

## الباب السادس

### المراوح والمضخات

### Fans and Pumps

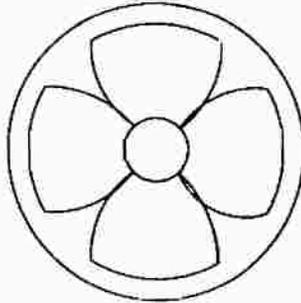
أولا : المراوح : Fans

تستخدم المراوح في كثير من عمليات تصنيع المنتجات الغذائية مثل التسخين، التجفيف، التبريد، الحفظ في الثلاجات التجارية، التهوية، الشفط (نقل المواد الحبيبة والمساحيق) كما سنذكر بالتفصيل فيما بعد. والفرق الوحيد بين المراوح والضواغط الدورانية للغازات هو أن المراوح تعمل عند ضغوط منخفضة (أقل من واحد رطل على البوصة المربعة) وينتج عن ذلك أن الغاز لا يضغط كلية ولكن بطريقة جزئية تتسبب في تحريكه من جهة إلى أخرى. وبذلك يكون حجم الغاز قبل وبعد المروحة ثابت تقريبا بخلاف الحالة في الضواغط الدورانية فحجم الغازات يقل كثيرا بعد ضغطها.

وتنقسم المراوح إلى مايتى :

أولا : النوع العمودي: Axial Flow or Propeller Fans

وفيه يكون مرور الغاز مواز للمحور (عمود الدوران) ويمتاز هذا النوع بأنه يعمل عند ضغط مرتفع وذو كفاءة عالية. وتستخدم هذه المراوح في عمليات التهوية وشفط الأتربة من عنابر التصنيع وفي العمليات الصناعية التي تستلزم قلب الغازات مع المواد المصنعة (شكل ٦-١).



شكل (٦-١) قطاع في مروحة عمودية

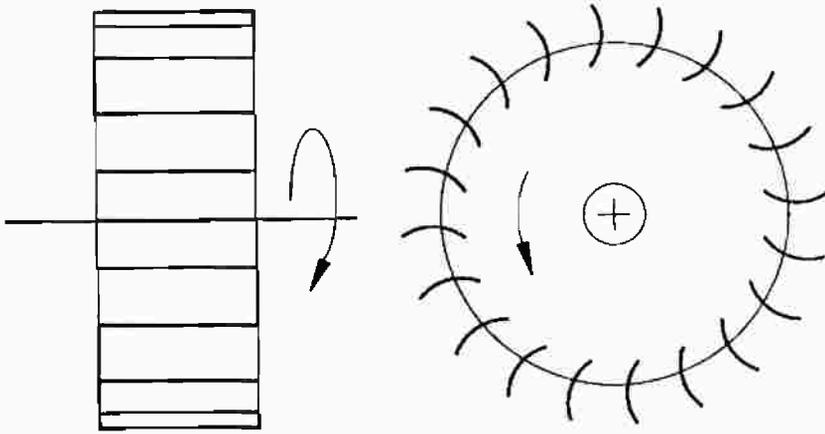
ثانيا : النوع القطرى او الطارده المركزيه :

### Radial or Centrifugal Flow Fan

وفيه تستخدم القوه الطارده المركزيه فى دفع الغازات . وتمتاز هذه المراوح بانها تدفع كميات كبيرة من الغازات عند ضغوط منخفضة . وهى ذات تصميمات متعددة اهمها :

١- المراوح ذات الريش المنحنية الى الامام:

### Forward Curved Blade Fans

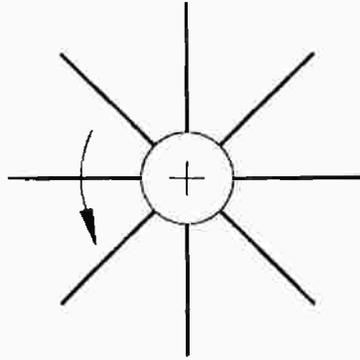


Forward Curved Blade Impeller

شكل (٦-٢) قطاع فى مروحة ذات الريش المنحنيه إلى الامام

ويتكون قلب او قرص المروحة Rotor or Impeller من عدد كثير من الريش (حوالى ٦٠ ريشه) ذات سمك صغير وتكون عرضيه فى الاتجاه الموازى لعمود الحركة ومنحنيه الى الامام فى نفس اتجاه الدوران شكل (٦-٢) . وتعمل المروحة على سرعات بطيئة وتستخدم فى دفع الغازات التنظيفه الخالية من الأتربة .

