عنوان المحاضرة

الأقنية المكشوفة

OPEN CHANNELS

الجريان المنتظم في الأقنية المكشوفة

تعتبر الأقنية الناقلة للمياه مكشوفة عندما يكون سطح الماء فيها معرضاً للضغط الجوي، وهذا ينطبق على المقاطع المكشوفة أو المغلقة (قساطل شبكات الصرف الصحي والمطري).

تصنيف الجريانات في الأقنية المكشوفة:

هنالك عدة تصنيفات للجريان في الأقنية المكشوفة وفق معايير مختلفة للتصنيف:

- تصنيف الجريان وفق رقم رينولدس، ويعكس هذا المعيار درجة تأثير قوى اللزوجة على الجريان $R_e = \frac{V.R}{\nu}$
  - الجريان الصفحي: حيث تكون قوى اللزوجة هي المساهم الرئيسي في تشكل الضياعات الهيدروليكية (فواقد الطاقة): $R_e < 500$ Laminar Flow
  - الجريان المضطرب: حيث تكون خشونة الجدران الداخلية للمجرى المائي هي المساهم الرئيسي في تشكل الضياعات الهيدروليكية: $R_e > 2000$ Turbulent Flow
  - الجريان الانتقالي: في هذا النظام يكون لكل من اللزوجة وخشونة الجدران لأهمية متقاربة في تشكل الضياعات الهيدروليكية: Transitional Flow $500 \leq R_e \leq 2000$
- تصنيف الجريان وفق رقم فرود: يعكس التصنيف وفق هذا المعيار تأثير قوى الثقالة على سلوك الجريان في الأقنية المكشوفة:
  - الجريان الشلّالي (فوق الحرج) Supper-critical Flow (Shooting Flow)
  - الجريان النهري (تحت الحرج) Subcritical Flow (Tranquil Flow)
  - الجريان الحرج Critical Flow
- تصنيف الجريان بالنسبة لتغيره مع الزمن: يمكن هنا أن نميز بين تصنيفين رئيسيين للجريان بحسب العلاقة مع الزمن:
  - **الجريان الدائم (المستقر):** عندما تبقى بارامترات الجريان (الغزارة، السرعة، الأبعاد الهندسية، ...) ثابتة مع تغير الزمن يكون الجريان مستقراً. Steady Flow
  - **الجريان غير الدائم (غير المستقر):** عند تغير بارامترات الجريان (أحدها أو جميعها) مع تغير الزمن يسمى الجريان غير مستقر Unsteady Flow

- الجريان المنتظم والمتغير (بالنسبة للمكان):
  - الجريان المنتظم Uniform Flow

يتحقق الجريان المنتظم في المجرى المائي إذا حافظت بارامترات الجريان المختلفة (غزارة وسرعة ومقطع مائي) على قيمها ثابتة دون تغيير في جميع مقاطع الجريان.

  - 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.

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).***

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).

في هذا الفصل ستتم دراسة الجريان المنتظم في الأقنية المكشوفة بالتفصيل. وعندما نقول عن جريان أنه منتظم فهذا يعني أنه منتظم ومستقر (حيث أن الجريان المنتظم غير المستقر نادر الحدوث في الطبيعة).

خواص الجريان المنتظم:

- تبقى بارامترات الجريان ثابتة في جميع مقاطع المجرى المائي (ارتفاع الماء h ، المقطع المائي A ، سرعة التيار V ، التدفق Q تبقى هذه المقادير ثابتة في جميع مقاطع القناة.
- نتيجة لتحقق الشرط الأول سيتحقق تساوي الميول الثلاثة في المجرى المائي (ميل قعر القناة = ميل السطح الحر للماء = ميل خط الطاقة الكلي). $\boldsymbol{i} = \boldsymbol{j} = \boldsymbol{j_e}$

حسابات الجريان المنتظم:

كما في معظم جوانب وتخصصات الهندسة المدنية، يمكن أن تندرج مسائل الهيدروليك، ومن ضمنها مسائل الجريان المنتظم في الأقنية المكشوفة، إما إلى مسائل التصميم أو مسائل التحقيق.

مسائل التصميم عادة تهدف إلى إيجاد الأبعاد الهندسية المناسبة للمجرى المائي (شكل المقطع الهندسي للمجرى، ارتفاع جوانبه عن سطح الماء، ميله الطولي، أبعاده الهندسية ومواد بنائه)، وذلك انطلاقاً من الغزارة التي يجب إيصالها إلى المستخدمين أو المشروع المستهدف (مشاريع ري الأراضي الزراعية، أقنية جر المياه إلى محطات الضخ، تنظيم مجاري الأنهار، ....).

