الباب السادس

المراوح والمضخات

Fans and Pumps

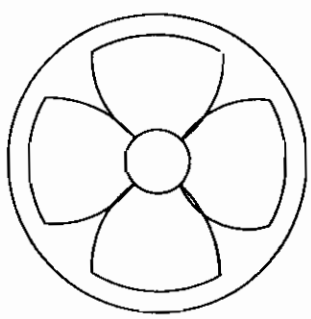
أولا : المراوح : Fans

تستخدم لمراوح فى كثير من عمليات تصنيع المنتجات الغذائيه مثل التسخين، التجفيف ، التبريد ، الحفظ فى الثلاجات التجاريه ، التهويه ، الشفط (نقل المواد المحببه والمساحيق) كما سنذكر بالتفصيل فيما بعد . والفرق الوحيد بين المراوح والضواغط الدورانيه للغازات هو ان المراوح تعمل عند ضغوط منخفضه (اقل من واحد رطل على البوصه المربعه) وينتج عن ذلك ان الغاز لايضغط كلية ولكن بطريقة جزئيه تتسبب فى تحريكه من جهة الى اخرى . وبذلك يكون حجم الغاز قبل و بعد المروحه ثابت تقريبا بخلاف الحاله فى الضواغط الدورانيه فحجم الغازات يقل كثيرا بعد ضغطها .

وتنقسم المراوح الى مايأتى :

أولا : النوع العمودى : Axial Flow or Propeller Fans

وفيه يكون مرور الغاز مواز للمحور (عمود الدوران) ويمتاز هذا النوع بأنه يعمل عند ضغط مرتفع وذو كفاءة عاليه . وتستخدم هذه المراوح فى عمليات التهويه وشفط الأتربه من عنابر التصنيع وفى العمليات الصناعيه التى تستلزم تقليب الغازات مع المواد المصنعه (شكل ٦-١) .



شكل (٦-١) قطاع فى مروحه عموديه

obeikandl.com

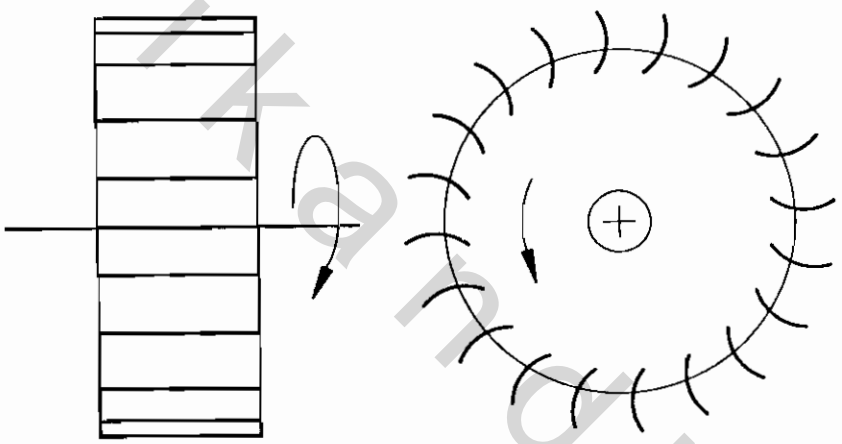
ثانيا : النوع القطرى او الطاردة المركزيه :

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



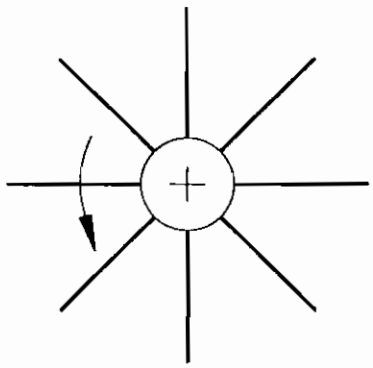
Forward Curved Blade Impeller

شكل (٦-٢) قطاع فى مروحه ذات الريش المنحنيه إلى الأمام

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 المروحه على سرعات بطيئة وتستخدم فى دفع الغازات النظيفه الخالية من الأتربة .

