduğu sıvı odası vakumlama yaparak pompa içerisine sıvı almış ve hava odasına basınçlı havanın girmesiyle sıvıyı boşaltacak pozisyonundadır.

Çek valfler ve diyaframlar bu konumda iken basınçlı havanın B diyaframının bulunduğu hava odasına girmesiyle; (2) ve (3) no'lu çek valfler kapanır, (1) ve (4) no'lu çek valfler açılır. A diyaframının bulunduğu hava odası sıkışmış havayı boşaltırken sıvı odasında vakumlama yaparak pompanın içerisine sıvı emişi yapar. B diyaframının bulunduğu hava odasına basınçlı havanın dolmasıyla sıvı odası boşaltma işlemi yapar. A diyaframı belirli bir hızla pompa gövdesine çarparak valf sürgüsünün yön değiştirmesini sağlar. Valf sürgüsünün yön değiştirmesiyle çevrim ters yönde çalışmaya devam edecektir. Valf sürgüsü yönlendirildikçe çevrim devam ettirilecektir.

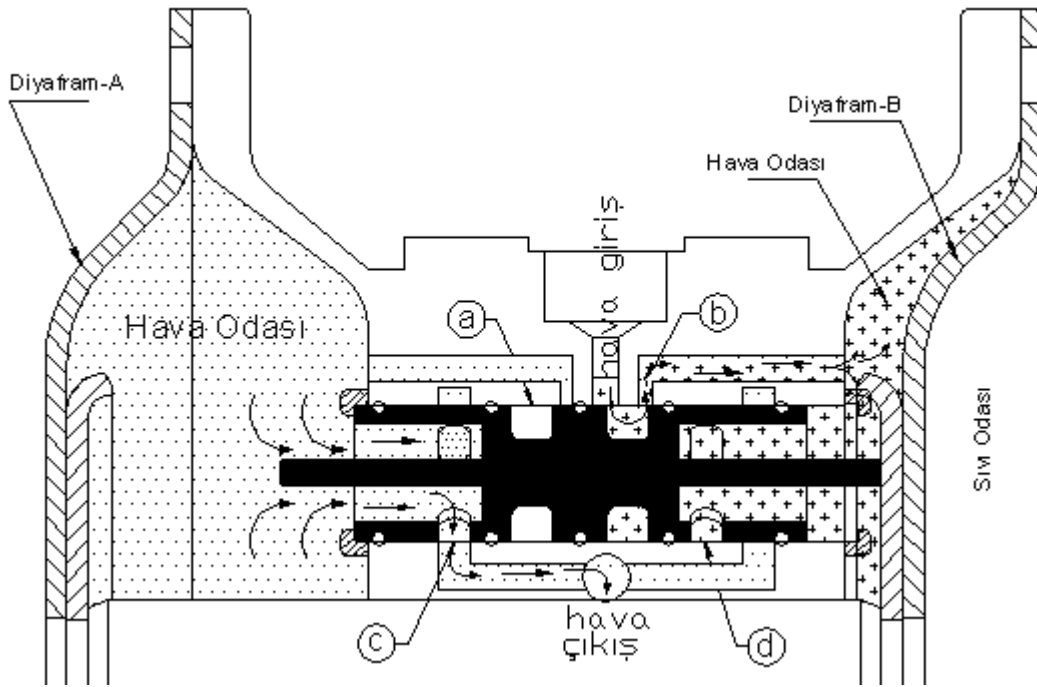


Şekil 4.14. Yeni Tasarımın Çalışma Sistemi.

Basınçlı havanın odalara dağıtılması ve odalardaki sıkışmış havanın boşaltılması işlemini yapan valf sürgüsü bu işlemleri 2 konumda yapar.