٢- المراوح ذات الريش المستقيمة : **Straight Blade Fans**



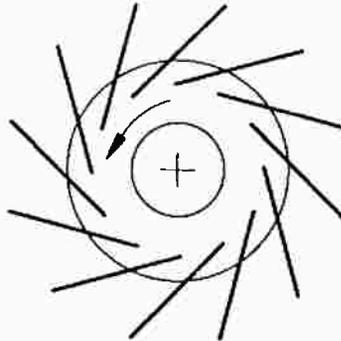
**Straight Blade Impeller**

شكل (٢-٦) قطاع فى مروحة ذات ريش مستقيمة

وهذا النوع له قرص يتكون من عدد قليل من الريش (حوالى ٦ الى ٢٠ ريشه على الاكثر) وطول الريشة يكون عادة حوالى ضعف او ثلاث مرات عرضها شكل (٢-٦). وتعمل المروحة على سرعات متوسطة ويمكن استخدامها فى دفع الغازات المحملة بالأتربة او المواد العالقة .

٢- المراوح ذات الريش المنحنية الى الخلف :

**Backward Curved Blade Fans:**



**Backward Curved Blade Fan**

شكل (٢-٦) قطاع فى مروحة ذات الريش المنحنية الى الخلف

ويتكون قرص ريش هذا النوع من حوالى ١٢ ريشة منحنية الى الخلف فى عكس اتجاه دوران القرص شكل (٦-٤) ، وتعمل على سرعات عالية وتتميز بكفاءتها خصوصا عندما تكون الغازات خالية من الأتربة والمواد العالقة .

### تقدير القدرة الحصانية والكفاءة الميكانيكية للمراوح :

اذا علم المعدل الحجمى لدفع غاز ما ، وكثافته ، ومقدار الضغط الواقع عليه من المروحة فانه يمكن تقدير القدرة الحصانية للمروحة من القانون الآتى :

$$\text{Theoretical Horse Power} = \frac{v.p.h}{\text{Standard HP}} \quad (6-1)$$

حيث أن :

$$V = \text{حجم الغاز المدفوع فى وحدة الزمن} \quad \text{ft}^3/\text{min} \text{ or } \text{m}^3/\text{min}$$

$$\rho = \text{كثافة الغاز} \quad \text{Lb}/\text{ft}^3 \text{ or } \text{kg}/\text{m}^3$$

$$h = \text{الرفع الديناميكي الكلى للمروحة} \quad \text{ft} \text{ or } \text{m}$$

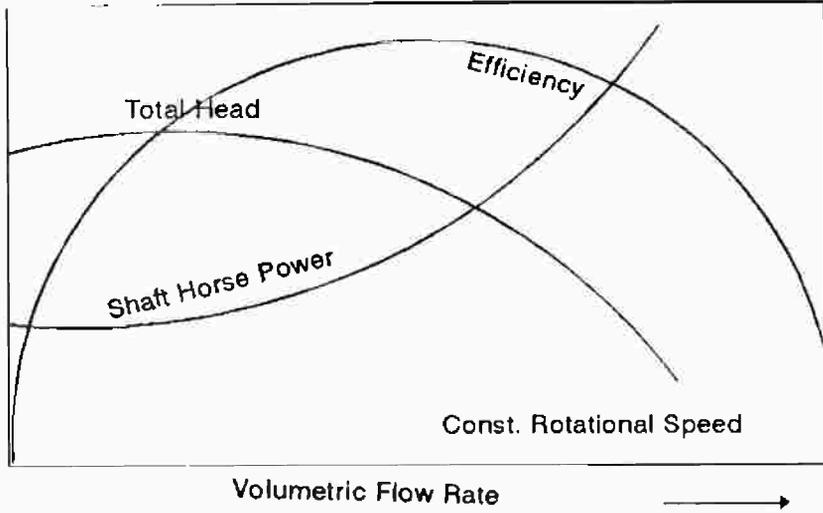
$$\begin{aligned} \text{Standard Horse Power} &= 33000 \text{ Lb.ft /min} \\ &= 4500 \text{ kg.m/min} \end{aligned}$$

### Mechanical Efficiency of Fan ( $\eta_{\text{mech.}}$ )

$$\eta_{\text{mech.}} = \frac{\text{Theoretical Air Horse Power}}{\text{Brake Horse Power}} \quad (6-2)$$

وتعتمد القدرة الحصانية ومقدار الرفع على المعدل الحجمى لتصرف المروحة .

