

## الباب الرابع

### سريان الموائع

#### Flow of Fluids

ويقصد بالموائع المواد القابلة للانضغاط مثل الغازات والمواد الغير قابلة للانضغاط مثل السوائل . وفى كلا الحالتين ينحكم فى السريان القوانين الاساسيه الآتية :

١- قانون ثبوت الكتله Conservation of Mass

٢- قانون ثبوت الطاقه Conservation of Energy

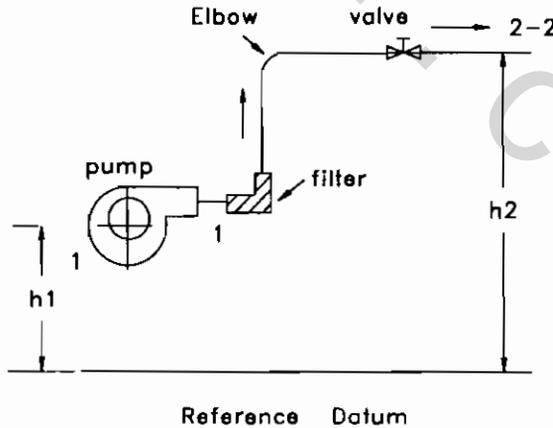
٣- قوانين نيوتن للحركة وهى :

أ- كل جسم يستمر فى حالة سكون او فى حالة حركة منتظمة فى خط مستقيم مالم تؤثر عليه قوة خارجية تغير من حالته .

ب- معدل تغير دفع المادة Momentum يتناسب مباشرة مع القوة المسببه لدفعة وفى نفس اتجاهها .

ج- لكل فعل رد فعل مساو له فى القوة ومعاكس فى الاتجاه .

فاذا افترضنا ان هناك مجموعة هيدروليكيه مكونه من مضخه ومرشح ، وصمام ، وكوع Elbow و ماسورة توصيل كما هو مبين بالشكل (١-٤) .



شكل (١-٤) رسم تخطيطى للمجموعه الهيدروليكيه

واعتبرنا ان حدود هذه المجموعه هى النقطتين ١ ، ٢ ، فاذا كان معدل سريان السائل فى هذه الحالة ثابتا ولايتغير نتيجة لتخزين جزء منه فى المجموعه فانه يمكن وصف المجموعه رياضيا كما يأتى :-

$$M = \rho_1 A_1 V_1 = \rho_2 A_2 V_2 = \dots = \rho_n A_n V_n \quad (4-1)$$

حيث ان :

$$\begin{aligned} A &= \text{مساحة مقطع السريان} \\ V &= \text{سرعة السريان} \\ \rho &= \text{كثافة السائل} \\ M &= \text{معدل كتلة سريان السائل} \end{aligned}$$

وتسمى هذه العلاقة بالمعادلة الاستمراريه للكتله Continuity equation

واذا طبقنا على هذه المجموعه قانون ثبوت الطاقة مع اعتبار السائل عند درجة حرارة ثابتة فان طاقة الرفع وطاقة الشغل المضافه من المضخه بعد تنزيل طاقة الاحتكاك الناتجة عن السريان ، ويمكن تمثيلها رياضيا كالاتى مع اعتبار وحدة واحدة من كتلة السائل :

$$h_1 + \frac{P_1}{\rho} + \frac{V_1^2}{2g} + W - F = h_2 + \frac{P_2}{\rho} + \frac{V_2^2}{2g} \quad (4-2)$$

حيث ان :

$$\begin{aligned} W &= \text{الشغل المضاف الى المضخه.} \\ F &= \text{طاقة الاحتكاك المفقودة فى المواسير والمرشحات والكيعان والصمامات...} \end{aligned}$$

وتسمى هذه العلاقة بمعادلة برنولى Bernoulli Equation

وطاقة الاحتكاك " F " تعتمد على عدة عوامل اهمها :

- ١- نوع السريان .
- ٢- حجم وشكل مقطع السريان .
- ٣- مدى خشونة او نعومة سطح السريان الداخلى .
- ٤- سرعة السريان .

