جَامعة
المَنارة
MANARA UNIVERSITY

الهيدروليك 2

Hydraulic 2

Chapter 1 – Hydraulic Resistance

Dr. Eng. Abbas Abdulrahman

جريان الموائع

مراجعة لجريان الموائع المثالية وحيدة البعد

مفهوم جريان مائع

الجريان الدائم: هو الجريان الذي تكون فيه $\vec{V}$ غير متعلقة بالزمن (ثابتة مع الزمن).
في حال كانت السرعة متغيرة مع الزمن يسمى الجريان "غير دائم".

سرعة جريان جزيئة المائع هي مقدار شعاعي

$$\vec{V} = u.\vec{i} + v.\vec{j} + w.\vec{k}$$

أما شدة شعاع السرعة فتعطى بالعلاقة:

$$\left|\vec{V}\right| = \sqrt{u^2 + v^2 + w^2}$$

مفهوم جريان مائع

الجريان وحيد البعد: عندما يكون شعاع السرعة تابعاً لإحداثي وحيد (بالإضافة إلى الزمن في الجريان غير الدائم).

$$\vec{v} = f(x, t),\ u = f(x, t)$$

في حين يكون الجريان ثنائي البعد إذا كان شعاع السرعة تابعاً لإحداثيين.

$$\vec{v} = f(x, y, t)$$

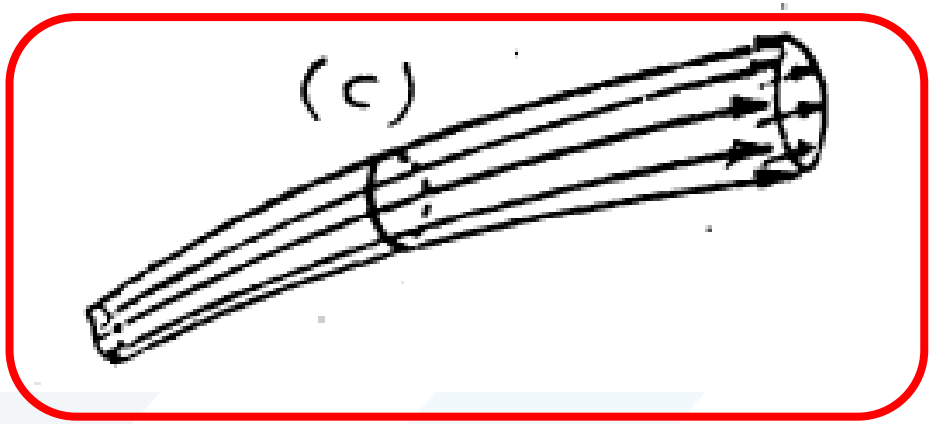
هذه الحالة تكافئ جريان الماء في قناة موشورية (مقطعها ثابت على طول محور الجريان)

الجريان ثلاثي الأبعاد هو الذي يتبع فيه شعاع السرعة للإحداثيات الثلاثة X,Z,Y

$$\vec{v} = f(x, y, z, t)$$

خطوط التيـــــار Streamlines :

أنـابيب التيـار Stream Tubes :



معادلة الاستمرار

أن العلاقة هي معادلة الاستمرار لجريان وحيد البعد تحت الشروط التالية :

$$\rho_1 V_1 A_1 = \rho_2 V_2 A_2 = C$$

$$\rho V A = C$$

١ ـ الجريان الدائم .

٢ ـ السرعة والكتلة النوعية منتظمتا التوزيع على كامل السطح A.

٣ ـ اتجاه أو منحني السرعة عمودي على السطح .

٤ ـ للمقدار الثابت C وحدة كتلة / زمن ويدعى معدل التدفق الكتلي .

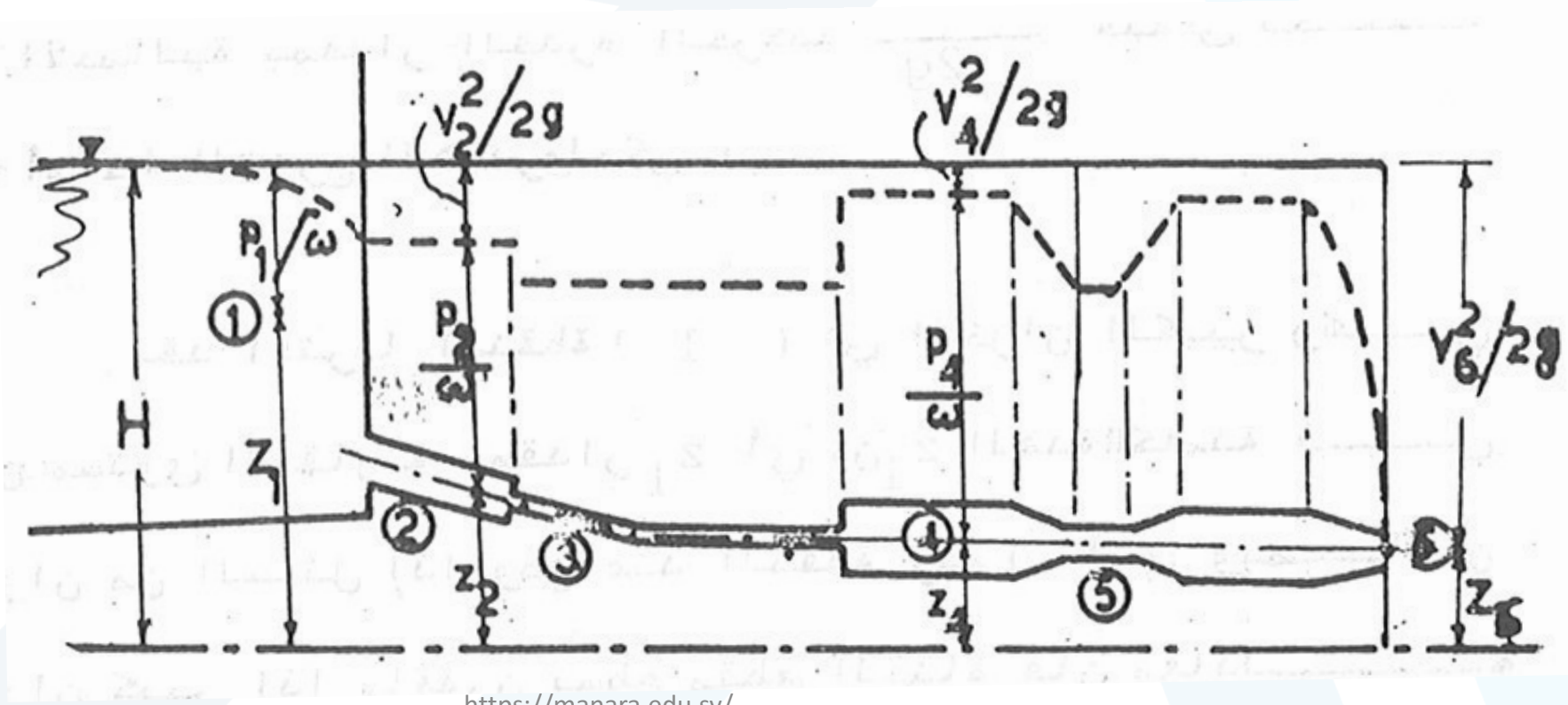
معادلة برنوللي

لنعتبر الصيغة التالية لمعادلة برنوللي :

$$\frac{P}{\omega} + \frac{V^2}{2g} + z = C$$

ان تطبيق معادلة برنوللي بين نقطتين مختلفتين من خط تيار معين يعطي :

$$\frac{P_1}{\omega} + \frac{V_1^2}{2g} + z_1 = \frac{P_2}{\omega} + \frac{V_2^2}{2g} + z_2 = H$$



خلاصة:

- شعاع السرعة في الفراغ

$$\vec{V} = u.\vec{i} + v.\vec{j} + w.\vec{k}$$

- معادلة الاستمرار

$$\rho_1 V_1 A_1 = \rho_2 V_2 A_2 = C \qquad \rho V A = C$$

- معادلة برنوللي

$$\frac{P}{\omega} + \frac{V^2}{2g} + z = H$$

- تطبيقات معادلة برنوللي:
  - **الجريان من الفتحات**
    - **الجريان من فتحة صغيرة**
    - **الجريان من فتحة كبيرة نسبيا**
    - **الجريان من فتحة في خزان مضغوط**
    - **الجريان من فتحة سفلية بارتفاع متغير**

$$V = C_v\sqrt{2gH}$$

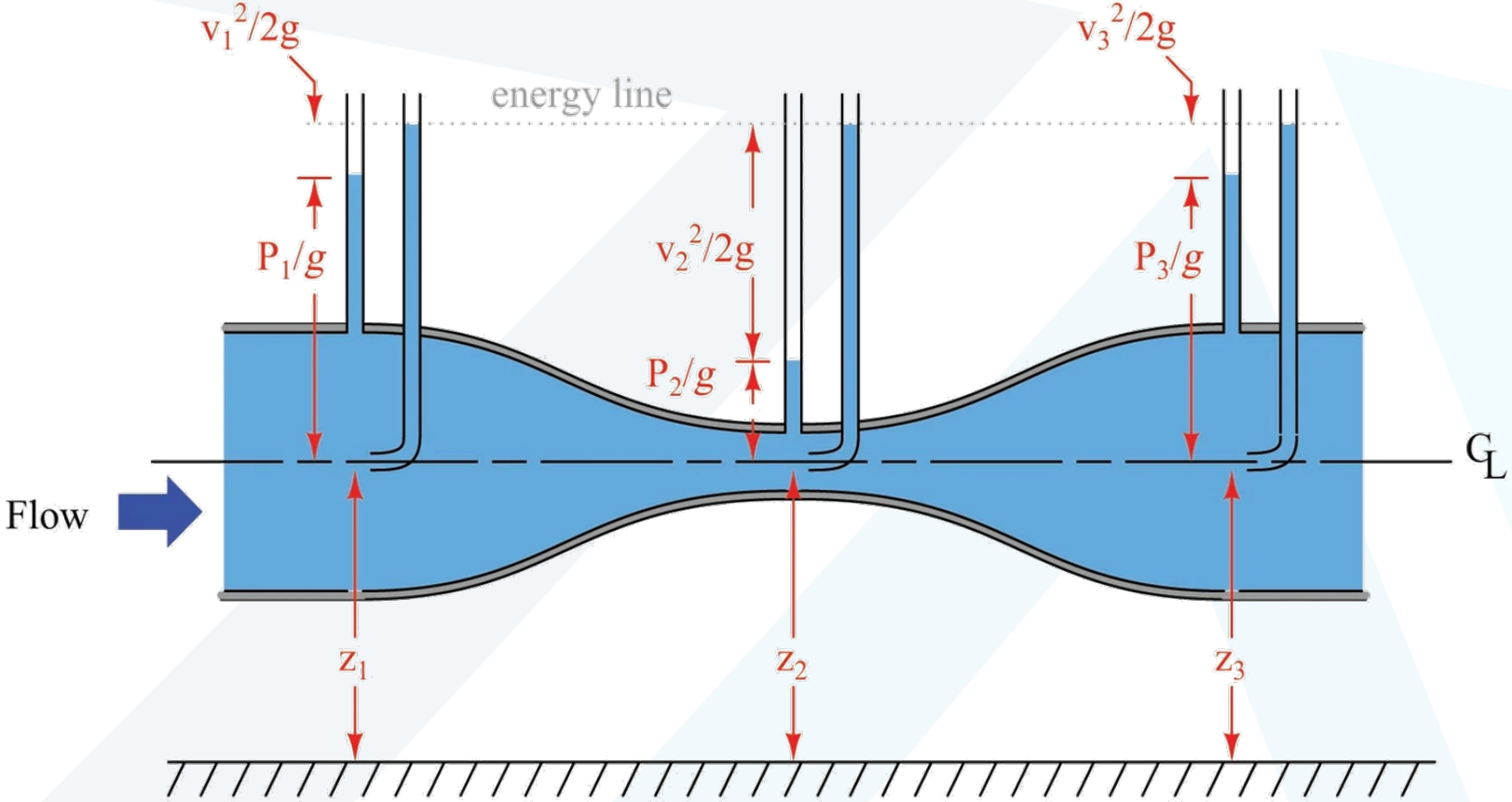
$$Q = C_d\, A\, \sqrt{2gH}$$

$$Q = \frac{2}{3}\, C_d\, b\, \sqrt{2g}(h_2^{3/2} - h_1^{3/2})$$

$$\frac{P}{\omega} + \frac{V^2}{2g} + z = H$$

جريان الموائع الحقيقية

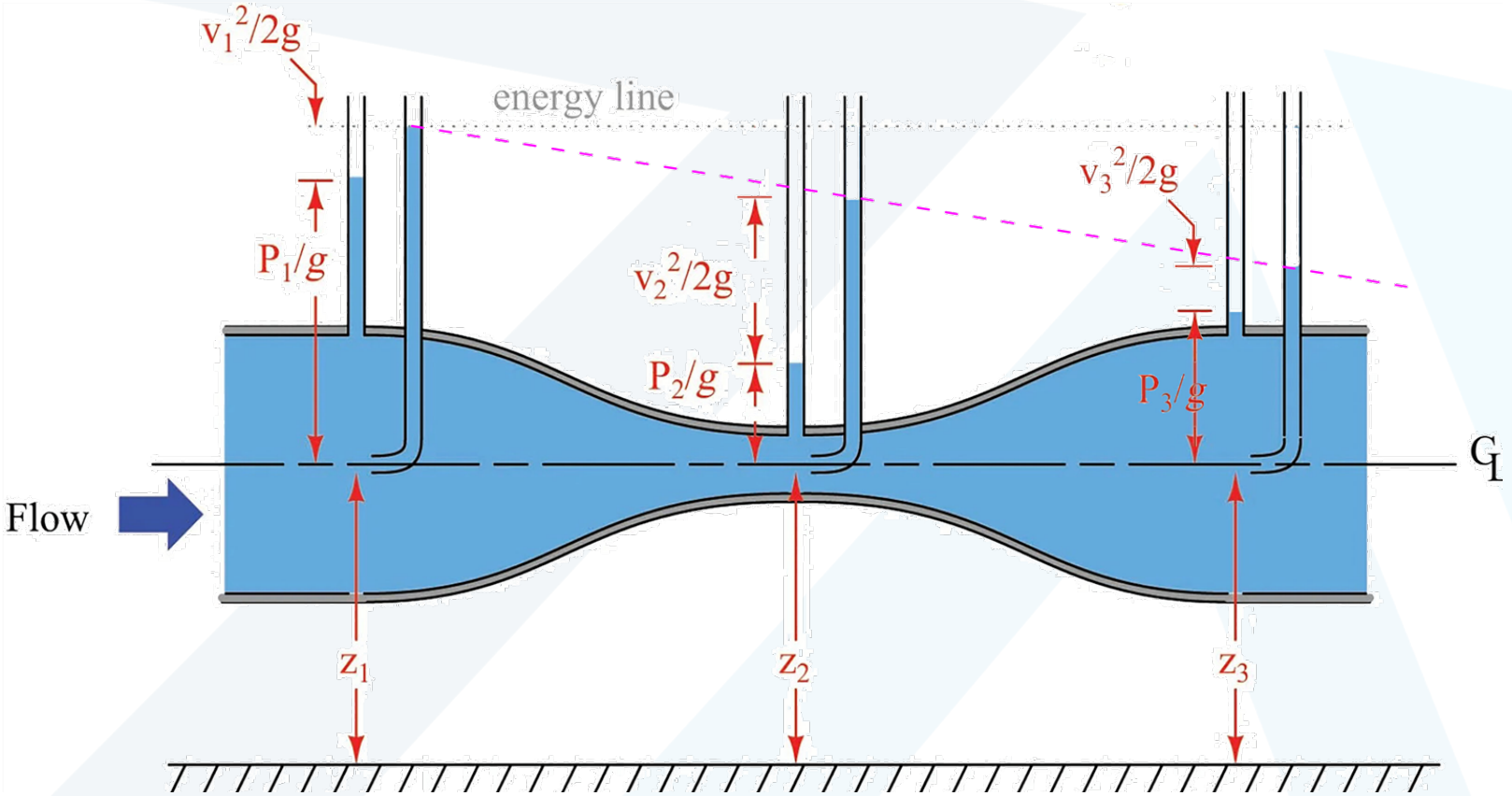
بالعودة إلى معادلة برنوللي نجد أنها تتألف من ثلاثة حدود رئيسية مجموعها ثابت. معادلة برنوللي تسمى معادلة الطاقة لأن كل حدودها تعبر عن الطاقة التي تحملها كتلة الماء أثناء جريانها.



$$\frac{P}{\omega} + \frac{V^2}{2g} + z = H$$

جريان الموائع الحقيقية

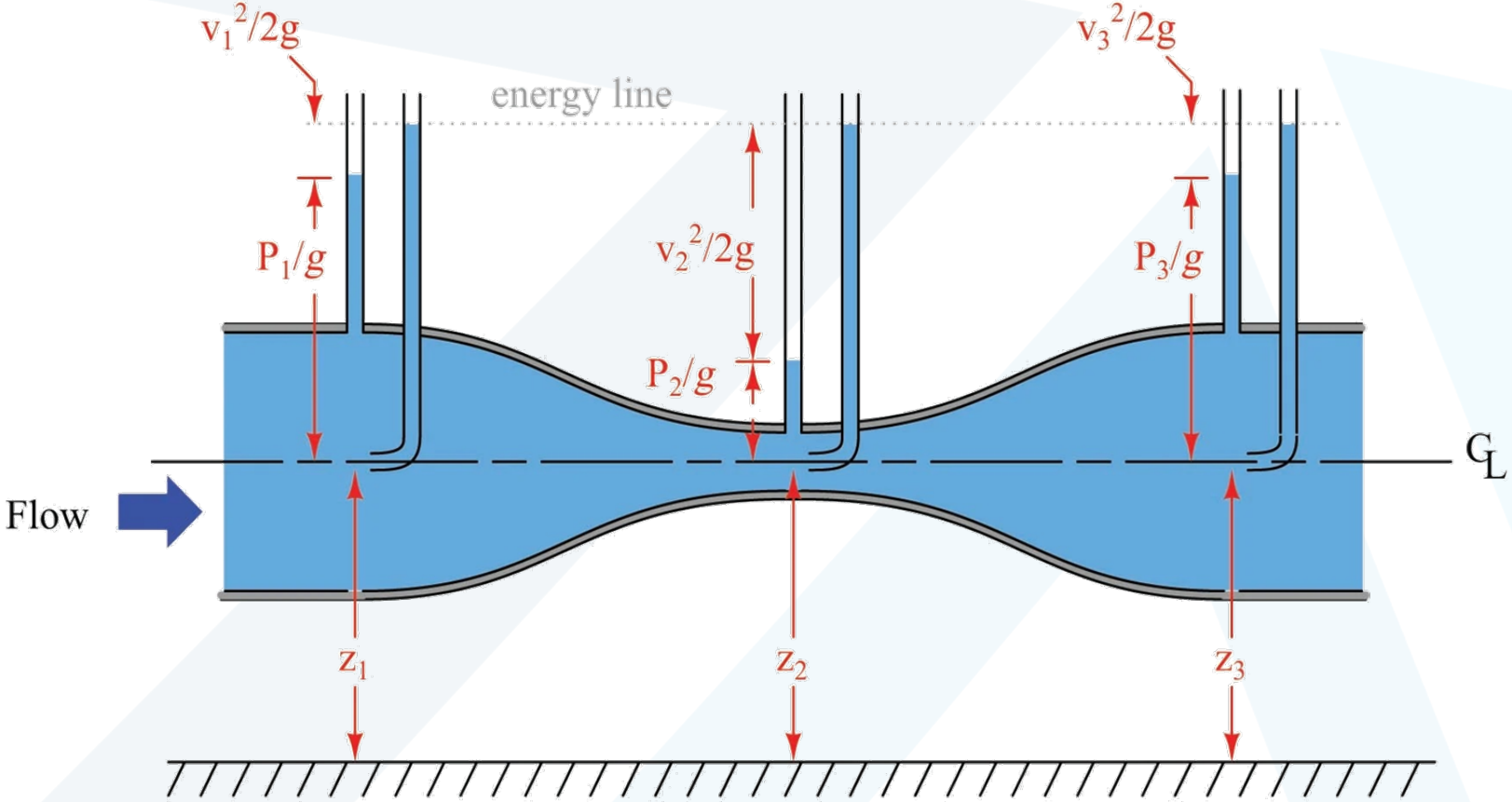
بالعودة إلى معادلة برنوللي نجد أنها تتألف من ثلاثة حدود رئيسية مجموعها ثابت. معادلة برنوللي تسمى معادلة الطاقة لأن كل حدودها تعبر عن الطاقة التي تحملها كتلة الماء أثناء جريانها.