ويبين الرسم البيانى الآتى شكل (٦-٥) نموذج لمنحنيات تشغيل مروحة تعمل بالقوة الطاردة المركزية عند سرعة دورانية ثابتة .



شكل (٦-٥) منحنى أداء أو تشغيل المروحة

وإذا تغيرت سرعة دوران عمود ادارة المروحة فتنغير تباعا منحنيات تشغيل المروحة فيتناسب المعدل الحجمى للتصرف تناسباً طردياً مع عدد لفات عمود الادارة ويتناسب الرفع الكلى تناسباً طردياً مع مربع عدد اللفات . وتتناسب القدرة الحصانية تناسباً طردياً مع مكعب عدد اللفات . وسيبين ذلك بالتفصيل عند دراسة المضخات .

### ثانياً : المضخات : PUMPS

هى آلات تستخدم فى رفع ودفع السوائل من مستوى الى مستوى آخر . ونظرية عمل المضخات تشابه كثيراً نظريات عمل الضواغط والمراوح ويمكن القول بان الاختلاف الاساسى بين هذه الآلات هو ان المضخات او الطلمبات تستخدم فى دفع السوائل بينما تدفع الغازات بواسطة الضواغط والمراوح ، ولو انه هناك بعض المضخات تستخدم فى سحب الغازات والابخرة مثل طلمبات التفريغ Vacuum Pumps .

ويمكن تقسيم المضخات الى الآتى :-

١- مضخات ذات ازاحة ايجابية Positive Displacement Pumps وفيها تسحب وتضغط كمية معلومة ومحدودة من السوائل فى كل دورة او لفة من عمود ادارة الطلمبة .

٢- المضخة الطاردة المركزية Centrifugal Pump وهى شائعة الاستعمال فى عمليات التصنيع المختلفه وتمتاز بانه يمكن تصريف كمية متغيرة من السائل مع تغير مقدار الرفع عند سرعة دوران ثابتة .

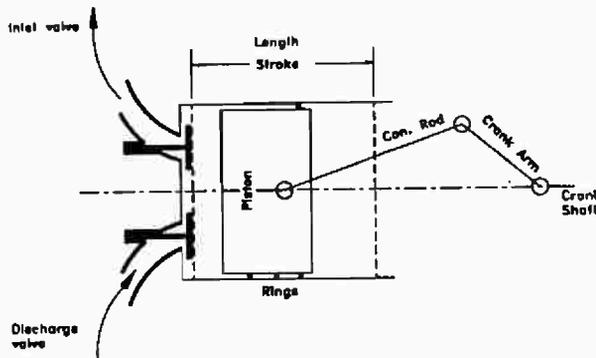
٢- المضخات الخاصة واهمها :

- أ- مضخة النافورة Jet Pump وتستخدم الطاقة الناتجة عن سرعة مرور سائل فى ماسورة فى دفع السائل من مستوى الى مستوى آخر .  
ب- مضخة دفع الهواء Air Lift Pump وتستخدم هواء مضغوط فى دفع السائل بعد ان يختلط به .

## مضخات الازاحة الايجابية

### ١- المضخة الترددية : Reciprocating Pump

هذا النوع من المضخات يضيف طاقة ضغط الى السائل بواسطة مكبس او ضاغط يتحرك داخل اسطوانة مصنوعة من الحديد الزهر او النحاس المسبوك ، ويصنع المكبس من الصلب او النحاس ويوجد على سطحه تجاويف دائرية توضع فيها حلقات او شناير من الصلب المرن او الكاوتشوك فاندتها تقلل احتكاك معدن المكبس مع معدن الاسطوانة وعدم السماح للسائل داخل الاسطوانة او لزيوت التشحيم داخل صندوق المرفق من الاختلاط وبذلك يمكن التحكم فى ضغط السائل داخل اسطوانة المضخة كما انها تساعد فى نقل الحرارة الناتجة عن الاحتكاك الى الهواء المحيط بالمضخة فلا يتسبب عنها زيادة فى درجة حرارة السائل المراد دفعه .



