عنوان البحث

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): Laminar Flow $R_e < 500$
  - 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 $500 \le R_e \le 2000$
- **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). $\boldsymbol{i = j = j_e}$

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، ....).

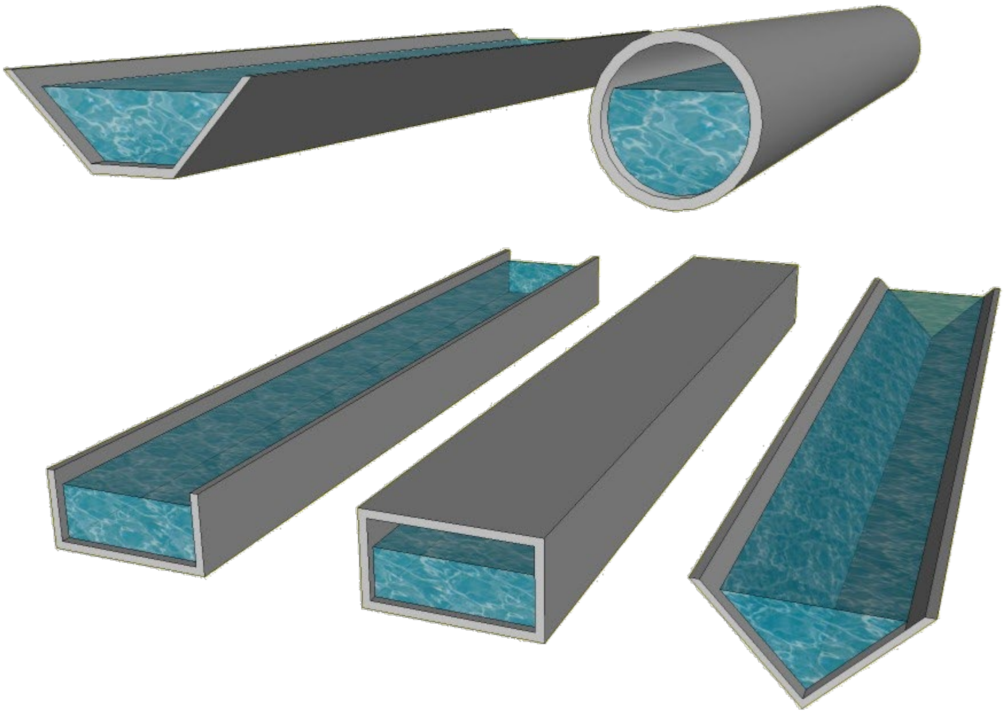
مسائل التحقيق تتناول عادة منشأة مائية موجودة مسبقاً، وتهدف إلى التحقق من أداء هذه المنشأة وبالتالي انطلاقاً من قياساتها الهندسية يمكن استنتاج الغزارات التي تمررها المنشأة وسرعة جريان الماء فيها.

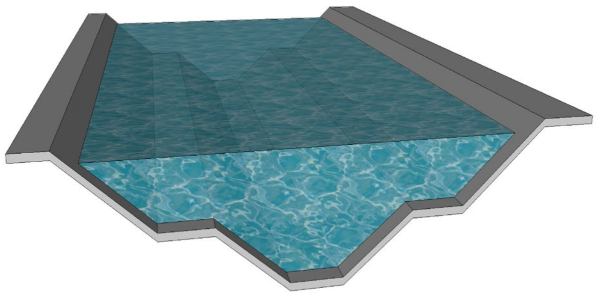
في كلا النوعين من المسائل الهيدروليكية نحتاج إلى ربط البارامترات الهيدروليكية والهندسية للجريان ببعضها البعض عن طريق المعادلات المناسبة.

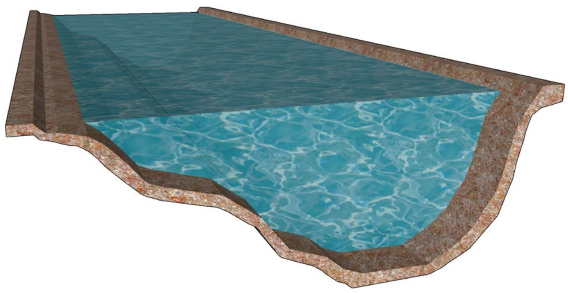
مصطلحات ومفاهيم:

في الجريانات المنتظمة في الأقنية المكشوفة سنصادف المفاهيم التالية:

