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.

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

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

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

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

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

$$A_1=(\pi/4)\times 0.05=1.96\times 10^{-3}\ m^2$$

$$A_2=A_3=(\pi/4)\times 0.02^2=3.14\times 10^{-4} m^2$$

$$V_1=0.22\ m/s$$

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

$$\rho_3 = 1.01 \times \rho_w$$

ρ_w: كثافة الماء.

$$-1.96\times 10^{-3}\times 0.22\times 0.005=-3.14\times 10^{-4}\times V_3\times 0.03$$

$$V_3=0.23 m/s$$

$$V_2=(1.96\times 10^{-3}\times 0.22-3.14\times 10^{-4}\times 0.23)/\ 3.14\times 10^{-4}=1.1\ m/s$$

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:

$$(\pi/4)D = (\pi/4)(0.075)^2 = 4.42\times 10^{-3}\ m^2$$

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.

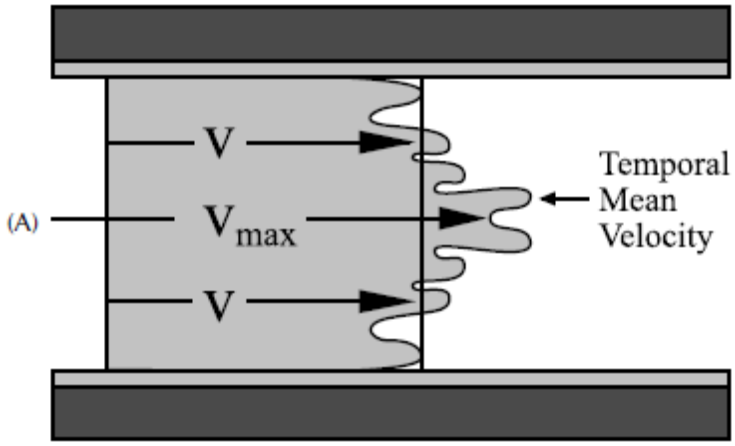
وهناك مجموعة مغايرة عند صفر لزوجة ظاهرية وقوى قص منخفضة وتسمى بالمجموعة الريوبيكتية Rheopectic

انواع الجريان:

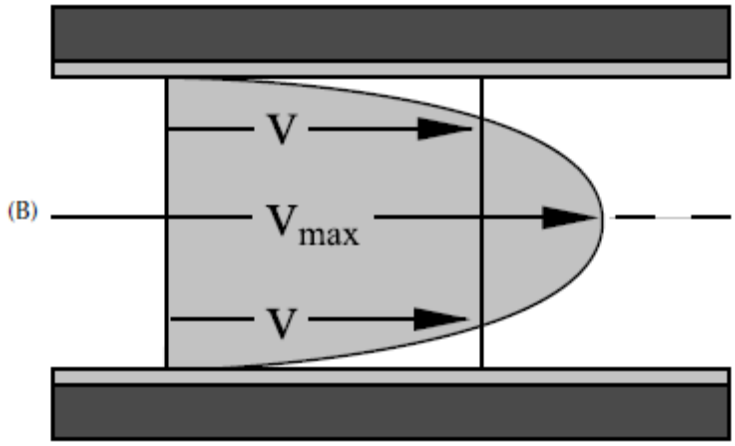
1- جريان طبقي او انسيابي او رقائقي streamline flow (Re< 2100)