I. konum:

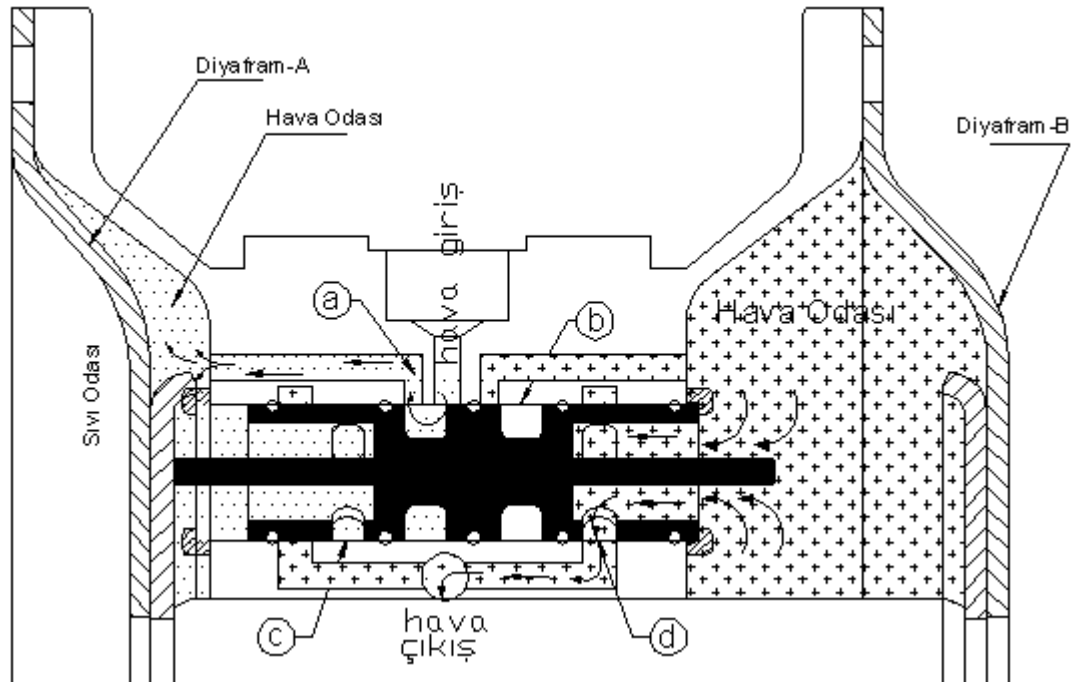
Valf sürgüsünün ve valf gövdesinin I no'lu konumunu gösteren detay resmi Şekil 4.15'de verilmiştir. Buna göre, hava odalarına basınçlı havanın gönderildiği (a) kanalı kapalı iken (b) kanalı açıktır. Basınçlı hava (b) kanalından B diyaframının bulunduğu hava odasına hareket eder ve bu kısımdaki sıkışmış havanın boşaltılmasını sağlayan (d) kanalı kapalı olduğu için hava sıkışmaya devam edecektir. Bu esnada A diyaframının bulunduğu hava odasındaki sıkışmış hava (c) kanalından dışarı atılacaktır.



Şekil 4.15. Valf Sürgüsü'nün I no'lu Konumu.

II. konum:

I. konuma göre A diyaframı pompa gövdesine doğru ilerleyerek valf sürgüsünün yön değiştirmesini sağlamıştır. Şekil 4.16’da valf sürgüsünün II. konumunu gösteren detay resmi verilmiştir. II. konumda valf sürgüsünün hava dağıtım kanalı (a) açık ve (b) kapalı durumdadır. Basınçlı hava (a) kanalından A diyaframının bulunduğu hava odasına hareket eder. Bu kısmın boşaltma kanalı (c) kapalı olduğu için odada hava sıkışmaya devam edecektir. Bu esnada B diyaframının bulunduğu hava odasındaki sıkışmış hava (d) boşaltma kanalından dışarı atılır.



Şekil 4.16. Valf Sürgüsü'nün II no'lu Konumu.

Pompanın montaj işlemi bitirildikten sonra yaklaşık 100 kPa'lık basınçtaki ilk çalışma anını gösteren resmi şekil 4.17'de verilmiştir.



Şekil 4.17. Pompanın İlk Çalıştırma Denemesi.

4.3. Yeni Tasarımın Avantajları

1. Yeni tasarımın endüstride kullanılan diğer HTÇD pompalardan ayıran özelliği tek sürgülü hava valf sistemine sahip olmasıdır. Diğer HTÇD pompaların çalışma sistemi pilot yönlendirme ve hava dağıtım valfi olmak üzere iki valften oluşur. Yeni tasarımda bu iki valfin görevini tek bir valf yapmaktadır.
2. Tek sürgülü hava valf sisteminin pompaya kazandırdığı en büyük özellik; güç kaynağı olarak kullanılan basınçlı havadan kayıplar olmadan yüksek verimde kullanma olanağı sağlamaktadır. Çift valf sistemine sahip pompalarda valf sürgülerinin birbirlerini yönlendirmesi esnasında hava kayıpları meydana gelmektedir. Yeni tasarımda hava kayıpları az olduğu için enerji tasarrufu sağlar.
3. Yeni tasarım, maliyetlerin aşağıya çekilmesini sağlayacak şekilde yapılmıştır.
4. Yeni tasarımı basit (karmaşık olmayan) parçalardan meydana gelmektedir. Diğer HTÇD pompalar ile karşılaştırıldığında minimum parça sayısına sahip olduğundan üretimi kısa zamanda yapılmakta ve düşük maliyetle üretilmektedir.

