هندسة
المنشآت الهيدروليكية

د. أحمد عبد الحكم طه عبد الحكم
د. محمد عصام محمد عبد الماجد
م. سيف الدين فضل أبوزيد فضل
ب. د. م. م. عصام محمد عبد الماجد

تصميم جرافيك
لبنى عصام

هندسة المنشآت الهيدروليكية

اعداد

د. م. أ. أحمد عبدالحكم طه عبدالحكم

د. محمد عصام محمد عبد الماجد

م. سيف الدين فضل أبوزيد فضل

ب. د. م. م. عصام محمد عبد الماجد

تصميم جرافيك

لبنى عصام محمد عبد الماجد

العنوان: هندسة المنشآت الهيدروليكية (كتاب)
الطبعة الأولى، أحلام حبوبة – الخرطوم–السودان، وادنبرا – بريطانيا، 2023.

المؤلفون:
د. م. أ. أحمد عبدالحكم طه عبدالحكم، ahmed.hakam01@gmail.com
د. محمد عصام محمد عبد الماجد، mohammed_isam1984@yahoo.com
م. سيف الدين فضل أبوزيد فضل، saifeldeen1191@gmail.com
ب. د. م. م. عصام محمد عبد الماجد، isam.abdelmagid@gmail.com

تصميم الغلاف والرسوم الداخلية: لبنى عصام محمد عبد الماجد،
lubnaisam@lubnaisam.net

ترقيم الكتاب بالمكتبة: 150010222
الترقيم الدولي (ISBN): 978-1-7394731-0-5
صفحة الكتاب بالمنصة:
https://laylacp.net/webaccess/book_view.php?id=150010222

جميع الحقوق محفوظة © 2023 منصة ليلى الثقافية
Layla Cultural Platform (LCP) 2023 ©Copyright
(https://laylacp.net)
هذا المُصنَّف مرخص بموجب رخصة المشاع الإبداعي نَسب المُصنَّف – غير تجاري – الترخيص بالمثل 4.0 دولي
Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International

المؤلفون في لمحة

د. م. أ. أحمد عبدالحكم طه عبدالحكم

د. م. أ. أحمد عبدالحكم طه عبدالحكم يحمل بكالوريوس الهندسة المدنية – تخصص هندسة المياه والري جامعة السودان للعلوم والتكنولوجيا (السودان). ماجستير الهندسة البيئية تخصص الجودة البيئية والطاقات المتجددة جامعة ميونيخ (ألمانيا). دكتوراة الهندسة البيئية وموارد المياه كرسي اليونيسكو للمياه بجامعة أمدرمان الاسلامية (السودان). عمل محاضر واستاذ مساعد بعدد من الجامعات السودانية في مجال هندسة المياه والبيئة، كما عمل كباحث متعاون مع عدد من المؤسسات البحثية السودانية والاقليمية. شملت خبرته المهنية الاكاديمية والفنية العمل رئيسا لقسم هندسة الري والمياه، ونائبا للهيئة الاستشارية بجامعة السودان، ومديرا للمشاريع الهندسية ومديرا تنفيذيا لعدد من الشركات الهندسية السودانية. يشرف على عدد من مشاريع التخرج للبكالوريوس والماجستير ومشرفا متعاونا لبحوث الدكتوراة. مهتم بمجال النمذجة والمحاكاة وتطبيقات البرمجة في هندسة المياه والبيئة.

د.محمد عصام محمد عبد الماجد

د.محمد عصام محمد عبدالماجد، بكالوريوس الطب والجراحة MBBS، MRCP المملكة المتحدة، MPH، مسجل اختصاصي طب الباطنية، قسم الغدد الصماء والسكري، Gloucestershire Hospitals NHS FoundationTrusy, Gloucester, UK.
Email:mohammed.abdel-magid@nhs.net

الدكتور عبد الماجد حاصل على بكالوريوس الطب والجراحة (MBBS) من كلية الطب، جامعة الخرطوم، السودان، 2008؛ دبلوم دراسات عليا في مرض السكري، جامعة جنوب ويلز، المملكة المتحدة، 2015؛ ماجستير في الصحة العامة (MPH)، جامعة هيرتفوردشاير، المملكة المتحدة، 2019. وهو عضو في الكليات الملكية للأطباء (MRCP UK)، إدنبرة، 2014. لديه خبرة أكاديمية وسريرية شاملة لمدة 10 سنوات كمساعد تدريس ومعلم ومدرس في كل من القدرات الأكاديمية والمهنية. وهو طبيب مقيم ممارس في أقسام الطب الباطني والحوادث والطوارئ. عمل

كمراجع أقران وعضو في هيئة تحرير مجلة Science Journal of Medicine & Clinical Trialsو Pinnacle Medicineو Pan African Medical Journal والمجلة الدولية لدراسات الدكتوراه والمجلة الدولية للتخصصات الناشئة. إنه مسؤول نظام Linux مؤهل، حيث حصل على مؤهل Linux Foundation Certified SysAdmin (LFCS) في عام 2015. وهو مبرمج كمبيوتر ذو خبرة مع أكثر من 15 عامًا من البرمجة، مع التركيز بشكل خاص على C / C ++ و Java و Visual Basic. وهو المسؤول عن العديد من حزم Fedora GNU / Linux ومساهم نشط في مشروع GNU (مع حزم GnuDOSو Fontopia الخاصة به). وهو عضو في مؤسسة البرمجيات الحرة. لقد صمم وحزم العديد من الخطوط، ويمكن الوصول إليها جميعًا وتنزيلها من مكتبة الخطوط المفتوحة (http://fontlibrary.org) أو موقع المؤلف (http://sites.google.com/site/mohammedisam2000). بريد إلكتروني: mohammed_isam1984@yahoo.com ،mohammed.abdel-magid@nhs.net

سيف الدين فضل أبوزيد فضل

سيف الدين فضل أبوزيد فضل بكالوريوس هندسة موارد المياه (الدفعة التاسعة)، كلية هندسة المياه والبيئة، جامعة السودان للعلوم والتكنولوجيا 2013، ماجستير الري الحضري كلية الهندسة والتكنولوجيا، جامعة محمد شريف مساعديه، سوق اهراس، الجزائر 2019، محاضر في قسم هندسة موارد المياه.

الأستاذ الدكتور المهندس المستشار عصام محمد عبد الماجد أحمد

الأستاذ الدكتور المهندس المستشار عصام محمد عبد الماجد أحمد أستاذ هندسة مصادر المياه والهندسة البيئية، B.Sc., PDH, DSE, Ph.D., FSES, CSEC, MSECS. حاصل على درجة البكالوريوس مع مرتبة الشرف (الدرجة الأولى) جامعة الخرطوم (السودان) 1977، دبلوم هيدرولوجيا جامعة بادوفا (ايطاليا) 1978 ماجستير – جامعة دلفت التكنولوجية (هولندا) 1979، دكتوراه جامعة استراثكلايد بريطانيا 1982. شملت خبرته المهنية مهندس مدني بالمؤسسة العامة للري والحفريات – السودان. عمل كمدرس مساعد، وأستاذ مساعد، وأستاذ مشارك، وأستاذ، ورئيس قسم، ونائب عميد، وعميد، ووكيل، ورئيس

في مختلف مؤسسات التعليم العالي: الخرطوم، الإمارات العربية المتحدة، السلطان قابوس، أم درمان الإسلامية، السودان للعلوم والتكنولوجيا، جوبا، مركز البحوث والاستشارات الصناعية، أكاديمية السودان للعلوم، جامعة الملك فيصل والإمام عبد الرحمن بن فيصلبالدمام. أشرف على عدة بحوث لمشاريع التخرج والدبلوم فوق الجامعي والماجستير والدكتوراه. عمل كممتحن خارجي ومراجع لمؤسسات مختلفة وكمدير للعديد من المدارس والمراكز والمجلات العلمية المحكمة. تضمنت جوائزه جائزة الجمعية الهندسية السودانية لأفضل مشروع في الهندسة المدنية، وجائزة وزارة الداخلية لأفضل أداء في السنة الرابعة في الهندسة المدنية، وشاح الشرف لإثراء المعرفة من دار النشر جامعة الخرطوم، وأفضل كتاب في العام – مجلس الصحافة بوزارة التجارة والصناعة السودانية، وجائزة كتاب في الهندسة من الالكسو. ألف أو شارك في تأليف أكثر من بضع وثلاثمائة بحثًا ومنشورًا ونصًا وكتبًا مرجعية وتقارير فنية وملاحظات محاضرات في مجالات إمدادات المياه وهندسة موارد مياه الصرف الصحي وإدارتها وإعادة استخدامها واستصلاحها؛ والتخلص من النفاية.

البريد الإلكتروني: isam.abdelmagid@gmail.com

المصورة والرسامة في لمحة

لبنى عصام محمد عبد الماجد

لبنى عصام محمد عبد الماجد كاتبة ومدونة وصحافية. تخصص مزدوج في علوم الحاسوب والصحافة (اتصالات عامة) من جامعة السودان للعلوم والتكنولوجيا. حصلت على درجة الماجستير في إدارة الأعمال عام 2007 من أكاديمية السودان للعلوم، الخرطوم، السودان. تحب كتابة الروايات والقصص القصيرة التي تعكس القضايا المعاصرة للمجتمع الأفريقي. نشرت عدة روايات عربية مع عزة للنشر (السودان)، وبلاتينيوم بوكس (الكويت)، وأمازون (الولايات المتحدة). نشرت روايتين باللغة الإنجليزية مع ناشري فانجارد وناشري أولمبيا (المملكة المتحدة). وهي عضو نشط في عدد من الجمعيات التطوعية والمدنية، وينصب تركيزها على مرضى السرطان والفشل الكلوي ومتلازمة داون. يشمل عملها التطوعي تقديم الدعم النفسي والمالي لهؤلاء المرضى. تعمل حاليًا كرئيسة تنفيذية لمنصة ليلى الثقافية (https://laylacp.net).

مقدمة الناشر

يُعَدّ هذا المرجع العلمي المهم الأول من نوعه في المنطقة العربية من حيث المحتوى والمضمون، حيث يشكل أول مرجع علمي مكتوب باللغة العربية في مجال هندسة المنشآت الهيدروليكية وتصميمها والأسس الهندسية المتعلقة بها.

لقد استغرق اعداد وتجهيز المادة العلمية، وتصميم وتنقيح الأشكال والرسوم، عدة أشهرٍ لم تمر بسهولة على المؤلفين والمصممة ودار النشر، حيث شَهِد السودان حرباً ضروساً ما زال يعاني منها حتى وقت نشر هذا السفر، انقطعت خلالها جميع سبل التواصل المرئية والمقروءة والمسموعة، مما أثّر سلباً على إمكانية التواصل بين المؤلفين ودار النشر. ورغم جميع الصعاب، تمكن المؤلفون بالتعاون مع دار النشر من اكمال مادة الكتاب واخراجه في شكله النهائي، فهذا الكتاب يعدّ بحق كتاباً كُتِبَ في زمن الحرب، تمهيداً لبناء انسان ما بعد الحرب.

نأمل أن يشكل الكتاب باباً مفتوحاً ليدخل الأمل مُشرَعاً ليسكن عقول المهندسين والشباب والعاملين في الحقل من جميع الخبرات التي يحتاجها السودان، كما تحتاجها المنطقة العربية، ليساعد في بناء مستقبل أفضل للأجيال القادمة.

الناشر

مقدمة الطبعة الأولى

نحمد الله سبحانه وتعالى ونثني عليه ونصلي ونسلم على سيدنا محمد وعلى آله وصحبه وسلم.

لوحظ افتقار المكتبة العربية إلى مرجع علمي متخصص في هندسة المنشآت الهيدروليكية بالتركيز على مبادئ التصميم وأسس الأداء الفني لها. من ثم رُوعي إخراج هذا الكتاب مع توخي البساطة في الطرح، واليسر في العرض، والسلاسة في التسلسل المنهجي وفنيات المهنة، والمواكبة للعلوم والتكنولوجيا واعمال الأسس الهندسية والمهارات المهنية، وإدخال الخبرات العملية.

تطرق الكتاب في أبوابه المختلفة، ومحاوره المتعددة إلى تدفق المياه خلال الوسائط المسامية، وقوى السوائل على الأجسام المغمورة، وقوى الأمواج على المنشآت البحرية. وأسهب تفصيلا في المكونات الهيدروليكية العامة للمنشآت المائية والتحليل الإنشائي لها وتصميمها بالتركيز على تصميم كل من منشآت التحكم (البوابات، والصمامات، ومآخذ السحب)، والمنشآت المتساقطة (السدود، ومجاري الصرف)، ومنشآت الاحتفاظ بالمياه (الجدران والسدود)، ومنشآت عبور المياه (القنوات، وقنوات سحب المياه)، والدفق في القني المكشوفة أو المفتوحة.

نشد الكتاب لتغطية مقرر المنشآت المائية بجامعة الامام عبد الرحمن بن فيصل بالدمام بالمملكة العربية السعودية:

Hydraulic Structures, ENVEN 524,General hydraulics of water structures.Flow through porous media.Hydraulics and design of control structures (gates; valves; siphons intakes), Drop structures (Weirs; spillways). Water retaining structures (Walls and dams),

water crossing structures (culverts; siphon aqueducts).Fluid forces on submerged bodies, Waves forces on off-shore structures.Structural analysis and design of hydraulic structures.

بالإضافة لكورسي المنشآت المائية بقسم هندسة المياه بكلية هندسة المياه والبيئة بجامعة السودان للعلوم والتكنولوجيا:

1) تصميم المنشآت المائية 1 GEE512(Design of Hydraulics Structures 1) (ساعات اتصال:4 ساعات معتمدة 3). أنواع الإنشاءات المائية، منشآت قياس التدفق (الجريان)، منشآت تنظيم الجريان، منشآت تخزين الماء، تصميم المنشآت المائية، معايرة المنشآت المائية، منشآت توليد الطاقة، الخزانات العلوية والأرضية.
2) تصميم المنشآت المائية 2 WRE525(Design of Hydraulic Structures 2) (ساعات اتصال:4 ساعات معتمدة 3). أنواع السدود، تحليل استقرار السدود، التصميم الإنشائي للحوائط الساندة للماء، التصميم الإنشائي للمعابر، التصميم الإنشائي لخزانات المياه (الخرسانية والمعدنية)، منشآت حصاد المياه، الحفائر.

كما وغطى الكتاب منهج قسم هندسة الري والهيدروليك بكلية الهندسة بجامعة السودان للعلوم والتكنولوجيا:

مقدمة عن المنشآت الهيدروليكية وتاريخها. أمثلة لها وتطورها خلال العقب التاريخية المختلفة. التطور الذي لازم التصميم الهندسي لها حتى الوصول الى الاستدامة في التصميم. هيدروليك القنوات المفتوحة وانواع الجريان وطرق قياسه. الفروقات بين القنوات المفتوحة والمغلقة وتصميم القنوات المفتوحة بأنواعها. نظريات التسرب وطرق الفشل الملازمة له. منشآت الإسقاط واستخداماتها في المنشآت المائية. السدود وانواعها ومكوناتها وتصميمها (السدود التثاقلية الخرسانية).

من المرجو أن يفيد هذا الكتاب المرجعي الطالب المطلع، والمهندس المتدبر لمكون معين، ومخطط المنشآت الهيدروليكية، ومسئول البلدية والبنى التحتية من ذوي العلاقة، والباحث المتفهم للتفاصيل التصميمية والمهنية والهندسية الملائمة. وقد أدرجت في ثنايا الكتاب عدة أمثلة عملية مفصلة، وتمارين حقلية محلولة، وأسئلة نظرية ذات صلة بالواقع الهندسي المعاش. ولمزيد من الفهم والايضاح استخدمت الجداول البيانية المعبرة، والأشكال المفسرة للشرح، والمعادلات الرياضية ذات لصلة لتعم الفائدة والمنفعة ويتكامل الفهم والاستيعاب.

لم يكن لهذا الجهد أن يكتمل لولا التوفيق من الله سبحانه وتعالى ثم المشاركة الفعالة من عدة كيانات وجهات علمية وأكاديمية وتثقيفية وتوعوية ومجتمعية وتطوعية فلهم منا عظيم الشكر وأجزل الثناء وأعطر التقدير. فالشكر ممدود لكل من أسهم وأعان في استكمال محاسن وجماليات هذه الاصدارة للكتاب، أو ساهم بماله، وساعد بجهده، وضافر بوقته، وقارع بذهنه، واشترك بعمله لتكميل الكتاب وإخراجه للفائدة العامة. ونسأله سبحانه وتعالى أن يجعل هذا العمل في ميزان الحسنات يوم الدين. آمين.

المؤلفون
أحلام حبوبة– امتداد ناصر، والخرطوم، وبحري، وشلتنقهام، وأدنبرا، مايو 2023م

محتويات الكتاب

المؤلفون في لمحة 3

المصورة والرسامة في لمحة 5

مقدمة الناشر 6

مقدمة الطبعة الأولى 7

محتويات الكتاب 10

قائمة الجداول 16

قائمة الصور والأشكال 18

الرموز والمصطلحات المستخدمة في الكتاب 23

الباب الأول 31

مفاهيم البرمجة للمنشآت الهيدروليكية 31

1-1) تاريخ الحاسوب 31

2-1) أنواع البرامج 32

3-1) لغات البرمجة 33

4-1) الأمثلة البرمجية في هذا الكتاب 35

5-1) البرامج الموجودة على القرص المضغوط المصاحب 36

6-1) التمارين العامة 37

الباب الثاني 38

مقدمة المنشآت الهيدروليكية 38

1-2) تمهيد 38

2-2) المنشآت الهيدروليكية 40

3-2) تصنيف المنشآت الهيدروليكية 46

4-2) دور الاقتصاد في التصميم الهيدروليكي 51

2-4-1) دور اختيار الامثل (التحسين) في التصميم الهيدروليكي Role of optimization in hydraulic design 52
2-4-2) دور تحليل المخاطر في التصميم الهيدروليكي Role of risk analysis in hydraulic design 53
2-4-3) مصادر عدم اليقين 54
2-4-4) تقييم موثوقية المخاطر Risk-Reliability Evaluation 56
2-4-5) الاستدامة Sustainability 58
2-5) التدفق من خلال الوسائط المسامية Flow through porous media 60
2-6) قانون دارسي Darcy والتدفق 63
2-6-1) الشروط والاعتبارات لقانون دارسي 63
2-6-2) دارسي وسرعة التسرب Seepage Velocity 67
2-6-3) حدود نهج دارسي 69
2-7) معادلات تدفق المياه الجوفية 70
2-7-1) اشتقاق معادلة تدفق ثلاثية الأبعاد لدفق المياه الجوفية من قانون دارسي 72
2-7-2) التدفق المشبع العابر Transient Saturated Flow 73
2-7-3) حلول لمعادلات تدفق المياه الجوفية 74
2-7-4) التدفق المشبع العابر Transient Saturated Flow 74
2-7-5) تدفق الحالة المستقرة إلى البئر Steady State Flow to Well 75
2-7-6) بيرميترات Permeameters 85
2-7-7) نفاذية الفقد الثابت Constant head Permeameter 86
2-8) التمارين العامة النظرية والعملية 92
الباب الثالث 100
قياس التدفق والمنشآت غير المنظمة 100
ملخص هذا الباب 100
3-1) المتطلبات الأساسية لقياس التدفق 101
3-2) أجهزة التدفق شائعة الاستخدام 103
3-2-1) وحدات قياس التدفق 104
3-2-2) التدفق الصفحي (التدفق الرقائقي) Laminar flow 105

3-2-3) الجريان المضطرب Turbulent flow 106
3-2-4) رقم رينولدز Reynolds number 106
3-2-5) قانون برنولي Bernoulli's law 107
3-2-6) معادلة برنولي Bernoulli's equation 108
3-3) قياس التدفق من خلال أنابيب مقياس فنتوري Venturi meter ومقياس الفتحة orifice meter 109
أ) أنبوب البيتوت أو نظام التصريف PITOT TUBE 111
ب) فتحات التنفيس والويب VENT AND WEEP HOLES 120
جـ) مقياس الجريان نوع DP 121
جـ) المخروط-V V-CONE 122
د) مقياس تدفق المنطقة المتغيرة (عداد الدوران) VARIABLE AREA FLOWMETER (ROTAMETER) 122
هـ) الكوريوليس CORIOLIS 123
و) مقياس تدفق الكتلة الحرارية THERMAL MASS FLOWMETER 124
ز) مقياس التدفق المغناطيسي MAGNETIC FLOWMETER 125
ح) عداد الموجات فوق الصوتية ULTRASONIC METER 126
ط) مقياس التوربينات TURBINE METER 127
ي) عداد دوامة VORTEX METER 127
ك) مقياس التدفق الإيجابي (PD) POSITIVE DISPLACEMENT (PD) FLOWMETER 129
ل) سيفونات Siphons 133
3-4) منشآت قياس التدفق (لتحديد التصريف) 135
3-4-1) الهدار Weir 135
3-4-2) النتوءات والشقوق والأقواس Notch 194
3-4-3) عداد الفتحة والفوهة Orifice 213
3-4-4) لوحة فوهة ORIFICE PLATE 216
3-4-5) قياس التدفق من خلال الفتحات والأبواق Flow measurement through orifices and mouthpieces 217

3-4-6) مقياس فنتوري Venturi meter 227
3-5) التمارين العامة النظرية والعملية 238
الباب الرابع 250
منشآت النقل والتحكم والحماية 250
ملخص هذا الباب 250
4-1) منشآت النقل لتوجيه التدفق من موقع إلى آخر 251
4-1-2) الهدارات 251
4-1-3) القنوات المائية Aqueducts 252
4-1-4) الشفاطات المقلوبة Inverted Siphons 255
4-1-5) تصميم قنوات المجاري Design of channels 257
4-1-6) القنوات الهيدروليكية المفتوحة Open channel hydraulics ونظرية منشآت قياس التدفق 260
4-1-7) شروط التدفق للتدفق المنتظم Uniform flow والتدفق غير المنتظم Non-uniform flow 262
4-1-8) خواص الدفق المنتظم Characteristics of Uniform flow 263
4-1-9) القفزة الهيدروليكية Hydraulic jumps 264
4-1-10) تصميم قناة مفتوحة 280
4-2) منشآت التحكم في التدفق (لتنظيم الكمية وتمرير التدفق الزائد) 302
4-2-1) مجاري المياه Spillways 302
4-2-2) مبددات الطاقة energy dissipators 303
4-2-3) البوابات الهيدروليكية hydraulic gates 309
4-2-4) أشكال أخرى من أجهزة قياس التدفق flow measuring devices 314
4-2-5) منافذ الوقاية Escapes 316
4-2-6) إنقاص Decrement 317
4-2-7) مفيض Ogee spillway 319
4-2-8) مجرى سيفون Siphon spillway 321
4-2-9) الفائض من تدفق المياه Overflow spillway 323
4-2-10) مجاري المياه والبوابات Spillways and gates 324

4-2-11) الجوانب الهيدروليكية لتصميم قناة مفيض تصريف المياه Hydraulic aspects of spillway design.....324
4-2-12) أنواع المجاري المائية Types of Spillways.....325
4-2-13) بوابات تصريف المياه Spillway gates.....335
4-2-14) مآخذ السحب.....335
4-2-15) إسقاط الهياكل Drop structures.....340
4-2-16) المجاري Flumes.....341
4-2-17) تصميم وابل Design of a barrage.....342
4-2-18) Afflux.....346
4-2-19) منحنى Curve.....349
4-3) منشآت حماية الشاطئ والمصارف والضفاف.....356
التمارين العامة النظرية والعملية.....356
الباب الخامس.....362
المنشآت غير المنظمة في قنوات الفيضان والصرف.....362
ملخص هذا الباب.....362
5-1) منشآت النقل وعبور المياه والمنشآت المتقاطعة conveyance structures.....362
5-1-1) المنشآت غير المُنَظِّمة Non-Regulating structures.....362
5-1-2) منشآت النقل Conveyance structures.....363
5-1-3) أعمال الصرف المتقاطع Cross drainage works.....364
5-1-4) البرابخ-العبارات Culverts.....367
5-2) منشآت السقوط (المنشآت المتساقطة) drop structures.....412
5-3) منشآت التخزين.....413
5-3-1) السدود Dams.....413
5-3-2) خزانات المياه الارضية.....462
5-3-3) نظريات التسرب Seepage theories.....465
5-4) منشآت التقسيم لتحويل مجرى الماء الرئيس.....476
5-5) منشآت التجميع (لجمع المياه للتخلص منها).....476

التمارين العامة النظرية والعملية 476
المراجع 485
مسرد المنشآت الهيدروليكية (معجم الألفاظ الصعبة وثبت المصطلحات الفنية الواردة في متن الكتاب) 488

قائمة الجداول

الجدول	الصفحة
جدول (2–1): بعض المنشآت المائية والغرض منها ومكان عملها	45
جدول (2–2): تصنيف المنشآت الهيدروليكية حسب الوظيفة	46
جدول (2–3): قيم متوسطة للموصلية الهيدروليكية	65
جدول (3–1): أجهزة التدفق الشائعة الاستخدام في صناعة النفط والغاز	103
جدول (3–2): أهم المنظمات ومنشآت التحويل	109
جدول (3–3): بعض مميزات مقاييس تدفق الكتلة الحرارية	124
جدول (3–4): مقارنة بين بعض أنواع قياس التدفق	144
جدول (4–1): أنواع التدفق في القفزة الهيدروليكية	266
جدول (4–2): تصنيف القفزة الهيدروليكية	267
جدول (4–3): حالة القفزة مع رقم فرود	267
جدول (4–4): التدفق من خلال القفزة الهيدروليكية	268
جدول (4–5): تصنيف القفزة الهيدروليكية في قناة أفقية مستطيلة	279
جدول (4–6): قيم n	282
جدول (4–7): ميول الجانب المقترحة	288
جدول (4–8): السرعات المسموح بها الموصي بها	289
جدول (4–9): قيم عامل الاختزال من منحنى فاين	349
جدول (4–10): قيم عامل الاختزال من منحنى جيبسون	350
جدول (5–1): اختيار نوع البربخ بناء على قيمة الدفق	367
جدول (5–2): تقدير قيم المعاملات a و b	372
جدول (5–3): البيانات والمعلومات المطلوبة لتصميم البربخ	383
جدول (5–4): رقم فرود وخواص التدفق	386

جدول (5-5): شروط الدخول	387
جدول (5-6): معاملات فواقد المدخل	404
جدول (5-7): اختيار السد حسب النوع والخواص	424

قائمة الصور والأشكال

الصورة أو الشكل	الصفحة
شكل (2-1): الإجراء التقليدي للتصميم الهيدروليكي للمنشأة المائية وتحليلها	45
شكل (2-2): تداخل البيئة والاجتماع والاقتصاد والتقبل والاستدامة	59
شكل (2-3): تجربة دارسي	64
شكل (2-4): العلاقة بين معدل التدفق وفرق الضغط	65
شكل (2-5): الفراغات والمسام	68
شكل (2-6): تغير الدفق مع الميل الهيدروليكي	69
شكل (2-7): نطاق صلاحية قانون دارسي	70
شكل (2-8): الخزانات الجوفية	71
شكل (2-9): طبقات المياه الجوفية المحصورة وغير المحصورة	71
شكل (2-10): المياه الجوفية والآبار	72
شكل (2-11): دفق المياه الجوفية من قانون دارسي	72
شكل (2-12): بيرميترات	86
شكل (3-1): أنواع التدفق	105
شكل (3-2): التدفق الصفحي	105
شكل (3-3): الجريان المضطرب	106
شكل (3-4): مدى نوع الجريان	107
شكل (3-5): حركة السائل عبر فتحة أو فوهة	108
شكل (3-6): أنبوب هنري بيتوت Pitot tube	112
شكل (3-7): أنبوب بيتوت	113
شكل (3-8): مقياس الجريان	122
شكل (3-9): مقاييس الدوران	123

شكل (3–10): مقياس تدفق الكتلة الحرارية	125
شكل (3–11): مقاييس التدفق المغناطيسي	126
شكل (3–12): مقياس التوربينات	127
شكل (3–13): انهيار الدوامات	128
شكل (3–14): السيفون	134
شكل (3–15): أنواع الهدارات	142
شكل (3–16أ): أجزاء الهدار	142
شكل (3–16ب): أجزاء الهدار	143
شكل (3–16ج): الهدار ذو القمة الحادة	144
شكل (3–17): القوى حول الهدار	145
شكل (3–18): المكونات الأساسية لمنشأة الهدار	146
شكل (3–19): مصطلحات الهدار	146
شكل (3–20): القوى الرئيسة التي تعمل على الهدار عند التشغيل	150
شكل (3–21): الدفق خلال الهدار	172
شكل (3–22): هدار سيبوليتي	178
شكل (3–23): الهدار النسبي سيبوليتي	179
شكل (3–24): الهدار العريض المتوج	181
شكل (3–25): الهدار الحاد المتوج	182
شكل (3–26): أنواع الهدارات العريضة	185
شكل (3–27): الأعماق في الهدار العريض	185
شكل (3–28): أنواع الهدار طويل القمة	191
شكل (3–29): القوى الرئيسية التي تعمل على الهدار عند التشغيل	194
شكل (3–30): التدفق فوق الشق/الهدار المستطيل	195
شكل (3–31): التدفق فوق الشق شبه المنحرف	203
شكل (3–32): الشق المستطيل بنهايات	204
شكل (3–33): الشقوق على شكل V	205

شكل (3-34): فتحة صغيرة (h >> d)	217
شكل (3-35): المعامل الهيدروليكي لبعض الفتحات orifices والأبواق mouthpieces	220
شكل (3-36أ): فتحة مستطيلة كبيرة	221
شكل (3-36ب): سرعة الاقدام في فتحة مستطيلة كبيرة	221
شكل (3-37): نقاط عبر أنبوب الفنتوري	227
شكل (3-38): قياس الدفق عبر الأنابيب أ) مقياس الفنتشوري ب) مقياس الفتحة	228
شكل (3-39): أنبوب الفنتوري	230
شكل (3-40): قياس الدفق عبر الأنابيب	230
شكل (3-41): venturi flume	231
شكل (4-1): القنوات المائية	253
شكل (4-2): القناة المائية	254
شكل (4-3): الشفاطات المقلوبة Inverted Siphons	257
شكل (4-4): أنواع القنوات الهيدروليكية المفتوحة	261
شكل (4-5): أنواع التدفق في القنوات الهيدروليكية المفتوحة	263
شكل (4-6): خواص الدفق المنتظم	264
شكل (4-7): خواص القفزة الهيدروليكية	265
شكل (4-8): تصنيف القفزة الهيدروليكية	266
شكل (4-9أ): موقع القفزة الهيدروليكية	269
شكل (4-9ب): التدفق تحت بوابة السد Flow Under a Sluice Gate	269
شكل (4-10): التدفق فوق الحرج تحت بوابة السد	271
شكل (4-11): معادلة العمق المترابط	272
شكل (4-12): الدفق الحرج وفوق الحرج	273
شكل (4-13): قناة مكشوفة	280

