

## VAKUM POMPALARI

Ferhat BÜLBÜL<sup>1\*</sup>, Somaiyeh JAFARPOUR<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 25240, Erzurum

<sup>2</sup> Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Nanobilim ve Nanomühendislik Uygulama ve Araştırma Merkezi, 25240, Erzurum

### ÖZET

Vakum sistemleri, kurutma, temizleme, kaplama, eritme, paketleme, dökümde ve mikroskopik bazı sistemlerde teknolojik olarak önemli kullanım alanları bulmaktadır. Vakum pompaları, istenen amaca bağlı olarak çalışan en önemli vakumlama sistemleridir. Ülkemizde de kullanılan vakum pompaları, genellikle yurt dışından ithal edilen sistemler olup, geliştirme ve üretimden ziyade daha çok uygulama yönüyle muhatap alınmıştır. Bu bakımdan vakum sistemleri ile ilgili Türkçe literatür yok denecek kadar azdır. Bu çalışmada, hem lisans düzeyindeki öğrencilere, hem de lisansüstü düzeyde çalışma yapan araştırmacılara ve diğer bilim insanlarına genel bir bilgi sunmak üzere, vakum pompaları, türleri ve uygulama alanları ile ilgili bir çalışma hazırlanmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Vakum, vakum pompası, kaplama

### VACUUM PUMPS

### ABSTRACT

Vacuum systems find technologically use fields in drying, cleaning, deposition, melting, packaging, casting and some microscopic systems. Vacuum pumps are the most important vacuum systems operating in accordance with the desired purpose. The vacuum pumps used in our country are usually the systems imported from abroad and have been addressed in terms of applications rather than modification and production. In this regard, it is almost no Turkish literature on the vacuum systems. In this study, a work is repaired on vacuum pumps and types, and applications to provide general information both to the students at the undergraduate level, to researchers working at both the graduate level and other scientists.

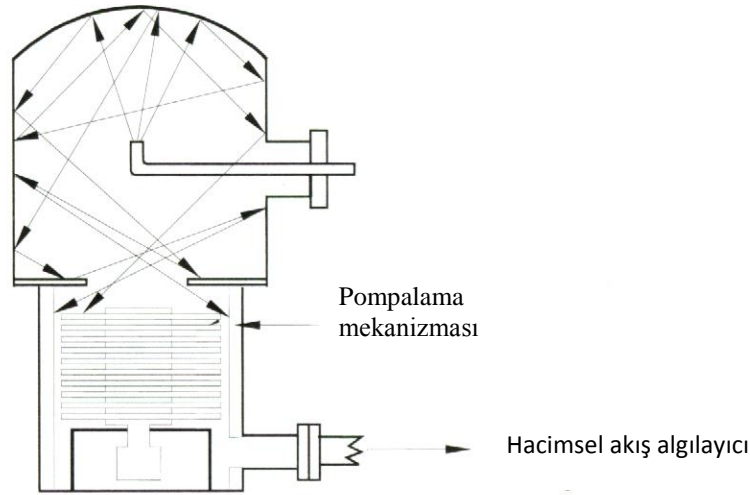
**Keywords:** Vacuum, vacuum pump, deposition

\*[ferhat.bulbul@atauni.edu.tr](mailto:ferhat.bulbul@atauni.edu.tr); [s.jafarpour1727@gmail.com](mailto:s.jafarpour1727@gmail.com)

### 1. VAKUM KAVRAMI

Latince “vacuss ya da vacua” kelimesinden gelmektedir. Kelime anlamı olarak “hava boşluğu” demektir. Bir vakum pompasının gazı çemberden emdiği düşüncesi yaygın, fakat yanlış bir kanıdır. Böyle bir emme kuvveti yoktur. Şayet gaz molekülleri kapalı bir hacimden alınıyorsa o zaman diğer geri kalan hacimde kalan moleküller de, daha küçük basınçta yüzeyi doldurmak için gelişigüzel bir şekilde o tarafa bu tarafa saçılarak çember cidarlarına çarparlar. Başka bir deyişle, gelişigüzel çarpışmalar sonunda itilen

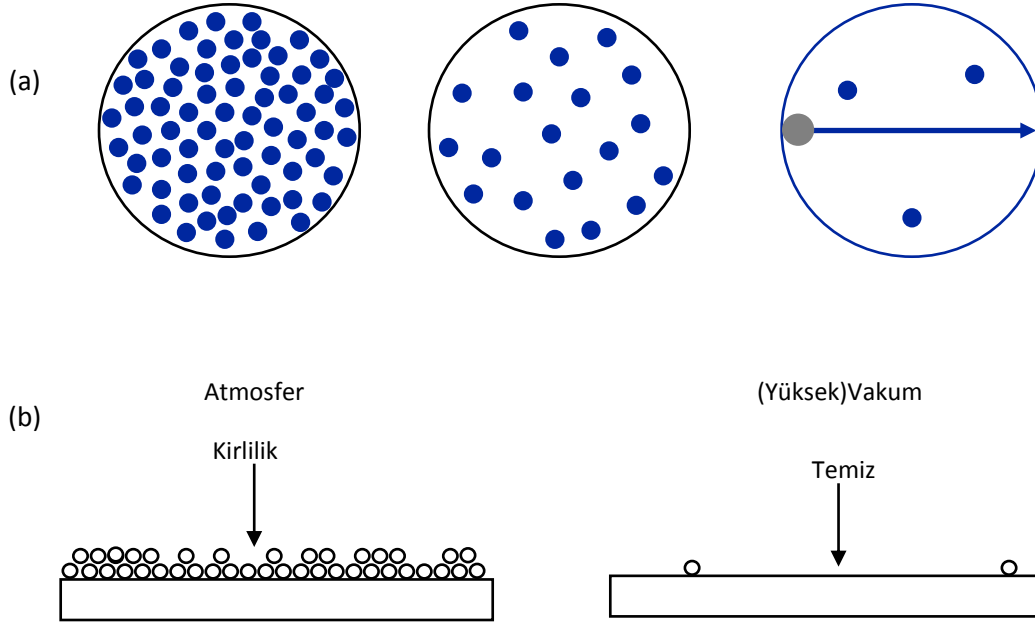
bir molekül, bir pompanın pompalanma etkisine girmeden çemberden uzaklaştırılmaz. Pompa dışardan gelen bir moleküle ulaşamaz, bu moleküle yakalayamaz ve ememez. İşte bu asıl gerçeği kavramak, vakumun diğer bakımlardan anlaşılmasını kolaylaştırır. Bir vakum çemberi içerisinde bulunan sıvı ve katı moleküllere göre çok yüksek enerjili gaz molekülleri-petekteki arıların hareketi gibi-serbest bir şekilde o tarafa bu tarafa hareket ederler. Bu vakum çemberinin hemen dışına konulan pompa tahrik edildiğinde, pompanın çarklarına çarpan gaz molekülleri dışarı atılırlar. Dolayısıyla bu olaya “emme” değil de, “gaz moleküllerini dışarı atma ya da sevk etme” demek daha doğru olur [1]. Teknik anlamda, vakum atmosfer basıncının altında gaz moleküllerinden arındırılmış ortam demektir.