ويمكن حساب قيمة  $f_c$  باستخدام معادلة دارسى Darcy Equation

$$F = f_c \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g} \quad (4-3)$$

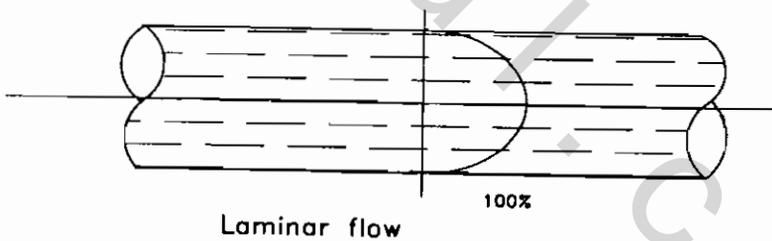
حيث أن :

معامل الاحتكاك (غير مميز)	=	$f_c$
طول مجرى السريان	=	$L$
قطر مجرى السريان	=	$D$
سرعة السريان	=	$V$
عجلة الجاذبيه الارضيه	=	$g$

يمكن حساب معامل الاحتكاك  $f_c$  بمعرفة نوع السريان ودرجة خشونة او نعومة مجرى السريان (جدول ٤-١).

انواع السريان :

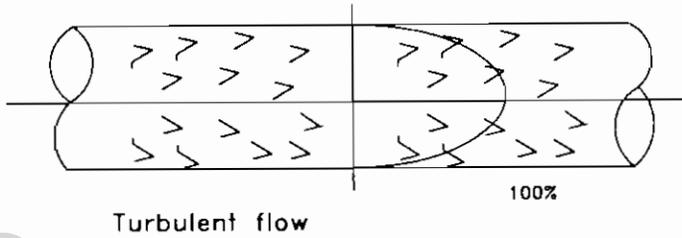
١- السريان الطبقي أو الانسيابي أو المتوازي : Streamlined or Laminar Flow



شكل (٤-٢) سريان طبقي متوازي

ويتميز بان المائع يتحرك ببطيء فى شرائح موازيه لبعضها بدون اى تداخل بينها. وتكون كل شريحه من المائع سرعتها ثابتة وهذا لايعنى ان كل الشرائح تتحرك بنفس السرعة (شكل ٤-٢).

٢- السريان الدوامي المضطرب : Turbulent or Eddy Flow



شكل (٢-٤) سريان دوامى مضطرب

وفى هذا النوع من السريان يتحرك المائع بسرعات مرتفعه ولايمكن تحديد طبقات متوازيه للمائع لانها تكون متداخله مع بعضها وفى حركة مضطربه ودواميه شكل (٢-٤).

فاذا افترضنا انه يوجد لدينا مائع يتحرك داخل مجرى اسطوانى (ماسورة مثلا) فاننا نلاحظ ان طبقة المائع الملاصقه لجدار الماسورة تكون فى حالة سكون اى سرعتها تساوى صفرا وان سرعة الطبقات الاخرى تزداد الى ان تصل عند المحور الى اعلى قيمة لها . وهذا ينطبق على السريان سواء كان متوازيا او مضطربا .

واذا زادت سرعة السريان المتوازي داخل مجرى السريان فاننا نلاحظ انه توجد مرحلة يبدأ عندها السريان فى الاضطراب وتتداخل طبقات السائل تدريجيا الى ان تصل الى حالة الاضطراب الكامل . وتسمى هذه المرحلة بمرحلة الانتقال Transition Region وتسمى السرعة التى تبدأ عندها هذه المرحلة بالسرعة الحرجه Critical velocity . وقد وجد العالم الانجليزى رينولدز Reynolds ان هذه السرعة تعتمد على اربعة عوامل حددها فى علاقة رياضية كما يأتى :

$$\text{Reynolds Modulus} = \frac{\rho V D}{\mu} \quad (4-4)$$

حيث أن :

