الباب الرابع

سريان الموائع

Flow of Fluids

ويقصد بالموائع المواد القابله للانضغاط مثل الغازات والمواد الغير قابله للانضغاط مثل السوائل . وفى كلا الحالتين ينحكم فى السريان القوانين الاساسيه الآتيه :

١- قانون ثبوت الكتله Conservation of Mass

٢- قانون ثبوت الطاقه Conservation of Energy

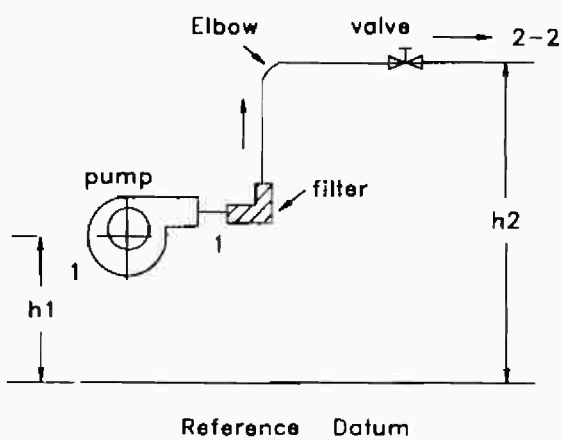
٣- قوانين نيوتن للحركة وهى :

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 وماسورة توصيل كما هو مبين بالشكل (٤-١).



شكل (٤-١) 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 :-

$$M = \rho_1 A_1 V_1 = \rho_2 A_2 V_2 = \ldots\ldots\ldots = \rho_n A_n V_n \qquad (4\text{-}1)$$

حيث ان :

A = مساحة مقطع السريـان
V = سرعة السريـــــان
ρ = كثافة السائـــــل
M = معدل كتلة سريان السائل

وتسمى هذه العلاقة بالمعادلة الاستمراريه للكتله Continuity equation

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

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

حيث ان :

W = الشغل المضاف الى المضخه.
F = طاقة الاحتكاك المفقودة فى المواسير والمرشحات والكيعان والصمامات...

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 " باستخدام معادلة دارسى Darcy Equation

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

حيث ان :

f_c = معامل الاحتكاك (غير معيز)

L = طول مجرى السريان

D = قطر مجرى السريان

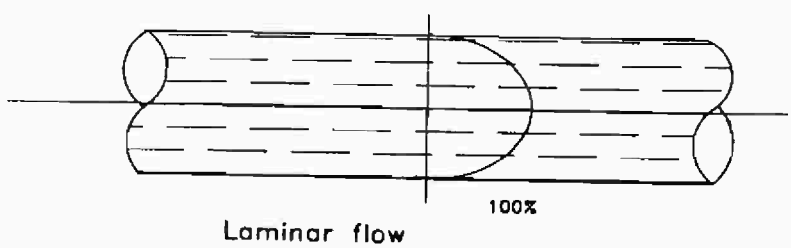
V = سرعة السريان

g = عجلة الجاذبيه الارضيه

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

انواع السريان :

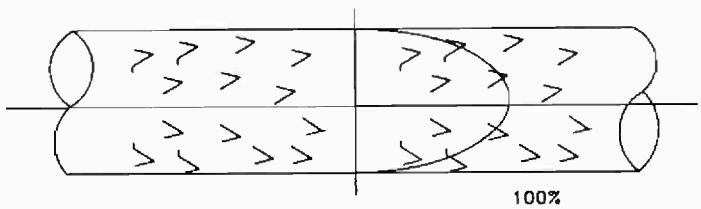
١- السريان الطبقى أو الانسيابى او المتوازى : Streamlined or Laminar Flow



شكل(٤-٢) سريان طبقى متوازى

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

٢- السريان الدوامى المضطرب : Turbulent or Eddy Flow



شكل (٤-٣) 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 (٤-٣).