$$\frac{P}{\omega} + \frac{V^2}{2g} + z = H$$

جريان الموائع الحقيقية

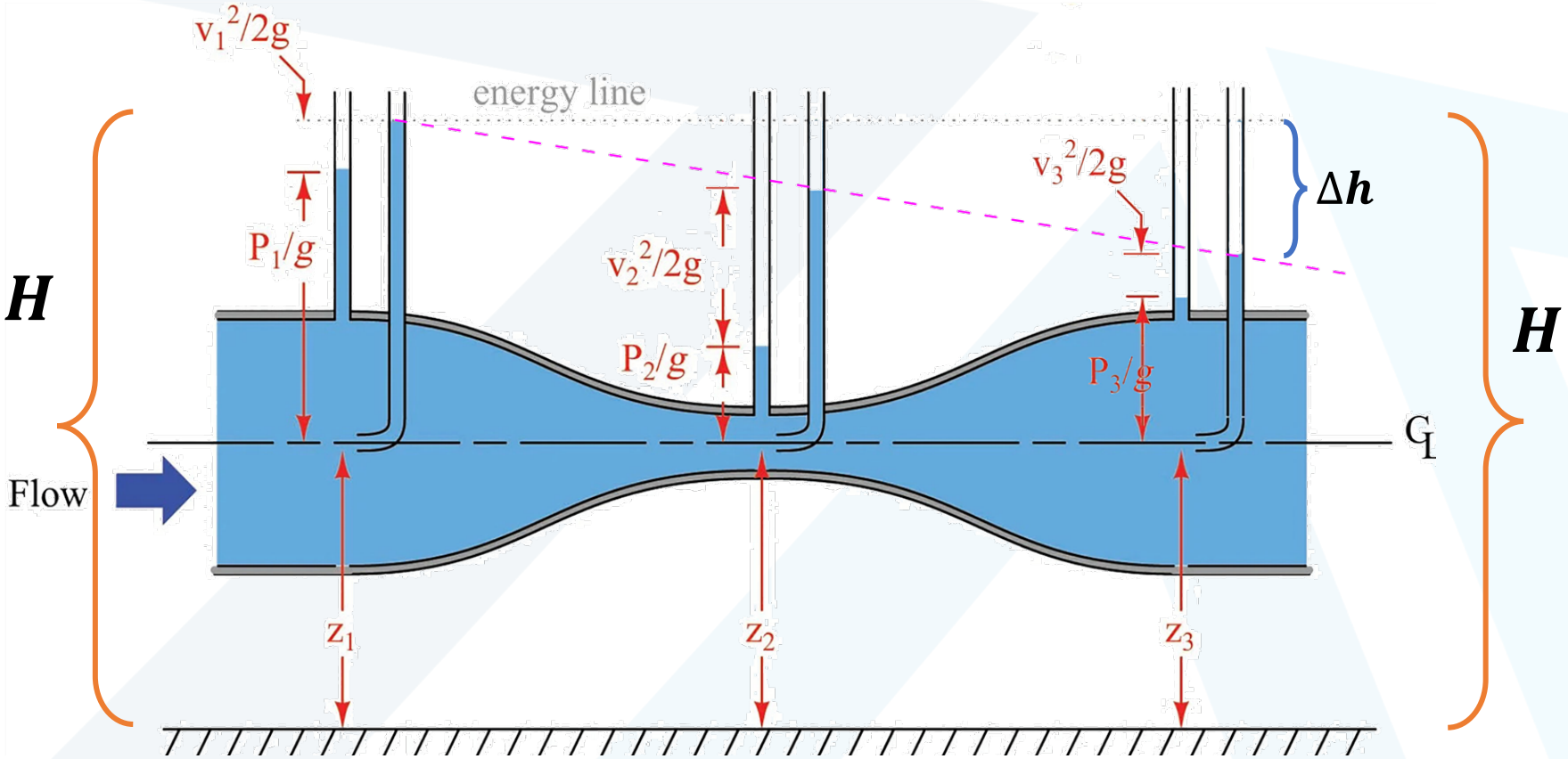
بالعودة إلى معادلة برنوللي نجد أنها تتألف من ثلاثة حدود رئيسية مجموعها ثابت. معادلة برنوللي تسمى معادلة الطاقة لأن كل حدودها تعبر عن الطاقة التي تحملها كتلة الماء أثناء جريانها.



جريان الموائع الحقيقية

$$\frac{P}{\omega} + \frac{V^2}{2g} + z + \Delta h = H$$

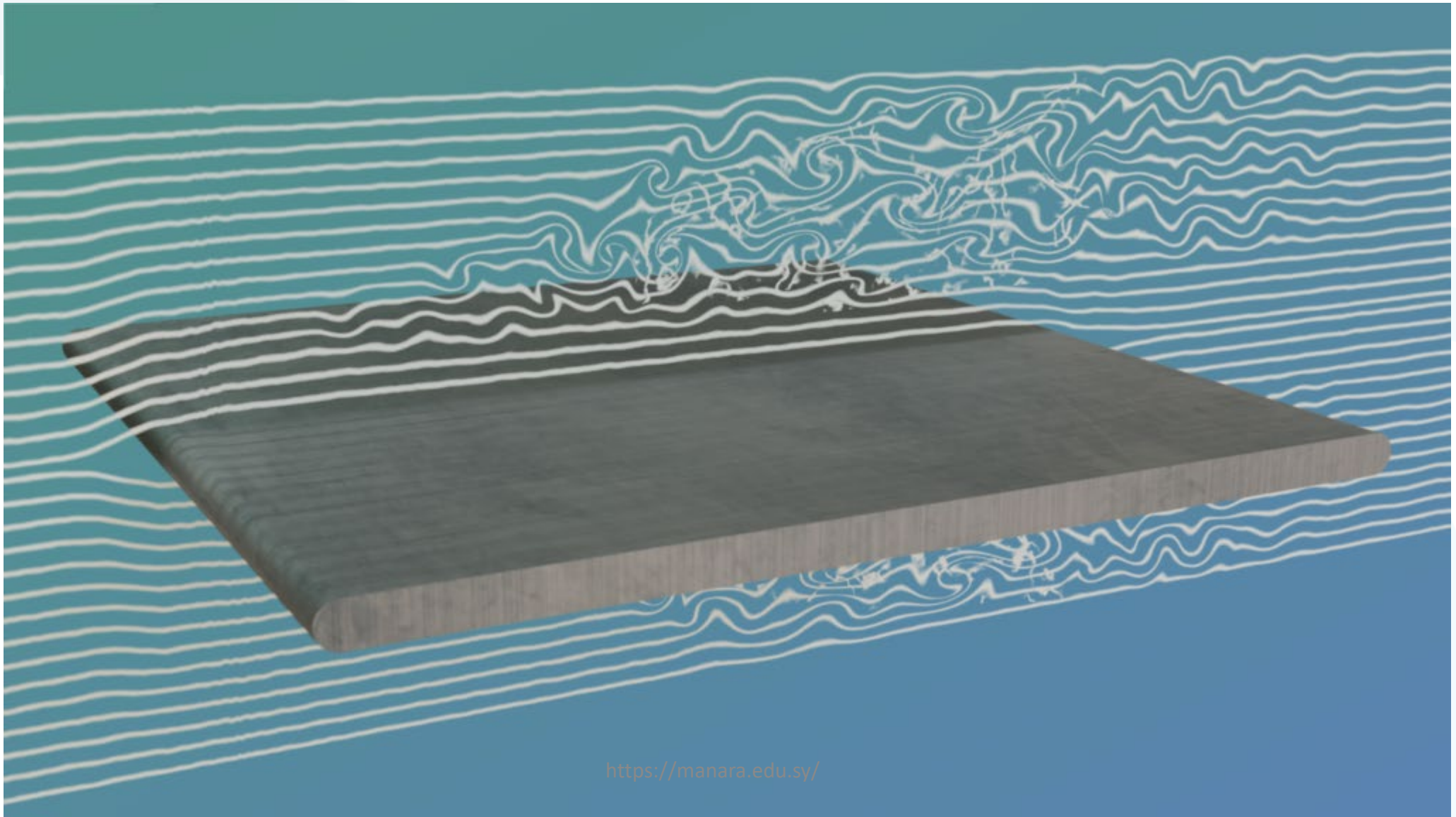
بالعودة إلى معادلة برنوللي نجد أنها تتألف من ثلاثة حدود رئيسية مجموعها ثابت. معادلة برنوللي تسمى معادلة الطاقة لأن كل حدودها تعبر عن الطاقة التي تحملها كتلة الماء أثناء جريانها.



جريان الموائع الحقيقية

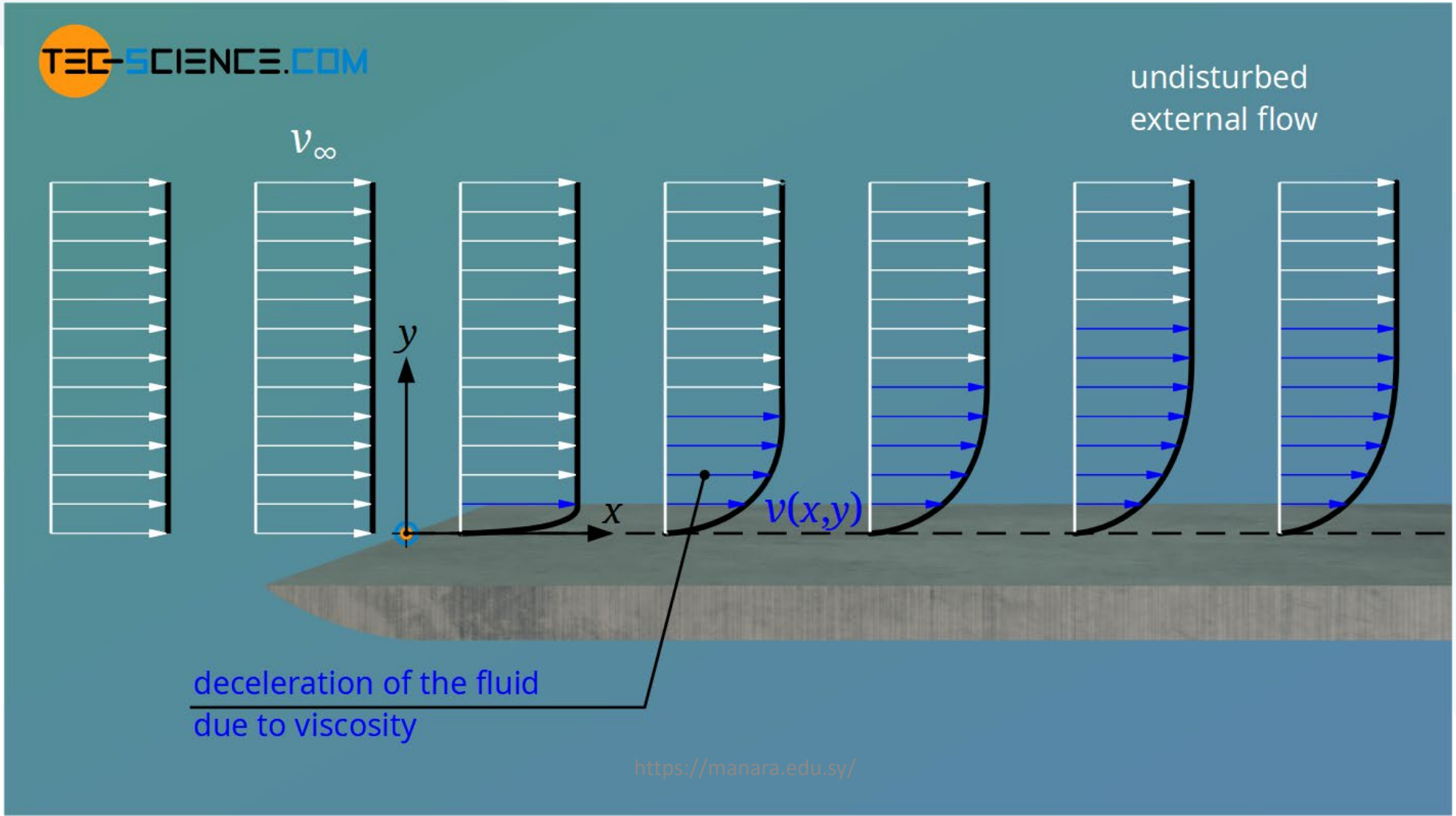
الضياعات (فواقد الطاقة) في معادلة برنوللي تعود بشكل أساسي إلى خاصية اللزوجة للسائل المتحرك والتي تخلق إجهادات مماسية بين طبقات السائل فيما بينها من جهة، وبين السائل والجدران المحيطة به (حدود الجريان) من جهة أخرى. هذه الإجهادات تشكل على سطوح الاحتكاك قوى ممانعة للجريان تقوم بدور الكبح أو الفرملة مما يؤدي إلى ضياعات في القدرة المحمولة مع التيار.

