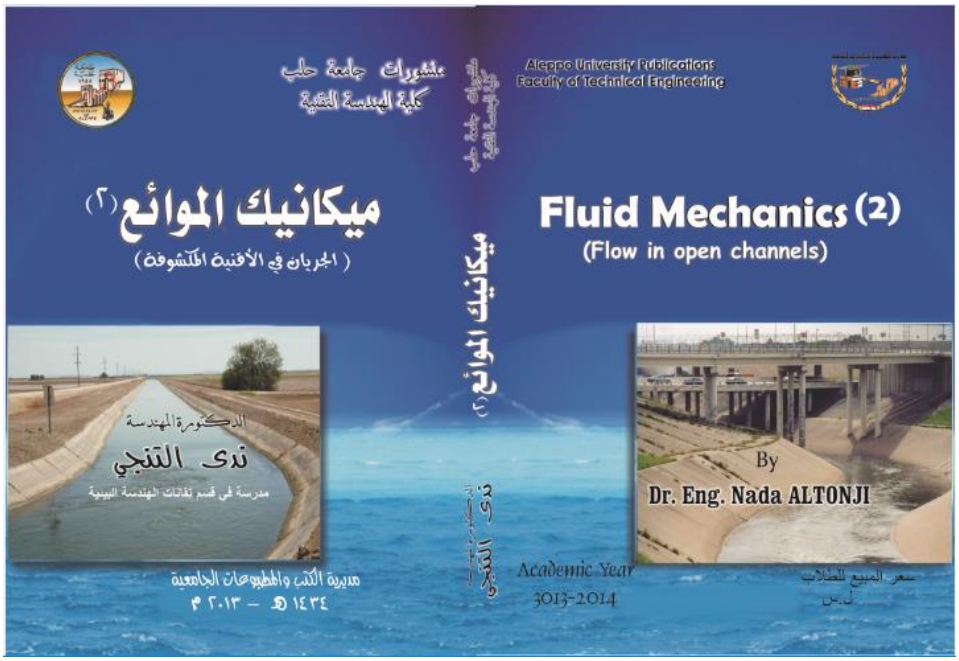

منشورات جامعة حلب
كلية الهندسة التقنية
ميكانيك الموائع (٢)
(الجريان في الأقنية المكشوفة)
الدكتورة المهندسة
ندى التنجي
مدرسة في قسم تقانات الهندسة البيئية
مديرية الكتب والمطبوعات الجامعية
١٤٣٤ هـ - ٢٠١٣ م
Aleppo University Publications
Faculty of Technical Engineering
Fluid Mechanics (2)
(Flow in open channels)
By
Dr. Eng. Nada ALTONJI
Academic Year
3013-2014
سعر المبيع للطلاب
ل.س

ميكانيك الموائع (٢)
(الجريان في الأقنية المكشوفة)

منشورات جامعة حلب
كلية الهندسة التقنية

ميكانيك الموائع (٢)

(الجريان في الأقنية المكشوفة)

الدكتورة
ندى التنجي
مدرسة في قسم تقانات الهندسة البيئية

لطلاب السنة الثالثة
قسم تقانات الهندسة البيئية

مديرية الكتب والمطبوعات الجامعية
١٤٣٤هـ - ٢٠١٣م

الفهرس

الموضوع	رقم الصفحة
المقدمة	9
الفصل الأول **المبادئ الأساسية للجريان في الأقنية المكشوفة**	
1-1 مقدمة	11
2-1 أنواع الأقنية المكشوفة	14
3-1 تعاريف أساسية	16
1-3-1 المقاطع العرضية في الأقنية وعناصرها الهيدروليكية	17
4-1 تصنيف الجريانات في الأقنية المكشوفة	21
1-4-1 الجريان الدائم والجريان غير الدائم	21
2-4-1 الجريان المنتظم والجريان المتغير بالنسبة للمسافة	22
5-1- نظام الجريان	25
6-1 توزع السرعة في الأقنية المكشوفة	26
7-1- توزيع الضغط في مقطع جريان كقناة مكشوفة	28
الفصل الثاني **الجريان الدائم المنتظم**	
1-2 مقدمة	33
2-2 المعادلات الأساسية للجريان المنتظم في الأقنية المكشوفة (معادلة شيزي)	33
3-2 المعادلات التجريبية المستخدمة لتحديد معامل شيزي	37
4-2 العوامل المؤثرة على أمثال الخشونة	41
5-2 تصميم الأقنية المكشوفة لجريان منتظم	43
6-2 السرعة العظمى والسرعة الدنيا للجريان في الأقنية المكشوفة	49

7-2 تصميم المقطع الأفضل هيدروليكياً	56
1-7-2 مقطع مستطيل	59
2-7-2 قناة ذات مقطع شبه منحرف	60
3-7-2 قناة ذات مقطع مثلثي	64
4-7-2 قناة ذات مقطع دائري	64
8-2 الارتفاع الحر	67
تطبيقات الفصل الثاني	69
الفصل الثالث **الجريان الحرج**	
1-3 مقدمة	101
2-3 الحمولة الكلية في مقطع الجريان Head	101
1-2-3 الحمولة على طول المجرى– ضياع الحمولة	102
3-3 الحمولة النوعية	102
1-3-3 تغير الحمولة النوعية مع العمق من أجل تدفق ثابت	103
2-3-3 تغير التدفق تبعاً للعمق من أجل حمولة نوعية ثابتة	107
4-3- الجريان المنتظم الحرج	109
1-4-3 الميل الحرج	109
5-3 حساب العمق الحرج	111
1-5-3 قناة ذات مقطع مستطيل	112
2-5-3 مقطع مثلثي	113
3-5-3 مقطع شبه منحرف	114
6-3 المناطق الانتقالية	115
1-6-3 مستوى تحت الحرج (بطئ) إلى مستوى آخر تحت الحرج	115
2-6-3 الانتقال من جريان فوق الحرج إلى جريان فوق الحرج	117
3-6-3 الانتقال من جريان تحت الحرج إلى فوق الحرج	119

4-6-3 الانتقال من جريان فوق الحرج إلى تحت الحرج	119
مسائل الفصل الثالث	120
الفصل الرابع **الجريان الدائم المتدرج التغير**	
4-1 مقدمة	141
4-2 أساسيات دراسة الجريان متدرج التغير	142
4-3 المعادلة الأساسية لحالة جريان متدرج التغير	143
4-4 خواص منحنيات سطح الجريان متدرج التغير في قناة منتظمة	147
4-4-1عدم استمرارية سطح الجريان	147
4-4-2 سلوك سطح الجريان عند أعماق محددة	148
4-5 أشكال السطح الحر للجريان (المنحنيات الراجعة):	150
4-5-1 حالة ميل هابط $J > 0$	151
4-5-2 حالة قناة قاعها أفقي $j=0$:	158
4-5-3 :حالة ميل صاعد $j < 0$	160
4-6 المعادلات الحسابية للجريان الدائم المتدرج التغير	162
4-6-1 طريقة بافلوفسكي	164
4-6-2 طريقة بريس	172
4-6-3 طريقة باكميتيف	176
4-6-4 طريقة التقريب المتتالي	184
4-7 شكل منحني الجريان عند النقاط الخاصة	186
4-7-1 شكل منحني الجريان عند التغير في ميل الأقنية الموشورية	186
4-7-2 شكل منحني الجريان عند الاتصال بالمنشآت المائية	190
4-8 مقطع التحكم	191
تطبيقات الفصل الرابع	193
الفصل الخامس	

الجريان سريع التغير (القفزة المائية)	
1-5 مقدمة	217
2-5 المعادلة العامة للقفزة المائية	219
1-2-5 منحني القوى النوعية	220
3-5 القفزة المائية في قناة أفقية منتظمة ذات مقطع مستطيل	223
1-3-5 العلاقة بين العمقين المترافقين	223
2-3-5 السرعتان بجوار القفزة المائية والعلاقة بينهما	225
3-3-5 العلاقة بين العمقين المترافقين ورقم فرود	225
4-5 القفزة في الأقنية ذات المقطع غير المستطيل	226
5-5- أنواع القفزة المائية	227
6-5 ضياع الحمولة بالقفزة المائية	229
7-5 مردود القفزة	230
8-5 طول القفزة L_j	230
9-5 تعيين موضع القفزة	231
10-5 استعمال المعادلات ومنحنيات الحمولة النوعية والقوى النوعية	233
11-5 شكل منحني الجريان في القناة الخلفية بعد السقوط من المنشآت (سد هدار– منشأة سقوط – بوابات)	235
تطبيقات الفصل الخامس	247
المصطلحات العلمية	265
المراجع العلمية	271

مقدمة

يعتبر الكتاب الحالي مرجعاً مفيداً لطلاب السنة الثالثة في كلية الهندسة التقنية ،قسم تقانات الهندسة البيئية.