شكل رقم (٦-٦) قطاع فى مضخة ترددية ذو اسطوانة واحدة

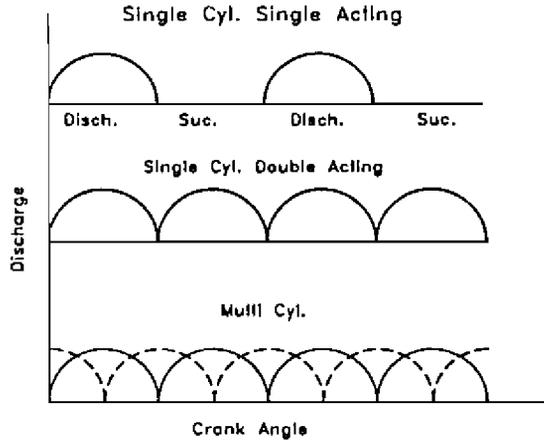
ويوجد في رأس الاسطوانة صمامان احدهما لدخول السائل والاخر لخروجه ،  
وهى على هيئة اقراص صغيرة من الجلد او المعدن تفتح وتغلق حسب حركة المكبس ،  
ويكون فتحتها في اتجاه حركة خروج السائل بحيث تسمح بمرور السائل الى ماسورة  
الطررد ولا تسمح له بالارتداد ثانيا .

وفى كل مرة يعمل فيها المكبس مشوارا كاملا Stroke تتصرف كمية ثابتة من  
السائل خارج الاسطوانة وتعتمد كمية السائل المدفوعة على حجم اسطوانة الطلمبة  
وعدد المرات التى يقوم فيها المكبس بالحركة داخل الاسطوانة ويلاحظ ان التصرف  
الحقيقى للمضخة فى المشوار الواحد يقل عن حجم الاسطوانة الفعلى وذلك يرجع الى  
فقد كمية من السائل نتيجة اما الى تسربها من بين المكبس والاسطوانة لعدم احكام  
الشنابر او الى عدم ملاء الاسطوانة بالسائل ملاء تاما . لذلك تستخدم الكفاءة او  
الجودة الحجمية للمضخة الترددية Volumetric Efficiency وتعرف كالاتى :

الجودة او الكفاءة الحجمية ( $\eta_{vol.}$ )

$$\eta_{vol.} = \frac{V}{V} \quad (6.3)$$

وتتراوح قيمتها عادة بين ٨٥ ، ٩٥٪ ويلاحظ ان تصرف المضخة يكون على  
دفعات ويمكن تنظيم التصرف وجعله مستمرا باستخدام مضخة متعددة الاسطوانات  
او مضخات ذات وجهين (ثنائية التأثير) Double Acting ويبين الرسم البيانى  
الآتى شكل (٦-٧) كيفية تنظيم تصرف المضخة .



شكل (٧-٦) تنظيم معدل تصرف المضخات التردديه عند التشغيل

وتستخدم هذه المضخات فى حالة الاحتياج الى تصرف بسيط نسبيا ولكن تحت ضغط مرتفع مثل مضخات تجنيس اللين ويكون ضغطها مرتفع جدا .  
 والمضخات التردديه تكون عادة بطيئة ، وسرعة عمود الدوران تتراوح بين ٢٠ ، ٢٠٠ لفة فى الدقيقة . ويراعى عدم استخدام هذه المضخات للسوائل التى تكون بها مواد معدنية عالقة حتى لاتتآكل جدران الاسطوانة نتيجة لاحتكاك هذه المواد المعدنيه .

ويمكن حساب كمية تصرف الطلمبة التردديه (m) من القانون الآتى :

$$m = \eta \text{ vol. } n. \rho. L. A \quad (6-4)$$

حيث أن :

$$A = \text{مساحة مقطع الاسطوانة} = \pi r^2$$

$$L = \text{طول مشوار المكبس}$$

$$\rho = \text{كثافة السائل المراد دفعة}$$

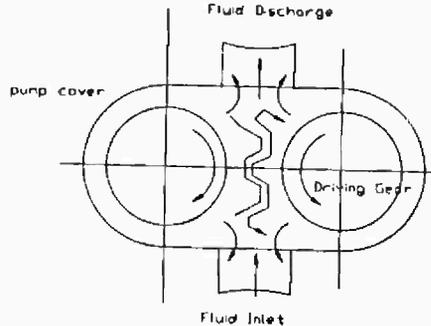
$$n = \text{عدد لفات عمود الادارة فى الدقيقة.}$$

$$\eta \text{ vol} = \text{الكفاءة الحجمية للطلمبة}$$

فاذا كانت h هى مقدار الرفع الديناميكي الكلى للمضخة بوحدات طولية فانه يمكن تقدير القدرة الحصانية النظرية اللازمة لتشغيل المضخة كماياتى :-  
 القدرة الحصانية النظرية للمضخة (HP theo.)