شكل (4-14): مقطع لمفيض	302
شكل (4-15): تخطيطي للهدار التقليدي/مفيض تصريف المياه Sketch of conventional weir/spillway	304
شكل (4-16): أشكال أخرى من أجهزة قياس التدفق	314
شكل (4-17): إنقاص	317
شكل (4-18): موزع المصد أو الحاجز	318
شكل (4-19): مجرى سيفون	322
شكل (4-20): المجاري المائية	326
شكل (4-21): هدار الانحناء Bendway weir	337
شكل (4-22): موضع متساقطات القناة	351
شكل (4-23): متساقطات القناة	351
شكل (4-24): الهبوط الشائع المشترك	352
شكل (5-1): عمل الصرف المتقاطع	365
شكل (5-2): أنواع أعمال الصرف المتقاطع	366
شكل (5-3): صندوق البربخ	368
شكل (5-4): منطقة الدفق في البربخ	367
شكل (5-5): أشكال البرابخ شائعة الاستخدام	370
شكل (5-6): تصميم البرابخ الهيدروليكي	373
شكل (5-7): تصميم البربخ	380
شكل (5-8): أنواع مدخل البربخ	382
شكل (5-9): الدفق فوق سد صغير	386
شكل (5-10): شروط الدخول	388
شكل (5-11): مصطلحات البربخ	394
شكل (5-12): نوموجرام للتحكم في المدخل	397
شكل (5-13): نوموجرام التصميم	400
شكل (5-14): رسم العمق الحرج	402

شكل (5–15): الدفق والعمق الحرج	403
شكل (5–16): نوموغراف التحكم في المخرج	408
شكل (5–17): السمت لبربخ خرساني ممتلئ الدفق	409
شكل (5–18): البربخ المصمم	411
شكل (5–19): سد	413
شكل (5–20): القوى الأساسية في السد الانسيابي	415
شكل (5–21): مقطع في السد	417
شكل (5–22): أجزاء السد	418
شكل (5–23أ): تشييد السد	426
شكل (5–23ب): تشييد سد القوس	427
شكل (5–23ج): تشييد السد	428
شكل (5–24): مواد تشييد العبارة	429
شكل (5–25): الأحمال الرئيسة على السد	436
شكل (5–26): تشييد السد	438
شكل (5–27): مكونات السد	446
شكل (5–28): نظريات التسرب	465
شكل (5–29): رسم كروكي للسد	466
شكل (5–30أ): فشل الأنابيب أو التقويض	467
شكل (5–30ب): فشل الرفع المباشر	468
شكل (5–31): زحف بليغ	469
شكل (5–32): خطوط تدفق خوسلا	473
شكل (5–33): خروج التدرج	474

الرموز والمصطلحات المستخدمة في الكتاب

a و b = معامل ثابت يعتمد على مادة العبارة

A = مساحة المقطع العرضي الإجمالية، م^2

A = مساحة المقطع العرضي للعينة، م^2

A = إجمالي مساحة المقطع العرضي للوسط، م^2

A = مساحة الأنبوب، م^2

A = مساحة المقطع العرضي للبربخ، م^2

A = مساحة مقطع التدفق، م^2

A_V = مساحة الفراغات، م^2

b = إجمالي طول الأرضية، م

b′= المسافة بين خطي خازوق pile lines، م

B = العرض الفعال للقمة crest، م

B = عرض الهدار width of weir، م

B = عرض قاعدة السد base width of dam، م

B = مركبة في الماء

B/C = نسبة الفائدة إلى التكلفة

Bt = العرض العلوي، م

C = معامل تصريف التدفق الحر free flow discharge coefficient

C_b = معامل الشق notch

C_e = معامل فقد المدخل Entrance coefficient of loss

C_f = معامل الاحتكاك Friction coefficient

C_o = معامل فقد المخرج Outlet coefficient of losses

C = المعاملات

C= معامل Bligh للتربة

C' = معامل التصريف المغمور submerged discharge coefficient

C = معامل الدفق – التفريغ Coefficient of Discharge

c = معامل ضغط الرفع coefficient of uplift pressure

C = معامل للقنوات

C = معمل متغير للدفق

C'/C عامل الاختزال reduction factor

C_d = معامل الدفق – معامل التفريغ

Ce = عامل ضغط، بلا أبعاد

Co = المعامل

C_v = معامل السرعة

d = ارتفاع قمة الهبوط فوق أرضية الحوض، م

d = العمق المجاور لعمق خط الخازوق، م

d = قطر جسم الخداع Diameter of Bluff Body، م

d = عمق الكومة التي يعتبر التأثير فيها، م

D = القطر، م

D = عمق خط الخازوق، م

dh = ارتفاع الشريط strip، م

E_1 = طاقة المنبع فوق القمة upstream energy head above crest

EL_{hd} = ارتفاع منسوب المياه في التصميم design headwater elevation، م

EL_i = ارتفاع معكوس في وجه مجرى أو عند حلق بربخ مع مدخل مدبب invert elevation at the face of a culvert or at the throat of a culvert with a tapered inlet، م

EL_{sf} = ارتفاع التيار عند الوجه elevation of the streambed at the face، م

F_1 =القوة المساعدة في التدفق Force helping flow، نيوتن

F_2 = مقاومة التدفق Force resisting flow، نيوتن

F_f = مقاومة الاحتكاك Frictional Resistance، نيوتن

F_g = عنصر الجاذبية للتدفق Gravitational componentof flow

Fr = رقم فرود

F_{ss}= العامل الانزلاقي على مستوى أفقي

f = ذرف التردد Shedding Frequency

f = معامل يعتمد على مادة البربخ وابعاده

g = تسارع الجاذبية الأرضية، م/ث^2

H = عمق التدفق فوق ارتفاع القمة، م

H_l = فقد السمت، م

H = إجمالي السمت الذي يتسبب في التدفق، م

h = ارتفاع السائل فوق الشريط، م

H = ارتفاع السد height of dam، م

H = ارتفاع الماء فوق قمة الشق/الهدار، م

h = الارتفاع وسط الفتحة للفتحات ذات الدفق الحر free discharge، م

h = الضغط الثابت

H = رأس الماء فوق القمة head of water overcrest، م

H = ضغط الرفع الكلي أعلى اتجاه التيار total uplift pressure at upstream

h/E = النسبة المعيارية modular ratio

H1 = إجمالي الطاقة أعلى التيار من الهدار

$h_e = h + v^2/2g$ = سمت الماء الكلي في القمة بما في ذلك سرعة الاقتراب total water head at crest including the velocity approach، م

HL = إجمالي فقد السمت بين المنبع والمصب، م

HL/L = التدرج الهيدروليكي أو فقد السمت لكل وحدة من طول الزحف hydraulic gradient

Hs = ارتفاع الموجة الكبير، أي متوسط ارتفاع الثلث الأعلى من الموجات في عينة، م

HW_d = عمق المياه للتصميم design headwater depth، م

HW_i = عمق الماء المطلوب required headwater depth، م

K = ثابت التناسب، معامل نفاذية دارسي، الموصلية الهيدروليكية

K = ثابت في جميع الأبعاد

k = سماحية الوسط المسامي، $م^2$

Ka = معامل الضغط الجانبي النشط

K_a = معامل انكماش الدعامة abutment contraction coefficient

KE = الطاقة الحركية Kinetic Energy

k_h = جزء الجانبية المعتمد للتسارع الأفقي

K_p = معامل انكماش الرصيف pier contraction coefficient

L = الطول الإجمالي الواضح للقمة Total clear length of crest، م

L = الطول الإجمالي للزحف للهيكل، م

L = طول البربخ الفعلي، م

L = طول الزحف، م

L = طول العينة، م

L = طول القمة length of crest، م

L = طول القمة العمودية على الدفق، م

l = طول الهدار، م

L = طول مسار التدفق، م

L = ممر مائي واضح للقناطر Clear waterway of the Barrage، م

L(dh) = مساحة الشريط، $م^2$

L = طول الشق/الهدار، م

L_1 = طول البريخ المعدل بالمتر، م

LA = طول الزحف حتى النقطة A، م

L_e = الطول الفعال للقمة effective length of the crest، م

Lj = طول القفزة، م

m = نسبة السرعة الحرجة critical velocity ratio

m = نصف القطر الهيدروليكي Hydraulic radius، م

N = عدد الأرصفة في مجرى تصريف المياه No. of piers in the spillway، عدد

N = قيمة معامل مانننج– معامل

n = معامل الخشونة

n = مسامية التربةsoil porosity

P = ارتفاع الشق/الهدار، م

P_1 = طاقة الضغط pressure energy، جول

$p_b - p_a$ = الفرق في الضغط بين طرفي الوسط المسامي، باسكال

PE= طاقة الوضع Potential Energy، جول

PWB = فائدة القيمة الحالية present worth benefit

PWC = تكلفة القيمة الحالية present worth cost

Q = التصريف المغمور فوق القمة submerged discharge over crest، $م^3/ث$

Q = التفريغ – معدل التدفق الحجمي–الدفق –التصريف، $م^3/ث$

Q = التفريغ فوق مجرى المفيض discharge over the ogee spillway، $م^3/ث$

Q = الدفق التصميمي Design Discharge، $م^3/ث$

Q = معدل التدفق إلى البئر، $م^3/ث$

Q = التدفق،معدل التدفق، $م^3/ث$

Q_{act} = التدفق على كامل المنطقة، م^3/ث

$Q_{maximum}$= الجريان السطحي، الحد الأقصى للتصريف، م^3/ث

R = نصف القطر الهيدروليكي، م

Re = رقم رينولدز

St = رقم Stouhal

S_o = ميل قاع القناة، م

Ss = الثقل النوعي للمادة Specific gravity of material

t = الزمن – زمن التدفق، ث

T = المساحة الأساسية لكل وحدة سمك للقاعدة، م^2/م

T= النفاذية

U_A = ضغط الرفع المتبقي عند أي نقطة A

v = السرعة، م/ث

V = حجم التدفق في الزمن t، م^3/م

v = سرعة التدفق في المجرى velocity of flow in channel، م/ث

V = سرعة الماء عبر العبارة، م/ث

V = سرعة دارسي Darcy velocity، م/ث

V = متجه السرعة

V_2 = متوسط سرعة التدفق بعد القفزة الهيدروليكية، م/ث

v_D = سرعة دارسي، م/ث

V_o = سرعة الاقتراب، م/ث

v_s = سرعة التسرب، م/ث

V_V = الحجم الفارغ void volume، م^3

V = السرعة، م/ث

v = متوسط السرعة في القناة، م/ث

v = متوسط سرعة التدفق، م/ث

v_1 = متوسط سرعة التدفق قبل القفزة الهيدروليكية، م/ث

V_T = الحجم الكلي، م^3

y = عمق القناة بالمتر، م

y = عمق التدفق، م

y_c = ارتفاع الماء من خلال الشق notch، م

y_h = العمق الهيدروليكي hydraulic depth، م

y_1 = عمق التدفق أعلى التيار فوق الهدار، م

y_1 = عمق التدفق قبل القفزة الهيدروليكية، م

y_2 = عمق التدفق بعد القفزة الهيدروليكية، م

z_3 = عمق الرواسب، م

z_{max} = أقصى عمق للمياه في مقطع السد، م

ρ = الكثافة، كجم/م^3

γ_c = وزن وحدة الخرسانة، نيوتن/م^3

γ_s = وزن الوحدة المغمورة للرواسب، نيوتن/م^3

γ_w = وحدة وزن الماء نيوتن/م^3

Δh= الفرق المحتمل بين هاتين النقطتين، م

ΔL= المسافة بين نقطتين من العينة، م

ϕ_s = زاوية مقاومة القص للرواسب، °

ϕ_u= زاوية ميل وجه المنبع إلى العمود، °

α= انضغاطية compressibility طبقة المياه الجوفية

γ = الكثافة النسبية لمادة القمة

ρ= ثابت

μ = درجة اللزوجة، نيوتن*ث/م^3

μ = لزوجة المائع، باسكال*ثانية

1

الباب الأول
مفاهيم البرمجة للمنشآت الهيدروليكية

1-1) تاريخ الحاسوب

إن فكرة استخدام آلة لتسهيل اجراء العمليات الحسابية هي فكرة قديمة قدم التاريخ؛ فقدماء الاغريق استخدموا آلة الأباكوس (Abacus) للعد، والصينيون والمسلمون كانت لديهم آلات مماثلة لتسهيل العد. أما في العصر الحديث فنجد آلة بليز باسكال الحاسبة، والتي اخترعها في القرن السابع عشر لتسهيل عمل والده في حساب الضرائب، والتي تلتها آلة أنتونيوس براون، والتي اخترعها في عام 1727م، والتي كانت أول آلة حاسبة قادرة على الجمع والطرح والضرب والقسمة.

في العام 1822م قام شارلز باباج بتصميم آلة حاسبة قادرة على أداء عمليات حسابية معقدة. ورغم أن باباج لم يتح له بناء الآلة بنفسه، إلا أن أغلب أجهزة الحاسوب الحديثة ترتكز في تصميمها على تصاميم باباج، مما جعله يُعرف بالأب الروحي للحاسوب.

أثناء الحرب العالمية الثانية، قام الألمان بتصميم آلة إنيجما (ENIGMA) القادرة على حساب الشفرات وحلها، كما كان الأمريكيون مشغولين ببناء آلة إنياك (ENIAC) لتسهيل حساب مسارات القذائف. تبع ذلك اختراع الترانزستور، ثم الدوائر المفرغة، ثم الدوائر المتكاملة، والتي أتاحت بناء الرقائق متناهية الصغر التي أدت لاختراع الحاسوب المنزلي، والحاسب المحمول، والأجهزة الكفية، والهواتف المحمولة.

2-1) أنواع البرامج

يمكن تعريف البرنامج على أنه مجموعة من الأوامر التي يتم تغذيتها لوحدة المعالجة المركزية (Central Processing Unit, CPU) وهي الدائرة المتكاملة المسئولة عن تنفيذ جميع الأوامر المطلوبة، واحداً بعد الآخر، حتى نهاية البرنامج المعني.

بصورة عامة، يمكن تقسيم البرامج إلى نوعين:

- **أنظمة التشغيل:** يتكون نظام التشغيل من واحد أو أكثر من برنامج لتنظيم عمل الحاسوب. نظام التشغيل هو أول برنامج يتم تحميله للذاكرة بعد عملية التمهيد (booting)، وهو المسئول عن تحميل بقية البرامج وتنظيم استخدامها للذاكرة، وإعطاء كل برنامج وقتاً محدداً للعمل على وحدة المعالجة المركزية، وتنظيم قراءة وحفظ الملفات والبرامج من الوسائط المختلفة كالأقراص الصلبة والمرنة والمضغوطة. من نظم التشغيل المشهورة نظام ماك أو إس (MacOS) ومايكروسوفت ويندوز (Windows) ويونكس (UNIX) وجنو/لينكس (GNU/Linux).
- **برامج المستخدم:** تتكون من جميع البرامج التي تستخدم بصورة يومية، كمحررات النصوص وبرامج التصميم ومتصفحات الانترنت ومشغلات الأفلام والموسيقى، وغيرها من البرامج. بعض البرامج تعتمد على الواجهة النصية (Text User Interface, TUI)، إلا أن أغلبية البرامج الحديثة تعتمد على الواجهة الرسومية (Graphical User Interface, GUI). من الجدير بالذكر أن البرنامج ذي الواجهة الرسومية غير ملتزم بخط سير معين، حيث أن المستخدم هو الذي يحدد خط سير البرنامج، وأي جزء من البرنامج سيتم تنفيذه عبر إعطاء أوامر محددة، كالضغط على زر أو تحريك المؤشر حول الشاشة، ولذلك يعرف هذا النوع من البرامج بالبرامج التفاعلية (Interactive programs).

البرامج ذات الواجهة الرسومية تتكون من:

(1) الواجهة الرسومية المقابلة للمستخدم (User interface)، وهي مجموعة الرسومات (من أزرار وقوائم ومربعات نصوص وأيقونات وغيرها مما يكوّن في مجموعه النوافذ التفاعلية مع المستخدم) التي يراها مستخدم البرنامج ويتفاعل معها باستخدام مؤشر الفأرة ولوحة المفاتيح.

(2) الشفرة البرمجية (Program Code)، وهي مجموعة الأوامر التي تقوم بتنفيذ الوظيفة (أو الوظائف) الأساسية المطلوبة من البرنامج. بالنسبة للمستخدم فالشفرة غير مرئية، كما أنها يتم تنفيذها عند الحوجة. فمثلاً عندما يضغط المستخدم زراً معيناً في البرنامج يقوم النظام بالبحث في شفرة البرنامج عن الوظيفة أو البرنامج الفرعي المسئول عن تنفيذ أمر الضغط، ويتم تنفيذ الأوامر ثم يعود التحكم للبرنامج الأم، والذي بدوره يقوم بانتظار المستخدم ليدخل أمراً جديداً يتم تنفيذه. والشفرة عادة تختلف حسب لغة البرمجة المستخدمة، ولكن جميعها يتم تحويلها في النهاية للغة الآلة (machine code)، وهي اللغة الوحيدة التي تستطيع وحدة المعالجة المركزية فهمها وتنفيذها.

1-3) لغات البرمجة

يمكن تقسيم لغات البرمجة بعدة طرق:

1. لغات عامة الغرض (General purpose) ولغات خاصة الغرض (Special purpose):

اللغات العامة هي تلك التي يمكن استخدامها لأي من أغراض البرمجة، ومثال لها لغة فيجوال بيسك Visual Basic وفيجوال سي Visual C وجافا Java(اللغة المستخدمة في هذا الكتاب) ودلفاي Delphi. اللغات الخاصة هي التي تخدم غرضاً معيناًمتخصصاً بكفاءة أكبر من اللغات العامة، ومثال لها لغات برمجة قواعد البيانات (مثل SQL)، ولغات برمجة الذكاء الصناعي (مثل Prolog و Lisp) ولغات برمجة صفحات الانترنت (مثل JavaScript و HTML).

ورغم أن اللغات العامة يمكن استخدامها لأغراض اللغات الخاصة، إلا أن هذه اللغات لا تؤدي نفس الوظيفة بنفس الكفاءة في المسائل شديدة التخصص كالحسابات الدقيقة، أو برامج الذكاء الاصطناعي المتطورة، أو صفحات الانترنت المعقدة، فهذه الأغراض تستلزم استخدام اللغات المتخصصة لضمان أفضل النتائج.

2. لغات المستوى العالي (High level) والمستوى المتوسط (Intermediate level) والمستوى المنخفض (Low level):

المقصود بالمستوى هو سهولة استخدام اللغة بالنسبة للمبرمج وقرب الأوامر المستخدمة من كلمات اللغة الإنجليزية. فالحواسيب الأولى كان يتم برمجتها مباشرة باستخدام الشفرة الثنائية (1 أو 0)، حيث يعني 1 وجود تيار في الموصل، ويعني 0 غياب التيار، وهذه اللغة تعرف بلغة المستوى المنخفض أو لغة الآلة.ويسهل رؤية كيف أن هذه اللغة صعبة الفهم والاستخدام، إذ أن البرنامج الثنائي يتكون من مجموعة من الآحاد والأصفار المتتالية، وكل مجموعة من الأرقام تشكل معنى معيناً لوحدة المعالجة المركزية التي تستخدمها لتنفيذ أمرٍ معين.

استخدام لغة الآلة كان الخيار الوحيد في بدايات الحاسوب، وكان المبرمجون يقعون في الأخطاء بسهولة، مما كان يستدعي معه إعادة كتابة البرنامج ثم إعادة تشغيلهمن البداية. من ثم ظهرت لغة التجميع (Assembly language) لتسهيل عملية كتابة البرامج، وهي عبارة عن كلمات مفتاحية مختصرة تتكون كل منها من حرفين لأربعة حروف انجليزية، وقد سهلت عملية البرمجة، حيث أن المبرمج يقوم بكتابة الأوامر بلغة التجميع، ثم يقوم برنامج خاص يسمى المُجَمِّع (Assembler) بترجمة البرنامج للغة الآلة. تعتبر لغة التجميع ترجمة حرفية للغة الآلة بحروف انجليزية، حيث أن كل أمر في لغة التجميع يقابله أمر مماثل في لغة الآلة، ولذلك تسمى لغة التجميع بلغة المستوى المتوسط.

وحيث أن لغة التجميع عبارة عن ترجمة انجليزية للغة الآلة، فإن لغة التجميع تختلف حسب نوع وحدة المعالجة المركزية. هذا يعني أن البرنامج المكتوب بلغة التجميع، حالما يتم تحويله للغة آلة محددة، قد لا يمكن تنفيذه في وحدة معالجة من إنتاج شركة أخرى، بدون مراجعة وإجراء بعض التغييرات.

ولتسهيل البرمجة أكثر، تم اختراع لغات أخرى سميت بلغات المستوى العالي. هذه اللغات هي اللغات المشهورة في البرمجة الآن، إذ يتكون البرنامج من كلمات إنجليزية واضحة، بالإضافة للأرقام والرموز الحسابية والأقواس. كما دخلت مفاهيم جديدة كالأنواع (Classes) والبرامج الفرعية (Subroutines) والوظائف (Functions)، كما ظهرت فلسفة البرمجة المستندة على الأشياء (Object Oriented Programming, OOP) مما لم يكن موجوداً في لغات المستوى المنخفض. وحيث أن لغات المستوى العالي لا تعتمد في كتابتها على لغة الآلة، فإن جميع البرامج المكتوبة بأي لغة مستوى عالٍ تحتاج لمترجم يفهم هذه اللغة ثم يقوم بتحويلها للغة الآلة حتى يتم تنفيذها في وحدة المعالجة المركزية.

1-4) الأمثلة البرمجية في هذا الكتاب

في هذا الكتاب قمنا باختيار لغة جافا لبرمجة الأمثلة والمسائل المحتواة في نص الكتاب. ظهرت لغة جافا في العام 1995م من انتاج شركة صن (Sun)، وقد تم اختيارها في هذا الكتاب لعدة سباب:

- جافا لغة عابرة للمنصات (cross-platform)، مما يعني امكانية كتابة البرنامج بلغة جافا ومن ثم تشغيله على أنظمة تشغيل مختلفة عن تلك التي تمت البرمجة عليها (يظهر هذا في العبارة الحالمة التي ظهرت بها جافا في بدايتها والتي تقول "اكتب مرة واحدة وشَغِّل في أي جهاز" (Write Once, Run Anywhere)). جميع أنظمة التشغيل الحديثة تدعم بيئة عمل جافا لتشغيل البرامج المكتوبة بهذه اللغة.

- جافا هي اللغة الرائدة في مجال البرمجة عامة الغرض، واللغة الوحيدة التي تنافسها بصورة كبيرة هي لغة بايثون (Python).
- البنية التحتية التي تعمل عليها جافا تتكون من برامج مجانية، كما أن أغلبها برامج مفتوحة المصدر. يشمل هذا أدوات تطوير جافا (Java Development Kit)، وبيئات التطوير المتكاملة (Integrated Development Environments)، وبيئة جافا التشغيلية (Java Runtime Environment) والتي تحتوي على آلة جافا الافتراضية (Java Virtual Machine) والتي تقوم بتنفيذ برامج جافا (تشبه في عملها وحدة المعالجة المركزية التي تنفذ البرامج المكتوبة بلغة الآلة).
- يسهل تعلم لغة جافا عبر الكورسات المجانية على اليوتوب ومواقع التدريب ككورسيرا (Coursera)، كما يوجد العديد من الكتب والدروس والمجلات المتوفرة للشراء والتحميل.

1-5) البرامج الموجودة على القرص المضغوط المصاحب

البرامج الموجودة على القرص المصاحب لهذا الكتاب تشمل شفرة المصدر (source code) والبرامج جاهزة التنفيذ (executables) والتي توجد على هيئة أرشيف جافا (Java Archive, JAR). يمكن تجربة أي برنامج أرشيف من البرامج الموجودة على القرص باستخدام بيئة جافا التشغيلية على أي جهاز حاسوب يدعم جافا.

تم حفظ البرامج في مجلدات حسب البابوالفصل المتعلق به، كما يوجد مجلد يحتوي على برامج أرشيف جافا بدون شفرة المصدر في حال أراد القارئ تجربة البرامج بدون قراءة شفرة المصدر للبرنامج.

1-6) التمارين العامة

1) ما مناقب ومثالب استخدام آلة الحاسوب لتسهيل اجراء العمليات الحسابية الهندسية. وضح تعليلك برسومات توضيحية.
2) كيف يمكن تطوير العمليات الحسابية مع طفرات الذكاء الاصطناعي وتعلُّم الآلة وإنترنت الأشياء. أسهب حول إمكانية الاستفادة العملية من محولات الدردشة التوليدية المدربة مسبقًا (ChatGPT[1]) في المسائل هندسة المنشآت المائية.
3) ما الفروق الجوهرية بين أنظمة التشغيل وبرامج المستخدم؟ وفيم يستفاد من كل منهما؟ ولماذا؟
4) وضح كيف تسهل فلسفة البرمجة المستندة على الأشياء من عملية البرمجة.
5) باستخدام محركات البحث المعتمدة اعط أمثلة عملية وواقعية لكورسات مجانية و/أومواقع تدريب تعين على تعلم لغة جافا واتقانها.

[1] ChatGPT name is the acronym for Chat Generative Pre-trained Transformer .

2

الباب الثاني

مقدمة المنشآت الهيدروليكية

2-1) تمهيد

وضع هذا الكتاب ليغطي مفردات مادة المنشآت الهيدروليكية التي من ضمن وصف المقرر والموضوعات التي ستغطيها الوحدات التالية:

- المكونات الهيدروليكية العامة للمنشآت المائية.
- التدفق عبر الوسائط المسامية.
- المكونات الهيدروليكية وتصميم منشآت التحكم (البوابات، الصمامات، مآخذ السحب)، المنشآت المتساقطة (السدود، مجاري الصرف)، منشآت الاحتفاظ بالمياه (الجدران والسدود)، منشآت عبور المياه (القنوات، قنوات سحب المياه).
- قوى السوائل على الأجسام المغمورة، قوى الأمواج على المنشآت البحرية.
- التحليل الإنشائي وتصميم المنشآت الهيدروليكية.

من المرتجى أن تحتوي نتائج تعلم مقرر المنشآت الهيدروليكية البيانات الجوهرية التالية:

- التعرف على أنواع المنشآت الهيدروليكية المختلفة وفهم الغرض منها ووظيفتها.
- اختيار المنشأة والموقع الأنسب لمشكلة معينة.
- تصميم وتحليل وإثبات أن المنشأة الهيدروليكية موفرة واقتصادية.
- توسيع المهارات في العمل الجماعي والتواصل والتخطيط من خلال المشاريع الصغيرة.
- اكتساب المعرفة من خلال تعلم مفاهيم جديدة في المنشآت الهيدروليكية.

- المهارات المعرفية من خلال التفكير وحل المشكلات واستخدام العمل التجريبي والاستدلالات.
- يصبح الطالب مسؤولاً عن التعلم الخاص به من خلال حل المهام والتمارين المختبرية وكتابة التقارير.

مما ينصح به اتباع نتائج تعلم للطلاب محددة تبعا لمعايير المجالس الهندسية ذات الصلة والعلاقة بالتمهين والاعتراف الفني، وربما يمكن تبني معيار مجلس الاعتماد للهندسة والتكنولوجيا الأمريكي Accreditation Board for Engineering and Technology[2], ABET لنتائج تعلم الطلاب Student Learning Outcomes, SLOs التي ينص فيها المعيار الثالث لمجلس الاعتماد للهندسة والتكنولوجيا لوجوب أن يحتوي البرنامج على نتائج طلابية موثقة تدعم أهداف البرنامج التعليمية. إن تحقيق هذه النتائج يعد الخريجين لدخول الممارسة المهنية للهندسة. نتائج الطلاب هي النتائج (1) حتى (7)، بالإضافة إلى أي نتائج إضافية قد يتم توضيحها بواسطة البرنامج الهندسي المعني:

1) القدرة على تحديد وصياغة وحل المشكلات الهندسية المعقدة من خلال تطبيق مبادئ الهندسة والعلوم والرياضيات.
2) القدرة على تطبيق التصميم الهندسي لإنتاج حلول تلبي الاحتياجات المحددة مع مراعاة الصحة العامة والسلامة والرفاهية، فضلاً عن العوامل العالمية والثقافية والاجتماعية والبيئية والاقتصادية.
3) القدرة على التواصل بشكل فعال مع مجموعة من الجماهير.
4) القدرة على التعرف على المسؤوليات الأخلاقية والمهنية في المواقف الهندسية وإصدار أحكام مستنيرة، والتي يجب أن تأخذ في الاعتبار تأثير الحلول الهندسية في السياقات العالمية والاقتصادية والبيئية والمجتمعية.

[2]https://www.abet.org/accreditation/accreditation-criteria/criteria-for-accrediting-engineering-programs-2018-2020/#4

5) القدرة على العمل بفعالية في فريق يوفر أعضاؤه القيادة معًا، ويخلقون بيئة تعاونية وشاملة، ويضعون الأهداف، ويخططون للمهام، ويحققون الأهداف.
6) القدرة على تطوير وإجراء التجارب المناسبة، وتحليل وتفسير البيانات، واستخدام الحكم الهندسي لاستخلاص النتائج.
7) القدرة على اكتساب وتطبيق المعرفة الجديدة حسب الحاجة، باستخدام استراتيجيات التعلم المناسبة.

صندوق (2-1): ما هو المهندس؟

حلال مشاكل. وعلى وجه التحديد، يمثل الشخص الذي يستخدم العلم لحل مشاكل العالم الحقيقي.