يغطي كتاب ميكانيك الموائع 2 مواضيع تندرج في اطار ما نسميه الهيدروليك الهندسي أي الهيدروليك الذي يدرس حركة المياه في المنشآت الهندسية وصولاً الى العلاقات التي تسمح بتصميم الأجزاء المختلفة من هذه المنشآت. وهذا الكتاب يؤمن تغطية مناسبة للمبادئ الأساسية لجريان الموائع في الأقنية المكشوفة اذ اشتمل الكتاب على دراسات تفصيلية لمواضيع الجريان الدائم في الاقنية المكشوفة ، والجريان الحرج وكذلك الجريان المتغير بشكل تدريجي وبشكل مفاجئ.

ادرج الكتاب الحالي عدد غير قليل من الامثلة التطبيقية المحلولة المرتبطة بالقسم النظري للكتاب.

رغم أن تعليم الهندسة يطرح مطلباً أساسياً في البلدان المتطورة فإنه يشكل تحدياً شديد الوطأة في البلدان النامية إذ أن الحاجة الفورية للكوادر التقنية لتحقيق التنمية السريعة وكذلك الرغبة في وضع مناهج وطرائق تدريب تلائم الاحتياجات المحلية تشكلان حوافز محركة قد تعرض علم الهندسة وتدريسه في العالم النامي للخطر إن لم يكن هنالك توجيه صحيح.

إن تأمين الأساس العلمي الذي ترتكز عليه مهنة الهندسة تعتبر الدور المطلوب في أية مؤسسة هندسية، بتعبير آخر يجب أن تعكس المناهج الهندسية إعداداً قاعدياً كافياً من أجل مستوى ملائم للتنمية المحلية دون المساس بعلم الهندسة ومعاييره الاساسية.

يمر قطرنا اليوم كما سائر أقطارنا العربية بمرحلة تحول نحو حياة متطورة. ولسنا أحوج في أية فترة من حاجتنا في الفترة الحالية لترسيخ أسس التقنية الصحيحة لدعم الجهود المبذولة في سبيل تحقيق التحول المنشود والنهوض بالمجتمع في شتى المرافق. ولا ريب في أن مشاكل الثروة المائية والتحكم بها تعتبر من أكثر المواضيع أهمية بالنسبة لامتنا العربية كما لسائر أمم العالم اليوم ولمدى أكبر في المستقبل القريب.

آمل أن يضيف هذا العمل لبنة جديدة في بناء المكتبة العلمية العربية وأن يحقق لطلابنا الأعزاء ما نرجوه لهم من فائدة تسهم في اغناء شخصيتهم العلمية والله من وراء القصد.

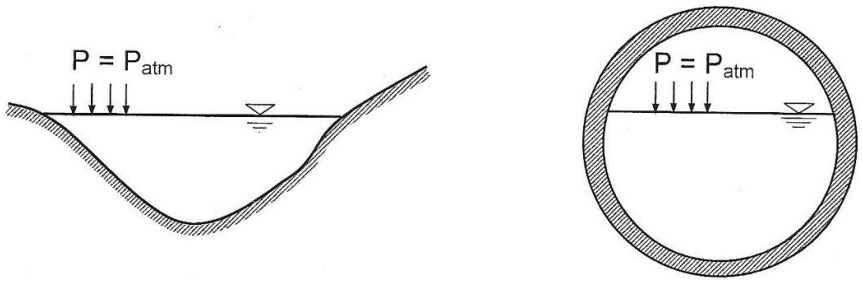
حلب 2013م

المؤلف

الفصل الأول
المبادئ الأساسية للجريان في الأقنية المكشوفة

1-1 مقدمة:

الأقنية المكشوفة هي نواقل مائية يكون فيها السطح الحر للماء معرضاً للضغط الجوي الشكل (1-1). أي أن الماء أثناء جريانه في هذه الأقنية يخضع لتأثير الضغط الجوي فقط وفيها تكون القوة المسببة للجريان هي مركبة وزن السائل المحمولة باتجاه الحركة.



الشكل (1-1) تعريف الأقنية المكشوفة

وقد تكون القناة مغطاة، كالنفق في منطقة جبلية مثلاً أو شبكات الصرف الصحي، غير أن الماء يجب أن لا يملأ القناة تماماً كي لا يعلو الضغط فوق الضغط الجوي، وإلا يصبح النفق عندئذ أنبوباً تجري فيه المياه تحت الضغط، وقد تكون القناة المكشوفة ذات مقطع منتظم كأقنية الري وشبكات الصرف في المدن أو قد تكون ذات مقطع غير منتظم كالأنهار.

وتستخدم هذه الأقنية لأغراض مختلفة على سبيل المثال لا الحصر:

- أقنية الري: التي تؤمن إيصال المياه إلى المزروعات في الحقول.
- أقنية مياه الصرف: التي تؤمن إيصال مياه الصرف إلى محطات المعالجة.
- أقنية المحطات الكهربائية: التي تؤمن إيصال المياه إلى عنفات المحطات الكهربائية.

يتشابه الجريان في الأقنية المكشوفة في عدة خواص مع الجريان المضغوط " الذي تمت دراسته في الجزء الأول من ميكانيك الموائع".

ولكن ما هي الفروقات بين الأقنية المكشوفة والمضغوطة؟

1- في حالة الجريان المضغوط يكون أي مقطع جريان محدد بمحيط صلب من جميع النواحي، أما في حالة الجريان المكشوف فيكون هناك دائماً سطح حر.

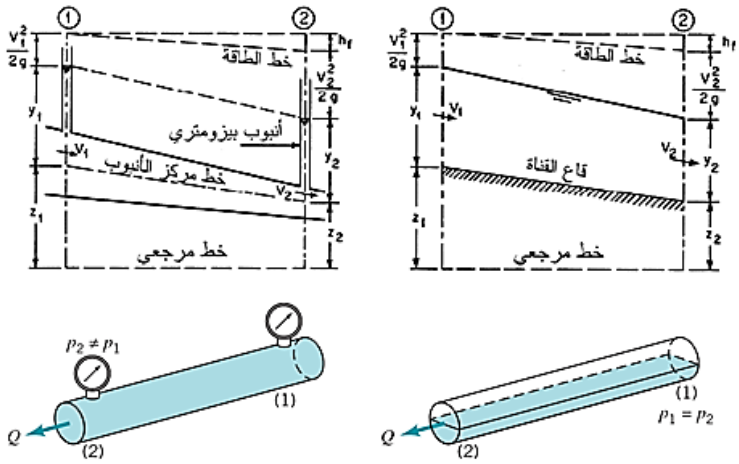
2- في الأقنية المضغوطة يكون الضغط عند أي نقطة على طول المجرى إما أكبر أو أقل من الضغط الجوي، وفي بعض الأحيان يتساوى الضغط عند نقطة ما على امتداد الجريان مع الضغط الجوي مثل حالة الجريان خلال أنبوب سيفون. أما المجاري المفتوحة فيكون الضغط عند أي نقطة على السطح الحر دائماً مساوياً للضغط الجوي.

3- في حالة الأقنية الترابية أو الأنهار توجد قابلية لتحرك المادة المكونة للجدران أو القاع بتأثير الجريان أو تتغير حالة السطح من مصقولة إلى خشنة بينما تتغير خشونة الأنابيب المضغوطة الداخلية من أنبوب جديد إلى أنبوب متآكل أو قديم بالإضافة لذلك تتغير خشونة الأقنية المكشوفة مع وضع السطح الحر لذلك فإن اختبار أمثال الاحتكاك للأقنية المكشوفة يكون أقل دقة من حالة الأنابيب المضغوطة.

4- في الأقنية المكشوفة يكون مقطع المجرى المائي بأي شكل كان من الشكل الدائري إلى الشكل غير المنتظم للأنهار الطبيعية بينما يكون المقطع في الأقنية المضغوطة بصورة عامة دائرياً.

يعطي الشكل (1-2) مقارنة بين النوعين من الجريان حيث نرى على الشكل (a) الجريان في أنبوب وقد غرس أنبوبان بيزومتريان في المقطعين (1) و(2).

يرتفع الماء في الأنابيب البيزومترية بسبب الضغط في الأنبوب الرئيسي إلى مستوى ندعوه الخط البيزومتري حيث يمثل الارتفاع y بين مستوى الماء في الأنبوب البيزومتري ومركز المقطع ضغط الماء في هذا المقطع. يمثل مجموع ارتفاع مركز المقطع للأنبوب عن مستوي المقارنة z والارتفاع البيزومتري $y = \frac{P}{\gamma}$ (piezometric height) وارتفاع السرعة (velocity head) $\frac{V^2}{2g}$ القدرة الكلية في وحدة وزن الماء المار في المقطع ونسميها الحمولة (H)



(a) **(b)**

الشكل (1-2) (a) الجريان في الأقنية المضغوطة، (b) الجريان في الأقنية المكشوفة

$$H = z + y + \frac{V^2}{2g} \qquad (1\text{-}1)$$

والخط الواصل بين مختلف الارتفاعات H يدعى خط القدرة أو خط الحمولة (Energy. Line) والقدرة الضائعة لدى جريان الماء من المقطع (1) إلى المقطع (2) تمثل بالارتفاع h_f حيث في حالة أنبوب أسطواني:

$$h_f = \lambda \frac{L}{D} \frac{V^2}{2.g} \qquad (2\text{-}1)$$

يعطي الشكل (b) تمثيلاً متشابهاً من أجل الجريان في الأقنية المكشوفة حيث اعتبرنا للسهولة أن خطوط التيار متوازية والسرعة منتظمة التوزيع في المقطع وميل القناة ضعيف، في هذه الحالة يكون الخط البيزومتري منطبقاً على سطح الماء.