Şekil 1. Vakum olayı

Bizler üzerimizdeki atmosfer tabakasının ağırlığının ortaya çıkardığı yüksek basınç altında ezilmemekte, hatta hissetmemekteyiz. Bu basınç biraz artarsa (denize daldığımızda) veya biraz azalır (uçakta veya yüksek dağlara çıktığımız zaman) vücudumuz, kulaklarımız başta olmak üzere bunu hemen algılar. İşte basıncın, santimetrekareye 1 kilogram (1000 gram) olan atmosfer basıncının altına düşmesine vakum denilir. Örneğin santimetrekarede 0,8 kilogramlık (800 gram) bir basınç pratikte atmosfer basıncının ne kadar altında ise, o kadar yani  $1000-800=200$  milibar vakum olarak ifade edilir. Vakumda, yani hava basıncı atmosfer basıncından daha düşük olduğunda üzerimizdeki basınç da azalmış, yükümüz hafiflemiş olduğuna göre vücudumuzun da daha rahat etmesi beklenebilir. Fakat vücudumuzun iç basıncı da, atmosfer basıncına göre ayarlıdır. Dışımızdaki basınç düşerse, denge bozulacağından ve iç basıncımız fazla geleceğinden başta damarlarımız olmak üzere tüm organlarımız zarar görebilir, devam etmesi durumunda ise insanı ölüme götürebilir. Mutlak (hakiki) vakum, tam sıfır hava basıncına ulaşmaktır ki, bu pratikte mümkün değildir. Uzayda bile mutlak vakum yoktur. Bir ortamın mutlak vakumda olması için içinde molekül, atom, elektron ve atomun diğer küçük parçacıklarından hiçbirinin olmaması gerekir. Zira uzayda 'neutrino' denilen parçacıklar vardır. Fakat uzay o kadar büyük, parçacıklar da o kadar küçüktürler ki uzay ortamı için yüzde 99,9999.... vakumdur diyebiliriz [2].

Vakum, birçok uygulama ve araştırmacı için bir problem olup, vakum bilimi ve teknolojisinin bir konusudur. Örneğin teknolojide uzun bir mesafede bir hat boyunca bir parçacığı hareket ettirmek (Şekil 2a) ve temiz bir yüzey elde etmek (Şekil 2b) amacıyla vakuma ihtiyaç duyulabilmektedir.



Şekil 2. Vakumun kullanıldığı örnek bir durum

Çizelge 1’de vakum aralıkları verilmiştir. Bu vakum aralıkları vakum pompaları ile sağlanmaktadır [3].

Çizelge 1. Vakum aralıkları [4]

Vakum aralıkları	Ölçüt	Basınç (mbar)		RT’de gaz yoğunluğu (molekül/cm <sup>3</sup> )	
		En düşük	En yüksek	En düşük	En yüksek
Düşük (LV)	$\lambda \ll d$	1	1000	$\sim 10^{16}$	$2.5 \cdot 10^{19}$
Orta (MV)	$\lambda \sim d$	$10^{-3}$	1	$\sim 10^{13}$	$\sim 10^{16}$
Yüksek (HV)	$\lambda > d$	$10^{-6}$	$10^{-3}$	$\sim 10^{10}$	$\sim 10^{13}$
Çok yüksek (VHV)	$\lambda \gg d$	$10^{-9}$	$10^{-6}$	$\sim 10^{17}$	$\sim 10^{10}$
Son derece yüksek (UHV)	$\lambda \gg d$	$10^{-12}$	$10^{-9}$	$\sim 10^4$	$\sim 10^7$
Aşırı yüksek (XHV)	$\lambda \gg d$		$< 1 \cdot 10^{-12}$		$< 10^4$

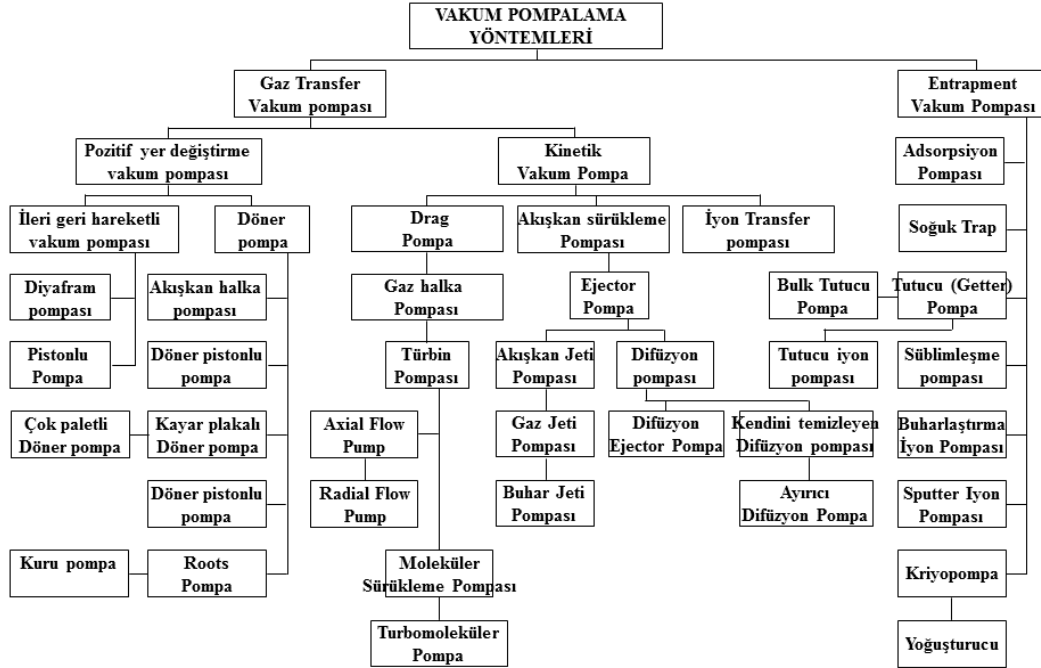
$\lambda$ : Ortalama serbest uzunluk (mean free path)