obeikandl.com

٢- المراوح ذات الريش المستقيمة Straight Blade Fans



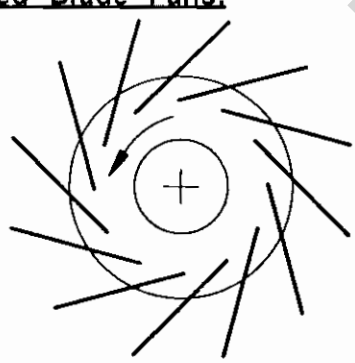
Straight Blade Impeller

شكل (٦-٣) قطاع فى مروحه ذات ريش مستقيمه

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 (٦-٣). وتعمل المروحة على سرعات متوسطة ويمكن استخدامها فى دفع الغازات المحملة بالاتربة او المواد العالقة .

٣- المراوح ذات الريش المنحنية الى الخلف :

Backward Curved Blade Fans:



Backward Curved Blade Fan

شكل (٦-٤) قطاع فى مروحة ذات الريش المنحنيه الى الخلف

obeikandl.com

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 :

$$\text{Theoretical Horse Power} = \frac{V.\rho.h}{\text{Standard HP}} \qquad (6\text{-}1)$$

حيث أن :

V = حجم الغاز المدفوع فى وحدة الزمن — ft^3/min or m^3/min

ρ = كثافة الغاز — Lb/ft^3 or kg/m^3

h = الرفع الديناميكى الكلى للمروحة — ft or m

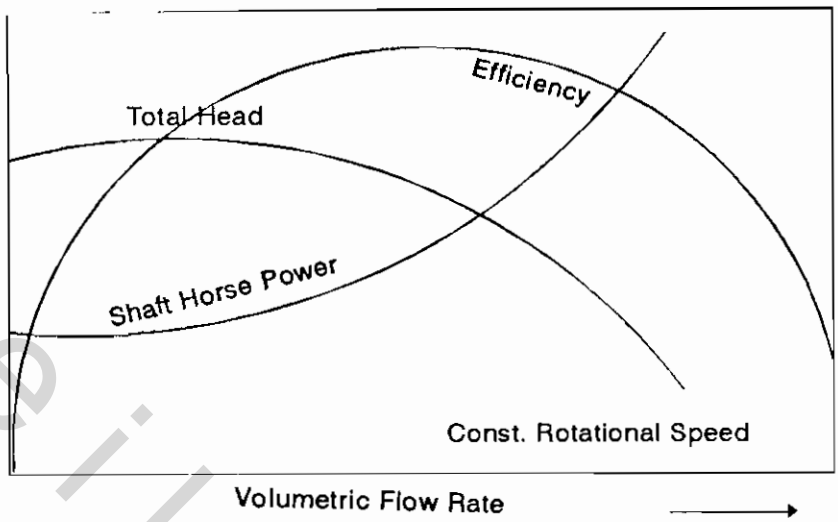
$$\text{Standard Horse Power} = 33000 \text{ Lb.ft /min}$$
$$= 4500 \text{ kg.m/min}$$

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

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

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 المروحه

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

ثانيا : المضخات: PUMPS

هى آلات تستخدم فى رفع ودفع السوائل من مستوى الى مستوى أخر . ونظرية عمل المضخات تشابه كثيرا نظريات عمل الضواغط والمراوح ويمكن القول بان الاختلاف الاساسى بين هذه الالات 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 الطلمبه.

obeikandi.com

٢- المضخه 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 ثابته .