2-2) المنشآت الهيدروليكية

هيدروليك تعني موضوع هندسي يعنى بالخواص الميكانيكية للمائع أو علم حركة السائل وقوّة ضغطها.

تشير المنشأة الهيدروليكية إلى هيكل – أو منشأة – مغمورة كلياً أو جزئيًا في أي مسطح مائي، مما يعطل التدفق الطبيعي الراهن للمياه. ويمكن استخدامها لتحويل أوتحوير أو تغيير التدفق أو تعطيله أو إيقافه تمامًا، أو من أجل الاستثمار المائي بالشكل المناسب والاقتصادي، ولحماية البيئة من الأفعال الضارة التي ربما يحدثها الانسياب غير المنضبط للماء. يمكن بناء الهيكل الهيدروليكي في الأنهار أو البحار أو المياه الجوفية أو أي مسطح مائي حيثما توجد حاجة لتغيير التدفق الطبيعي للمياه واتجاه السريان.

صندوق (2-2): ما المهندس البيئي؟

يحل المشاكل البيئية باستخدام الأدوات العلمية. أثناء حل المشكلة، يجب أن يفكر المهندس باللون الأخضر علما بأن الحل المستدام ليس اختيارًا، إنما هو قدر.

صندوق (2-3): ما الهندسة البيئية؟

الهندسة البيئية هي تخصص يعالج المشاكل البيئية من خلال البحث عن حلول هندسية.من ثم تحتاج لحل المشاكل لكل من العلم لتحسين فهم العمليات الطبيعية، والتكنولوجيا لاستخدام هذا الفهم لتطوير وتطبيق التقنيات التي من شأنها الحفاظ على جودة البيئة أو تحسينها.

يسرد التاريخ الري في مصر وبلاد ما بين النهرين خاصة للجهود الناجحة الأولى للمصريين وبلاد ما بين النهرين للسيطرة على تدفق المياه منذ آلاف السنين، من ثم التطور التاريخي الغني بالمواد الهيدروليكية. ومن الملاحظ أن البشر قضوا معظم تاريخهم كصيادين وجامعي طعام، وفقط فيما بين 9000 إلى 10000 سنة الماضية اكتشف البشر كيفية تربية المحاصيل وترويض الحيوانات. يرجح أن هذه التغييرات حدثت أولاً في التلال الواقعة شمال العراق وسوريا الحاليين[3].

يقع سد جاوا في الأردن الحديث، وقد تم تشييده في الأصل حوالي 3000 قبل الميلاد فيما كان يعرف آنذاك ببلاد ما بين النهرين.في أوج بنائه، كان السد يبلغ ارتفاع 15 قدمًا وطول 80 قدمًا وقاعدة 15 قدمًا، وتبلغ سعته 1.1 مليون قدم مكعب[4]. بعد ما يقرب من 400 عام من بناء سد جاوا، بنى المصريون سد الكفارة، أو سد الوثنيين، ربما لتزويد المحاجر المحلية بالمياه خارج القاهرة بدلاً من الري، وقد وفر السد الكثير من المياه للمزارعين[5].

في الإمبراطورية الرومانية كان الرومان، الذين يحظون بتقدير كبير لتقدمهم في الهندسة الهيدروليكية، غزيروا الإنتاج في بناء السدود في ذروة الإمبراطورية. بالإضافة إلى الشبكة الواسعة من القنوات المائية، بنى الرومان عددًا كبيرًا من سدود الجاذبية، وأبرزها سدود سوبياكو، التي شُيدت حوالي عام 60 بعد الميلاد لإنشاء بحيرة ممتعة للإمبراطور نيرو. كما شيد الرومان أيضًا أول سد قوسي في العالم في مقاطعة جاليانا بونينسيس الرومانية، التي تُعرف حاليًا بجنوب غرب فرنسا، في القرن الأول قبل الميلاد.

من أمثلة المنشآت الهيدروليكية:

[3]Hydraulic design handbook, Larry W. Mays, McgrawHills
http://www.waterencyclopedia.com/Hy-La/Irrigation-Systems-Ancient.html
[4]http://www.tataandhoward.com/2016/05/a-history-of-dams/
[5]http://www.tataandhoward.com/2016/05/a-history-of-dams/

- القناة أو المصرف Canal or Drainage (مبطنة وغير مبطنة)، شلالات القناة Canal falls (قطرات)، المنظمات Regulators، المنافذ Outlets
- أعمال الرأس: السدود Weirs، القناطر Barrages
- أعمال الصرف المتقاطع (قناة Aqueduct، سيفون)
- المجاري Culverts والجسور Bridges وجسر الطريق Causeway
- السدود Dams والمجاري المائية Spillways وأعمال المخارج Outlet works
- حوض التسرب Stilling basin، ومشتتات الطاقة Energy dissipaters
- حواجز الأمواج Breakwater، الأرصفة البحرية Jetties، الأربية Groins، الرؤوس Headlands، إلخ.

جدول (2–1) يبين تعريفاً موجزاً لبعض المنشآت المائية والغرض منها ومكان عملها.

جدول (2–1): بعض المنشآت المائية والغرض منها ومكان عملها

المنشأة المائية	الغرض منها	مكانها وموضعها
المأخذ المائي	تأمين التدفق اللازم للمشروع المروي	في بداية مصدر الماء
السيفون المقلوب	اجتياز القناة المائية عبر مسيل أو وادي عميق	فوق المجرى المائي
الجسر المائي	تأمين عبور قناة جلب الماء عبر وادي عميق	فوق المجرى المائي
العبارة	تأمين مرور مياه السيول أسفل الطرقات المتقاطعة مع المجاري السيلية، وتأمين مرور أقنية الري فوق المجاري السيلية ذات الأعماق القليلة	أسفل المجرى المائي

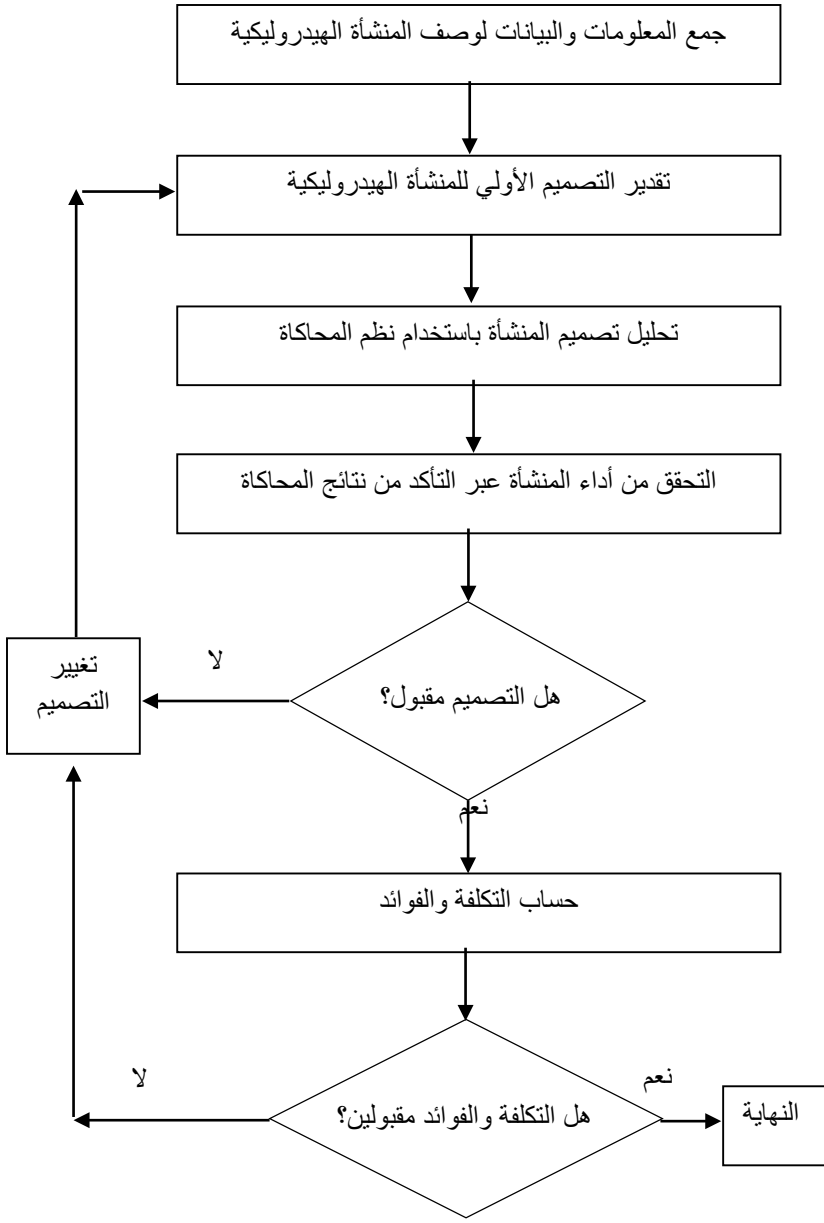
الموزع	توزيع تدفق القناة إلى مختلف القنوات الرئيسة والثانوية ضمن نسب ثابتة حسب التدفق المطلوب للري	تقع عند نقطة التقاء جلب الماء بالمشروع
الحماية والأمان	الحيلولة دون ارتفاع منسوب الماء في القناة	داخل المجرى المائي
السد	توفير مياه الشرب والزراعة وتنمية الثروة الحيوانية والسمكية ومختلف الأغراض المنزلية والخدمية، ولتوليد الطاقة الكهربائية الرخيصة وغير ملوثة للبيئة، ولخدمة مشروعات التنمية الصناعية والعمرانية	معترض المجرى المائي
القنطرة	ترشيد تصرفات المياه في شبكة الري وتحسين ظروف المجرى الملاحي	فوق المجرى المائي
قناة التحويل	منع هدر الموارد في بعض مناطق المجرى المنبسطة بسبب البخر وتغذية النباتات المائية الكثيفة بتعميق مجرى النهر في المنطقة المنبسطة	مع مسيل المجرى المائي
البيارة	لخزن المياه تحت السطح لإعادة استخدامها عند الحاجة	
الصهريج	تستهدف تغذية موقع معين بالمياه بالكميات وفي الأوقات المناسبة	منشأة خرسانية أو معدنية مقامة على ارتفاع مناسب فوق سطح الأرض

مما ينبغي الإشارة اليه أن أعمال الهندسة الهيدروليكية تشمل إنشاء السدود والجسور والقنوات والخزانات وجرف القنوات أو تطهيرهاوالشواطئ والممرات المائية. كما وأن الممرات المائية وهياكل الهندسة الهيدروليكية القديمة تحتاج أيضًا إلى صيانة دورية لضمان استمرار

عملها بأمان. من ثم تصمم مشاريع الهندسة الهيدروليكية لتسهيل استخدام المسطحات المائية وحمايتها، ودعم الحفاظ على الطبيعة، ومنع الفيضانات. يمكن لمشاريع الهندسة الهيدروليكية متعددة الأغراض وجيدة التخطيط أن تفيد في الوقت نفسه في خطط الوقاية من الفيضانات والصرف، والتنوع البيولوجي، ومصايد الأسماك، وسبل كسب عيش السكان المحليين. فتطبق أساليب الهندسة الهيدروليكية البيئية أثناء تخطيط المشاريع وتنفيذها لضمان الحفاظ على الظروف الطبيعية وقيم المناظر الفطرية أو استعادتها، مع مراعاة احتياجات الأشخاص الذين يستخدمون الممرات المائية ويعتمدون عليها.

الإجراءات التقليدية للتصميم الهيدروليكي هي في الأساس إجراءات تكرارية للتجربة والخطأ. تعتمد فعالية الإجراءات التقليدية على حدس المهندس وخبرته ومهارته ومعرفته بالأنظمة الهيدروليكية. ميزة العملية التقليدية هي أن المهندسين يستخدمون خبرتهم وحدسهم لإجراء تغييرات مفاهيمية في النظام أو لتغيير أو إضافة المواصفات. يمكن أن يؤدي الإجراء التقليدي إلى تصميمات وسياسات تشغيل غير مثالية أو غير اقتصادية. يمكن أيضًا أن تستغرق العملية التقليدية وقتًا طويلاً للغاية.

يوضح الشكل (2−1) الإجراء التقليدي للتصميم الهيدروليكي للمنشأة المائيةوتحليلها.



شكل (2-1): الإجراء التقليدي للتصميم الهيدروليكي للمنشأة المائية وتحليلها

2-3) تصنيف المنشآت الهيدروليكية

يمكن تصنيف المنشآت الهيدروليكية حسب الوظيفة والعمل الذي نيط بها على النحو المبين على الجدول (2-2).

جدول (2-2): تصنيف المنشآت الهيدروليكية حسب الوظيفة		
النوع	**الغرض**	**الهيكل أو المنشأة**
منشآت التخزين	لتخزين الماء	السدود Dams: حاجز لحصر أو رفع المياه للتخزين أو التحويل، أو لإنشاء سمت هيدروليكي. الصهاريج Tanks: خزان اصطناعي لتخزين المياه؛ الاستخدام المحلي عمومًا.
منشآت التحكم في التدفق	لتنظيم الكمية وتمرير التدفق الزائد	مجاري المياه Spillways: ممر لإراقة الماء الفائض؛ نقل جميع التصريفات العادية الواردة إلى الخزان والجزء من التصريف الشديد الذي لا يمر عبر مجرى تصريف الطوارئ أو أعمال المخرج. المنافذ Outlets: النقطة حيثيتدفق الماء من قناة، أو فوهة (مخرج) مصرف أو مجاري، أو الصرف من قناة أو مصرف مياه الأمطار. البواباتGates: التحكم في المياه بالإضافة إلى مجموعة كاملة من المحركات لتلبية التطبيقات المحددة. الصمامات Valves: جهاز يتحكم في معدل تدفق السوائل أو الاتجاه أو الضغط.
منشآت قياس التدفق	لتحديد التصريف	الهدارات Weirs: سد عبر قناة لتحويل التدفقات أو لقياس التدفق. الفتحات Orifices: ثقب أو فتحة، عادة تكون في لوحة أو جدار أو فاصل، يتدفق من خلالها الماء، بشكل

		عام لغرض التحكم أو القياس؛ نهاية أنبوب صغير مثل فتحة أنبوب بيتوت أو مقياس ضغط. مجاري Flumes: قناة مفتوحة أو مغلقة تستخدم لنقل المياه. قناة مفتوحة لأشياء مثل الخشب أو الخرسانة أو المعدن على درجة أو حامل أو جسر مُعد.
منشآت التقسيم	لتحويل مجرى الماء الرئيس	سدود الخزانات Coffer dams: حاجز مبني في الماء لتشكيل سياج يضخ المياه منه للسماح بحرية الوصول إلى المنطقة الواقعة بداخله. أعمال رأسية للقناة Canal headworks: أي هياكل أو منشآت أو أعمال هيدروليكية تشيد عبر النهر وتزود المياه إلى قناة الإقلاع. أعمال السحب Intake works: تُستخدم لتجميع المياه من المصادر السطحية مثل النهر والبحيرة والخزان ونقلها إلى محطة معالجة المياه. هذه الهياكل عبارة عن هياكل حجرية أو خرسانية وتوفر مياه نظيفة نسبيًا وخالية من التلوث والرمل والمواد العائمة غير المقبولة.
منشآت النقل	لتوجيه التدفق من موقع إلى آخر	القنوات المفتوحة Open channel: قناة لها سطح مائي معرض في جميع النقاط للضغط الجوي. أي وسيلة نقل يتدفق فيها الماء بسطح حر. مواسير الضغط Pressure Conduits: أنبوب أو مجرى اصطناعي أو مرفق تصريف مماثل عادة يكون مغلق مخصص لنقل المياه. المواسير Pipes: عضو ممدود، عادة يكون مصنوعًا من الخشب أو الخرسانة أو الفولاذ أو البلاستيك.

		القنوات Canals: مبنية لنقل مياه الري وتتميز بحجمها الأكبر، وعادة تحفر في أرض طبيعية. المجاري Sewers: قناة لنقل تدفقات النفاية الصحية والمنزلية.
منشآت التجميع	لجمع المياه للتخلص منها	مداخل التصريف Drain inlets: توضع المداخل في أعلى التيار وعلى جانبي مدخل التصريف بغرض اعتراض الحطام والعمل كإغاثة طارئة لمدخل الحوض. صالات التسلل، رواق التسرب Infiltration galleries: عبارة عن مصرف أفقي مصنوع من أنابيب مفتوحة أو مثقبة، أو كتلة تصريف، توضع أسفل المنسوب الجوفي وتجمع المياه الجوفية. الآبار Wells: الحفريات العمودية الضحلة إلى العميقة، باستخدام أنابيب مثقبة أو مشقوقة مملوءة بالركام، تصل عبر طبقات التربة لمنسوب المياه الجوفية.
منشآت تبديد الطاقة	لمنع التآكل والأضرار الهيكلية	أحواض التكرير، الحوض الساكن Stilling basins: يوفر وسيلة لامتصاص أو تبديد الطاقة من تصريف مجرى المياه ويحمي منطقة مجرى التدفق من التآكل والتقويض. خزانات التدفق Surge tanks: جهاز لتخزين المياه يستخدم كمعادل للضغط في أنظمة نقل المياه بالطاقة الكهرومائية من أجل إخماد تباين الضغط الزائد. فحص السدود Check dams: سد أو هدار أو هيكل منخفض نسبيًا عبر قناة لتحويل تدفقات الري من

		قناة صغيرة أو خندق للتحكم في مرحلة المياه أو السرعة أو تآكل الضفاف ونظافة القاع.
منشآت حماية الشاطئ	لحماية المصارف والضفاف	السدود Dikes: هيكل خطي غير منفذ لاحتواء أو التحكم في التدفق فوق الضفاف وإعادة توجيه التدفق مثل المجاري أو أسفل مسار آخر. الأربية Groins: جسر أو جدار مبني بشكل عمودي إلى حد ما على ضفة مجرى مائي أو خط ساحلي. الأرصفة Jetties: رصيف المراكب الصغيرة لهيكل طويل وضيق يحمي الخط الساحلي من التيارات والمد والجزر. عادة تكون الأرصفة مصنوعة من الخشب أو الأرض أو الحجر أو الخرسانة. السدود Revetments: جدار احتياطي أو واجهات من البناء أو أي مادة أخرى، تدعم أو تحمي الأسوار أو الجدران، إلخ.
تدريب النهر ومنشآت تثبيت الممرات المائية	للحفاظ على مجرى النهر والنقل المائي	السدود Levees: جسر، يتجه عمومًا إلى اليابسة من أعلى الضفة، والذي يحصر التدفق خلال فترات ارتفاع المياه، ويمنع التدفق إلى الأراضي المنخفضة. القواطع Cutoffs: قناة طبيعية أو اصطناعية إما عبر عنق حلقة متعرجة (قطع الرقبة) أو عبر شريط نقطة (قطع شلال)، وتقصر طول التيار. الأقفال Locks: جزء من نظام ممر مائي عميق صالح للملاحة بما يكفي لاستخدام السفن، ويتحكم في أعماق حوض السباحة. الأرصفة Piers: العوائق الموضوعة في مسار المياه عالية السرعة، مثل الأرصفة الموجودة على ساحة

		الحوض الساكن، لتبديد الطاقة ومنع تآكل الضفاف وتنظيف قاع المجرى. القناطر Culverts: هيكل مجرى مائي مغلقًا لزيادة السعة الهيدروليكية ولنقل الجريان السطحي من خلال الطرق السريعة أو جسر السكك الحديدية.
منشآت مراقبة الجودة والرواسب	للتحكم في الرواسب والملوثات الأخرى أو إزالتها	الرفوف Racks: مكونة من قضبان متوازية للقبض على الحطام العائم. الغرابيل Screens: جهاز يستخدم لالتقاط الحطام العائم أو المعلق أو المتدحرج، قبل أن يدخل مرفق الصرف. شبكة أو مصفاة عبر مجرى أو مدخل إلى مرفق تصريف مصمم لالتقاط الحطام. الفخاخ Traps: لحجز الحطام والرواسب. خزانات الترسيب Sedimentation tanks: يستخدم لترسيب الجسيمات العالقة في الماء، طبقة من الحمأة تترسب في قاع الخزان وتتم إزالتها بشكل دوري. المرشحات Filters: جهاز مدمج في نظام هيدروليكي لإزالة الملوثات. الممرات المائية Sluiceways: بوابة منزلقة أو أي جهاز آخر للتحكم في تدفق المياه، خاصةً في بوابة القفل .قناة مياه اصطناعية لحمل المياه الفائضة أو الفائضة.
الآلات الهيدروليكية	لتحويل الطاقة من واحد إلى آخر	المضخات Pumps: اللبنة الأساسية لأي نظام هيدروليكي بتصميمات الريشة، والعتاد، والمحول، والمكبس، تقوم بإنشاء تدفق السائل الهيدروليكي.

		التوربينات أو العنفات Turbines: جهاز يستخدم الطاقة الحركية لبعض السوائل – مثل الماء أو البخار أو الهواء أو غازات الاحتراق – ويحولها إلى حركة دورانية، وتستخدم في توليد الكهرباء والمحركات وأنظمة الدفع. الكباش Rams: جهاز ضخ مياه أوتوماتيكي يستخدم الطاقة الموجودة في تدفق المياه الجارية.

كما يمكن تقسيم وتصنيف المنشآت المائية حسب الهدف من استثمارها للتالي:

- منشآت توليد الطاقة الكهربائية: توضع هذه المنشآت لتيسير الاستفادة من الطاقة الهيدروليكية للمياه السطحية (الأنهار والبحار) ومن أمثلتها السدود والمساقط المائية.
- منشآت النقل المائي: الغرض الأساسي والهدف الجوهري من هذه المنشآت هو استخدام المياه السطحية (الأنهار والبحيرات والبحار والبرك) لأغراض الملاحة. ومن أمثلتها المرافئ النهرية والبحرية.
- منشآت استصلاح الأراضي: تستخدم هذه المنشآت المائية في شبكات الري والصرف. ومن أمثلتها المآخذ المائية وأقنية المصارف والجسور المائية والسيفون المقلوب والسدود الترشيحية والتخزينية والآبار الارتوازية.
- منشآت استثمار الأحواض المائية: تهدف هذه المنشآت إلى صيد الأسماك وتربيتها وتحسين البيئة للسياحة والاستجمام.

2-4) دور الاقتصاد في التصميم الهيدروليكي

التحليل الاقتصادي الهندسي هو عملية تقييم يمكن استخدامها لمقارنة التصميمات الهيدروليكية البديلة، ثم تطبيق تقنية الخصم Discounting technique لاختيار أفضل بديل. عند تحليل الفوائد والتكاليف يلاحظ أن مشاريع المياه تمتد بمرور الوقت، وتتحمل تكاليف طوال مدة المشروع، وتحقق فوائد لاحقا. عند اختيار مجموعة من المشاريع، تتمثل

إحدى القواعد للاختيار الأمثل في تعظيم القيمة الحالية لصافي الفوائد Current value of net benefits. فيما هنالك معيار آخر للترتيب عبر استخدام نسبة الفائدة إلى التكلفة benefit–cost ratio (B/C), PWB/PWC حسب المبين في المعادلة 2–1.

$$B/C = PWB/PWC > 1 \qquad (2.1)$$

حيث:

B/C = نسبة الفائدة إلى التكلفة

PWB = فائدة القيمة الحالية present worth benefit

PWC = تكلفة القيمة الحالية present worth cost

غالبًا تستخدم نسبة B/C لفحص البدائل غير المجدية بنسب B/C أقل من 1 من مزيد من الدراسة. يعتمد اختيار البديل الأمثل على نسب التكلفة والمزايا المتزايدة.

2–4–1) دور اختيار الامثل (التحسين) في التصميم الهيدروليكي Role of optimization in hydraulic design

يزيل التحسين عملية التجربة والخطأ لتغيير التصميم وإعادة محاكاته مع كل تغيير جديد. بدلاً من ذلك، يقوم نموذج التحسين تلقائيًا بتغيير معلمات التصميم. يحتوي إجراء التحسين على تعبيرات رياضية تصف النظام واستجابته لمدخلات النظام لمعلمات التصميم المختلفة. تتكون كل مشكلة تحسين من جزأين أساسيين: الوظيفة الموضوعية، ومجموعة القيود. تصف الوظيفة الموضوعية معايير أداء النظام، بينما تصف القيود النظام أو العملية التي تصمم أو تحلل.

يمكن صياغة مشكلة التحسين في موارد المياه في إطار عام من حيث متغيرات القرار decision variables (x)، مع وظيفة موضوعية objective function, f(x)

للتحسين وتخضع للقيود constraints, g(x)=0 والقيود الملزمة bound constraints على متغيرات القرار decision variables, X'<x<X" حيث x هو متجه لعدد n من متغيرات القرار $(x_1, x_2, \ldots, x_n)$، فيما g(x) هو متجه من المعادلات m تسمى القيود constraints، وكل من 'x و "x يمثلان الحد الأدنى والأعلى، على التوالي، على متغيرات القرار (f(x), g(x)=0, X'<x<X").

الحل العملي والمجدي feasible solution لمشكلة التحسين هو مجموعة من قيم متغيرات القرار التي تفي بالقيود في نفس الوقت، والمنطقة المجدية هي منطقة الحلول الممكنة التي تحددها القيود. الحل الأمثلoptimal solution هو مجموعة من قيم متغيرات القرار التي تفي بالقيود وتوفر القيمة المثلى لدالة الهدف. من ثم واعتمادًا على طبيعة دالة الهدف والقيود، يمكن تصنيف مشكلة التحسين على أنها:

- خطية مقابل غير خطية،
- حتمية مقابل احتمالية،
- ثابتة مقابل ديناميكية،
- مستمرة مقابل منفصلة، أو
- المعلمة المجمعة مقابل المعلمة الموزعة.

2-4-2) دور تحليل المخاطر في التصميم الهيدروليكي Role of risk analysis in hydraulic design

الشكوك وعدم اليقين Uncertainties وما يترتب عليهما من مخاطر ذات صلة في التصميم الهيدروليكي أمر لا مفر منه. ورغما عن أن المنشآت الهيدروليكية تخضع دائمًا لاحتمال الفشل في تحقيق الأغراض المقصودة، غير أن إجراءات التصميم الهندسي وتشغيل موارد المياه لا تتضمن أي تقييم مطلوب أو تحديد لكمية الشكوك وتقييم المخاطر الناتجة. وفي هذا الإطار، تعرف المخاطر Risks على أنها احتمال الفشل probability of failure، ويعرف الفشل على أنه حدث يتسبب في فشل النظام في تحقيق الأهداف المرجوة. يمكن تجميع حالات الفشل في الفشل الهيكلي أو فشل الأداء.

تُعرَّف الموثوقية Reliability بأنها تكملة للمخاطر: أي احتمال عدم الفشل. أما رياضياً، فيعرف المكمل على أنه الكم الواجب اضافته إلى شيء ما لجعله "كاملاً". وعلى ذات النهج، يمكن تعريف عدم اليقين Uncertainty على أنه وقوع أحداث خارجة عن إرادة الفرد. وعدم اليقين في المنشأة الهيدروليكية هو خاصية غير محددة تتجاوز الضوابط الصارمة. وعند تصميم هذه الأنظمة وتشغيلها، يجب اتخاذ القرارات في ظل أنواع مختلفة من عدم اليقين.

2-4-3) مصادر عدم اليقين

إن مصادر عدم اليقين متعددة الجوانب، تضم من بينها عدم اليقين الطبيعي، وعدم اليقين الانشائي، وعدم اليقين لمعلمة النموذج، والشكوك المعلوماتية والبيانية، والشكوك التشغيلية.

ترتبط حالات عدم اليقين الطبيعية Natural uncertainties بالتقلبات الزمانية والمكانية العشوائية المتأصلة في العمليات الطبيعية.

تعكس حالات عدم اليقين الانشائي Model structural uncertainties عدم قدرة نموذج المحاكاة أو إجراء التصميم على تمثيل السلوك المادي الحقيقي للنظام أو العملية بدقة. تعكس حالات عدم اليقين في معلمات النموذج Model parameter uncertainties التباين في تحديد المعلمات التي سيتم استخدامها في النموذج أو التصميم.

تشمل أوجه عدم اليقين في البيانات Data uncertainties عدم الدقة والأخطاء في القياسات، وعدم كفاية شبكة قياس البيانات، والأخطاء في معالجة البيانات ونسخها.

ترتبط حالات عدم اليقين التشغيلية Operational uncertainties بالعوامل البشرية، مثل البناء والتصنيع والتدهور والصيانة، والتي لم تؤخذ في الاعتبار حال إجراءات النمذجة أو التصميم.

تنقسم حالات عدم اليقين عند تحليل المخاطر في التصميم الهيدروليكيإلى أربع فئات رئيسة تضم – علما بأن كل فئة لديها عناصر مختلفة من عدم اليقين:

- عدم اليقين الهيدرولوجي[6]Hydrologic uncertainty،
- عدم اليقين الهيدروليكي Hydraulic uncertainty،
- عدم اليقين الانشائي والهيكلي Structural uncertainty،
- عدم اليقين الاقتصادي Economic uncertainty.

يمكن تصنيف عدم اليقين الهيدرولوجي إلى ثلاثة أنواع: عدم اليقين المتأصل، والمتغير، والنموذجي.تعتبر الأحداث الهيدرولوجية المختلفة، مثل تدفق مجرى المياه أو هطول الأمطار، من العمليات العشوائية نظرًا لعشوائية طبيعتها من تلك المتأصلة فيها والتي يمكن ملاحظتها. وبسبب نقص المعلومات الهيدرولوجية المثالية حول هذه العمليات، توجد شكوك إعلامية حول العمليات. يشار إلى حالات عدم اليقين هذه على أنها شكوك في المعلمات وشكوك نموذجية.في كثير من الحالات، تنتج حالات عدم اليقين النموذجية عن نقص البيانات الكافية والمعرفة اللازمة لاختيار نموذج الاحتمال المناسب أو من استخدام نموذج مفرط التبسيط، مثل الطريقة العقلانية لتصميم مجاري ومصارف العاصفة المطرية.