رغم وجود تشابه بين النوعين من الجريان فإن حل مسائل الجريان في الأقنية المكشوفة أكثر صعوبة من حالة الجريان في الأنابيب المضغوطة. إذ أن شروط الجريان في الأقنية المكشوفة تكون معقدة بسبب تغير وضع السطح الحر تبعاً للزمن والمكان ولأن عمق الماء والتدفق وميول أرضية القناة وسطح الماء متعلقة ببعضها البعض.

نتيجة لتعدد أنواع الأقنية المكشوفة وأشكالها، كذلك نتيجة لتأثير السطح الحر على الجريان وقابلية مادة الجريان والقاع للحركة في حالة الأقنية الترابية، فإن معالجة الجريان في الأقنية المكشوفة بالطرق التقليدية يكون من الصعوبة بمكان. لكي نسهل من هذه

الصعوبة سوف نقسم الأقنية المكشوفة إلى أقسام تبعاً لأساس تكوينها– نوع المحيط المحدد لها– شكلها– انتظامها مع المسافة، ومن ثم يمكن إجراء دراسة لكل نوع على حدة.

في نفس الوقت سوف نضطر خلال دراستنا للجريان المكشوف إلى استخدام قوانين تجريبية (Empirical Formulae) ولكن يجب الأخذ بالاعتبار أن مثل هذه القوانين تكون صالحة للاستعمال في إطار الفروض والحدود التي استنتجت على أساسها.

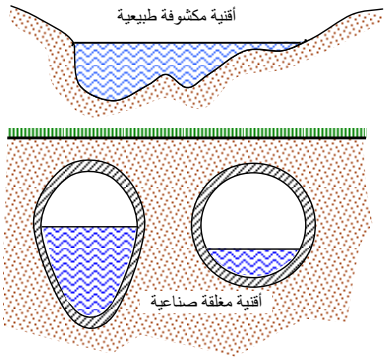
2-1 أنواع الأقنية المكشوفة:

تنقسم الأقنية المكشوفة إلى أنواع عديدة وذلك تبعاً لوجهة النظر التي يتم على أساسها ذلك التقسيم كالآتي:

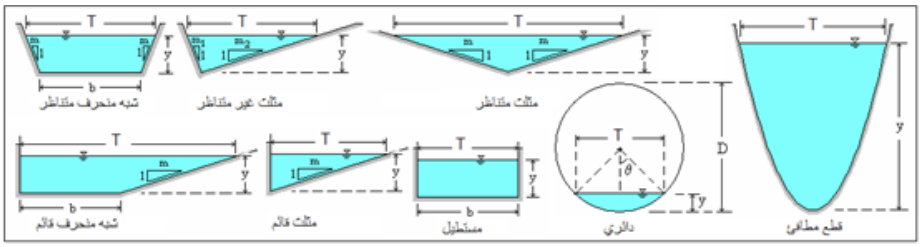
a) تبعاً للمنشأ:

1- أقنية طبيعية: Natural open channels

2- أقنية مكشوفة صناعية: Artificial open channels



الأقنية المكشوفة الطبيعية تشمل تلك الأقنية التي وجدت طبيعياً على سطح الأرض ولم يقم بحفرها الإنسان، مثل الأنهار صغيرة كانت أم كبيرة، كما يمكن كذلك معالجة الجريان الجوفي ذو السطح الحر كأقنية مكشوفة طبيعية انظر الشكل (1-3).



الشكل (1-3) أنواع الاقنية المكشوفة

تتميز هذه الأقنية بعدم انتظام خواصها الهيدروليكية وتتطلب عند دراستها الإلمام بمجالات أخرى بجانب الهيدروليك مثل الهيدرولوجيا وحركة الرواسب. ويسمى هذا النوع

من الهيدروليك والذي يعالج الجريان في الأقنية الطبيعية بهيدروليك الأنهار River Hydraulics.

الأقنية المكشوفة الصناعية تشمل الأقنية التي قام بحفرها أو إنشائها الإنسان وتشمل قنوات الري– المصارف المفتوحة والمغطاة– أقنية الصرف الصحي– الأقنية الملاحية الخ.

وذلك بالإضافة إلى الأقنية التي يتم إنشاؤها في المعامل لدراسة بعض المشاكل الهيدروليكية عليها. وتكون الخواص الهيدروليكية لهذه الأقنية واضحة ومحددة.

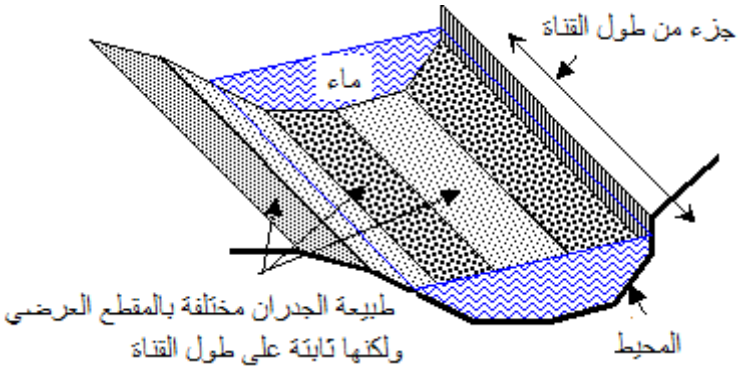
b) تنقسم الأقنية المكشوفة تبعاً لنوع المحيط المحدد لها إلى:

1- أقنية مكشوفة ذات محيط صلب open channels with rigid boundaries

2- أقنية مكشوفة ذات محيط قابل للتآكل open channels with erodible boundaries

وتنقسم تلك بدورها إلى نوعين:

- أقنية رسوبية.
- أقنية ذات حشائش.



الشكل (1-4)

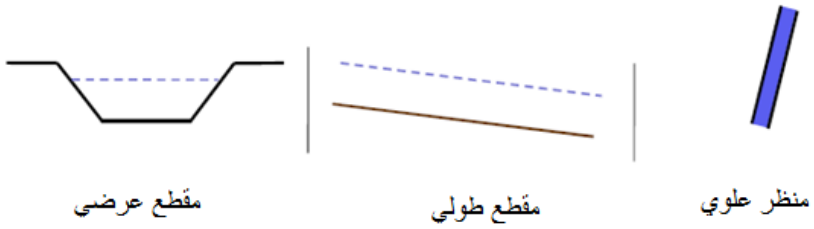
c) تنقسم الأقنية المكشوفة تبعاً لشكلها الهندسي إلى أقسام عديدة. الأقنية الطبيعية عادةً ما يكون مقطعها غير منتظم، الشكل (1-3) يبين مقطع عرضي لمجرى طبيعي. أما الأقنية الصناعية فتأخذ أشكالاً هندسية عديدة، الشكل (1-3) يبين مجموعة من تلك الأشكال والتي سوف نتعرض لها بالدراسة.

عادةً ما تنشأ الأقنية المكشوفة الصناعية على شكل مقطع شبه منحرف حيث ميل الجوانب ($\cot\theta$) تؤخذ قيمته (2/1 أو 3/2 أو 1/1) وذلك تبعاً للعمق ونوع مادة الجوانب. القنوات المبطنة Pined Channels تنشأ بأي شكل مناسب تقتضيه المتطلبات العملية.

d) يمكن أن تنقسم الأقنية المكشوفة تبعاً لانتظامها إلى:

- أقنية منتظمة موشورية Prismatic channels

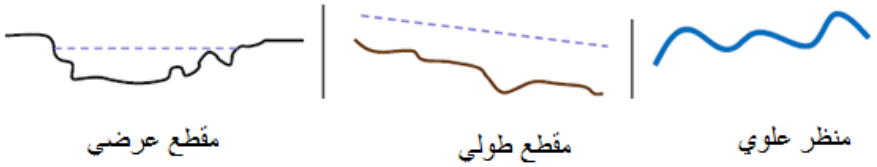
الأقنية المنتظمة هي تلك التي لا يتغير الشكل الهندسي لمقطعها كذلك ميل القاع لها مع المسافة الشكل (1-5).



الشكل (1-5) أقنية منتظمة موشورية

- أقنية غير منتظمة Nonprismatic channels

الأقنية غير المنتظمة هي تلك التي يتغير الشكل الهندسي للمقطع أو ميل القاع مع المسافة الشكل (1-6).

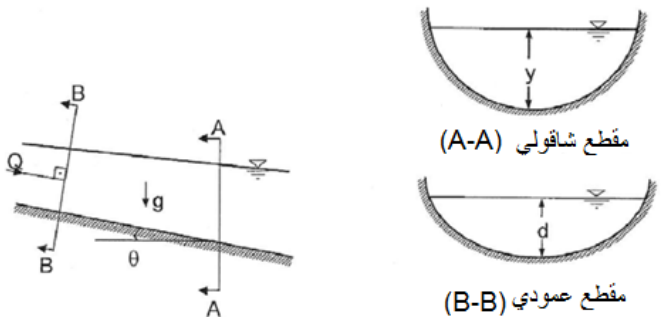


الشكل (1-6) أقنية غير منتظمة

في الدراسة الحالية سوف نتناول فقط بالدراسة الجريان في الأقنية المكشوفة الصناعية المنتظمة Artificial Prismatic channels.

