المادة: هندسة معامل الاغذية ***FOOD PLANTS ENGINEERING***

الجزء النظري: **عدد الوحدات النظرية (2)** **عدد الساعات (2)**

مدرس المادة: أ.م.د. اسعد رحمان سعيد الحلفي

قسم علوم الاغذية – كلية الزراعة – جامعة البصرة

المحاضرة السادسة:

جريان الموائع *Fluid Flow*

كثير من المواد الخام والمنتجات الغذائية النهائية في مجال الصناعات الغذائية تكون في صورة موائع. وهذه الموائع لابد من تصنيعها ونقلها في المصنع وتتم عملية تحريك (ضخ) الموائع بواسطة المضخات.وعملية الضخ هي من اهم طرق نقل المواد الغذاية من منطقة الى اخرى داخل المعمل ويمكن تعريفها بانها نقل المادة السائلة او الغازية بواسطة تسليط ضغط مناسب يؤدي الى حركة هذه المواد داخل انابيب معينة .

الموائع في صناعة الاغذية تختلف كثيرا في خصائصها وهي تشمل المواد التالية:

سوائل خفيفة مثل: الحليب ، الماء ، عصائر الفواكه.

سوائل ثقيلة مثل: العصائر المركزة ، العسل ، الزيت ، المربيات.

غازات مثل: الهواء ، النيتروجين ، ثاني اوكسيد الكاربون.

مواد صلبة مميعة مثل: الحبوب ، الدقيق.

استاتيكا الموائع fluid statics

الضغط الذي يبذله المائع على محيطه احد اهم خصائص المائع في الحالة الساكنة. ويعرف الضغط بانه القوة الضاغطة على مساحة معينة.

$$F = m\ g = V\ \rho\ g$$

F: قوة الضغط المبذولة (N) ، m: الكتلة (kg) ، g: الجاذبية الارضية (m/s^2) ، ρ: الكثافة (kg/m^3)

القوى عند اي نقطة في حالة المائع الساكن تتساوى في جميع الاتجاهات ويطلق على هذه القوى العاملة في وحدة المساحة في مائع ما ضغط المائع.

$$P = \frac{F}{A} = P_a + Z\ \rho\ g = Z\ \rho\ g$$

P_a: الضغط الجوي (Pa) وهو يمثل النقطة المرجعية الذي يتم قياس الضغط ابتداءا من عنده حيث يزال من المعادلة ويضاف الى المعادلة اذا عتبرت النقطة المرجعية عند الضغط صفر.

مثال: احسب قيمة اعلى ضغط داخل خزان كروي الشكل يبلغ قطره مترين ومملوء بزيت الفول السوداني الذي وزنه النوعي يساوي 0.92 اذا كانت قيمة الضغط الذي تم قياسه عند اعلى نقطة في الخزان تساوي 70 كيلو باسكال.

كثافة الماء = 1000 (kg/m^3) ، اذاً كثافة الزيت = $0.92 \times 1000 = 920$ (kg/m^3)

$$P = Z\ \rho\ g = 2\ \times 920 \times \times 9.81 = 18.1\ kPa$$

ويجب ان يضاف الى هذه القيمة قيمة الضغط على سطح المائع وهو 70 كيلوباسكال .

اذاً الضغط الكلي: $P_{TOTAL}=70 + 18.1 =88.1$ kPa

يتم احيانا التعبير عن الضغط بالضغط المطلق وهذا يعني ان الضغط الكلي يشمل الضغط الجوي ، وبشكل عام قراءة الضغط تعطي ضغطا معياريا (قياسيا او مانومتريا) والذي يتضمن الضغط الجوي كمستوى مرجعي.

فاذا كان الضغط المطلق يساوي 350 كيلوباسكال فان الضغط المعياري هو (350 – 100)=250 كيلوباسكال على افتراض ان الضغط الجوي يساوي 100 كيلوباسكال. ويمكن تسمية الاخير بالضغط الجوي القياسي.

هنالك طريقة اخرى للتعبير عن الضغط هي بدلالة مقدار الرفع لمائع معين head وهنالك علاقة مباشرة بين الضغط وعمق المائع.

مثال: احسب قيمة عمود الرفع من الماء المكافيء لواحد ضغط جوي قياسي قدره 100 كيلوباسكال .

$$P = Z\ \rho\ g$$

$$100000 = Z\ \times 1000 \times 9.81$$

$$Z = 10.5\ m$$

ديناميكية الموائع: fluid dynamics

في معظم عمليات التصنيع تحتاج الموائع الى وسائل نقل داخل وحدات التصنيع ومن ثم فان دراسة الموائع في حالة الحركة مهمة جدا. وتحل مسائل جريان الموائع بتطبيق قواعد بقاء الكتلة والطاقة. تطبق معادلة الاستمرارية للسوائل $\rho_1 A_1\ V_1\ =\ \rho_2 A_2\ V_2$

مثال: حليب كامل الدسم يسري الى جهاز طرد مركزي خلال انبوب قطره 5 سم بسرعة 0.22 م/ثا . اذا كان الحليب داخل هذا الجهاز يفصل الى قشدة وزنها النوعي 1.01 وحليب منزوع الدسم وزنه النوعي 1.04 ، احسب سرعة جريان الحليب وسرعة جريان القشدة وخروجها من جهاز الطرد المركزي من خلال انابيب قطرها 2 سم علما ان الوزن النوعي للحليب كامل الدسم يساوي 1.035

$$\rho_1 A_1\ V_1\ =\ \rho_2 A_2\ V_2 + \rho_3 A_3\ V_3$$

1- حليب خام ، 2- حليب منزوع الدسم ، 3- القشدة. وكذلك نظرا الى عدم تغير الاحجام فان الاحجام الكلية للسوائل الخارجة من جهاز الطرد المركزي تساوي حجم السائل الكلي الداخل الى الجهاز.

$$A_1\ V_1\ =\ A_2\ V_2 + A_3\ V_3$$

$$V_2 = \frac{A_1 V_1 - A_3 V_3}{A_2} \qquad (1)$$

$$\rho_1 A_1 V_1 = \rho_2 A_2 \left(\frac{A_1 V_1 - A_3 V_3}{A_2}\right) + \rho_3 A_3 V_3$$

$$\rho_1 A_1 V_1 = \rho_2 A_1 V_1 - \rho_2 A_3 V_3 + \rho_3 A_3 V_3$$

$$A_1 V_1(\rho_1 - \rho_2) = A_3 V_3 (\rho_3 - \rho_2) \qquad (2)$$

$A_1=(\pi/4)\times 0.05=1.96\times10^{-3}\ m^2$

$A_2=A_3=(\pi/4)\times 0.02^2=3.14\times10^{-4} m^2$

$V_1=0.22$ m/s

$$\rho_1 = 1.035 \times \rho_w$$
$$\rho_2 = 1.04 \times \rho_w$$
$$\rho_3 = 1.01 \times \rho_w$$

ρ_w: كثافة الماء.

$$-1.96\times10^{-3}\times0.22\times0.005=-3.14\times10^{-4}\times V_3\times0.03$$

$V_3=0.23$m/s

$V_2=(1.96\times10^{-3}\times0.22-3.14\times10^{-4}\times0.23)/\ 3.14\times10^{-4}=1.1$ m/s

ان معادلة برنولي هي احدى قواعد ميكانيكا الموائع وهي تعبير رياضي لتدفق الموائع ولقاعدة بقاء الطاقة وهي تشمل الكثير من الحالات العملية المهمة.

$$Z_1 g + \frac{V_1^2}{2} + \frac{P_1}{\rho_1} = Z_2 g + \frac{V_2^2}{2} + \frac{P_2}{\rho_2}$$

$$Z_1 g + \frac{V_1^2}{2\alpha} + \frac{P_1}{\rho_1} + E_P = Z_2 g + \frac{V_2^2}{2\alpha} + \frac{P_2}{\rho_2} + E_f$$

مثال: ماء يسري بمعدل 0.4 م^3/ دقيقة داخل انبوب قطره 7.5 سم عند ضغط قدره 70 كيلوباسكال. يتغير قطر الانبوب عند نقطة ما الى 5 سم ، احسب قيمة الضغط في الجزء الذي تغير فيه قطر الانبوب الى 5 سم . كثافة الماء تساوي 1000 كغم/م^3.