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu çalışmada yüksek viskoziteli sıvıların taşınmasında kullanılan hava tahrikli çift diyafram pompaların hava dağıtım sistemlerinden oldukça farklı, basit ve düşük maliyetli yeni bir tasarım geliştirilmiştir.

Tasarımın geliştirme sürecine başlanılmadan önce tasarımın kapsamı belirlendi. Tasarım kapsamında yüksek viskoziteli sıvıların taşınmasında endüstride en çok kullanılan pompanın belirlenmesi, aynı kategorideki mevcut pompalardan farklı çalışma sistemi, minimum parça sayısı, imal edilebilir basit tasarım ve düşük maliyet faktörleri düşünülmüştür. İlk etapta yüksek viskoziteli sıvıların taşınmasında endüstride en çok hava tahrikli çift diyafram pompaların (Air Operated Double Diaphragm Pump) kullanıldığı tespit edilmiştir.

Hava tahrikli çift diyafram pompaların en önemli parçası ve çalışma sistemini oluşturan hava dağıtım sisteminin geliştirme çalışmaları sonucunda yeni orijinal bir tasarım ortaya çıkmıştır. Yeni tasarımın karşılaştırmasını yapmak için Warren Rupp firmasının S1F metal modeli kriter pompa olarak alınmıştır.

Yeni tasarım montaj işleminden sonra yapılan ilk denemesinde çalışmıştır. Kriter pompa ile yapılan karşılaştırmada 500 kPa basınca kadar yeni tasarım aynı performansı vermiştir. Tasarımın yüksek basınçlardaki performansını artırmak için hava dağıtım sistemindeki hava kanallarının büyütülmesinin gerektiği tespit edilmiştir.

Sonuç olarak, tasarım sürecinin doğru şekilde yönlendirilmesi ile önceden belirlenen tasarım faktörlerini sağlayan orijinal hava tahrikli çift diyafram pompa geliştirilmiştir. Şu da anlaşılmıştır ki Mühendislik tasarımlarının heyecan verici ve meydan okuyucu olabileceği gibi aynı zamanda yorucu, zorlayıcı ve verimsiz de olabileceği unutulmamalıdır.

KAYNAKLAR

1. Igor J. Karassik, William C. Krutzsch, Warren H. Fraser “Pump Handbook”, 1996, Worthington Pump Inc.
2. Tacmina, 2000, <http://www.tacmina.co.jp>
3. M.Maure Couette, 1923, <http://www.tap3x.net/EMBTI/j6couette.html>
4. E.Becker, “Mechanically driven Diaphragm pumps for use with gases”, Vulkan-Verlag Publisher, Essen 1997.
5. M.Subramanian, “Lecture Notes”, Sri Venkateswara College of Engineering, Sriperumbudur-602105, Tamil Nadu, India, 2002.
<http://www.svce.ac.in/msubbu/LectureNotes>
6. T. Rozee, “Air operated double diaphragm pumps make a comeback”, pdf document, May 2002. <http://www.worldpumps.com>
7. C. Swearingen, “Choosing the Right Flowmeter”, Chemical Engineering, January 2001, Chemical Week Publishing, N.Y.
8. R.W. Miller, “Flow Measurement Engineering Handbook”, 3rd ed., McGraw-Hill, N.Y., 1996.
9. M. Koca, “Akışkanlar Mekaniği”, Palme Yayıncılık / 140, Ekim 1998.
10. Pumpvalveworld, 2003, http://www.pumpvalveworld\diaphragm_pump-2.htm
11. Warrenrupp, 2003, <http://www.warrenrupp.com/tech.html>
12. All-flo, 2003 <http://www.all-flo.com>
13. Wildenpump, 2003, <http://www.wildenpump.com/techinfo/techinfo.cfm>
14. Animatedsoftware, 2002, <http://www.animatedsoftware\dbldiaph.htm>
15. Yamadapump, 2003, <http://www.yamadapump\yamadaproductguide.pdf>
16. Coleparmer, 2003, <http://www.coleparmer.com/techinfo/TechInfoArt.asp#D5>
17. Tapflo, 2002, <http://www.tapflo.com/Pdf/tapffold.pdf>
18. Jabsco, 2002, <http://www.jabsco\vfg.pdf>

ÖZGEÇMİŞ

Süleyman Özkan, 5 Şubat 1978 tarihinde Ankara'nın Polatlı ilçesinde doğmuştur. İlk, orta ve lise eğitimini Polatlı'da tamamlamıştır. Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Talaşlı Üretim Öğretmenliği bölümünden 2000 senesinde mezun olmuştur. Yine aynı yıl Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü'nde Tasarım&İmalat Mühendisliğinde Yüksek Lisans Eğitimine başlamıştır.