$$HP_{\text{Then}} = \frac{m.h}{\text{Standard H.P}} \quad (6-5)$$

### ب- المضخات الدورانية : Rotary Pumps



شكل (٨-٦) قطاع في مضخة ترسيه

هذا النوع من المضخات يعمل على سحب كمية محدودة من السائل المراد دفعه حيث يحبس بين قلب المضخة Rotor والغلاف المحيط به ، وعند الدوران يدفع السائل المحبوز الى فتحة الخروج . ومن اهم تصميمات المضخات الدورانية المضخة الترسية Gear Pump وهي تتكون من ترسين معشقان مع بعضهما ، احدهما يأخذ حركة الدورانية من عمود محرك او موتور كهربائي ، ويسمى بالترس القائد ويدور الترسان داخل غلاف خارجي به فتحتان احدهما متصله بماسورة السحب والاخرى بماسورة طرد السائل بعد زيادة الضغط الواقع عليه كما هو مبين في الشكل (٨-٦).

وسرعة هذه المضخات بطيئة نسبيا وتستخدم عند الاحتياج لنقل كميات صغيرة من السائل عند ضغوط متوسطة وقد يصل مقدار السحب فيها الى ٧ متر . وهذه المضخات تستخدم عادة لدفع السوائل ذات اللزوجة العالية مثل الزيوت والعسل والسوائل المركزة والصابون السائل ويمكن تقدير تصرف المضخة الترسية من القانون الآتي :

$$\text{Discharge rate of pump} = 2 \cdot A \cdot l \cdot n \cdot N \cdot \eta_{vol} \quad (6-6)$$

حيث أن :

A = المساحة المحصورة بين كل سنة وأخرى وتناسب مع مربع القطر

l = الطول المحورى للسنة ويتناسب مع القطر

n = عدد اللفات فى الدقيقه

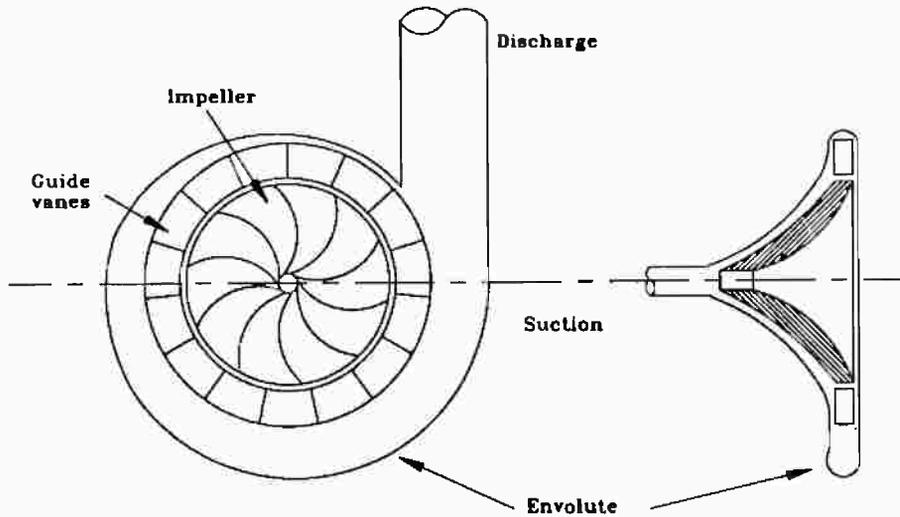
d = قطر دائرة الخطوة للترس

N = عدد أسنان كل ترس

أى أن مقدار التصرف فى الدقيقه = ثابت  $\cdot d^3$ .

## ٢- المضخات الطاردة المركزية : Centrifugal Pumps

هذه المضخة منتشرة الاستعمال فى عديد من عمليات التصنيع المختلفة وذلك لبساطة تصميمها وسهولة صيانتها ورخص ثمنها . وتمتاز بانها منتظمة التصرف وضغطها غير مرتفع ويمكن استخدامها فى دفع السوائل التى بها مواد عالقة وكثيفة وتستخدم فى حالة الاحتياج الى كميات تصريف عالية عند مقدار رفع متوسط .