3-1 تعاريف أساسية:

المقطع المائي A: يعرف المقطع المائي لقناة مكشوفة بأنه المقطع الناتج عن قطع القناة عمودياً باتجاه الجريان والمحدد بالجدران الصلبة والسطح الحر الشكل (1-7).



الشكل (1-7) المقطع المائي لقناة مكشوفة

المحيط المبلول P: يعرف المحيط المبلول بالمحيط الذي يتبع الجدران الصلبة المحدودة بجريان الماء دون السطح الحر الشكل (1-8).

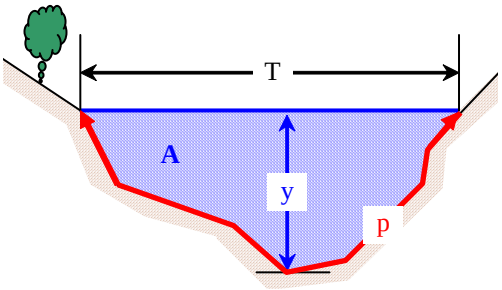
نصف القطر الهيدروليكي R_h: يعرف نصف القطر الهيدروليكي للقناة المكشوفة بأنه النسبة بين المقطع المائي A والمحيط المبلول P الشكل (1-8) أي:

$$R_h = \frac{A}{P} \qquad (3\text{-}1)$$

العمق الهيدروليكي y_m: يعرف العمق الهيدروليكي في الأقنية المكشوفة بالعمق الوسطي للجريان ويساوي إلى نسبة المقطع المائيA إلى عرض السطح الحرT أي:

$$y_m = \frac{A}{T} \qquad (4\text{-}1)$$

يبين الشكل (1-8) مختلف التعاريف الاساسية



الشكل (1-8) التعاريف الاساسية في الأقنية المكشوفة

1-3-1 المقاطع العرضية في الأقنية وعناصرها الهيدروليكية:

يمكن أن نصادف أثناء دراستنا الهيدروليكية أشكالاً ونماذج متعددة للمقاطع العرضية للأقنية، سوف نورد الآن أهم هذه النماذج مع كيفية تحديد عناصرها الهيدروليكية، ويقصد بالعناصر الهيدروليكية للمقطع العرضي التالي:

A: سطح المقطع المائي.

P: المحيط المبلول.

$\mathbf{R_h}$: نصف القطر الهيدروليكي.

1) مقطع شبه منحرف:

يعتبر المقطع العرضي شبه المنحرف من أكثر الأشكال الهندسية المستعملة في الأقنية المكشوفة لسهولة تنفيذه والشكل (1-9) يوضح أبعاد هذا المقطع:

لنعتمد الرموز التالية:

b: عرض قاعدة القناة من الأسفل.

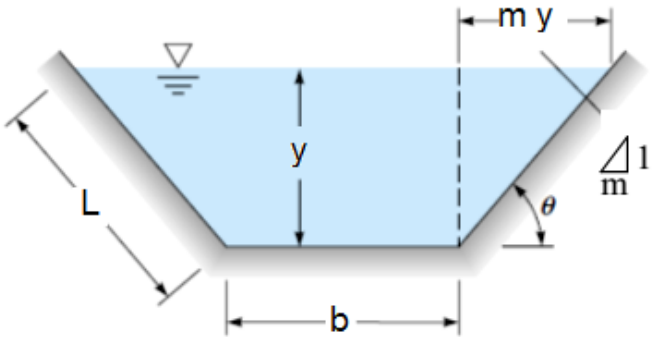
y: عمق الماء في القناة.

m: ميل جانب القناة ويساوي $m=ctg\theta$

θ : زاوية ميل جانب القناة.

T: عرض القناة من الأعلى المقابل للعمق y

ومن الشكل (1-9) نجد أن:



الشكل (1-8) المقطع العرضي لقناة شبه المنحرف

$$T = b + 2y\,ctg\theta = b + 2y\,m$$

$$A = (b+T)\frac{y}{2} = (b+b+2y\,m)\frac{y}{2}$$

$$A = (b + m\,y)\,y \qquad (4\text{-}1)$$

$$P = b + 2\frac{y}{\sin\theta}$$

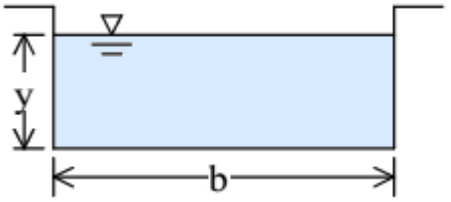
$$\sin\theta = \frac{1}{\sqrt{1+ctg^2\theta}}$$

$$P = b + 2\,y\sqrt{1+m^2} \qquad (5\text{-}1)$$

$$R_h = \frac{A}{P} = \frac{(b+my)y}{b+2\,y\sqrt{1+m^2}} \qquad (6\text{-}1)$$

2) مقطع مستطيل:

يبين الشكل (1-10) قناة مكشوفة ذات مقطع مستطيل في هذه الحالة يكون:



الشكل (1-10) المقطع العرضي لقناة مستطيل

$$b = T$$

$$m = ctg\theta = ctg90 = 0$$

فيكون:

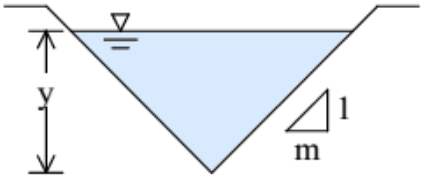
$$A = b\,y$$

$$P = b + 2\,y \qquad (7\text{-}1)$$

$$R_h = \frac{A}{P} = \frac{b\,y}{b+2\,y}$$

3) مقطع مثلثي:

يبين الشكل (1-11) قناة مكشوفة ذات مقطع مثلثي في هذه الحالة



الشكل (1-11) المقطع العرضي لقناة مثلثية

$$b = 0$$

$$T = 2\,m\,y$$

$$A = m\,y^2 \qquad (8\text{-}1)$$

$$P = 2\,y\sqrt{1+m^2}$$

$$R_h = \frac{m\,y}{2\sqrt{1+m^2}}$$

كما يمكن أن نصادف نماذج أخرى من المقاطع العرضية للأقنية، حيث لا تملك هذه النماذج أشكالاً هندسية محددة، كما في الشكل (1-3):

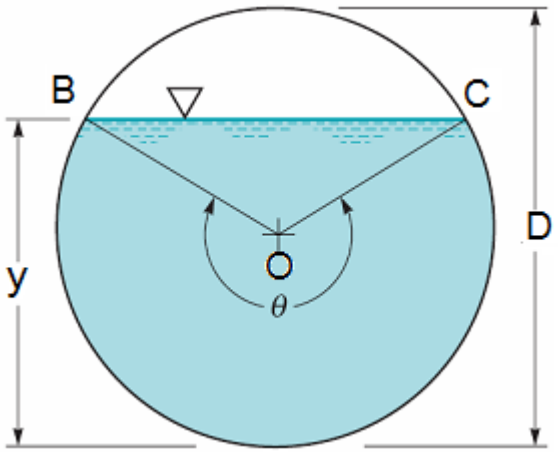
في هذه الحالة نقسم المقطع العرضي إلى عدة أجزاء لها أشكال هندسية محددة، ثم نحدد بعد ذلك سطح المقطع المائي والمحيط المبلول ونصف القطر الهيدروليكي للمقطع بكامله.

كما يمكن أن نصادف أقنية مغلقة، هذه النماذج من الأقنية التي تستخدم بشكل واسع في إيصال المياه إلى عنفات المحطات الكهربائية وفي شبكات الصرف الصحي وتصريف مياه الأمطار ومجالات أخرى.

وتحسب من الناحية الهيدروليكية كأقنية مكشوفة نحدد في كل حالة من الحالات سطح المقطع المائي. والمحيط المبلول وبالتالي نصف القطر الهيدروليكي وذلك حسب شكل المقطع وحسب نسبة الامتلاء بالماء ولنأخذ مثالاً على ذلك المقطع الدائري.