معدل سريان الماء : $0.4\ m^3/min = 0.4/60$

مساحة مقطع الانبوب للجزء اللذي يساوي قطره 7.5 سم:

$$(\pi/4)D = (\pi/4)(0.075)^2 = 4.42\times10^{-3}\ m^2$$

سرعة سريان الماء في الجزء الذي يساوي قطره 7.5 سم (V_1):

$(0.4/60)/ 4.42\times10^{-3}= 1.51$ m/s

مساحة مقطع الانبوب للجزء الذي يساوي قطره 5 سم :

$=(\pi/4)(0.05)^2 = 1.96\times10^{-3}$ m^2

سرعة سريان الماء في الجزء الذي يساوي قطره 5 سم (V_2) :

$(0.4/60)/(4.42\times10^{-3})=3.4$ m/s

بتطبيق معادلة برنولي:

$$Z_1\ g + \frac{V_1^2}{2} + \frac{P_1}{\rho_1} = Z_2\ g + \frac{V_2^2}{2} + \frac{P_2}{\rho_2}$$

$$0 + \frac{(1.51)^2}{2} + \frac{70\times10^3}{1000} = 0 + \frac{(3.4)^2}{2} + \frac{P_2}{1000}$$

$P_2=65.3$ k Pa

الموائع النيوتونية وغير النيوتونية: *Newtonian and Non-Newtonian Fluids*

المعادلة التالية تعطي تمثيلا لمعظم الموائع حتى تلك المستخدمة في صناعة الاغذية:

$$\tau = k\left(\frac{dv}{dz}\right)^n$$

عند (n=1) يطلق على الموائع نيوتونية في حين يطلق على جميع الموائع الاخرى غير نيوتونية وهي تقسم الى مايلي:

1- مجموعة الموائع غير النيوتونية عند $(n < 1)$ كما في الشكل ادناه الذي يبين العلاقة بين جهد القص ومعدل القص لهذه المجموعة ويمثلها منحنى مقعر الى اسفل وعادة ترتفع اللزوجة بانخفاض قوى القص وتنخفض بارتفاعها وتسمى بالمجموعة الشبه بلاستيكية Pseudoplastic ومثالها حساء الطماطة المركز.وفي الحالات التي تكون فيها قوى القص منخفضة جدا لايحدث سريان حتى يصل المائع الى جهد خضوع Yield stress وما يحدث بعده سريان المائع وتسمى بالمجموعة هلامية القوام Thixotropic .

2- مجموعة الموائع غير النيوتونية عند $(n > 1)$ ولزوجة هذه المجموعة منخفضة عند قوى قص منخفضة وتزداد اللزوجة بارتفاع قوى القص وتسمى بالمجموعة الديلاتنتية Ditatancy مثل محاليل السكر المتبلورة.

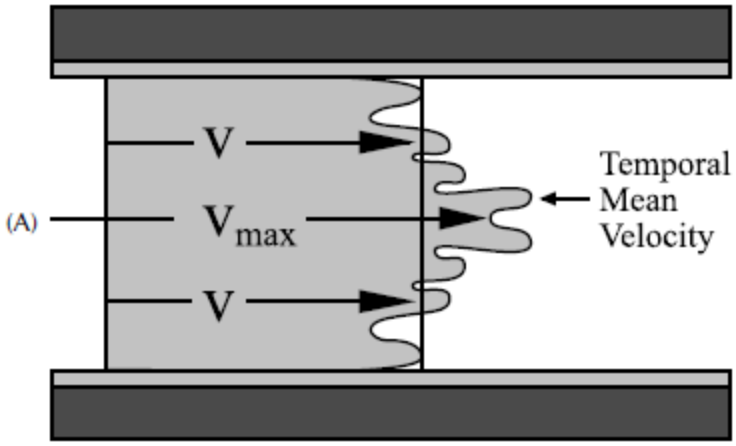
وهناك مجموعة مغايرة عند صفر لزوجة ظاهرية وقوى قص منخفضة وتسمى بالمجموعة الريوبيكتية Rheopectic

انواع الجريان:

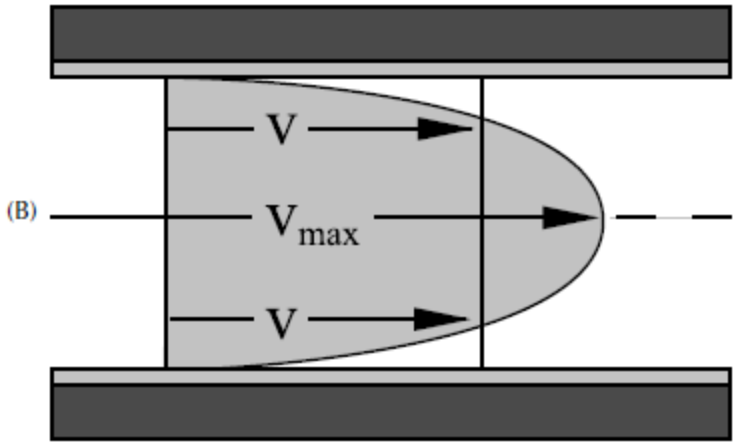
1- جريان طبقي او انسيابي او رقائقي streamline flow (Re< 2100)

2- الجريان الانتقالي Transition flow (2100 < Re < 4000)

3- الجريان المضطرب Turbulent flow (Re > 4000)



جريان مضطرب



الجريان الانسيابي

من المعادلة التالية:ΔP_fيحسب انخفاض الضغط الناتج عن الاحتكاك

$$\Delta P_f = (\frac{4f\,\rho\,v^2}{2})(L/D)$$

فقد الطاقة الناتج عن الاحتكاك:

$$E_f = (\frac{4f\ v^2}{2})(L/D)$$

يحسب f في حالة الجريان الانسيابي : $f = 16 / Re$

يحسب f في حالة الجريان المضطرب : $f = (0.316/4)(Re)^{-0.25}$

مثال: احسب الفقد في الضغط في انبوب من الصلب طوله 170 م وقطره 5 سم يسري خلاله زيت زيتون عند درجة حرارة 20 مئوي بمعدل 0.1 م^3/ دقيقة.علما ان لزوجة زيت الزيتون 84 ×10^{-3} باسكال. ثانية. وكثافته 910 كغم / م^3.

مساحة مقطع الانبوب: $A = (\pi/4)\, D = (\pi/4)\,(0.05)^2 = 1.96\times10^{-3}\ m^2$

سرعة السائل: $v = (0.1 \times 1/60)\,/\,(1.96\times10^{-3}) = 0.85\ m/s$

$$R_e = \frac{D\ v\ \rho}{\mu} = (0.05 \times 0.85 \times 910)/(84 \times 10)^{-3} = 460$$

$$f = 16 / Re = 16/460 = 0.03$$

فقد الضغط يساوي:

$$\Delta P_f = \left(\frac{4f\,\rho\,v^2}{2}\right)(L/D)$$

$$\Delta P_f = \left(\frac{4 \times 0.03 \times 910 \times (0.85)^2}{2}\right)\left(\frac{170}{0.05}\right) = 1.34 \times 10^5\ Pa$$

وهنالك فواقد تحصل ايضا نتيجة الاكواع تستخرج من جداول خاصة.

يوجد العديد من العلاقات تسمى بقوانين القرابة وهي تتحكم في تأدية المضخات الطاردة المركزية عند سرعات مختلفة للمروحة هي كالتالي:

$$V_2 = V_1\left(\frac{N_2}{N_1}\right)$$

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

$$p_2 = p_1\left(\frac{N_2}{N_1}\right)^3$$

مثال: مضخة طاردة مركزية تعمل في الضروف التالية:

معدل التدفق الحجمي = 5 م^3/ثا الارتفاع الكلي = 10 م القدرة = 2 كيلوواط

سرعة المروحة = 1750 دورة/دقيقة احسب اداء هه المضخة لو شغلت عند 3500 دورة /دقيقة.

$$\left(\frac{N_2}{N_1}\right) = \left(\frac{3500}{1750}\right) = 2$$

$V_2=5\times2=10\ m^3/s$

$h_2=10\times2^2=40\ m$

$P_2=2\times2^3=16\ kW$

كفاءة المضخات:*PUMPS EFFICIENCEY*

الكفاءة الميكانيكة للمضخة يمكن ان تحسب من خلال قسمة القدرة الخارجة على القدرة الداخلة.

$$e_m = \frac{P_o}{P_i}$$

e_m:كفاءة المضخة ، p_o : القدرة الخارجة وتحسب كالاتي:

$$p_o = WQ\rho g$$

P_i : القدرة الداخلة

W:الشغل المنجز على المائع (J/N)

Q: معدل الجريان (m^3/s)

P: كثافة المائع (kg/m^3)

G: التعجيل الارضي (m/s^2)

هنالك معادلة تجريبية لحساب القدرة الخارجة للمضخة:

$$kW = \frac{hQ\rho}{3.670\times10^5}$$

kW: القدرة الخارجة للمضخة ، h:عمود الرفع الديناميكي الكلي (N.m/kg).