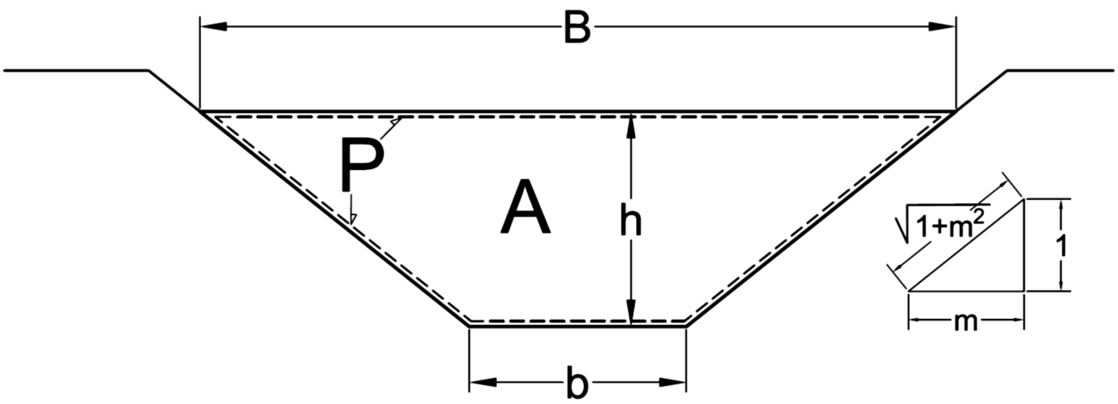
شكل المقطع الهندسي: تستخدم عادة مقاطع هندسية مختلفة الأشكال لتمرير المياه مثل المقطع المستطيل، مقطع شبه المنحرف، مقطع مثلثي، مقطع نصف دائري، مقطع إهليلجي، مقاطع مركبة، ولا ننسى المقطع غير المنتظم والذي يمثل حالة جميع (أو معظم) الجريانات في الأنهار الطبيعية.







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 المبلولP : 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:

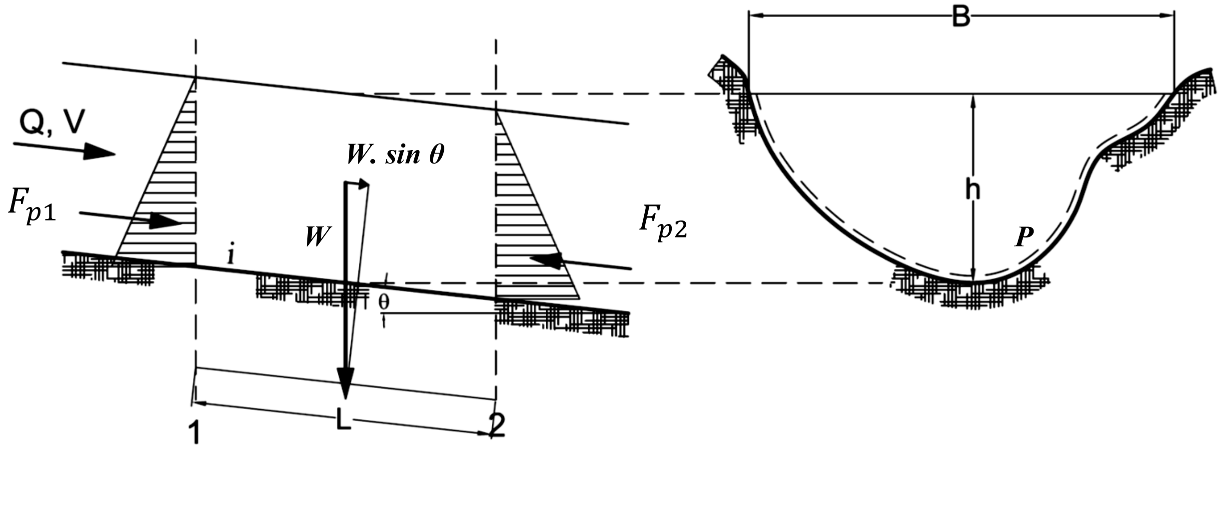
علاقة شيزي:

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

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

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

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

$$\overrightarrow{F_{p1}} = \overrightarrow{F_{p2}}$$
$$\rho\, Q\, \overrightarrow{V_1} = \rho\, Q\, \overrightarrow{V_2}$$

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

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

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

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

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

بمقارنتها مع معادلة شيزي (بعد التربيع):

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

يمكن أن نستنتج

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

تعيين أمثال شيزي للأقنية المكشوفة:

كما أشرنا سابقاً، حاول الباحثون منذ القديم ولا تزال المحاولات جارية حتى الآن لتحديد القيم الصحيحة لأمثال شيزي، نظرياً لا يمكن تحديد قيمة العامل C حيث أن التقدم النظري لم يساعد إلى الآن في حل هذه المسألة.
وهكذا كان الاعتماد على التجارب الحقلية والمخبرية لتحديد قيمة هذا العامل.