4) المقطع الدائري:

يبين الشكل (1-12) العناصر الأساسية اللازمة للتصميم الهيدروليكي كما يلي:



الشكل (1-12) المقطع العرضي لقناة دائرية

$$A = \overset{\cup}{OBC} + \overset{\Delta}{OBC}$$

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

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

$$A = \frac{r^2}{2}(\theta - \sin\theta) \qquad (9\text{-}1)$$

المحيط المبلول:

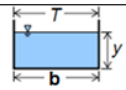
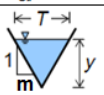
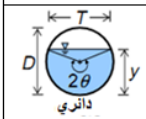
$$P = r\,\theta \qquad (10\text{-}1)$$

نصف القطر الهيدروليكي:

$$R_h = \frac{A}{P} = \frac{r\,(\theta - \sin\theta)}{2\,\theta} \qquad (11\text{-}1)$$

يبين الجدول (1-1) خصائص المقاطع الهندسية الأكثر استعمالاً

الجدول (1-1) خصائص المقاطع الهندسية

شكل المقطع الهندسي	المقطع المائي A	المحيط المبلول P	نصف القطر الهيدروليكي R_h	عرض السطح الحر T
 مستطيل	$A = b\,y$	$P = b + 2\,y$	$R_h = \frac{b\,y}{b + 2\,y}$	$T = b$
 مثلث	$A = m\,y^2$	$P = 2\,y\sqrt{1+m^2}$	$R_h = \frac{m\,y}{2\sqrt{1+m^2}}$	$T = 2\,m\,y$
شبه منحرف	$A = (b + m\,y)\,y$	$P = b + 2\,y\sqrt{1+m^2}$	$R_h = \frac{(b+my)y}{b + 2\,y\sqrt{1+m^2}}$	$T = b + 2y\,m$
 دائري	$A = \frac{r^2}{2}(\theta - \sin\theta)$	$P = r\,\theta$	$R_h = \frac{r\,(\theta - \sin\theta)}{2\,\theta}$	$T = 2\,r\sin\frac{\theta}{2}$

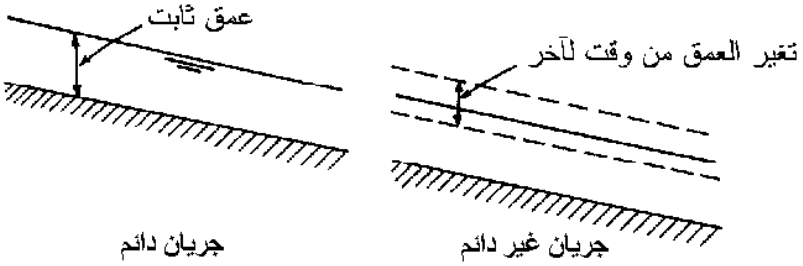
4-1 تصنيف الجريانات في الأقنية المكشوفة:

يصنف الجريان تبعاً لتغير عمق الجريان مع الزمن والمسافة في الأقنية المكشوفة إلى الأنواع التالية:

1-4-1 الجريان الدائم والجريان غير الدائم Steady and Unsteady Flow

يقال عن الجريان في الأقنية المكشوفة أنه دائم إذا كان عمق الجريان والسرعة غير متغير أو إذا أمكن اعتباره ثابتاً خلال الفترة الزمنية المعتبرة والجريان يكون غير دائم إذا تغير العمق مع الزمن الشكل (1-13). في أكثر الحالات يدرس الجريان في الحالة الدائمة. ولكن إذا كان تغير شروط الجريان مع الزمن ذا أهمية فتدرس الحالة غير الدائمة، ففي حالة

الفيضان مثلاً يتغير منسوب الماء بسرعة مع الزمن ودراسة حركة موجة الفيضان تكون ذات أهمية كبيرة لتصميم منشآت التحكم.



الشكل (1-13) الجريان الدائم والجريان غير الدائم

مهما كان نوع الجريان فإن التدفق في مقطع القناة يعطى بالعلاقة:

$$Q = A\,V \qquad (12\text{-}1)$$

حيث:

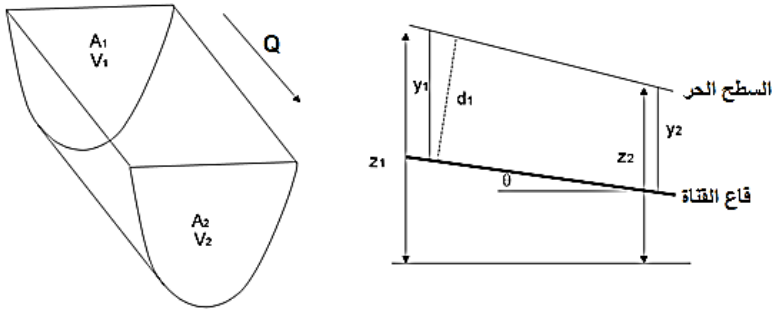
V: السرعة الوسطية للجريان.

A: مقطع الجريان المعامد لاتجاه الجريان.

في أكثر مسائل الجريان الدائم يكون التدفق ثابتاً على طول القسم المعتبر من القناة أي أن الجريان مستمر وبالتالي فإن المعادلة (1-12) تصبح:

$$Q = A_1\,V_1 = A_2\,V_2 \qquad (13\text{-}1)$$

وتمثل معادلة الاستمرار في الجريان الدائم المستمر الشكل (1-14).



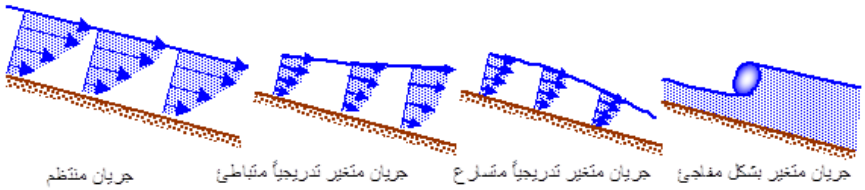
الشكل (1-14) معادلة الاستمرار في الجريان الدائم المستمر

1-4-2 الجريان المنتظم والجريان المتغير بالنسبة للمسافة

Uniform and Varied Flow

يقال عن الجريان في الأقنية المكشوفة إنه منتظم إذا كان عمق الماء والسرعة في جميع مقاطع القناة الموشورية ثابتاً.

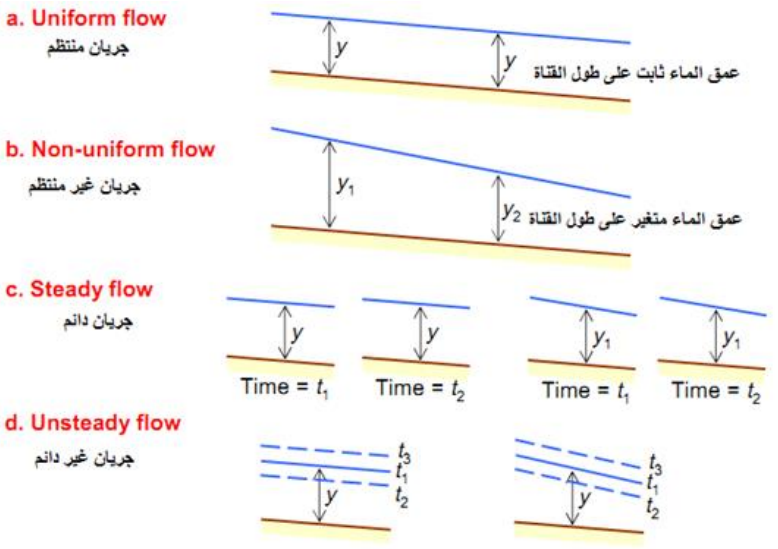
يمكن أن يكون الجريان المنتظم دائماً أو غير دائم حسب كون العمق يتغير أو لا يتغير مع الزمن الشكل (1-15).



الشكل (1-15) الجريان المنتظم والجريان المتغير

إن الجريان الدائم المنتظم هو النوع الأساسي للجريان الذي يدرس في الأقنية المكشوفة ويكون فيه عمق الماء ثابتاً خلال الفترة الزمنية المعتبرة. أما الجريان غير الدائم والمنتظم فيحتوي على سطح ماء يتغير وصفه من حين لآخر مع بقائه موازياً لأرضية القناة. من الواضح أن هذا الشرط صعب التحقيق لذلك يقصد عادةً بكلمة "جريان منتظم" الجريان الدائم المنتظم.

يكون الجريان متغيراً إذا تغير عمق الماء على طول القناة ويمكن أن يكون الجريان المتغير دائماً أو غير دائم، وبما أنه من النادر الحصول على جريان غير دائم ومنتظم فإن عبارة "جريان غير دائم" تستخدم فقط للجريان المتغير غير الدائم يبين الشكل (1-16) تصنيف الجريان.

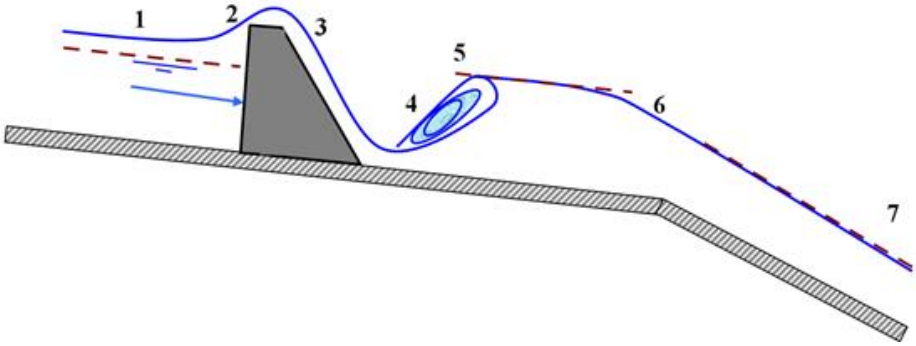


الشكل (1-16) تصنيف الجريان

ويمكن تصنيف الجريان المتغير أيضاً إلى جريان متغير تدريجياً وجريان متغير بسرعة. ويكون الجريان متغيراً بسرعة إذا تغير عمق الماء بقيمة كبيرة على مسافة صغيرة كما هو الأمر في حالة القفزة المائية والسقوط.