شكل (٦-٩) قطاع فى مضخة طاردة مركزية

وتتكون المضخة المطاردة المركزية من قلب أو قرص به ريش يدور داخل غلاف خارجي ذو تصميم تزداد مساحة مقطعه في اتجاه خروج السائل كما هو مبين في الشكل (٦-٩) ويدخل السائل عادة من فتحة متصلة بماسورة سحب السائل عند مركز دوران القرص ، ويدفع السائل الى خارج القرص بالقوة الطاردة المركزية وينتج عن ذلك ان طاقة الحركة (الطاقة الكينيتيكية) Kinetic Energy تزيد بمقدار كبير من مركز الدوران الى حافة القرص الخارجية . وهذه الطاقة الناتجة عن السرعة العالية التي اكتسبها السائل تتحول في الغلاف الخارجى الى طاقة دفع او ضغط مرتفع عند ماسورة الطرد او التصريف.

وقلب المضخة عبارة عن قرص به ريش منحنية بطريقة خاصة لسهولة سريان السائل وهو اما يكون من النوع المفتوح او المغلق حسب نوع السائل المراد دفعه وطريقة الاستعمال فالنوع المفتوح يصلح لدفع السوائل التى بها مواد صلبة عالقه ، والنوع المغلق يكون للسوائل النقيه ، وقرص الريش له تصميمات متعددة لتلائم الغرض المستخدم فيه تماما مثل المراوح التى سبق ذكرها . والطمبات ذات السرعات العالية تزود عادة بقرص به ريش توجيه Guide Vanes يثبت داخل غلاف المضخة حول قرص الريش الرئيسى كما هو مبين في الشكل (٦-٩).

ويجب ملاحظة ان المضخات الطاردة المركزية يلزم امتلاء غلافها الخارجى بالسائل تماما عند بدء تشغيلها حيث ان وجود اى كمية من الهواء داخلها يسبب عدم حدوث انخفاض فى الضغط (تفريغ) عند مركز قرص المضخة وبذلك يقل او ينعدم سريان السائل من ماسورة السحب .

ولذلك يجب عند بدء التشغيل ملئ الغلاف الخارجى وماسورة السحب ملاً تماما بالسائل وهذا ما يعرف بعملية تحضير المضخة للتشغيل Priming ويمكن تحضير المضخة اما يدويا بواسطة قمع يوضع فى فتحة فى اعلى بدن المضخة يوصل بخزان السائل او ميكانيكيا بواسطة مضخة تحضير خاصة عادة ماتكون من النوع الماص الكابس .

### تقدير سعة المضخة والقدرة اللازمه لتشغيلها :

اذا علمت سرعة سريان السائل فى ماسورة الخروج (التصريف) وكثافة السائل وقطر ماسورة الخروج فان مقدار تصريف المضخة (m) يمكن حسابه كالاتى :

$$m = \rho AV \quad (6-7)$$

حيث ان :

$$\begin{aligned} V &= \text{سرعة سريان السائل} \\ A &= \text{مساحة مقطع ماسورة التصريف} \\ \rho &= \text{كثافة السائل} \end{aligned}$$

ومقدار الرفع الكلى للمضخة هو عبارة عن مجموع الرفع الاستاتيكي الرأسى للسائل او مايعادله ومقدار الفقد فى الرفع نتيجة سريان السائل فى مواسير التوصيل بالاضافة الى طاقة الحركة الناتجة عن سرعة سريان السائل عند فتحة الخروج من ماسورة التوصيل .

$$h = h_s + h_f + \frac{V^2}{2g} \quad (6-8)$$

حيث أن :

$$\begin{aligned} h &= \text{الرفع الكلى للمضخة} \\ h_s &= \text{الرفع الاستاتيكي الرأسى للسائل} \\ h_f &= \text{الفقد فى الرفع نتيجة للاحتكاك داخل مواسير التوصيل} \\ V &= \text{سرعة سريان السائل فى الثانية} \\ g &= \text{عجلة الجاذبية الارضية (٣٢.٢ قدم/ث<sup>٢</sup> أو ٩٨٠ سم/ث<sup>٢</sup>)} \end{aligned}$$

وفى كثير من الاوقات يلزم توصيل سائل ما الى اسطوانة تحت ضغط اعلى من الضغط الجوى مثل الغلايات او المبخرات ، وعلى ذلك يكون ضغط التشغيل معادل للرفع الاستاتيكي الرأسى فى حالة اذا كان توصيل السائل من خزان الى خزان على مستوى اعلى منه وتحكم العلاقة الآتية التحويل المطلوب :-

$$h_s = \frac{P}{\rho} \quad (6-9)$$

حيث P هي ضغط التشغيل ،  $\rho$  هي كثافة السائل بالوحدات المناظرة وتكون القدرة الحصانية النظرية لتشغيل المضخة كما يأتى :