من السلبيات التي تعاني منها العلاقات التجريبية في الهيدروليك أنها مستنتجة من تجارب مخبرية (أو حقلية) في مجال معين من التغيرات (في حالتنا مجال ضيق لتغير الخشونة أو مجال ضيق لتغير السرع.....الخ) وبالتالي فإن نتائجها لا تصلح خارج نطاق هذه التغيرات.

المعادلات التجريبية:

علاقة بازان: عام 1855 نتيجة تجارب مخبرية

$$C=\frac{87}{1+\gamma/\sqrt{R}}$$

حيث γ عامل خشونة يتعلق بطبيعة جدران وأرضية القناة وهي معطاة في جداول خاصة

علاقة ماينغ

$$C=\frac{1}{n}.R^{\frac{1}{6}}$$

علاقة بافلوفسكي

$$C=\frac{1}{n}.R^{x}$$ -

$$x = 2.5\sqrt{n} - 0.13 - 0.75\sqrt{R}(\sqrt{n} - 0.1)$$

وللسهولة يمكن أن نختصر العلاقة السابقة بالشرطين التاليين:

R<1m when $x = 1.5 * \sqrt{n}$

R>1m when $x = 1.3 * \sqrt{n}$

علاقة غانغلييه – كوتر:

$$C = \frac{23 + \frac{0.00155}{i} + \frac{1}{m}}{1 + (23 + \frac{0.00155}{i}) * \sqrt{\frac{m}{R}}}$$

سؤال: مقارنة علاقة غانغلييه – كوتر بباقي المعادلات الثلاث؟

مناقشة: سابقاً قلنا أن شيزي انطلق من فرضية أن $\tau_o = k.v^2$ ومنها توصل إلى المعادلة إذاً هل دائماً هذه الفرضية صحيحة؟؟

أي لو كانت $\tau_o = k.v^x$ حيث $x \neq 2$ الأس المرفوعة له السرعة V ؟

جميع هذه المعادلات التجريبية صحيحة في حالة كون المقاومة الهيدروليكية تتناسب مع مربع السرعة حيث فرضية شيزي اما في الحالة المعاكسة فأننا بحاجة إلى معادلات آخرى لوصف هذه الحالة.

لنعود إلى الوراء ونتذكر مخطط نيكورادزه:

عرفنا معادلات عدة تعطينا قيمة λ لعدة مجالات في مخطط نيكورادزه:

1. معادلة بوازيل $\lambda=\frac{16}{Re}$ توافق الجريان الصفحي (هنا λ تتناسب فقط مع R_e)
2. معادلة بلازيوس $\lambda=\frac{0.224}{{R_e}^{0.25}}$ توافق الجريان المطرب في الاقنية الملساء (هنا أيضاً λ تتناسب فقط مع R_e)
3. معادلات بازان, مانينغ، بافلوفسكي، غانغلييه – كوتر وغيرها كثير: هنا نلاحظ أن هذه المعادلات تعطينا قيماً لـ λ او C بدلالة خشونة الجدران فقط n ولا يؤثر في هذه الحالة R_e على قيمة λ، هنا تتحقق لدينا معادلة شيزي وتكون الضياعات متناسبة مع مربع السرعة نسمي هذه المنطقة منطقة المقاومة التربيعية.
4. للانتقال من منحني بلازيوس إلى منطقة المقارنة التربيعية نمر بمنطقة انتقالية في هذه المنطقة يتضافر تأثير الخشونة وR_e معاً ليعطيا قيمة λ نسمي المنطقة الانتقالية هذه منطقة المقاومة دون التربيعية.

من أين جاءت التسمية نعود إلى معادلة بلازيوس $\lambda=\frac{0.224}{{R_e}^{0.25}}$ نعوض في معادلة دارسي ويسباخ في الاقنية المكشوفة $h=\lambda.\frac{L}{R}.\frac{\boldsymbol{v}^2}{8*\boldsymbol{g}}=\frac{0.224}{{R_e}^{0.25}}\frac{L}{R}.\frac{\boldsymbol{v}^2}{8*\boldsymbol{g}}$

$$h=\frac{0.224*\boldsymbol{v}^{0.25}}{\boldsymbol{v}^{0.25}*{R_e}^{0.25}}\frac{L}{R}.\frac{\boldsymbol{v}^2}{8*\boldsymbol{g}}$$

$$h=f(\boldsymbol{v}^{1.75})$$

اذاً في المنطقة الانتقالية تكون $h\sim\boldsymbol{v}^{1.75}$ لذلك نسميها منطقة المقاومة دون التربيعية.