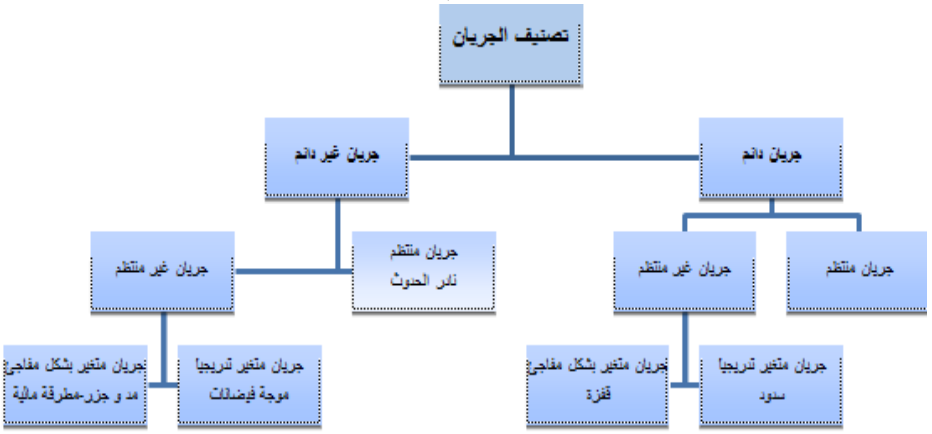
يبين الشكل (1-17) الأنواع المتعددة للجريان في الأقنية المكشوفة وهي على الشكل التالي:

1) جريان منتظم نهري.
2) جريان نهري متغير بشكل تدريجي صاعد.
3) جريان شلالي متسارع بشكل تدريجي.
4) متغير بشكل مفاجئ – قفزة مائية.
5) جريان منتظم شلالي.



الشكل (1-17) الأنواع المتعددة للجريان في الأقنية المكشوفة

يمكن تلخيص تصنيف الجريان كما يلي:



1-5- نظام الجريان

يتحكم بنظام الجريان في الأقنية المكشوفة القوى التالية:

1- قوى الثقالة.

2- قوى الاحتكاك (اللزوجة).

بالنسبة لقوى العطالة للجريان حسب أهمية تأثير اللزوجة بالنسبة للعطالة يمكن أن يكون الجريان صفحياً أو مضطرباً أو انتقالياً ويصنف برقم رينولدس

$$Re = \frac{V\,R_h}{\nu} \qquad (14\text{-}1)$$

V: السرعة الوسطية للجريان.

R_h : نصف القطر الهيدروليكي.

ν : اللزوجة الحركية.

يعتبر الجريان:

$R_e \le 300$ صفحياً

$300 < R_e < 500$ انتقالياً

$R_e > 500$ مضطرباً

ولما كانت الجريانات ذات السطح الحر غالباً مضطربة فإننا نادراً ما نفتش عن تأثير عدد رينولدس. إلا أنه في حالات خاصة مثلاً عندما تكون سرع الجريان صغيرة، أو عندما يكون السائل الجاري شديد اللزوجة، أو في حالة الجريانات السطحية (على مساحات واسعة من الأرض) بأعماق صغيرة الخ. فإنه يجب حتماً التحقق من معرفة نظام الجريان من حيث الاضطراب لنتمكن من تطبيق القانون المناسب للحالة المدروسة.

أما من حيث تأثير الثقالة فيعبر عنها بنسبة قوى العطالة إلى قوى الثقالة وتعطى هذه النسبة بعدد فرود:

$$F_r = \frac{V}{\sqrt{g\,y_m}} \qquad (15\text{-}1)$$

V: سرعة الجريان.

y_m : العمق الهيدروليكي.

ونظراً لأهمية تأثير الثقالة على الجريان المكشوف فإن لهذا العدد الأهمية الأساسية في تحديد نظام الجريان:

- يكون الجريان نهرياً (fluvial) أو دون الحرج (subcritical flow) عندما $F_r < 1$.
- يكون الجريان شلالياً (torrential) أو فوق الحرج (supercritical flow) عندما $F_r > 1$.
- وإذا كان $F_r = 1$ فإن الجريان يكون حرجاً (critical flow).

6-1 توزع السرعة في الأقنية المكشوفة:

بسبب وجود سطح حر للجريان، كذلك بسبب الاحتكاك بين كتلة الجريان المتحرك وبين قاع وجدران القناة فإن توزيع السرعات في أي مقطع جريان يكون توزيعاً غير منتظماً.

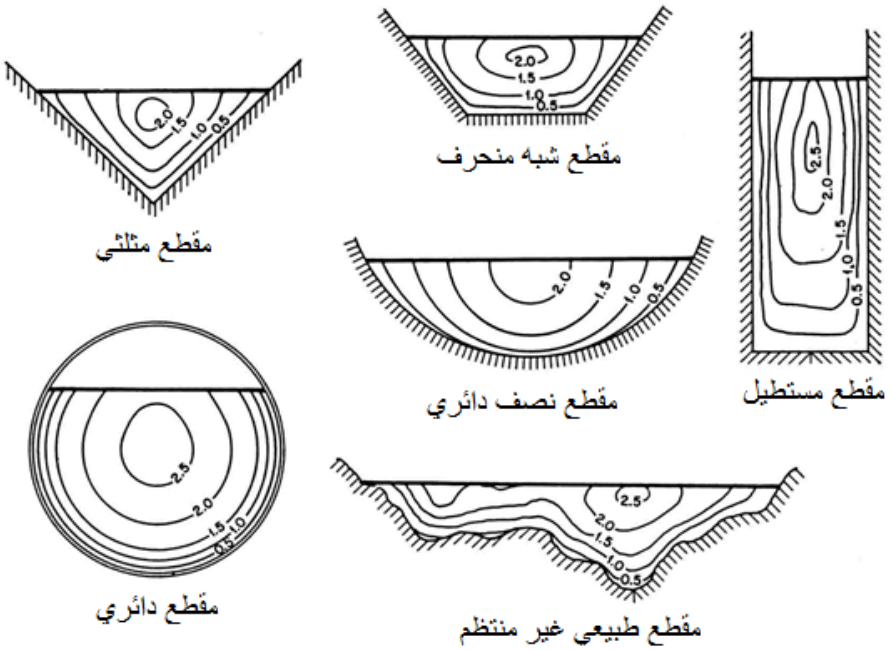
في مقطع جريان لقناة مفتوحة تكون السرعات قيمتها كبيرة على الخط الشاقولي المار بمنتصف المقطع (محور التماثل) وتقل كلما اتجهنا إلى الجوانب. على أي خط رأسي في مقطع الجريان في قناة مكشوفة، تحدث أقصى قيمة للسرعة (V_{max}) تحت السطح الحر بمسافة تتراوح بين $0.05y \rightarrow 0.25y$ حيث y هو عمق الجريان في ذلك المقطع، مع ملاحظة أن عمق موضع السرعة القصوى تحت السطح الحر يزيد بنقصان عرض القناة.

الشكل (1-18) يوضح توزيع السرعات في مقاطع جريان مختلفة الشكل وذلك بدلالة خطوط تساوي السرع.

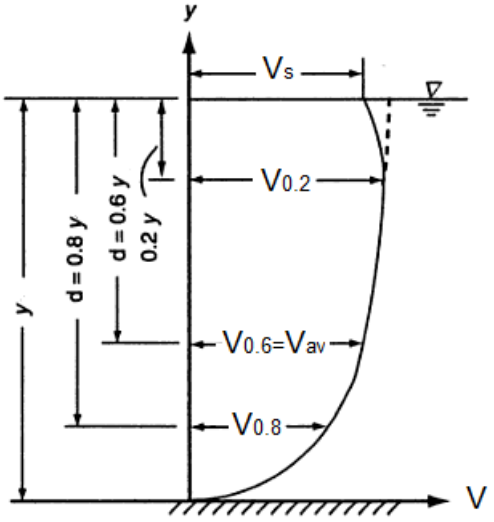
حيث نلاحظ أن السرعة تكون قليلة بالقرب من الجدران وقيمتها صفراً عنده، وتزداد هذه القيمة باقترابها نحو المركز. واستناداً لهذا فإن السرعة القصوى سوف تكون في الوسط وعلى سطح الماء، وبسبب وجود الشد السطحي فإن السرعة القصوى تنخفض إلى الأسفل كما ذكرنا بمسافة معينة تعتمد على شكل مقطع القناة يبين الشكل (1-19) منحني توزع السرعة.

وكا نرى أن منحني السرعة يتغير مع العمق ولابد من اعتماد سرعة تقريبية تعتمد على شكل مقطع القناة وخشونة جدرانه لتكون:

$$V_m = \frac{V_{0.2} + V_{0.8}}{2} \qquad (16\text{-}1)$$



الشكل (1-18) توزيع السرعات في مقاطع جريان مختلفة الشكل



الشكل (1-19) منحني توزع السرعة

يعتمد توزيع السرعات في مقطع جريان لقناة مكشوفة على:

1- التغيرات الغير المنتظمة في مقطع الجريان.