V = السرعة المتوسطة للسريان

D = قطر مجرى السريان

$\rho$  = كثافة المائع

$\mu$  = لزوجة المائع

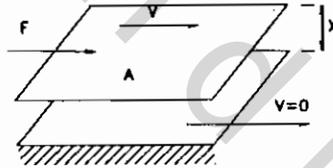
وانه من المهم جدا ملاحظة ان معامل رينولدز غير مميز ويجب مراعاة ذلك عند اختيار الوحدات، المتناظرة لمكونات هذا المعامل وقد وجد ان قيمة معامل رينولدز اذا كانت اقل من ٢١٠٠ يكون السريان متوازى واذا زادت عن ٤٠٠٠ يكون السريان مضطرب ودوامى .

وفى حالة اذا كان مجرى السريان غير اسطوانى فيستخدم القطر الهيدروليكي فى معامل رينولدز وهو يساوى :

$$\text{Hydraulic Diameter} = \frac{4 \times \text{Cross Sectional Area of Flow Conduit}}{\text{Wetted Perimeter}} \quad (4-5)$$

### اللزوجة : Viscosity

وهى مقياس لمدى احتكاك طبقات الموائع مع بعضها اى انها تعبر عن مدى مقاومة الموائع لاجهادات حركتها .



شكل (٤-٤) إنزلاق طبقات السائل

فاذا افترضنا انه توجد لدينا طبقتان من مائع ما تفصلهما مسافه  $X$  ومساحة سطح كل طبقه  $A$  وان الطبقة السفلى فى حالة سكون والعليا تتحرك بسرعه  $V$  (اى ان السرعة النسبيه للطبقة العليا عن السفلى هى  $V$ ) فقد وجد من الدراسات العمليه انه اذا أثرت قوة  $F$  على الطبقة العليا وتسببت فى حركتها بسرعه  $V$  فان هذه القوه تتناسب تناسبا مباشرا مع السرعة ومساحة سطح الطبقة وعكسيا مع المسافه بين الطبقتين شكل (٤-٤).

ويمكن التعبير عن ذلك رياضيا كما يلى :

$$F = \frac{\mu V}{X} \cdot A \quad (4-6)$$

حيث أن:

F = القوة المؤثرة	رطل قوة	أو جم قوة (الداين) أو نيوتن
V = السرعة	قدم/ث	أو سم/ث أو متر/ث
X = المسافة	قدم	أو سم أو متر
A = مساحة سطح الطبقة	قدم مربع أو سم مربع	أو متر مربع
$\mu$ = معامل اللزوجة	Coefficient of Viscosity	

وتكون وحدات اللزوجة  $\frac{\text{Lb}_f \cdot \text{sec.}}{\text{ft}^2}$  بالوحدات الانجليزية

أو  $\frac{\text{gm}_f \cdot \text{sec.}}{\text{cm}^2}$  بالوحدات المترية أو  $\frac{\text{N} \cdot \text{sec.}}{\text{m}^2}$  بوحدات النظام الدولي

ويمكن التعبير عن اللزوجة بوحدات الكتل وذلك باستخدام معامل التحويل  
 ٩٨٠ (g) رطل كتلة/قدم<sup>٢</sup> رطل قوة.ث<sup>٢</sup> بالوحدات الانجليزية أو ٩٨٠  
 جرام كتلة/سم<sup>٢</sup> جرام قوة.ث<sup>٢</sup> بالوحدات المترية .

وعادة ما يعبر عنها بوحدات البواز Poise أو السنتيبواز Cp .

$$\text{Poise} = \frac{\text{Dyne} \cdot \text{s}}{\text{cm}^2} \text{ or } \frac{\text{g}}{\text{cm} \cdot \text{s}} \text{ or } 10 \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}}$$

حساب معامل الاحتكاك :