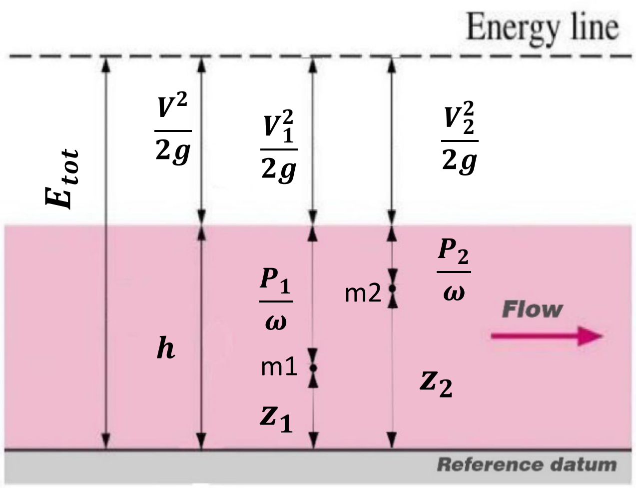
هنا نلاحظ أن فرضية شيزي لا تتحقق من حيث تناسب الضياعات مع مربع السرعة $\tau_o=k.v^2$ ولكن يمكن اعتبار فرضيته صحيحة وتحميل الفرق أو الخطأ في الفرضية على حساب تأثير R_e كما أسلفنا بمعنى آخر الخطأ في الفرضية يعود الى تداخل تأثير عدد رينولدس R_e على المقاومة مع خشونة الجدران.

من هنا نجد أننا بحاجة إلى معادلات تجريبية تعطينا أو تكون قادرة على حساب الجريان المنتظم في المنطقة الانتقالية، وهذا لم يكن ممكنا دون اجراء التجارب واقتراح معادلات تجريبية خاصة بهذه المنطقة.

أشهر هذه المحاولات للأقنية المكشوفة هي معادلة العالم ألتشول:

$$C=25\left[\frac{R}{(80n)^6+\frac{0.025}{\sqrt{Ri}}}\right]^{\frac{1}{6}}$$

الطاقة النوعية للجريان:



لنعد إلى معادلة برنوللي

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

بمقارنة معادلة برنوللي مع الشكل المبين جانباً، يمكن إجراء المناقشة التالية:

من الواضح أنه عند اعتبار المستوي المرجعي منطبق على قعر القناة، فإنه ومهما كان موقع النقطة m ضمن التيار سوف نحصل على مجموع ثابت للحدين z و $\frac{P}{\omega}$ أي:

$$z+\frac{P}{\omega}=cte=h$$

حيث h ارتفاع الماء في المجرى المائي المكشوف

وبالتالي يمكن إعادة كتابة معادلة برنوللي بالشكل التالي:

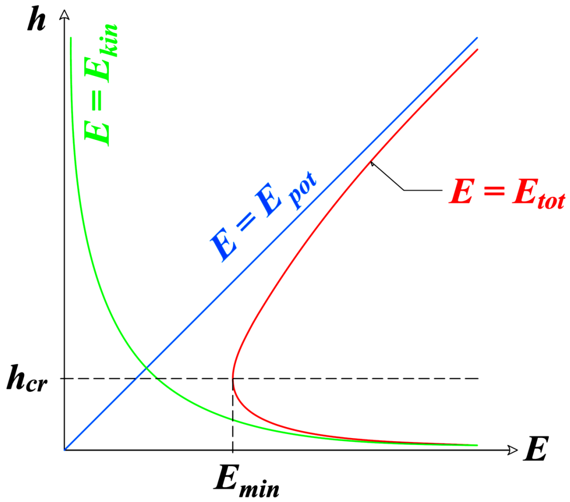
$$h+\ \frac{V^2}{2g}=E_{tot}=\ E_{pot}+E_{kin}$$

وبالتالي يمكن القول أن الطاقة الكلية التي يتمتع بها مقطع الجريان E_{tot} هي عبارة عن مجموع شكلين أساسيين للطاقة: الطاقة الكامنة $E_{pot}=\ h$ والطاقة الحركية $E_{kin}=\frac{V^2}{2g}$

باستخدام علاقة الاستمرار تأخذ معادلة برنوللي الشكل التالي:

$$h+\ \frac{V^2}{2g}=h+\ \frac{Q^2}{2gA^2}=E_{tot}$$

في حالة تيار يمر بغزارة ثابتة $Q=cte$ فإن $E=f\ (h)$ ويمكننا أن نستنتج:



وفق المخطط المبين

$$if \quad h \rightarrow 0 \Rightarrow E \rightarrow \infty$$

$$if \quad h \rightarrow \infty \Rightarrow E \rightarrow \infty$$

إذاً منحني الطاقة E=F(h) هو منحني مقارب لكلا المحورين E والمنصف ويصل الى قيمة أصغرية Emin عند عمق معين نسمي هذا العمق بالعمق الحرج hcr.

