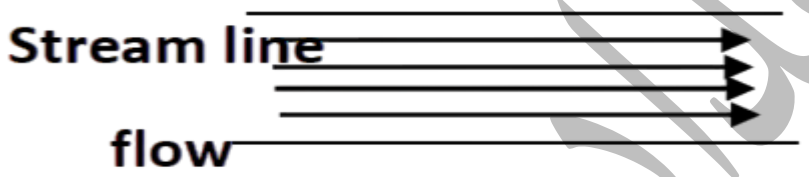
المحاضرة السابعة – جريان الموائع Fluid Flow

جريان الموائع Fluid Flow : هو مبدأ اساسي في تطبيقات هندسة معامل الأغذية لحساب جريان الموائع (السوائل والغازات) أو تدفق الموائع في الأنابيب والمضخات والمبادلات الحرارية اثناء معالجة المواد الغذائية من خلال تطبيق قوانين فيزيائية.

أنواع جريان الموائع داخل الانابيب

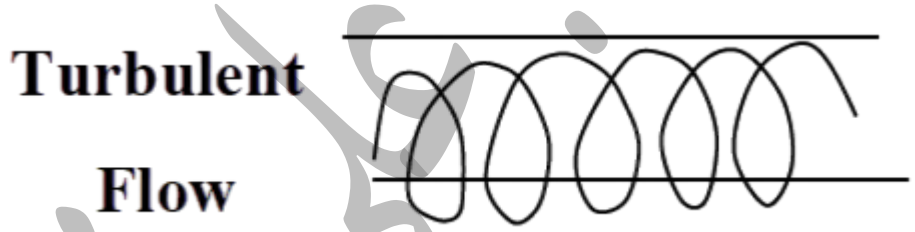
1. الجريان الطبقي أو الصفائحي (Laminar flow)

يحدث عند تدفق المائع بسرعات منخفضة ويتحرك بشكل متوازي في طبقات دون اضطراب ، يتميز بتدفق منتظم ومرتب وتكون السرعة في المركز أعلى من الأطراف.



2. الجريان المضطرب (Turbulent flow)

يحدث عند سرعات عالية ويتسم باضطراب حركة جزيئات المائع وتولد دوامات ينتج عنه احتكاك أكبر وبالتالي فواقد ضغط عالية.



3. الجريان الانتقالي (Transition flow)

وهو جريان انتقالي من النوع الأول إلى النوع الثاني.

يمكن تحديد نوع الجريان باستخدام رقم رينولد (Reynolds' Number) من المعادلة التالية :

$$Re = \frac{p\,V\,D}{\mu}$$

حيث :

p : كثافة المائع (kg/m^3) ،، V : سرعة المائع (m/s) ،، D : قطر الأنبوب (m) ،، μ : لزوجة المائع (Pa·s)

إذا كان Re < 2100 اذاً جريان طبقي Laminar flow

إذا كان Re > 2500 اذاً جريان مضطرب Turbulent flow

إذا كان Re بين 2100 و 2500 اذاً جريان انتقالي Transition flow

مثال1 / يتدفق ماء في أنبوب افقي بسرعة ($V = 3\ m/s$) نصف قطره ($r = 0.1\ m$) فاذا كانت اللزوجة الديناميكية للماء ($\mu = 0.001\ Pa \cdot s$) وكثافة الماء ($p = 1000\ kg/m^3$) جد نوع الجريان في الانبوب ؟

الجواب /

1. نحسب قطر الانبوب حيث $D = 2 \times r = 2 \times 0.1 = 0.2\ m$

2. نحسب رقم رينولد من المعادلة التالية

$$Re = \frac{p\ V\ D}{\mu}$$

$$Re = \frac{1000\ \times 3\ \times 0.2}{0.001} = 600000$$

3. من الناتج نحدد نوع الجريان

إذا كان Re < 2100 اذاً جريان طبقي Laminar flow

إذا كان Re > 2500 اذاً جريان مضطرب Turbulent flow

إذا كان Re بين 2100 و 2500 اذاً جريان انتقالي Transition flow

بما أن

Re = 600000 اكبر من 2500 اذاً نوع الجريان مضطرب

القوانين الأساسية في حساب جريان الموائع

1. معادلة الاستمرارية (Continuity Equation) : تنص على أن معدل التدفق الحجمي (Q) يظل ثابتاً في كل نقطة من الأنبوب إذا كان المائع غير قابل للضغط ويمكن إيجاده بالمعادلة :

$$Q = A\ .\ V$$

حيث/ Q : معدل التدفق الحجمي (m^3/s) ،، A : مساحة المقطع العرضي للأنبوب (m^2) ،، V : سرعة المائع (m/s) .