جريان الموائع الحقيقية



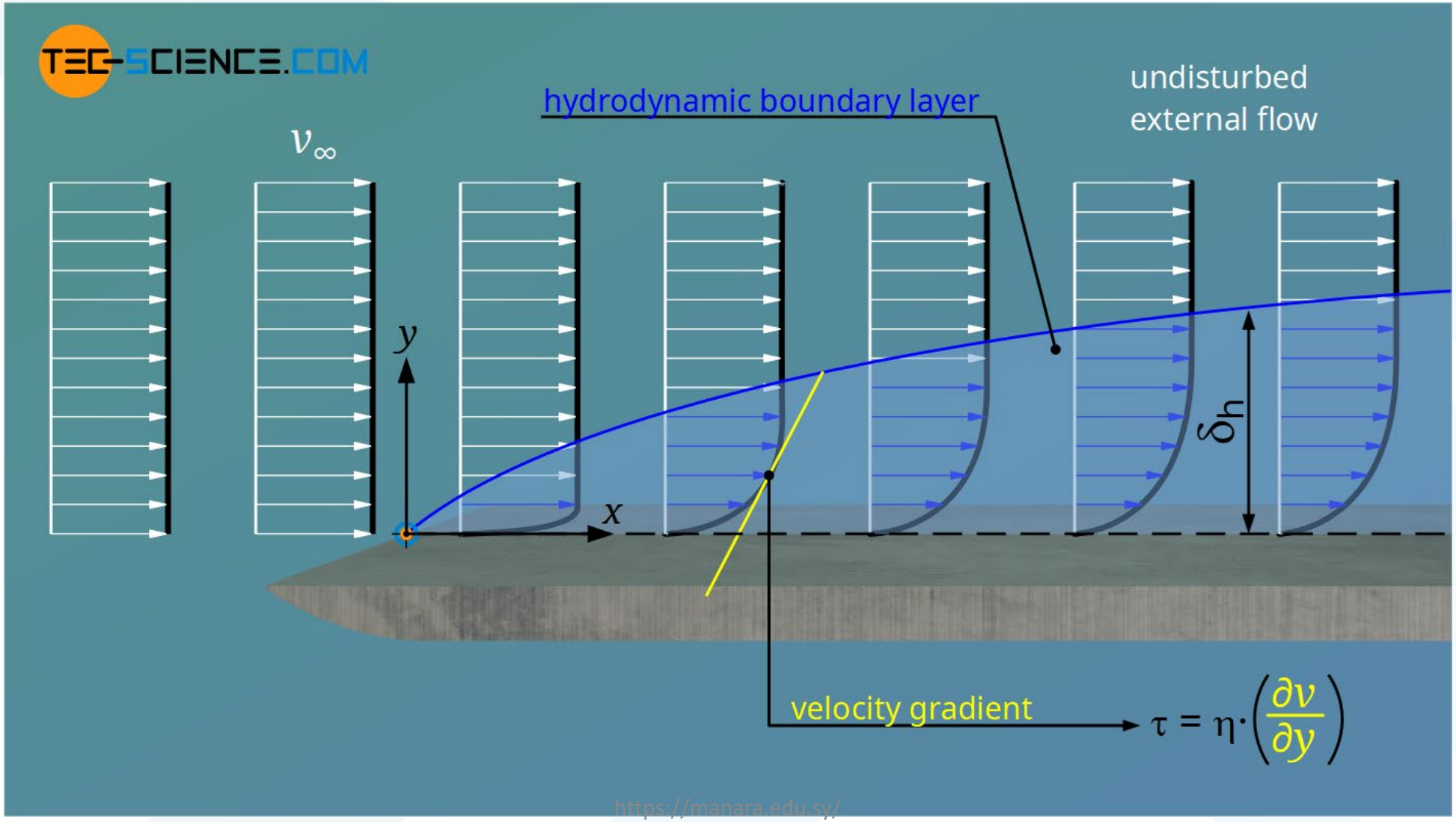
https://manara.edu.sy/

جريان الموائع الحقيقية



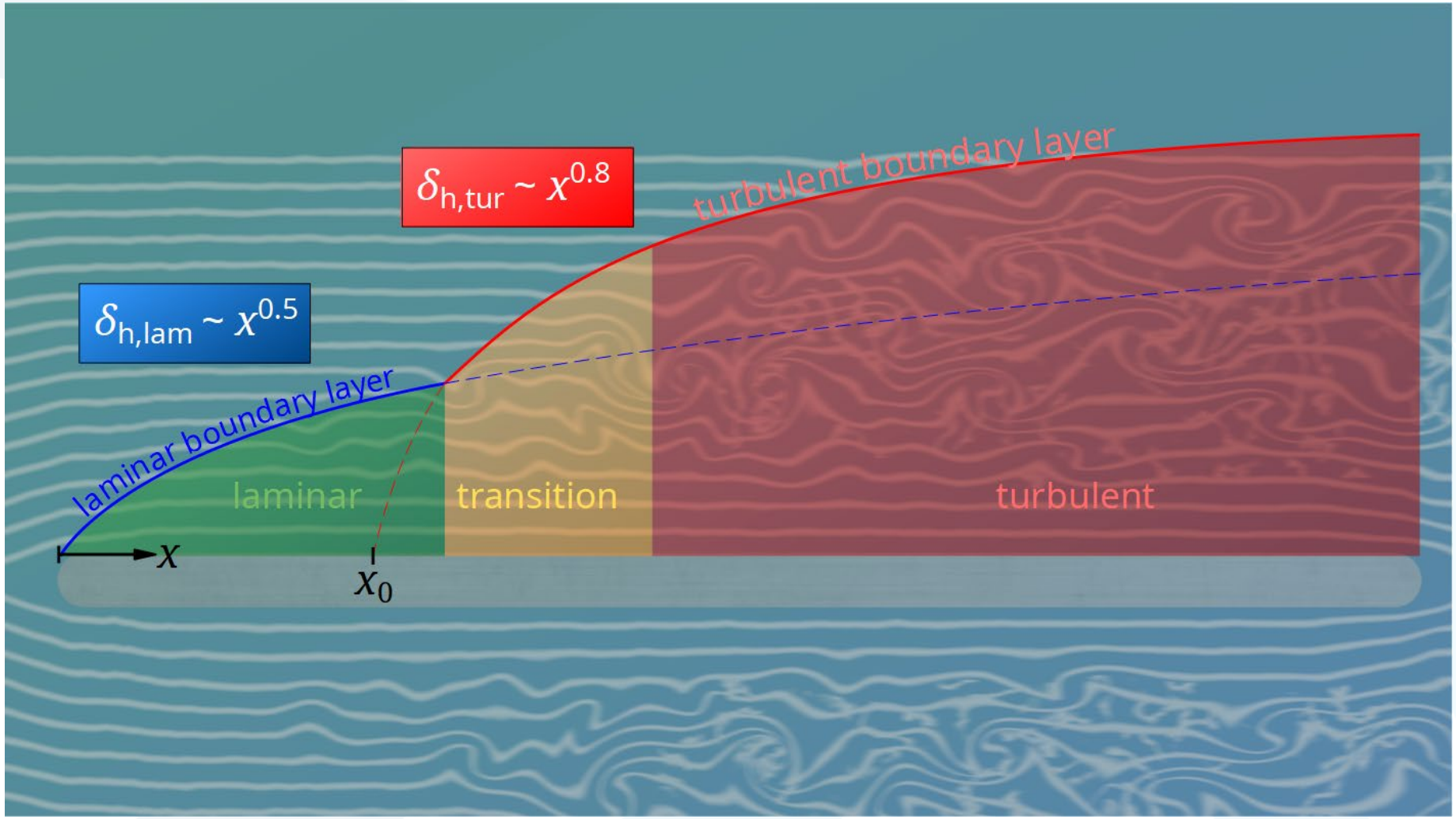
https://manara.edu.sy/

جريان الموائع الحقيقية

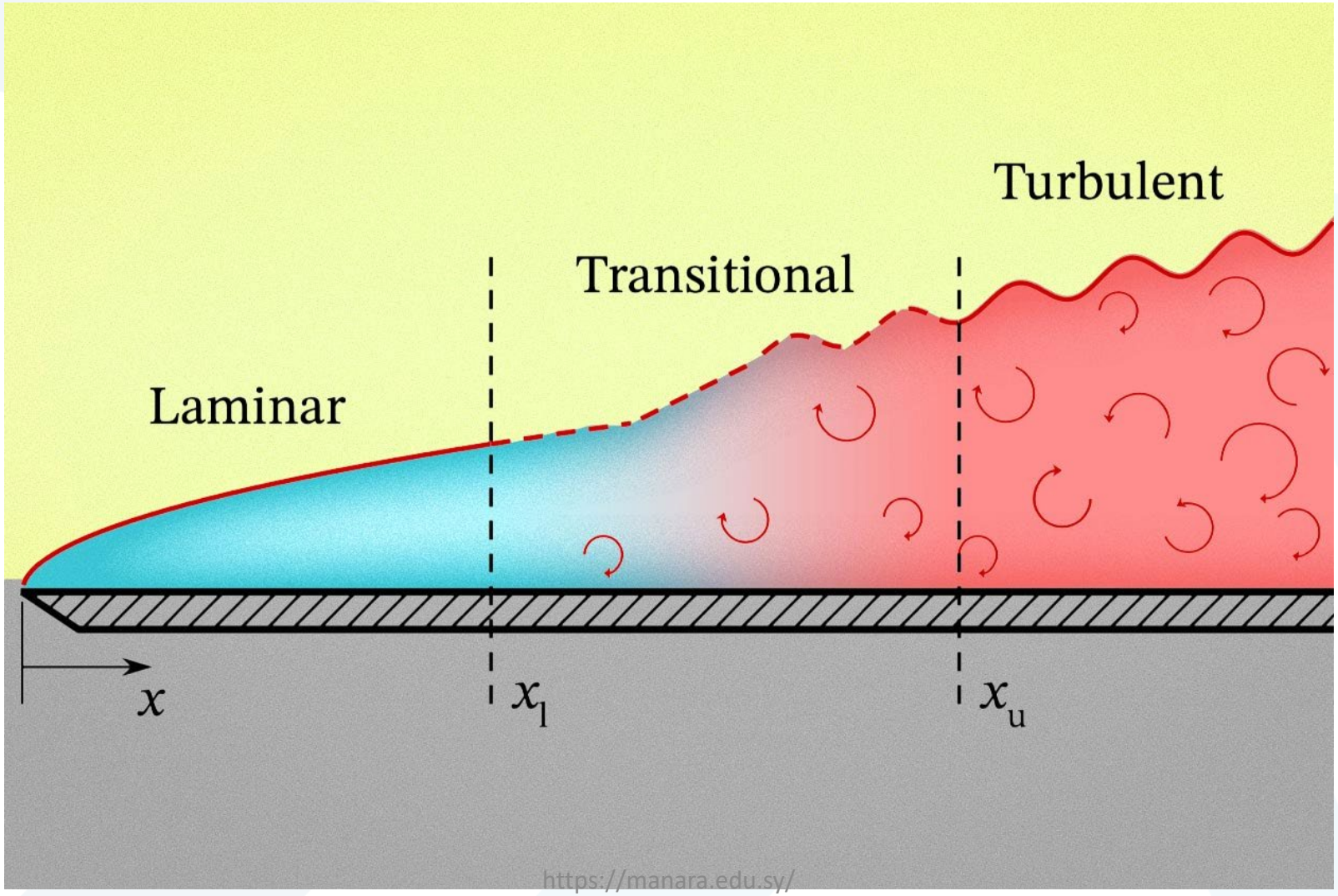


https://manara.edu.sy/

جريان الموائع الحقيقية

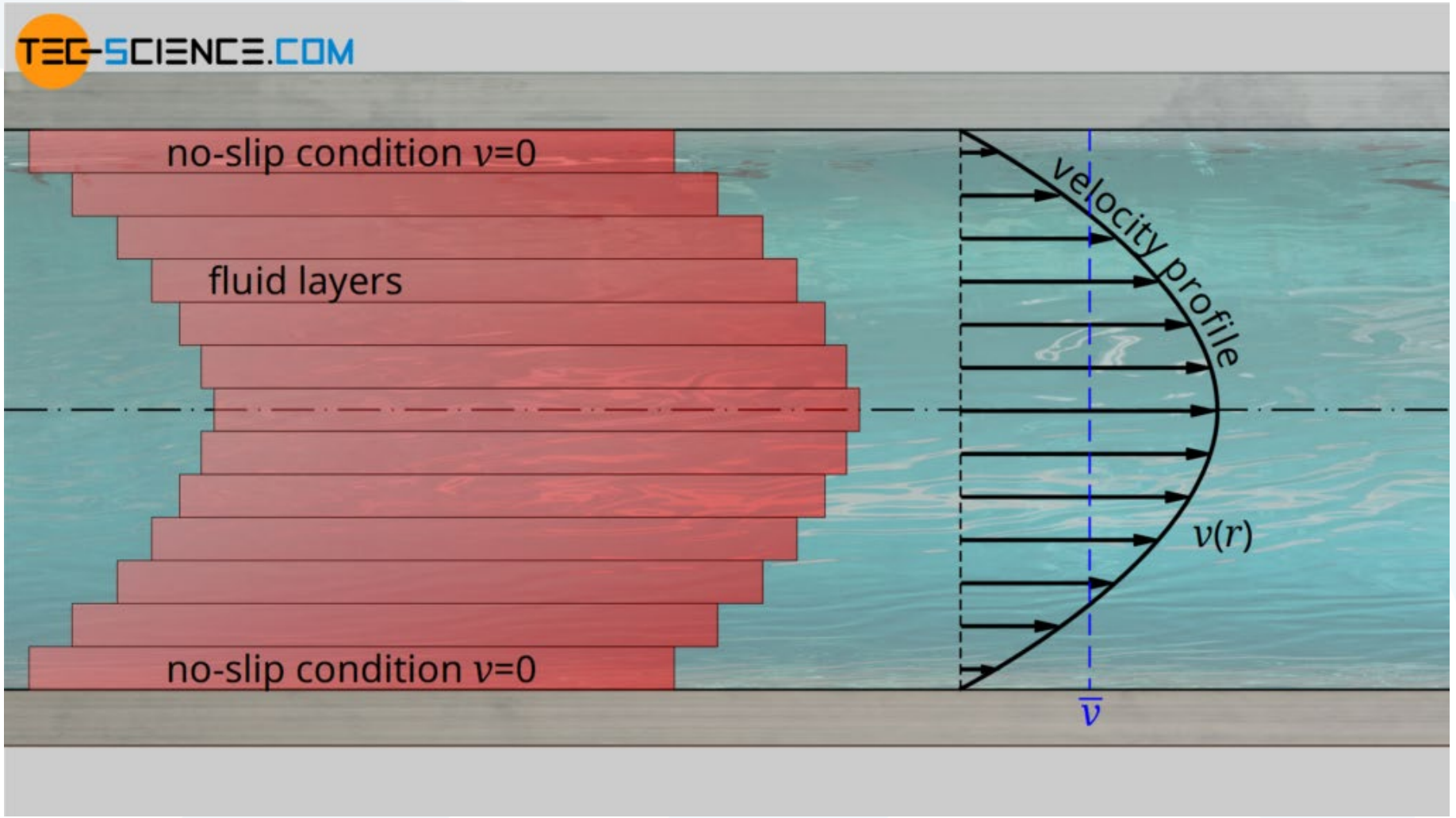


جريان الموائع الحقيقية

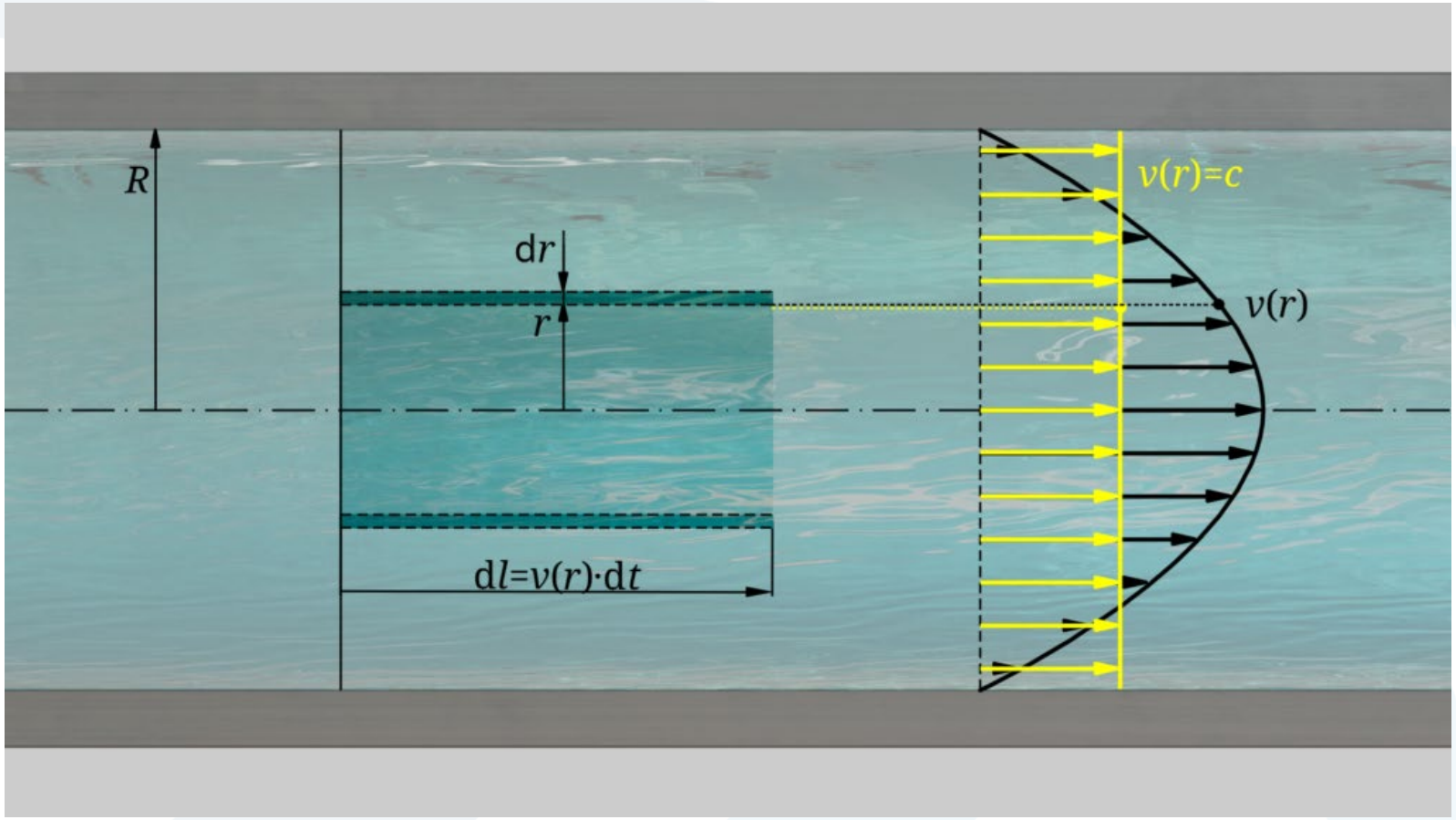


https://manara.edu.sy/

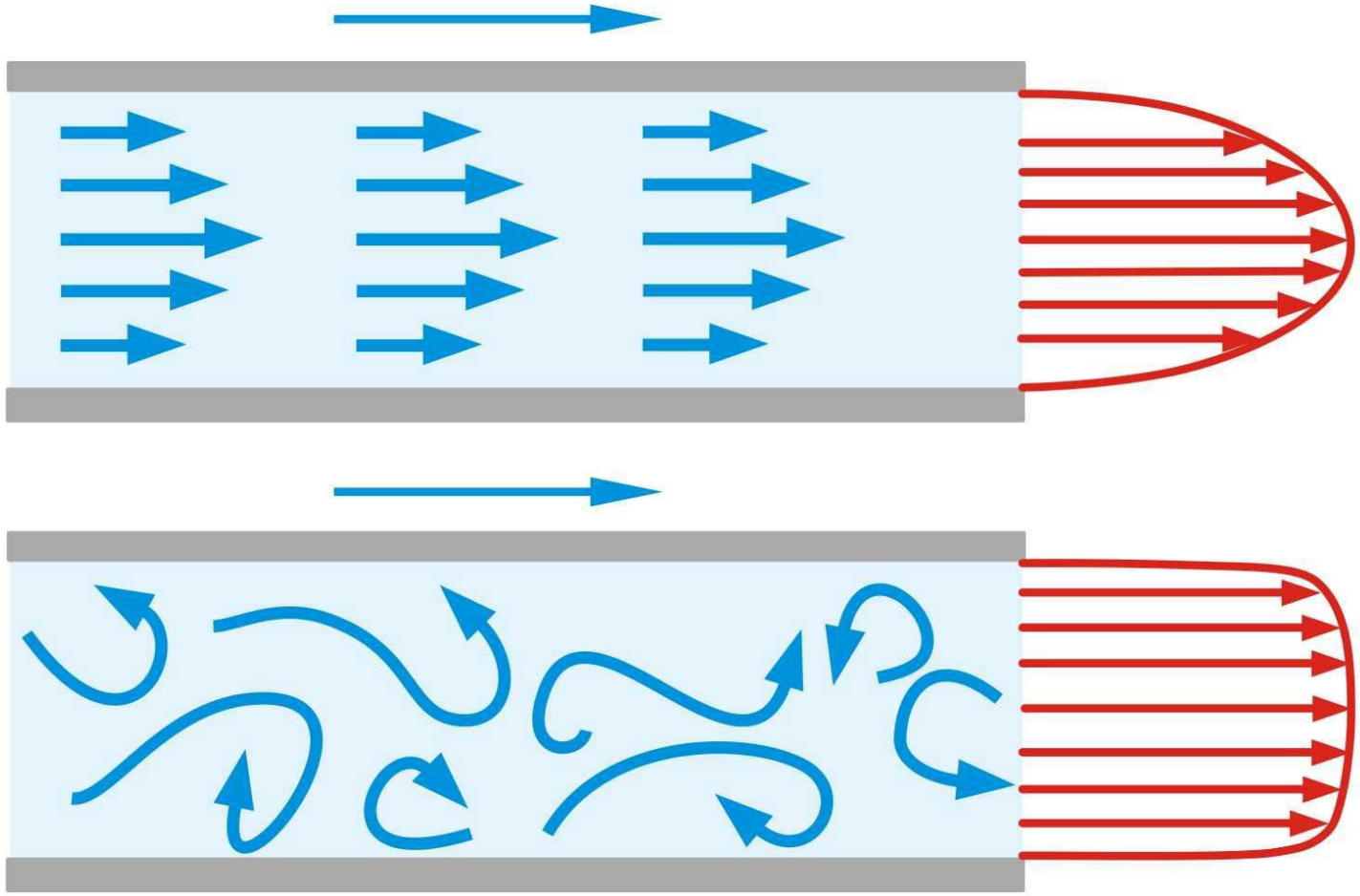
جريان الموائع الحقيقية



جريان الموائع الحقيقية



جريان الموائع الحقيقية



جريان الموائع الحقيقية

الجريان الدائم: هو الجريان الذي تكون فيه $\vec{V}$ غير متعلقة بالزمن (ثابتة مع الزمن).
في حال كانت السرعة متغيرة مع الزمن يسمى الجريان "غير دائم".

- شعاع السرعة في الفراغ

$$\vec{V} = u.\vec{\imath} + v.\vec{\jmath} + w.\vec{k}$$

- معادلة الاستمرار

$$\rho_1 V_1 A_1 = \rho_2 V_2 A_2 = C$$

$$\rho V A = C$$

- معادلة برنوللي

$$\frac{P}{\omega} + \frac{V^2}{2g} + z = H$$

- تطبيقات معادلة برنوللي:
  - **الجريان من الفتحات**
    - **الجريان من فتحة صغيرة**
    - **الجريان من فتحة كبيرة نسبيا**
    - **الجريان من فتحة في خزان مضغوط**
    - **الجريان من فتحة سفلية بارتفاع متغير**

جريان الموائع الحقيقية

أنظمة الجريان

تصنيف الجريانات في الأقنية المكشوفة:

- تصنيف الجريان وفق رقم رينولدس Re
  - الجريان الصفحي Laminar Flow
  - الجريان المضطرب Turbulent Flow
  - الجريان الانتقالي Transitional Flow

جريان الموائع الحقيقية

تصنيف الجريان وفق رقم فرود:

- الجريان الشلّالي (فوق الحرج) Supper-critical Flow (Shooting Flow)
- الجريان النهري (تحت الحرج) Subcritical Flow (Tranquil Flow)
- الجريان الحرج Critical Flow

جريان الموائع الحقيقية

الجريان المنتظم والمتغير (بالنسبة للمكان):

- الجريان المنتظم Uniform Flow

يتحقق الجريان المنتظم مع تحقق الشروط التالية:

- إذا امتلكت القناة (المجرى المائي) مقطعاً ثابتاً على طول الجريان
- إذا حافظ التيار على ارتفاع ثابت على طول الجريان
- إذا كانت الميول التالية متساوية فيما بينها (ميل قعر القناة I = ميل سطح الماء = ميل خط الطاقة الكلية je) بمعنى آخر: إذا كانت السرعة ثابتة في جميع مقاطع القناة.

جريان الموائع الحقيقية

الجريان المتغير ***Varied Flow***

يعتبر الجريان المنتظم في الطبيعة أمراً نادر الحدوث إذا لم يكن مستحيلاً. إذ أنه حتى في حالة المقطع الموشوري الثابت والغزارة والميل الثابتين فإن ارتفاع الماء في القناة سيكون متغيراً بفعل احتكاك الهواء مع سطح الماء وتشكل الأمواج الدورية. إلا أن ارتفاع هذه الأمواج مقارنة مع ارتفاع الماء في القناة نفسها يعتبر ذو قيمة صغيرة يمكن إهمالها واعتبار الارتفاعات متساوية في جميع نقاط السطح الحر للسائل.

جريان الموائع الحقيقية

الجريان المتغير ***Varied Flow***

في الحالات الشائعة للجريانات المكشوفة في الأقنية الموشورية أو الطبيعية يكون الجريان متغيراً بفعل عوامل (أو حوادث) موضعية تؤدي إلى حدوث تغير (تناقص أو تزايد) في ارتفاع التيار على طول جزء معين من القناة. عندما يكون الطول الذي حدث خلاله التغير قصيراً جداً يعتبر الجريان متغيراً بسرعة ***(Rapidly Varied Flow)*** مثل حالات حدوث القفزة المائية أو السقطة المائية. أما في حالة كون المسافة التي يحدث خلالها التغير طويلة نسبياً يسمى الجريان متغيراً بشكل تدريجي ***(Gradually Varied Flow).***

جريان الموائع الحقيقية

الجريان المتغير ***Varied Flow***

في الأقنية الموشورية قد يحدث الجريان المتغير تدريجياً بسبب وجود منشأة تحكم بالارتفاع أو الغزارة مثل البوابات التي توضع لتنظيم الجريان في منظومات الري أو الحواجز المائية (الهدارات) لنفس الغاية. هذه المنشآت يمكن أن نصادفها أيضاً في منظومات توزيع المياه في محطات معالجة المياه.

في المجاري الطبيعية (الأنهار) يحدث الجريان المتغير تدريجياً بشكل أساسي بفعل عدم انتظام المقطع العرضي للمجرى المائي ويكون بالتالي تغيّر الجريان ناجماً عن سلسلة متعاقبة من التغيرات الموضعية مما يجعل دراستها الهيدروليكية أمراً معقداً نوعاً ما. ولكن ظهور الحواسب الشخصية بإمكانات حسابية عالية وبرامج متخصصة جعل بمقدور المهندس المدني حل هذه المسائل بشكل سريع ودقيق نسبياً (الحل الدقيق بشكل مطلق مسألة لا يمكن الوصول إليها في مثل هذا النوع من الجريانات لتعدد وتعقيد العوامل الهيدروليكية المؤثرة على طبيعة الجريان).