يمكن حساب معامل الاحتكاك ( $f_c$ ) في نظام السريان المتوازي المستقر من المعادله

الآتيه :

$$2100 > \text{Re} > \text{zero}, \quad f_c = \frac{64}{\text{Re}} \quad (4-7)$$

وفي حالة السريان الدوامي المضطرب يمكن حسابه من :

$$\text{Re} > 4000, \quad f_c = 0.316 \text{Re}^{-0.25} \quad (4-8)$$

ومن المتعارف عليه عمليا ان الفقد الناتج عن احتكاك المائع اثناء سريانه فى مجارى السريان ووصلاتها (مواسير - محابس - كيغان . .) فانه يمكن التعبير عن الفقد باحدى الطريقتين :

١- كنسبة معينه من الطاقه الحركية اى ان :

$$C_s \times \frac{V^2}{2g}$$

٢- كطول اضافى لطول مجرى السريان يعادل :

$$٤. \text{ الى } ٦. \times C_y \times \text{ قطر مجرى السريان}$$

حيث  $C_y, C_s$  نسب معينه يمكن الحصول عليها من جداول خاصه .

جدول (٤-١) يبين القيم المختلفة لمعامل الاحتكاك داخل الوصلات في المواسير :

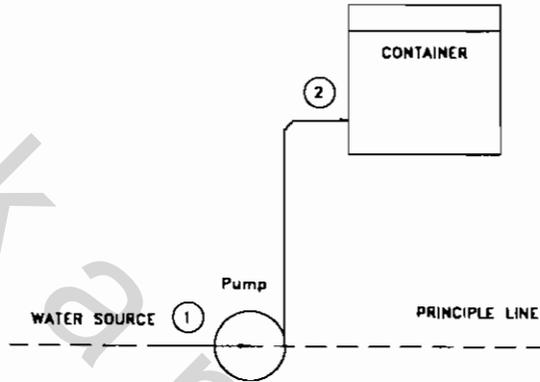
$C_s$ معامل طاقة الحركة	$C_y$ معامل الطول الاضافى	نوع الوصلة
٠.٣	١٥	كوع ٤٥°
٠.٧٤	٣٢	كوع ٩٠° قياس
٠.٦	٢٦	كوع ٩٠° متوسط
٠.٤٦	٢٠	كوع ٩٠° طويل
١.٣٠	٦٠	كوع ٩٠° مربع
١.٣٠	٦٠	وصلة حرف Tee (اتجاه واحد)
١.٩٠	٩٠	(اتجاهين)
٠.١٣	٧	محبس سكينه كامل الفتح
٦.٠٠	٣٠٠	محبس كروى كامل الفتح
٣.٠٠	١٧٠	محبس زاوية كامل الفتح
		$D_1/D_2$
٠.٣٦٢		٠.١ تخفيض فجائى
٠.٣٠٨		٠.٣
٠.٢٢١		٠.٥
٠.١٠٥		٠.٧ فى قطر ماسورة
٠.١٠٥		٠.٩

المصدر : Handerson and Perry (1976)

مثال (١):

خزان للمياه يوجد على إرتفاع ٢ متر من مصدر للمياه اذا كانت ماسورة توصيل المياه إلى الخزان قطرها الداخلى ١٥سم ومعدل سريان المياه ٢٠٠٠ لتر فى الدقيقة . إحسب القدرة بالحصان اللازمه لرفع هذه الكمية من المياه مع إهمال أى فقد فى الطاقة .

الحل



$$2000 \text{ Lit/min} = \frac{2000 \times 1000}{(100)^3} = 2 \text{ m}^3/\text{min}$$

$$\begin{aligned} \text{Cross - Sectional area} &= \frac{\pi}{4} D^2 \\ &= \frac{\pi}{4} \left(\frac{15}{100}\right)^2 = 0.0177 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

سرعة السائل عند مخرج الماسورة (V)

$$V = \frac{2}{0.0177} = 113 \text{ m/min}$$

ويتطبيق معادلة برنولى واهمال فقد الاحتكاك وتغيير الاتجاه والفقء فى أى وصلات على الخط مع أخذ مصدر المياه كخط أساس .