وعندما يكون عمود الرفع h بوحدات pascals تستخدم المعادلة التالية:

$$\mathrm{kW} = \frac{hQ}{3.599 \times 10^6}$$

مثال: مضخة تصريفها 13 لتر / ثا ماء وعمود الضغط الكلي 12 م ماهي القدرة الخارجة للمضخة؟ وما هي الكفاءة الميكانيكية للمضخة اذا كانت القدرة الداخلة للمضخة 3 HP

$$p_o = WQ\rho g$$

$$p_o = (12\,\mathrm{m})\left(\frac{13\,\mathrm{dm}^3}{\mathrm{s}} \times \frac{\mathrm{m}^3}{1000\,\mathrm{dm}^3}\right)\left(\frac{1000\,\mathrm{kg}}{\mathrm{m}^3}\right)\left(\frac{9.81\,\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}\right)$$

$$p_o = \frac{1530360\,\mathrm{mdm}^3\mathrm{m}^3\mathrm{kgm}}{1000\,\mathrm{sdm}^3\mathrm{m}^3\mathrm{s}^2} = 1530.36\,\mathrm{kgm}^2/\mathrm{s}^3$$

$$p_o = \frac{1530.36\,\mathrm{kgm}^2}{\mathrm{s}^3} \times \frac{1\,\mathrm{N}}{1\,\mathrm{kgms}^{-2}} = 1530.36\,\mathrm{Nm/s}$$

$$p_o = \frac{1530.36\,\mathrm{Nm}}{\mathrm{s}} \times \frac{1\,\mathrm{J}}{1\,\mathrm{Nm}} = \frac{1530.36\,\mathrm{J}}{\mathrm{s}} \times \frac{1\,\mathrm{W}}{1\,\mathrm{Js}^{-1}} = 1530.36\,\mathrm{W}$$

كل 1HP يساوي 745.7 W

$$e_m = \frac{p_o}{p_i} = \frac{1530.36\,\mathrm{W}}{3\,\mathrm{hp}} \times \frac{1\,\mathrm{hp}}{745.7\,\mathrm{W}} = 0.684 = 68.4\%$$

المضخات واساس عملها

تستعمل انواع عديدة من طرق الضخ في معامل الاغذية يتم فيها ضخ المواد الغذائية داخل هذه المعامل او ضخ المواد الاخرى كالتي تستعمل للتبريد او الهواء.

انواع الضخ:

اولا: الضخ المتنوع الاغراض : يشمل اجراء عمليات ضخ مختلفة:

أ- ضخ الماء

1. ضخ في وحدات التبريد
2. ضخ مادة التبريد (المحاليل الملحية المبردة)
3. ضخ الماء العادي
4. ضخ الماء الحار

ب- ضخ الهواء

ويقصد به ضخ الهواء بواسطة مضخات معينة لغرض توفير هذا الهواء لضغط لازم لاتمام السيطرة على الاجهزة المختلفة.

ج- ضخ الامونيا او المواد المبردة الاخرى خلال اجهزة التبريد المختلفة.

2- الضخ الصحي

ويقصد به ضخ المواد الغذائية المختلفة من جزء الى اخر في العمل كنقل الحليب من موقع الاستلام الى المخازن ومنا الى اجزة البسترة المختلفة. وتصنع المضخات في هذا النوع من الحديد المقاوم للصدأ stainless steel.

3- الضخ ذو الضغط العالي:

وفي هذا النوع يجب ضخ المادة الغذائية داخل الاجهزة بضغط عال جدا مثل المجنسات حيث يستعمل ضغط يتراوح بين 500 – 3000 باوند/انج مربع (35.15 – 210 كغم/سم^2).

انواع المضخات:

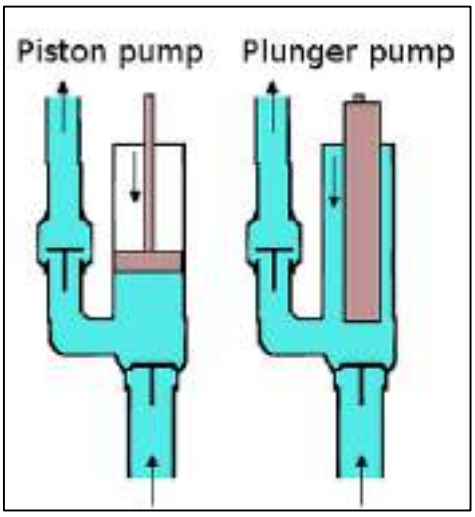
المضخة هي جهاز يقوم بزيادة الضغط الكلي للمائع (السوائل والغازات) باستخدام الطاقة.

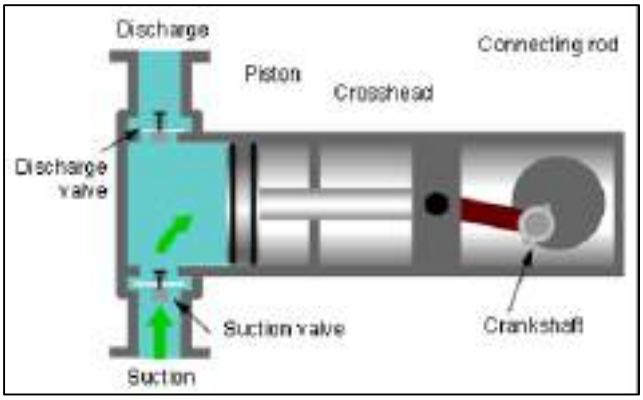
1. مضخات الازاحة الايجابية **Positive Displacement Pumps**

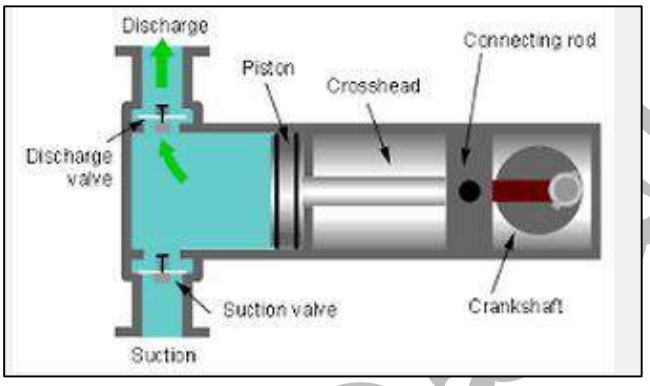
وهي تقوم بسحب المائع وضخه بقوة الى خارج المضخة. من مزايا هذ المضخات انها تعطي كميات متجانسة من المواد الغذائية اثناء الضخ وكذلك تولد ضغطا عاليا ضروريا لاجراء بعض العمليات المختلفة.من امثلتها المضخة الماصة الكابسة plunger type pump (reciprocating piston pump)والمضخة الدوارة rotary pump والمضخة الترسية gear pump ومضخة الحجاب الحاجز diaphragm pump والمضخة ذات الفصوص lobe pump و Peristaltic pump

المضخة الماصة الكابسة:

وتتكون من اسطوانة يتحرك بداخلها مكبس الى الاعلى والاسفل. في حالة سحب المكبس الى الاسفل ينفتح صمام السحب فيتخلخل الضغط وينسحب السائل الى داخل هذه الاسطوانة وعند تحرك المكبس الى الاعلى ينغلق هذا الصمام وينفتح صمام خروج السائل.







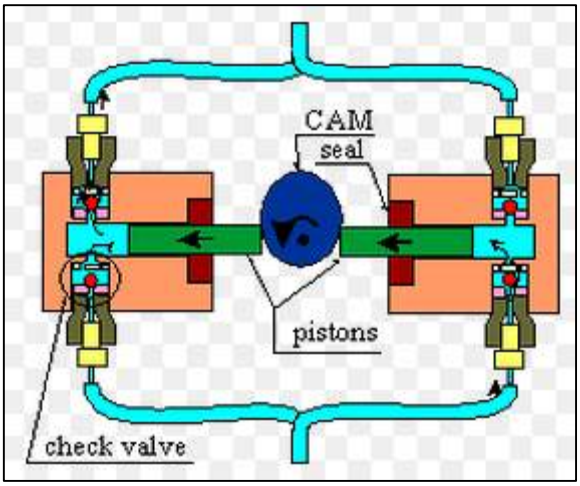
مميزاتها

1. انها تضخ كميات متجانسة من المادة الغذائية.
2. يمكن استعمالها لمدة طويلة لان حركتها بطيئة.