يتعلق عدم اليقين الهيدروليكي بتصميم الهياكل الهيدروليكية وتحليل أدائها، وينشأ بشكل أساسي من ثلاثة مصادر رئيسة: النموذج، والبناء والمواد، وظروف تشغيل التدفق.ينتج عدم اليقين في النموذج من استخدام نموذج هيدروليكي مبسط أو مثالي لوصف ظروف التدفق، والذي بدوره يساهم في عدم اليقين عند تحديد القدرة التصميمية للمنشآت

[6]الهيدرولوجيا تتعلق بالعلم الذي يتعامل مع حدوث وتداول وتوزيع وخصائص مياه الأرض وغلافها الجوي.

الهيدروليكية. حيث أن العلاقات المبسطة، مثل معادلة مانينغ، تُستخدم عادةً لنمذجة عمليات التدفق المعقدة التي لا يمكن وصفها بشكل مناسب، مما يؤدي إلى أخطاء في النموذج.

يشير عدم اليقين الانشائي والهيكلي إلى الفشل الناجم عن الضعف الانشائي؛ فيمكن أن يكون سبب الفشل المادي للهياكل الهيدروليكية هو تشبع التربة وعدم استقرارها، أوالفشل الناتج عن التآكل أو التربة الهيدروليكية، وعمل الأمواج، والحمل الهيدروليكي الزائد، والانهيار الهيكلي، وفشل المواد، وما إلى ذلك. مثال على ذلك هو الفشل الهيكلي لنظام السدود levee سواء في السدود أو في التربة المجاورة لها حيث يمكن أن يكون سبب الفشل تشبع وعدم استقرار التربة. يمكن أن تتسبب موجة الفيضانات flood wave في زيادة تشبع السد من خلال الهبوط slumping، كما يمكن أن تفشل السدود أيضًا بسبب فشل التربة الهيدروليكي وعمل الأمواج.

يمكن أن ينشأ عدم اليقين الاقتصادي من عدم اليقين فيما يتعلق بتكاليف البناء، وتكاليف الأضرار، والإيرادات المتوقعة للمشروع، وتكاليف التشغيل والصيانة، والتضخم وعمر المشروع وغير ذلك من بنود التكلفة والمزايا غير الملموسة. تخضع جميع تكاليف البناء والأضرار والتشغيل أو الصيانة لشكوك بسبب التقلبات في معدل زيادة مواد البناء وتكاليف العمالة وتكاليف النقل والخسائر الاقتصادية ومعدل زيادة التكاليف في مناطق جغرافية مختلفة. كما ترتبط عدة أوجه من وجوه عدم اليقين الاقتصادية والاجتماعية الأخرى بخسائر غير مريحة ومزعجة، مثل فشل عبور الطريق السريع بسبب الفيضانات، مما يؤدي إلى خسائر مرتبطة بحركة المرور.

2-4-4) تقييم موثوقية المخاطر Risk-Reliability Evaluation

مقاومة الحمل Load resistance: يمكن تعريف حمل load النظام على أنه إجهاد خارجي للنظام، ويمكن تعريف المقاومة resistance على أنها قدرة النظام على التغلب

على الحمل الخارجي. عند استخدام المتغير R للمقاومة والمتغير L للحمل، يمكن تعريف الفشل على أنه حدث عندما يتجاوز الحمل المقاومة (L>R) P.

المخاطر المركبة Composite Risk: عدم اليقين الهيدرولوجي والهيدروليكي بسبب المقاومة وتحميل الشكوك يؤدي إلى فكرة وجود مخاطر مركبة.

عامل الأمان (SF) Safety factor: يعرف عامل الأمان على أنه نسبة المقاومة إلى الحمل (R/L). وبما أن عامل الأمان SF هو نسبة متغيرين عشوائيين، فهو أيضًا متغير عشوائي. يمكن كتابة المخاطر riskP(SF<1) ويمكن كتابة الموثوقية reliabilityP (SF>1)

تقييم المخاطرRisk assessment: يتطلب تقييم المخاطر عدة مراحل أو خطوات، والتي يمكن أن تختلف لأنواع مختلفة من مشاريع هندسة موارد المياهوتضم:

- تحديد مخاطر الخطر
- تقييم الحمل والمقاومة
- إجراء تحليل لحالات عدم اليقين
- تحديد المخاطر المركبة
- تطوير العلاقات المركبة بين عوامل الخطر والأمان.

نموذج للتصميم القائم على المخاطر A model for risk-based design: إن التصميم القائم على المخاطر للمنشآت الهيدروليكية يعد أهم تطبيق لتحليل عدم اليقين والمخاطر. يدمج التصميم القائم على المخاطر للمنشآت الهيدروليكية إجراءات الاقتصاد وتحليل عدم اليقين المستقبلي وتحليل المخاطر في ممارسة التصميم. عندما يضمن التصميم القائم على المخاطر في إطار عمل التحسين، فإن الإجراء المشترك يسمى التصميم الأمثل القائم على المخاطر. هذا النهج للتصميم هو النموذج النهائي لتصميم

الهياكل الهيدروليكية ومشاريع الموارد المائية وتحليلها وتشغيلها، من تلك التي يحتاج مهندسو الهيدروليكا إلى السعي لتحقيقها في المستقبل.

2-4-5) الاستدامة Sustainability

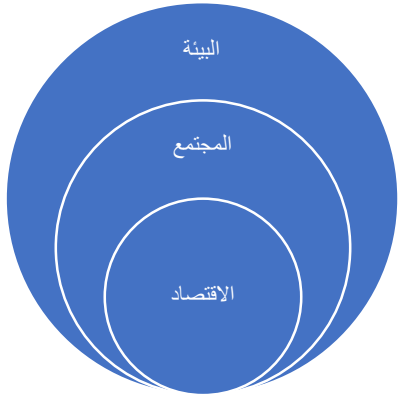
في علم البيئة، الاستدامة (من الاستدامة والقدرة) هي خاصية للأنظمة البيولوجية لتظل متنوعة ومنتجة إلى أجل غير مسمى. فيما تتعلق التنمية المستدامة بتلبية احتياجات الحاضر دون المساس بقدرة الأجيال القادمة على تلبية احتياجاتهم الخاصة (WCED 1987).

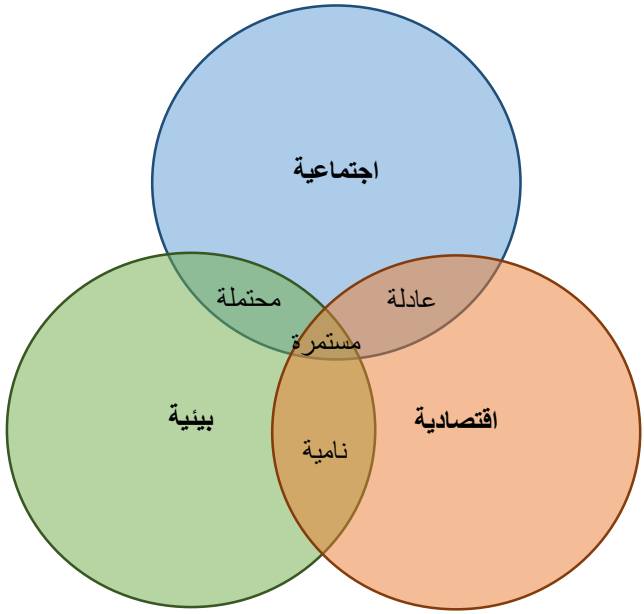
عناصر الاستدامة Elements of sustainability

- البيئة
- التنوع البيولوجي
- المواد
- الطاقة
- التفاعلات الفيزيائية والحيوية
- المجتمع
- التنوع البشري (الثقافي، اللغوي، العرقي)
- الإنصاف (التبعية / الاستقلال)
- جودة الحياة
- الهياكل المؤسسية والتنظيم
- الهياكل السياسية
- الاقتصاد
- المال ورأس المال
- التوظيف
- النمو التكنولوجي
- الاستثمار

- قوى السوق

يبين شكل (2-2) تداخل عوامل البيئة والمجتمع والاقتصاد في الاستدامة.





شكل (2-2): تداخل البيئة والاجتماع والاقتصاد والتقبل والاستدامة

2-4-5-1) مشاكل الاستدامة Sustainability problems

- نضوب الموارد المحدودة
- الوقود والتربة والمعادن والأنواع
- الإفراط في استخدام الموارد المتجددة
- الغابات والأسماك والحياة البرية والخصوبة والأموال العامة
- التلوث
- الهواء والماء والتربة
- اللامساواة
- الاقتصادية والسياسية والاجتماعية والجنس (النوع)
- فقدان الأنواع
- الأنواع والأماكن المهددة بالانقراض

2-4-5-2) حلول الاستدامة Sustainability solutions

- الاستخدام الدوري للمواد
- محاكاة الدورات الطبيعية
- الطاقة الموثوقة الآمنة
- الحفظ، الطاقة المتجددة، الإحلال، التدابير المؤقتة
- الاهتمامات القائمة على الحياة
- الصحة والإبداع والاتصال والتنسيق والتقدير والتعلم والتنمية الفكرية والروحية

2-5) التدفق من خلال الوسائط المسامية Flow through porous media

الوسائط المسامية Porous media: وسيط يعرض تسلسل مسام متعرج مع وصلات معقدة (حجم المسام أقل من 0.5 مم) وتعتبر المادة المسامية (أو الوسيط المسامي) هي مادة تحتوي على مسام (فراغات). من أمثلة الأوساط المسامية الطبيعية الصخور والتربة (مثل طبقات المياه الجوفية وخزانات البترول) والزيوليت والأنسجة البيولوجية (مثل العظام

والخشب والفلين) ومن أمثلة الأوساط المسامية المواد التي من صنع الإنسان مثل الإسمنت والسيراميك.

للتمييز بين الأوساط المسامية تستخدم عدة خصائص ميكانيكية لها من بينها:

- المسامية porosity.
- السماحية أو النفاذية permeability وهي خاصية الوسط المسامي لقياس قدرة الوسط على نقل السوائل.
- الصلابة strength.

التدفق من خلال الوسائط المسامية تحكمه عدة عوامل ومن تصنيفاته التالي:

- التدفق غير القابل للضغط Incompressible flow: إذا كانت كثافة المائع ρ ثابتة (سواء في الوقت أو في جميع أنحاء حقل التدفق).
- التدفق الثابت Steady flow: يحدث التدفق الثابت إذا كانت الظروف عند نقطة ما لا تتغير بمرور الوقت لمعاملات ومعايير التدفق وهي السرعة والضغط والكثافة، وإلا يغدو التدفق غير مستقر unsteady أو عابر transient (مثل التدفق المضطرب turbulent flow). تبين المعادلة 2−2 التدفق الثابت فيما تبين المعادلة 2−3 التدفق غير المستقر.

$$\left(\frac{\partial V}{\partial t}\right)_{x_o y_o z_o} = 0 \; for \; steady \; flow \qquad (2.2)$$

$$\left(\frac{\partial V}{\partial t}\right)_{x_o y_o z_o} \neq 0 \; for \; unsteady \; flow \qquad (2.3)$$

حيث:

V = متجه السرعة

t = الزمن

- التدفق المنتظم Uniform flow: يحدث التدفق المنتظم إذا ظلت خصائصه في أي لحظة معينة كما هي عند نقاط مختلفة في اتجاه التدفق، كما توضح ذلك المعادلتان 2–4 و2–5.

$$\left(\frac{\partial V}{\partial s}\right)_{t_o} = 0 \; for \; uniform \; flow \qquad (2.4)$$

و

$$\left(\frac{\partial V}{\partial s}\right)_{t_o} \neq 0 \; for \; non-uniform \; flow \qquad (2.5)$$

- التدفقات الأحادية والثنائية والثلاثية الأبعاد One–, two– and three–dimensional flows:
  - في تحليل التدفق أحادي البعد one–dimensional flow، يهمل عنصر السرعة المستعرض لاتجاه التدفق الرئيس (مثل التدفق عبر الأنبوب)، كما مبين على المعادلة 2–6.
  - في التدفق ثنائي الأبعاد two–dimensional flow، يكون متجه السرعة دالة من إحداثيين (على سبيل المثال، ظروف التدفق في نهر مستقيم واسع)، كما مبين على المعادلة 2–7.
  - التدفق ثلاثي الأبعاد Three–dimensional flow هو أكثر أنواع التدفق شيوعًا حيث يختلف متجه السرعة باختلاف المساحة ويكون معقدًا بشكل عام، كما مبين على المعادلة 2–8.

$V = f(x, t)$ (one–dimensional flow) (2.6)

$V = f(x, y, t)$ (two–dimensional flow) (2.7)

$V = f(x, y, z, t)$ (three–dimensional flow) (2.8)

2-6) قانون دارسي Darcy والتدفق

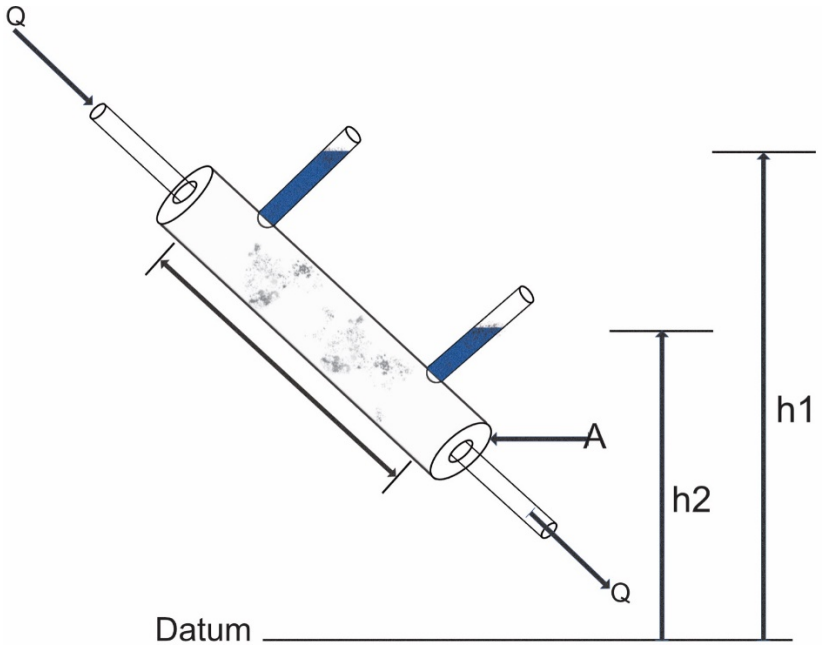
قانون دارسي (أو معادلة دارسي، قانون التدفق الخطي linear flow law) من المعادلات التي تفسر تدفق الموائع وانسيابها في الأوساط المسامية. قانون دارسي هو معادلة تصف تدفق السائل عبر وسط مسامي (انظر شكل 2-3). ويوفر قانون دارسي وصفًا دقيقًا لتدفق المياه الجوفية تقريبًا في جميع البيئات الهيدروجيولوجية. قانون دارسي صالح فقط للتدفق البطيء واللزج. يسمح قانون دارسي بتقدير التالي:

- السرعة أو معدل التدفق المتحرك داخل طبقة المياه الجوفية
- متوسط الوقت للتحرك من رأس الخزان الجوفي إلى نقطة تقع أدنى اتجاه الجريان downstream

2-6-1) الشروط والاعتبارات لقانون دارسي

قانون دارسي ينطبق على:

1. التدفق المشبع Saturated flow والتدفق غير المشبع unsaturated flow
2. الحالة الثابتة Steady-state والتدفق العابر transient flow
3. التدفق في طبقات المياه الجوفية وخزانات المياه
4. التدفق في المكامن المتجانسة aquifers وغير المتجانسة aquitards
5. التدفق في وسط متجانس homogeneous أو متباين heterogeneous
6. التدفق في وسط الخواص isotropic أو متباين الخواص anisotropic
7. التدفق في الصخور والوسائط الحبيبيةgranular media
8. السائل غير قابل للانضغاط
9. الوسط المسامي الذي يتدفق عبر السائل متجانس
10. التدفق خطي
11. تدفق السائل متساوي الحرارة
12. لا يتفاعل السائل في أي وقت مع الوسط المسامي الذي يمر عبره.



شكل (2–3): تجربة دارسي

أثبت Henri Darcy بشكل تجريبي أن تدفق الماء من خلال طبقة مسامية يتناسب مع المسافة بين أعلى عمود التربة وأسفلها، في أبسط أشكاله يمكن التعبير الرياضي لقانون دارسي كما مبين على المعادلة 2–9.

$$Q = – KA (\Delta h/\Delta L) \qquad (2.9)$$

حيث:

Q = التدفق

K = ثابت التناسب، معامل نفاذية دارسي، الموصلية الهيدروليكية. يمثل K مقياسًا للقدرة على التدفق عبر الوسائط المسامية. ويعتمد على كل من المادة وخصائص السائل الذي يمر خلالها. جدول (2–3) يعطي قيم متوسطة للموصلية الهيدروليكية.

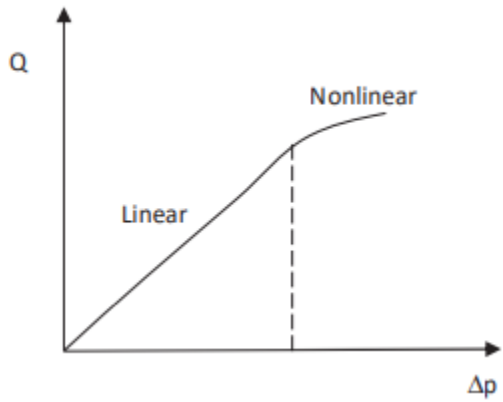
جدول (2–3): قيم متوسطة للموصلية الهيدروليكية	
الموصلية الهيدروليكية	سم/ثانية
الحصى Gravels	0.1 إلى 1
الرمال Sands	2– 10 إلى 3 –10
الطمي Silts	4– 10 إلى 5–10
الطين Clays	7 – 10إلى 9 – 10

A = مساحة المقطع العرضي الإجمالية

ΔL= المسافة بين نقطتين من العينة

Δh= الفرق المحتمل بين هاتين النقطتين

العلاقة بين معدل التدفق وفرق الضغط تظهر في الشكل (2–4).



شكل (2–4): العلاقة بين معدل التدفق وفرق الضغط

من معادلة الاستمرارية Continuity Equation 2–10.

$$Q = A\ v_D = A_V\ V_s \qquad (2.10)$$

حيث:

Q = معدل التدفق

A = إجمالي مساحة المقطع العرضي للوسط

A_V = مساحة الفراغات

v_s = سرعة التسرب

v_D = سرعة دارسي

من ثم تنتج المعادلة 2-11.

$$v_S = v_D (A/A_V) \qquad (2.11)$$

ضرب كلا الجانبين بطول الوسط (L) ينتج المعادلة 2-12.

$$v_S = v_D (AL/A_VL) = v_D (V_T/V_V) \qquad (2.12)$$

حيث:

V_T = الحجم الكلي

V_V = الحجم الفارغ void volume

بالتعريف من المعادلة 2-13.

$$v_v/v_T = n \qquad (2.13)$$

حيث:

n = مسامية التربة soil porosity

وبالتالي تنتج المعادلة 2-14.

$$v_S = v_D/n \qquad (2.14)$$

حيث:

v = سرعة دارسي والتي تمثل التدفق المحدد specific discharge (سرعة دارسي Darcy velocity)

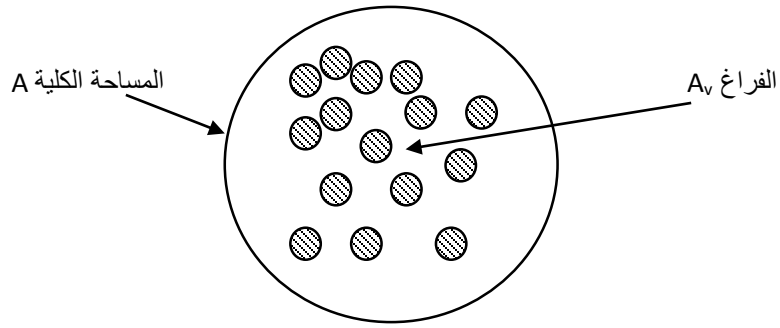
(-) علامة السالب تشير إلى أن v تحدث في اتجاه الضغط head المتناقص.

وتجدر الإشارة إلى أن سرعة دارسي مختلفة من السرعات المجهرية المرتبطة بالمسارات الفعلية إذا كانت جزيئات الماء الفردية تشق طريقها عبر حبيبات الرمل. السرعات المجهرية حقيقية، ولكن من المستحيل قياسها على الأرجح.

التفريغ المحدد هو مفهوم مجهري macroscopic concept، ويمكن قياسه بسهولة. التدفق المحدد له وحدات السرعة.

2-6-2) دارسي وسرعة التسرب Seepage Velocity

سرعة دارسي هي سرعة وهمية لأنها تفترض أن التدفق يحدث عبر كامل المقطع العرضي لعينة التربة. غير أن التدفق في الواقع يحدث فقط من خلال فتحات وفراغات المسام المترابطة interconnected pore channels (انظر شكل 2-5).



شكل (2-5): الفراغات والمسام

لاحظ دارسي من خلال تجاربه على وسط من الرمال أن العلاقة بين مقدار تدفق المائع في الوسط المسامي يتناسب طرديامع سماحية الوسط ومساحة مقطع التدفق وفرق الضغط بين طرفي الوسط المسامي، في حين أنه يتناسب عكسياً مع مقدار لزوجة المائع والمسافة المقطوعة داخل الوسط المسامي (مسار المائع في الوسط). يمكن التعبير عن قانون دارسي رياضيا على النحو المبين في المعادلة 2−15.

$$Q = \frac{kA(P_b - P_a)}{\mu L} \qquad (2.15)$$

حيث:

Q = التدفق، متر مكعب لكل ثانية

k = سماحية الوسط المسامي، متر مربع

A = مساحة مقطع التدفق، متر مربع

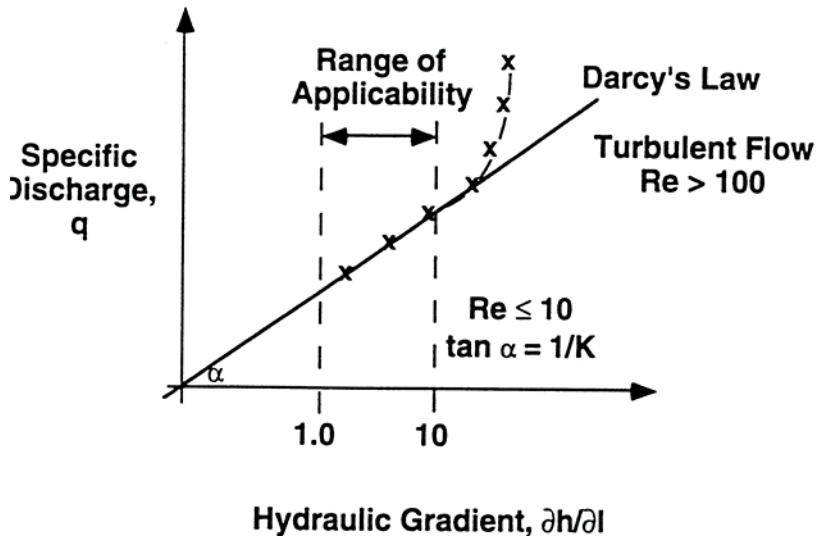
$p_b - p_a$ = الفرق في الضغط بين طرفي الوسط المسامي، باسكال

μ = لزوجة المائع، باسكال*ثانية

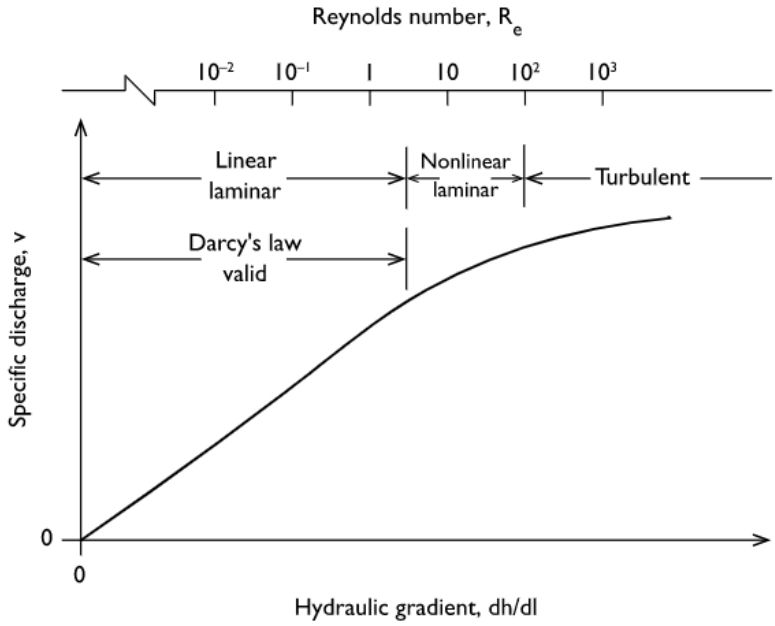
L = طول مسار التدفق، متر

2-6-3) حدود نهج دارسي

1) بالنسبة لرقم رينولد Reynold's Number، Re >10 أو حيث يكون التدفق مضطربًا turbulent، كما هو الحال في المنطقة المجاورة مباشرة للآبار التي يتم ضخها.
2) حيث يتدفق الماء من خلال مواد شديدة الحبيبات extremely fine-grained (الطين الغرواني colloidal clay).



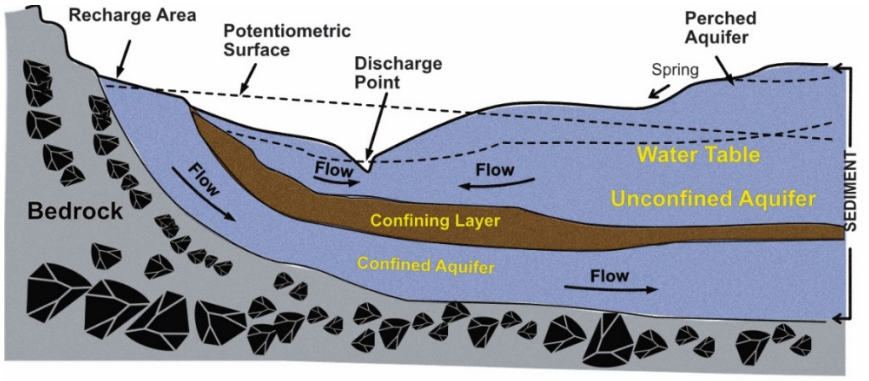
شكل (2-6): تغير الدفق مع الميل الهيدروليكي



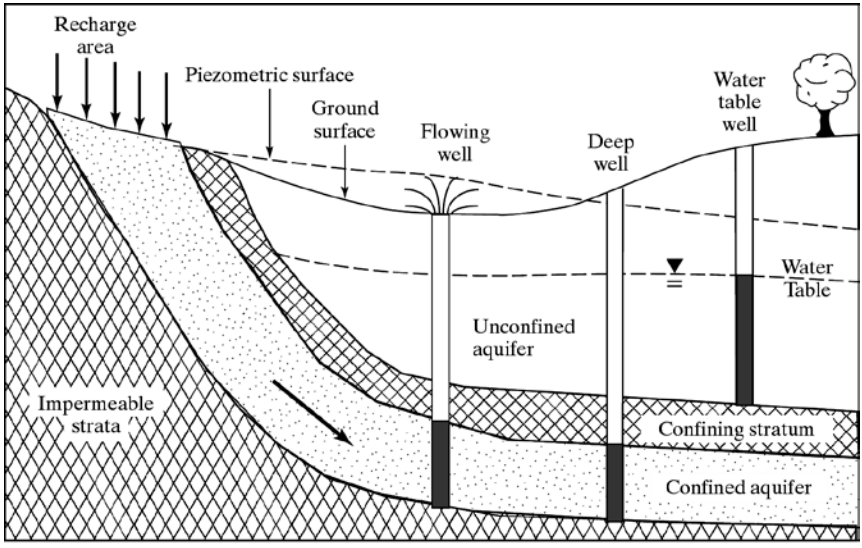
شكل (2-7): نطاق صلاحية قانون دارسي

2-7) معادلات تدفق المياه الجوفية

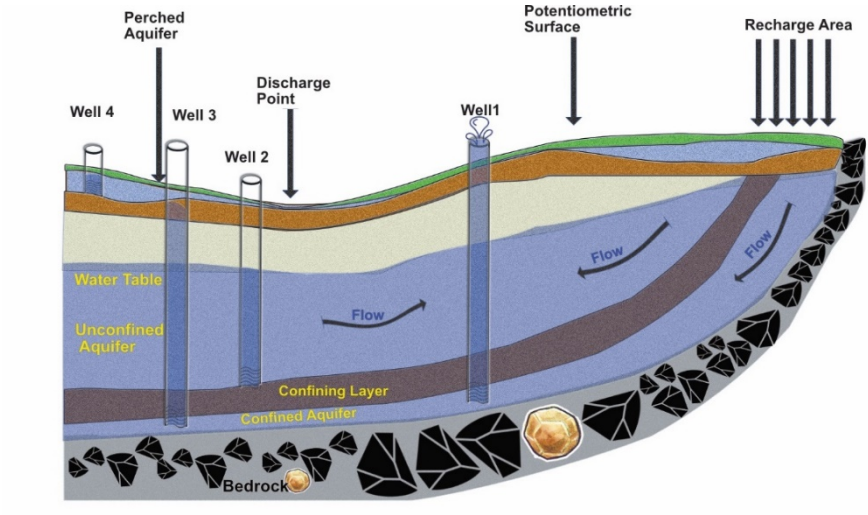
تتدفق المياه الجوفية من منطقة الترسب (نقطة إعادة الملئ) إلى منطقة التفريغ بمعدلات بطيئة جدًا، حيث يتراوح معدل تدفقها بين المترين في اليوم إلى المترين في العام. المعدل النموذجي لتدفق المياه الجوفية للعديد من طبقات المياه الجوفية هو حوالي 4 سم / يوم. يعتمد وصف تدفق المياه الجوفية على قانون دارسي. كما ويعتمد معدل تدفق المياه الجوفية على نفوذية المادة التي يتدفق من خلالها (حجم الفراغات في التربة أو الصخور ومدى جودة اتصال المساحات) وفقد السمت أو الرأس الهيدروليكي (ضغط الماء). تصف معادلة الاستمرارية الحفاظ على كتلة السوائل أثناء التدفق عبر وسط مسامي؛ مما ينتج عنه معادلة تفاضلية جزئية للتدفق (معادلة لابلاس).