EK 1

Genel Akışkanların Yaklaşık Viskozite Değerleri [Jabsco, 2002].

Akışkan tipi	16 °C'de Özgül Ağırlık	Mutlak Viskozite cp	Sıcaklık °C	Viskozite Tipi
Süt ürünleri				
Tereyağı	1.0	42	43	N
Tereyağı	1.0	20	65	N
Kokusuz tereyağı	1.0	45	48	N
Süzme peynir	-	30,000	18	T
Kakao yağı	0.92	50	60	N
Kakao yağı	0.87	0.5	99	N
Şekerli konsantre süt	-	40-80	38 - 48	N
Şekerli konsantre süt, %75 katı	1.3	2160	21	T
Krema %30 Yağ	1.0	14	16	N
Krema %40 Yağ	0.99	48	16	N
Krema %50 Yağ	0.98	112	16	N
Krema %50 Yağ	-	55	32	N
Süt	1.02-1.05	2.0	18	N
Süt	1.02-1.05	1.0	49	N
Kesilmiş sütün suyu, %48 Şekerli	-	800-1500	38	T
Özel işlenmiş peynir	-	6500	79	T
Özel işlenmiş peynir	-	30,000	18	T
Bütün yumurta	0.5	150	4	T
Yoğurt	1.15	152	41	T
Yiyecek Ürünleri				
Hamur	1.0	29.500	29	T
Bebek yiyeceği	-	1400	93	T
Bira	1.0	1.1	4	N
Pancar sosu	-	1950	77	T
Bira mayası	-	368	18	T
Bira mayası	-	16,000	4	T
%80 katı	-	430	18	T
Et suyu karışımı	-	430	18	T
Kek üzerine konulan şekerli macun	1.0	10,000	21	T
Karamela	1.2	400	60	-
Keçiboynuzu sosu	-	1500	29	T
Çikolata	1.1	17,000	49	T
Sütlü çikolata	-	280	49	T
Turunçgillerden bir meyve lapası	1.27	600	21	T
Kahve % 30-40 Likörlü	-	10-100	21	T
Konsantre süt, %77 tatlandırılmış	1.3	10,000	21	N

Bisküvi kreması	-	29,200	18	T
Nişasta	1.2	300	29	T
Şurup	1.5	12,000	54	-
Krema usulü Com	-	130	88	T
Süt,şeker ve yumurta ile hazırlanan bir sos	1.6	1500	85 - 91	T
Yenebilir yağ	0.9	65	21	N
Emülsiyon	-	20	21	T
Jelatin %37 katı	-	1190	43	T
Glikoz	1.3	4300-8600	24 - 29	T
Et suyu bulamacı	1.0	11	79	T
Meyve suyu	1.04	55-75	18	N
Bal	1.5	1500	38	-
Sıcak çikolatalı şekerleme	1.1	36,000	49	T
Süsleme reçeli	-	8440	16	T
Arpa özü %80	-	9500	18	T
Arpa özü	1.4	3000	60	T
Ezilmiş patates	1.0	20,000	38	T
Mayonez	1.0	20,000	21	T
Kıyma	-	100,000	29	T
Pekmez	1.5	1400-13,000	38	-
Dövülmüş krema karışımı	-	1200	4	T
Pablum	-	4,500	38	T
Armut lapası	-	4000	71	T
Pektin	-	300	38	N
Pektin	-	345	27	N
Evcil hayvan yiyeceği	1.0	11,000	4	T
Erik çiri suyu	1.0	60	49	T
Portakal suyu konsantresi (30 Brix)	-	630	21	N
Portakal suyu konsantresi (30 Brix)	-	91	79	N
Portakal suyu konsantresi (50 Brix)	-	2410	21	N
Portakal suyu konsantresi (30 Brix)	-	330	79	N
Sütlâç	-	10,000	99	T
Kremalı salata	-	1300-2600	18	T
Elma sosu	1.1	500	79	T
Sorbitol	1.29	200	21	N
Soya bulamacı	-	5000-10,000	49 - 91	T
Tapyoka Puding	0.7	1000	113	T
Karamela	1.2	87,000	38	T
Domates ketçapı	1.2	1000	29	T
Domates salçası %30	1.1	195	18	T
Sirke	-	12-15	21	N
Maya bulamacı	-	20	18	T
Bitkisel Yağlar				
Hint yağı	0.96	580	27	N
Hint yağı	-	36	79	N
Çin odun yağı	0.94	300	21	N
Hindistancevizi yağı	0.93	55	24	N
Hindistancevizi yağı	-	30	38	N
Mısır yağı	0.92	28	57	N
Pamuk tohumu yağı	0.88	62	24	N