مساوئها

1. تعطي ضغطا متقطعا.
2. يحصل تاكل في صماماتهانتيجة الضغط العلي المتولد.

من الامثلة التطبيقية على هذا النوع من المضخات في اجهزة التجنيس homogenizers وتصنع هذ المضخة من الحديد المقاوم للصدأ.



حساب كمية الضخ:

تحسب كمية الضخ بعد معرفة حجم الاسطوانة وحجم السائل المراد ضخه في كل شوط stroke وعدد المراد التي يتم فيها تفريغ السائل والكفاءة الحجمية للمضخة التي تعتمد على :

1. التصميم.
2. المسافة الموجودة في نهاية الاسطوانة بين جدارها وجدار المكبس.
3. حجم الصمام.
4. مقدار ضغط السحب.
5. حرارة السائل.

يحسب مقدار الضخ من المعادلة التالية:

$$D = \frac{A\,L\,N\,\eta}{231}$$

D: مقدار الضخ (غالون/الدقيقة)

A: مساحة المكبس (انج مربع)

L: طول الشوط (انج)

N: عدد ضربات الدفع في الدقيقة

η: الكفاءة الحجمية (%)

مثال:

اوجد مقدار الضخ بالغالون في الدقيقة لمضخة مكبسية ذات مكبس واحد تعمل بمعدل 110 ضربة في الدقيقة وكفائتا الحجمية 90% وقطر الاسطوانة 2 انج وطول الشوط 4 انج.

$$A = \pi\, r^2 = 0.7854 \times 2^2$$

$$D = \frac{A\, L\, N\, \eta}{23100}$$

$$D = \frac{0.7854 \times 2^2 \times 4 \times 110 \times 0.90}{231} = 5.6\ \frac{gal.}{min}. = 5.6 \times 3.78\ \frac{l}{min}.$$

كما يمكن استخدام المعادلة التالية لحساب السعة الحجمية(volumetric flow rate (capacity بوحدات م^3/ثا

$$Q = N\left(\frac{\pi\, d^2\, L}{4}\right)\eta_v$$

Q: السعة الحجمية (م^3/ثا)

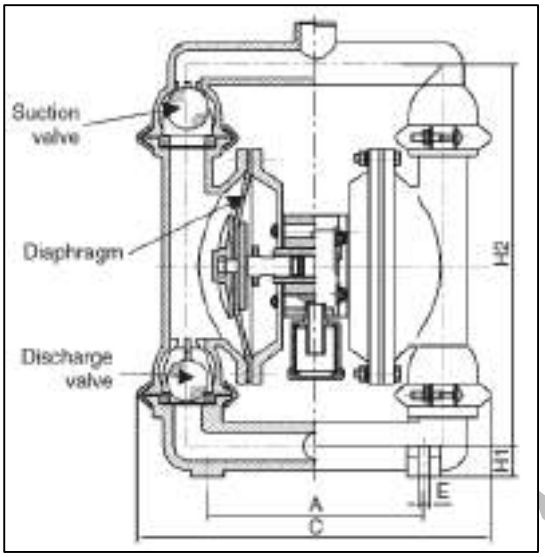
N: سرعة المضخة (شوط بالثانية) 1/ثا

D: قطر الاسطوانة (م)

η_v: الكفاءة الحجمية volumetric efficiency

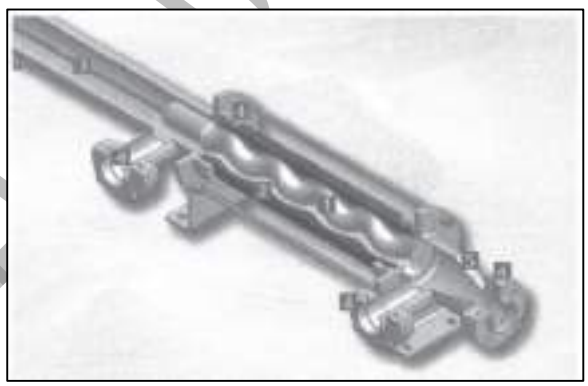
2- المضخة ذات الحجاب الحاجز *The diaphragm pump*

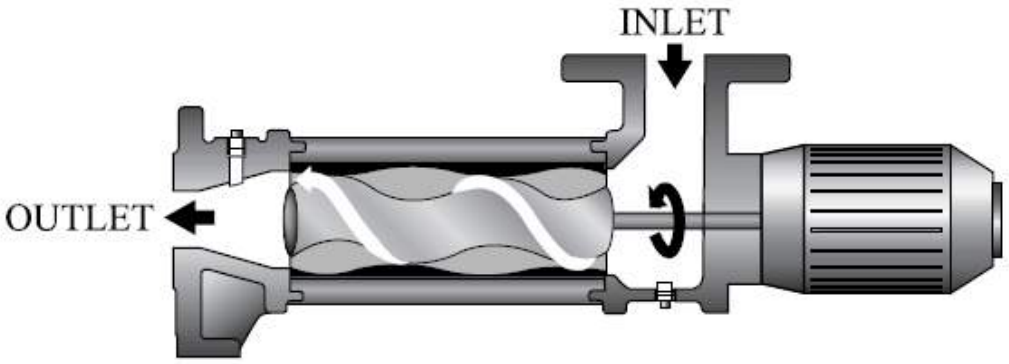
وهي احد انواع المضخات الايجابية الازاحة الترددية حيث يستبدل المكبس بحجاب حاجز مرن diaphragm flexible مصنوع من المطاط من شبيه المطاط elastomer يتحرك الحجاب الحاجز الى الامام والخلف ونتيجة لهذه الحركة يقوم بسحب السائل وضخه وتسيطر على عملية الضخ الصمامات ومن مميزاتها انها تتخلص من مشاكل التاكل التي تعاني منها المضخات المكبسية نتيجة الاحتكاك بين جدار الاسطوانة الداخلي والكبس. وتستخدم هذه المضخات لنقل السوائل التي تحتوي على مواد تسبب تالتاكل erosive كما يمكن استبدل الحجاب الحاجز وهو غالي نسبيا.



3- المضخات *Progressing cavity pumps*

وتعرف تجاريا باسم Moyno pumps وهي نوع خاص من مضخات الازاحة الايجابية الدوارة وتتكون من عمود حلزوني helical shaft يصنع من الحديد المقاوم للصدأ يدور بداخل اسطوانة مموجة helical sleeve تصنع من المطاط ويكون هنالك فراغ بين الاسطوانةوالجزء الدوار ويمر السائل خلال التجاويف الى فتحة التصريف وينتقل السائل بحجم ثابت وبدون قص . يستخدم هذا النوع من المضخات الى نقل السوائل ذات اللزوجة العالية high viscosity fluids والسوائل التي تحتوي على دقائق liquids containing particles