$d$ : Etkin vakum odası boyutu

## 2. VAKUM POMPALARI

Teknik anlamda, ilk vakum pompası 1650’de Otto von Guericke [5] tarafından geliştirildiği ifade edilse de, tulumba şeklinde vakum pompalarının geçmişi Romalılara kadar dayanmaktadır. Pompei şehri kalıntılarında ise, çift yönlü emiş pompalarının olduğuna dair veriler elde edilmiştir. Vakum pompaları, kurutma, temizleme, kaplama, eritme, paketlenme, dökümde ve mikroskobik bazı sistemlerde teknolojik olarak önemli kullanım alanları bulmaktadır. Vakum pompalama yöntemleri Şekil 3’te verildiği gibi çok fazla olsa da, vakum pompalarının çalışması temel iki prensibe göre çalışır [1]:

- Gaz transferi (pozitif yer değiştirmeye dayanıyor)
- Gaz yakalaması (gaz yakalanıyor veya toplanıyor)



Şekil 3. Vakumlama yöntemleri [6]

Transfer pompası, pozitif tahrikle ya da momentum değişimiyle tercihli bir yönde gaz moleküllerini zorlar. Sonunda gaz, yaklaşık atmosfer basıncının üzerine sıkıştırılır ve atmosfere atılır. Yüksek vakum pompaları için pozitif yer değiştirmede, yüksek vakum pompasına giren gazın atmosfere açıldığı yerden bir destekleyici (backing) pompaya bağlanması söz konusudur. Bunun aksine yakalama pompaları, vakum sistemi içerisinde özel olarak hazırlanan yüzeylerde gaz moleküllerini hareketsizleştirir. Transfer pompaları gaz yüklemelerinin yüksek olduğu yerlerde kullanılır. Yakalama pompaları, temiz (yağdan arındırılmış) ve çok yüksek vakum (UHV,  $10^{-8}$ ) sağlar.

HV(yüksek vakum)’dan HV(çok yüksek vakum)’a geçiş, atmosfer basıncından hemen hemen  $10^{-11}$  daha düşüktür ve yalnız kullanılan bir pompanın pompalama özelliklerinden çok daha üstün özellikler sağlanır. Aslında  $10^{-3}$ ’ten düşük basınçlar elde etmek için iki ya da daha fazla pompaya ihtiyaç vardır. Gaz transferi, genellikle sürekli olarak seri halde çalışan iki farklı pompa türü kullanır. Gaz yakalaması ise, ardıl olarak

çalışan iki farklı pompa türü kullanır, birincisi atmosfer basıncından ikinci pompanın çalışmaya başladığı seviyeye kadar basıncı düşürür. Çizelge 2’de en yaygın kullanılan vakum pompaları çalışma prensibine göre verilmiştir.

**Çizelge 2.** Çalışma prensibine göre vakum pompaları [1]

<i>Gaz transferi esasına göre</i>	<i>Gaz yakalama esasına göre</i>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Kuru (dry)</li><li>• Döner plakalı (rotary vane)</li><li>• Döner pistonlu (rotary piston)</li><li>• Döner kulaklı (rotary lobe)</li><li>• Difüzyon</li><li>• Turbomoleküler</li><li>• Moleküler sürüklenme (drag)</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Kriyojenik (Cryosorpsiyon)</li><li>• Titanyum süblimasyon</li><li>• Tutucu (Getter)</li><li>• Kriyo (Cryo)</li><li>• İyon</li></ul>

## 2.1. Gaz Transfer Pompaları

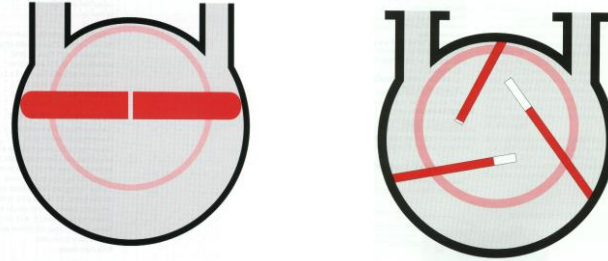
**2.1.1. Kuru (dry) pompalar:** İsminden de anlaşıldığı gibi yağ kullanımına gerek duyulmayan [1, 7] ve bu yüzden de vakum teknolojisinde güçlü bir trend yakalamıştır. Geleneksel yağlı pompalarda yağın vakum çemberine çıkışını önlemek zordur. “Kuru pompa” terimi, sızdırmazlık akışkanına sahip olmayan herhangi bir pompa için de kullanılabilir. Özellikle bu tanımlama, roughing, yüksek vakum ve UHV pompaları için kullanılır, bu nedenle bu terim (destekleyici) backing/roughing için kullanılan gaz transfer pompalarıyla sınırlı kalmıştır.

Kuru pompalar dar bir çerçevede üç ana grupta incelenebilir: Birincisi, farklı şekillerde döner lob ve pençe mekanizmalarını bir arada bulundurur. Yatak ve dişliler yağlıdır, fakat yağ buharlarının vakum çemberine girmemesine dikkat edilmelidir. Bu pompalar yarıiletken çalışmalarında karşılaşılan korozyif şartlar için idealdir. İkinci grup, seri/paralel her iki sistemi bünyesinde bulunduran (PTFE ile) [1, 8] kuru yağlamalı eş çalışan piston mekanizmasıdır. Bu pompalar, yüzey mühendisliği çalışmalarında, analitik cihazlarda, tüm elektron mikroskoplarında, MBE ve UHV sistemlerinde, tamamen yağsız UHV çemberleri için ideal destekleyici pompalardır. Üçüncü grup ise, gazın hareket etmesi için ünlü “diyafram prensibi”ni kullanır. Bu tip pompalar, kısmen düşük pompalama hızı ve yüksek giriş basıncı sergilemesine rağmen, yağsız sistemlerde destekleyici hibrit ve moleküler hibrit pompaları için elverişlidir [1].