2- خشونة جوانب القناة وقاعها.

3- وجود منحنيات في المسقط الأفقي للقناة.

فمثلاً نجد أن زيادة خشونة قاع القناة بسبب زيادة انحناء منحني توزيع السرعة في المستوى الشاقولي كما هو موضح بالشكل (1-20).

الشكل (1-20)

وضحت التجارب أنه في الأقنية المكشوفة المنحنية الشكل في المسقط الأفقي، يكون الجريان في منطقة الانحناء لولبياً كما يؤثر على توزيع السرعات في مقاطع الجريان، ويجب أخذ ذلك في الاعتبار عند تصميم هذه الأجزاء.

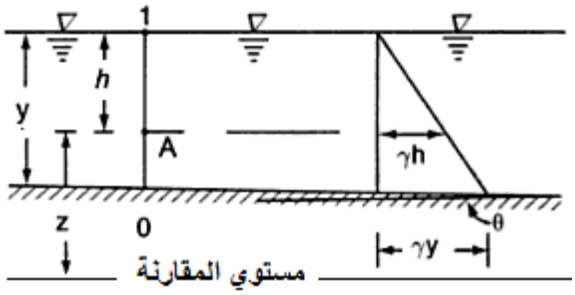
كما وضحت التجارب والملاحظات أيضاً أنه لحالة قناة مكشوفة عريضة – وتعتبر القناة عريضة إذا كان $(b>10y)$ يكون توزيع السرعات في المنطقة الوسطى لمقطع الجريان متشابه على الخطوط الشاقولية المختلفة. على ذلك يمكن اعتبار توزيع السرعات في هذه المنطقة كما لو كانت الأقنية ذات عرض لا نهائي وينعدم فيها تأثير الجوانب على توزيع السرعة.

1-7- توزيع الضغط في مقطع جريان كقناة مكشوفة:

يمكن قياس الضغط في أية نقطة من مقطع الجريان في قناة ذات ميل ضعيف بارتفاع عمود الماء في أنبوب بيزومتري مغروس في تللك النقطة الشكل (1-21) والشكل (1-22-a) بإهمال الاهتزاز الناتج عن الاضطراب من الواضح أن عمود الماء هذا يجب أن يرتفع من النقطة المعتبرة إلى الخط البيزومتري أو إلى سطح الماء وبالتالي فإن الضغط في كل نقطة من المقطع يتناسب طرداً مع عمق النقطة أسفل السطح الحر ويساوي إلى الضغط الهيدروستاتيكي الموافق لهذا العمق،. بعبارة أخرى يكون توزيع الضغط في مقطع القناة كتوزيع الضغط الهيدروستاتيكي أي أنه خطي.

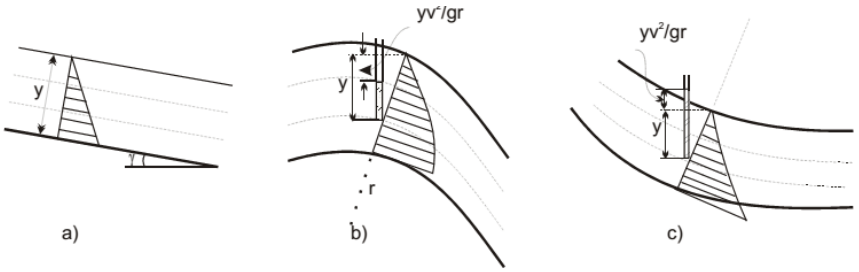
إن قانون الهيدروستاتيك لتوزيع الضغط في مقطع جريان يصلح فقط عندما تكون خطوط الجريان بدون مركبة تسارع في مستوى المقطع، يسمى هذا النوع من الجريان بالجريان المتوازي أي تكون خطوط التيار بدون انحناء ولا تباعد وبالتالي لا يوجد تسارع

محسوس عمودياً على اتجاه الجريان يمكنه تغيير التوزيع الهيدروستاتيكي للضغط في المقطع.



الشكل (1-21) توزيع الضغط في مقطع القناة المكشوفة لجريان منتظم

عملياً يكون الجريان المنتظم عادةً جريانا متوازياً، كما أن الجريان المتغير تدريجياً يمكن اعتباره جريان متوازي لأن التغير بالعمق صغير لدرجة أن خطوط التيار لا تحوي على تباعد أو انحناء محسوس. لذلك ولاعتبارات عملية نطبق قانون التوزيع الهيدروستاتيكي على الجريان المتغير تدريجياً كما نطبقه على الجريان المنتظم.



الشكل (1-22)

a) تأثير انحناء خطوط التيار على توزيع الضغط:

إذا كانت خطوط التيار منحنية في المستوى الشاقولي يسمى الجريان في هذه الحالة بالجريان المنحني، يسبب هذا الانحناء وجود مركبة تسارع عمودية على اتجاه الجريان (قوة نابذة) وهذا بدوره يسبب اختلاف توزيع الضغط عن التوزيع الهيدروستاتيكي.

يبين الشكل (1-22) توزيع الضغوط في حالة جريان منحني إذا كان الجريان:

1- جريان محدب convex flow

2- جريان مقعر concave flow

في حالة الجريان المحدب الشكل (22-1-b) تؤثر القوى النابذة للأعلى بعكس اتجاه قوى الجاذبية وعلى ذلك يقل الضغط عند أي نقطة عن ذلك المحسوب من قانون توزيع الضغوط الهيدروستاتيكية. قيمة الضغط في هذه الحالة عند نقطة تقع على عمق h تحت السطح الحر يكون مقداره

$$P = \rho\, h\, (g - \frac{V^2}{r}) = \gamma\, h\, (1 - \frac{V^2}{g\, r}) \qquad (17\text{-}1)$$

حيث:

V: سرعة الجريان.

r: نصف قطر التقوس لخط التيار عند النقطة التي يحسب عندها الضغط.

في حالة الجريان المقعر الشكل (22-1-c) تؤثر القوى النابذة للداخل أي في اتجاه قوى الجاذبية وعلى ذلك تزيد قيمة الضغط عند أي نقطة عن تلك المحسوبة من قانون توزيع الضغوط الهيدروستاتيكية. قيمة الضغط في هذه الحالة عند أي نقطة تقع على عمق h تحت السطح الحر يكون مقداره:

$$P = \rho\, h\, (g + \frac{V^2}{r}) = \gamma\, h\, (1 + \frac{V^2}{gr}) \qquad (18\text{-}1)$$

في حالة الجريان المتغير بسرعة يكون تغير العمق سريعاً لدرجة ظهور انحناءات كبيرة في خطوط الجريان، وبالتالي فإن تطبيق القانون الهيدروستاتيكي لتوزيع الضغط لا يصح بدقة كافية من أجل الجريان المتغير بسرعة.

b) تأثير الميل على توزيع الضغط:

في حالة الأقنية المكشوفة ذات الميل الكبير الشكل (23-1) لو وضعت أنبوبة بيزومترية عند نقطة في مقطع الجريان (1-1) مثلاً تقع تحت السطح الحر على عمق مقداره y فإن السطح داخل هذه الأنبوبة سوف يرتفع شاقولياً فوق هذه النقطة مسافة h أي أن الضغط عند هذه النقطة سوف يكون:

$$P = \gamma\, h \qquad (19\text{-}1)$$

ولكن

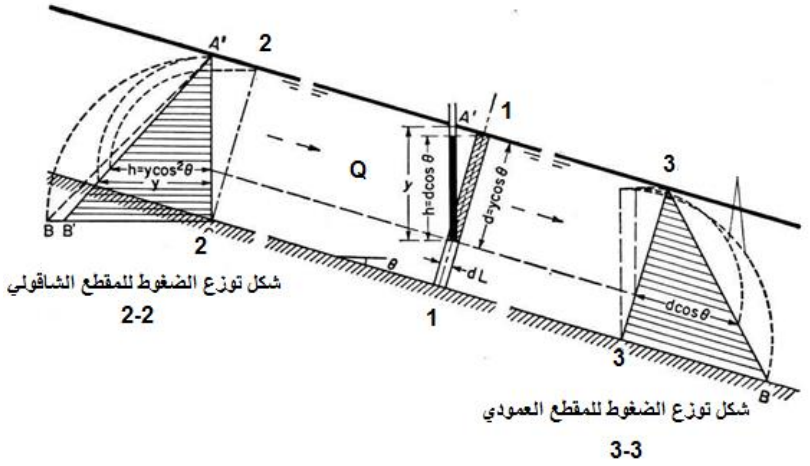
$$h = d \cos\theta \qquad (20\text{-}1)$$

$$d = y \cos\theta \qquad (21\text{-}1)$$

فيكون:

$$P = \gamma\, y \cos^2\theta \qquad (22\text{-}1)$$

وذلك لأن توزيع الضغوط في مقطع الجريان العمودي يتبع قانون التوزيع الهيدروستاتيكي للضغوط.ويوضح الشكل أيضاً توزيع الضغوط لمقطعين أحدهما شاقولي (2-2) والآخر عمودي على قاع القاع (3-3).