Theoretical Pump Horse Power: ( $\eta_{Theo}$ )

$$\eta_{Theo} = \frac{\text{Discharge} \times \text{Total Head}}{\text{Standard Horse Power}} \quad (6-10)$$

ونتيجة لاحتكاك السائل على اسطح ريش قلب المضخة وريش التوجيه والسطح الداخلى لغلاف المضخة ، ويحدث هناك فقد فى القدرة ويلزم لادارة المضخة قدرة اعلى من قدرتها النظرية ، وتعبر عن ذلك الكفاءة الهيدروليكية للمضخة:

Hydraulic Efficiency of Pump: ( $\eta_{Hy}$ )

$$\eta_{Hy} = \frac{\text{Theo. Horse Power}}{\text{Shaft Horse Power}} \quad (6-11)$$

وعادة ما يتصل عمود ادارة المضخة بعمود المحرك عن طريق وصله مرنة Coupling عبارة عن قرصين من المعدن متصلين ببعضهما بواسطة مسامير ربط ، او عن طريق طارات متصلة ببعضها بواسطة سيور مبطنة او على شكل حرف V ، او عن طريق تروس أما معشقه مع بعضها أو متصله بجنزير من المعدن . وعلى ذلك يكون هناك فقد ميكانيكى فى القدرة حتى تصل الى عمود ادارة المضخة ويعبر عن ذلك الكفاءة الميكانيكية لتوصيل الحركة .

Mechanical Efficiency of Pump ( $\eta_{mech}$ )

$$\eta_{mech} = \frac{\text{Shaft Horse Power}}{\text{Brake Horse Power}} \quad (6-12)$$

ويمكن تلخيص ماسبق فى القانون الآتى :

Brake Horse Power of Pump (B.H.P)

$$\text{B.H.P.} = \frac{\text{Pump Discharge} \times \text{Total Head}}{\eta_{mech} \times \eta_{Hy} \times \text{Standard H.P.}} \quad (6-13)$$

وكثيرا ما تواجهنا فى عمليات التصنيع ظروف تحتم علينا تغيير سعة المضخة ومقدار دفعها ويمكن التحكم فى هذه التغيرات من العلاقات الآتية :

١- مقدار التصرف يتناسب تناسباً طردياً مع سرعة دوران عمود ادارة المضخة :

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{N_1}{N_2} \quad (6-14)$$

٢- مقدار الرفع يتناسب تناسباً طردياً مع مربع سرعة الدوران :

$$\frac{h_1}{h_2} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 \quad (6-15)$$

٣- القدرة اللازمة للتشغيل تتناسب طردياً مع مكعب سرعة الدوران :

$$\frac{HP_1}{HP_2} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^3 \quad (6-16)$$

وفي بعض الاحيان يلزم تغيير قرص ريش المضخة بقرص مشابه ولكن بقطر مختلف لمواجهة احتمالات تغير ظروف التصنيع وذلك عند سرعة دوران ثابتة لعمود ادارة المضخة ، ويمكن حساب ذلك من العلاقات الآتية :-

١- مقدار التصرف يتناسب مع مكعب قطر قرص الريش

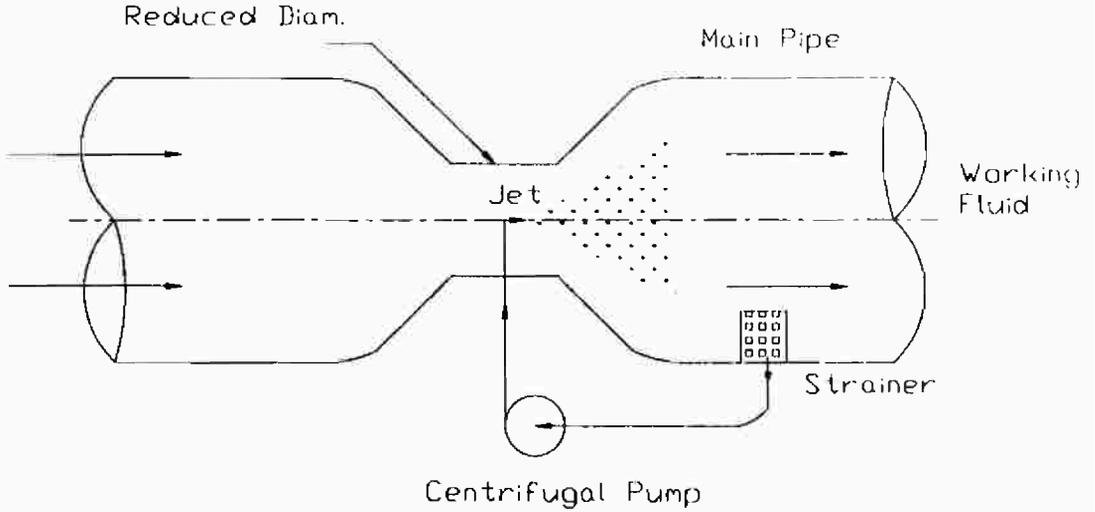
$$\frac{Q_1}{Q_2} = \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^3 \quad (6-17)$$