هنا يمكن أن نميز ثالث أنواع للجريانات:

h<hcr جريان شلالي (تحت الحرج).

h>hcr جريان نهري (فوق الحرج)

h=hcr جريان حرج

لمعرفة قيمة hcr نشتق معادلة الطاقة

$$\frac{dE}{dh} = \frac{d}{dh}\left(h + \frac{\propto Q^2}{2gA^2}\right)$$

$$=1+\frac{\propto Q^2}{2g}\left(-\frac{2A}{A^{4)}}.\frac{dA}{dh}\right)$$

$$\frac{dE}{dh} = 1 - \frac{\propto Q^2 B}{gA^3}$$

من شرط انعدام المشتق عند النهاية الصغرى $\frac{dE}{dh} = 0$

شرط الجريان الحرج للأقنية المكشوفة $\frac{\propto Q^2 B}{gA^3}=1$

لنأخذ الحالة الخاصة عندما يكون مقطع الجريان مستطيل A=B*h

$$h_{cr}^3 = \frac{\propto Q^2}{gB^2}$$

$$h_{cr} = \sqrt[3]{\frac{\propto Q^2}{gB^2}}$$

يمكن استخدام مفهوم الغزارة النوعية $q = \frac{Q}{B}$ (توافق غزارة قناة مقطعها مستطيل وعرضها 1 متر). عادةً ندخل هذا المفهوم في حساب الأقنية ذات المقاطع المختلفة إذا كان عرضها كبيراً جداً (نسمي الجريان فيها جريان سطحي). وبالتالي تصبح علاقة حساب الارتفاع الحرج:

$$h_{cr} = \sqrt[3]{\frac{\propto q^2}{g}}$$

(المقطع الأفضل هيدروليكياً)

هو المقطع الذي يعطي أكبر تدفق ممكن من أجل مقطع معين وميل طولي i وخشونة n ثابتين.

من معادلة الاستمرار وقانون شيزي:

$$Q=V.A=C*\sqrt{R.i} = \sqrt{\frac{8g}{\lambda}} * \sqrt{\frac{A*i}{P}} * A$$

$$Q = \sqrt{\frac{8g.i}{\lambda}} * \frac{A^{3/2}}{P^{1/2}} = cet \times \frac{A^{3/2}}{P^{1/2}}$$

$$Q^2 = cet \times \frac{A^3}{P}$$

للحصول على نهاية التابع نقوم بالاشتقاق:

$$2Q.dQ = \frac{3.A^2.P.dA - dP.A^3}{P^2}$$

النهاية الصغرى للتابع توافق القيمة الصفرية لمشتق الغزارة dQ=0

ومنه يجب أن يكون $3.A^2.P.dA - dP.A^3 = 0$

$$3.P.dA - dP.A = 0$$

بما أن المقطع ثابت A=cet هذا يعني أن dA=0 وبالتالي يكون حكماً A.dp=0 مما يعني أن dP=0

وهذه توافق القيمة الصغرى للمقطع المبلول أي أن المقطع الأفضل هيدروليكياً هو المقطع الذي يكون فيه المقطع المبلول أصغرياً.

الحالات الخاصة للمقطع الأفضل هيدروليكياً

المقطع شبه المنحرف

مساح المقطع شبه المنحرف: A=(b+mh)

المحيط المبلول: $P = b + 2\sqrt{1+m^2} * h$

من علاقة مساحة المقطع يمكن أن نستنتج أن

$$b = \frac{A}{h} - m * h$$

نعوض هذه القيمة في علاقة المحيط المبلول:

$$P = \frac{A}{h} - m * h + 2\sqrt{1+m^2} * h$$

إذا عرفنا العامل $\lambda = 2\sqrt{1+m^2} - m = cet$

في هذه الحالة يمكن أن نعيد كتابة العلاقة بالشكل:

$$\frac{A}{h} + h\left(2\sqrt{1+m^2} - m\right) = \frac{A}{h} + \lambda * h$$

لكي يكون المقطع اقتصادياً من أجل مساحة مقطع ثابتة A = cet يجب ان يكون المحيط اصغرياً، أي أن مشتقه بالنسبة لـ h يساوي الصفر.

$$A = \lambda * h^2$$

b =$\frac{\lambda * h^2}{h} - m * h$

b = h(λ-m)

$$b = h * (2\sqrt{1+m^2} - m - m) = 2h(\sqrt{1+m^2} - m)$$

هنا نصل الى مفهوم جديد العرض النسبي

$$\beta = \frac{b}{h} = 2\left(\sqrt{1+m^2} - m\right)$$

$$P = \frac{\lambda * h^2}{h} + \lambda * h = 2\,\lambda h$$

أهم خاصية مميزة للمقطع الأفضل هيدروليكياً هي:

$$R = \frac{A}{P} = \frac{\lambda * h^2}{2\lambda h} = \frac{h}{2}$$

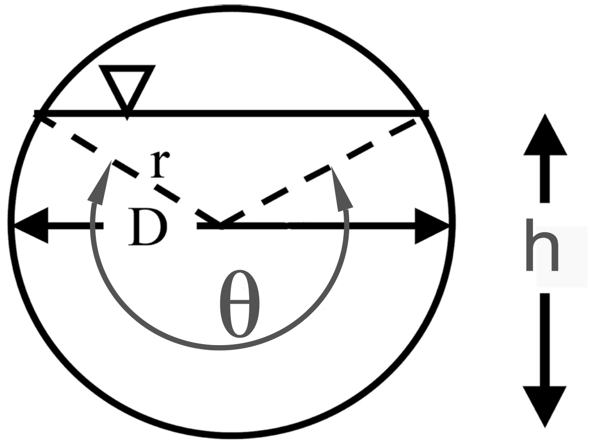
وهذه العلاقة ثابتة في جميع المقاطع حتى الطبيعية منها.

أشهر المقاطع الأفضل هيدروليكياً حالات خاصة

المستطيل: يكون m=0 ومنه b=2h

شبه المنحرف: هنا يجب إيجاد ميل الجوانب للقناة الموافقة للمقطع الأفضل هيدروليكياً حيث أن تغير ميل الجوانب m وتغير قيمة Ɵ من أجل s ثابت باستنتاج العلاقة نحصل على قيمة Ɵ=60

المقطع الدائري: هناك قيمة معينة لـ Ɵ تعطي أعظم تدفق للمقطع الدائري بالحساب نجد Ɵ=308 أي ما يكافئ h / D = 0.938



حساب الجريان في المقاطع المركبة:

نلجأ لتصميم القناة بمقطع مركب عندما يتطلب الأمر تشغيل القناة في ظروف غزارة مختلفة، مثلاً أقنية درء الفيضان في المدن يمكن أن تمرر قيمتين متفاوتتين من الغزارة الأصغر نسميها معاشية وهي توافق قيم الجريان الطبيعي في النهر التي تحدث معظم أيام الشتاء، في حين أن القيمة التصميمية الأكبر Qmax يمكن أن تحدث مرة كل خمسين أو مائة عام نتيجة حدوث عاصفة مطرية استثنائية.

يمكن أحياناً يمكن أن تختلف قيمة عامل الخشونة لأجزاء القناة بحسب اختلاف مادة الإنشاء لكل جزء، حيث يكون المجرى الرئيسي من البيتون والجوانب الفيضانية من الترب المتماسكة أو الحصى.

المقطع الهندسي المركب:

عند حساب هذه القناة فإن :

مساحة المقطع: $A = A1+A2$

المحيط المبلول: $P=P1+P2+P3+.....+Pn$

حساب الأقنية ذات الخشونة المركبة:

تصادفنا حالات عندما تكون طبيعة جدران القناة مختلفة عن بعضها ومن القاعدة فمثلاً

القاع بحص، الجدران بيتونية أوغضارية في هذه الحالة يجب اختيار قيمة وسطية لعامل الخشونة n للقناة، بما ان عامل الخشونة متعلق بالاجهادات المماسية بالتالي بطول تأثير هذه الاجهادات p

$$\bar{n} = \frac{n1 * p1 + n2 * p2 + \ldots\ldots\ldots}{\sum pi}$$

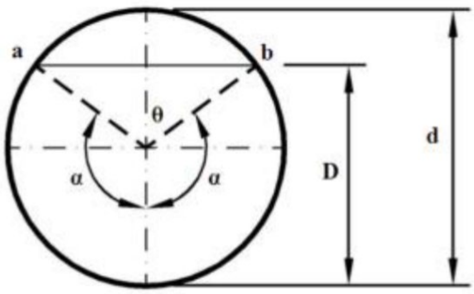
العلاقة التالية مستنتجة من أن p تدخل في علاقة مانينغ مرفوعة للمرتبة 3/2

$$\bar{n} = \left(\frac{n1^{3/2} * p1 + n2^{3/2} * p2 + \ldots\ldots\ldots}{\sum pi}\right)^{2/3}$$

حساب المقطع الدائري:

المقطع الدائري:

حسب الزاوية



$$A = \widehat{OBD} + \widehat{OBD}$$

$$A = \frac{\theta}{2} + r^2 + \frac{1}{2} r^2 sin(2\pi - \theta)$$

$$A = \frac{r^2}{2}\ (\theta - sin(\theta))$$

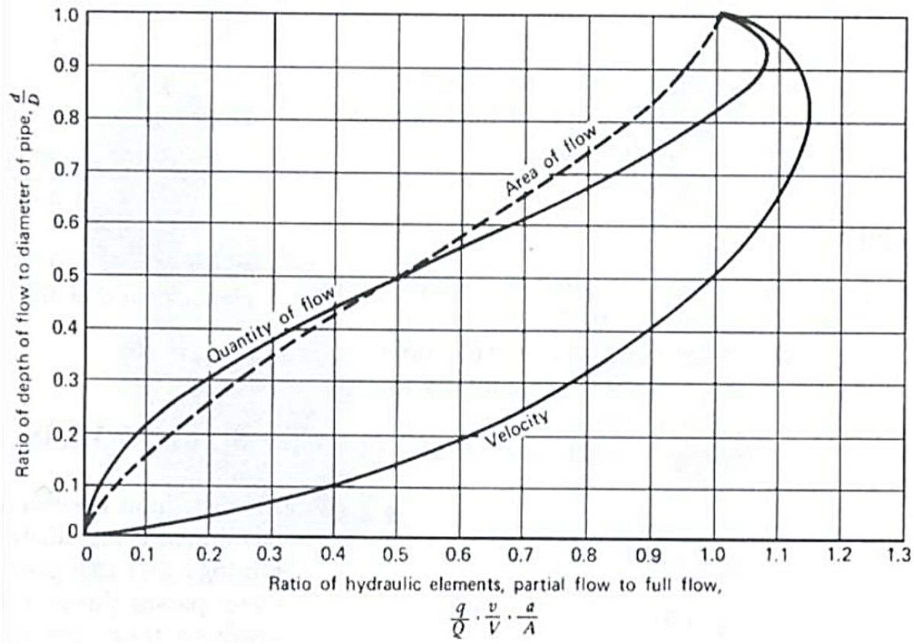
$$P = r.\ \theta$$

$$R = \frac{r.(\theta - sin(\theta))}{2.\theta}$$

هذه العملية صعبة أو بالأحرى مستهلكة للوقت والجهد وخاصة عندما يتعلق الأمر بحسابات التصريف المطري في القساطل الدائرية حيث يعمل القسطل من أجل غزارات مختلفة وفق شدة العاصفة المطرية،

هناك طريقة أخرى تعتمد على غرافيك خاص لحساب المقطع الدائري وفق نسبة امتلائه h/D.

مبدأ هذه الطريقة حساب الغزارة أو السرعة في مقطع دائري قطره D وارتفاع الماء فيه h بدلالة نسبة الامتلاء $\frac{h}{D}$



من المنحني المبين نجد أنه بحسب الامتلاء $\frac{h}{D}$ وبحسب خواص المقطع المائي بفرض المقطع المائي كاملاً عندما h=D

$$A = \pi * \frac{D^2}{4}$$

$$P = \pi * D$$

ومنه فأن R=$\frac{D}{4}$

السرعة في حال كون المقطع مليء

V0=$\frac{1}{n} * R^{2/3} * i^{1/2} = \frac{1}{n} * \left(\frac{D}{4}\right)^{2/3} * i^{1/2}$

QO=S*V0= $\pi * \frac{D^2}{4} * V_0$

نلاحظ ان المنحني يعطينا بدلالة نسبة الامتلاء $\frac{h}{D}$ النسبتين

$\frac{Q}{Q_0}, \frac{V}{V_0}$

وبالتالي للحصول على الغزارة والسرعة في مقطع دائري بارتفاع h يكفي أن نحسب V0وQ0باعتبار المقطع مليء ومن المنحني الخاص بالمقطع الدائري نحسب Q و V

السرع الحدية

السرعات الكبيرة للأقنية قد تتسبب بجرف للتربة المكونة منها القناة وتختلف السرعة التي تتسبب الجرف للقناة باختلاف المادة المكونة منها القناة، فالاقنية المنفذة من ترب زراعية

بدون تكسية تنجرف جدرانها عند سرعات قليلة نسبياً في حين ان الاقنية المكساة بالبيتون أو المنفذة في الصخور تحتاج إلى سرعات كبيرة لكي تحدث عملية الجرف او التخريب لهذه الاقنية.
إذاً عند تصميم الأقنية المكشوفة وبحسب المادة المكونة منها هذه الاقنية فإننا يجب أن نأخذ بعين الاعتبار ألا تتجاوز السرعة في هذه الأقنية السرعة الأعظمية التي تسبب الحت للقناة
يمكننا أن نعرف السرعة الاعظمية المسموحة في القناة بأنها السرعة التي يبدأ منها حت او تآكل المادة المكونة منها جدران أو قعر القناة تتعلق هذه السرعة بطبيعة المواد المكونة للقناة وتحديد هذه السرعة يمكن بالاعتماد على جداول خاصة
اذا كانت القناة مكونة من تربة مفككة (بحص-رمل-.....) يمكن تحديد السرعة الاعظمية المسموحة بالاعتماد على علاقات تجريبية مختلفة نذكر منها على سبيل المثال (علاقة شتيرنبرغ)