جريان الموائع الحقيقية

تغير حسب الزمن

Steady Flow

Non-Steady Flow

Uniform

Non-Uniform

تغير حسب المكان

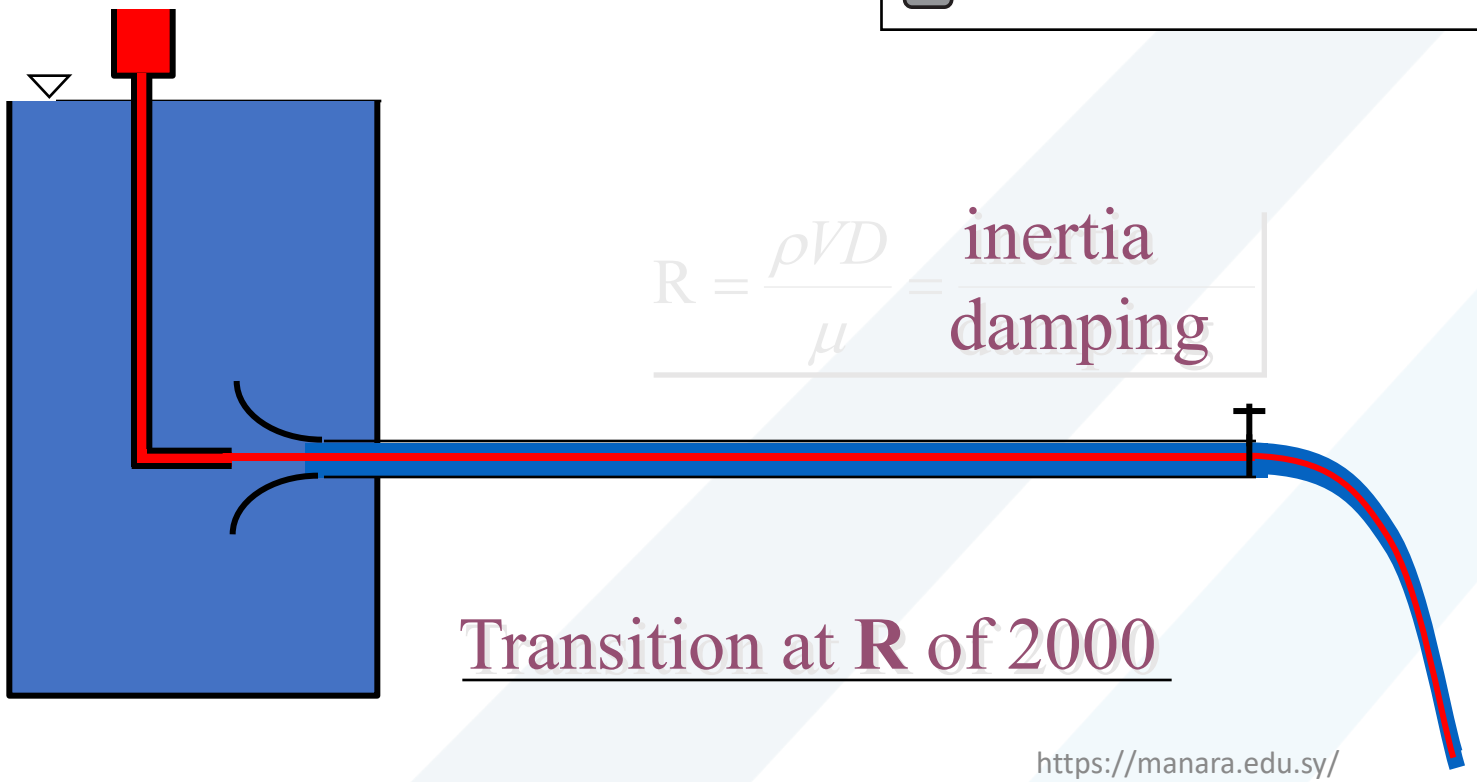
Rapidly Varied Flow

Gradually Varied Flow

Laminar and Turbulent Flows

جريان الموائع الحقيقية

- Reynolds apparatus



$$R = \frac{\rho V D}{\mu} = \frac{\text{inertia}}{\text{damping}}$$

Transition at **R** of 2000

جريان الموائع الحقيقية

الحريان المستقر – الجريان غير المستقر

$$\left(\frac{\partial}{\partial t} = 0 \right)$$

الحريان المستقر: عند جريان الماء في الأوساط المختلفة (أقنية مكشوفة، أنابيب دائرية، حبيبات التربة) تتمتع جزيئات الماء بحسب موقعها في الوسط الناقل بخواص مختلفة حيث يكون لسرعتها قيم واتجاهات مختلفة كما تختلف الغزارة أو ارتفاع الماء والمواصفات الهندسية لمقطع الجريان. وهي جميعها تشكل بارامترات الجريان الحاصل في هذا الوسط.
عندما يحافظ جريان ما على جميع بارامتراته ثابتة مع تغير الزمن نقول عن هذا الجريان أنه مستقر Steady Flow

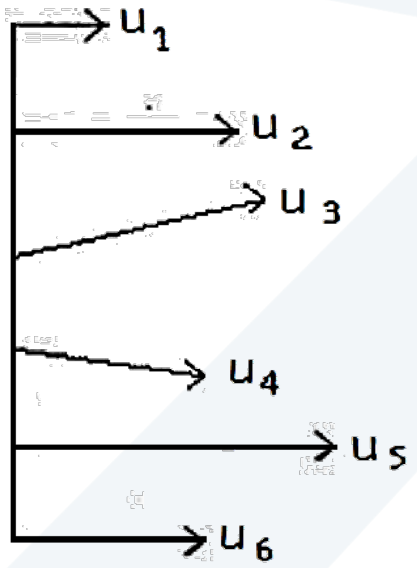
$$\left(\frac{\partial}{\partial t} \neq 0 \right)$$

الجريان غير المستقر: عندما تتغير جميع أو أحد بارامترات الجريان مع تغير الزمن نسمي الجريان جريان غير مستقر Non-Steady Flow
السبب الرئيسي لحصول معظم الجريانات غير المستقرة يعود إلى تغير الغزارة الداخلة إلى الوسط.. كمثال أوضح يمكن أن نلاحظ حدوث الجريان غير المستقر في مجاري الأنهار عند حدوث موجات الفيضان الناجم عن الهطل المطري، حيث تتغير الغزارة المارة في النهر مع تغير شدة العاصفة المطرية واستمراريتها.

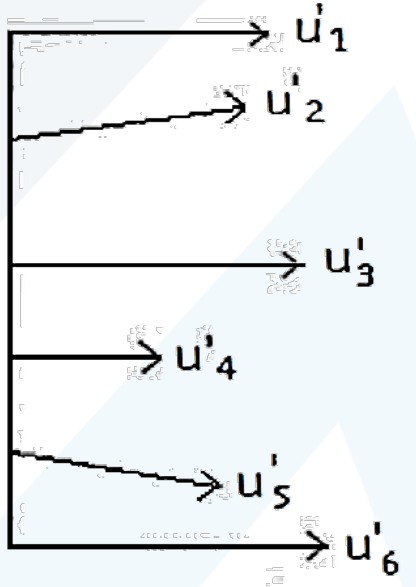
جريان الموائع الحقيقية

الحريان المستقر – الجريان غير المستقر

$$\left(\frac{\partial}{\partial t} \neq 0 \right)$$



المقطع $a-a$ في اللحظة t

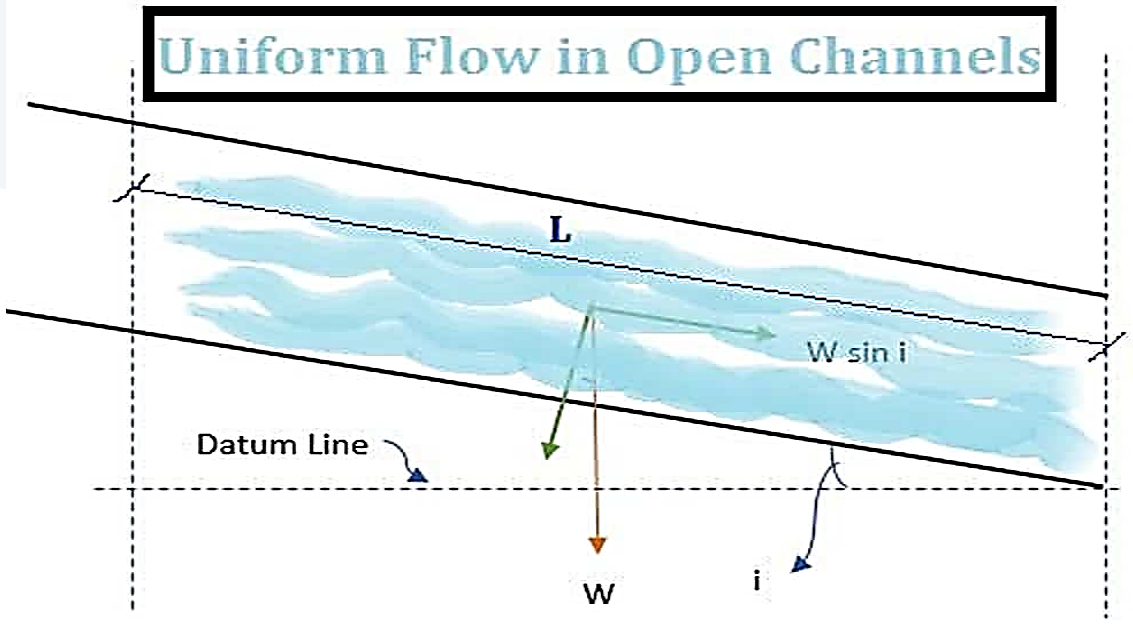


المقطع $a-a$ في اللحظة $t+\Delta t$

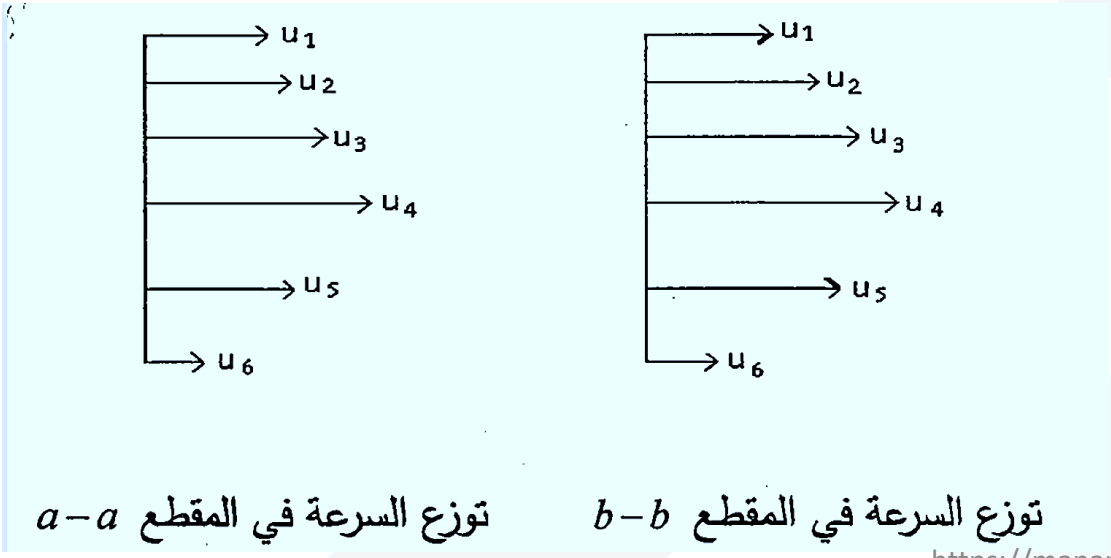
https://manara.edu.sy/

جريان الموائع الحقيقية

الجريان المنتظم – الجريان غير المنتظم

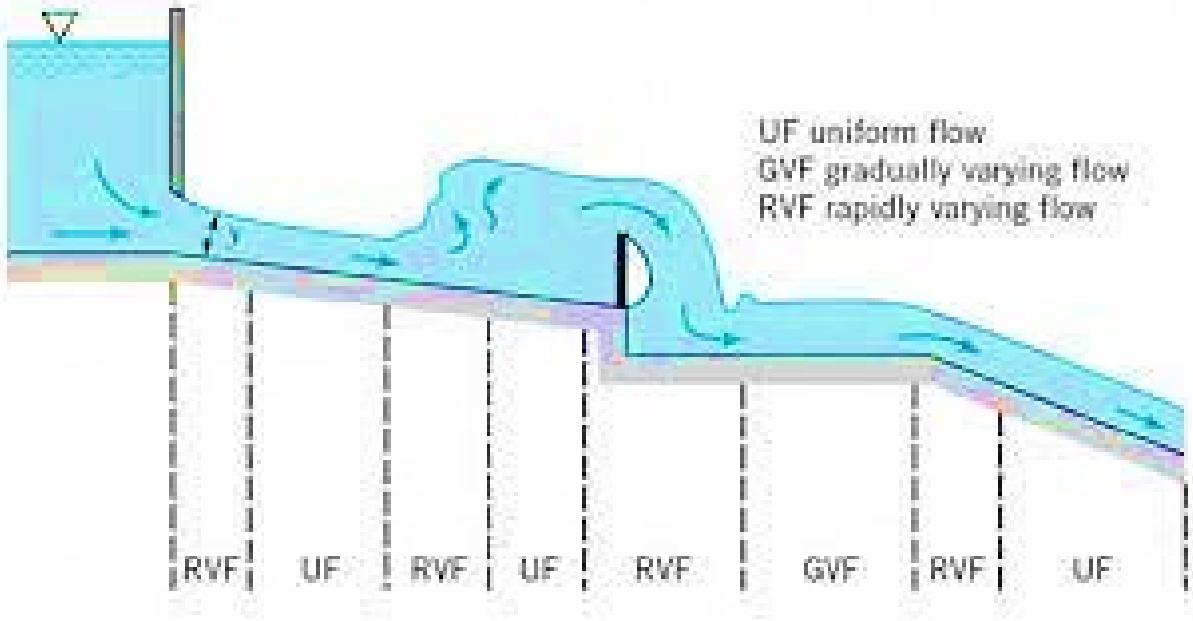


الجريان المنتظم Uniform Flow
في الجريان المنتظم تبقى بارامترات الجريان (السرعة والغزارة والأبعاد الهندسية للمقطع المائي) ثابتة على طول الجريان

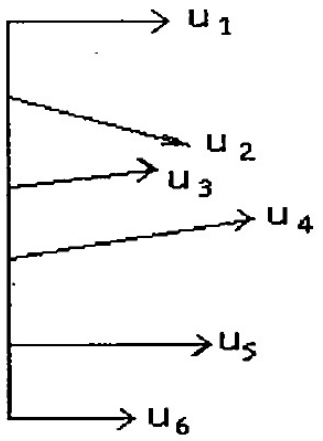


جريان الموائع الحقيقية

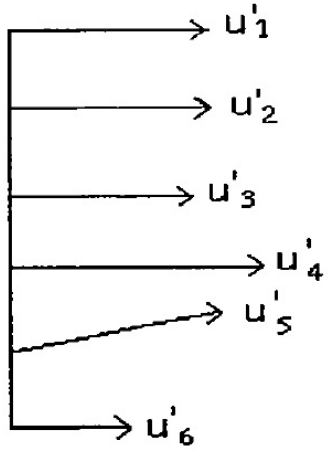
الجريان المنتظم – الجريان غير المنتظم



الجريان غير المنتظم
Non-Uniform Flow
مع بقاء الغزارة ثابتة (جريان مستقر)
ولكن تتغير بعض بارمترات الجريان مثل السرعة، ارتفاع الماء، الأبعاد الهندسية للجريان مع تغير مكان القياس. هذه الحالة هي الحالة السائدة في معظم الجريانات في عالم الهندسة



توزع السرعة في المقطع $a-a$



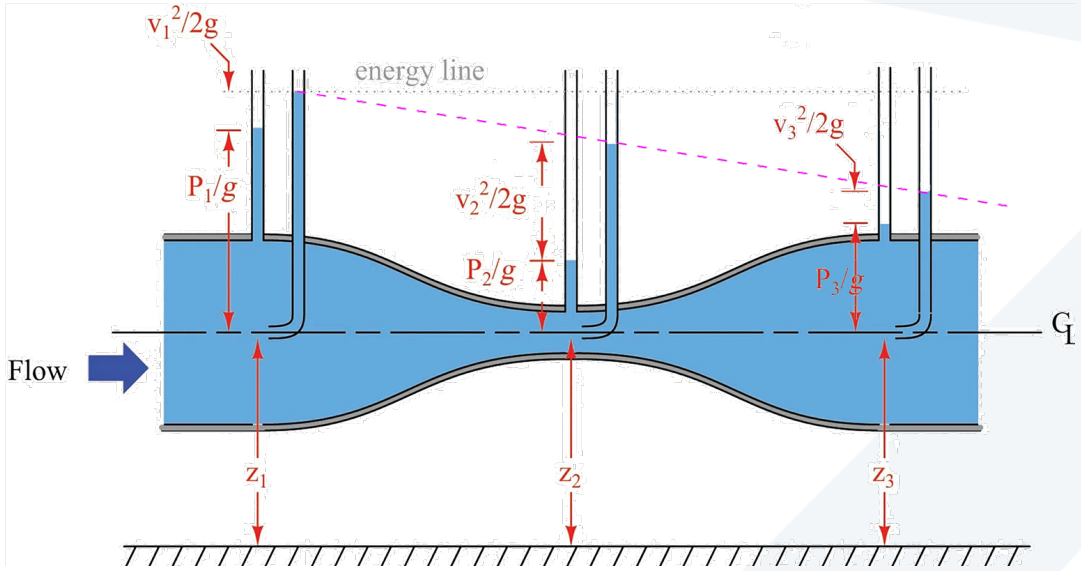
توزع السرعة في المقطع $b-b$

https://manara.edu.sy/

المقاومات الهيدروليكية

معادلة الطاقة - برنوللي

$$\frac{P}{\omega} + \frac{V^2}{2g} + z + \Delta h = H$$



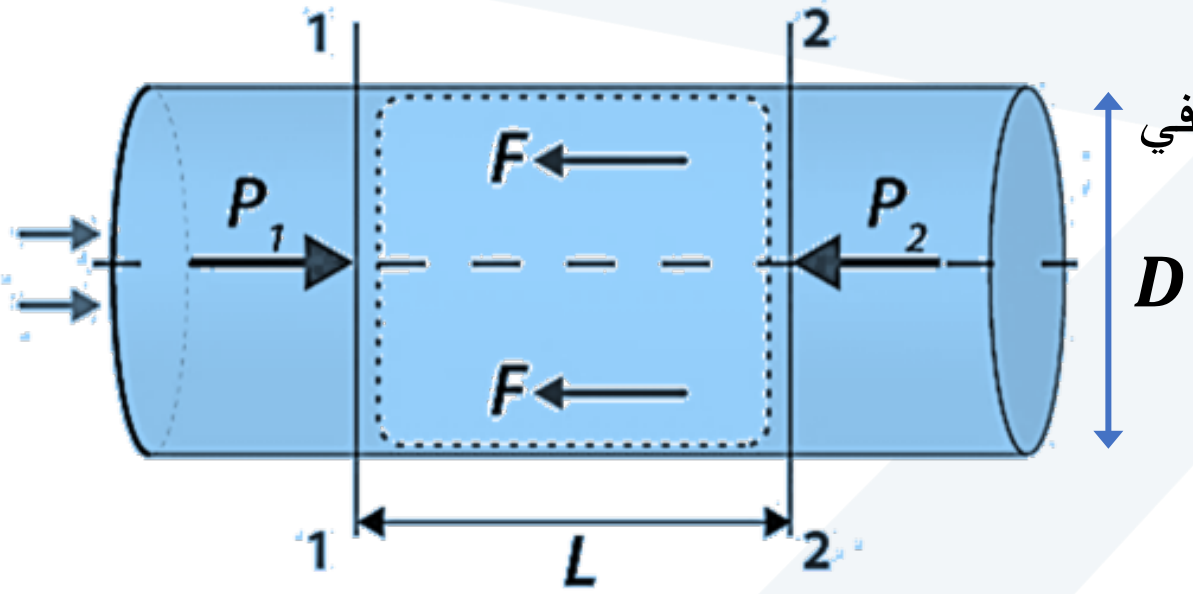
بالعودة إلى تمثيل معادلة برنزللي التي تعبر عن الطاقة التي تحملها كل جزيئة ماء اثناء جريانها (أو يحملها مقطع التيار عند الحديث عن القيم الوسطية للجريان)، نلاحظ أن هذه الحد Δh الذي تمت إضافته للمعادلة حتى تصبح صحيحة من أجل الموائع الحقيقية

إن وجود الحد Δh في معادلة برنوللي يعود بشكل أساسي إلى ما نسميه المقاومات الهيدروليكية

Hydraulic resistance

المقاومات الهيدروليكية

العلاقة العامة لتحديد ضياع الطاقة Δh

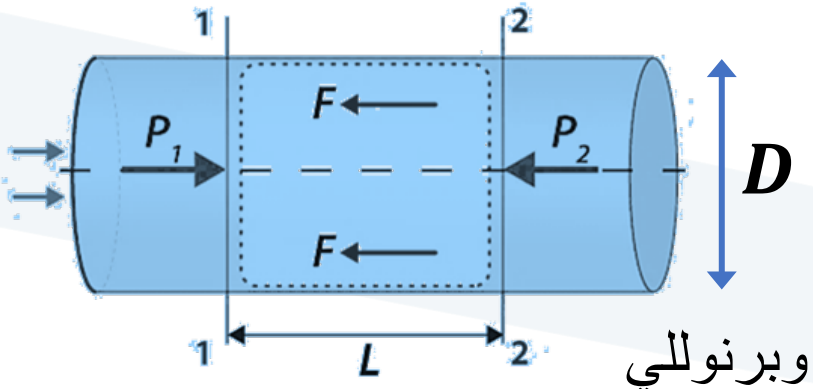


تعتبر معادلة دارسي – ويسباخ ***darcy-weisbach*** المعادلة الرئيسية لإيجاد قيمة الضياعات الهيدروليكية في الجريانات سواء كانت المكشوفة ذات السطح الحر أو المضغوطة في الأنابيب الدائرية.