٢- مقدار الرفع يتناسب مع مربع القطر .

$$\frac{h_1}{h_2} = \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^2 \quad (6-18)$$

٣- القدرة اللازمة لادارة المضخة تتناسب مع الأس الخامس للقطر .

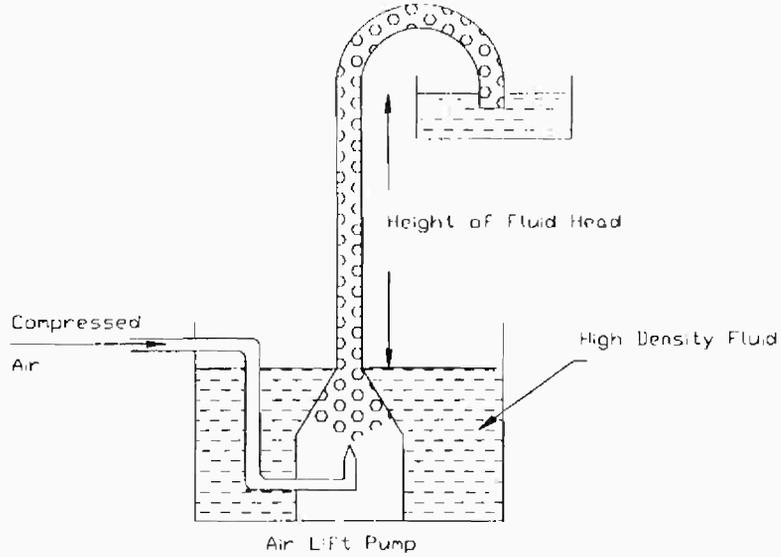
$$\frac{HP_1}{HP_2} = \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^5 \quad (6-19)$$

أ - مضخة النافورة : Jet Pump

شكل (٦-١) قطاع في نظام مضخة النافورة

تستخدم في دفع السوائل ذات الكثافة العالية والتي بها مواد عالقة بكثرة كالمعلقات وفضلات التصنيع المختلفة والتي لايلانمها استخدام المضخات الطاردة المركزية ونظرية تشغيل هذه المضخة تتلخص في وجود نافورة من السائل من اختناق او عنق ماسورة التشغيل كما هو مبين في الشكل (٦-١). هذه النافورة متصله بمضخة طاردة مركزية تقوم بسحب السائل بدون المواد العالقه به من ماسورة التشغيل الرئيسية وتدفعه الى النافورة . ونتيجة لسرعة مرور السائل من النافورة بفعل القوة الطاردة المركزية يحدث تفريغ او منطقة ضغط منخفض في اختناق ماسورة التشغيل وبذلك يسحب السائل المراد نقله الى المنطقة التي توجد امام النافورة .

ب- مضخة دفع الهواء : Air Lift Pump



شكل (٦-١١) قطاع في مضخة صبغ الهواء

وتستخدم في دفع السوائل ذات الكثافة العاليه او التي بها نسب مرتفعه من الاحماض والتي لا يلائمها استخدام المضخات الاخرى نتيجة لتآكل معدنها من هذه الاحماض ، كما هو موضح في شكل (٦-١١) ويستخدم فيها هواء تحت ضغط يساوي على الاقل ارتفاع عمود السائل في الخزان ونتيجة لذلك يرتفع مخلوط الهواء والسائل (كثافة المخلوط تكون اقل من كثافة السائل ) في ماسورة الرفع الى المستوي المراد نقل السائل اليه .