٣- المضخات الخاصه واهمها :

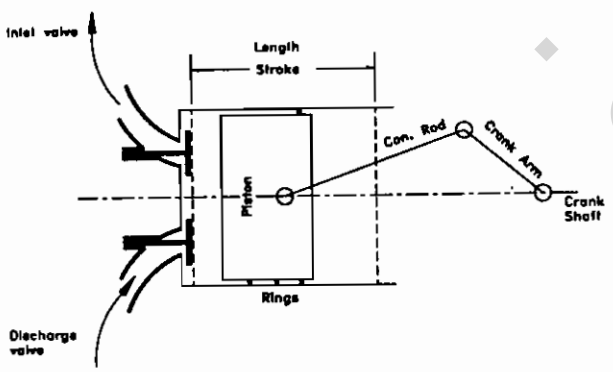
أ- مضخة النافورة Jet Pump وتستخدم الطاقة الناتجة عن سرعة مرور سائل فى ماسورة فى دفع السائل من مستوى الى مستوى أخر .

ب- مضخة دفع الهواء Air Lift Pump وتسخدم 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 أسطوانة مصنوعة من الحديد الزهر او النحاس المسبوك ، ويصنع المكبس من الصلب او النحاس ويوجد على سطحه تجاويف دائرية توضع فيها حلقات او شنابر من الصلب المرن او الكاوتشوك فائدتها تقليل احتكاك معدن المكبس مع معدن الاسطوانه وعدم السماح للسائل داخل الاسطوانه او لزيوت التشحيم داخل صندوق المرفق من الاختلاط وبذلك يمكن التحكم فى ضغط السائل داخل أسطوانة المضخه كما انها تساعد فى نقل الحراره الناتجه عن الاحتكاك الى الهواء المحيط بالمضخة فلا يتسبب عنها زيادة فى درجة حرارة السائل المراد دفعه .



شكل رقم (٦-٦) قطاع فى مضخه ترددية ذو اسطوانه واحده

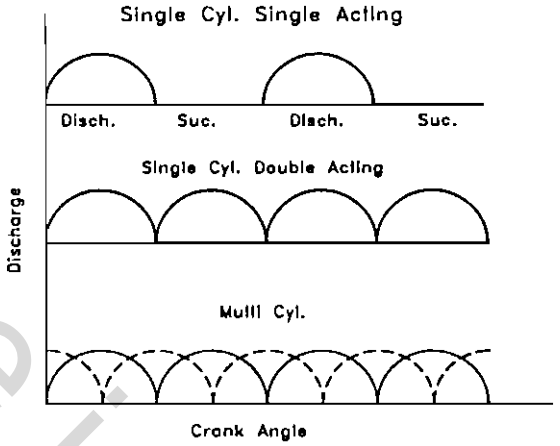
ويوجد فى رأس الاسطوانة صمامان احدهما لدخول السائل والاخر لخروجه ، وهى على هيئة اقراص صغيرة من الجلد او المعدن تفتح وتقفل حسب حركة المكبس ، ويكون فتحتها فى اتجاه حركة خروج السائل بحيث تسمح بمرور السائل الى ماسورة الطرد ولاتسمح له بالارتداد ثانيا .

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 الاسطوانه ويلاحظ ان التصرف الحقيقى للمضخة فى المشوار الواحد يقل عن حجم الاسطوانه الفعلى وذلك يرجع الى فقد كمية من السائل نتيجة اما الى تسربها من بين المكبس والاسطوانة لعدم احكام الشنابر او الى عدم ملأ الاسطوانة بالسائل ملأ تاما . لذلك تستخدم الكفاءة او الجودة الحجمية للمضخة الترددية Volumetric Efficiency وتعرف كالآتى :

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

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

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 (٦-٧) تنظيم معدل تصرف المضخات الترددية عند التشغيل

وتستخدم هذه المضخات فى حالة الاحتياج الى تصرف بسيط نسبيا ولكن تحت ضغط مرتفع مثل مضخات تجنيس اللبن ويكون ضغطها مرتفع جدا . والمضخات الترددية تكون عادة بطيئة ، وسرعة عمود الدوران تتراوح بين ٢٠ ، ٢٠٠ لفه 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 الترددية (m) من القانون الآتى :

$$m = \eta_{vol.}\ n.\ \rho.\ L.\ A \qquad (6-4)$$

حيث أن :

A = مساحة مقطع الاسطوانه = πr^2

L = طول مشوار المكبس

ρ = كثافة السائل المراد دفعة

n = عدد لفات عمود الادارة فى الدقيقة.