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

$$p_o = WQ\rho g$$

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

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

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

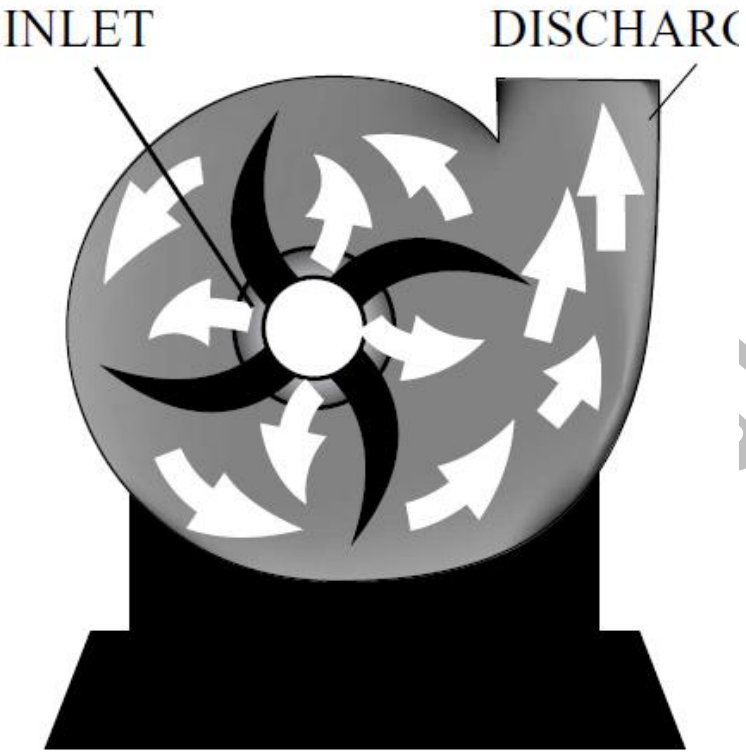
$$p_o = \frac{1530.36\,\mathrm{Nm}}{\mathrm{s}} \times \frac{1\,\mathrm{J}}{1\,\mathrm{Nm}} = \frac{1530.36\,\mathrm{J}}{\mathrm{s}} \times \frac{1\,\mathrm{W}}{1\,\mathrm{Js}^{-1}} = 1530.36\,\mathrm{W}$$

كل 1HP يساوي 745.7 W

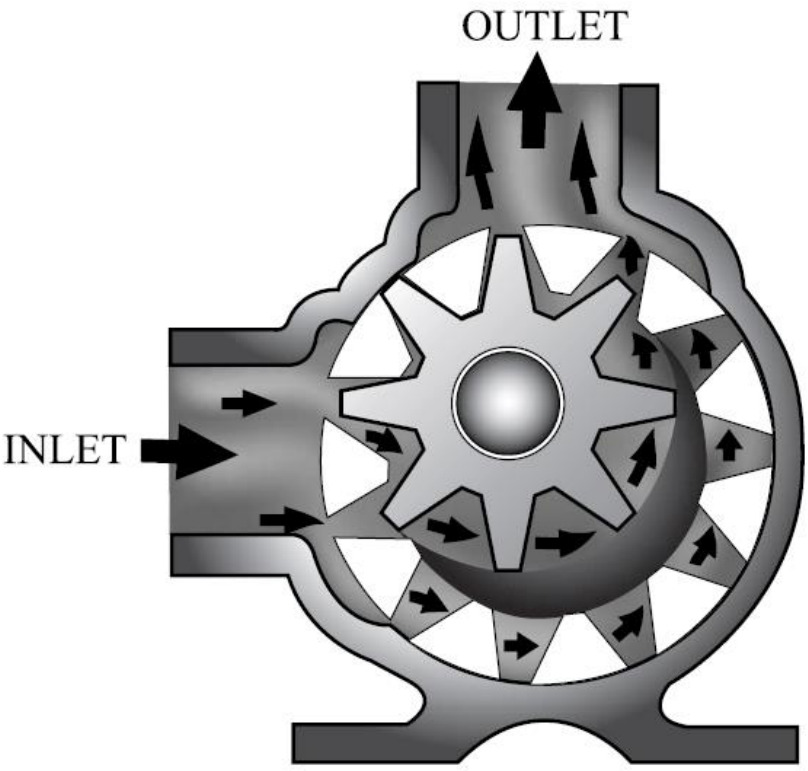
$$e_m = \frac{p_o}{p_i} = \frac{1530.36\,\mathrm{W}}{3\,\mathrm{hp}} \times \frac{1\,\mathrm{hp}}{745.7\,\mathrm{W}} = 0.684 = 68.4\%$$

انواع المضخات: 1- المضخات الطاردة عن المركز 2- المضخات الترسية 3- المضخات الدوارة 4- Peristaltic pump