الشكل (1-23) تأثير الميل على توزيع الضغط

على ذلك فإنه لحساب الضغط في مقطع شاقولي يستخدم معامل تصحيح مقداره $\cos^2\theta$.

تعتبر الأقنية المكشوفة ذات ميل كبير إذا كان ميل القاع أكبر من $\frac{1}{10}$ حيث أنه إذا كان ميل القاع أصغر من هذه القيمة أي أن $\theta < 6^\circ$ فإنه يمكن إهمال معامل التصحيح، حيث سيكون الخطأ الناتج عن ذلك الفرض أقل من 1% ويقال في هذه الحالة أن القناة ذات ميل صغير.

في دراستنا في هذا المقرر، جميع الأقنية المكشوفة التي ستقابلنا تعتبر ذات ميل صغير وعلى ذلك سوف يهمل التصحيح المذكور سابقاً.

المصطلحات العلمية

انكليزي	عربي
B	
Basin	حوض
Bottom of Channel	أرضية القناة
Boundary Layer	الطبقة الحدية
C	
Canal, Channel	قناة
Caviation	تكهف
Clay	غضار
Continuous Flow	جريان مستمر
Contraction	رص
Control Section	مقطع التحكم
Conveyance	تدفق
Critical Depth	عمق حرج
Critical Discharge	تدفق حرج
Critical Discharge	تدفق حرج
Critical Slope	ميل حرج
Current	تيار
Curvature	انحناء
Curvature	انحناء
D	
Dam	سد
Density	كثافة
Diffuser, Draft, Tube	مباعد

انكليزي	عربي
Divergence	تباعد
E	
Efficiency	مردود
Energy Line	خط الحمولة
Energy Line	خط الحمولة
Energy Loss	ضياع حمولة
Excavation	اعمال الحفر
F	
Filling	أعمال الردم
Flood	فيضان
Flow	جريان
Fluid	مائع
Freeboard	ارتفاع حر
Freeboard	ارتفاع حر
Friction	احتكاك
Froud's Number	رقم فرود
G	
Gate	بوابة سكر
Gradient	تدارج
Gravel	بحص

انكليزي	عربي
Gravel	بحص
Gravity	ثقالة
H	
Head	حمولة
Hydraulic grade Line	الخط البيزومتري
Hydraulic Jump	قفزة هيدروليكية
Hydraulic Radius	نصف القطر الهيدروليكي
Incompressible	غير مضغوط
K	
Kinetic Energy	طاقة حركية
L	
Laminar Flow	جريان صفحي
Level	منسوب
Lining	تكسية
Liquid	سائل
Loss of Head	ضياع حمولة
M	
Momentum	كمية حركة
N	
Normal Depth	عمق نظامي

عربي	انكليزي
	O
فتحة	Orifice
	P
أنبوب	Pipe
طاقة كامنة	Potential Energy
استطاعة	Power
ضغط	Pressure
سابرة	Probe
	R
خزان	Reservoir
رقم رينولدز	Reynolds Number
خشونة	Rugosity
تصريف	Run-Off
	S
عتبة	Sill
طمي	Silt
طمي	Silt
حمولة نوعية	Specific Energy

عربي	انكليزي
كتلة نوعية	Specific Mass
وزن نوعي	Specific Weight
استقرار	Stability
جريان دائم	Steady Flow
ميل شديد	Steep Slope
خط تيار	Streamline
جريان نهري (دون الحرج)	Subcritical Flow
نظام نهري	Subcritical Regime
أنبوب سحب	Suction-Tube
جريان شلالي (فوق الحرج)	Supercritical Flow
نظام شلالي	Supercritical Regime
T	
اضطراب	Turbulence
جريان مضطرب	Turbulent Flow
U	
منتظم	Uniform
جريان منتظم	Uniform Flow
V	

عربي	انكليزي
جريان متغير	Varied Flow
لزوجة	Viscosity
W	
سرعة انتشار موجة	Wave Celerity
موزع	Weiket Gates
هدار	Weir
مقطع مبلول	Wetted Area
محيط مبلول	Wetted Perimeter

المراجع العلمية

1- المراجع العربية

1- أحمد فيصل أصفري، نوفل شماس **الهيدروليك 3 ، منشورات جامعة حلب، 1989.**

2- شـــريف فتحي الشـــافعي، المرجع الكامل في ميكانيكا الموائع ، دار الكتب العلمية للنشر والتوزيع، 2006.

3- آصف شاهين ، الهيدروليك 2، منشورات جامعة دمشق، 1996.

4- غسان مخائيل ابراهيم، بسام عبد العزيز الخضر **الهيدروليك 3 ، منشورات جامعة البعث، 1996.**

5- محمد عبد الرحمن الجنايني، **الهيدروليكا وتطبيقاتها في الهندســـة المدنية، الجزء الثاني، دار الراتب الجامعية، 1986 .**

2- المراجع الأجنبية

1. A. Osman Akan**, Open Channel Hydraulics**, Butterworth-Heinemann 2006.
2. VEN TE CHOW, **OPEN-CHANNEL HYDRAULICS** by the McGraw-Hill Book Company,1959
3. Hubert Chanson,**Environmental Hydraulics for Open Channel Flows**, Butterworth-Heinemann 2004
4. Roland Jeppson**, Open Channel Flow**: Numerical Methods and Computer Applications, published in the Taylor & Francis – Library,2011.
5. M. Hanif Chaudhry **Open-Channel Flow**, Springer Science2008
6. Madan Mohan Das, **Open Channel Flow**, PHI Learning Private Limited,2011
7. P. Balachandran **Engineering Fluid Mechanics**, PHI Learning Private Limited,2011

1. Douglas J.F, Gasiorek J.M and Swaffield**, Fluid Mechanics** 3ed Edition Longman Scientific &Technical 1995.
2. Young, D. F., B. R. Munson, T. H. Okiishi, and W. W. Huebsch, A Brief, **Introduction to Fluid Mechanics**, Wiley, New York (2007).
3. White, F. M., **Fluid Mechanics**, 5th ed., McGraw-Hill, New York (2003).

4. White, F. M., **Viscous Fluid Flow**, 3rd ed., McGraw-Hill, New York (2006).
5. Vennard, J. K. and R. L. Street, **Elementary Fluid Mechanics**, 6th ed, John Wiley, New York (1982).
6. Shaughnessy, E. J., I. M. Katz, and J. P. Schaffer, **Introduction to Fluid Mechanics**, Oxford Univ. Press (2004).
7. Schetz, J. A. and A. E. Fuhs, **Fundamentals of Fluid Mechanics**, 3rd ed., Wiley-Interscience (1999).
8. Yunus A. Çengel, John M. Cimbala**, Fluid mechanics: fundamentals and applications**, McGraw-HillHigher Education, 2006.
9. Didier Desjardins, Michel Combarnous, Nathalie Bonneton **Mécanique des fluides Problèmes résolus avec rappels de cours** Sciences Sup, Dunod
10. **dynamique des fluides non visqueux,** 5e édition Dunod 2002.
11. Jacques Bonvin, **Hydraulique urbaine I**, 2005
12. Bernard Massey**, Fluid Mechanics,** 8rd ed,published in the Taylor & Francis –Library,2005.
13. Bernard Massey**, Fluid Mechanics-Solution manual,** 8rd ed, published in the Taylor & Francis –Library,2006.
14. Armando Lencastre Hydraulique générale, Eyrolles 1999
15. Arora K.R, **Fluid Mechanics Hydraulic and Hydraulic Machines** Standard Publishers Distributors Nai Sarak Delhi 7rd ed 1993
16. John A.Robenson Clayton T. Crowe, **Engineering Fluid Mechanics** 6rd ed 1997.
17. Cengel, Y. A. and J. M. Cimbala, **Fluid Mechanics**, McGraw-Hill, New York (2005).
18. Ahmed, N., **Fluid Mechanics, Engineering** Press (1987).
19. Andrew Chadwick, John Morfet and Martin Borthwick, **Hydraulics in Civil and Environmental Engineering,** 4rd ed Taylor & Francis – Library,2005.
20. Y. NAKAYAMA, **Introduction to Fluid Mechanics,** Butterworth-Heinemann 2000.
21. Kreith, F.; Berger, S.A.; et. al. **Fluid Mechanics Mechanical Engineering Handbook** Ed. Frank Kreith Boca Raton: CRC Press LLC, 1999.
22. Nemanja Trifunovi, **Introduction to Urban Water Distribution**, Published by:Taylor & Francis/Balkema, 2006.
23. Jack B. Evett, Cheng Liu, **2500 solved problems in fluid mechanics and hydraulics**, McGraw Hill Professional, 1989 - Science
24. Laborde J.P**. Elements D'hydraulique Generale** Ecole Polytechnique De L'universite De Nice - Sophia Antipolis**,** 2007

تم تدقيق الكتاب علمياً من قبل:

الدكتور	الدكتور	الدكتورة
نبيل شيخ قروش	محمود البكور	ناهد فرهود

تم تدقيق الكتاب لغوياً من قبل:

الدكتور

أحمد شيخ حسين