**2.1.2. Döner paletli (rotary vane) pompalar:** Bu pompalar, bir pompa gövdesi, rotor, plaka/lar ve bir yaydan oluşur [1, 3, 9].  $10^{-3}$ ’ten daha düşük atmosfer basıncının altında çalışan tüm temel uygulamalar için en yaygın kullanım gören pompalardır. Turbomoleküler ve difüzyon gibi diğer yüksek vakum gaz transfer pompaları için destekleyici (backing) pompa olarak kullanılır. “Rough” pompalar olarak adlandırılan özel bir grup, dondurarak kurutma (freeze drying), vakumda filtreleme, vakumda emdirme (impregnation), malzeme taşıma ve evlerde kullanılan vakum sistemleri için dizayn edilmektedir.

Tüm döner paletli pompalarda, vakum odasından çıkan gaz, giriş portuna girer ve rotor kanatları ile pompa gövdesi arasında yakalanır. Eksantrik olarak yerleştirilen rotor, gazı sıkıştırır ve boşalma portuna doğru süpürür. Gazın basıncı, atmosfer basıncını aştığı zaman egzoz valfi açılarak gaz dışarı atılır. Yağlayıcı ve sızdırmazlık elemanı olarak

yağ kullanılır. Yağın kullanım amaçları, sızdırmazlık, yağlama ve soğutmadır. Bu amaçlar için kullanılan yağ, pompa çemberine enjekte edilmeden önce filtre edilir, enjeksiyondan sonra pompa kutusundan dağıtılır. Döner plakalı/paletli vakum pompalarında Şekil 4'te görüldüğü gibi kanatçıklar için farklı dizaynlar yapılmıştır.

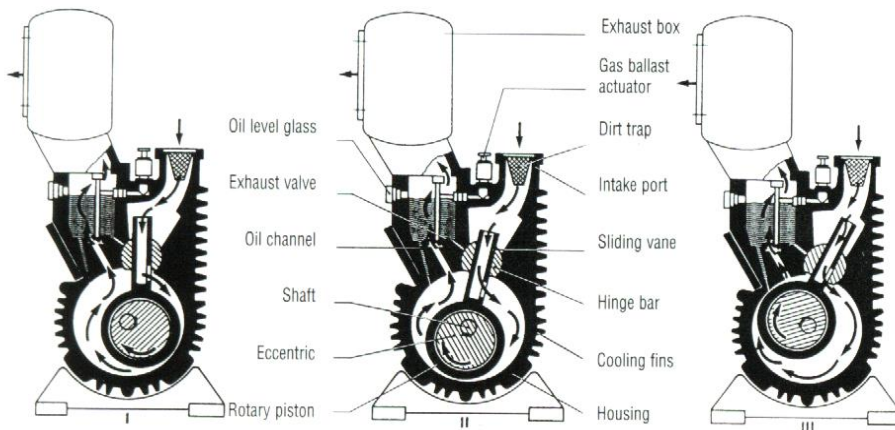


Şekil 4. Değişik tipte döner paletli vakum pompaları

Bu pompalar, çevre dostu, güvenilir ve küçüktürler. Düşük titreşimle ve sessiz çalışırlar, yağın geri akması gibi bir ihtimal yoktur. Düşük basınçlarda çalışmasına rağmen, pompalama hızları yüksektir.

Bu pompalar, özellikle endüstriyel (gıda sanayii, fırınların imalatı, kaplama, lazer teknolojisi vs.) ve tıbbi uygulamalarda büyük ölçüde kullanılmaktadır. Şöyle ki kütle spektrometrelerinde, elektron-beam mikroskoplarında, sterilizatörlerde, dondurarak-kurutma yapan sistemlerde, vakumla kurutma kabinlerinde, kimyasal araştırma laboratuvarlarında, TV tüplerinde, genel vakum mühendisliğinde, soğutma ve iklimlendirmede ve yüksek vakum pompaları için destekleyici (backing) pompa olarak kullanılırlar [1].

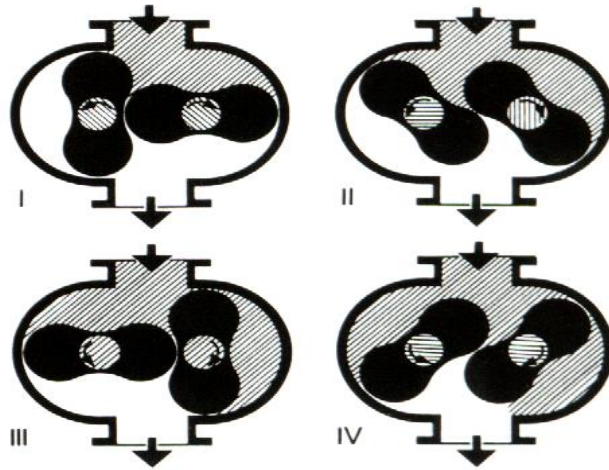
**2.1.3. Döner pistonlu (rotary piston) pompalar:** Vakum odasından çıkan gaz, sürücü valften pompa gövdesine girer. Eksantrik olarak yerleştirilen silindir, dönmeden pompa gövdesinden içeri hareket eder. Bu, gazın egzoz valfinden atmosfere atılmasını sağlar (Şekil 5). Bu nedenle gazın ayarlama imkânı vardır.



Şekil 5. Döner (rotary) pistonlu vakum pompasının çalışma prensibi

Bu pompalar,  $10^{-1}$ 'in altındaki basınçlarda yüksek miktarda gazı pompalamak için en elverişli pompalardır. Standart boyuttaki vakum fırınlarına bağlı büyük hacimli difüzyon pompalarını desteklemede (backing için) çoğu kez döner pistonlar kullanılır. Kullanılan yağ, sızdırmazlık, yağlama ve soğutma amaçlı kullanılmaktadır. Döner pistonlu vakum pompaları için kullanılan yağların özelliği çok önemlidir. Bu yağların buhar basıncı yüksek sıcaklıklarda düşük olmalı, nem miktarı ve yükselişi minimum seviyede olmalı, viskozite eğrileri düz, yağlama özellikleri mükemmel ve mekanik bir gerilmeye maruz kaldığında bu gerilmeye mukavemet gösterebilmelidir. Bu pompalar, boyut olarak küçüktür. Düşük emme/giriş basınçlarında pompalama hızları yüksek, bakımları kolay ve çevre dostudurlar [1, 10].