معادلة دارسي – ويسباخ

$$\Delta h = \lambda \times \frac{L}{D} \times \frac{V^2}{2.g}$$

المقاومات الهيدروليكية



العلاقة العامة لتحديد ضياع الطاقة Δh

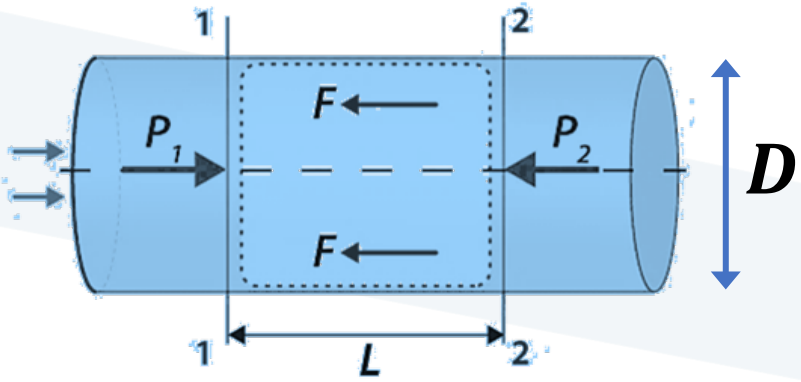
نعتمد في استنتاج معادلة دارسي على معادلتين أساسيتين هما كمية الحركة وبرنوللي مع الأخذ بعين الاعتبار الفرضيات التالية:

- الحركة منتظمة: هذا يعني أن السرعة ثابتة في جميع مقاطع الأنبوب، ومحصلة القوى المؤثرة على حركة الماء معدومة.
- مقطع الأنبوب ثابت قطره D

نطبق معادلة كمية الحركة على الجزء من التيار المحصور بين المقطعين 1 و 2
حيث القوى المؤثرة على هذا الجزء تتمثل بالضغوط الهيدوستاتيكية على جانبي الجزء $(P_1 \ \& \ P_2)$، وقوى الاحتكاك بين السائل وجدران الأنبوب (F_f).
قوى الاحتكاك هي حاصل جداء إجهاد الاحتكاك P_1 بالمساحة التي يحصل فيها الاحتكاك، أي المساحة الداخلية لجدران الأنبوب بين المقطعين 1 و 2 (على الطول L).

المقاومات الهيدروليكية

العلاقة العامة لتحديد ضياع الطاقة Δh



نطبق معادلة كمية الحركة على الجزء من التيار المحصور

$$\sum \vec{F} = 0$$

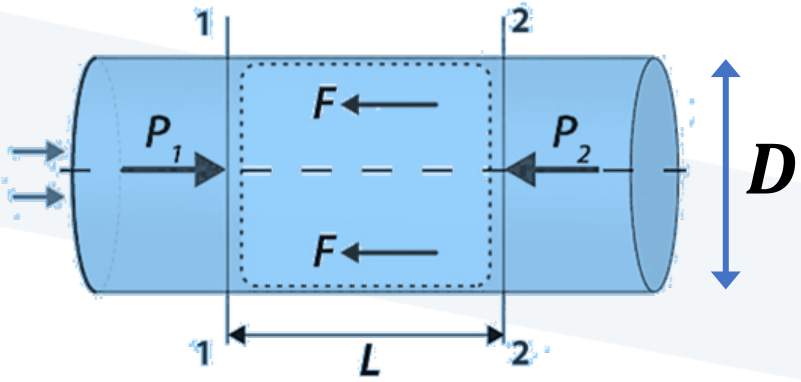
$$P_1 - P_2 - F_f = 0$$

$$(P_1 - P_2) = F_f$$

$$F_f = \tau \times \pi \times D \times L$$

$$\tau = \frac{C_d \times \rho \times V^2}{2} \Longrightarrow F_f = \frac{C_d \times \rho \times V^2}{2} \times \pi \times D \times L = P_1 - P_2 \qquad (1)$$

المقاومات الهيدروليكية



العلاقة العامة لتحديد ضياع الطاقة Δh

نطبق معادلة كمية الحركة على الجزء من التيار المحصور

$$\frac{p_1}{\rho.g} + z_1 + \frac{V_1^2}{2.g} = \frac{p_2}{\rho.g} + z_2 + \frac{V_2^2}{2.g} + \Delta h$$

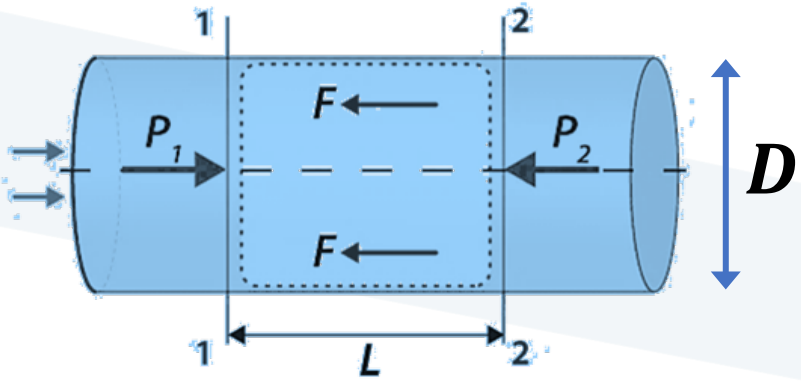
$$V_1 = V_2 = V \quad \& \quad z_1 = z_2$$

$$\frac{p_1}{\rho.g} + \cancel{z_1} + \cancel{\frac{V_1^2}{2.g}} = \frac{p_2}{\rho.g} + \cancel{z_2} + \cancel{\frac{V_2^2}{2.g}} + \Delta h$$

$$\frac{p_1}{\rho.g} - \frac{p_2}{\rho.g} = \Delta h \Longrightarrow (p_1 - p_2) = \rho.g.\Delta h$$

المقاومات الهيدروليكية

العلاقة العامة لتحديد ضياع الطاقة Δh



لنتذكر أن قوة الضغط هي إجهاد الضغط بمساحة مقطع الأنبوب:

$$P_1 = p_1 \times A \Longrightarrow (p_1 - p_2) \times A = P_1 - P_2 \Longrightarrow (p_1 - p_2) = \frac{P_1 - P_2}{A}$$

$$P_1 - P_2 = \rho . g . \Delta h \times A$$

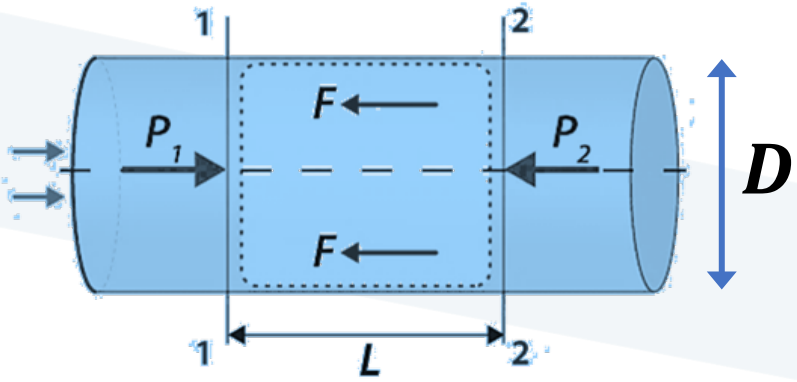
نعوض في المعادلة (1)

$$F_f = \frac{C_d \times \rho \times V^2}{2} \times \pi \times D \times L = P_1 - P_2 = \rho . g . \Delta h \times A$$

$$\frac{C_d \times \rho \times V^2}{2} \times \pi \times D \times L = \rho . g . \Delta h \times A$$

المقاومات الهيدروليكية

العلاقة العامة لتحديد ضياع الطاقة Δh



$$\frac{C_d \times \rho \times V^2}{2 \times \rho . g . \times A} \times \pi \times D \times L = \Delta h$$

لنتذكر أن مساحة مقطع الأنبوب الدائري $A = \pi . \frac{D^2}{4}$

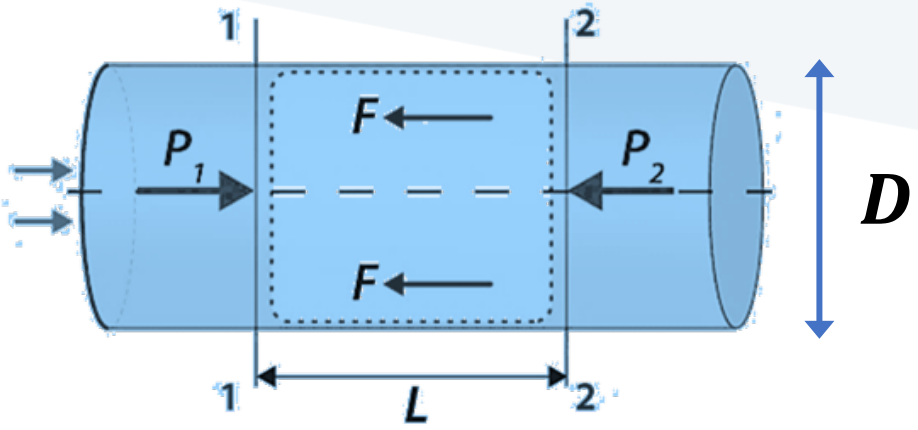
$$\Delta h = \frac{C_d \times \rho \times V^2}{2 \times \rho . g . \times \pi . \frac{D^2}{4}} \times \pi \times D \times L$$

وهكذا نصل إلى الشكل النهائي لمعادلة دارسي – ويسباخ المعروفة لحساب المقاومان الهيدروليكية

$$\Delta h = \frac{4 \times C_d \times V^2}{2 \times g \times D} \times L = 4C_d \times \frac{L}{D} \times \frac{V^2}{2g} = \lambda \times \frac{L}{D} \times \frac{V^2}{2.g}$$

المقاومات الهيدروليكية

العلاقة العامة لتحديد ضياع الطاقة Δh



حيثيات معادلة دارسي- ويسباخ

Δh – الضياعات الهيدروليكية بين المقطعين 1 و 2

λ – عامل المقاومة الهيدروليكية

L – طول الجريان بين المقطعين 1 و 2

D – قطر الأنبوب (في حالة الجريان المكشوف تستبدل بنصف القطر الهيدروليكي R

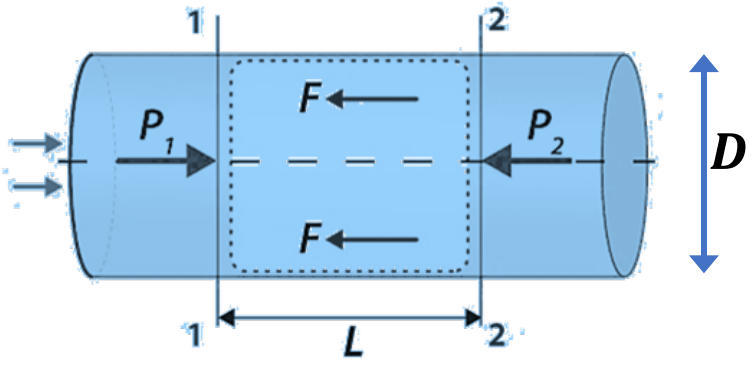
V – السرعة الوسطية للجريان

g – تسارع الجاذبية الأرضية

$$\Delta h = \lambda \times \frac{L}{D} \times \frac{V^2}{2.g}$$

المقاومات الهيدروليكية

العلاقة العامة لتحديد ضياع الطاقة Δh

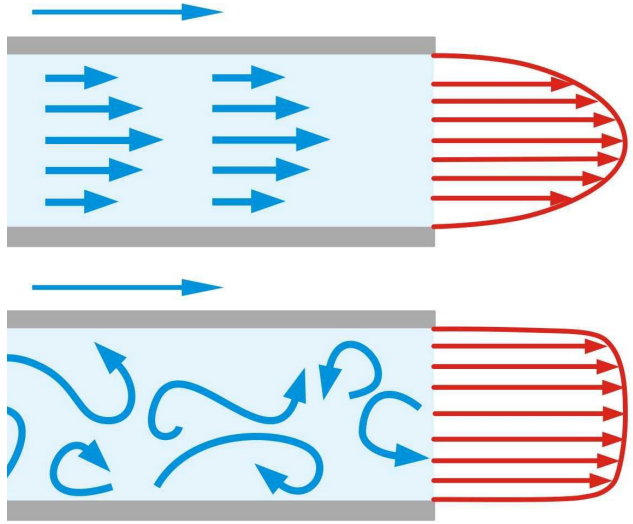


في هذه العلاقة تستخدم القيمة الوسطية لسرعة الجريان في المقطع والتي تستنتج مباشرة من علاقة الاستمرار

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{4 \times Q}{\pi D^2}$$

هذا يعني أن التطبيق الناجح والصحيح لعلاقة دارسي-ويسباخ يكمن في إيجاد القيمة الصحيحة لعامل المقاومة الهيدروليكية

المقاومات الهيدروليكية



إن التحديد الصحيح لقيمة عامل المقاومة الهيدروليكية يرتبط بشكل مباشر بتحديد نظام الجريان في الوسط.
حيث تختلف مخططات توزع السرع كما رأينا سابقاً بين الجريانات الثلاث (صفحي – انتقالي – مضطرب) وهذا الاختلاف ينعكس على استنتاج العلاقة المناسبة لقيمة λ

المقاومات الهيدروليكية

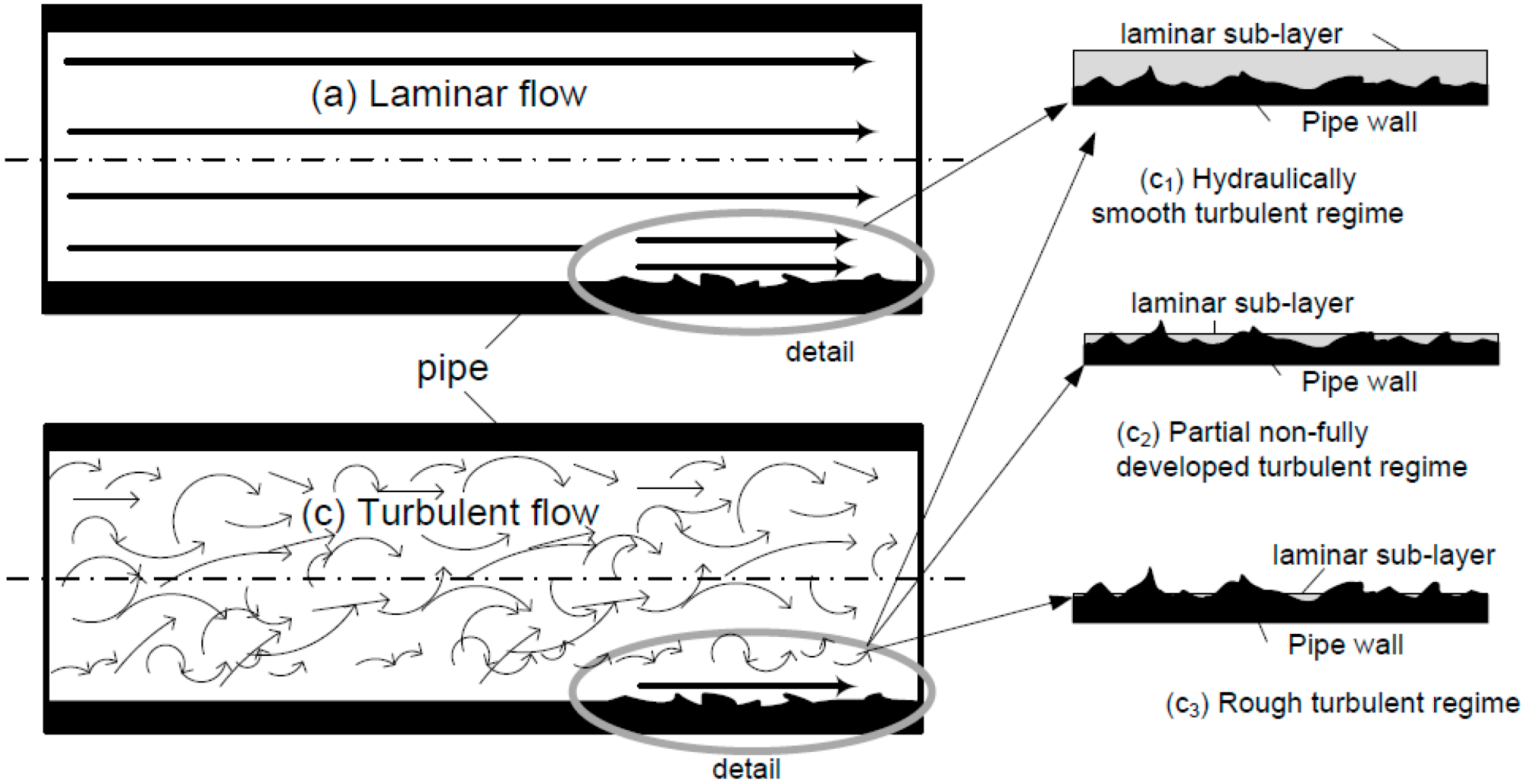
تجربة العالم نيكورادزه

أجرى العالم نيكورادزه عدد كبير من التجارب على مجموعة كبيرة من الأنابيب بأقطار مختلفة وخشونة داخلية مختلفة.