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 المتوازى 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 السرعه التى تبدأ عندها هذه المرحلة بالسرعه الحرجه Critical velocity. وقد وجد العالم الانجليزى رينولدز Reynolds ان هذه السرعه تعتمد على اربعة عوامل حددها فى علاقة رياضيه كما يأتى :

$$\text{Reynolds Modulus} = \frac{\rho VD}{\mu} \qquad (4\text{-}4)$$

حيث أن :

V = السرعه المتوسطه للسريان

D = قطر مجرى السريـــــان

ρ = كثافة المائع

μ = لزوجة المائع

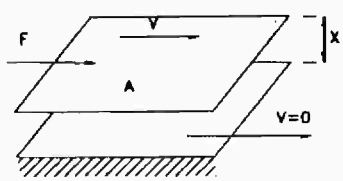
وانه من المهم جدا ملاحظة ان معامل رينولدز غير مميز ويجب مراعاة ذلك عند اختيار الوحدات المتناظره لمكونات هذا المعامل وقد وجد ان قيمة معامل رينولدز اذا كانت اقل من ٢١٠٠ يكون السريان متوازى واذا زادت عن ٤٠٠٠ يكون السريان مضطرب ودوامى .

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

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

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 الطبقه السفلى فى حالة سكون والعليا تتحرك بسرعه V (اى ان السرعه النسبيه للطبقه العليا عن السفلى هى V) فقد وجد من الدراسات المعمليه انه اذا أثرت قوة F على الطبقه العليا وتسببت فى حركتها بسرعة V فان هذه القوه تتناسب تناسبا مباشرا مع السرعه ومساحة سطح الطبقه وعكسيا مع المسافه بين الطبقتين شكل (٤-٤).

ويمكن التعبير عن ذلك رياضيا كما يلى :

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

حيث ان :

F = القوة المؤثرة — رطل قوة أو جم قوة (الداين) أو نيوتن

V = السرعه — قدم/ث أو سم/ث أو متر/ث

X = المسافه — قدم أو سم أو متر

A = مساحة سطح الطبقه — قدم مربع أو سم مربع أو متر مربع

μ = معامل اللزوجه Coefficient of Viscosity

وتكون وحدات اللزوجة $\frac{Lb_f.sec.}{ft^2}$ بالوحدات الانجليزية

أو $\frac{gm_f.sec.}{cm^2}$ بالوحدات المتريه او $\frac{N.sec.}{m^2}$ بوحدات النظام الدولى

ويمكن التعبير عن اللزوجة بوحدات الكتله وذلك باستخدام معامل التحويل (g_c) ٢ر٣٢ رطل كتله.قدم/رطل قوة.ث^2 بالوحدات الانجليزيه او ٩٨٠ جرام كتله.سم/جرام قوه.ث^2 بالوحدات المتريه .

وعادة مايعبر عنها بوحدات البواز Poise أو السنتيبوازCp .

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

حساب معامل الاحتكاك :

يمكن حساب معامل الاحتكاك (f_c)فى نظام السريان المتوازى المستقر من المعادله الآتيه :

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

وفى حالة السريان الدوامى المضطرب يمكن حسابه من :

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

ومن المتعارف عليه عمليا ان الفقد الناتج عن احتكاك المائع اثناء سريانه فى مجارى السريان ووصلاتها (مواسير - محابس - كيعان..) 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 :

٤٠ الى ٦٠ × C_y × قطر مجرى السريان

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

جدول (٤-١) يبين القيم المختلفه لمعامل الاحتكاك داخل الوصلات فى المواسير :

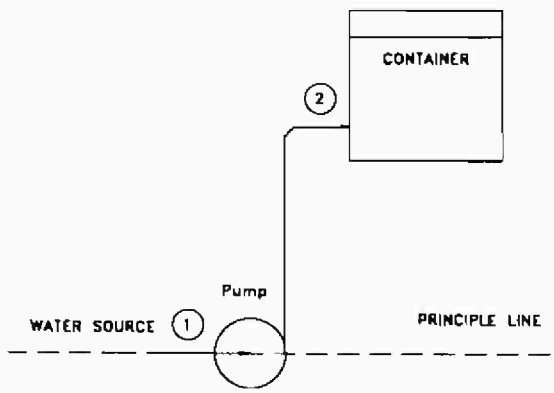
نـــــوع الوصلـــــه	C_y معامل الطول الاضافى	C_s معامل طاقه الحركة
كوع ٤٥°	١٥	٠.٣
كوع ٩٠° قياس	٣٢	٠.٧٤
كوع ٩٠° متوسط	٢٦	٠.٦
كوع ٩٠° طويل	٢٠	٠.٤٦
كوع ٩٠° مربع	٦٠	١.٣٠
وصلة حرف Tee (اتجاه واحد)	٦٠	١.٣٠
(اتجاهيـــن)	٩٠	١ر٩٠
محبس سكينه كامل الفتح	٧	٠.١٣
محبس كروى كامل الفتح	٣٠٠	٦.٠٠
محبس زاوية كامل الفتح	١٧٠	٣.٠٠
D_1/D_2		
تخفيض فجائى ١.٠		٠.٣٦٢
٠.٣		٠.٣٠٨
٠.٥		٠.٢٢١
فى قطر ماسورة ٠.٧		٠.١٠٥
٠.٩		٠.١٠٥