**2.1.4. Döner kulaklı (rotary lobe) pompa (roots):** Kesitte görülen kulak ya da loblar, Şekil 6'daki gibi iki tane olup, dönerken birbirlerine dokunmadan pompadan gazı eleyerek sürekli bir şekilde transfer eder [1, 11-13]. Sıkıştırma oranı düşüktür, bu yüzden bu tür pompalar paletli/kanatlı ya da pistonlu pompalarca desteklenmelidir. Sıkıştırma oranı, gazın moleküler ağırlığıyla vakum çemberinden kolaylıkla geri kaçmasına müsaade eden hafif gazların yüksek hızlarıyla değişir.



**Şekil 6.** Döner memeli (root) vakum pompasının çalışma prensibi

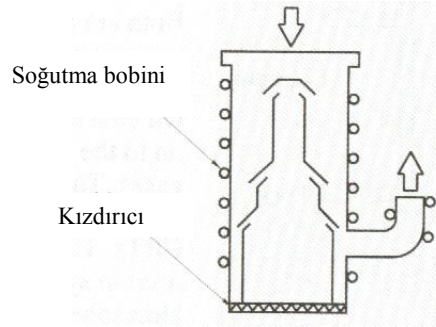
Bu pompalardaki lobların birbirine çarpmadan dönmesiyle çok yüksek pompalama hızlarına ulaşılır, öyle ki küçük boyutlarına rağmen saatte  $1000\text{m}^3$ 'ten fazla hıza ulaşan tek pompa bu vakum pompalarıdır. Şöyle ki, döner kulakların hareketi, paletli ya da pistonlu pompalarınkine daha yüksek basınçlarda, çok fazla miktarda gaz hareketi sağlayabilir. İki basamaklı bir Root pompa ile bir destekleyici (backing) pompa beraber çalıştıklarında,  $10^{-5}\text{mbar}$ 'ın altında basınçlar elde etmek mümkündür. Bu pompaların bazı hallerde turbomoleküler ve difüzyon pompalar gibi yüksek vakum pompalarını destekleyici bir pompa olarak kullanılması zorunlu olmaktadır. Zira aynı pompalama hızına sahip bir destekleyici (backing) pompaya göre enerji tüketimi son derece azdır. Servis ömrü yaklaşık 20.000 saattir. Hava soğutma sistemleri olduğu için, suyla soğutmaya gerek yoktur.

Bu pompalar,  $0,1-10\text{ Torr}$ 'da yüksek pompalama hızına ihtiyaç duyan moleküler-beam deneyleri ve IC fabrikasyon hatlarında kullanılır. Yarı-iletken teknolojisinde, kurutma ve damıtma tesislerinde ve lazer sistemlerinde vs. de uygulama alanı bulmaktadır [1].



**2.1.5. Difüzyon pompaları:** Bu pompalar (Şekil 7),  $10^{-3}$  Torr'dan daha düşük basınçlarda çalışmaya başlar, fakat bu basınçlarda çalışabilmesi için de mutlaka yeter boyut ve türde yardımcı bir pompaya gerek duyar. Bir akışkan, genellikle bir hidrokarbon yağ, bir ısıtıcıyla buharlaşmaya kadar ısıtılır. Daha sonra buhar, nozullardan pompa içerisine basılır. Yüksek hızlı buhar jeti oluşturacak biçimde dizayn edilmiş olan bu nozullar, buharı ses hızına ulaştırır. Buhar daha sonra, nozullar vasıtasıyla belli bir açıda pompa gövdesine saptırılır [1, 6, 9, 13, 14]. Pompa gövdesi soğutulduğunda buharlaşmış olan pompa akışkanını yoğuşur ve sıvı halde kızdırıcıya geri döner (Gelişigüzel bir şekilde perdeye giren sistemden gelen gaz molekülleri, momentum transferiyle büyük akışkan moleküllerinden kızdırıcıya doğru çekilir). Difüzyon pompalarının ve akışkan kullanan pompaların işlevi, genelde oluşan bu buhar jetinin taşıma kabiliyeti/gücüne bağlıdır.

Difüzyon pompalarını kullanıldığı yerlerde, vakum odası yardımcı pompaya doğrudan bir valf ya da bir "roughing line" ile bağlanmalıdır. Bu, vakum odasının difüzyon pompasının devreye girdiği bir basınca düşmesi ve yardımcı pompa ile ön boşaltımı için yapılır. Yüksek vakum valfi açılıncaya kadar, difüzyon pompası ve pompa akışkanını muhafaza edilir. Vakum odası içerisindeki gaz boşaltılmadan önce, ön vakum valfi ve yüksek vakum valfi kapatılmalıdır.