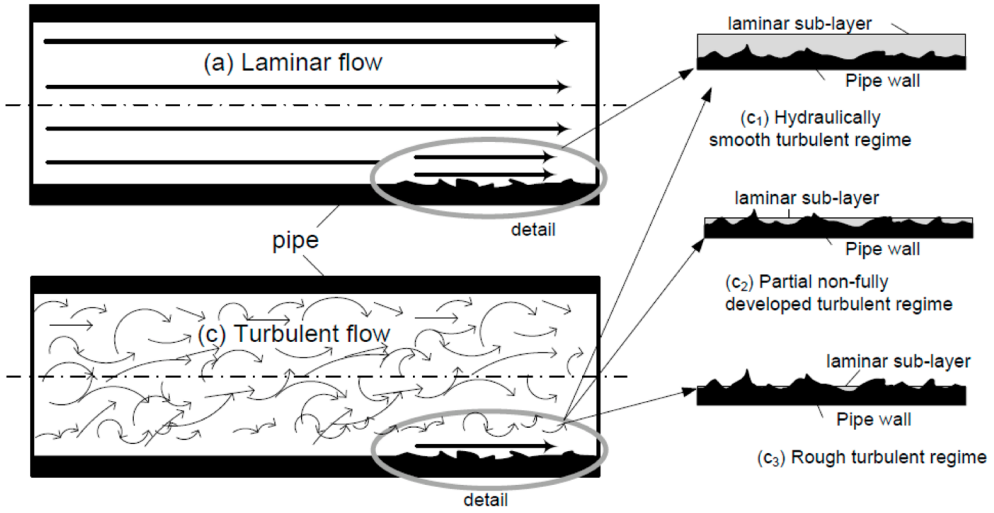
الخشونة الداخلية للأنابيب تم تغييرها من قبل العالم نيكورادزه بتبطين الحدران بطبقة من الرمل ذو قياسات مختلفة (قطر حبة الرمل) مما مكنه من الحصول على مجال واسع لتغير ما يسمى (الخشونة النسبية) وهي نسبة ارتفاع الخشونة الداخلية لجدار الأنبوب ε إلى قطر الأنبوب D

وبالتالي تكون الخشونة النسبية للجدار الداخلي للأنبوب $\frac{\varepsilon}{D}$

المقاومات الهيدروليكية

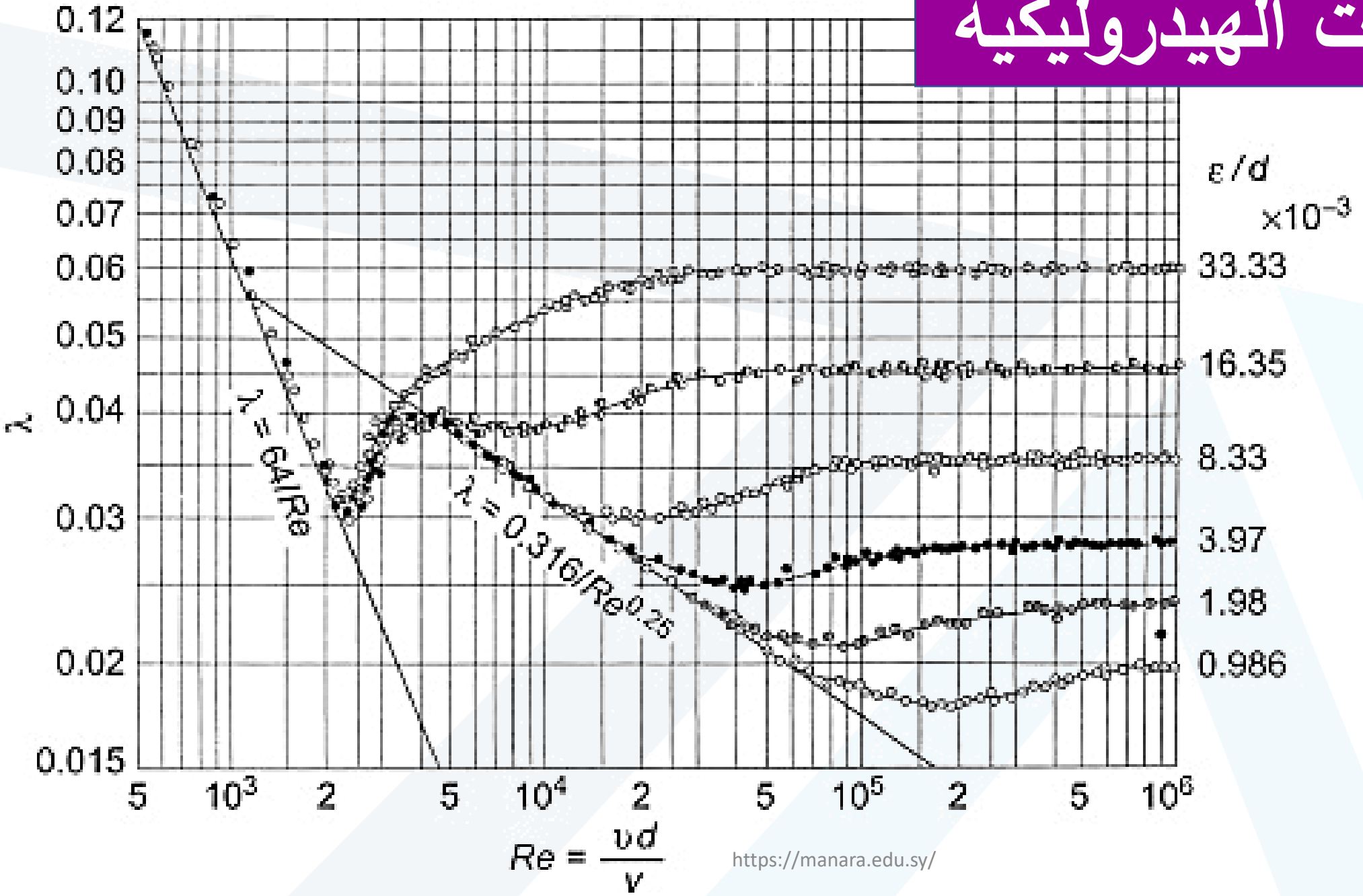


المقاومات الهيدروليكية

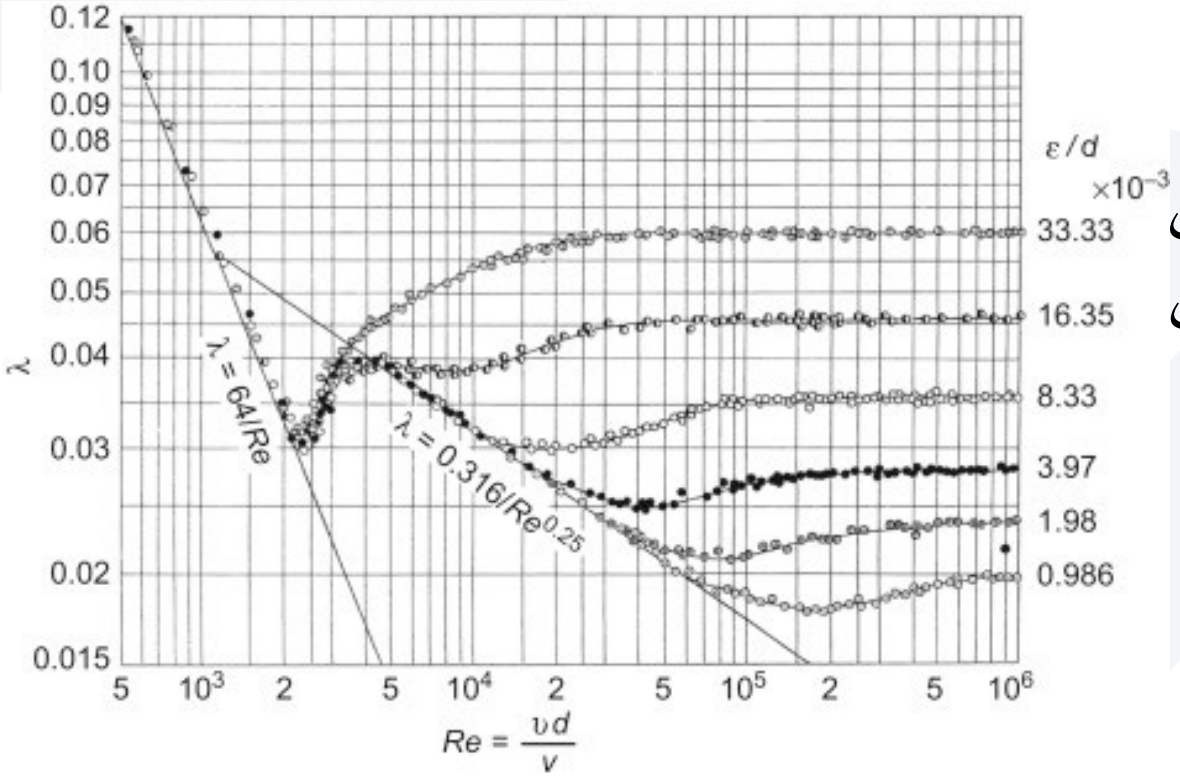


تلخصت تجارب نيكورادزه بتمرير جريانات (الماء) في الأنابيب بغزارات مختلفة وبأقطار مختلفة وبقيم مختلفة للخشونة النسبية $\frac{\varepsilon}{D}$ مما سمح له برسم العلاقة بين تغيرات قيمة عامل المقاومة الهيدروليكية $\boldsymbol{\lambda}$ وبين تغيرات قيم رقم رينولدس $\boldsymbol{Re = \frac{V.D}{\nu}}$

المقاومات الهيدروليكية



المقاومات الهيدروليكية



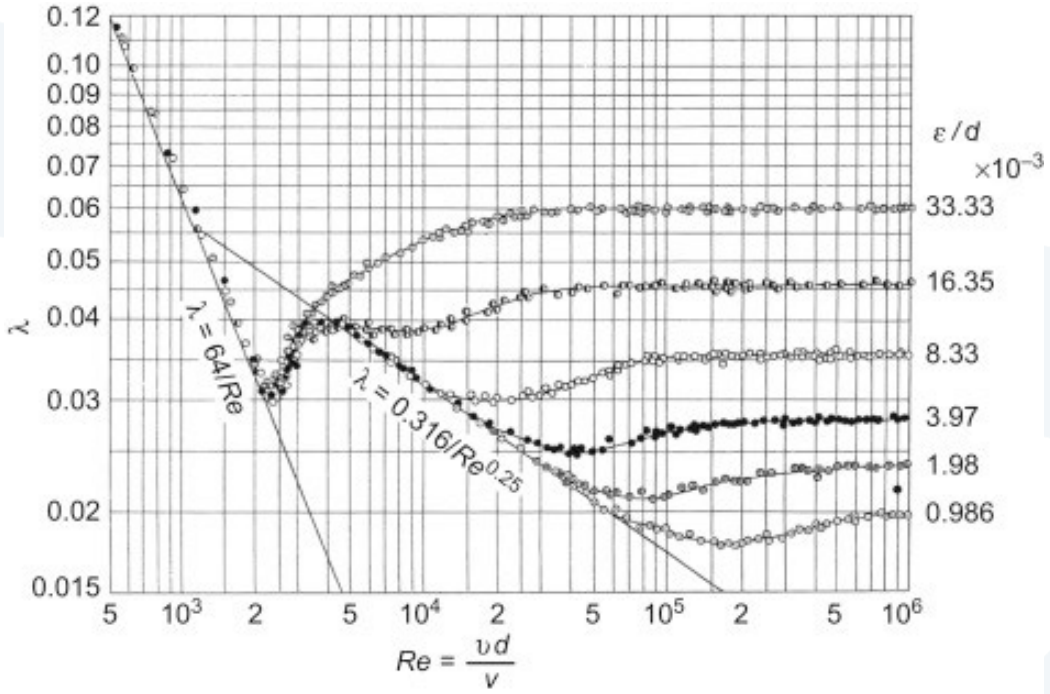
تجربة العالم نيكورادزه

أوضحت تجارب نيكورادزه تأثير نظام الجريان على تشكيل معادلة المقاومة الهيدروليكية لجريان الماء في الأنابيب والأقنية المكشوفة.

عند القيم الصغيرة للسرعة تكون قيم رقم رينولدس صغيرة ويكون الجريان صفحياً، في هذه الحالة فإن عامل المقاومة الهيدروليكية λ يحسب من علاقة بوازيل (هي علاقة مستنتجة بشكل نظري كامل من تطبيق معادلات كمية الحركة بين مقطعين)

$$\lambda = \frac{64}{Re}$$

المقاومات الهيدروليكية



تجربة العالم نيكورادزه

أوضحت تجارب نيكورادزه تأثير نظام الجريان على تشكيل معادلة المقاومة الهيدروليكية لجريان الماء في الأنابيب والأقنية المكشوفة.

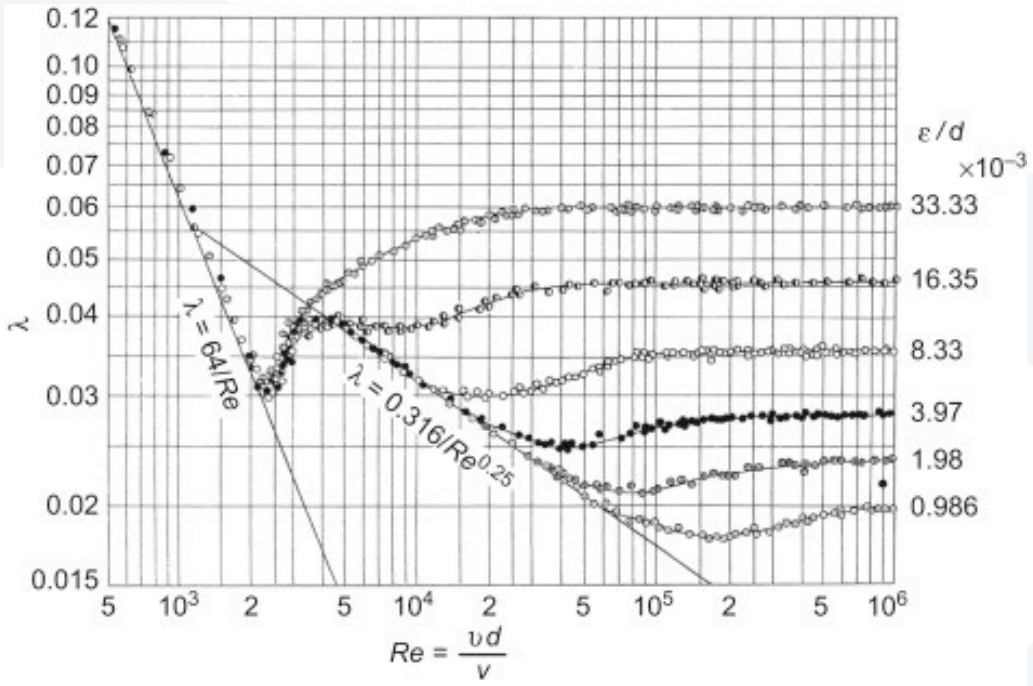
عند القيم الكبيرة للسرعة يتحول نظام الجريان إلى المضطرب مروراً بما يسمى المنطقة الانتقالية.

في منطقة الجريان المضطرب لا يعود للزوجة السائل تأثير على قيمة المقاومة الهيدروليكية حيث يتضح من المخطط أن قيمة $\boldsymbol{\lambda}$ تبقى ثابتة مهما ازدادت قيمة رقم رينولدس. في حين تلعب قيمة الخشونة النسبية $\frac{\varepsilon}{D}$ الدور الرئيسي في تغير قيمة عامل المقاومة الهيدروليكية.

في هذه الحالة تحسب المقاومة الهيدروليكية من علاقة شيفرنسون Shifrinson

$$\boldsymbol{\lambda = 0.11\left(\frac{\varepsilon}{D}\right)^{0.25}}$$

المقاومات الهيدروليكية



تجربة العالم نيكورادزه

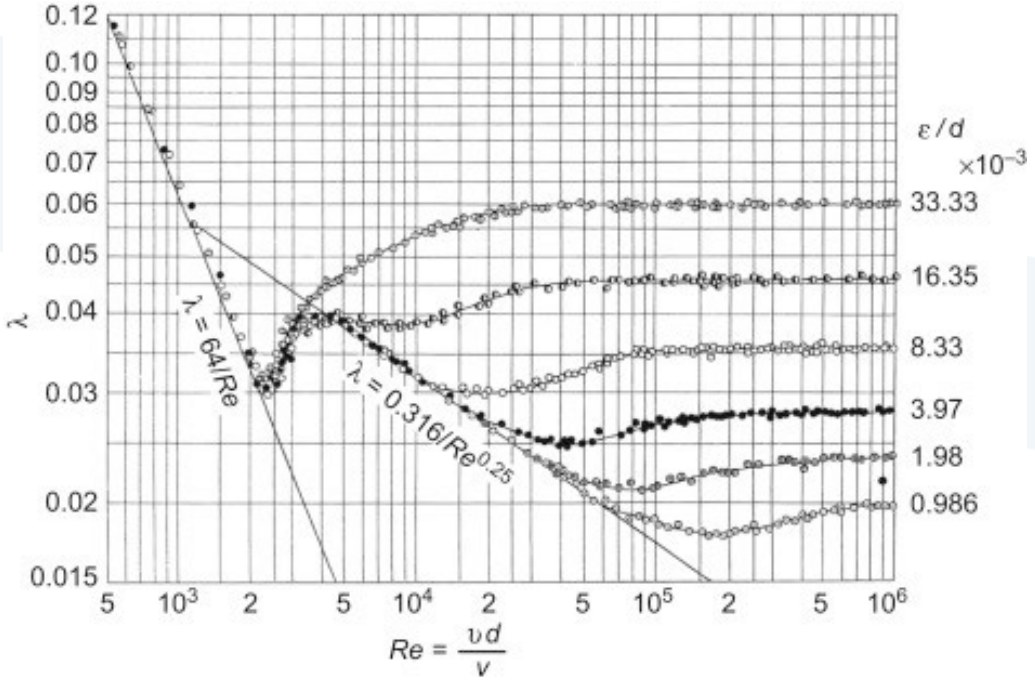
في المنطقة الانتقالية يكون لكل من لزوجة السائل $\boldsymbol{\nu}$ والخشونة النسبية لجدران الأنبوب $\frac{\varepsilon}{D}$ تأثيراً متكافئاً (لهما نفس الشدة) مما يجعل حساب $\boldsymbol{\lambda}$ أكثر تعقيداً من الحالتين السابقتين.

$$\lambda = f\left(\mathrm{Re}, {}^{k}/_{d}\right)$$

لأن غالبية الجريانات في الطبيعة (سواء كانت في الأنابيب أو في الأقنية المكشوفة) تحدث ضمن النظام الانتقالي، انصبت جهود العلماء على إيجاد المعادلات المناسبة لحساب قيمة $\boldsymbol{\lambda}$ في المنطقة الانتقالية. من هذه المعادلات يمكن أن نسنخدم بنجاح معادلة ألتشول المعممة. ميزة هذه المعادلة أنها تصلح للتطبيق في أنظمة الجريان الثلاثة (صفحي – انتقالي – مضطرب)

$$\boldsymbol{\lambda = 0.11\left(\frac{\varepsilon}{D} + \frac{68}{Re}\right)^{0.25}}$$

المقاومات الهيدروليكية



بعض القيم المعروفة لخشونة الجدران الداخلية للأنابيب ε .

$$\lambda = 0.11\left(\frac{\varepsilon}{D} + \frac{68}{Re}\right)^{0.25}$$

PIPING MATERIAL	ROUGHNESS ε *mm*
Cast iron	0.26
Commercial steel and wrought iron	0.045
Concrete	0.3-3.0
Drawn tubing	0.0015
Galvanized iron	0.15
Plastic,(and glass)	0.0 (smooth)
Riveted steel	0.9-9.0

https://manara.edu.sy/

المقاومات الهيدروليكية الموضعية

Local (or Minor) Hydraulic Losses

$$h_l = \zeta \frac{V^2}{2g}$$

تحدث الضياعات الموضعية في الأنابيب عندما يحدث تغير في مساحة المقطع (تزايد أو تناقص مساحة المقطع)، أو تغير فجائي في اتجاه الحركة (الأكواع والانحناءات)، كما يحدث عند مرور الجريان عبر أحد التجهيزات المركبة على الشبكة (عدادات غزارة، مقاييس ضغط، صمامات، ...). نسمي هذا النوع من الضياعات **بالموضعية أو الثانوية** h_l .