η_{vol} = الكفاءة الحجمية للطلمبة

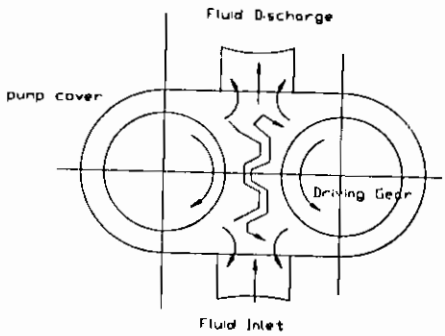
فاذا كانت h هى مقدار الرفع الديناميكى الكلى للمضخة بوحدات طولية فانة يمكن تقدير القدرة الحصانية النظرية اللازمة لتشغيل المضخة كمايأتى :-

القدرة الحصانية النظرية للمضخه ($HP_{theo.}$)

obeikandl.com

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

ب- المضخات الدورانية : **Rotory Pumps**



شكل(٦-٨) قطاع فى مضخه 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 المحجوز الى فتحة الخروج . ومن اهم تصميمات المضخات الدورانية المضخة الترسية Gear Pump وهى تتكون من ترسين معشقان مع بعضهما ، احداهما ياخذ حركتة الدورانية من عمود محرك او موتور كهربائى ، ويسمى بالترس القائد ويدور الترسان داخل غلاف خارجى به فتحتان احداهما متصله بماسورة السحب والاخرى بماسورة طرد السائل بعد زيادة الضغط الواقع عليه كما هو مبين فى الشكل(٦-٨).

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 الآتى :

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

obeikandi.com

حيث أن :

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

l = الطول المحورى للسنة ويتناسب مع القطر

n = عدد اللفات فى الدقيقه

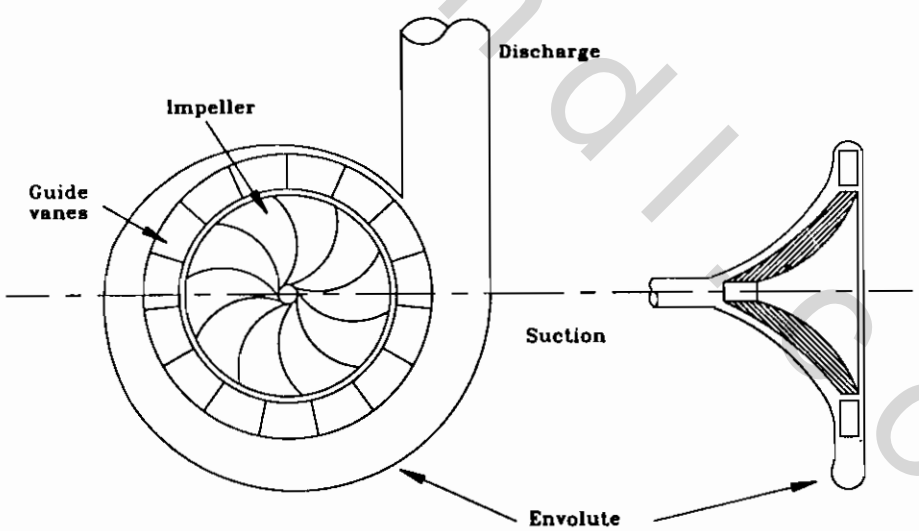
d = قطر دائرة الخطوة للترس

N = عدد اسنان كل ترس

أى ان مقدار التصرف فى الدقيقه = ثابت . $n.d^3$

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 الإحتياج الى كميات تصرف عالية عند مقدار رفع متوسط .