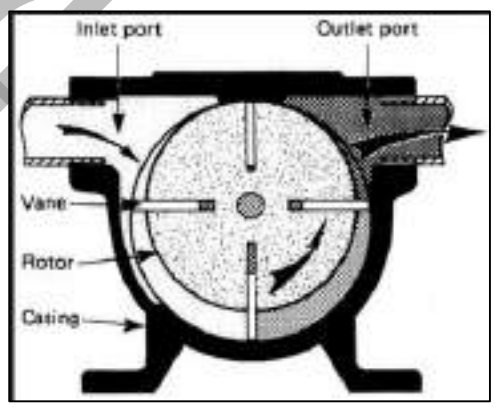
Helical screw pump

4- المضخات الدوارة rotary pumps

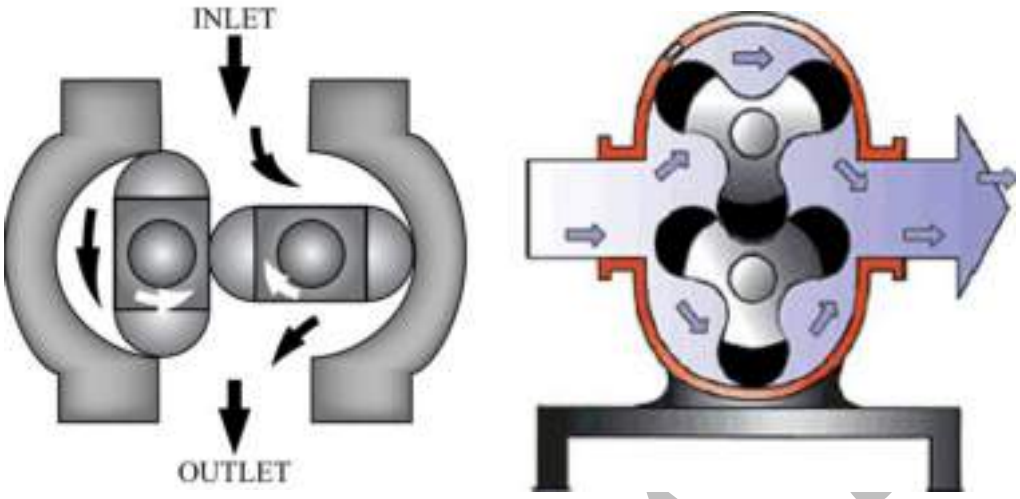
وهي من المضخات المستعملة بكثرة في ضخ المواد الغذائية ، ومن مميزاتها انها تعطي كميات متجانسة وبضغط مستمر. تتكون المضخة من مروحتين تدو كل واحدة منهما عكس الاخرى ومحصورة في حيز . فينتقل السائل بواسطة هذه الفجوات من جهة السحب الى جهة الضخ وتدور المروحتين بسرعة كبيرة وتعمل هذه المراوح على نقل السوائل وكانها مكابس صغيرة متحركة.

مميزاتها

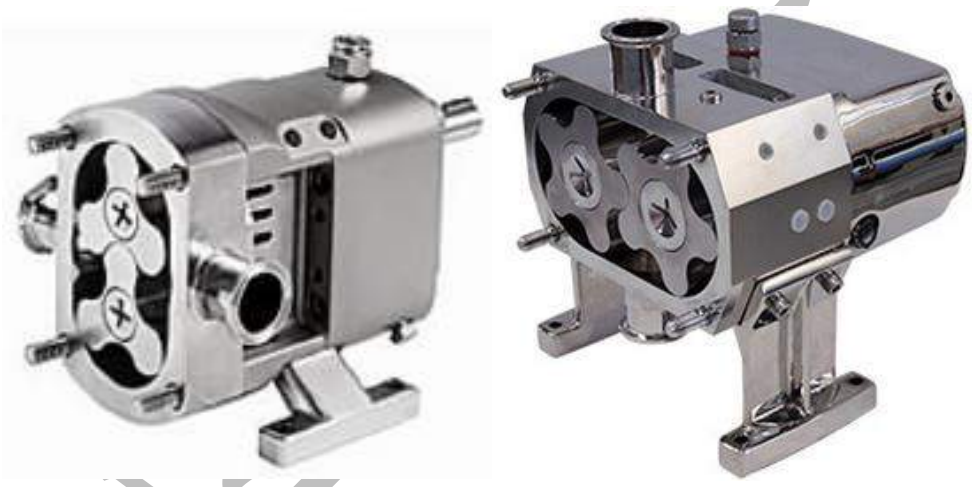
1. تعطي ضغط متجانس ومستمر.
2. سهلة التكوين وذات كفاءة عالية.
3. ذاتية الحركة ويمكن ربطها بسهولة بالمحركات الكهربائية.



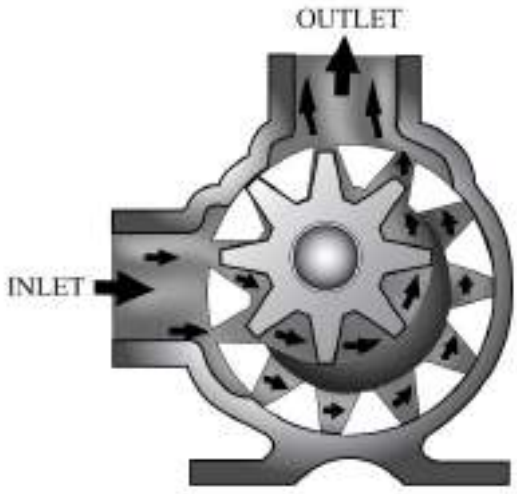
مضخة ذات مروحة



(A) Trilobe pump (B) bilobe rotary pump



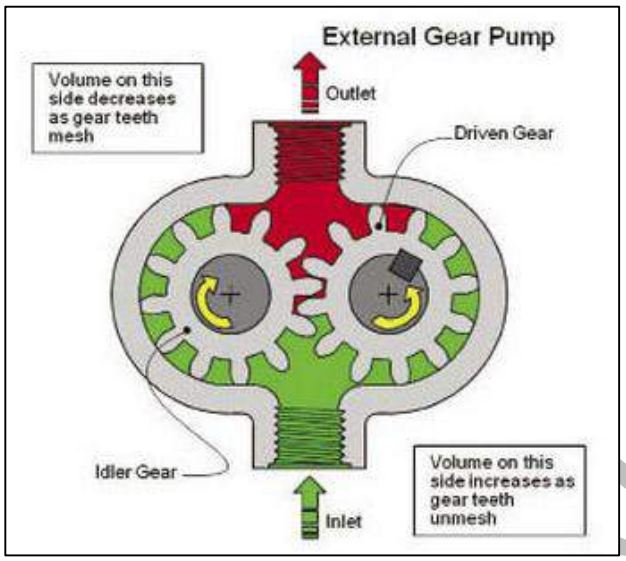
شكل يوضح المضخات ذات الفصوص

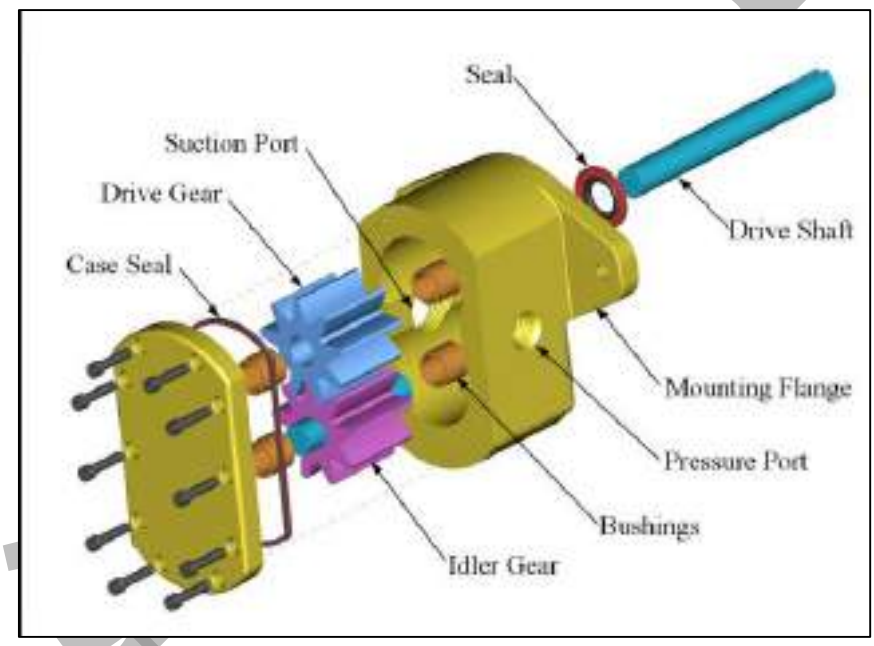


مضخة دورانية لامركزية

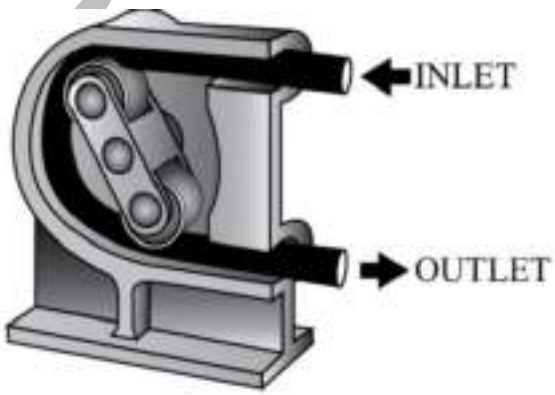
5- المضخة الترسية gear pump

وتتكون من ترسين يدور احدهما عكس الاخر في حيز وتقوم بنقل السوائل.