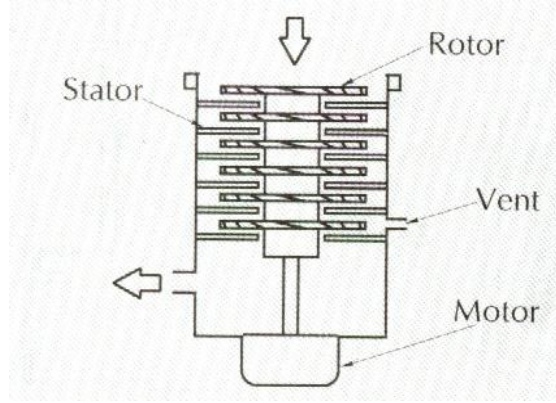


**Şekil 7.** Difüzyon pompası

Difüzyon pompaları, başka pompaları tahrip edecek (örneğin istenmeyen parçacıklar ya da reaktif gazlar) şartlara karşı dayanıklıdır. Bu pompalar, kısmen düşük maliyetli, yüksek pompalama hızlarına sahip olup titreşimsiz ve sessiz çalışırlar. Fakat bu avantajlarının yanında bazı dezavantajları da vardır. Şöyle ki, yağ buharının geri tepmesi söz konusu olabilmektedir. Çalışma esnasında yapılacak en basit hata, vakum odasının yağ buharıyla dolmasına sebep olabilir. Ayrıca trap (kapan)'lar için sıvı azot ve pompa gövdesini soğutmada kullanılan su tertibatı gibi ek maliyetleri düşünüldüğünde, difüzyon pompalarının kullanımına dair çekicilik azalmaktadır. Bu pompalar, "Moleküler beam" çalışmalarında büyük hacimdeki gazların pompalanmasında kullanılırken, büyük hacimli vakum fırınlarında, çok yüksek (ultra-high) vakuma ihtiyaç duyulan uzay simülasyon odalarında ve yüzey fiziği araştırmalarında uygulama alanı bulabilmektedir. Bazı küçük çaplı modelleri,  $5 \times 10^{-3}$  Torr'a kadar inerken, bazıları sıvı azot ile yakalama ve kalan hidrojeni ortadan kaldıracak titanyum süblimasyonu sonucunda,  $10^{-10}$  Torr'a dahi düşebilmektedir [1].



**2.1.6. Turbomoleküler pompalar:** 1913'ten beri moleküler pompaların bilinen çalışma şekli, "pompalanacak serbest gaz parçacıklarının hızlı hareket eden bir rotorun yüzey alanlarıyla çarpıtılması ve böylece arzu edilen pompalama yönünde itme (implus) oluşturma" ilkesine dayanır (Şekil 8). Turbopompalar, parçacıklar ya da büyük oranda reaktif gaz kullanan sistemler haricinde  $10^{-4}$ - $10^{-10}$ Torr (genelde  $10^{-7}$ - $10^{-11}$ ) basınç aralığındaki tüm uygulamalarda kullanılabilir.

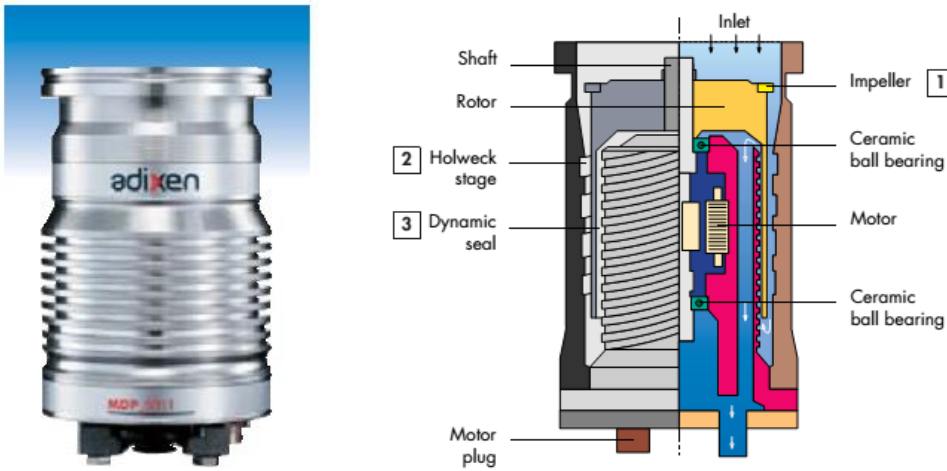


Şekil 8. Turbomoleküler pompa

Bu pompalar, ya jet motorlarına ya da açılı rotor kanatları ve bu kanatlara zıt yönde hareket eden çapraz stator kanatlarına sahip bir türbine benzer. Hatta düşey eksenli bir kompresör olarak düşünülebilir. Her biri belli bir açıda yönlenmiş çok kanatlı, çok yüksek hızda çalışan bir rotor grubu, gaz moleküllerine egzoz yönünde bir momentum (itme) verir. Azot gazı için pompadaki sıkıştırma oranı,  $10^8$ 'e ulaşabilir. Yani, hattaki kısmi basınç,  $10^{-4}$  Torr ise, çemberin kısmi basıncı  $10^{-12}$  Torr olabilir. Gerçek kısmi basınç, azot gazının gaz çıkış (outgassing) oranına ve efektif pompalama hızına bağlıdır. Fakat hidrojen ve helyum gazı için sıkıştırma oranları çok daha düşüktür ve bazen bu oran  $10^3$ 'ten dahi düşük olabilir. UHV sistemlerinde çok iyi vakum seviyelerine ulaşmanın diğer bir yolu, büyük turbo pompalarına destek olarak küçük turbo ve mekanik pompa kombinasyonları kullanmaktır.

Tek yataklı turbo pompalar, mevcut sistemlerde istenen boyut ve pompalama hızları için difüzyon pompalarını yerini almaktadırlar. Doğru bir şekilde çalıştırılmış ve havası alınmış (vent edilmiş) bir turbopompa, yağ buharının rotor yataklarından geri akmasını önler. Uygun bir vent işlemi yapılarak birkaç dakikadan daha kısa bir sürede, turbo mekanizması durdurulabilir. Vakum odasını atmosfere açmadan önce oluşan bu küçük gecikme, kabul edilebilir düzeydedir. Bunun yanı sıra, turbolar, sadece birkaç dakikada tamamıyla gerçek hızına ulaştığı için, difüzyon pompalarında ihtiyaç duyulan "bypass roughing" hattına gerek yoktur, çünkü çemberin kaba vakumu hızlanan turbo ile kolaylıkla sağlanabilmektedir. Bu üstünlükler birçok ilave bağlantı ve parçanın azalması anlamına gelmekte ve bu da pompalamadaki kaliteyi artırmaktadır. Tamamen yağsız sistemler için, yağsız piston ya da diyafram pompalar ile desteklenen ve manyetik rotorlarla çalışan turbopompalar kullanılır. Fakat öte yandan bu pompalar, mikroskop ya da mikroyüzey analiz cihazları gibi bazı özel sistemlerde gürültü ve istenmeyen titreşimler üretebilir. Ayrıca bu pompalar pahalı olup bozulduğu takdirde, genellikle servis ihtiyacı gösterir [1].