Pamuk tohumu yağı	0.93	24	52	N
Katı bezir yağı	0.93-0.94	29	38	N
Zeytin yağı	0.91	40	38	N
Hurma yağı	0.92	43	38	N
Yerfıstığı yağı	0.92	38	38	N
Soya yağı	0.93	60	24	N
Soya yağı	-	12	79	N
Neft yağı	0.86	2.0	16	N

Farmasötik (Eczacılığa ait)

Öksürük şurubu	1.0	190	29	N
Deterjanlar	-	1470	71	T
Yüz kremi	-	10,000	21	T
Saç kremi	1.4	5000	21	T
El temizleyicisi	-	2000	21	T
El kremi	-	780	18	T
Kauçuk emülsiyonu	1.0	200	24	T
Kauçuk emülsiyonu	-	48	66	T
Parafin emülsiyonu	1.2	3000	18	T
Hap (macun halinde)	-	5000	-	-
Şampuan	-	3000	35	T
Sabun Aryan	1.0 @ 105°F	630	60	T
Sıvı sabun	1.03 @ 40°F	82	60	T
Diş macunu	-	70,000-100,000	18	T
Balmumu	0.9	500	93	T

Balık ve Hayvansal Yağlar

Kemik yağı	0.92	48	54	N
Morina balığı yağı	0.93	32	38	N
Sığır kıyması yağı	0.9	11,000	16	T
Domuz yağı	0.96	62	38	N
Domuz yağı	0.91-0.93	40-47	38	N
Et emülsiyonu	1.0	22,000	4	T
Erimiş hayvan yağı	0.9	43	43	N
Domuz eti yağ bulamacı	1.0	650	4	T
Sperm yağı	0.88	24	38	N
Balina yağı	0.93	25-39	38	N

Endüstriyel Ürünler

Asetat tutkalı	-	1200-14	-	T
Asfalt	1.3	500-2500	-	-
Otomobil yağlama yağı SAE 40	0.9	200	38	N
Otomobil şanzıman yağı SAE 90	0.9	320	38	N
Siyah likör	1.3	1100	50	-
Siyah sabun likörü	-	7000	50	-
Siyah katran likörü	-	2000	149	-
Kutudaki tutkallar	1.0	3000	21	T
Lağım suyu çamuru	1.1	2000 Range	-	-
Krezol kristalleri	-	10	18	T
Dietilen glikol	1.12	32	21	N
Boya	1.1	10	21	N
Etilen glikol	1.12	18	21	N
Fuel Oil #6	0.9	660	50	N
Gliserin %100	126@ 70°F	648	21	N

Gliserin %100	-	176	38	N
Yapıştırıcı	-	5000	38	T
Isopropyl Alkol	1.11	1.9	85	N
Gazyağı	0.8	3	19	N
Vernik %25 katı	-	3000	18	T
Metalik otomobil boyası	-	200	27	T
Boya çözücüler	0.9	0.5-10	21	N
Kağıt kaplama %35	-	400	-	-
Polyester	1.1 at 85 °F	3000	29	T
Polyester Reçine	1.4	3000	21	-
Polyisobutylene	1.09 at 185 °F	12,500	85	T
Polypropylene	-	240,000	49	T
Polyvinyl Asetat reçine	1.3	65,000	21	-
Plastisol	2.5	28,000	18	T
Yazıcıların mürekkebi	1.38	550-2200	38	T
Yazıcıların mürekkebi	1.38	238-660	54	T
Propylene Glikol	1.04	52	21	N
Reçine çözeltisi	-	880	24	T
Reçine çözeltisi	-	7140	18	T
Kauçuk yapıştırıcısı	1.0	15,000	21	N
& çözeltileri				
NaOH %20	1.22	1.0	18	N
NaOH %30	1.33	10	18	N
NaOH %40	1.43	20	18	N
Sulfide %6	-	1600	-	-
Sülfürik asit	1.04	125	29	T
Titanyum dioksit bulamacı	-	10,000	-	T
Triacetate macunu	-	48,000/60,000	41	T
Triethylene Glikol	1.12	40	21	N
Vernik	1.1	140	38	-

Viskozitenin tipi;

N: Newton akışkanlar

T: Thixotropic akışkanlar (Zaman bağımlı Newton olmayan akışkanlar)