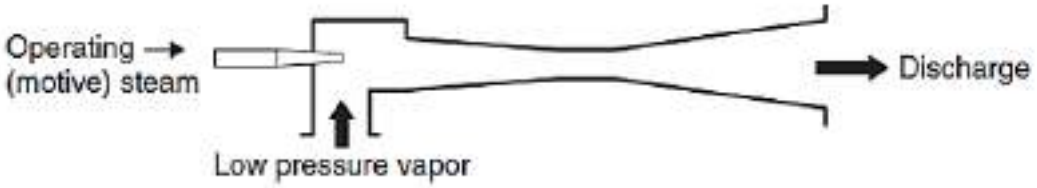


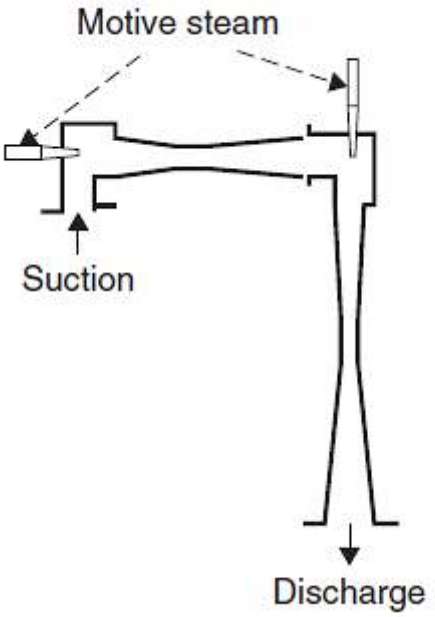
Peristaltic pump-6



المضخات النافورية(النفاثة) Jet Pumps (jet ejectors)

توضع فتحة خروج السائل في انبوب فنجوري (انبوب متخصر) وتسمى Venturi nozzle وتتحول طاقة المائع الى طاقة سرعة وان مساحة الضغط المنخفض تسبب سحب للمائع في منطقة التخصر حيث يقوم مائع اخر بسحب المائع الاول. هذه الطريقة تستخدم للمواد التي لايلائمها المضخات الميكانيكية.وتستخدم في مضخات الضغط المنخفض. هذه المضخات لها كفاءة منخفظة نسبيا.وهي لاتحتوي على اجزاء متحركة لذلك كلفتا الابتدائية قليلة. (شكل d). ومن تطبيقاتها هي اعادة ضغط البخار الحراري كما في الشكلين التاليين.





مضخات رفع الهواء Air-lift Pumps

وتستخدم في حالة ما اذا اريد ادخال الهواء او الغاز الى داخل السائل لاكسابه طاقة وان الهواء او الغاز اما ان مصادر خارجية او بواسطة غليان في السائل. وتطبيقاتها هي:

- الهواء الداخل الى المائع (شكل e) لضخ الماء من البئر الارتوازي artesian well.
- الهواء المار فوق السائل في وعاء الضغط والضغط المستخدم لتصريف السائل.
- البخار المنتج في عمود المبخر ذو الفلم المتسلق climbing film evaporator.
- في حالة المساحيق الصلبة powder التي يمر خلالها الهواء لينقلها على شكل طبقة مميعة fluidized
- هنالك حالة خاصة في المبخر حيث يغلي السائل ويتولد الغاز ويستخدم لعملية التدوير. الهواء او الغاز يمكن ان يجهز الضغط بشكل مباشر لعصف (نفخ) السائل الموجود في حاوية الى منطقة اقل ضغطا. مضخات رفع الهواء ونفخ الهواء (منفاخ) هي غير كفوءة ولكنها ملائمة لنقل المواد التي لاتمر بسهولة خلال الفتحات والصمامات والمرور من خلال المضخات الاخرى.

المضخات الدافعة والمروحة Propeller Pumps and Fan

المضخات الدافعة تستخدم لاعطاء طاقة الى المائع (شكل f) حيث تستخدم على نطاق واسع لخط المواد في الخزانات وفي خطوط الانابيب لغرض خلط ونقل المائع.

المراوح الدافعة *Propeller fans* وهي شائعة الاستعمال وذات كفاءة عالية.

هـذه المضـخات تسـتخدم عنـد الضـغوط المنخفضـة ، وفـي حالـة المـراوح فقـط يرتفـع عمود الضغط سنتمترات قليلة من الماء.

2. المضخات الحركية (النشطة) Kinetic pumps

وهـي تعطـي للمـائع سـرعة ومـن ثـم طاقـة حركيـة kinetic energy التـي بعـد ذلـك تتحـول الـى ضـغط طبقـا لقـانون برنـولي والمثـال علـى ذا النـوع مـن المضـخات هـو المضـخات الطاردة عن المركز centrifugal pump.

المضخة الطاردة من المركز *centrifugal pump*

وتقـوم يتحويـل الطاقـة الدورانيـة الـى طاقـة سـرعة وضـغط. وتعمـد فـي عملهـا علـى القـوة الطـاردة عـن حيـث تـدور المروحـة داخـل المضـخة بسـرعة كبيـرة فيـؤدي دورانهـا الـى رمـي الاجـزاء المختلفـة للسـائل الـى خـارج دائـرة الـدورة وهـي اكثـر شـيوعا للاسـتعمال فـي معامـل الاغذيـة. تتـوفر هـذه المضـخة فـي الاسـواق باحجـام مختلفـة تضـخ مـن 3 غـالون بالدقيقـة الى 10000 غالون بالدقيقة. وبامكانها ان تضخ الماء الى ارتفاع 20 متر.

مميزاتها

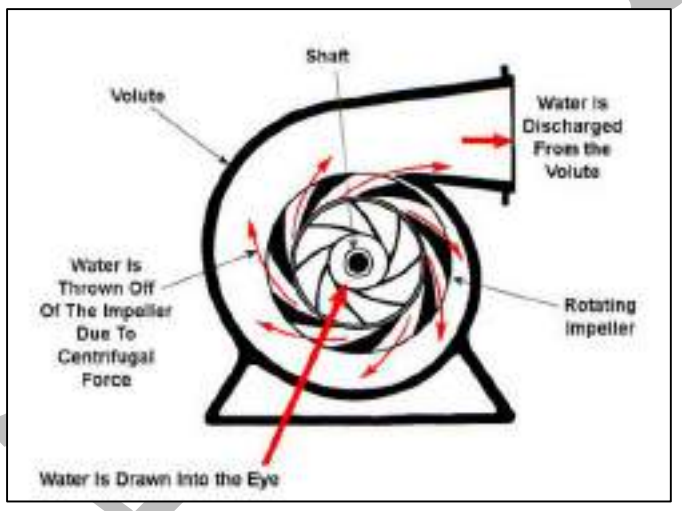
1. بساطة التركيب.
2. تعطي ضخ منتظم.
3. تحتاج الى مساحة ارضية صغيرة لتركيبها.
4. قلة كلفة ادامتها.
5. تعمل بدون ضوضاء.
6. يمكن استعمال المحركات الكهربائة لادارتا.

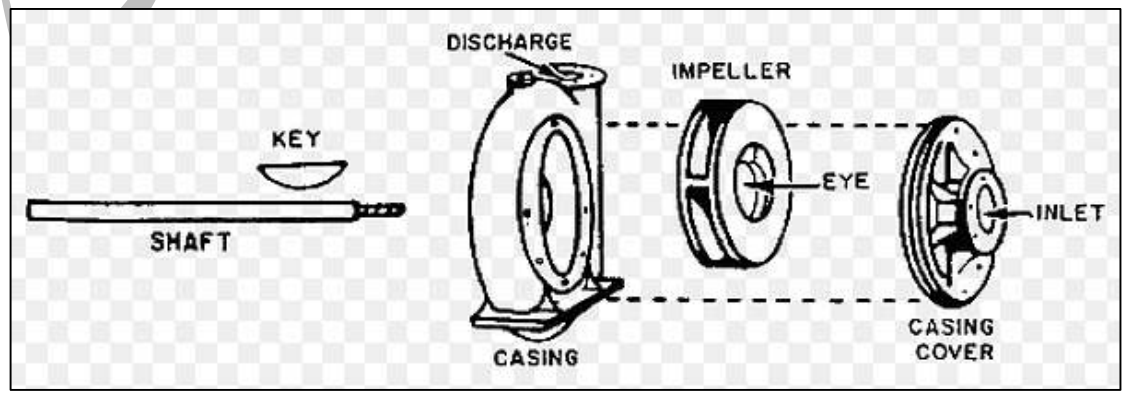
تتكـون هـذه المضـخة مـن القاعـدة casing وفـي الاخيـر توضـع المروحـة impeller وتتحـرك بداخلـة عـن طريـق عمـود دوران مـرتبط بمحـرك كهربـائي مـن جهـة وبالمروحـة مـن جهـة اخـرى. تحتـوي المروحـة عـدة انصـال blades ويمكـن ان تكـون حركـة هـذه المـراوح عموديـة او افقيـة. وتكـون هـذ المـراوح مـن نـوع مغلـق closed او مـن نـوع shrouded وقـد تكـون المروحـة ذات فتحـة واحـدة او فتحتينفـي الاول يـدخل السـائل