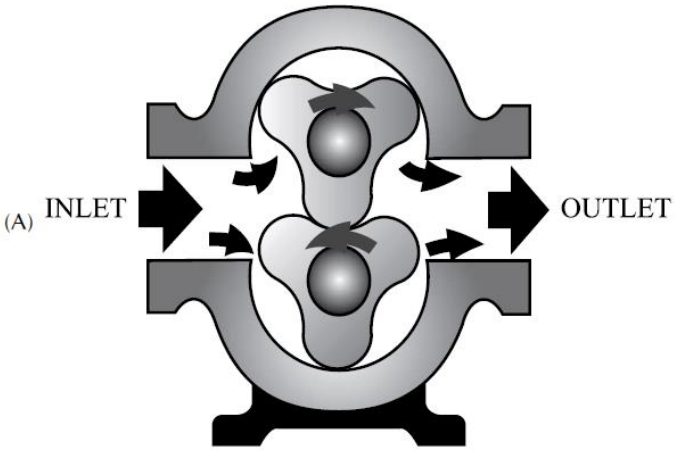
5- المضخات الحلزونية.

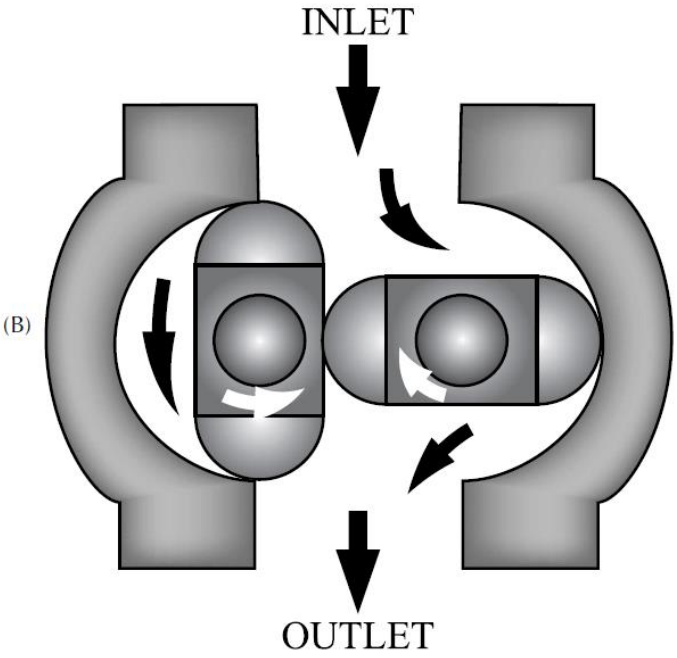


centrifugal pump

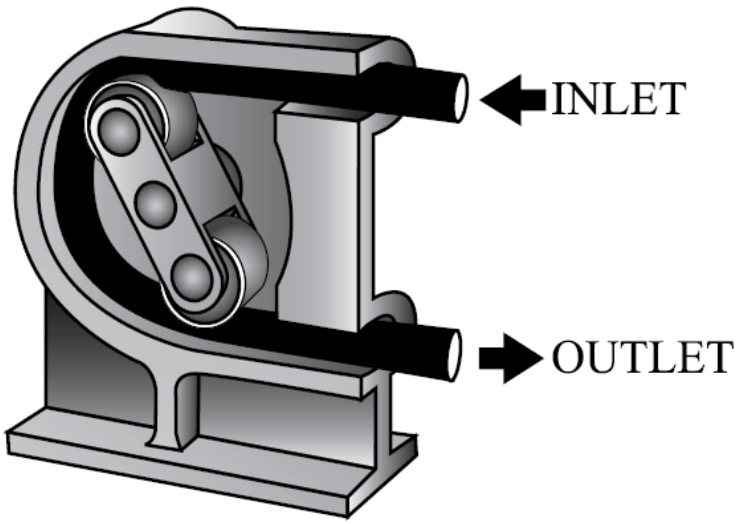


Internal gear pump