شكل (2–8): الخزانات الجوفية

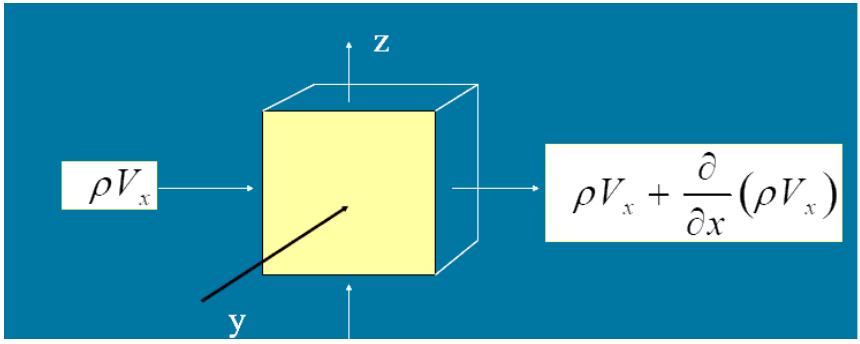


شكل (2–9): طبقات المياه الجوفية المحصورة وغير المحصورة



شكل (2–10): المياه الجوفية والآبار

2–7–1) اشتقاق معادلة تدفق ثلاثية الأبعاد لدفق المياه الجوفية من قانون دارسي



شكل (2–11): دفق المياه الجوفية من قانون دارسي

من المعلوم أن التغيير في التخزين يساوي الكتلة الداخلية منقوص منها الكتلة الخارجية كما مبين على المعادلة 2–16.

$$-\frac{\partial}{\partial x}(\rho V_x) - \frac{\partial}{\partial y}(\rho V_y) - \frac{\partial}{\partial z}(\rho V_z) = 0 \qquad (2.16)$$

استبدل V_xو V_yو V_z بدارسي مستخدما K_x و K_y و K_z تنتج المعادلة 2−17.

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(\rho K_x \frac{\partial h}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(\rho K_y \frac{\partial h}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(\rho K_z \frac{\partial h}{\partial z}\right) = 0 \qquad (2.17)$$

اقسم الثابت ρ وافترض أن $K_x = K_y = K_z = K$

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = 0 \qquad (2.18)$$

$$\nabla^2 h = 0 \quad called\ Laplace\ equation \qquad (2.19)$$

2−7−2) التدفق المشبع العابر Transient Saturated Flow

$$-\frac{\partial}{\partial x}(\rho V_x) - \frac{\partial}{\partial y}(\rho V_y) - \frac{\partial}{\partial z}(\rho V_z) = \frac{\partial}{\partial t}(\rho n) \qquad (2.20)$$

سيؤدي التغيير في h إلى تغيير في ρ و n، واستبداله مع تخزين محدد للمعادلة 2−21 $S_s = g\ (\alpha + nB)$

$$S_s = \rho g(\alpha + nB) \qquad (2.21)$$

ملاحظة:

α = انضغاطية compressibility طبقة المياه الجوفية

B = مركبة في الماء،

وبالتالي تنتج المعادلة 2−22.

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(\rho K_x \frac{\partial h}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(\rho K_y \frac{\partial h}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(\rho K_z \frac{\partial h}{\partial z}\right) = S_s \frac{\partial h}{\partial t} \qquad (2.22)$$

2-7-3) حلول لمعادلات تدفق المياه الجوفية

يمكن الحصول مباشرة على حلول لعدد قليل من المشاكل البسيطة – تحتاج عمومًا إلى تطبيق طرق عددية لمعالجة شروط الحدود المعقدة. إذا كان الخزان الجوفي يحتوي على شروط حدودية لإعادة الشحن، فيمكن الوصول إلى حالة مستقرة (أو يمكن استخدامه كتقريب في كثير من الحالات)، وتبسط معادلة الانتشار كما في المعادلة 2-23.

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = 0 \qquad (2.23)$$

إلى معادلة لابلاس 2-24.

$$\nabla^2 h = 0 \qquad (2.24a)$$

$$\alpha \nabla^2 h = 0 \qquad (2.24b)$$

2-7-4) التدفق المشبع العابر Transient Saturated Flow

التبسيط بافتراض K = ثابت في جميع الأبعاد، وبافتراض أن $S = S_s b$، وأن $T = Kb$ تنتج المعالتين 2-25 و2-26.

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{\partial h}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{\partial h}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(\frac{\partial h}{\partial z}\right) = \frac{S_s}{K}\frac{\partial h}{\partial t} \qquad (2.25)$$

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = \frac{S_s}{K}\frac{\partial h}{\partial t} \qquad (2.26)$$

2-7-5) تدفق الحالة المستقرة إلى البئر Steady State Flow to Well

التبسيط بافتراض = K ثابت في جميع الأبعاد، وعلى افتراض أن النفاذية T = Kb و Q = معدل التدفق إلى البئر عند النقطة (x,y) ينتج المعادلة 2-27.

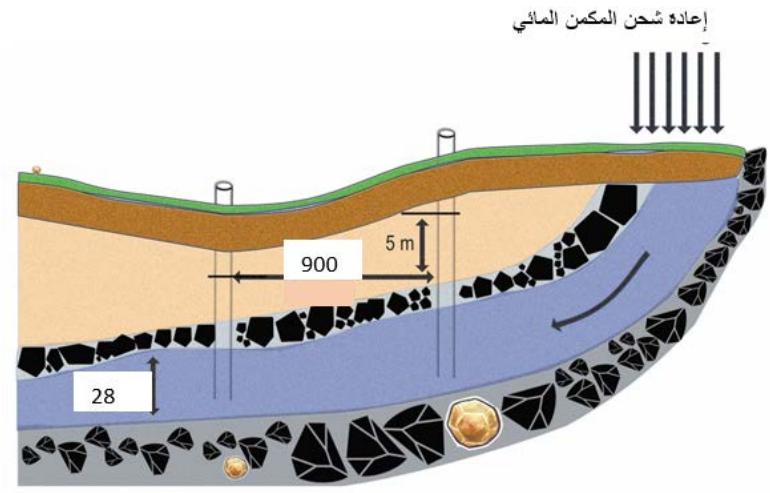
$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} = \frac{Q(x,y)}{T} \qquad (2.27)$$

مثال (2-1): قانون دارسي

مكمن المياه الجوفية المحصورة لديه مصدر تغذية. قيمة الموصلية الهيدروليكية K للخزان الجوفي هو 45 م/يوم، و n تساوي 0.2. وفي بئرين تبعدان عن بعضهما البعض مسافة 900 متراً يبلغ قياس الضغط البيزومتري piezometric head 53 مترًا و 48 مترًا، على التوالي، من مرجع مشترك common datum. يبلغ متوسط سمك مكمن المياه الجوفية 28 مترًا، ويبلغ متوسط عرض مكمن المياه الجوفية 5 كيلومترات. بافتراض عدم وجود تشتت dispersion أو انتشار diffusion، جد كلاً من:

(أ) معدل التدفق عبر مكمن المياه الجوفية.

(ب) متوسط زمن الانتقال من قمة الخزان الجوفي إلى نقطة تبلغ 3.5 كيلومترات في اتجاه مجرى النهر downstream.



الحل:

1) المعطيات: الموصلية الهيدروليكية K =45 م/يوم، n = 0.2، بعد البئرين عن بعضهما L=900 متراً، الضغط البيزومتري عند البئر الأولي P_1 = 53 مترًا، الضغط البيزومتري عند البئر الثانية P_2 = 48 مترًا، متوسط سمك مكمن المياه الجوفية L =28 مترًا، متوسط عرض مكمن المياه الجوفية B = 5 كيلومترات.

2) المطلوب: معدل التدفق عبر مكمن المياه الجوفية، ومتوسط زمن الانتقال من قمة الخزان الجوفي إلى نقطة تبلغ 3.5 كيلومترات في اتجاه مجرى النهر.

3) مساحة المقطع العرضي = متوسط سمك مكمن المياه الجوفية*متوسط عرض مكمن المياه الجوفية

$$A = HB = 28m * 5km * 1000\, m/km = 14 * 10^4 m^2$$

الميل الهيدروليكي = (الضغط البيزومتري للبئر الأولى – الضغط البيزومتري للبئر الثانية) ÷ بعد البئرين عن بعضهما

$$\frac{dh}{dL} = \frac{(P_1 - P_2)}{L} = \frac{(53 - 48)}{900} = 5.56 * 10^{-3}$$

جد معدل الدفق من المعادلة

$$Q = -KA\left(\frac{dh}{dL}\right)$$

حيث:

Q = التدفق

K = معامل نفاذية دارسي، الموصلية الهيدروليكية.

A = مساحة المقطع العرضي الإجمالية

dL = المسافة بين نقطتين من العينة

dh = الفرق المحتمل بين هاتين النقطتين

معدل التدفق لقيمة الموصلية الهيدروليكية K = 45 م/يوم، ومساحة المقطع العرضي = $14*10^4$ م^2، والميل الهيدروليكي =$5.56*10^{-3}$ م يمكن تقديره على النحو التالي:

Q = الموصلية الهيدروليكية*مساحة المقطع العرضي*الميل الهيدروليكي

$$Q = KA\left(\frac{dh}{dL}\right)$$

$$= 45\frac{m}{day} * (14 * 10^4\ m^2)(5.56 * 10^{-3})$$

$$= 35000\frac{m^3}{day}$$

جد سرعة دارسي من المعادلة

V = Q/A

أي: سرعة دارسي = معدل التدفق ÷ مساحة المقطع العرضي

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{35000\ \frac{m^3}{day}}{14*10^4 m^2} = 0.25\ \frac{m}{day}$$

جد سرعة التسرب Seepage Velocity =سرعة دارسي ÷ معامل الخشونة n

$$v_s = \frac{v}{n} = \frac{0.25}{0.2} = 1.25\ \frac{m}{day}$$

من ثم، سرعة التسرب = 1.25 متر/يوم

الوقت اللازم لقطع مسافة 4 كم في اتجاه مجرى النهر (زمن الانتقال) = المسافة ÷ سرعة التسرب

T = 3.5*1000m/(1.25m/day) =2800 days (or = 3200/365 = 7.67 years)

يوضح هذا المثال أن الماء يتحرك ببطء شديد تحت الأرض.

برنامج (2-1): قانون دارسي

```
import javax.swing.*;
import javax.swing.border.Border;
import javax.swing.event.DocumentEvent;
import javax.swing.event.DocumentListener;
import javax.swing.text.BadLocationException;
import javax.swing.text.Document;
import java.awt.*;

public class Example_2_1 extends JPanel {
    public static final String TITLE = "1-2 مثال";
```

```
    public static final String EMPTY_RESULT_TEXT = "<html><b>( قم بإدخال
المعطيات ليتم حساب النتيجة)</b><br/><br/><br/><br/></html>";
    private float K, n, L, P1, P2, B, l, d;

    JFormattedTextField[] textFields = {
            new JFormattedTextField(), new JFormattedTextField(),
            new JFormattedTextField(), new JFormattedTextField(),
            new JFormattedTextField(), new JFormattedTextField(),
            new JFormattedTextField(), new JFormattedTextField(),
    };

    JLabel[] labels = {
            new JLabel("الموصلية الهيدروليكية (متر/يوم):",
JLabel.RIGHT),
            new JLabel("معامل الخشونة:", JLabel.RIGHT),
            new JLabel("بعد المترين عن بعضهما (متر):", JLabel.RIGHT),
            new JLabel("الضغط البيزومتري عند البئر الأولى (متر):",
JLabel.RIGHT),
            new JLabel("الضغط البيزومتري عند البئر الثانية (متر):",
JLabel.RIGHT),
            new JLabel("متوسط سمك مكمن المياه الجوفية (متر):",
JLabel.RIGHT),
            new JLabel("متوسط عرض مكمن المياه الجوفية (متر):",
JLabel.RIGHT),
            new JLabel(" بعد النقطة المطلوب حساب زمن الانتقال عندها
متر)):", JLabel.RIGHT),
    };

    JLabel resultLabel = new JLabel(EMPTY_RESULT_TEXT, JLabel.RIGHT);

    DocumentListener textFieldDocListener = new DocumentListener() {
        public void changedUpdate(DocumentEvent e) { calc(e); }

        public void removeUpdate(DocumentEvent e) { calc(e); }

        public void insertUpdate(DocumentEvent e) { calc(e); }

        public void calc(DocumentEvent e) {
            try {
                Document document = e.getDocument();
                Object owner = document.getProperty("owner");
                String s = document.getText(0,
e.getDocument().getLength());
                float val = Float.parseFloat(s);

                if (owner == textFields[0]) {
                    K = val;
                } else if (owner == textFields[1]) {
                    n = val;
                } else if (owner == textFields[2]) {
                    L = val;
                } else if (owner == textFields[3]) {
                    P1 = val;
                } else if (owner == textFields[4]) {
                    P2 = val;
                } else if (owner == textFields[5]) {
```

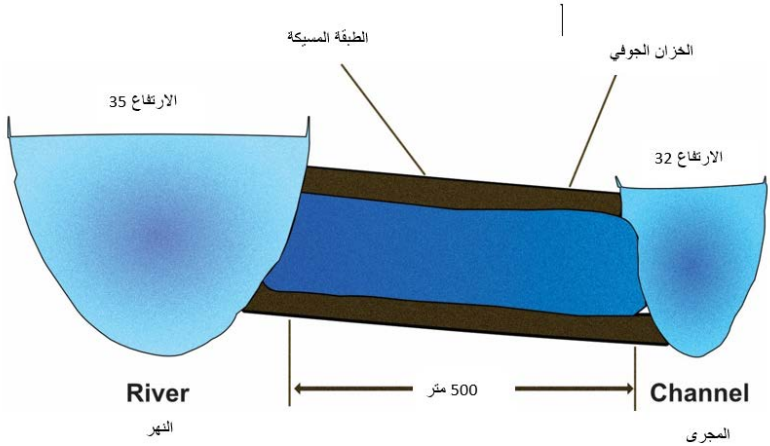
```
                    l = val;
                } else if (owner == textFields[6]) {
                    B = val;
                } else if (owner == textFields[7]) {
                    d = val;
                }
            } catch (BadLocationException | NumberFormatException ex) {
                resultLabel.setText(EMPTY_RESULT_TEXT);
                return;
            }

            if(K == 0 || n == 0 || L == 0 || P1 == 0 || P2 == 0 || l == 0
|| B == 0) {
                resultLabel.setText(EMPTY_RESULT_TEXT);
                return;
            }

            float A = l * B;
            float dhdL = (P1 - P2) / L;
            float Q = K * A * dhdL;
            float v = Q / A;
            float vs = v / n;
            String fmtfloat2 = "<b>%.2f</b>";
            String fmtfloat4 = "<b>%.4f</b>";
            String fmt1 = "<html>مساحة المقطع العرضي = " + fmtfloat2 +
                        " متر مربع " + "<br/>" +
                        "الميل الهيدروليكى = " + fmtfloat4 + "<br/>" +
                        "معدل الدفق = " + fmtfloat2 + " متر مكعب/يوم" +
"<br/>" +
                        "سرعة دارسي = " + fmtfloat4 + " متر/يوم" +
"<br/>" +
                        "سرعة التسرب = " + fmtfloat4 + " متر/يوم";
            String fmt2 = "الوقت اللازم لقطع مسافة " + fmtfloat2 + " في
اتجاه مجرى النهر = ";
            String fmt3 = "<br/></html>";

            StringBuilder stringBuilder = new StringBuilder();
            stringBuilder.append(String.format(fmt1, A, dhdL, Q, v, vs));

            if(d != 0) {
                float T = d / vs;
                stringBuilder.append("<br/>");
                stringBuilder.append(String.format(fmt2, d));

                if(d > 365) {
                    stringBuilder.append(String.format(fmtfloat2, T /
365));
                    stringBuilder.append(" عام");
                } else {
                    stringBuilder.append(String.format(fmtfloat2, T));
                    stringBuilder.append(" يوم");
                }
            }

            stringBuilder.append(fmt3);
            resultLabel.setText(stringBuilder.toString());
```

```
        }
    };

    public Example_2_1() {
        super(new BorderLayout());

        JPanel topPane = new JPanel(new GridLayout(0,1));
        JPanel centerPane = new JPanel(new GridLayout(0,2));
        JPanel bottomPane = new JPanel(new GridLayout(0,1));
        JPanel labelsPane = new JPanel(new GridLayout(0,1));
        JPanel textFieldsPane = new JPanel(new GridLayout(0,1));

        Border border = BorderFactory.createEmptyBorder(10, 10, 10, 10);
        Border border2 = BorderFactory.createEtchedBorder();
        topPane.setBorder(border);
        bottomPane.setBorder(border);
        labelsPane.setBorder(border);
        textFieldsPane.setBorder(border);
        centerPane.setBorder(border2);
        setBorder(border);

        topPane.add(new JLabel("<html>هذا المثال يستخدم المعادلات: <b>Q
= K * A * [(P1 - P2) / L] <br/> v = Q / A <br/> vs = v / n</b></html>",
JLabel.RIGHT));

        for(int i = 0; i < textFields.length; i++) {
            textFields[i].setColumns(10);
            labelsPane.add(labels[i]);
            textFieldsPane.add(textFields[i]);
            Document document = textFields[i].getDocument();
            document.addDocumentListener(textFieldDocListener);
            document.putProperty("owner", textFields[i]);
        }

        centerPane.add(textFieldsPane, BorderLayout.CENTER);
        centerPane.add(labelsPane, BorderLayout.LINE_END);
        bottomPane.add(resultLabel);
        add(topPane, BorderLayout.NORTH);
        add(centerPane, BorderLayout.CENTER);
        add(bottomPane, BorderLayout.SOUTH);
    }

    public static void main(String[] args) {
        try {
            UIManager.setLookAndFeel(
                    UIManager.getSystemLookAndFeelClassName());
        } catch (IllegalAccessException | InstantiationException |
                 UnsupportedLookAndFeelException | ClassNotFoundException
e) {
            e.printStackTrace();
        }

        SwingUtilities.invokeLater(() -> {
            JFrame frame = new JFrame(TITLE);
            frame.setDefaultCloseOperation(JFrame.EXIT_ON_CLOSE);
            frame.setResizable(false);
```

```
            frame.add(new Example_2_1());
            frame.pack();
            frame.setLocationRelativeTo(null);
            frame.setVisible(true);
        });
    }
}
```

مثال (2-2): قانون دارسي عبر طبقة المياه الجوفية المحصورة Confined Aquifer

تعمل القناة channel بالتوازي تقريبًا مع النهر، وتفصل بينهما مسافة 500 متر. مستوى المياه في النهر على ارتفاع 35 مترًا، بينما هو 32 مترًا في القناة. عمق التضاريس غير المسيكة pervious formation التي تضمهما يبلغ متوسط سمكها10 متر بمعامل K 0.25 قدم/ساعة. حدد معدل التسرب أو التدفق من النهر إلى القناة.



الحل:

1) المعطيات: المسافة بين القناة والنهر L = 500 متر، ارتفاع مستوى المياه في النهر h_1 =35 مترًا، ارتفاع مستوى المياه في القناة h_2 =32 مترًا. متوسط سمك التضاريس غير المسيكةH =10 مترا، معامل K =0.07 متر/ساعة.
2) المطلوب: معدل التسرب أو التدفق من النهر إلى القناة.
3) بأخذ 1 متر بطول النهر (العرض B) والمجرى يمكن كتابة معادلة الدفق Q على النحو التالي:

$$Q = KA\left[\frac{(h_1 - h_2)}{L}\right]$$

حيث:

Q= التدفق

K=معامل نفاذية دارسي،الموصلية الهيدروليكية

A =مساحة المقطع العرضي الإجمالية

L= المسافة بين نقطتين

h_1=ارتفاع السمت عند النقطة الأولى

h_2=ارتفاع السمت عند النقطة الثانية

ادخل المعطيات في المعادلة بحيث المساحة A

$A = B*H = 1\ m*\ 10\ m = 10\ m^2$

حيث:

A =مساحة المقطع العرضي الإجمالية

B = العرض

H = الارتفاع أو السمك

جد المعامل بالمتر على اليوم

$K = 0.07 m/hr*24\ hr/day = 1.68\ m/day$

من ثم جد معدل الدفق من معادلته

$$Q = KA\left[\frac{(h_1 - h_2)}{L}\right]$$
$$= 1.68\ m/day$$
$$* 10\ m^2\left[\frac{(35\ m - 32\ m)}{500\ m}\right]$$
$$= 0.01\ m^3/day/m$$

ليساوي الدفق 0.01 متر مكعب في اليوم لكل متر

برنامج (2-2): قانون دارسي عبر طبقة المياه الجوفية المحصورة

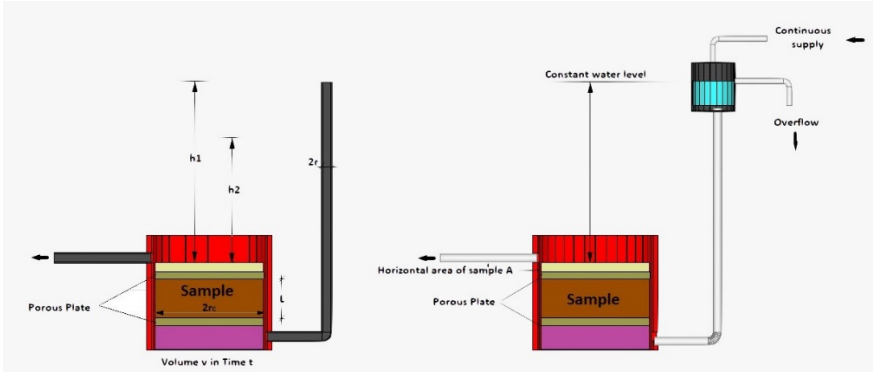
```
import javax.swing.*;
import javax.swing.border.Border;
import javax.swing.event.DocumentEvent;
import javax.swing.event.DocumentListener;
import javax.swing.text.BadLocationException;
import javax.swing.text.Document;
import java.awt.*;

public class Example_2_2 extends JPanel {
    public static final String TITLE = "مثال 2-2";
    public static final String EMPTY_RESULT_TEXT = "<html><b>( قم بإدخال المعطيات
لِيتم حساب النتيجة)</b><br/><br/></html>";
    private float A, K, h1, h2, L;

    JFormattedTextField[] textFields = {
            new JFormattedTextField(), new JFormattedTextField(),
            new JFormattedTextField(), new JFormattedTextField(),
            new JFormattedTextField(),
    };

    JLabel[] labels = {
            new JLabel("المسافة بين القناة والنهر (قدم):", JLabel.RIGHT),
            new JLabel("ارتفاع مستوى المياه في النهر (قدم):", JLabel.RIGHT),
            new JLabel("ارتفاع مستوى المياه في القناة (قدم):", JLabel.RIGHT),
            new JLabel("متوسط سمك التضاريس غير المسيكة (قدم):", JLabel.RIGHT),
            new JLabel("معامل K (قدم/ساعة):", JLabel.RIGHT),
    };

    JLabel resultLabel = new JLabel(EMPTY_RESULT_TEXT, JLabel.RIGHT);

    DocumentListener textFieldDocListener = new DocumentListener() {

        public void changedUpdate(DocumentEvent e) { calc(e); }

        public void removeUpdate(DocumentEvent e) { calc(e); }

        public void insertUpdate(DocumentEvent e) { calc(e); }

        public void calc(DocumentEvent e) {
            try {
                Document document = e.getDocument();
                Object owner = document.getProperty("owner");
                String s = document.getText(0,
e.getDocument().getLength());
                float val = Float.parseFloat(s);

                if (owner == textFields[0]) {
                    L = val;
                } else if (owner == textFields[1]) {
                    h1 = val;
                } else if (owner == textFields[2]) {
                    h2 = val;
                } else if (owner == textFields[3]) {
                    A = val * 1;
                } else if (owner == textFields[4]) {
```

```
                    K = val;
                }
            } catch (BadLocationException | NumberFormatException ex) {
                resultLabel.setText(EMPTY_RESULT_TEXT);
                return;
            }

            if(K == 0 || A == 0 || h1 == 0 || h2 == 0 || L == 0) {
                resultLabel.setText(EMPTY_RESULT_TEXT);
                return;
            }

            if(h1 < h2) {
                float tmp = h1;
                h1 = h2;
                h2 = tmp;
            }

            K *= 24;

            float Q = K * A * ((h1 - h2) / L);
            String s = String.format("<html>معدل التدفق من النهر إلى القناة <b>%.2f</b>
(قدم مكعب/يوم/قدم).<br/><br/></html>", Q);
            resultLabel.setText(s);
        }
    };

    public Example_2_2() {
        super(new BorderLayout());

        JPanel topPane = new JPanel(new GridLayout(0,1));
        JPanel centerPane = new JPanel(new GridLayout(0,2));
        JPanel bottomPane = new JPanel(new GridLayout(0,1));
        JPanel labelsPane = new JPanel(new GridLayout(0,1));
        JPanel textFieldsPane = new JPanel(new GridLayout(0,1));

        Border border = BorderFactory.createEmptyBorder(10, 10, 10, 10);
        Border border2 = BorderFactory.createEtchedBorder();
        topPane.setBorder(border);
        bottomPane.setBorder(border);
        labelsPane.setBorder(border);
        textFieldsPane.setBorder(border);
        centerPane.setBorder(border2);
        setBorder(border);

        topPane.add(new JLabel("<html>هذا المثال يستخدم المعادلة): <b>Q = K * A *
[(h1 - h2) / L]</b></html>", JLabel.RIGHT));

        for(int i = 0; i < textFields.length; i++) {
            textFields[i].setColumns(10);
            labelsPane.add(labels[i]);
            textFieldsPane.add(textFields[i]);
            Document document = textFields[i].getDocument();
            document.addDocumentListener(textFieldDocListener);
            document.putProperty("owner", textFields[i]);
        }
```

```
        centerPane.add(textFieldsPane, BorderLayout.CENTER);
        centerPane.add(labelsPane, BorderLayout.LINE_END);
        bottomPane.add(resultLabel);
        add(topPane, BorderLayout.NORTH);
        add(centerPane, BorderLayout.CENTER);
        add(bottomPane, BorderLayout.SOUTH);
    }

    public static void main(String[] args) {
        try {
            UIManager.setLookAndFeel(
                    UIManager.getSystemLookAndFeelClassName());
        } catch (IllegalAccessException | InstantiationException |
                 UnsupportedLookAndFeelException | ClassNotFoundException
e) {
            e.printStackTrace();
        }

        SwingUtilities.invokeLater(() -> {
            JFrame frame = new JFrame(TITLE);
            frame.setDefaultCloseOperation(JFrame.EXIT_ON_CLOSE);
            frame.setResizable(false);
            frame.add(new Example_2_2());
            frame.pack();
            frame.setLocationRelativeTo(null);
            frame.setVisible(true);
        });
    }
}
```

6-7-2) بيرميترات Permeameters

مقياس النفاذية Permeameters جهاز لقياس نفاذية العينة الأساسية. تجرى القياسات إما عن طريق وضع العينة في غرفة (تُعرف أيضًا باسم الحامل الأساسي)، أو عن طريق وضع مسبار على سطح العينة.



أ) سمت ثابت ب) سمت هابط

شكل (2–12): بيرميترات

2–7–7) نفاذية الفقد الثابت Constant head Permeameter

طبق قانون دارسي لإيجاد معامل النفاذية K كما في المعادلة 2–28.

$$V/t = Q = KA(h/L) \qquad (2.28)$$

أو

$$K = (VL) / (Ath) \qquad (2.29)$$

حيث:

V = حجم التدفق في الزمن t

A = مساحة المقطع العرضي للعينة

L = طول العينة

h = الضغط الثابت

t = زمن التدفق

مثال (2-3): بئر جوفي (بكالوريوس جامعة الدمام 2016)

أ) بئر كامل الاختراق للخزان الجوفي، بقطر خارجي يبلغ 0.4 متر، يقوم بتصريف ثابت 0.05 متر مكعب/ثانية من طبقة المياه الجوفية التي معامل انتقالها coefficient of transmissibility 0.02 متر مربع/ثانية. خزان المياه الجوفية على اتصال ببحيرة على بعد كيلومترين وليس له مصدر إمداد آخر.

- ما تقدير الانخفاض على سطح البئر (خذ R_o لتساوي ضعف المسافة بين طبقة المياه الجوفية والبحيرة)؟
- ارسم منحنى الانخفاض drawdown على سطح البئر.
- بالنسبة لطبقة المياه الجوفية بعمق 20 مترًا، حدد نوع التربة المحتمل.
- وفقًا لنوع التربة المحدد أعلاه، حدد نوع البئر المراد تشييده. اذكر أسبابك.
- قم بالتعليق على إنتاجية البئر المتعلقة بقطرها باستخدام بيانات الجدول المرفق. وضح كيفية تحسين التصميم. اذكر أسبابك.

قطر البئر، سم	إنتاجية البئر المتوقعة، م^3/يوم
15	أقل من 500
20	400 إلى 1000
25	800 إلى 2000
30	2000 إلى 3500
35	3000 إلى 5000
40	4500 إلى 7000
50	6500 إلى 10000
60	8500 إلى 17000

$$S = \frac{Q_o}{2\pi kH} Ln \frac{R}{r}$$

الحل:

1) المعطيات والبيانات: الدفقQ_o= 0.05 متر مكعب/ثانية، قطر البئر D = 0.4 متر، الانخفاض على سطح البئر r_o =0.4 ÷ 2 = 0.2 متر، معامل القابلية للانتقال (coefficient of transmissivility)T = 0.02 متر مربع/ثانية، Ro= ضعف المسافة بين طبقة المياه الجوفية والبحيرة (المسافة لنصف قطر التأثيرRo= L*2 = 2*2000 = 4000متر)، عمق طبقة المياه الجوفية = 20 متر.

2) المطلوب: الانخفاض على سطح البئر، منحنى الانخفاض. نوع التربة المحتمل، نوع البئر المراد تشييده، إنتاجية البئر المتعلقة بقطرها، كيفية تحسين التصميم.