$$V_{MAX}=6.27\sqrt{d}$$

حيث:dقطر حبيبات المواد المشكلة لتربة القناة
كما أن السرعات الكبيرة غير مرغوب بها لانها تسبب الحت والتخريب للقناة، لذلك فإن السرعات الصغيرة قد تسبب ترسيب للمواد العالقة المحمولة مع تيار المياه وتراكم هذه الرسوبيات سيؤدي مع المستقبل إلى انقاص مقطع القناة الفعلي وبالتالي ستؤثر على عملها أو ستؤدي الى ازدياد الارتفاع في القناة مما سيؤدي إلى طوفان المياه على جوانب القناة وهذا يؤدي الى ازدياد التكاليف المصروفة مع عملية صيانة القناة. من أجل هذا كله يجب ان لا تقل السرعة في الاقنية عند تصميمها عن السرعة الأصغرية التي تبدأ عندها المواد المحمولة بالترسب.

حساب السرعة الأصغرية المسموحة v_{min} في الأقنية يمكن بالاعتماد الى عدد من المعادلات التجريبية:

أمثلة:

علاقة كندي $V_{min}=C.h0.64$

h (m) عمق الماء مقدراً بالمتر

Vmin(m/sec) السرعة الدنيا المسموحة.

C عامل تتغير قيمته من 0.54/0.7 حسب نوع المواد المحمولة

علاقة غريشين: $V_{min}=\alpha.Q0.2$

Q(m3/sec) التدفق

Vmin(m/sec) السرعة الدنيا المسموحة.

$\propto$ عامل تتعلق قيمته بالحجم الهيدروليكي للمواد العالقة يأخذ القيم التالية

W<1.5 1.5/3.5 >3.5 mm/sec

a=0.33 0.44 0.55

الحجم الهيدروليكي للمواد العالقة هو سرعة سقوط ذرة ذات القطر d(mm) في ماء ساكن إذاً الحجم الهيدروليكي هو سرعة وليس حجماً كما يدل اسمه

يمكن الحصول على قيم الحجم الهيدروليكي لمختلف أقطار المواد العالقة المحمولة مع تيار الماء من جداول خاصة.

علاقة زامارين $V_{min} = (\frac{p.w_0.\sqrt{w}}{0..022\sqrt{Ri}})^{2/3}$

ρ(Kg/m3) درجة عكر المياه أو وزن العالقة المحمولة في متر مكعب من التيار.

R(m) : نصف القطر الهيدروليكي

i: الميل الطولي للقناة .

W(m/sec) : الحجم الهيدروليكي المتوسط للمواد العالقة.

W0: عامل قيمته تحدد كالتالي

W0 =w if w>0.002

W0 =0.002 if w≤0.002

حساب الحجم الهيدروليكي الوسطي لمجموع المواد العالقة:

المواد العالقة المحمولة مع التيار مؤلفة من ذرات ذات أقطار مختلفة بما أن لكل قطر من هذه الأقطار حجم هيدروليكي مقابل له بالتالي فأنن سنحصل على عدة قيم لـ w موافقة للأقطار المختلفة الموجودة.

في التيار كيف سنحصل أذاً على الحجم الهيدروليكي الوسطي لمزيج المواد العالقة يجب أن نجري تجربة التركيب الحبي على المواد العالقة حتى نحصل على الأقطار التي تتشكل منها هذه المواد ونرتب نتائج التركيب الحبي في جدول

>0.1	0.1-0.05	0.05-0.01	-0.001 0.01	<0.001	d(mm)
80	40	30	20	2	P%
V	IV	III	II	I	المجموعة

الارتفاع الحر

بعد تصميم مقطع القناة مع مراعاة جميع ماذكر سابقاً (مقطع اقتصادي-سرعة حدية....اعتبارات أخرى) لابد من نذكر مايلي

إن المقطع بأبعاده التي ضمنها مساحة A وارتفاع h يخص مقطع التيار المائي وليس مقطع القناة بحد ذاتها

التفسير

لتنفيذ القناة التي صممناها لابد من إضافة الارتفاع الحر إلى الارتفاع التصميمي h

الارتفاع الحر: هو المسافة الشاقولية بين أكتاف القناة وسطح الماء ونعتبره كمسافة أمان لتجنب انسكاب الماء عن جوانب القناة في حالة زيادة الغزارة لأمور طارئة (امطار غزيرة مثلاً) او بسبب زيادة ارتفاع الرسوبيات في أرض القناة أو نتيجة حدوث أمواج سطحية تسبب زيادة في ارتفاع الماء

يتعلق الارتفاع الحر f بعدة عوامل :

أبعاد القناة، سرعة الماء، انحناء المنعطفات، بالنسبة للأقنية المكساة هناك ارتفاع للتكسية فوق سطح الماء

تتحد F وf\ منحني من منحنيات خاصة.