شكل (٦-٩) قطاع فى مضخه طاردة مركزيه

وتتكون المضخة المطاردة المركزية من قلب او قرص به ريش يدور داخل غلاف خارجي ذو تصميم تزداد مساحة مقطعه فى اتجاه خروج السائل كما هو مبين فى 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 الكينتيكيه) Kinetic Energy تزيد بمقدار كبير من مركز الدوران الى حافة القرص الخارجية . وهذه الطاقة الناتجة عن السرعة العالية التى اكتسبها السائل تتحول فى الغلاف الخارجى الى طاقة دفع او ضغط مرتفع عند ماسورة الطرد او التصرف.

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 صلبه عالقه ، والنوع المغلق يكون للسوائل النقيه ، وقرص الريش له تصميمات متعددة لتلائم الغرض المستخدم فيه تماما مثل المراوح التى سبق ذكرها . والطلمبات ذات السرعات العالية تزود عادة بقرص به ريش توجيه Guide Vanes يثبت داخل غلاف المضخه حول قرص الريش الرئيسى كما هو مبين فى 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 المضخه وبذلك يقل او ينعدم سريان السائل من ماسورة السحب .

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

تقدير سعة المضخة والقدرة اللازمه لتشغيلها :

اذا علمت سرعة سريان السائل فى ماسورة الخروج (التصرف) وكثافة السائل وقطر ماسورة الخروج فان مقدار تصرف المضخة (m) يمكن حسابه كالآتى :

$$m = \rho A V \qquad (6\text{-}7)$$

obeikandl.com

حيث ان :

V = سرعة سريان السائل

A = مساحة مقطع ماسورة التصرف

ρ = كثافة السائل

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

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

حيث أن :

h = الرفع الكلى للمضخة

h_s = الرفع الاستاتيكى الرأسى للسائل

h_f = الفقد فى الرفع نتيجة للاحتكاك داخل مواسير التوصيل

V = سرعة سريان السائل فى الثانيه

g = عجلة الجاذبية الارضية (٢ر٣٢ قدم/ ث^2 أو ٩٨٠ سم/ث^2)

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 الاستاتيكى الرأسى فى حالة اذا كان توصيل السائل من خزان الى خزان على مستوى اعلى منه وتحكم العلاقه الآتيه التحويل المطلوب :-

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

حيث P هى ضغط التشغيل ، ρ هى كثافة السائل بالوحدات المناظرة وتكون القدرة الحصانية النظرية لتشغيل المضخة كما يأتى :

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

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

obeikandl.com

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

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

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

وعادة مايتصل عمود ادارة المضخة بعمود المحرك عن طريق وصله مرنه Coupling عبارة عن قرصين من المعدن متصلين ببعضهما بواسطة مسامير ربط ، او عن طريق طارات متصلة ببعضها بواسطة سيور مبططه 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 المضخه ويعبر عن ذلك الكفاءة الميكانيكيه لتوصيل الحركة .

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

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

ويمكن تلخيص ماسبق فى القانون الآتى :

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

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

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

١- مقدار التصرف يتناسب تناسبا طرديا مع سرعة دوران عمود ادارة المضخه :

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

٢- مقدار الرفع يتناسب تناسبا طرديا مع مربع سرعة الدوران :

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

٣- القدرة اللازمه للتشغيل تتناسب طرديا مع مكعب سرعة الدوران :

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

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

١- مقدار التصرف يتناسب مع مكعب قطر قرص الريش

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

٢- مقدار الرفع يتناسب مع مربع القطر.