3) استخدم المعادلة

$$S = \frac{Q_o}{2\pi kH} Ln \frac{R}{r}$$

حيث:

s = drawdownانخفاض مستوى المياه

Q_o = steady state discharge from well تصريف الحالة المستقرة من البئر

R = radius of influence, zero drawdown نصف قطر التأثير، صفر انخفاض مستوى المياه

r = distance from well المسافة من البئر

k = coefficient of permeability of the aquiferمعامل نفاذية الخزان الجوفي

H = saturated thickness of aquiferالسماكة المشبعة للخزان الجوفي

$$S_o = \frac{Q_o}{2\pi kH} \ln \frac{R_o}{r_o} = \frac{Q_o}{2\pi T} \ln \frac{R_o}{r_o}$$

$$S_o = \frac{0.05}{2\pi \times 0.02} \ln \frac{4000}{0.2} = 3.94$$

وبالتالي، فإن انخفاض مستوى المياه في وجه البئر هو 3.94 م

جد قيمة K لقيمة H = 20 متر من المعادلة

$$K = \frac{T}{H}$$

حيث:

K = معامل نفاذية الخزان الجوفي

T = معامل القابلية للانتقال

H = سمك الطبقة المائية المشبعة للخزان الجوفي

$K = T/H = 0.02/20 = 0.001\ m^2/s = 0.001*3600*24 = 86.4\ m/day$

لهذه القيمة 86.4 م/يوم، ومن مخطط النفاذية، يمكن أن تكون التربة رملية خشنة

جد انتاجية البئر = 0.05 $م^3$/ث = 0.05*3600*24 = 4320 $م^3$/يوم، وهذه الإنتاجية وحسب الجدول المرفق يناسبها قطر بئر 35 سم (إنتاجية الئر تقع بين 3000 إلى 5000$م^3$/يوم)، مما يشير لعدم مؤاءمة القطر الكبير المقترح لها.

برنامج (2-3): بئر جوفي

```
import javax.swing.*;
import javax.swing.border.Border;
import javax.swing.event.DocumentEvent;
import javax.swing.event.DocumentListener;
import javax.swing.text.BadLocationException;
import javax.swing.text.Document;
import java.awt.*;

public class Example_2_3 extends JPanel {
    public static final String TITLE = "مثال 3-2";
    public static final String EMPTY_RESULT_TEXT = "<html><br/><b>( قم بإدخال
المعطيات ليتم حساب النتيجة)</b><br/><br/><br/></html>";
    private float Qo, L, D, T, H;

    JFormattedTextField[] textFields = {
            new JFormattedTextField(), new JFormattedTextField(),
            new JFormattedTextField(), new JFormattedTextField(),
            new JFormattedTextField(),
    };

    JLabel[] labels = {
```

```
            new JLabel("الدفق (متر مكعب/ثانية):", JLabel.RIGHT),
            new JLabel("المسافة بين الخزان والبحيرة (متر):", JLabel.RIGHT),
            new JLabel("قطر البئر (متر):", JLabel.RIGHT),
            new JLabel("معامل الانتقال (متر مربع/ثانية):", JLabel.RIGHT),
            new JLabel("عمق طبقة المياه الجوفية (متر):", JLabel.RIGHT),
    };

    JLabel resultLabel = new JLabel(EMPTY_RESULT_TEXT, JLabel.RIGHT);

    DocumentListener textFieldDocListener = new DocumentListener() {

        public void changedUpdate(DocumentEvent e) { calc(e); }

        public void removeUpdate(DocumentEvent e) { calc(e); }

        public void insertUpdate(DocumentEvent e) { calc(e); }

        public void calc(DocumentEvent e) {
            try {
                Document document = e.getDocument();
                Object owner = document.getProperty("owner");
                String s = document.getText(0,
e.getDocument().getLength());
                float val = Float.parseFloat(s);

                if (owner == textFields[0]) {
                    Qo = val;
                } else if (owner == textFields[1]) {
                    L = val;
                } else if (owner == textFields[2]) {
                    D = val;
                } else if (owner == textFields[3]) {
                    T = val * 1;
                } else if (owner == textFields[4]) {
                    H = val;
                }
            } catch (BadLocationException | NumberFormatException ex) {
                resultLabel.setText(EMPTY_RESULT_TEXT);
                return;
            }

            if(Qo == 0 || L == 0 || D == 0 || T == 0 || H == 0) {
                resultLabel.setText(EMPTY_RESULT_TEXT);
                return;
            }

            float Ro = 2 * L;
            float ro = D / 2;
            float K = (T / H) * 3600 * 24;
            float Qd = Qo * 3600 * 24;
            int r1;

            if(Qd < 500) {
                r1 = 15;
            } else if(Qd >= 400 && Qd < 1000) {
                r1 = 20;
```

```
            } else if(Qd >= 800 && Qd < 2000) {
                r1 = 25;
            } else if(Qd >= 2000 && Qd < 3500) {
                r1 = 30;
            } else if(Qd >= 3000 && Qd < 5000) {
                r1 = 35;
            } else if(Qd >= 4500 && Qd < 7000) {
                r1 = 40;
            } else if(Qd >= 6500 && Qd < 10000) {
                r1 = 50;
            } else {
                r1 = 60;
            }

            double So = (Qo / (2 * Math.PI * T)) * (Math.log((Ro / ro)));
            String format = "<html>التراجع في وجه البئر = <b>%.2f</b> متر<br/>" +
                            "متر/يوم K = <b>%.2f</b> قيمة" +
                            "<br/>" +
                            "متر مكعب/يوم = <b>%.2f</b> انتاجية البئر/يوم" +
                            "<br/>" +
                            "سم <b>%d</b> هذه الانتاجية يناسبها قطر بئر" +
                            "<br/></html>";

            String s = String.format(format, So, K, Qd, r1);
            resultLabel.setText(s);
        }
    };

    public Example_2_3() {
        super(new BorderLayout());

        JPanel topPane = new JPanel(new GridLayout(0,1));
        JPanel centerPane = new JPanel(new GridLayout(0,2));
        JPanel bottomPane = new JPanel(new GridLayout(0,1));
        JPanel labelsPane = new JPanel(new GridLayout(0,1));
        JPanel textFieldsPane = new JPanel(new GridLayout(0,1));

        Border border = BorderFactory.createEmptyBorder(10, 10, 10, 10);
        Border border2 = BorderFactory.createEtchedBorder();
        topPane.setBorder(border);
        bottomPane.setBorder(border);
        labelsPane.setBorder(border);
        textFieldsPane.setBorder(border);
        centerPane.setBorder(border2);
        setBorder(border);
        topPane.add(new JLabel("<html>هذا المثال يستخدم المعادلة): <b>So = [Qo / (2
* Pi * T)] * Ln [Ro / ro]</b></html>", JLabel.RIGHT));

        for(int i = 0; i < textFields.length; i++) {
            textFields[i].setColumns(10);
            labelsPane.add(labels[i]);
            textFieldsPane.add(textFields[i]);
            Document document = textFields[i].getDocument();
            document.addDocumentListener(textFieldDocListener);
            document.putProperty("owner", textFields[i]);
        }
```

```
        centerPane.add(textFieldsPane, BorderLayout.CENTER);
        centerPane.add(labelsPane, BorderLayout.LINE_END);
        bottomPane.add(resultLabel);
        add(topPane, BorderLayout.NORTH);
        add(centerPane, BorderLayout.CENTER);
        add(bottomPane, BorderLayout.SOUTH);
    }

    public static void main(String[] args) {
        try {
            UIManager.setLookAndFeel(
                    UIManager.getSystemLookAndFeelClassName());
        } catch (IllegalAccessException | InstantiationException |
                 UnsupportedLookAndFeelException | ClassNotFoundException
e) {
            e.printStackTrace();
        }

        SwingUtilities.invokeLater(() -> {
            JFrame frame = new JFrame(TITLE);
            frame.setDefaultCloseOperation(JFrame.EXIT_ON_CLOSE);
            frame.setResizable(false);
            frame.add(new Example_2_3());
            frame.pack();
            frame.setLocationRelativeTo(null);
            frame.setVisible(true);
        });
    }
}
```

2-8) التمارين العامة النظرية والعملية

1) **المنشآت الهيدروليكية:** ما فوائد المنشآت الهيدروليكية في الحياة العامة؟

2) **تصنيف المنشآت الهيدروليكية:** ما أهم طرق تصنيف المنشآت الهيدروليكية، ماذا يفيد التصنيف كل من المهندس البيئي ومهندس الموارد المائية؟

3) **الفروق بين القناة canal والمجرى channel**

- ✓ حدد مجموعتك (قناة، مجرى).
- ✓ حدد مصطلحات الاختيار ذات الصلة. اعط مثالاً مناسباً وعملياً.
- ✓ حدد الاختلافات الرئيسة بين القناة والمجرى من وجهة نظر المنشأة الهيدروليكية.

✓ وضح مثالك برسم تخطيطي مناسب.

4) **الهيكل الهيدروليكي:** أعط مثالاً على المنشأة الهيدروليكية في منطقتك. (وضح المثال الخاص بك من خلال كروكي توضيحي مناسب أو رسم مناسب).

5) **خاصية جودة المياه:** استخدم الجدول التالي لتبيان الفئات والمعايير الأساسية لجودة المياه.

خاصية المياه	العوامل أو القوى الحاكمة	أمثلة (معايير جودة المياه)
المواد الكيميائية	القوى الكيميائية / الفيزيوكيميائية	pH الرقم الهيدروجيني

6) **المضخة المنزلية:** اكتب بإيجاز عن نظام السباكة في منزلك. ركز على النقاط التالية في تقريرك:
   - o نظام إمداد المياه من أنابيب البلدية من خلال جوانب التخزين والضخ والتوزيع داخل منزلك.
   - o جمع مياه الصرف الصحي والتخلص النهائي منها.
   - o قم بالتعليق على النتائج التي توصلت إليها (وضح تقريرك القصير بالرسومات والمخططات والأرقام والصور ذات الصلة، وما إلى ذلك)

7) **تصنيف المنشآت الهيدروليكية:** الجدول المبين طيه باللغة الإنكليزية يصنف المنشآت الهيدروليكية حسب الوظيفة والعمل الذي نيط بها (بكالوريوس جامعة الامام عبد الرحمن بن فيصل، 2019).

Classification of hydraulic structures by function		
Type	**Purpose**	**Structure**
1. Storage structures	To store water	Dams, tanks
2. Flow control structures	To regulate the quantity and pass excess flow	Spillways, outlets, gates, valves
3. Flow measurement structures	To determine discharge	Weirs, orifices, flumes
4. Division structures	To divert the main course of water	Coffer dams, weirs, canal headwork, intake works
5. Conveyance structures	To guide flow from one location to another	Open channel, pressure conduits, pipes, canals & sewers
6. Collection structures	To collect water for disposal	Drain inlets, infiltration galleries, wells
7. Energy dissipation structures	To prevent erosion & structural damage	Stilling basins, surge tanks, check dams
8. Shore protection structures	To protect banks	Dikes, groins, jetties, revetments
9. River training & waterway stabilization structures	To maintain river channel & water transportation	Levees, cut-offs, locks, piers, culverts
10. Sediment & quality control structures	To control or remove sediments & other pollutants	Racks, screens, traps, sedimentation tanks, filters, sluiceways

11. Hydraulic machines	To convert energy from one from to another	Pumps, turbines, rams.

أ) ما المنشأة الهيدروليكية التي توصي بها لتخزين المياه لتوليد الطاقة المائية؟ اذكر أسبابك.

ب) وضح بإيجاز الخطوط العريضة للمزايا التي يمكن اكتسابها عند استخدام الهدار كمنشأة قياس التدفق.

ج) وضح كيفية استخدام قناة لتحويل مجرى المياه الرئيس في ميناء مثل ميناء الدمام.

8) إعادة ترتيب المجموعة (يتناول هذا السؤال مطابقة المصطلحات ذات الصلة): في الجدول، أعد ترتيب المجموعة (I) مع المجموعات النسبية المقابلة للمجموعة (II) في المنطقة (العمود الأوسط) المخصصة للإجابة (بكالوريوس جامعة الامام عبد الرحمن بن فيصل، 2019).

Question and answer matching		
Group (I)	**Rearranged group (II)**	**Group (II)**
Hydraulic structure		Weirs
Head-works		Fluid shockwave
Cross drainage work		Sudden constriction
Storage structure		Stagnation point
Flow measurement structures		Siphon
Porous media		Gradual constriction
Venturi meter		Disturbs flow

Orifice plate meter		Pitot tube
Pitot tube		Darcy
Hydraulic		Dam
Nappe		

9) نشاط الدورة: مسابقة البحث عن البرمجيات الحاسوبية:

أ) يُطلب من كل مرشح (انظر الجدول أدناه) البحث عن برنامج مجاني مفتوح المصدر a free–open source software متاح في المجال العام لأي من القنوات المفتوحة وتصميم الهياكل الهيدروليكية open channels and hydraulic structures design التالية:

- تحليل وتصميم الممرات المائية والهيدروليكية المضغوطة Pressurized waterways (مثل البربخ culverts)
- تحليل وتصميم المجرى Channel
- تحليل وتصميم الهدار
- تحليل وتصميم السدود Dam spillways
- تحليل وتصميم السدود الصغيرة
- تحليل وتصميم هياكل التحكم في التدفق (الهدارات، الفتحات، معابر الجسور، إلخ)
- تحليل وتصميم هياكل تحويل التدفق (التشعبات bifurcations، التقاطعات junctions)
- تحليل وتصميم أحواض احتجاز التدفق والخزانات
- تحليل وتصميم أعمال الحماية الساحلية
- أجهزة محطات الضخ (الصمامات، أجهزة المطرقة المائية، الخانق الهوائية throttles، إلخ)

ب) إتقان تشغيل البرامج والمخرجات أمر ضروري لتمكين تدريب الشركاء المهتمين.

رقم التسجيل واسم الطالب	برنامج المنافسة
	الهدار العريض المتوج Broad crested weir
	مجرى fume
	قناة سيفون Siphon aqueduct
	صندوق بربخ Box culvert
	مفيض Spillway
	سد الأرض Earth dam
	السد الخرساني Concrete dam
	مجرى مستطيل Rectangular channel
	بربخ دائري Circular culvert
	بوابة هيدروليكية Hydraulic gate
	صمام Valve

10)بئر جوفية: (بكالوريوس جامعة الدمام 2015)

بئر بقطر 250 مم تخترق بالكامل طبقة مياه جوفية محصورة بسمك 20 م، تضخ البئر بمعدل ثابت 1875 $م^3$/ يوم. معدل الهبوط drawdown في حالة الثبات في البئر 9 أمتار، ويبلغ الانخفاض في مقياس الضغط الحجاجي (البيزومتر) 120 مترًا من البئر 1.8 مترًا. تجاهل فواقد الآبار:

أ) احسب نفاذية (T)transmissivity الخزان الجوفي.

ب) جد الموصلية الهيدروليكية (K) لمادة الخزان الجوفي.

ج) احسب نصف قطر التأثير (R_o) radius of influence للبئر.

د) كرر الحساب لخزان جوفي مشبع غير محصور unconfined aquifer بسمك 25 م.

ه) ما القيم المحسوبة لكل منTو K و R في البنود أعلاه إذا كانت كفاءة البئر 80٪؟

$$S_1 - S_2 = \frac{Q_o}{2\pi kH} Ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right),\ S_o = \frac{Q_o}{2\pi kH} Ln\left(\frac{R}{r_o}\right),\ Q_o = \frac{\pi k\left(H^2 - h_o^2\right)}{Ln\frac{R}{r_o}}$$

11)بئر جوفية: (بكالوريوس جامعة الدمام 2012)

- تحدد العوامل التي قد تؤثر على إنتاجية الآبار.
- المستوى الثابت لمنسوب المياه الجوفية في طبقة المياه الجوفية غير المحصورة 30 مترًا فوق الطبقة السفلية غير النفاذة. بئر بقطر 150 مم تخترق طبقة المياه الجوفية إلى عمقها الكامل، تضخ بمعدل 20 لترًا في الثانية. بعد عدة أسابيع من الضخ، وجد أن التراجع في آبار المراقبة التي تبعد 20 مترًا و 50 مترًا من البئر بلغت 3.5 مترًا و 2 مترًا، على التوالي، فيما كان التراجع الملحوظ drawdowns يتزايد ببطء شديد.

أ) بافتراض ظروف التوازن، قم بتقدير الموصلية الهيدروليكية hydraulic conductivity والنفاذية transmissivity للخزان الجوفي.

ب) ما مقدار الانخفاض خارج البئر الذي تضخ مباشرة.

ج) ما ناتج بئر بقطر 300 مم والذي سينتج نفس الانخفاضات خارج البئر مباشرةً وعلى مسافة 50 مترًا من بئر المراقبة في الحالة (ب)؟ ماذا سيكون الهبوط في بئر مراقبة أقرب؟

12)بئر جوفية: (بكالوريوس جامعة السودان للعلوم والتكنولوجيا2001)بئر جاذبية قطرها 50 سم. عمق الماء في البئر 30 متر قبل بداية الضخ. وعند إجراء الضخ بمعدل 2100 لتر في الدقيقة، انخفض المنسوب في بئر تبعد عنها 10

متر بمقدار 3 متر؛ وبلغ في بئر أخرى تبعد 20 متراً انخفض عنها حوالي 1.5 متر. جد: نصف قطر انخفاض المنسوب الصفري zero draw down، ومعامل النفاذية، وانخفاض المنسوب في البئر. ارسم مخروط انخفاض المنسوب من جراء الضخ لهذه البئر.

3

الباب الثالث

قياس التدفق والمنشآت غير المنظمة

ملخص هذا الباب

أ) قياس التدفق من خلال

- فنتشوري Venturi meter (أنابيب)
- أنبوب البيتوت Pitot tube (الأنابيب)
- عداد الفوهة Orifice meter وأبواق الفم mouthpieces (الأنابيب)

ب) منشآت النقل Conveyance structures

- قناطر Culverts
- القنوات Aqueducts
- سيفونات Siphons

ج) المنشآت غير المنظمةNon-Regulating structures

- نوع الضغط التفاضلي Differential Pressure (الارتفاع)
- نوع الكتلة – يقيس معدل التدفق الشامل مباشرة
- نوع السرعة
- نوع القناة المكشوفة Open Channel
- أنواع أخرى

- الهدارات Weirs
- تصميم الهدار Weir design
- مصطلحات الهدار Weir terminology

- شروط استقرار الهدارات Conditions for stability of weirs
- تصنيف الهدارات
- الهدارات حادة القمة Sharp crested weirs

3-1) المتطلبات الأساسية لقياس التدفق

- القدرة على المعايرة
- القدرة على دمج تقلبات التدفق
- سهولة التكامل مع نظام الأنابيب
- الدقة العالية
- نسبة التراجع العالية turn-down ratio
- التكلفة المنخفضة
- حساسية منخفضة للجزيئات الترابية
- انخفاض فقدان الضغط
- لا توجد أجزاء متحركة
- مقاومة للتآكل والتعرية

صندوق (3-1): أنواع أجهزة قياس التدفق

طريقة الارتباط Correlation method
كوريوليس Coriolis
مقياس الكوع Elbow tap, elbow meter
الكهرومغناطيسي electro magnetic
فوهات التدفق flow nozzles
أنبوب التدفق flow tube
قرص الجوز nutating disk
الفتحات orifices
مسننات بيضاوية Oval gear
أنبوب بيتوت Pitot tube
كتلة موجبة Positive mass
مكبس متردد Reciprocating piston
ريشة الدوارة Rotary vane
دوامة Swirl
هدف Target
التشتت الحراري Thermal dispersion
العنفة Turbine
دوبلر بالموجات فوق الصوتية Ultrasonic Doppler
وقت العبور بالموجات فوق الصوتية Ultrasonic transit time
منطقة متغيرة Variable area
أنبوب فنتوري Venturi tube
دوامة Vortex
الهدار والمسيل Weir and flume

صندوق (3-2) قياس التدفق – الشروط

تُستخدم المصطلحات التالية عادةً في قياس التدفق:

المدى Rangeability الهبوط Turndown: نسبة الحد الأقصى للتدفق إلى الحد الأدنى من التدفق، ولكن ليس التدفق الصفري zero flow.

التكرار Repeatability: قدرة مقياس التدفق على الإشارة إلى نفس القراءات في كل مرة توجد فيها نفس ظروف التدفق. قد تكون هذه القراءات دقيقة وقد لا تكون، ولكنها ستتكرر. هذه القدرة مهمة عند استخدام مقياس التدفق للتحكم في التدفق.

نسبة بيتا Beta Ratio (d/D): نسبة لوحة الفوهة orifice plate أو تجويف جهاز تدفق الضغط التفاضلي الآخر (d) مقسومة على القطر الداخلي للأنبوب (D). تشير القيمة الأعلى لنسبة بيتا إلى وجود فتحة فوهة orifice plate bore size أكبر حجماً. كما يعني حجم فتحة تجويف لوحة الفوهة الأكبر وجود تدفق أكبر، وفقدان ضغط دائم أقل.

الكثافة(ρ) Density: مقياس الكتلة لكل وحدة حجم (رطل/قدم^3 أو كجم/م^3).

الكثافة النوعية Specific gravity: نسبة كثافة المادة إلى كثافة الماء أو الهواء اعتمادًا على ما إذا كانت سائلة أو غازية.

المائع المضغوط Compressible fluid: الموائع (مثل الغازات) حيث يتغير الحجم فيما يتعلق بالتغيرات في الضغط. تتعرض هذه الموائع لتغيرات كبيرة في الكثافة بسبب التغيرات في الضغط.

المائع غير قابل للانضغاط Non-compressible fluid: الموائع (السوائل بشكل عام) التي تقاوم التغيرات في الحجم مع تغير الضغط. تتعرض هذه الموائع لتغيير طفيف في الكثافة بسبب تغيرات الضغط.

خطي Linear: حيث يتناسب خرج المرسل Transmitter بشكل مباشر – طرديا – مع إدخال التدفق.

الجذر التربيعي Square Root: حيث يتناسب التدفق مع الجذر التربيعي للضغط التفاضلي المحسوس (الفقد head).

فقد الضغط Pressure Head: الضغط عند نقطة معينة في سائل يقاس من حيث الارتفاع الرأسي لعمود السائل اللازم لإنتاج نفس الضغط.

3-2) أجهزة التدفق شائعة الاستخدام

يوفر معيار standard الشركة في كثير من الحالات إرشادات حول أسس التقييم لاختيار مقياس التدفق. توجد عدة أنواع من مقاييس التدفق المتاحة ولكل منها تطبيقه الخاص ومزاياه وقيوده، ولكن يجب أن تتبع دائمًا مواصفات المشروع المطلوب له مقاييس، وأن تدرك أن المعلومات يمكن أن تختلف لنفس النوع من مقياس التدفق بين الشركات المصنعة المختلفة. يبين الجدول 3-1 قائمة بأجهزة التدفق الشائعة الاستخدام في صناعة النفط والغاز.

جدول (3-1): أجهزة التدفق الشائعة الاستخدام في صناعة النفط والغاز
o نوع الضغط التفاضلي Differential Pressure Type (فقد السمت Head) • لوحة الفوهة (متحدة المركز، كهربائية، قطعية، رباعي الحافة، متكاملة، تكييف) Orifice plate (concentric, electric, segmental, quadrant edge, integral, conditioning) • أنبوب الفنتشوري Venture tube • فوهات التدفق Flow nozzles • المِرفَق Elbow • أنبوب البيتوت أو الأنوبار Pitot tube, Averaging pitot tune (annubar) • المنطقة المتغيرة Variable area (Rotameter) • مقياس الإسفين Wedged meter • مخروط V-cone
o نوع الكتلة – يقيس معدل التدفق الشامل مباشرة Mass type (measure mass flow rate directly) • كوريوليس Coriolis • حراري Thermal

o نوع السرعة Velocity type • مغناطيسي Magnetic • الموجات فوق الصوتية (وقت العبور، دوبلر) Ultrasonic (Transit time, Doppler) • عنفة Turbine • دوامة Vortex
o نوع القناة المكشوفة Open channel type • هدار Weir • مجرى بارشال Parshall flume
o أنواع أخرى Other types • الإزاحة الإيجابية Positive displacement • استهداف Target

3-2-1) وحدات قياس التدفق

يتم قياس التدفق لكل وحدة زمنية. يمكن قياس التدفق كمعدل على أنه كمية (إما حجمًا أو كتلة) لكل وحدة زمنية.

أ) وحدات حجمية Volumetric units

- بالنسبة للسوائل، الوحدات الشائعة المستخدمة هي

gpm, bbl/day, m^3/hr, liters/min

- بالنسبة للغاز، الوحدات الشائعة المستخدمة هي

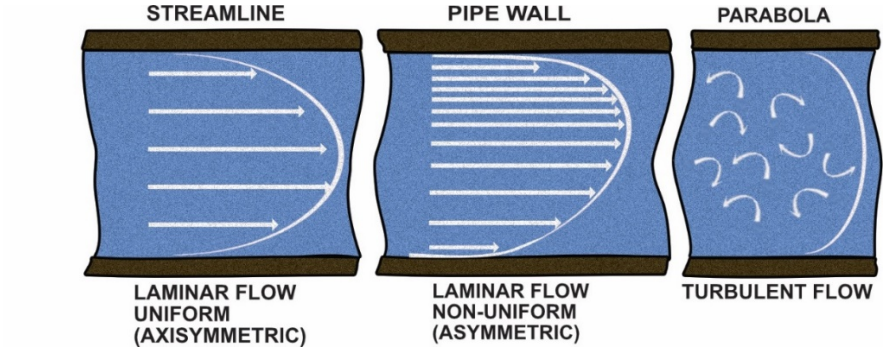
ft^3/hr, m^3/hr

ب) وحدات الكتلة Mass units (سائل أو غاز أو بخار)

يمكن قياس التدفق ككتلة لكل وحدة زمنية. والوحدات الشائعة المستخدمة هي: رطل/ساعة، كجم/ساعة.

ج) يمكن قياس التدفق بالكميات الإجمالية المتراكمة (المجمعة) لفترة زمنية. الوحدات الشائعة المستخدمة هي: جالون، لتر، أمتار يتم تمريرها في اليوم.

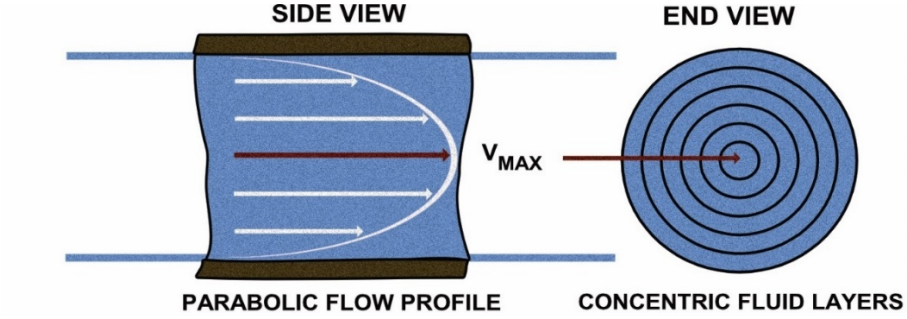
يبين شكل (3–1) أنواع التدفق.



شكل (3–1): أنواع التدفق

3–2–2) التدفق الصفحي (التدفق الرقائقي) Laminar flow

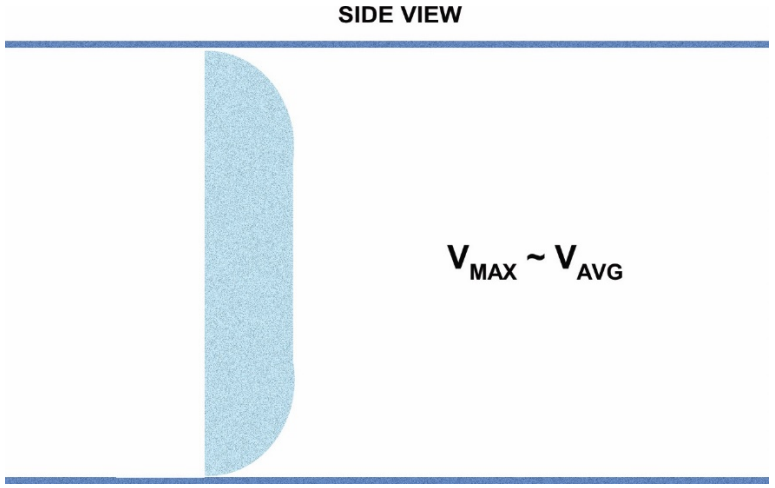
التدفق الصفحي يتميز بطبقات متحدة المركز من الموائع تتحرك بالتوازي على طول الأنبوب. توجد أعلى سرعة (Vmax) في وسط الأنبوب، وتوجد أدنى سرعة (V = 0) على طول جدار الأنبوب (انظر شكل 3–2).



شكل (3–2): التدفق الصفحي

3-2-3) الجريان المضطرب Turbulent flow

التدفق المضطرب يتميز بحركة الموائع التي لها سرعات وضغوط محلية تتقلب بشكل عشوائي. يؤدي هذا إلى جعل سرعة المائع في الأنبوب أكثر اتساقًا عبر المقطع العرضي (انظر شكل 3-3).



شكل (3-3): الجريان المضطرب

3-2-4) رقم رينولدز Reynolds number

رقم رينولدز هو نسبة قوى القصور الذاتي inertial forces (السرعة والكثافة التي تحافظ على حركة المائع) إلى القوى اللزجة viscous forces (قوى الاحتكاك التي تبطئ المائع) وتستخدم لتحديد الخصائص الديناميكية للمائع للسماح بمقارنة متساوية بين مختلف السوائل والتدفقات.

يحدث التدفق الصفحي عند أرقام رينولدز المنخفضة، حيث تكون القوى اللزجة هي السائدة، ويتميز بحركة مائع ثابتة وسلسة. ويحدث التدفق المضطرب عند أرقام رينولدز العالية وتهيمن عليه قوى القصور الذاتي، مما ينتج عنه تيارات عشوائية random eddies ودوامات vortices وتقلبات تدفق flow fluctuations أخرى.