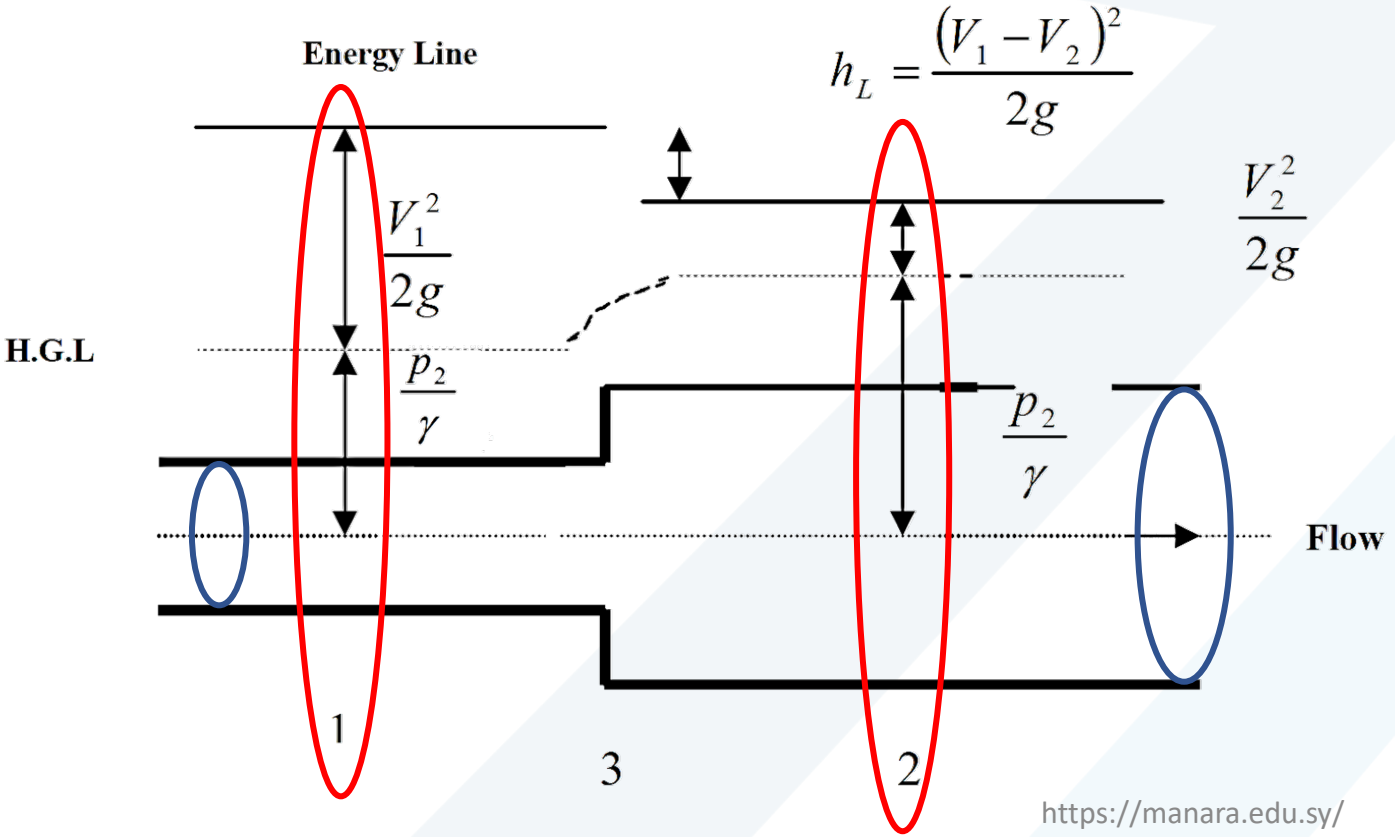
بما أن الضياعات الموضعية تحدث بسبب تغير اتجاه وقيمة شعاع السرعة، فإن مقدار هذه الضياعات يتعلق مباشرة (بشكل متناسب) مع ضاغط السرعة وفق المعادلة التالية:

حيث ζ عامل المقاومة الهيدروليكية الموضعي

المقاومات الهيدروليكية الموضعية

Local (or Minor) Hydraulic Losses

الضياعات الموضعية في حالة التوسع المفاجئ:

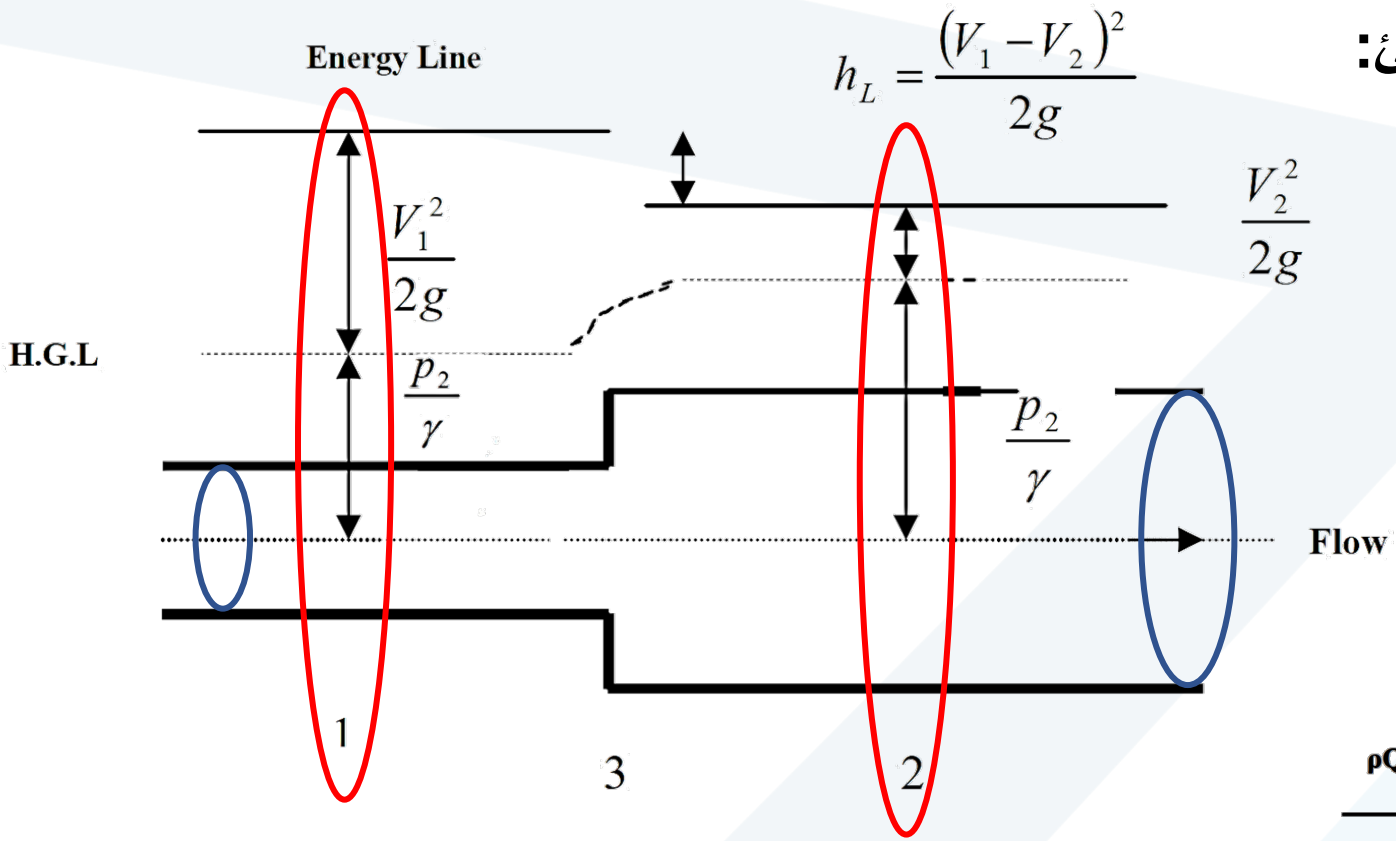


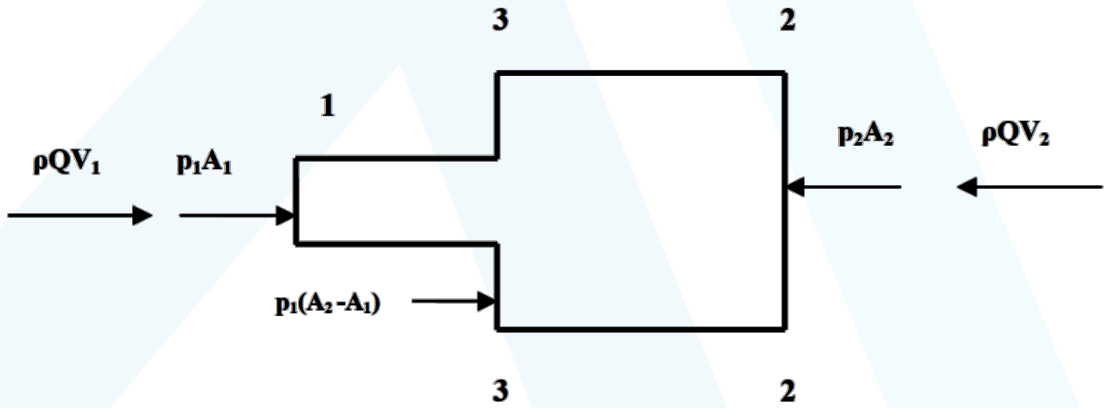
عند مرور الجريان خلال توسع مفاجئ لمساحة مقطعه ينجم عنه ضياع موضعي ناتج عن محصلة القوى المؤثرة على كتلة السائل المحصورة بين المقطعين 1 و 2 (قبل وبعد حدوث التغير).

https://manara.edu.sy/

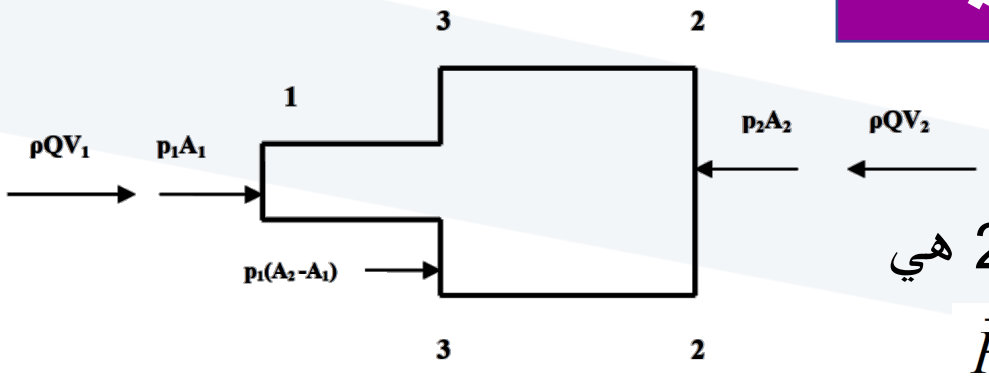
المقاومات الهيدروليكية الموضعية

الضياعات الموضعية في حالة التوسع المفاجئ:





المقاومات الهيدروليكية الموضعية



الضياعات الموضعية في حالة التوسع المفاجئ:

جملة القوى المؤثرة على الكتلة المحصورة بين المقطعين 1 و 2 هي

a) قوة الضغط الستاتيكي على المقطع 1-1 $\vec{F}_1 = p_1 A_1$

b) قوة الضغط الستاتيكي على المقطع 2-2 $\vec{F}_2 = p_2 A_2$

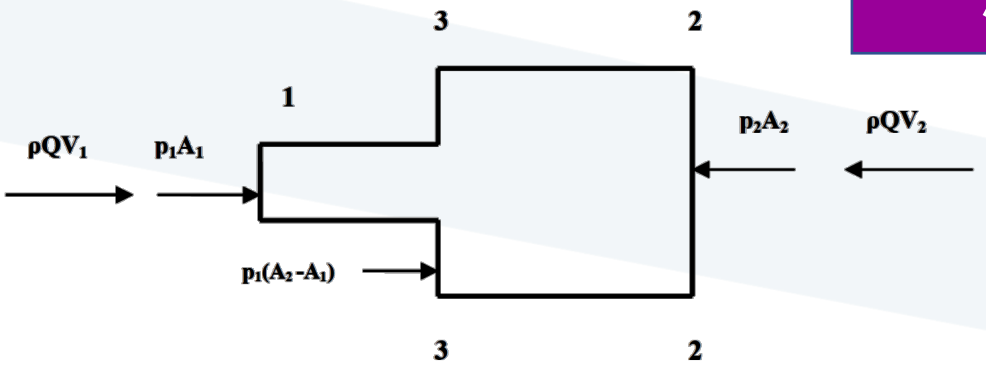
c) قوة الضغط الستاتيكي على المقطع 3-3 $\vec{F}_3 = p_3 (A_2 - A_1)$

أثبتت التجارب أن $p_3 = p_1$, $\vec{F}_3 = p_1 (A_2 - A_1)$

d) قوة العزم (كمية الحركة) في المقطع 1-1 $\vec{M}_1 = \rho Q V_1$

e) قوة العزم (كمية الحركة) في المقطع 2-2 $\vec{M}_2 = \rho Q V_2$

المقاومات الهيدروليكية الموضعية



الضياعات الموضعية في حالة التوسع المفاجئ:

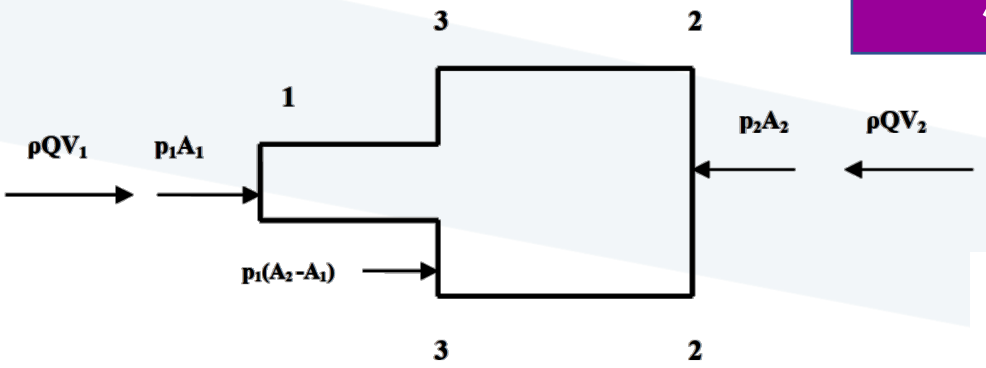
$$\rho Q V_1 + p_1 A_1 + p_1 (A_2 - A_1) - p_2 A_2 - \rho Q V_2 = 0$$

$$(p_1 - p_2) A_2 = \rho Q (V_2 - V_1)$$

$$\rho = \frac{\gamma}{g}$$

$$\frac{p_1 - p_2}{\gamma} = \frac{Q}{g A_2} (V_2 - V_1)$$

المقاومات الهيدروليكية الموضعية



الضياعات الموضعية في حالة التوسع المفاجئ:

نستعين بمعادلة الاستمرار:

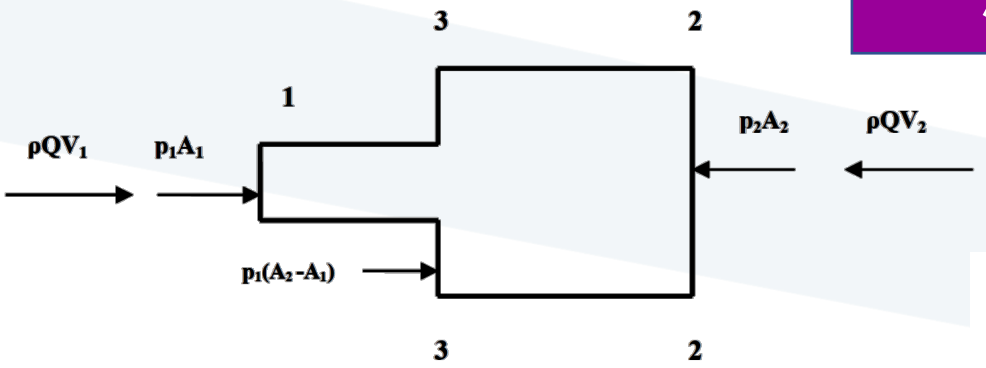
$$Q = V_1 A_1 = V_2 A_2$$

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

$$\frac{p_1 - p_2}{\gamma} = \frac{1}{gA_2}\left(V_1 A_1 V_1 \frac{A_1}{A_2} - V_1 A_1 V_1 \right)$$

$$\frac{p_1 - p_2}{\gamma} = \frac{V_1^2}{g}\left[\left(\frac{A_1}{A_2} \right)^2 - \frac{A_1}{A_2} \right]$$

المقاومات الهيدروليكية الموضعية



الضياعات الموضعية في حالة التوسع المفاجئ:

نستعين بمعادلة الاستمرار:

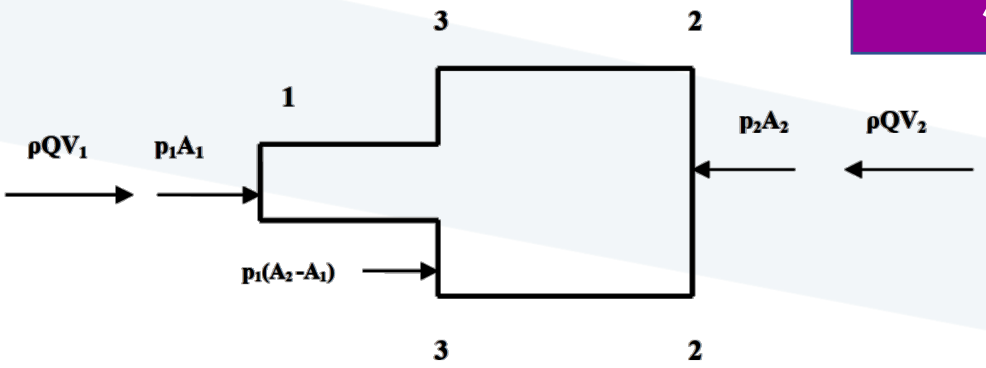
$$Q = V_1 A_1 = V_2 A_2$$

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

$$\frac{p_1 - p_2}{\gamma} = \frac{1}{gA_2}\left(V_1 A_1 V_1 \frac{A_1}{A_2} - V_1 A_1 V_1 \right)$$

$$\frac{p_1 - p_2}{\gamma} = \frac{V_1^2}{g}\left[\left(\frac{A_1}{A_2} \right)^2 - \frac{A_1}{A_2} \right]$$

المقاومات الهيدروليكية الموضعية



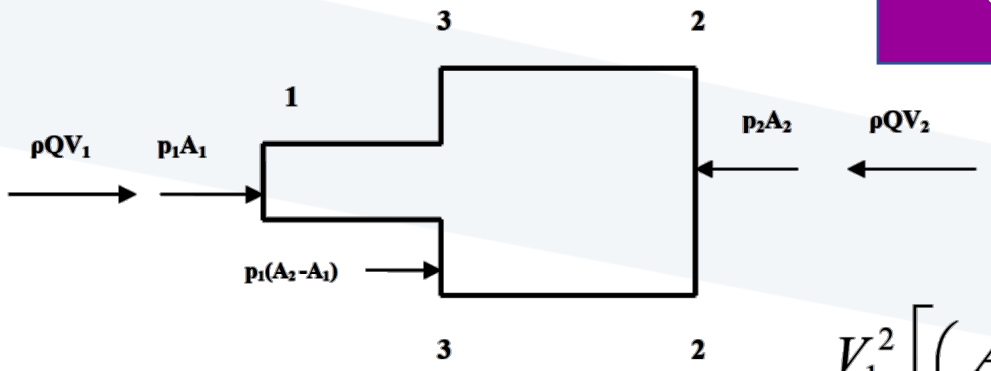
الضياعات الموضعية في حالة التوسع المفاجئ:

بتطبيق معادلة برنوللي بين المقطعين 1 و 2

$$\frac{p_1}{\gamma}+\frac{V_1^2}{2g}=\frac{p_2}{\gamma}+\frac{V_2^2}{2g}+h_L$$

$$\frac{p_1-p_2}{\gamma}=\frac{V_2^2}{2g}-\frac{V_1^2}{2g}+h_L$$

المقاومات الهيدروليكية الموضعية



الضياعات الموضعية في حالة التوسع المفاجئ:

بتعويض ناتج معادلة توازن القوى (كمية الحركة) في معادلة برنوللي:

$$\frac{V_1^2}{2g}\left[\left(\frac{A_1}{A_2}\right)^2-\frac{A_1}{A_2}\right]=\frac{V_2^2}{2g}-\frac{V_1^2}{2g}+h_L$$

$$V_1A_1=V_2A_2\rightarrow\frac{A_1}{A_2}=\frac{V_2}{V_1}$$

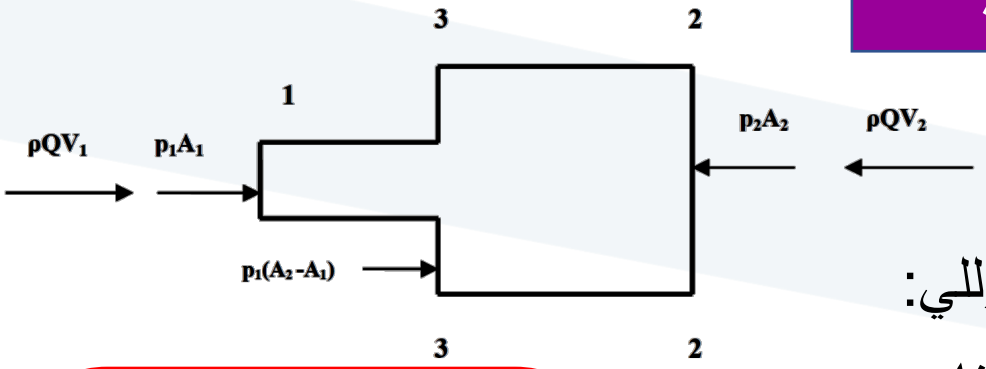
$$h_L=\frac{V_1^2}{2g}-\frac{V_2^2}{2g}+\frac{V_1^2}{g}\left[\left(\frac{V_2}{V_1}\right)^2-\frac{V_2}{V_1}\right]$$

$$h_L=\frac{V_1^2}{2g}-\frac{V_2^2}{2g}+\frac{V_2^2}{g}-\frac{V_1V_2}{g}$$

$$h_L=\frac{V_1^2}{2g}-\frac{V_1V_2}{g}+\frac{V_2^2}{2g}$$

https://manara.edu.sy/

المقاومات الهيدروليكية الموضعية



الضياعات الموضعية في حالة التوسع المفاجئ:

بتعويض ناتج معادلة توازن القوى (كمية الحركة) في معادلة برنوللي:

نحصل بالنتيجة على معادلة الفواقد الموضعية عند حدوث توسع مفاجئ في مقطع الجريان بين المقطعين 1 و 2

$$h_L = \frac{(V_1 - V_2)^2}{2g}$$

$$h_l = \zeta \frac{V^2}{2g}$$

ويمكن أن نحدد قيمة عامل المقاومة الهيدروليكية الموضعي ξ في هذه الحالة

$$h_L = \frac{V_1^2}{2g}\left(1 - 2\frac{V_2}{V_1} + \frac{V_2^2}{V_1^2}\right)$$