**2.1.7. Moleküler sürüklenme (drag)–MDP ve Hibrit pompaları:** Moleküler sürüklenme pompaları, tersine çevrilmiş bir kase ya da çanak şeklinde yüksek hızla dönen bir rotora benzer. Bu çanak, birbirine yakın silindirik cidarlar arasında döner. Cidarlar rotora karşı gelen (dönük) helisel oluklara sahiptir [1, 15, 16]. Pompalama işlemi, egzoz portu yönünde, rotordan gaz moleküllerine itme (momentum) transferi ile gerçekleşir. Spiral oluklar, bu yönde gaz akışı sağlayacak şekilde şekillendirilir (dış duvar yüzeyinde aşağı, iç duvar yüzeyinde yukarı doğru). Bir moleküler sürüklenme pompası, azot için  $10^9$ , helyum için  $10^4$  ve hidrojen için de  $10^3$ 'lük bir sıkıştırma oranına sahip olabilir. Hibrit pompalar ise, moleküler bir sürüklenme pompası ile birkaç kademeli turbo pompanın birlikteliğini ifade eder. Bu hibrit yapılar üretmedeki amaç, pompalama hızını artırmaktır.



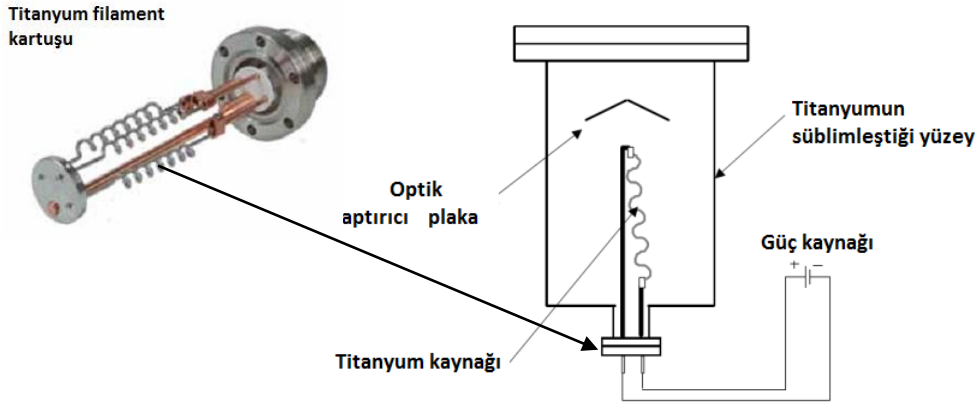
Şekil 9. Moleküler sürüklenme (drag) pompası

## 2.2. Gaz Yakalama Pompaları

**2.2.1. Cryosorpsiyon (kriyojenik) Pompalar:**  $10^{-4}$  Torr'a kadar vakum sağlayabilir. Bu pompalar, yapısal olarak molekül eleği peletleri ile doldurulmuş kapalı tüplerden oluşur. Bu tüpler, ısı transferine yardımcı olması için genelde içten kanatlı ya da içbükey yapılıdır. Pompalama, sıvı azot kullanılarak molekül eleğini kapalı bir kap içerisinde soğutmak suretiyle sağlanır. Birkaç dakikada sistem boşalabilir. Çok düşük basınçlara ulaşmak için iki kriyojenik pompa peş peşe çalıştırılır. Kriyojenik pompalar, düşük maliyetli, kullanımı kolay ve yağ buharının geri akışı söz konusu olmayan pompalardır. Nadiren atmosfer basıncına çıkabilen, iyonik pompalı UHV sistemler için yaygın olarak kullanılır [1, 17].

**2.2.2. Titanyum süblimasyon (TSP) pompaları:** Bu pompalar,  $10^{-5}$ - $10^{-8}$  Torr'luk UHV basınçlara ulaşabilir. Yapı olarak basittirler. Şöyle ki, periyodik olarak üzerinden yaklaşık 40 amperlik yüksek bir akım geçirilen titanyum (ya da titanyum-molibden) filamentlerden [1, 18] ibarettir (Şekil 10). Verilen bu akım titanyumun süblimleşmesine (katı halden gaz hale geçmesine) sebep olur ve böylece onu çevreleyen vakum odasının yüzeyi, temiz bir titanyum filmi ile kaplanmış olur. Bu oluşan titanyum çok reaktif olduğu için, vakum odası içerisindeki gaz molekülleri ( $H_2$ ,  $O_2$ ,  $N_2$  vs.) ile çarpışarak

kararlı ve katı bir yapı olmaya (bileşik kurmaya) eğilim gösterir. Böylece odadaki gaz basıncı düşer. Fakat belli bir süre sonra, titanyum film kirlenir ve bu yüzden pompalama etkisi azalır. Bu nedenle, belli bir süre sonra, titanyum filament tekrar ısıtılmalıdır. Süblimasyon pompaları, bazen manuel olarak, bazen de zaman/basınç kontrol ünitesiyle çalıştırılır.

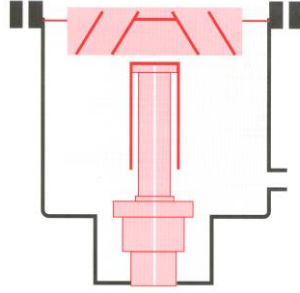


Şekil 10. Titanyum süblimasyon (TSP) pompası

Titanyum pompaları, reaktif gazları vakum ortamından çekmek için, ya bağımsız olarak ya da genellikle iyon pompaları ile birlikte kullanılırlar. Bir iyon pompa ile birlikte kullanılanlar, daha kısa bir sürede düşük basınçlara ulaşılmasını sağlar.

**2.2.3. Tutucu (Getter) pompalar:** Buharlaştırma yapan ve buharlaştırma yapmayan olarak iki tür tutucu pompa vardır. Her ikisi de takviye cihazları olup başka bir pompa ile ulaşılan vakumun devam ettirilmesi için kullanılır. Buharlaştırma yapan pompalar, genelde Baryum gibi reaktif bir metalin gazların reaksiyona girdiği bölge olan duvarlar üzerine buharlaştırıldığı merkezi pompalardır. CRTler gibi boşaltmadan sonra sürekli olarak sızdırmazlık sağlanan cihazlarda kullanılırlar. Buharlaştırma yapmayan pompalar (NEGler) ise, zaman zaman atmosfere açılan sistemlerde kullanılırlar. Oda sıcaklığında NEG'si Zr-Al-Fe alaşımı, yapışık bir yüzey oksidiyle korunur. Çalışma esnasında, alaşım öncelikle oksidin çözülmesi için yüksek sıcaklığa kadar ısıtılır, daha sonra düşük bir sıcaklıkta çalışmaya devam edilir. Bu sıcaklıkta, aktif gaz reaksiyon ürünleri çözünür ve sürekli olarak tazelenirler [1, 19-21].