مثال2 / إذا كان هناك أنبوب ذو مقطع عرضي مساحته (0.05 متر مربع) وسرعة تدفق المائع داخله (3 متر/ثانية) احسب معدل التدفق الحجمي؟

الجواب/

$$Q = 0.05 \times 3 = 0.15\ m^3/s$$

مثال3 / في أنبوب ذو مقطع عرضي مساحته ($0.5\ m^2$) ونصف قطره ($r = 0.2\ m$) كان معدل التدفق الحجمي لسائل تعقيم ($Q = 0.25\ m^3/s$) ولزوجة السائل ($\mu = 0.005\ Pa \cdot s$) وكثافته ($p = 1200\ kg/m^3$) جد ما يلي :

1. سرعة المائع

2. نوع الجريان

الجواب /

1. يمكننا إيجاد سرعة المائع من العلاقة بين معدل التدفق الحجمي Q ومساحة المقطع العرضي A :

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{0.25}{0.5} = 0.5\ \mathrm{m/s}$$

2. لتحديد نوع الجريان نستخدم معادلة رقم رينولد :

$$Re = \frac{p\,V\,D}{\mu}$$

$$Re = \frac{1200 \times 0.5 \times (0.2 \times 2)}{0.005} = 48000$$

إذا كان Re < 2100 اذاً جريان طبقي Laminar flow

إذا كان Re > 2500 اذاً جريان مضطرب Turbulent flow

إذا كان Re بين 2100 و 2500 اذاً جريان انتقالي Transition flow

بما أن

Re = 48000 اكبر من 2500 اذاً نوع الجريان مضطرب

2. معادلة برنولي (Bernoulli's Equation) : تنص على أن مجموع الضغط والطاقة الحركية والطاقة الوضعية يظل ثابتًا في خط الجريان ، وهي معادلة تجمع العلاقة بين ضغط وسرعة وارتفاع مائع يتحرك على طول خط انسيابي وهذه المعادلة مستمدة من قانون حفظ الطاقة وهي حجر الزاوية في ميكانيكا الموائع.

$$\acute{P} + \frac{1}{2}\,pV^2 + pgh = \acute{P} + \frac{1}{2}\,pV^2 + pgh$$

حيث/ $\acute{P}$: الضغط عند نقطة معينة (Pa) ،، p : كثافة المائع (kg/m^3) ،، V : سرعة المائع (m/s)

g : الجاذبية الارضية ($9.81\ m/s^2$) ،، h : الارتفاع عن مستوى مرجعي (m)

مثال4 / يتدفق ماء بكثافة ($p = 1000\ kg/m^3$) من نقطة على ارتفاع ($h = 5\ m$) وكان بسرعة ($V = 2\ m/s$) وضغط ($\acute{P} = 100000\ Pa$) إلى نقطة على ارتفاع ($h = 2\ m$) ، احسب الضغط عند النقطة الثانية بافتراض عدم وجود فقد احتكاك؟

الجواب /

$$\acute{P} + \frac{1}{2}\,pV^2 + pgh = \acute{P} + \frac{1}{2}\,pV^2 + pgh$$

$$\mathbf{100000} + \frac{\mathbf{1}}{\mathbf{2}} \times \mathbf{1000} \times (\mathbf{2})^2 + \mathbf{1000} \times \mathbf{9.81} \times \mathbf{5} = \acute{P}_2 + \frac{\mathbf{1}}{\mathbf{2}} \times \mathbf{1000} \times (\mathbf{2})^2 + \mathbf{1000} \times \mathbf{9.81} \times \mathbf{2}$$

$$100000 + 2000 + 49050 = \acute{P}_2 + 2000 + 19620$$

$$151050 = \acute{P}_2 + 21620$$

$$\acute{P}_2 = 151050 - 21620$$

$$\acute{P}_2 = 129430\ Pa$$

مثال5 / باستخدام مضخات يراد نقل عصير في مصنع أغذية من خزان على ارتفاع (2 متر) إلى خزان آخر على ارتفاع (5 متر) وكان الضغط عند الخزان الأول (120000 باسكال) وكانت سرعة تحرك جزيئات العصير عند الخزان الاول (1.5 م/ثا) وعند الخزان الثاني (3 م/ثا) وكانت الكثافة ($1000\ kg/m^3$) والتعجيل ($g = 9.81$) ما هو الضغط عند الخزان الثاني بإهمال فقد الاحتكاك؟

الجواب /

$$\acute{P} + \frac{1}{2}\,pV^2 + pgh = \acute{P} + \frac{1}{2}\,pV^2 + pgh$$

$$\mathbf{120000} + \frac{\mathbf{1}}{\mathbf{2}} \times \mathbf{1000} \times (\mathbf{1.5})^2 + \mathbf{1000} \times \mathbf{9.81} \times \mathbf{2} = \acute{P}_2 + \frac{\mathbf{1}}{\mathbf{2}} \times \mathbf{1000} \times (\mathbf{3})^2 + \mathbf{1000} \times \mathbf{9.81} \times \mathbf{5}$$

$$120000 + 1125 + 19620 = \acute{P}_2 + 4500 + 49050$$

$$140745 = \acute{P}_2 + 53550$$

$$\acute{P}_2 = 140745 - 53550$$

$$\acute{P}_2 = 87195\ Pa$$

أهمية حسابات جريان الموائع في هندسة معامل الأغذية

1. لاختيار المضخات وأنظمة الأنابيب المناسبة : وفقا لخصائص المائع والضغط المطلوب.

2. تقليل فقد الطاقة في الأنابيب : باستخدام معادلة Darcy-Weisbach لتحسين كفاءة النظام.

3. تصميم أنظمة نقل السوائل عالية اللزوجة : فالأطعمة عالية اللزوجة مثل العسل والزيوت تحتاج إلى حسابات دقيقة لتقليل الاحتكاك وضمان تدفق سلس.