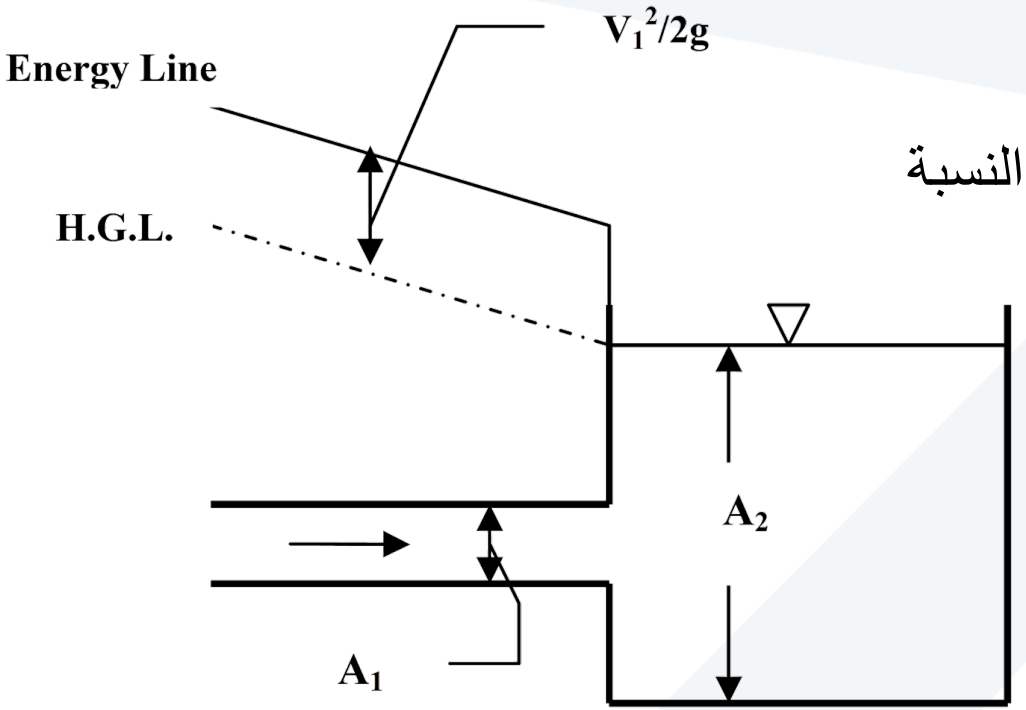
$$h_L = \frac{V_1^2}{2g}\left(1 - 2\frac{A_1}{A_2} + \frac{A_1^2}{A_2^2}\right)$$

$$h_L = \frac{V_1^2}{2g}\left(1 - \frac{A_1}{A_2}\right)^2$$

$$\xi = \left(1 - \frac{A_1}{A_2}\right)^2$$

المقاومات الهيدروليكية الموضعية

الضياعات الموضعية في حالة التوسع المفاجئ:



حالة خاصة: خروج الماء من الأنبوب على خزان:

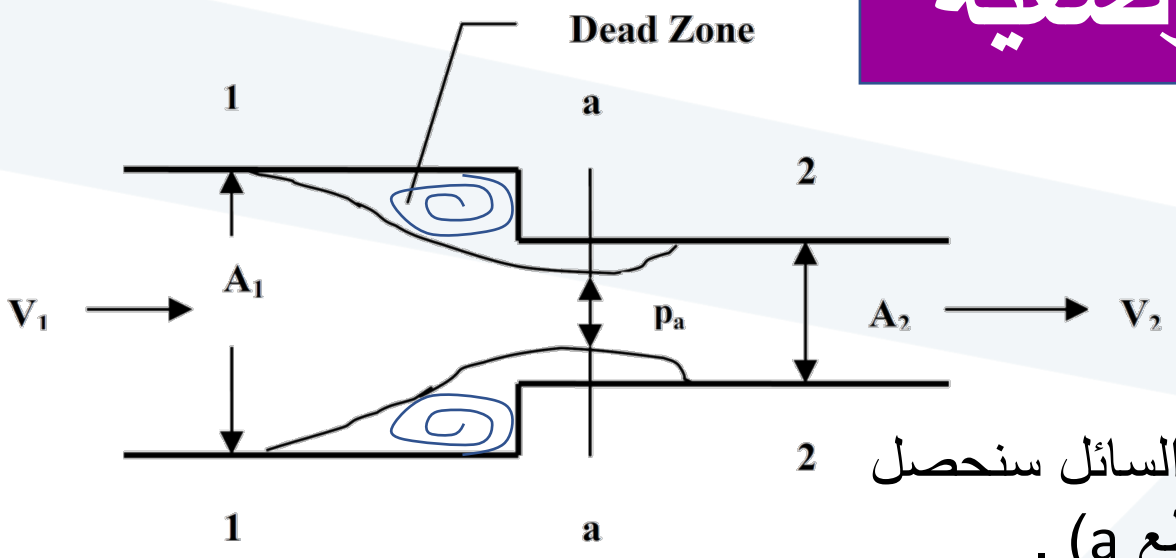
يعتبر مقطع الخروج إلى الخزان A_2 كبير جداً وبالتالي تتناهى النسبة بين مقطعي التيار ضمن الأنبوب والخزان $\frac{A_1}{A_2}$ إلى الصفر:

وتصبح قيمة عامل المقاومة الهيدروليكية الموضعي $\zeta = 1$

$$h_L = \frac{V_1^2}{2g}$$

المقاومات الهيدروليكية الموضعية

الضياعات الموضعية في حالة التضايق المفاجئ:

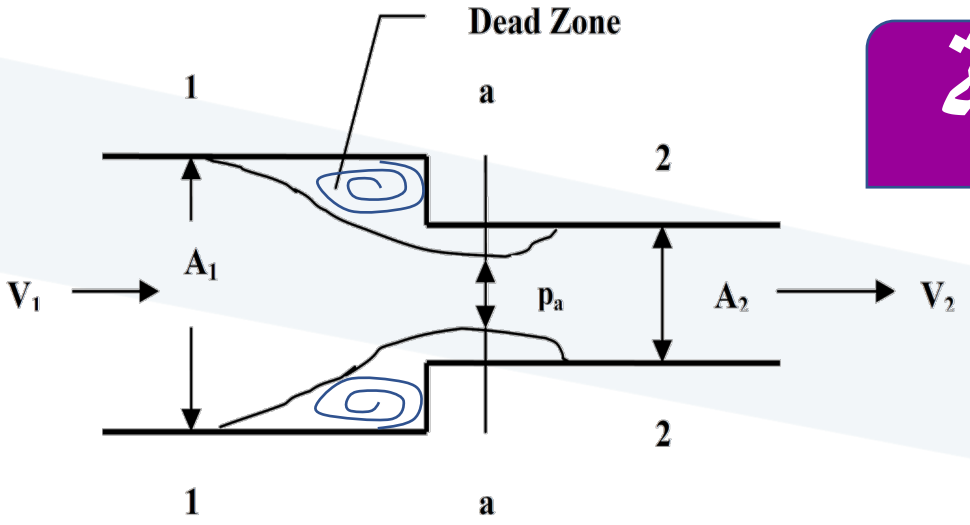


في حالة التضايق المفاجئ لمقطع الأنبوب وبسبب لزوجة السائل سنحصل على مقطع مضغوط مباشرة بعد عبور التضايق (في المقطع a) .
قطر المقطع المضغوط عملياً أصغر من قطر التضايق في المقطع 2 وبالتالي سيعود الجريان ليتوسع تدريجياً ويشغل كامل حيز الأنبوب في المقطع 2.
قبل التضايق مباشرة ستتولد منطقة من الجريان غير الفعال (منطقة دوامات) لا تساهم في الجريان عملياً.
عن طريق تطبيق معادلة كمية الحركة بين المقاطع 1 و a سنحصل على معادلة الفواقد الموضعية بشكلها المبين:

$$h_L = \frac{(V_C - V_2)^2}{2g}$$

$$h_L = \left(\frac{A_2}{A_C} - 1\right)^2 \frac{V_2^2}{2g}$$

المقاومات الهيدروليكية الموضعية



الضياعات الموضعية في حالة التضايق المفاجئ:

ويمكن بالتالي تعريف عامل التضايق (النسبة بين مساحة المقطع المضغوط a وبين مساحة مقطع الأنبوب في 2

$$C_C = \frac{A_C}{A_2} = \textbf{Coefficient of contraction}$$

الضياعات الموضعية عند المرور بتضايق مفاجئ:

$$h_L = \xi \frac{V_2^2}{2g}$$

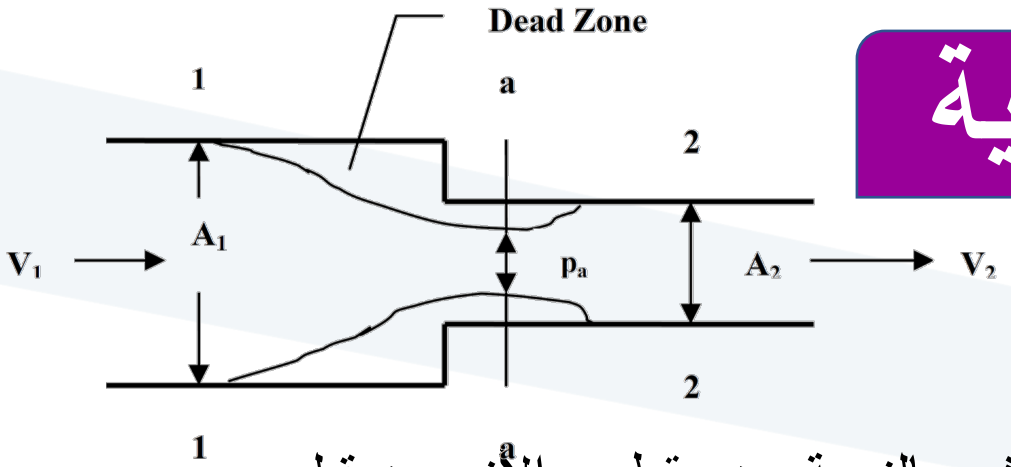
عامل المقاومة الهيدروليكية الموضعي

$$\xi = \left(\frac{1}{C_C} - 1\right)^2$$

$$h_L = \frac{(V_C - V_2)^2}{2g}$$

$$h_L = \left(\frac{A_2}{A_C} - 1\right)^2 \frac{V_2^2}{2g}$$

المقاومات الهيدروليكية الموضعية



الضياعات الموضعية في حالة التضايق المفاجئ:

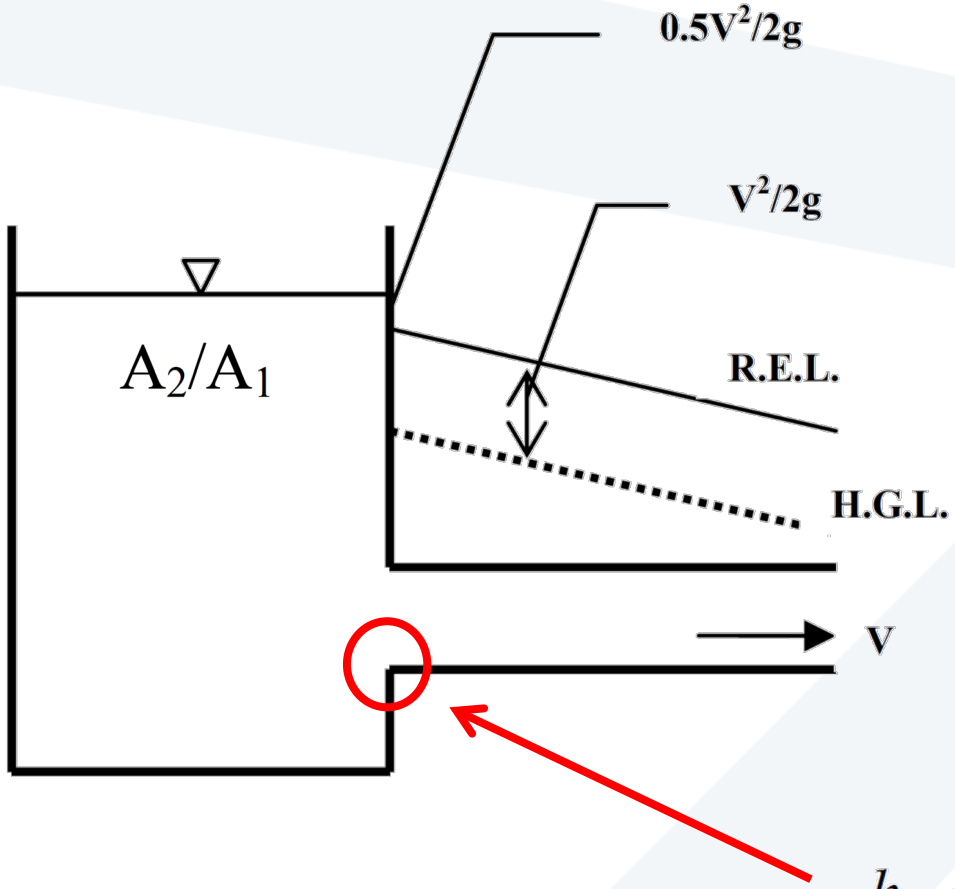
قيمة عامل التضايق وعامل المقاومة الموضعي تتعلق بشكل مباشر بالنسبة بين مقطعي الأنبوبين قبل وبعد التضايق (المقطعين 1 و 2) A_2/A_1

من خلال التجارب الكخبرية يمكن اقتراح الجدول التالي لتغير قيم هذين العاملين مع تغير النسبة

A_2/A_1	0	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90	1.00
C_C	0.62	0.62	0.63	0.64	0.66	0.68	0.71	0.76	0.81	0.89	1.00
ζ	0.50	0.46	0.41	0.36	0.30	0.24	0.18	0.12	0.06	0.02	0

المقاومات الهيدروليكية الموضعية

الضياعات الموضعية في حالة التضايق المفاجئ:



حالة خاصة:

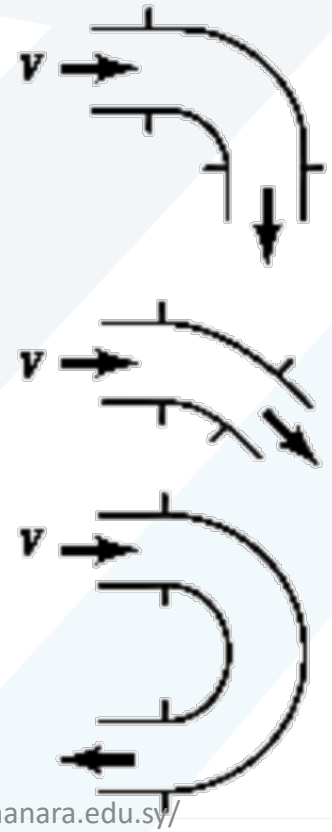
مخرج الأنبوب من خزان: في هذه الحالة تتعلق قيمة عامل المقاومة الموضعي بشكل المخرج ومدى انسيابيته.

من أجل أنبوب ذي حواف مستقيمة نحصل على:

$$h_L = 0.5\frac{V^2}{2g}$$

المقاومات الهيدروليكية الموضعية

Component	ζ
a. Elbows	
Regular 90°, flanged	0.3
Regular 90°, threaded	1.5
Long radius 90°, flanged	0.2
Long radius 90°, threaded	0.7
Long radius 45°, flanged	0.2
Regular 45°, threaded	0.4
b. 180° return bends	
180° return bend, flanged	0.2
180° return bend, threaded	1.5

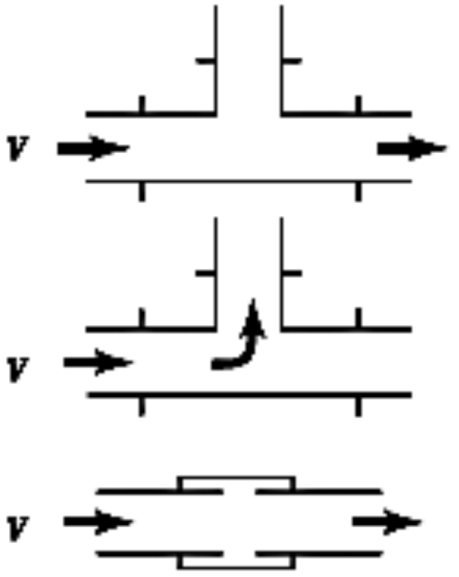


كما ذكرنا سابقاً فإن الضياعات الموضعية تحدث عند أي تغير في اتجاه وقيمة شعاع السرعة، وبالتالي عند تركيب القطع المختلفة على شبكة الأنابيب مثل الأكواع والصمامات وغيرها من التجهيزات سنتوقع حدوث ضياعات موضعية تختلف باختلاف الظروف الموضعية للقطع المركبة.

https://manara.edu.sy/

المقاومات الهيدروليكية الموضعية

	ζ
c. Tees	
Line flow, flanged	0.2
Line flow, threaded	0.9
Branch flow, flanged	1.0
Branch flow, threaded	2.0
d. Union, threaded	0.08



كما ذكرنا سابقاً فإن الضياعات الموضعية تحدث عند أي تغير في اتجاه وقيمة شعاع السرعة، وبالتالي عند تركيب القطع المختلفة على شبكة الأنابيب مثل الأكواع والصمامات وغيرها من التجهيزات سنتوقع حدوث ضياعات موضعية تختلف باختلاف الظروف الموضعية للقطع المركبة.

المقاومات الهيدروليكية الموضعية

كما ذكرنا سابقاً فإن الضياعات الموضعية تحدث عند أي تغير في اتجاه وقيمة شعاع السرعة، وبالتالي عند تركيب القطع المختلفة على شبكة الأنابيب مثل الأكواع والصمامات وغيرها من التجهيزات سنتوقع حدوث ضياعات موضعية تختلف باختلاف الظروف الموضعية للقطع المركبة.

	ζ
e. Valves	
Globe, fully open	10
Angle, fully open	2
Gate, fully open	0.15
Gate, $\frac{1}{4}$ closed	0.26
Gate, $\frac{1}{2}$ closed	2.1
Gate, $\frac{3}{4}$ closed	17
Swing check, forward flow	2
	∞
	0.05
Ball valve, $\frac{1}{3}$ closed	5.5
Ball valve, $\frac{2}{3}$ closed	210

المقاومات الهيدروليكية الموضعية

بعض أشكال قطع التثبيت (Pipe Fittings)
المستخدمة عادة في الشبكات

المقاومات الهيدروليكية الموضعية

بعض أشكال قطع التثبيت المعدنية (Pipe Fittings) المستخدمة عادة في الشبكات

المقاومات الهيدروليكية الموضعية

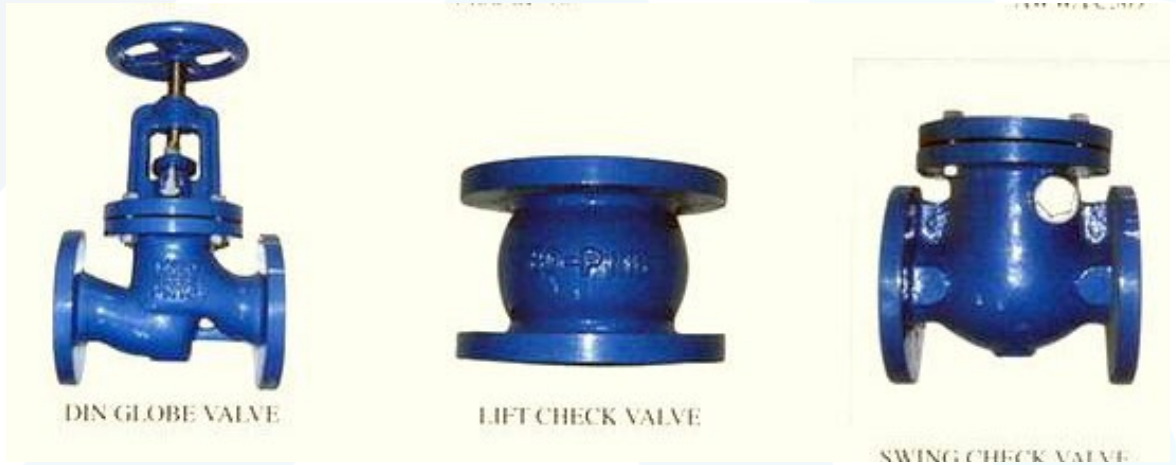
بعض أشكال قطع التثبيت من البولي إيتيلين (Pipe Fittings) المستخدمة عادة في الشبكات

المقاومات الهيدروليكية الموضعية

بعض أشكال الصمامات المعدنية

المقاومات الهيدروليكية الموضعية

بعض أشكال الصمامات المعدنية



المقاومات الهيدروليكية الموضعية

https://manara.edu.sy/

نـهايـة المـحـاضرة