$$\therefore W = h + \frac{V^2}{2g}$$

$$W = 3 + \frac{(113)^2}{2 \times 60 \times 60 \times 9.81}$$

$$= 3 + 0.18$$

$$= 3.18 \text{ kgm/kg.}$$

∴ الشغل الاجمالي = المعدل الوزني للسريان × الشغل لكل وحدة وزنيه

$$\rho_{\text{water}} = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$\therefore W_T = (1000) (2) (3.18)$$

$$= 6360 \text{ kg.m/min.}$$

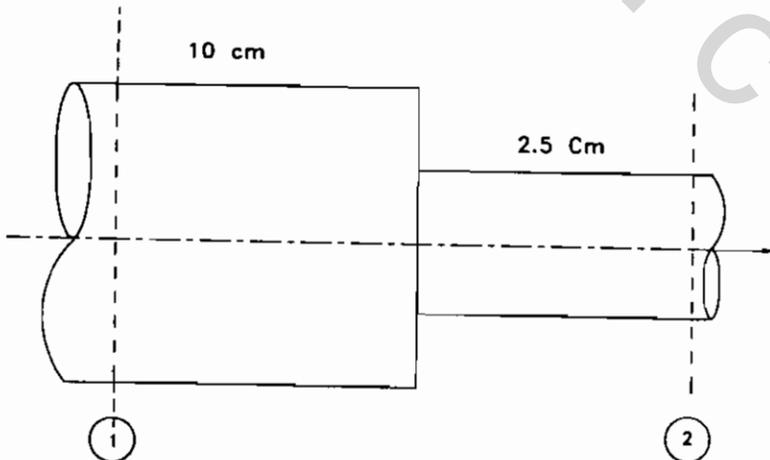
$$= \frac{6360}{4500}$$

$$W_T = 1.41 \text{ HP}$$

مثال (٢) :

تسرى المياه داخل ماسورة قطرها الداخلي ١٠سم إلى ماسورة قطرها الداخلي ٢.٥سم وذلك بمعدل ٨٠٠ لتر/دقيقه اذا كان الضغط فوق سطح الماء في الماسورة ذات القطر الكبير هو ٢ بار ، إحسب مقدار الضغط في الماسورة ذات القطر الصغير وذلك بإهمال الفقد في السريان نتيجة الاحتكاك وتغيير مقطع السريان .

الحل



مساحة مقطع السريان ( $A_1$ ) عند النقطة (1)

$$A_1 = \frac{\pi}{4} D_1^2$$

$$A_1 = \frac{\pi}{4} \left(\frac{10}{100}\right)^2$$

$$A_1 = 0.00785 \text{ m}^2$$

سرعة السريان ( $V_1$ ) عند النقطة (1)

$$V_1 = \frac{800 \times 1000}{60 \times (100)^3 \times 0.00785}$$

$$V_1 = 1.7 \text{ m/sec.}$$

ومن معادلة الاستمرارية

$$A_1 V_1 = A_2 V_2$$

$$\therefore V_2 = \frac{A_1}{A_2} \cdot V_1$$

$$V_2 = \frac{\pi/4 D_1^2}{\pi/4 D_2^2} \cdot V_1$$

$$= \left(\frac{10}{2.5}\right)^2 V_1$$

$$= 16 \times 1.7$$

$$\therefore V_2 = 27.2 \text{ m/sec.}$$

وباعتبار أن محور الماسورة هو خط الأساس نجد من معادلة برنولى أن :

$$\frac{P_1}{\rho} + \frac{V_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\rho} + \frac{V_2^2}{2g}$$

$$(100)^2 \times \frac{3}{1000} + \frac{(1.7)^2}{2 \times 9.81} = \frac{(100)^2 P_2}{1000} + \frac{(27.2)^2}{2 \times 9.81}$$

$$\therefore 10P_2 = 30 + 0.147 - 37.7$$

$$= -7.56$$

$$\therefore P_2 = -0.756 \text{ bar.}$$

ومعنى الاشارة السالبة أن الضغط فى ماسورة الخروج أقل من الضغط الجوى العادى  
أى أن هناك تفريغ (ضغط سالب).