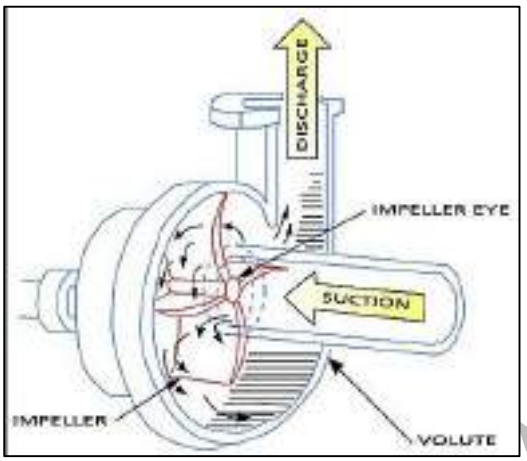
من الداخل من جهة واحدة. اما ذات الفتحتين فيدخل السائل من الجانبين. تعتمد قابلية الضخ في ذا النوع على حجم المروحة المستعملة فكلما زاد حجمها زادت قابلية المضخة على ضخ كميات اكبر.

مساوئها

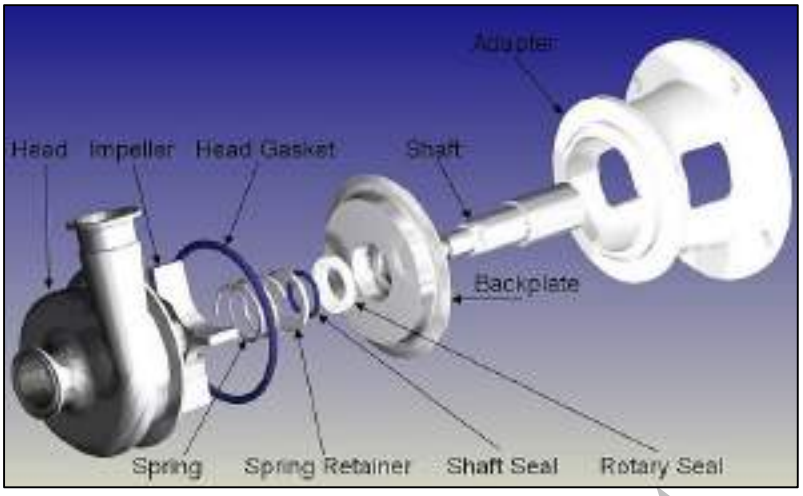
1. تسبب خضا (churning) للسائل الذي تقوم بضخه.
2. لاتعطي ضغطا عاليا.
3. تحتاج الى المليء بالسائل قبل تشغيلها.
4. اذا حصل تسرب للهواء في جهة السحب تنخفض كفائتا.
5. تؤثر درجة الحرارة على قابليتها للضخ.





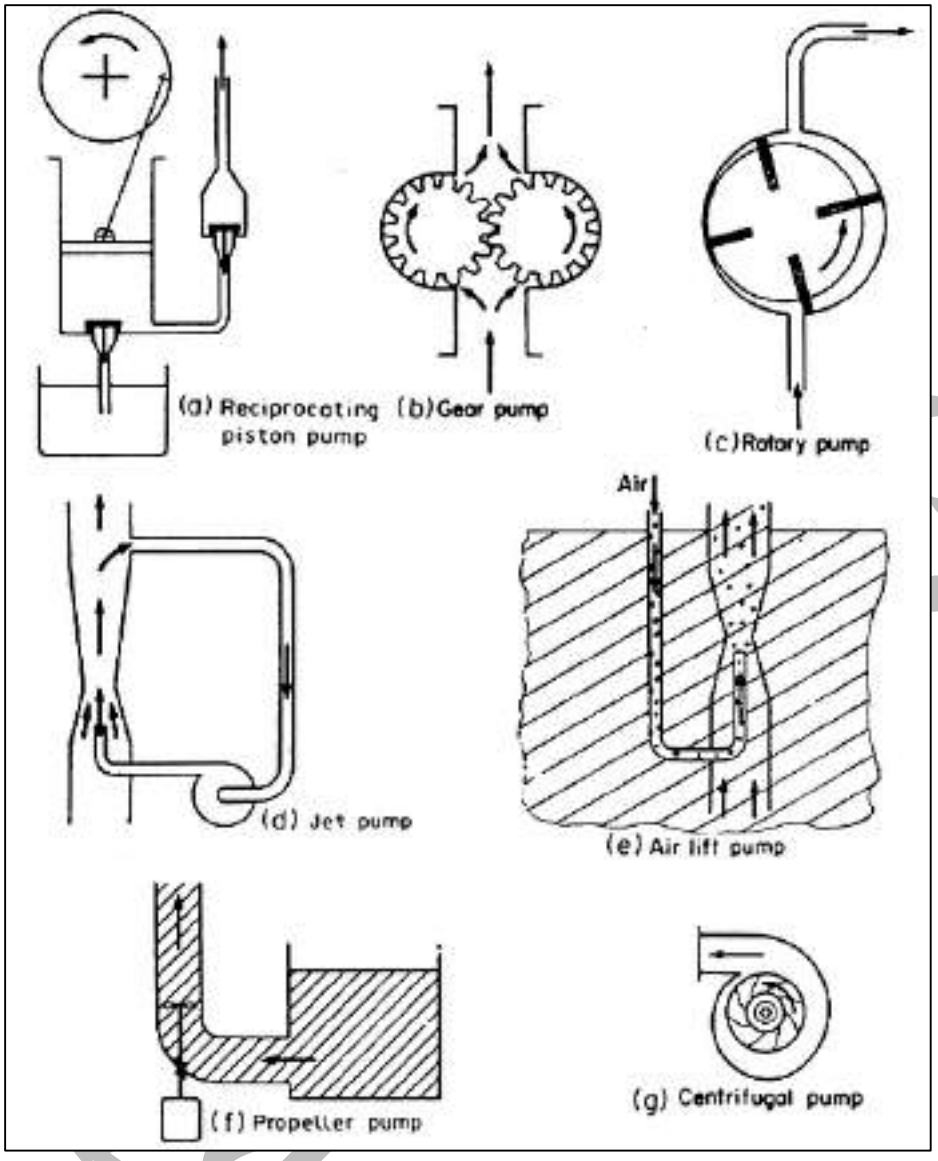


د.اسعد الحلفي



شكل يوضح مكونات المضخة الطاردة عن المركز

د.اسعد الحلفي



شكل يوضح مخططات للانواع المختلفة للمضخات المستعملة في التصنيع الغذائي.

المضخات الصحية sanitary pumps

المضخات الصحية تصنع من الحديد المقاوم للصدأ ويمكن ازالتها وتنظيفها كما ان لاتتسرب دهون التزيت الى الغذاء وايضا كل التوصيلات والانابيب تكون مصنوعة من الحديد المقاوم للصدأ.

انتخاب المضخة Pump selection

عندما يراد اختيار مضخة معينة يجب ملاحظة النقاط التالية:

1. يجب ان تكون المضخة مصنوعة من مادة لها قابلية على مقاومة الضغط العالي وان تكون لها قابلية لمقاومة التاكل.
2. يجب ان لاتكون مصنوعة من معدن له قابلية الذوبان في الحليب او منتجاته المختلفة لان ذلك يسبب توين رائحة كريهة في المنتوج.
3. ان تكون ذات تصميم يتناسب مع العمل المراد اجراؤه بواسطة هذه المضخات كمعرفة طبيعة الضخ المراد الحصول عليه سواء ان من النوع المتقطع او المستمر او من النوع ذو الازاحة الايجابية او ليس من ذو الازاحة الايجابية وهل يضخ فيها مواد غذائية او غير ذلك او يتطلب مضخة لها صفة self-priming
4. السعة الحجمية.
5. طبيعة الغذاء المنقول لزج يسبب تاكل ام لا ودرجة حرارته
6. تكاليف الطاقة.