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

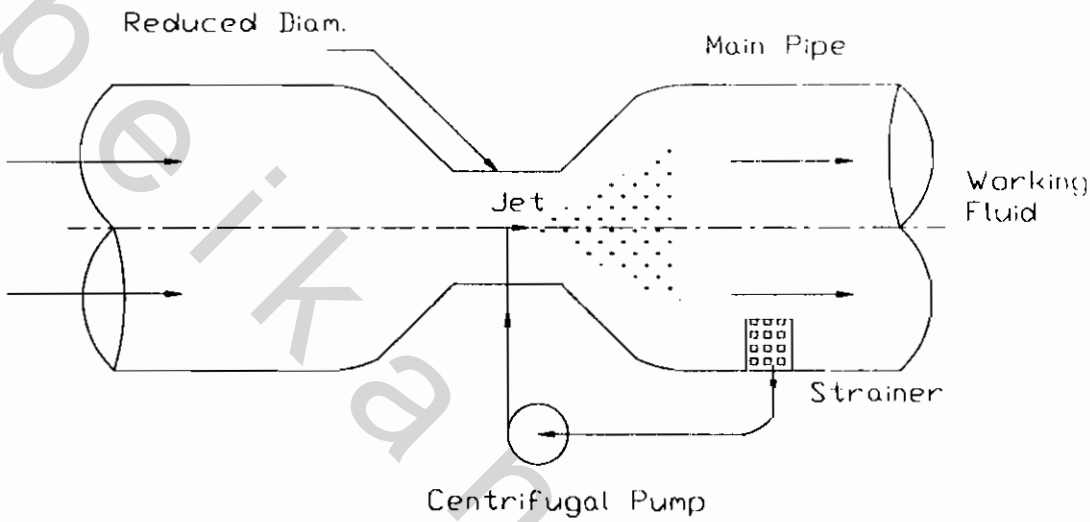
٣- القدرة اللازمة لادارة المضخه تتناسب مع الأس الخامس للقطر .

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

obeikandl.com

٢- المضخات الخاصه

أ - مضخة النافورة : Jet Pump

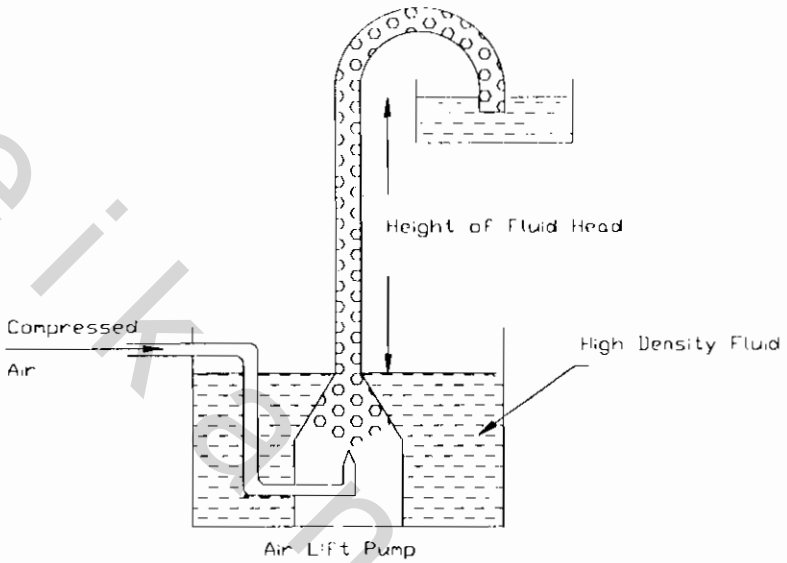


شكل(٦-١٠) قطاع فى نظام مضخة النافوره

تستخدم فى دفع السوائل ذات الكثافة العالية والتى بها مواد عالقه بكثرة كالمعلقات وفضلات التصنيع المختلفة والتى لايلائمها استخدام المضخات الطاردة المركزية ونظرية تشغيل هذه المضخه تتلخص فى وجود نافورة من السائل من اختناق او عنق ماسورة التشغيل كما هو مبين فى الشكل (٦-١٠). 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 فى اختناق ماسورة التشغيل وبذلك يسحب السائل المراد نقله الى المنطقة التى توجد امام النافورة .

obeikandl.com

ب- **مضخة دفع الهواء : Air Lift Pump**



شكل (٦-١١) قطاع فى مضخة صخ الهواء

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

obeikandl.com