رقم رينولدز هو أهم قيمة مستخدمة في ديناميكيات الموائع لأنه يوفر معيارًا لتحديد التشابه بين الموائع المختلفة ومعدلات التدفق وتكوينات الأنابيب وتشكيلاتها (شكل 3–4). تحدد المعادلة 3–1 العوامل المؤثرة في رقم رينولدز.

$$Re = \frac{\rho v D}{\mu} \qquad (3.1)$$

حيث:

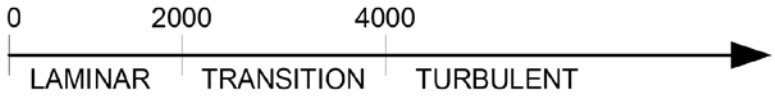
Re = رقم رينولدز

ρ = الكثافة

v = السرعة

D = القطر

μ = درجة اللزوجة



شكل (3–4): مدى نوع الجريان

3–2–5) قانون برنولي Bernoulli's law

يصف قانون برنولي سلوك المائع المثالي في ظل ظروف مختلفة في نظام مغلق. ينص قانون برنولي على أن الطاقة الإجمالية للسائل عند دخوله إلى النظام تساوي الطاقة الكلية أثناء مغادرته، المعادلة 3–2.

$$PE_1 + KE1 = PE_2 + KE_2 \qquad (3.2)$$

حيث:

PE = طاقة الوضع Potential Energy

KE = الطاقة الحركية Kinetic Energy

3-2-6) معادلة برنولي Bernoulli's equation

يتم وصف قانون برنولي بالمعادلة 3-3 للسائل المثالي.

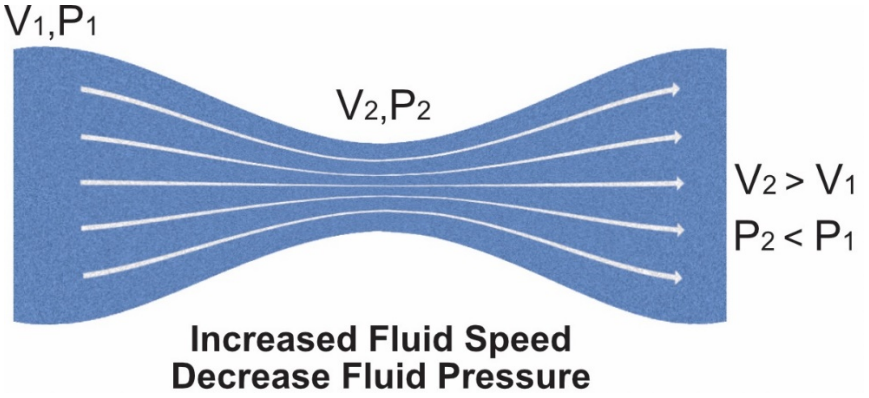
الطاقة على وحدة الحجم من قبل = الطاقة على وحدة الحجم من بعد

$$P_1 + \frac{\rho v_1^2}{2} + \rho g h_1 = P_2 + \frac{\rho v_2^2}{2} + \rho g h_2 \qquad (3.3)$$

حيث:

P1 = طاقة الضغط pressure energy
= طاقة الحركة على وحدة الحجم kinetic energy per unit volume
= طاقة الوضع على وحدة الحجم potential energy per unit volume

يشرح قانون برنولي حركة السائل عبر فتحة orifice أو فوهة nozzle. يظهر أن إجمالي الطاقة أعلى التيار upstream من الفوهة يساوي الطاقة الموجودة في حلق الفوهة nozzle throat. كما ويشرح كيفية تحويل طاقة الوضع إلى طاقة حركية مع تسارع المائع وانخفاض الضغط في حلق الفوهة.



شكل (3-5): حركة السائل عبر فتحة أو فوهة

$$\frac{v^2}{2} + gz + \frac{P}{\rho} = \text{constant} \qquad (3.4)$$

3-3) قياس التدفق من خلال أنابيب مقياس فنتوري Venturi meter ومقياس الفتحة orifice meter

إن تطبيق معادلات الاستمرارية والطاقة وقوة الدفع momentum لنظام معين لتدفق الموائع تجعل قياسات السرعة والحجم ممكنة.

- أنبوب البيتوت أو نظام التصريف Pitot tube
- مقياس فنتوري Venturi meter ومقياس الفتحة orifice meter

يتم إنشاء فرق ضغط على طول التدفق من خلال توفير انقباض تدريجي (**venture meter**) أو انقباض مفاجئ (**orifice plate meter**) في خط الأنابيب، ويرتبط بسرعات التدفق والتفريغ بواسطة مبادئ الطاقة والاستمرارية.

يبين جدول 3-2 أهم المنظمات ومنشآت التحويل.

جدول (3-2): أهم المنظمات ومنشآت التحويل
منظمات الضوابط السلبية passive regulators, passive flow control or autoregulated or pressure-compensated valves (توفر، بدون تحكم خارجي واستهلاك للطاقة، معدل تدفق ثابتًا بغض النظر عن تغيرات الضغط) أ) الهدارات Weirs (الهدار هو حاجز عبر عرض المنشأة يغير خصائص تدفق المياه وعادة يؤدي إلى تغيير في ارتفاع المستوى. يستخدم أيضًا للتحكم في تدفق المياه لمنافذ البحيرات والبرك والخزانات. توجد عدة تصميمات، ولكن عادةً يتدفق الماء بحرّية فوق قمة الهدار قبل أن يتدحرج إلى مستوى أدنى)

- الهدارات العريضة Broad-crested weirs
- الهدارات الحادة Sharp-crested weirs
- شقوق التحكم Control notches

ب) الهدارات طويلة المتوج Long crested weirs

- هدار منقار البط Duckbill weir

ج) مفيض Escapes (صمامات أمان أساسية للقنوات، ويجب بناؤها على فترات)

- مفيض قناة جانبية Side-channel spillway
- مجرى سيفون Siphon spillway
- موزع دام Dame distributor
- موزع كابح Baffle distributor (جهاز يستخدم لكبح تدفق المائع أو لمنع الانتشار في اتجاه معين)

المنظمات اليدوية Manual Regulators (هذه هي الأجهزة المصممة لتنظيم تدفق السوائل على الأنابيب)

أ) بوابات Gates (تسمح بتحويل المياه وإطلاقها إلى مناطق آمنة بعيدًا عن الهياكل والمناظر الطبيعية المعرضة للتعرية ومناطق الصرف السيئة)

- بوابة منسدلة Drop-leaf gate
- بوابة عمودية على المفيض Vertical gate for overflow
- هدار روميجن Romigin weir

ب) بوابات تحت التدفق، بوابة عمودية للتدفق المغمور ;Underflow gates vertical gate for submerged underflow

المنظمات Hydro-mechanical Regulators (تحافظ على ضغط النظام الهيدروليكي عند قيمة محددة لتقليل التقلبات في الخط المضغوط، وتحافظ على نطاق ضغط محدد)

- بوابة AVIS[7] (تنظم مستوى الماء في القناة)

[7]Advanced Vehicle Identification System

- بوابة AVIO (تنظيم مستوى المصب الثابت في الأحواض والقنوات)

منشآت التحويل diversion structures (تنشأ لتحويل المياه من أو حول المناطق قيد الإنشاء أو التطوير، إلى المواقع التي يمكن استخدامها أو التخلص منها)

- تجاوز الفوهة الحرة Overflow free-orifice
- فتحة خالية من البوابات Gated free-orifice
- تجاوز التدفق مع التحكم في الفتحة Overflow offtake with orifice-control
- المحول النسبي Proportional diversor
- المحول النسبي مع التحكم في الفتحة Proportional diversor with orifice-control
- تجاوز التدفق مع التحكم في الهدار Overflow offtake with weir-control
- تجاوز التدفق مع التحكم في البوابة Overflow offtake with gate-control

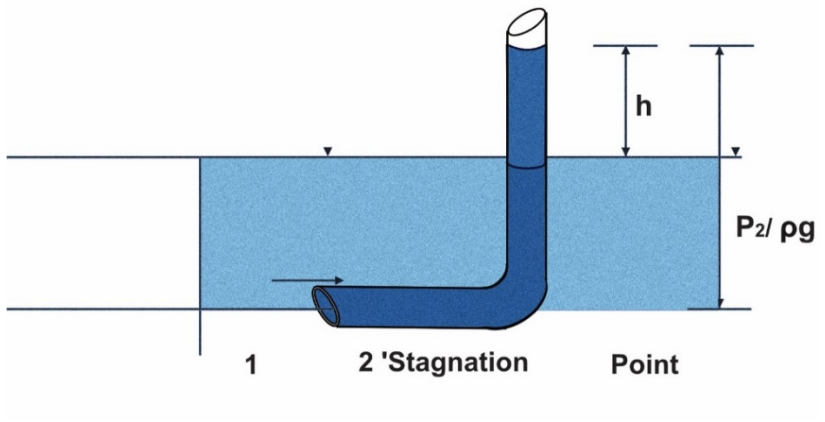
أ) أنبوب البيتوت أو نظام التصريف PITOT TUBE

أنبوب **البيتوت** في أبسط أشكاله هو أنبوب على شكل حرف L مثبت عكس اتجاه التدفق، مما ينشئ نقطة ركودstagnation point في التدفق. ضغط الركود stagnation pressure عند النقطة 2 (السرعة صفر).

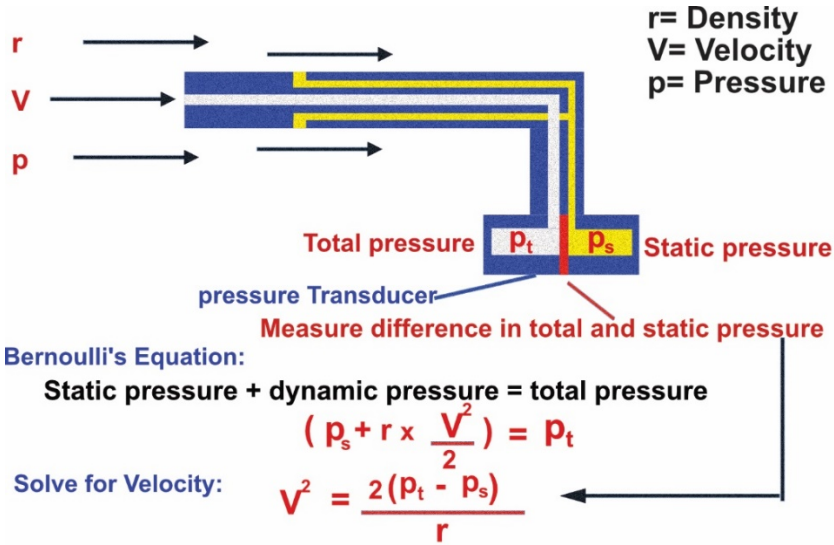
أنبوب **البيتوت** في الأساس هو مقياس تدفق الضغط التفاضلي differential pressure، ويقيس الأنبوب ضغطين: الضغط الثابت static وضغط التأثير الكلي total impact pressure.

يمكن رؤية المعادلة العامة لبرنولي Bernoulli equation كما موضح في المعادلة 3-5.

$$\frac{P_2}{\rho g} = \frac{P_1}{\rho g} + z \qquad (3.5)$$

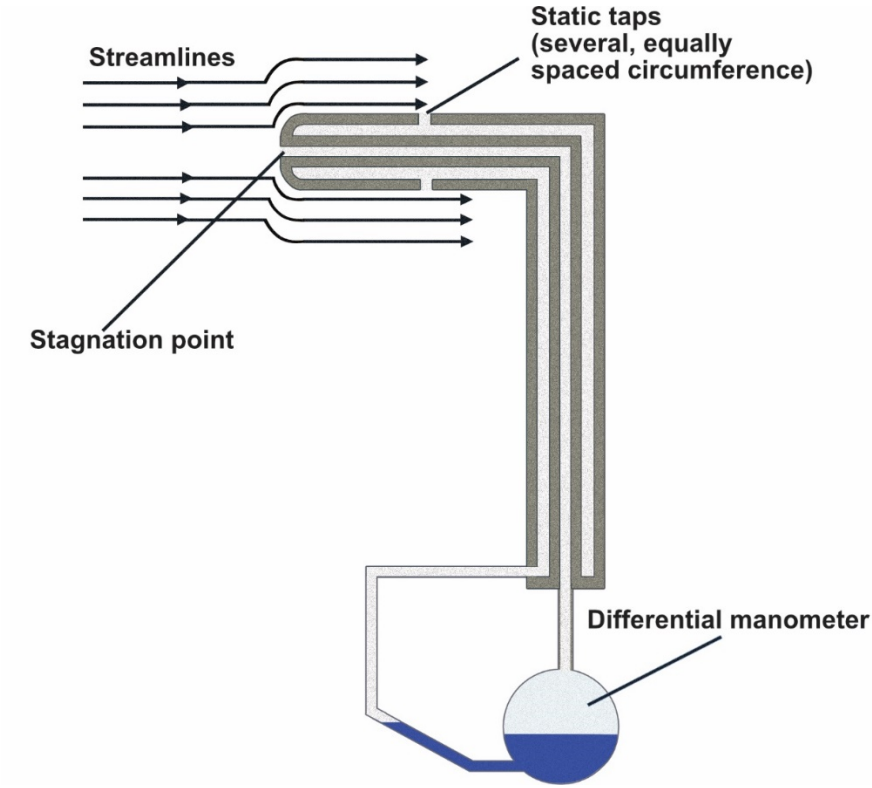


شكل (3–6): أنبوب هنري بيتوت Pitot tube



في أنبوب البيتوت pitot (مقياس إدخال DP)، يستشعر مسبار probe (مكون من جزأين) ضغطين: ضغط صدمة (ضغط ديناميكي) وضغط ساكن أو ثابت. يتم استشعار ضغط

الصدمة بواسطة أنبوب صدم واحد منحني باتجاه التدفق (السمت الديناميكي dynamic head). يحتوي أنبوب البيتوت pitot (من النوع المتوسط) أربعة – أو أكثر – من صنابير الضغط الموجودة في مواقع محددة رياضيًا، لتجعل ملف السرعة velocity profile متوسطاً عبر الأنبوب أو منطقة التدفق لقياس الضغط الديناميكي. يتم استشعار الضغط الساكن static pressure من خلال ثقب صغير على الجانب (سمت ثابتstatic head). يقوم الجزآن بتطوير ضغط تفاضلي منخفض low differential pressure. مثل جميع عدادات السمت، يتم استخدام جهاز إرسال ضغط تفاضلي differential pressure transmitter لتحويل التدفق إلى إشارة نقل كهربائي.



شكل (3–7): أنبوب بيتوت

مثال (3-1): أنبوب البيتوت

استخدم أنبوب البيتوت لقياس كمية المياه المتدفقة في أنبوب قطره 300 ملم. ضغط الركود stagnation pressure عند الخط المركزي للأنبوب يزيد بمقدار 250 ملم عن الضغط الساكن. إذا كانت السرعة المتوسطة تساوي 0.78 ضعف سرعة خط المركز، وكان معامل أنبوب البيتوت يساوي 0.98، جد معدل التدفق بوحدة اللتر على الثانية L/s.

الحل:

1) المعطيات: قطر الأنبوب = 300 ملم، ضغط الركود stagnation pressure يزيد بمقدار 250 ملم عن الضغط الساكن، السرعة المتوسطة = 0.78 ضعف سرعة خط المركز، معامل أنبوب البيتوت=0.98
2) المطلوب: معدل التدفق بوحدة اللتر على الثانية L/s.
3) جد سرعة خط المركز centre–line velocity في الأنبوب

$$v=k\sqrt{2gh}=0.98*\sqrt{2*9.81*0.25}=2.17\ m/s$$

جد السرعة المتوسطة *mean velocity of flow* = سرعة خط المركز *

مضاعفاتها = 2.17*0.78 = 1.693 م/ث

جد الدفق من معادلة الاستمرارية

$$Q= Av =\frac{1}{4}\pi(0.3)^2*1.693 = 0.12m^3/s = 120\ L/s$$

برنامج (3-1): أنبوب البيتوت

```
import javax.swing.*;
import javax.swing.border.Border;
import javax.swing.event.DocumentEvent;
import javax.swing.event.DocumentListener;
import javax.swing.text.BadLocationException;
import javax.swing.text.Document;
import java.awt.*;

public class Example_3_1 extends JPanel {
    public static final String TITLE = "مثال 3-1";
    public static final String EMPTY_RESULT_TEXT = "<html><b>(قم بإدخال المعطيات
ليتم حساب النتيجة)</b><br/><br/><br/><br/></html>";
    private float D, h, vc, k;
```

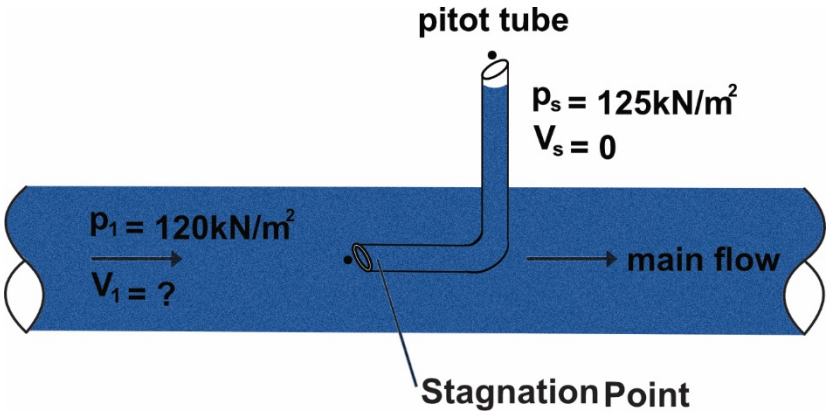
```
    JFormattedTextField[] textFields = {
            new JFormattedTextField(), new JFormattedTextField(),
            new JFormattedTextField(), new JFormattedTextField(),
    };

    JLabel[] labels = {
            new JLabel("مم) قطر الأنبوب):", JLabel.RIGHT),
            new JLabel("مم) زيادة ضغط الركود عن الضغط الساكن):", JLabel.RIGHT),
            new JLabel("السرعة المتوسطة بالنسبة لسرعة خط المركز:", JLabel.RIGHT),
            new JLabel("معامل أنبوب بيتوت:", JLabel.RIGHT),
    };

    JLabel resultLabel = new JLabel(EMPTY_RESULT_TEXT, JLabel.RIGHT);

    DocumentListener textFieldDocListener = new DocumentListener() {

        public void changedUpdate(DocumentEvent e) { calc(e); }

        public void removeUpdate(DocumentEvent e) { calc(e); }

        public void insertUpdate(DocumentEvent e) { calc(e); }

        public void calc(DocumentEvent e) {
            try {
                Document document = e.getDocument();
                Object owner = document.getProperty("owner");
                String s = document.getText(0,
e.getDocument().getLength());
                float val = Float.parseFloat(s);

                if (owner == textFields[0]) {
                    D = val;
                } else if (owner == textFields[1]) {
                    h = val;
                } else if (owner == textFields[2]) {
                    vc = val;
                } else if (owner == textFields[3]) {
                    k = val;
                }
            } catch (BadLocationException | NumberFormatException ex) {
                resultLabel.setText(EMPTY_RESULT_TEXT);
                return;
            }

            if(D == 0 || h == 0 || vc == 0 || k == 0) {
                resultLabel.setText(EMPTY_RESULT_TEXT);
                return;
            }

            h /= 1000;

            double v = k * Math.sqrt((2 * 9.81 * h));
            double vmean = vc * v;
            double A = 0.25 * Math.PI * D * D;
            double Q = A * vmean;
```

```
            String fmtfloat2 = "<b>%.2f</b>";
            String format = "<html>سرعة خط المركز = " + fmtfloat2 + "
متر/ثانية<br/>" +
                                "السرعة المتوسطة = " + fmtfloat2 + " متر/ثانية<br/>" +
                                "معدل الدفق = " + fmtfloat2 + " متر مكعب/ثانية<br/>"
+
                                "<br/></html>";

            resultLabel.setText(String.format(format, v, vmean, Q));
        }
    };

    public Example_3_1() {
        super(new BorderLayout());

        JPanel topPane = new JPanel(new GridLayout(0,1));
        JPanel centerPane = new JPanel(new GridLayout(0,2));
        JPanel bottomPane = new JPanel(new GridLayout(0,1));
        JPanel labelsPane = new JPanel(new GridLayout(0,1));
        JPanel textFieldsPane = new JPanel(new GridLayout(0,1));

        Border border = BorderFactory.createEmptyBorder(10, 10, 10, 10);
        Border border2 = BorderFactory.createEtchedBorder();
        topPane.setBorder(border);
        bottomPane.setBorder(border);
        labelsPane.setBorder(border);
        textFieldsPane.setBorder(border);
        centerPane.setBorder(border2);
        setBorder(border);

        topPane.add(new JLabel("<html>هذا المثال يستخدم المعادلات: <b>v = k * Sqrt[2
* g * h] <br/> Q = 0.25 * Pi * D^2 * v</b></html>", JLabel.RIGHT));

        for(int i = 0; i < textFields.length; i++) {
            textFields[i].setColumns(10);
            labelsPane.add(labels[i]);
            textFieldsPane.add(textFields[i]);
            Document document = textFields[i].getDocument();
            document.addDocumentListener(textFieldDocListener);
            document.putProperty("owner", textFields[i]);
        }

        centerPane.add(textFieldsPane, BorderLayout.CENTER);
        centerPane.add(labelsPane, BorderLayout.LINE_END);
        bottomPane.add(resultLabel);
        add(topPane, BorderLayout.NORTH);
        add(centerPane, BorderLayout.CENTER);
        add(bottomPane, BorderLayout.SOUTH);
    }

    public static void main(String[] args) {
        try {
            UIManager.setLookAndFeel(
                    UIManager.getSystemLookAndFeelClassName());
        } catch (IllegalAccessException | InstantiationException |
```

```
                UnsupportedLookAndFeelException | ClassNotFoundException
e) {
            e.printStackTrace();
        }

        SwingUtilities.invokeLater(() -> {
            JFrame frame = new JFrame(TITLE);
            frame.setDefaultCloseOperation(JFrame.EXIT_ON_CLOSE);
            frame.setResizable(false);
            frame.add(new Example_3_1());
            frame.pack();
            frame.setLocationRelativeTo(null);
            frame.setVisible(true);
        });
    }
}
```

مثال (3-2): السرعة في الأنبوب باستخدام أنبوب البيتوت

احسب السرعة في أنبوب باستخدام أنبوب البيتوت عندما يكون ضغط تشغيل الأنبوب العادي 120 كيلو نيوتن/م^2 وضغط أنبوب البيتوت 125 كيلو نيوتن/م^2.



الحل:

1) المعطيات: ضغط تشغيل الأنبوب العادي = 120 كيلونيوتن/م^2، وضغط أنبوب البيتوت = 125 كيلونيوتن/م^2
2) المطلوب: السرعة في الأنبوب

3) استخدم معادلة الطاقة بحيث أن النقطة 1 تصف الدفق الرئيس والنقطة s تمثل نقطة السكون stagnation بنهاية أنبوب البيتوت

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} + z_1 = \frac{P_s}{\rho g} + \frac{v_s^2}{2g} + z_s$$

على نقطة السكون s فإن السرعة $v_s = 0$

وبما أن النظام أفقي فإن $z_1 = z_2 = 0$

هذا مما يجعل معادلة الطاقة تأخذ الشكل

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{P_s}{\rho g}$$

بتعويض المعطيات في المعادلة

$$\frac{120*10^3}{1000*9.81} + \frac{v_1^2}{2*9.81} = \frac{125*10^3}{1000*9.81}$$

ومنها توجد السرعة $v_1 = 3.16$ m/s

برنامج (3-2): السرعة في الأنبوب باستخدام أنبوب البيتوت

```
import javax.swing.*;
import javax.swing.border.Border;
import javax.swing.event.DocumentEvent;
import javax.swing.event.DocumentListener;
import javax.swing.text.BadLocationException;
import javax.swing.text.Document;
import java.awt.*;

public class Example_3_2 extends JPanel {
    public static final String TITLE = "2-3 مثال";
    public static final String EMPTY_RESULT_TEXT = "<html><b>( قم بإدخال المعطيات
ليتم حساب النتيجة)</b><br/><br/></html>";
    private float P1, Ps;

    JFormattedTextField[] textFields = {
            new JFormattedTextField(), new JFormattedTextField(),
    };

    JLabel[] labels = {
            new JLabel("ضغط تشغيل الأنبوب العادي (كيلونيوتن/متر مربع):", JLabel.RIGHT),
            new JLabel("ضغط أنبوب البيتوت (كيلونيوتن/متر مربع):", JLabel.RIGHT),
    };

    JLabel resultLabel = new JLabel(EMPTY_RESULT_TEXT, JLabel.RIGHT);

    /* Listener to detect changes in text fields */
    DocumentListener textFieldDocListener = new DocumentListener() {
```

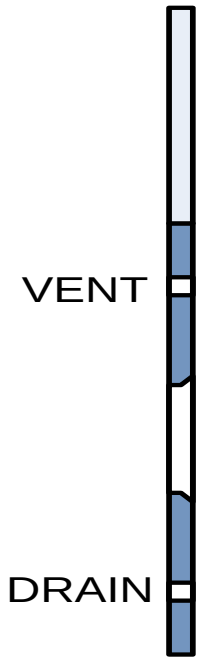
```
        public void changedUpdate(DocumentEvent e) { calc(e); }

        public void removeUpdate(DocumentEvent e) { calc(e); }

        public void insertUpdate(DocumentEvent e) { calc(e); }

        public void calc(DocumentEvent e) {
            try {
                Document document = e.getDocument();
                Object owner = document.getProperty("owner");
                String s = document.getText(0,
e.getDocument().getLength());
                float val = Float.parseFloat(s);

                if (owner == textFields[0]) {
                    P1 = val;
                } else if (owner == textFields[1]) {
                    Ps = val;
                }
            } catch (BadLocationException | NumberFormatException ex) {
                resultLabel.setText(EMPTY_RESULT_TEXT);
                return;
            }

            if(P1 == 0 || Ps == 0) {
                resultLabel.setText(EMPTY_RESULT_TEXT);
                return;
            }

            double v2 = (Ps - P1) / 9.81;
            double v = 2 * 9.81 * v2;
            v = Math.sqrt(v);

            String fmtfloat2 = "<b>%.2f</b>";
            String format = "<html>السرعة = " + fmtfloat2 + " متر/ثانية<br/>"
+
                            "<br/></html>";

            resultLabel.setText(String.format(format, v));
        }
    };

    public Example_3_2() {
        super(new BorderLayout());

        JPanel topPane = new JPanel(new GridLayout(0,1));
        JPanel centerPane = new JPanel(new GridLayout(0,2));
        JPanel bottomPane = new JPanel(new GridLayout(0,1));
        JPanel labelsPane = new JPanel(new GridLayout(0,1));
        JPanel textFieldsPane = new JPanel(new GridLayout(0,1));

        Border border = BorderFactory.createEmptyBorder(10, 10, 10, 10);
        Border border2 = BorderFactory.createEtchedBorder();
        topPane.setBorder(border);
        bottomPane.setBorder(border);
        labelsPane.setBorder(border);
```

```
        textFieldsPane.setBorder(border);
        centerPane.setBorder(border2);
        setBorder(border);

        topPane.add(new JLabel("<html>هذا المثال يستخدم المعادلة: <b>[P1 / (Rho *
G)] + [v^2 / (2 * G)] = [Ps / (Rho * G)]</b></html>", JLabel.RIGHT));

        for(int i = 0; i < textFields.length; i++) {
            textFields[i].setColumns(10);
            labelsPane.add(labels[i]);
            textFieldsPane.add(textFields[i]);
            Document document = textFields[i].getDocument();
            document.addDocumentListener(textFieldDocListener);
            document.putProperty("owner", textFields[i]);
        }

        centerPane.add(textFieldsPane, BorderLayout.CENTER);
        centerPane.add(labelsPane, BorderLayout.LINE_END);
        bottomPane.add(resultLabel);
        add(topPane, BorderLayout.NORTH);
        add(centerPane, BorderLayout.CENTER);
        add(bottomPane, BorderLayout.SOUTH);
    }

    public static void main(String[] args) {
        try {
            UIManager.setLookAndFeel(
                    UIManager.getSystemLookAndFeelClassName());
        } catch (IllegalAccessException | InstantiationException |
                 UnsupportedLookAndFeelException | ClassNotFoundException
e) {
            e.printStackTrace();
        }

        SwingUtilities.invokeLater(() -> {
            JFrame frame = new JFrame(TITLE);
            frame.setDefaultCloseOperation(JFrame.EXIT_ON_CLOSE);
            frame.setResizable(false);
            frame.add(new Example_3_2());
            frame.pack();
            frame.setLocationRelativeTo(null);
            frame.setVisible(true);
        });
    }
}
```

ب) فتحات التنفيس والويب VENT AND WEEP HOLES

هناك حالات يكون فيها الغاز محتوياً على كمية صغيرة من السائل، أو قد يحتوي السائل على كمية صغيرة من الغاز، ولكنه ليس كافياً في كلتا الحالتين لتبرير استخدام فتحة غير مركزية eccentric orifice. في هذه الحالات، من الأفضل إضافة ثقب صغير بالقرب

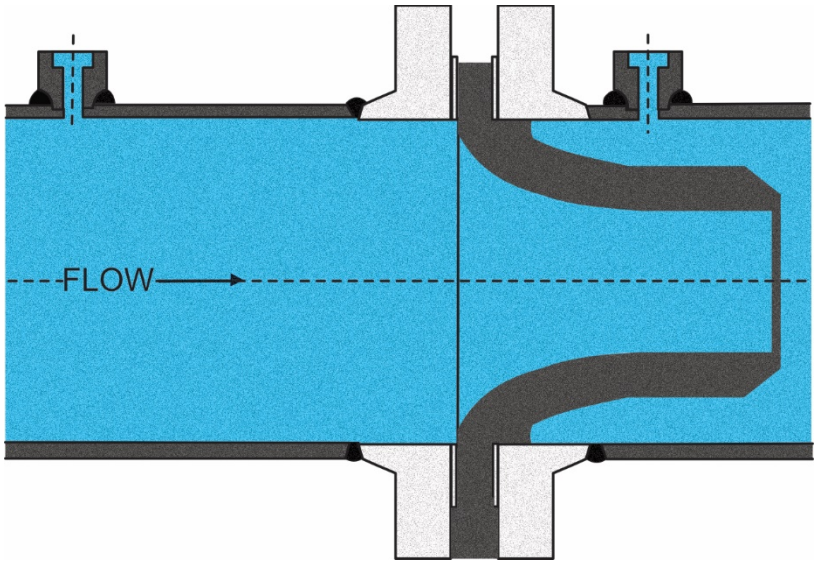
من حافة اللوحة، بحيث يتدفق مع القطر الداخلي للأنبوب، مما يسمح للمواد غير المرغوب فيها بالمرور عبر اللوحة بدلاً من التجمع في الجانب العلوي upstream. إذا كانت هذه الفتحة موجهة لأعلى لتمرير فقاعات بخار vapor bubbles، فإنها تسمى فتحة تهوية vent hole. إذا كانت الفتحة موجهة لأسفل لتمرير قطرات السائل، فإنها تسمى فتحة تصريف drain hole كما في الرسم الكروكي أدناه.