ان احد العوامل المهمة لاداء المضخة هو القدرة الميكانيكية power mechanical المطلوبة لتشغيل المضخة وان معدل الجريان الحجمي (volumetric flowrate Q ($m^3.s^{-1}$) فان الطاقة الصافية الداخلة الى المائع مثل الضغط الذي يزداد مع زيادة ΔP (Pa.s)

$$W_{th} = Q\,\Delta P$$

W_{th}: متطلبات القدرة النظرية theoretical power requirement (W)

ΔP: التغير بالضغط

لكن متطلبات القدرة العملية هي اعلى من النظرية وان نسبة القدرة النظرية الى العملية تسمى الكفاءة الميكانيكية *mechanical efficiency* *للمضخة* η_m وهي:

$$\eta_m = \frac{W_{th}}{W}$$

المنحنى الموضح في الشكل التالي يبين اداء المضخة تحت ضروف مختلفة هذه المنخنيات تدرس ملائمة المضخة للحمل المطلوب انجازه. نلاحظ من الشكل ان سعة المضخة تتغير مع السرعة الدورانية وان الضغط يتغير بتغير الضخ مع مكعب السرعة الدورانية. وهذه العلاقات تنطبق ايضا على مراوح الطرد المركزي ويطلق عليها قوانين المراوح fan laws

مثال:

الماء المستخدم في معامل الاغذية يخزن في احواض ثم يجهز الى المعمل لانجاز عمليات الغسيل وغيرها.اذا كان $1.2\ m^3\ min^{-1}$ يضخ الى حوض لخزن الماء reservoir الذي يرتفع 22m وطول الانبوب 120m وهو مصنع من الحديد المغلون قطره 15cm الخط يحتاج الى 8 انحناءات بزاوية قائمة . المطلوب تحديد مضخة كافية لهذه المتطلبات من الشكل ادناه وما هي القدرة الكهربائية اللازمة لتشغيلها؟ علما ان كثافة الماء عند $20°C$ $998\ kg\ m^{-3}$ واللزوجة $0.001\ N\ s\ m^{-2}$ وعامل الخشونة roughness factor e هو 0.0002 للحديد المغلون

الحل:

نحسب مساحة المقطع العرضي للانبوب Cross-sectional area of pipe:

$$A = (p/4)D^2$$
$$= p/4 \times (0.15)^2$$
$$= 0.0177\ m^{-2}$$

حجم الجريان Volume of flow يحسب كما يلي:

$$V = 1.2\ m^3\ min^{-1}$$
$$= 1.2/60\ m^3\ s^{-1}$$
$$= 0.02\ m^3\ s^{-1}.$$

تحسب السرعة في الانبوب Velocity in the pipe

$$\text{Velocity in the pipe} = V/A$$
$$= (0.02)/(0.0177)$$
$$= 1.13\ ms^{-1}$$

يحسب رقم رينولدز كالاتي:

$$(Re) = Dvr/\mu$$
$$= (0.15 \times 1.13 \times 998)/0.001$$
$$= 1.7 \times 10^5$$

الجريان هو مضطرب.turbulent

نسبة الخشونة تحسب كما يلي:

$$\text{Roughness ratio} \quad e/D = 0.0002/0.15 = 0.001$$

من الشكل التالي ان:

$$f = 0.0053$$

لذلك فان الطاقة المفقودة نتيجة الاحتكاك friction loss of energyتحسب :

$$\text{the friction loss of energy} = (4fv^2/2) \times (L/D)$$
$$= [4fv^2L/2D]$$
$$= [4 \times 0.0053 \times (1.13)^2 \times 120]/(2 \times 0.15)$$
$$= 10.8 \text{ J.}$$

يحصل فقد في طاقة السرع بمقدار 0.74 لكل انحناء

حيث $(8 \times 0.74) = 6$

تحسب طاقة السرعة المفقودة velocity energyبسبب ان طاقة الجريان غير المسترجعة المصروفة في الخزان:

$$\text{velocity energy} = v^2/2$$
$$= (1.13)^2/2$$
$$= 0.64 \text{ J}$$

لذا الفقد الكلي من الانحناءات وطاقة التصريف تحسب كالاتي:

$$\text{total loss from bends and discharge energy} = (6 + 1) \times 0.64$$
$$= 4.5 \text{ J}$$

الطاقة اللازمة لتحريك كغم واحد مقابل عمود ضغط ارتفاعه 22 m من الماء هي:

$$E = Zg$$
$$= 22 \times 9.81$$
$$= 215.8 \text{ J.}$$

الطاقة الكلية المطلوبة لكل كغم هي:

E_{tot} = 10.8 + 4.5 + 215.8
= 231.1 J

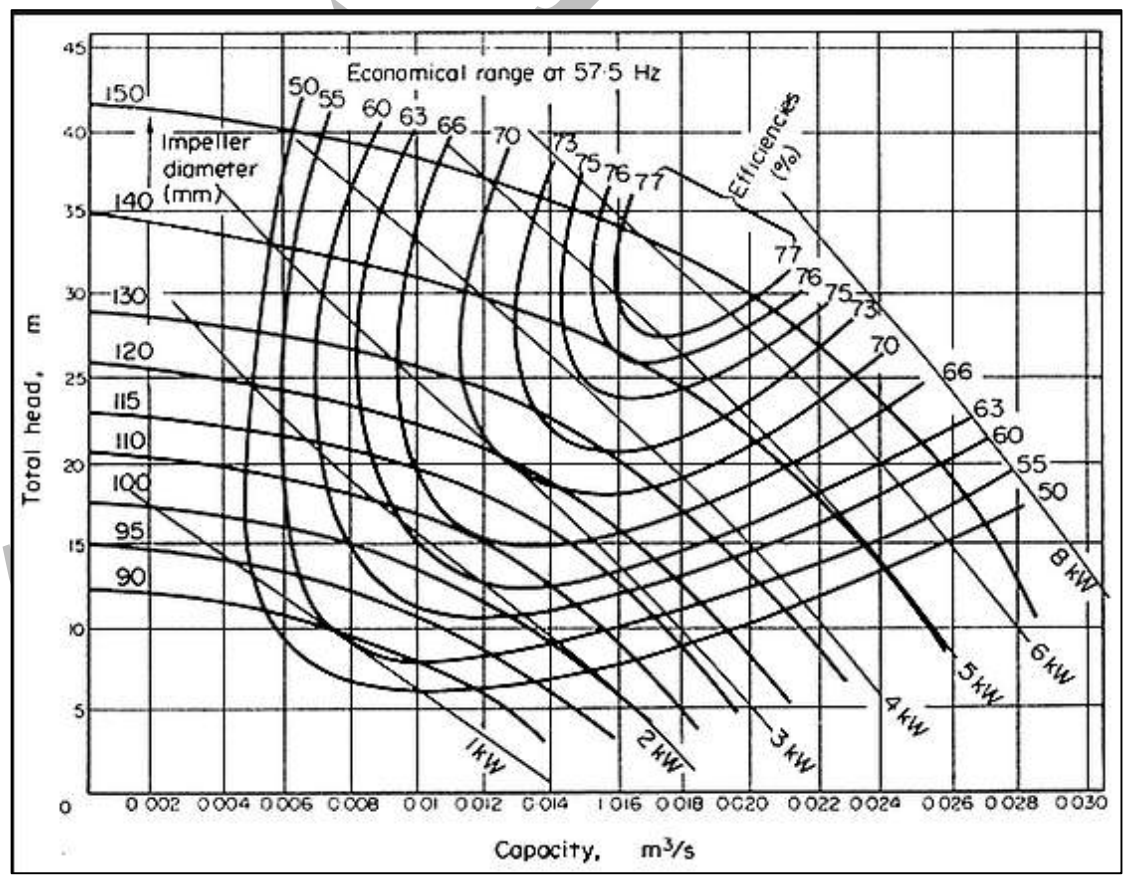
القدرة النظرية المطلوبة هي:

= Energy x volume flow x density
= (Energy/kg) x kgs^{-1}
= 231.1 x 0.02 x 998
= 4613 J s^{-1}.

عمود الضغط المكافيء لمتطلبات الطاقة هو

the head equivalent to the energy requirement
= E_{tot}/g
= 231.1/9.81
= 23.5 m of water,

من منحنى المضخة ان مروحة المضخة المطلوبة هي150 mm والقدرة الكهربائية اللازمة لمحرط المضخة هو 7.5 kW



الشكل يوضح منحنى المضخة الطاردة عن المركز.

د. اسعد الحلفي