**2.2.4. Kriyo (cryo) pompalar:** Kriyo pompaların kullanımı son yıllarda hızlı bir şekilde artma göstermiştir (Şekil 11). Özellikle yağ kullanılmayan, çalışma ve yüksek pompalama hızının istendiği yarı iletken teknolojisinde yaygın bir kullanıma sahiptir. Bu pompalar,  $10^{-3}$  ile  $10^{-11}$  mbar arasında çalışan gaz yakalama pompalarıdır. Çalışma prensipleri, gazın kriyoyokuşma, kriyosorpsiyon ve kriyoyakalama vasıtasıyla soğuk yüzeylere bağlanması ya da tutunmasıdır. Yüksek (high) ya da çok yüksek vakum (UHV) sağlayabilmek için soğuk yüzeyler yeteri kadar düşük sıcaklığa düşürülmelidir. Soğuma tipine göre, soğutucu (refrigerator) kriyopompalar, banyolu (bath) kriyopompalar ve buharlaştırıcı (evaporatör) kriyopompalar olarak sınıflandırılırlar.

















Şekil 11. Kriyo (cryo) pompa

Tüm gazlar için çok etkin pompalama hızı ve su buharı için çok yüksek pompalama hızı, pompalama prensibinin getirdiği avantajlardır. Kriyo pompalar, özellikle  $10^{-6}$ - $10^{-9}$  Torr basınç aralığında yüksek moleküler yapıya sahip ağır gazları (Ar, CO<sub>2</sub>) ve yüksek ergime sıcaklığına sahip buharları (H<sub>2</sub>O) pompalamak için elverişlidir. En önemli dezavantajları ise, helyum pompalama yeteneklerinin düşük olması ve titreşimli çalışmalarıdır. Bu pompanın iç yüzeyi, 80°K sıcaklığındaki dış yüzeyle çevrilerek 15-20°K sıcaklıkta tutulur. İç yüzeyi hidrojenin pompalanmasını sağlamak için aktive edilmiş karbonla kaplanır.

Bu pompalar, yüksek sıcaklık süperiletkenlerinin soğutulmasında, süperiletken ve yarı iletkenlerin soğutulmasında, morötesi ve gama detektörlerin soğutulmasında yaygın olarak kullanılırlar [1, 18, 22].

Çizelge 3'te bazı vakum pompalarının sembolik gösterimleri verilmiştir.

Çizelge 3. Bazı vakum pompalarının sembolik gösterimleri

	Vakum Pompası (Genel)		Pistonlu Vakum Pompası		Döner Pozitif Yerdeğiştirme Vakum Pompası
	Döner Pistonlu Vakum Pompası		Sliding Vane Rotary Vakum Pompası		Döner Plunger Vakum Pompası
	Root Vakum Pompası		Türbin Vakum Pompası		Turbomoleküler Vakum Pompası
	Difüzyon Pompası		Adsorpsiyon Vakum Pompası		Tutucu (Getter) Vakum Pompa
	Sputter-İyon Pompası		Kriyo (Cryo) Vakum Pompa		

### 3. KAYNAKLAR

- [1] Kurt J. Lesker Company, Vacuum Products Catalog, 24, Vacuum Definitions, Technical Tables.
- [2] <http://www.fanclup.info/bilgiler/1510-vakum-nedir>
- [3] Vacuum Technology, Know How, Pfeiffer Vacuum Company Catalog, Page 8.
- [4] Oleg B. Malyshev, Introduction to Vacuum Systems for Particle Accelerators, ASTeC Vacuum Science Group, STFC Daresbury Laboratory, UK, 2013
- [5] Carlos Calvet, "Evidence for the Existence of 5 Real Spatial Dimensions in Quantum Vacuum - Scale of Quantum Temperatures Below Zero Kelvin", Journal of Theoretics, Vol.3, No.1, Feb. 2001.
- [6] Oerlikon Leybold Vacuum, Fundamentals of Vacuum Technology, 00.200.02, Kat.-Nr. 199 90, 2007.
- [7] Philip D. Rack, Vacuum Technology, Pumpdown and Vacuum Pumps, Department of Materials Science and Engineering, University of Tennessee, Lecturer Notes.
- [8] KNF Lab Data Sheet E278, Vacuum Pumps for moist Gases.
- [9] GAST Company Catalog, Rotary Vane Compressors and Vacuum Pumps.
- [10] Tuthill Vacuum Systems, Kinney® Single-Stage Rotary Piston Vacuum Pumps, Instruction Manual 1817-1, 2001.
- [11] Elmorihetschle, Gardner Denver Product Catalog, R-Series Rotary Lobe.
- [12] GD Storbilt, Positive Displacement Lobe Blowers/Vacuum Pumps. Product Catalog.
- [13] Handbook of Vacuum Technology. Karl Jousten. John Wiley & Sons, Nov 24, 2008.
- [14] Varian Vacuum Products, VHS-10 & VHS-400 Diffusion Pumps, Data Sheet.
- [15] Adixen, Alcatel Vacuum Technology, Molecular Drag Pumps, Product Sheet.
- [16] Andrew D. Chew, Mechanical Pumps "Vacuum in Accelerators" CERN Accelerator School May 2006.
- [17] C. Day, Basics and applications of cryopumps, Forschungszentrum Karlsruhe, Institute of Technical Physics, 76344 Eggenstein-Leopoldshafen, Germany
- [18] Lou Bertolini, The US Particle Accelerator School Titanium Sublimation Pumps, Lawrence Livermore National Laboratory, June 10-14, 2002.
- [19] C. Benvenuti, Getter Pumps, R&B energy, C/O Cern-CH 1211, Geneve 23.
- [20] F. Le Pimpec, SLAC/NLC, Getters: From Light Bulbs to Accelerators, Jefferson Lab, June 2004.
- [21] Phil Danielson, A Journal of From Practical and Useful Vacuum Technology, Vacuum Lab.
- [22] Oerlikon Leybold Vacuum, Cryopumps, Cryogenics, 182.01.02, Excerpt from the Oerlikon Leybold Vacuum Full Line Catalog, Product Section C12.