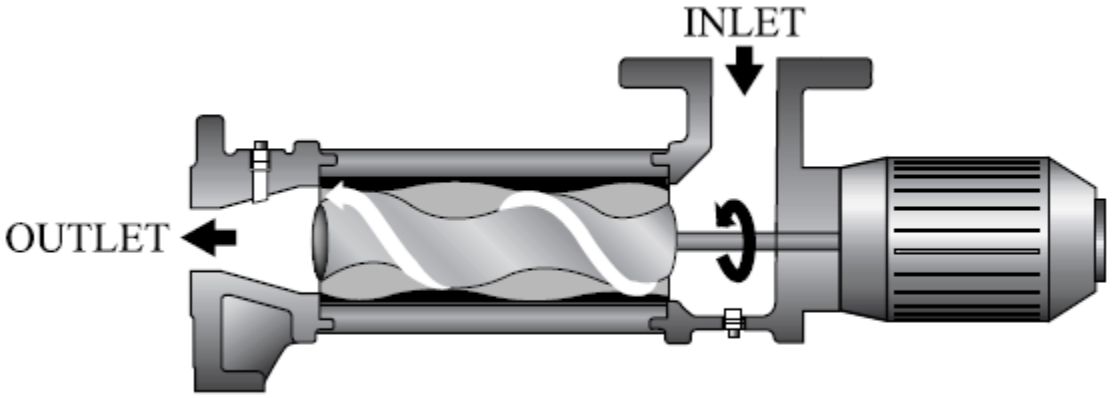




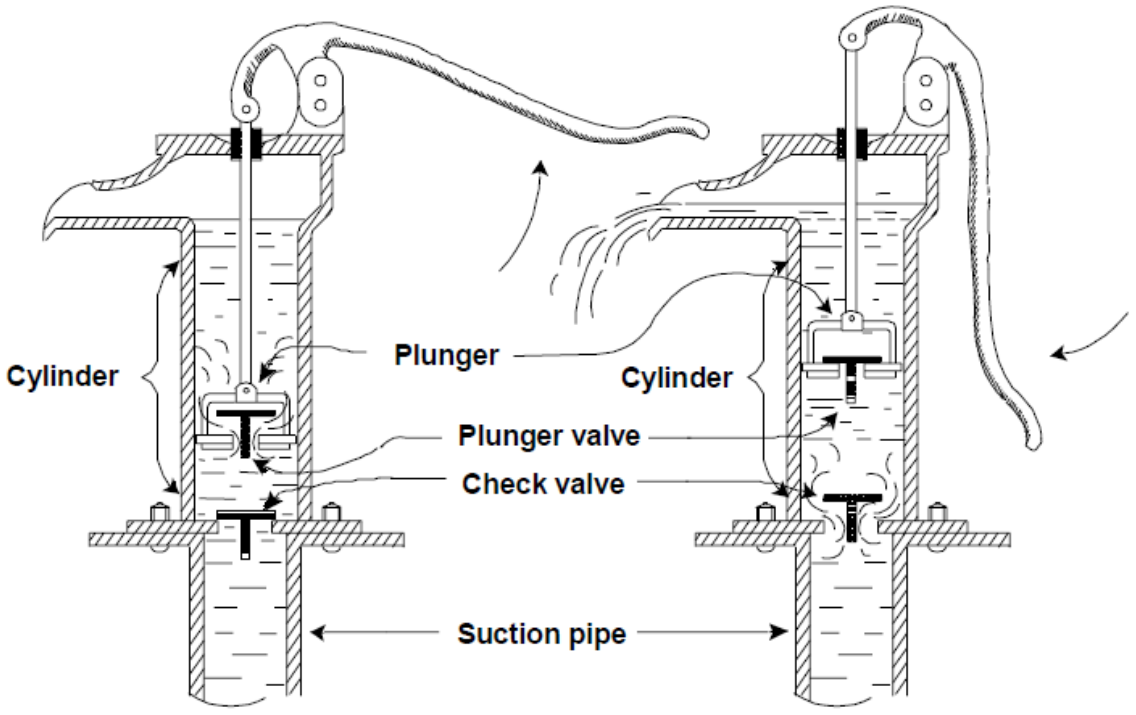
(A) Trilobe and (B) bilobe rotary pumps



Peristaltic pump



Helical screw pump.



مضخة مكبسية يدوية