المصدر : Handerson and Perry (1976)

مثال (١):

خزان للمياه يوجد على إرتفاع ٣ متر من مصدر للمياه اذا كانت ماسورة توصيل المياه إلى الخزان قطرها الداخلى ١٥سم ومعدل سريان المياه ٢٠٠٠ لتر فى الدقيقه . إحسب القدرة بالحصان اللازمه لرفع هذه الكميه من المياه مع إهمال أى فقد فى الطاقه .

الحـــل



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

$$\text{Cross - Sectional area} = \frac{\pi}{4} D^2$$

$$= \frac{\pi}{4} \left(\frac{15}{100}\right)^2 = 0.0177 \text{ m}^2$$

سرعة السائل عند مخرج الماسورة (V)

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

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

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

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

$$= 3 + 0.18$$

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

∴ الشغل الاجمالى = المعدل الوزنى للسريان × الشغل لكل وحدة وزنيه

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

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

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

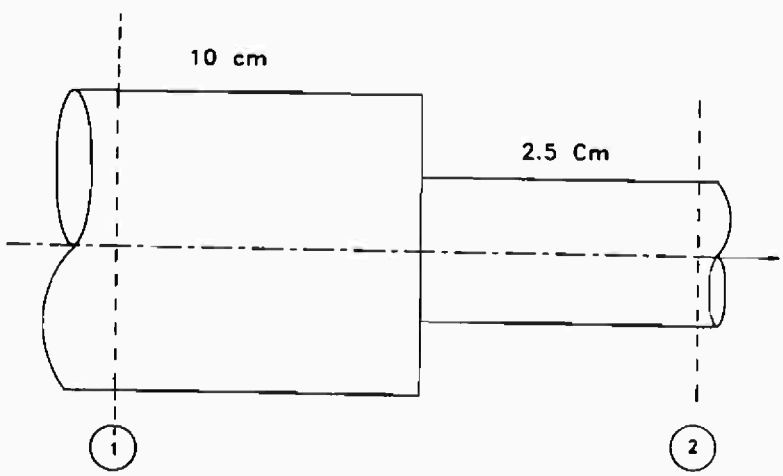
$$= \frac{6360}{4500}$$

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

مثال (٢) :

تسرى المياه داخل ماسورة قطرها الداخلى ١٠سم إلى ماسورة قطرها الداخلى ٥ر٢سم وذلك بمعدل ٨٠٠ لتر/دقيقه اذا كان الضغط فوق سطح الماء فى الماسورة ذات القطر الكبير هو ٣ بار ، إحسب مقدار الضغط فى الماسورة ذات القطر الصغير وذلك بإهمال الفقد فى السريان نتيجة الاحتكاك وتغيير مقطع السريان .

الحـــل



مساحة مقطع السريان (A_1) عند النقطه (1)

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

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

$$A_1 = 0.00785 \ m^2$$

سرعة السريان (V_1) عند النقطة (1)

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

$$V_1 = 1.7 \quad m/sec.$$

ومن معادلة الاستمراريه

$$A_1 V_1 = A_2 V_2$$

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

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

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

$$= 16 \times 1.7$$

$$\therefore V_2 = 27.2 \quad m/sec.$$

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

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

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

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

$$= - 7.56$$

$$\therefore P_2 = - 0.756 \ bar.$$

ومعنى الاشاره السالبه أن الضغط فى ماسورة الخروج أقل من الضغط الجوى العادى أي أن هناك تفريغ (ضغط سالب).