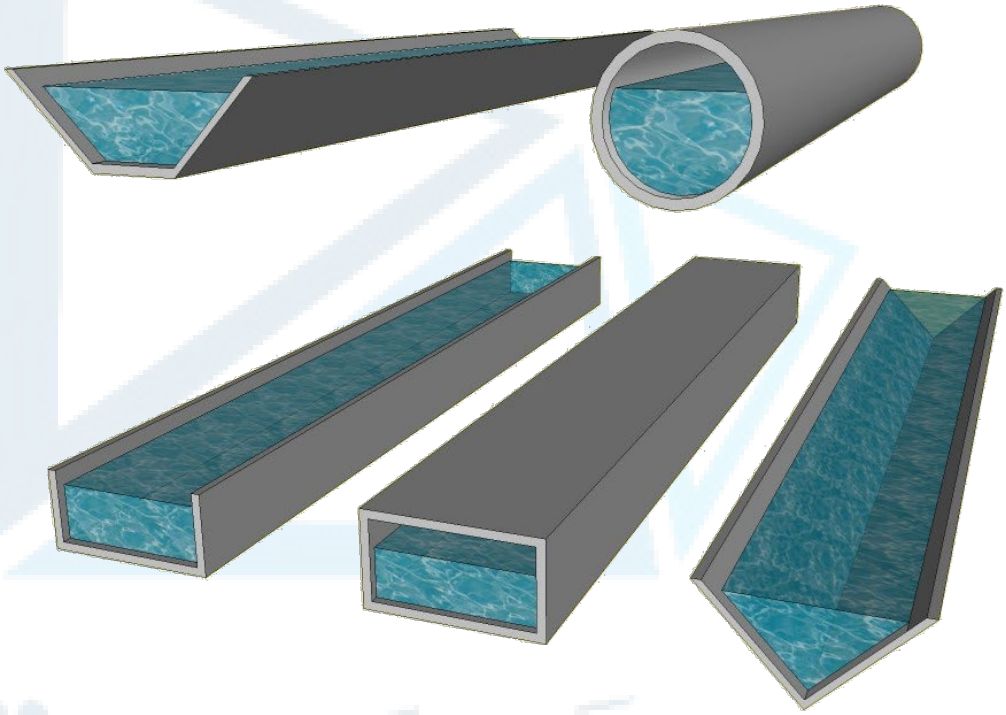
مسائل التحقيق تتناول عادة منشأة مائية موجودة مسبقاً، وتهدف إلى التحقق من أداء هذه المنشأة وبالتالي انطلاقاً من قياساتها الهندسية يمكن استنتاج الغزارات التي تمررها المنشأة وسرعة جريان الماء فيها.

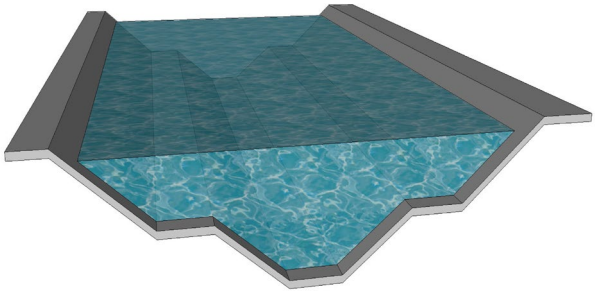
في كلا النوعين من المسائل الهيدروليكية نحتاج إلى ربط البارامترات الهيدروليكية والهندسية للجريان ببعضها البعض عن طريق المعادلات المناسبة.

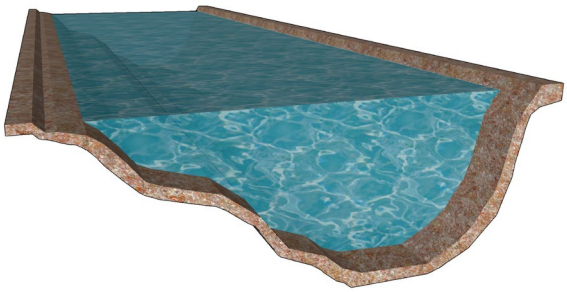
مصطلحات ومفاهيم:

في الجريانات المنتظمة في الأقنية المكشوفة سنصادف المفاهيم التالية:

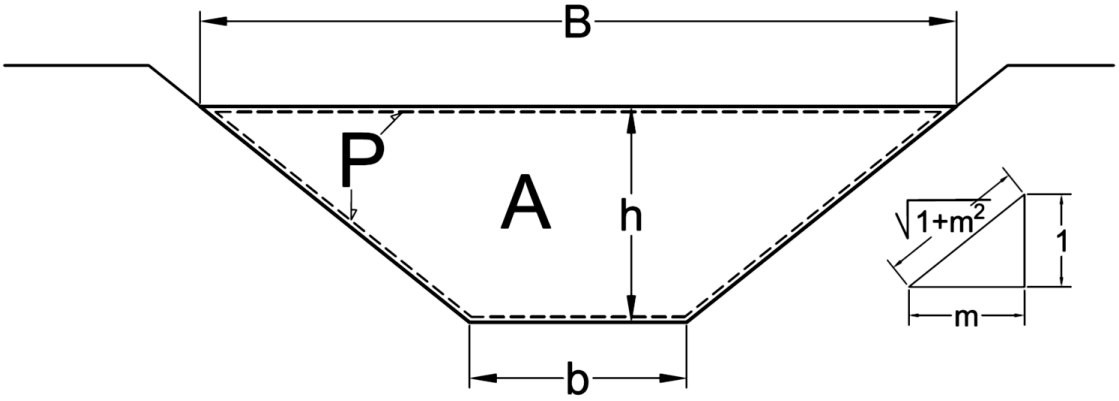
شكل المقطع الهندسي: تستخدم عادة مقاطع هندسية مختلفة الأشكال لتمرير المياه مثل المقطع المستطيل، مقطع شبه المنحرف، مقطع مثلثي، مقطع نصف دائري، مقطع إهليلجي، مقاطع مركبة، ولا ننسى المقطع غير المنتظم والذي يمثل حالة جميع (أو معظم) الجريانات في الأنهار الطبيعية.







المقطع المائي A : هو المساحة التي تشغلها المياه فعلياً من ضمن مقطع القناة الهندسي. عادة يكون المقطع الهندسي للقناة أكبر من المقطع المائي لاعتبارات تصميمة وخدمية بحتة تتعلق بتأمين أفضل أداء للمنشأة خلال فترة استثمارها، وبالتالي نضطر لزيادة ارتفاعها لاستيعاب التغيرات الطارئة أثناء فترات الأمطار أو تشكل الأمواج الصغيرة بفعل احتكاك سطح الماء مع



الهواء.

سرعة التيار V ونقصد بها السرعة الوسطية لجميع جزيئات الماء المتحركة في مقطع واحد وهي نتيجة لتطبيق معادلة الاستمرار المعروفة $V = \frac{Q}{A}$

المحيط المبلول P : هو الجزء من محيط المقطع المائي الذي يحتك تماما مع الماء، حيث أن احتكاك الماء مع الهواء يمكن إهماله في حسابات الجريانات المكشوفة. وبالتالي فإن حساب إجهادات الاحتكاك المماسية في العلاقات الهيدروليكية تنطلق من حساب الاحتكاك بين الماء وجدران المجرى المائي فقط.

نصف القطر الهيدروليكي: $R = \frac{A}{P}$ هو ناتج قسمة مساحة المقطع المائي على محيطه المبلول.

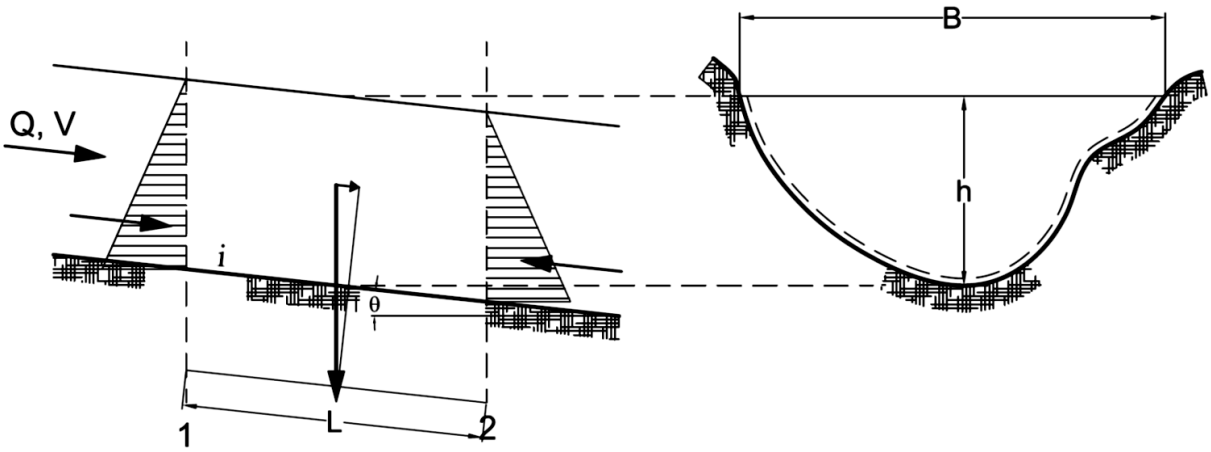
الحساب الهيدروليكي للأقنية المكشوفة:

علاقة شيزي:

درس العالم شيزي (***Antoine Chézy***) القوى التي تساهم في تشكيل الجريان المنتظم ($V = cte \Rightarrow \vec{a} = 0 \Rightarrow \sum \vec{F} = 0$) وفق الآتي:

لنعتبر الجريان المبين جانبا في قناة يميل قعرها عن الأفق بزاوية θ (الميل الطولي للقناة $i = tg\,\theta$)

يمر في القناة غزارة $Q\ [m^3/sec]$ بسرعة $V\ [m/sec]$



لنأخذ الجزء من القناة المحصور بين المقطعين 1 و 2 حيث المسافة بينهما L كما هو مبين في الشكل. تؤثر على هذا الجزء مجموعة من القوى المبينة (وزنه الذاتي، قوى الضغط الهيدروستاتيكي على المقطعين 1 و 2، قوى الاحتكاك مع جوانب القناة). بتطبيق معادلة كمية الحركة بين المقطعين 1 و 2 وباعتبار أن الحركة منتظمة مما يعني أن محصلة القوى المؤثرة على الجريان مساوية للصفر:

$W.\ sin\ \theta$

F_{p1} P F_{p2}

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

W

$$\overrightarrow{F_{p1}} + \overrightarrow{F_{p2}} + \overrightarrow{W}\, sin\theta + \overrightarrow{\tau_0} \times P \times L + \rho\, Q\, \overrightarrow{V_1} + \rho\, Q\, \overrightarrow{V_2} = 0$$

$$[F_{p1} - F_{p2}] + W\ sin\theta - \tau_0 \times P \times L + \rho\, Q\, (V_1 - V_2) = 0$$

$$\overrightarrow{F_{p1}} = \overrightarrow{F_{p2}}$$

$$\rho\, Q\, \overrightarrow{V_1} = \rho\, Q\, \overrightarrow{V_2}$$

$$W sin\theta - \tau_0 \times P \times L = 0$$

$$\theta = \sin\theta = \tan\theta = i$$

وجد العالم شيزي (استناداً إلى عدد كبير من التجارب على الأقنية المكشوفة) أن إجهاد القص المماسي يتناسب طرداً مع مربع سرعة الجريان (وذلك من أجل الجريان في منطقة المقاومة التربيعية الموفقة لعدد رينولدس أكبر من 10000 حيث يمكن إهمال قوى اللزوجة)، وفق العلاقة:

$$\tau_0 = K \times V^2$$

وبما أن

$$W = Volume \times \omega = A \times L \times \rho \times g$$

$$A \times L \times \rho \times g \times i = K\,V^2 \times P \times L$$

بالتعويض في معادلة كمية الحركة:

=

$$V^2 = \frac{A \times L \times \rho \times g}{K \times P \times L} \times i = \frac{\rho \times g}{K} \times \frac{A}{P} \times i$$

$$V = \sqrt{\frac{\rho \times g}{K}} \times \sqrt{R}\,\sqrt{i}$$

وهكذا نحصل على الصيغة النهائية لمعادلة شيزي لحساب الجريانات في الأقنية المكشوفة:

$$V = C \times \sqrt{Ri}$$

حيث:

- C عامل شيزي (وقد افترضت قيمته ثابتة $C = 64$ في بداية تطبيق المعادلة، إلا أن الأبحاث اللاحقة أثبتت أن قيمته متغيرة بحسب خشونة جدران القناة.

- R نصف القطر الهيدروليكي للمجرى المائي.
- i الميل الطولي للمجرى المائي.

مقارنة معادلة شيزي مع معادلة دارسي ويسباخ:

لنأخذ معادلة دارسي – ويسباخ

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

$$V^2 = \frac{\Delta h}{L} \times 4\,R \times \frac{2.g}{\lambda} = i \times R \times \frac{8.g}{\lambda}$$

بمقارنتها مع معادلة شيزي (بعد التربيع):

$$V^2 = C^2 \times R \times i$$

يمكن أن نستنتج

$$C^2 = \frac{8.g}{\lambda} \Rightarrow C = \sqrt{\frac{8.g}{\lambda}}$$