شكل (3-8أ): فوهة التدفق FLOW NOZZLE

جـ) مقياس الجريان نوع DP

تستخدم عندما تكون السرعة العالية واستعادة الضغط مطلوبة. وهي أنسب لخدمة الغاز أكثر من السائل، كما موضحة في الشكل (3-8ب).



شكل (3-8ب): مقياس الجريان

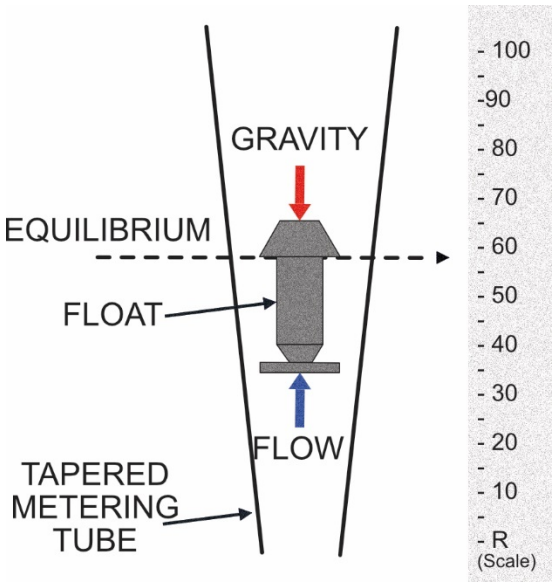
جـ) المخروط V-CONE V-

يشبه V-Cone عدادات الضغط التفاضلي الأخرى differential pressure (Dp) meters في معادلات التدفق التي يستخدمها. ومع ذلك، فإن هندسة V-Cone تختلف تمامًا عن عدادات Dp التقليدية. يقيد V-Cone التدفق عن طريق وضع مخروط في وسط الأنبوب، مما يفرض على التدفق في وسط الأنبوب الانسياب حول المخروط. يمكن استخدام المخاريط على شكل V مع الموائع اللزجة وتتطلب القليل من الجريان المستقيم.

د) مقياس تدفق المنطقة المتغيرة (عداد الدوران) VARIABLE AREA FLOWMETER (ROTAMETER)

مقياس الدوران Rotameter هو جهاز ذو مساحة متغيرة. تتحرك العوامة لأعلى ولأسفل بما يتناسب مع معدل تدفق الموائع والمنطقة الحلقية بين العوامة وجدار الأنبوب. مع ارتفاع العوامة، يزداد حجم الفتحة الحلقية annular opening. مع زيادة هذه المنطقة، ينخفض الضغط التفاضلي عبر العوامة. يصل الطفو إلى وضع مستقر عندما تتساوي

القوة الصاعدة التي يمارسها المائع المتدفق مع وزن العوامة. يتوافق كل موضع تعويم مع معدل تدفق معين لكثافة ولزوجة مائع معين. لهذا السبب، من الضروري اختيار حجم الدوران rotameter لكل تطبيق. عند تحديد الحجم بشكل صحيح، يمكن تحديد معدل التدفق عن طريق مطابقة موضع الطفو بمقياس معاير على الجزء الخارجي من مقياس الدوران. تأتي العديد من مقاييس الدوران مع صمام مدمج لضبط التدفق يدويًا.



شكل (3–9): مقاييس الدوران

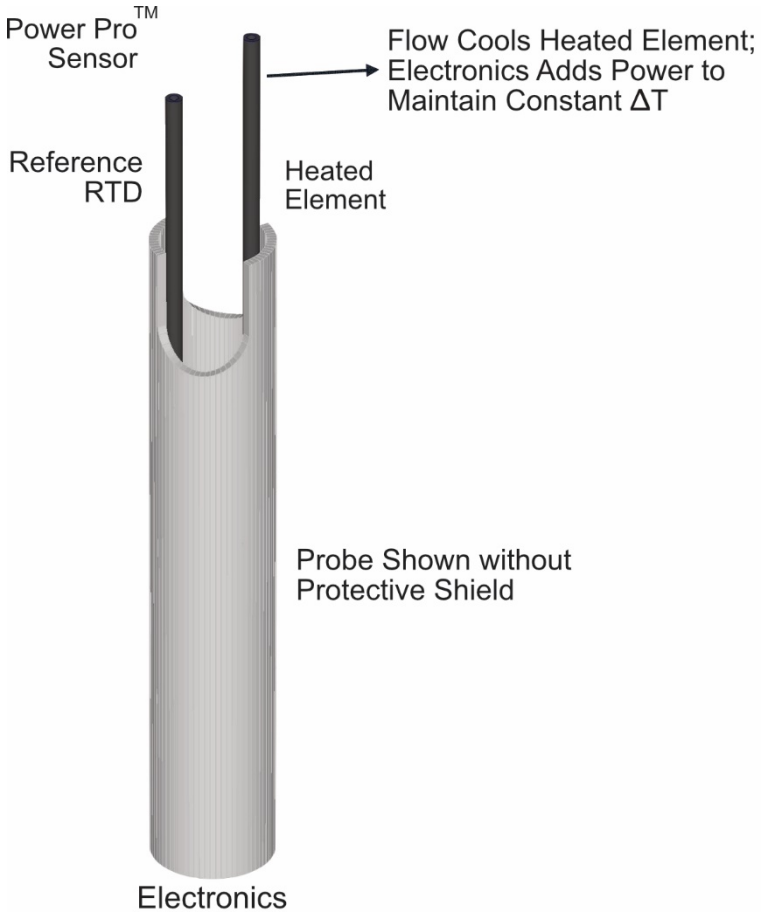
هـ) الكوريوليس CORIOLIS

يتم اختيار قياس التدفق الكتلي المباشر بشكل عام لتطبيقات التحكم الأكثر أهمية مثل مزج المواد الأولية feedstocks ونقل السوائل القيّمة. تم اختيار تقنية Coriolis بشكل عام لتطبيقات قابلية النطاق العالية وتدفق الكتلة، ولا تتأثر بالتغيرات في درجة الحرارة والكثافة واللزوجة والتوصيل. في معظم مقاييس التدفق، تتطلب التغييرات في هذه الظروف المراقبة والتصحيح.

و) مقياس تدفق الكتلة الحرارية THERMAL MASS FLOWMETER

يبين الجدول (3–3) بعض من المميزات والخواص الجوهرية لمقاييس تدفق الكتلة الحرارية.

جدول (3–3): بعض مميزات مقاييس تدفق الكتلة الحرارية	
الميزة	**ملاحظة**
الدقة Accuracy	% 1
الروابط Connections	مترابطة Threaded، ذات حواف Flanged
فقدان الضغط Pressure loss	قليل
النطاقية Rangeability	1 إلى 10
الخدمة الموصي بها Recommended service	السوائل النظيفة والقذرة واللزجة وبعض الملاط والغازات
التكلفة النسبية Relative cost	عالي
الحجوم Sizes	2 بوصة إلى 24 بوصة
مطلوب التشغيل المستقيم Straight run required	لا يوجد
نوع المخرج Type of output	أسي متسارع
تأثير اللزوجةViscosity effect	لا توجد

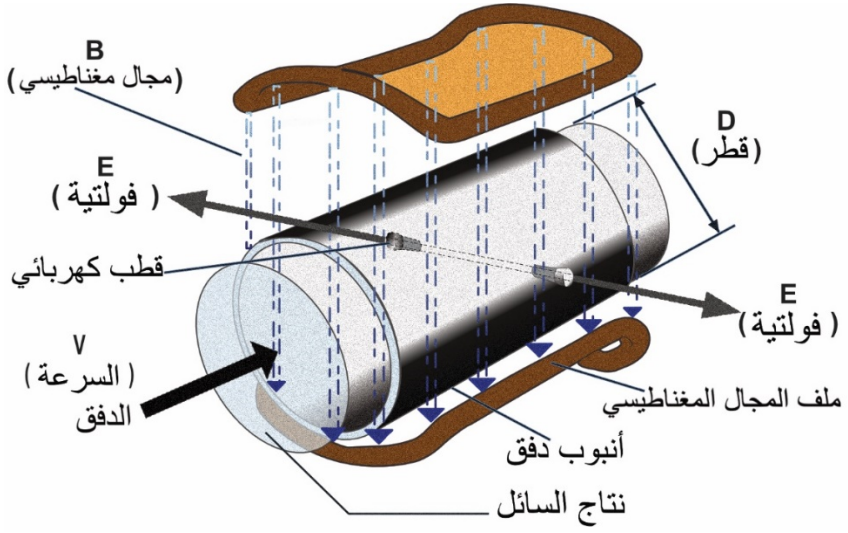


شكل (3–10): مقياس تدفق الكتلة الحرارية

ز) مقياس التدفق المغناطيسي MAGNETIC FLOWMETER

مقياس التدفق المغناطيسي (magnetic flowmeter) هو مقياس التدفق الحجمي الذي لا يحتوي على أي أجزاء متحركة وهو مثالي لتطبيقات مياه الصرف الصحي أو أي سائل متسخ موصل conductive أو قائم على الماء water based. لا تعمل مقاييس التدفق المغناطيسية بشكل عام مع الهيدروكربونات والماء المقطر والعديد من المحاليل غير المائية. تعتبر مقاييس التدفق المغناطيسية مثالية أيضًا للتطبيقات التي تتطلب الانخفاض

في الضغط المنخفض والصيانة المنخفضة. يعتمد تشغيل مقياس التدفق المغناطيسي على قانون فاراداي، الذي ينص على أن الجهد الناتج عبر أي موصل أثناء تحركه بزاوية قائمة خلال مجال مغناطيسي يتناسب مع سرعة ذلك الموصل.



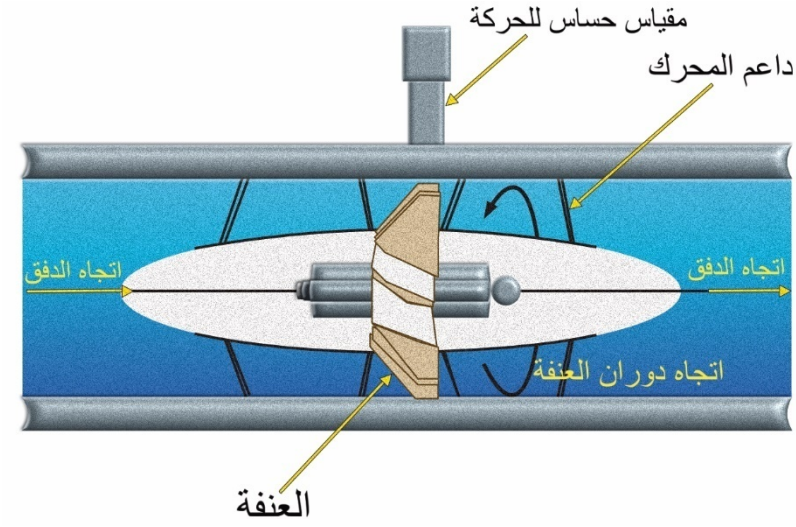
شكل (3-11): مقاييس التدفق المغناطيسي

ح) عداد الموجات فوق الصوتية ULTRASONIC METER

تستخدم عدادات الموجات فوق الصوتية ultrasonic meters لوقت العبور محولين للطاقة transducers يقعان في المنبع upstream والمصب downstream من بعضهما البعض. ترسل كل منهما موجة صوتية إلى الأخرى، ويشير الفارق الزمني بين استلام الإشارتين إلى سرعة المائع. عادةً تتطلب عدادات وقت العبور سوائل نظيفة ويتم استخدامها عند الحاجة إلى مدى عالي rangeability. الدقة في حدود 1٪ للتطبيقات المثالية.

ط) مقياس التوربينات TURBINE METER

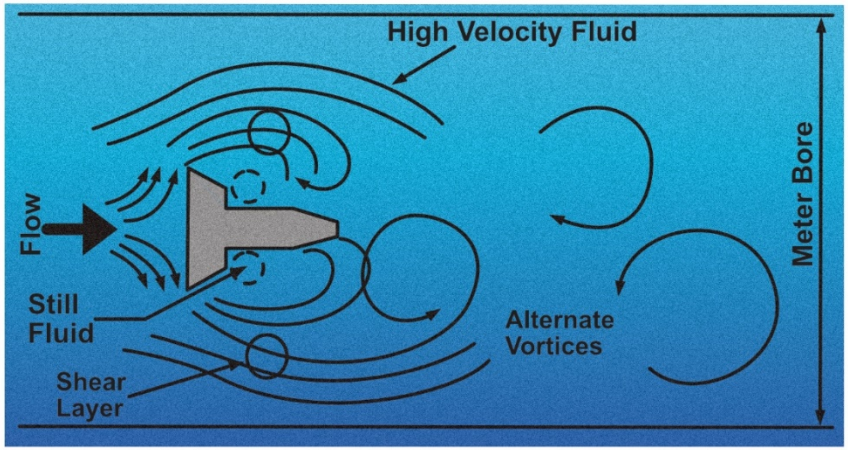
يحتفظ بمقياس التوربينات عند الدوران بالسرعة الخطية للتيار الذي يتم غمره فيه. يتناسب عدد الثورات التي يقوم بها الجهاز مع معدل التدفق.



شكل (3-12): مقياس التوربينات

ي) عداد دوامة VORTEX METER

يمكن استخدام مقاييس الدوامة Vortex meters في معظم السوائل النظيفة أو البخار أو الغاز. ومع ذلك، يتم اختيارها بشكل عام للتطبيقات التي تتطلب نطاق تدفق عالي. بسبب انهيار الدوامات vortices بمعدلات تدفق منخفضة، تنقطع عدادات الدوامة عند حد تدفق منخفض معين. قياس التدفق العكسي ليس خيارًا. بالنسبة لتطبيقات الخدمة العادية، يعد هذا العداد هو المقياس المفضل للعديد من المستخدمين النهائيين end users.



شكل (3-13): انهيار الدوامات

معادلة التدفق الأساسية

$$Q = A * V \qquad (3.6)$$

سرعة تدفق السائل

$$V = (f * d) / St \qquad (3.7)$$

حيث:

f = ذرف التردد Shedding Frequency

d = قطر جسم الخداع Diameter of Bluff Body

St = رقم Stouhal = النسبة بين قطر جسم Bluff وفاصل Vortex (= St
Stouhal Number (Ratio between Bluff Body Diameter and
(Vortex Interval)

A = مساحة الأنبوب

ك) مقياس التدفق الإيجابي (PD) POSITIVE DISPLACEMENT (PD) FLOWMETER

تقيس عدادات التدفق الإيجابي PD معدل التدفق مباشرة عن طريق تقسيم التدفق إلى أجزاء مميزة من الحجم المعروف، ومقاطع العد، والضرب في حجم كل جزء. عند قياسها خلال فترة زمنية محددة، تكون النتيجة هي القيمة المُعَبّر عنها بوحدات الحجم لكل وحدة زمنية. كثيرًا ما تُبلّغ عدادات التدفق الإيجابي PD عن التدفق الكلي مباشرة على عداد، ولكن يمكنها أيضًا توليد نبضات خرج output pulses مع كل نبضة تمثل حجمًا منفصلاً من المائع.

مثال (3-3): خط أنابيب السيفون

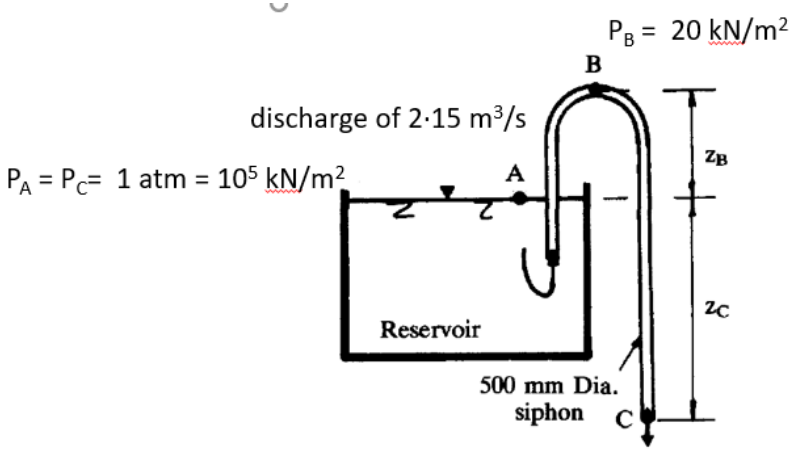
يقوم خط أنابيب سيفون siphon pipeline قطره 500 مم بتصريف المياه من خزان كبير. خذ الضغط الجوي على أنه 1 بار وأهمل كل الفواقد، ومن ثم:

أ) حدد أقصى ارتفاع ممكن لقمة الخزان لتصريف 2.15 م^3/ثانية دون أن يصبح الضغط أقل من 20 كيلو نيوتن/م^2 مطلقًا،

ب) جد الارتفاع المقابل لنهاية التفريغ.

الحل:

1) المعطيات: قطر خط أنابيب سيفون = 500 مم، بتصريف المياه من خزان كبير. Q = 2.15 م^3/ثانية، الضغط أقل من 20 كيلو نيوتن/م^2، الضغط الجوي = 1 بار، الفواقد = 0
2) المطلوب: أقصى ارتفاع ممكن للقمة للتصريف، الارتفاع المقابل لنهاية التفريغ.
3) ضع في الاعتبار النقاط الثلاث، A وB وC على طول نظام السيفون كما هو موضح في الشكل.



جد الدفق من معادلة الاستمرارية

$$Q = Av = 2.15\ m^3/s$$

جد السرعة من المعادلة أعلاه

$$v = \frac{2.15}{\frac{\pi(0.5)^2}{4}} = 10.95\ m/s$$

و

$$v^2/2g = 6.11$$

علما بأن الضغط الجوي = 1 بار = 10^5 نيوتن/م^2 = الضغط على A = الضغط على C

أقل ضغط على B = 20 كيلونيوتن/م^2 مطلق (معطى)

خذ سطح ماء الخزان مرجع استنادي واكتب معادلة برنولي بين كل من A وB

$$0 + \frac{10^5}{\rho g} + 0 = z_B + \frac{20 * 10^3}{\rho g} + \frac{10.95^2}{2g}$$

ومنها z_B = 2.04 متر

اكتب معادلة برنولي بين كل من A وC مع ملاحظة أن $P_A = P_C$ = atmospheric pressure

$$z_c + \frac{P_A}{\rho g} + 0 = 0 + \frac{P_C}{\rho g} + 6.11$$

ومنها $z_C = 6.11$ متر

ومن ثم فإن مخرج المخرج يكون تحت مستوى الخزان بمقدار 6.11 مترًا.

برنامج (3-3): خط أنابيب السيفون

```
import javax.swing.*;
import javax.swing.border.Border;
import javax.swing.event.DocumentEvent;
import javax.swing.event.DocumentListener;
import javax.swing.text.BadLocationException;
import javax.swing.text.Document;
import java.awt.*;

public class Example_3_3 extends JPanel {
    public static final String TITLE = "3-3 مثال";
    public static final String EMPTY_RESULT_TEXT = "<html><b>( قم بإدخال المعطيات
لبتم حساب النتيجة)</b><br/><br/></html>";
    private float D, Q, Pa, Pb;

    JFormattedTextField[] textFields = {
            new JFormattedTextField(), new JFormattedTextField(),
            new JFormattedTextField(), new JFormattedTextField(),
    };

    JLabel[] labels = {
            new JLabel("مم) قطر خط أنابيب السيفون):", JLabel.RIGHT),
            new JLabel("متر مكعب/ثانية) معدل الدفق):", JLabel.RIGHT),
            new JLabel("كيلونيوتن/متر مربع) الضغط الجوي):", JLabel.RIGHT),
            new JLabel("كيلونيوتن/متر مربع) أقل ضغط مطلوب):", JLabel.RIGHT),
    };

    JLabel resultLabel = new JLabel(EMPTY_RESULT_TEXT, JLabel.RIGHT);

    DocumentListener textFieldDocListener = new DocumentListener() {

        public void changedUpdate(DocumentEvent e) { calc(e); }

        public void removeUpdate(DocumentEvent e) { calc(e); }

        public void insertUpdate(DocumentEvent e) { calc(e); }

        public void calc(DocumentEvent e) {
            try {
                Document document = e.getDocument();
                Object owner = document.getProperty("owner");
                String s = document.getText(0,
e.getDocument().getLength());
                float val = Float.parseFloat(s);

                if (owner == textFields[0]) {
```

```
                    D = val / 1000;
                } else if (owner == textFields[1]) {
                    Q = val;
                } else if (owner == textFields[2]) {
                    Pa = val * 1000;
                } else if (owner == textFields[3]) {
                    Pb = val * 1000;
                }
            } catch (BadLocationException | NumberFormatException ex) {
                resultLabel.setText(EMPTY_RESULT_TEXT);
                return;
            }

            if(D == 0 || Q == 0 || Pa == 0 || Pb == 0) {
                resultLabel.setText(EMPTY_RESULT_TEXT);
                return;
            }

            double A = (Math.PI * D * D) / 4;
            double v = Q / A;
            double vg = (v * v) / (2 * 9.81);
            double zB = ((Pa - Pb) / (1000 * 9.81)) - vg;

            String fmtfloat2 = "<b>%.2f</b>";
            String format = "<html>السرعة = " + fmtfloat2 + " متر/ثانية<br/>"
+
                    "أقصى ارتفاع ممكن للقمة للتصريف = " + fmtfloat2 + " متر<br/>" +
                    "الارتفاع المقابل لنهاية التفريغ = " + fmtfloat2 + " متر<br/>" +
                    "<br/></html>";

            resultLabel.setText(String.format(format, v, zB, vg));
        }
    };

    public Example_3_3() {
        super(new BorderLayout());

        JPanel topPane = new JPanel(new GridLayout(0,1));
        JPanel centerPane = new JPanel(new GridLayout(0,2));
        JPanel bottomPane = new JPanel(new GridLayout(0,1));
        JPanel labelsPane = new JPanel(new GridLayout(0,1));
        JPanel textFieldsPane = new JPanel(new GridLayout(0,1));

        Border border = BorderFactory.createEmptyBorder(10, 10, 10, 10);
        Border border2 = BorderFactory.createEtchedBorder();
        topPane.setBorder(border);
        bottomPane.setBorder(border);
        labelsPane.setBorder(border);
        textFieldsPane.setBorder(border);
        centerPane.setBorder(border2);
        setBorder(border);

        topPane.add(new JLabel("<html>هذا المثال يستخدم معادلة برنولي<br/></html>",
JLabel.RIGHT));

        for(int i = 0; i < textFields.length; i++) {
```

```
            textFields[i].setColumns(10);
            labelsPane.add(labels[i]);
            textFieldsPane.add(textFields[i]);
            Document document = textFields[i].getDocument();
            document.addDocumentListener(textFieldDocListener);
            document.putProperty("owner", textFields[i]);
        }

        centerPane.add(textFieldsPane, BorderLayout.CENTER);
        centerPane.add(labelsPane, BorderLayout.LINE_END);
        bottomPane.add(resultLabel);
        add(topPane, BorderLayout.NORTH);
        add(centerPane, BorderLayout.CENTER);
        add(bottomPane, BorderLayout.SOUTH);
    }

    public static void main(String[] args) {
        try {
            UIManager.setLookAndFeel(
                    UIManager.getSystemLookAndFeelClassName());
        } catch (IllegalAccessException | InstantiationException |
                 UnsupportedLookAndFeelException | ClassNotFoundException
e) {
            e.printStackTrace();
        }

        SwingUtilities.invokeLater(() -> {
            JFrame frame = new JFrame(TITLE);
            frame.setDefaultCloseOperation(JFrame.EXIT_ON_CLOSE);
            frame.setResizable(false);
            frame.add(new Example_3_3());
            frame.pack();
            frame.setLocationRelativeTo(null);
            frame.setVisible(true);
        });
    }
}
```

ل) سيفونات Siphons

الشفاطات المقلوبة Inverted Siphons

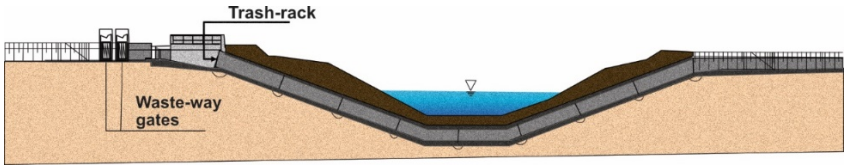
صمم السيفون المقلوب بشكل طبيعي عند فقد الضغط المنخفض low headloss. تستخدم الشفاطات المقلوبة بشكل أساسي في قنوات الري لعبور الأنهار river crossings حيث تكون القناة aqueduct غير مناسبة.

يعتمد قرار استخدام قناة مائية aqueduct أو سيفون مقلوب Inverted Siphon في قناة الري على عدد من العوامل، أهمها نقل الرواسب sediment transport. سيحتجز

السيفون جميع الرواسب عند التدفق المنخفض، حيث ستصبح السرعة في السيفون أقل بكثير مما هي عليه في القناة. قد تكون هناك حاجة إلى إجراءات خاصة، مثل مرافق الغسيل wash–out facilities، أو ببساطة بوابات gate لإغلاق أحد البراميل أثناء عمليات التفريغ المنخفضة. لمنع حدوث الطمي والانسداد، يجب الحفاظ على سرعة v عالية (ومع ذلك، فإن السرعة العالية تؤدي إلى فقدانٍ عالٍ في الضغط). يجب أن تكون السرعات ضعف سرعة القناة الطبيعية canal velocity على الأقل وألا تقل بأي حال عن 1.5 م/ث، كما يجب ألا تتجاوز السرعة القصوى 3 م/ث.

يقع الجزء العلوي من مدخل السيفون تحت سطح الماء الطبيعي. سيؤدي ذلك إلى تقليل الانخفاض المحتمل في سعة السيفون الناجم عن دخول الهواء إلى السيفون. يُعرف عمق الغمر submergence باسم "ختم" الماء waterseal. يعتمد الارتفاع المطلوب للختم على المنحدر وحجم البرميل، ويمكن أخذه ليساوي مرة ونصف 1.5 من خسارة المدخل entrance loss، بحد أدنى 0.15 متر.

يجب تركيب "أكوام القمامة" Trashracks عند مدخل الشفاطات لتجنب الدخول غير الطوعي من قبل الأشخاص أو الحيوانات ولتجنب الانسداد بسبب الحطام العائم floating debris. ومع ذلك، فإن سد سلة المهملات سيزيد من خسارة المدخل entrance headloss. سيكون السيفون المقلوب تحت ضغط داخلي وبالتالي يجب عدم استخدام الوصلات بين عناصر الأنبوب. بدلاً من ذلك، يمكن استخدام طوق خرساني مقوى reinforced concrete collar، ويفضل أن يكون مصبوبًا في الموقع.



شكل (3–14): السيفون

3-4) منشآت قياس التدفق (لتحديد التصريف)

- الهدارات Weirs
- درجة التحكم Control notch
- عداد الفتحة ومقياس الفوهة Orifices
- مجاري الهواء Flumes
- أنابيب مقياس فنتوري Venturi meter

3-4-1) الهدار Weir

الهدارات Weirs والقناطر barrages عبارة عن سدود منخفضة المستوى low-level dams نسبيًا يتم إنشاؤها عبر النهر لرفع مستوى النهر بشكل كافٍ يسمح بالتدفق – أو لتحويله – بالكامل أو جزئيًا إلى مجرى conduit أو قناة إمداد supply canal لأغراض الري وتوليد الطاقة والملاحة والتحكم في الفيضانات، والاستخدامات المنزلية والصناعية، إلخ. عادة توفر هياكل التحويل هذه سعة تخزين صغيرة. بشكل عام، تكون الهدارات (مع أو بدون بوابات) أضخم من القناطر، في حين أن القناطر يتم التحكم فيها دائمًا بالبوابات. تشمل القناطر عمومًا منظمات القنوات canal regulators، والممرات منخفضة المستوى low-level sluices للحفاظ على تدفق approach flow مناسب للمنظمين، وأنفاق طرد الطمي للتحكم في دخول الطمي إلى القناة وسلالم الأسماك لتحركات الأسماك المهاجرة.

تستخدم الهدارات أيضًا لتحويل الفيضانات السريعة flash floods إلى المناطق المروية أو لأغراض إعادة تغذية المياه الجوفية. كما أنها تستخدم في بعض الأحيان كهياكل قياس التدفق. يقدم الشكل 9.10 وصفًا تفصيليًا للأجزاء المختلفة من قنطرة نموذجية مبنية على الأنهار المتدفقة فوق طبقات مسامية.

يعتمد اختيار موقع القنطرة barrage بشكل أساسي على موقع قناة السحب وارتفاعها، ويجب اختيار الموقع حيثما يكون قاع النهر فيه ضيقًا نسبيًا ومستقرًا نوعا ما. يجب مراعاة

متطلبات البركة pondage والتدخل في الهياكل القائمة مثل الجسور bridges ، والتنمية الحضرية، والأراضي الزراعية القيمة، وما إلى ذلك، بالإضافة إلى الخيارات المتاحة لتحويل التدفق أثناء البناء.

Cofferdams هي هياكل مؤقتة تستخدم لتحويل المياه من منطقة يجب فيها بناء هيكل دائم. يجب أن تكون مانعة لتسرب المياه قدر الإمكان، ورخيصة نسبيًا، وإذا أمكن، مصنوعة من مواد متوفرة محليًا.

تُستخدم أحيانًا مرافق التحويل مثل الأنفاق tunnels أو القنوات، المقدمة لتحويل التدفق من منطقة الموقع، كجزء من المرافق الدائمة (على سبيل المثال، الأنفاق penstocks، مجاري السيول spillways، المسالك sluices، وسائل النقل إلى التوربينات، أو قنوات التصريف من التوربينات، وما إلى ذلك). إذا استمرت أعمال البناء على مرحلتين، فيمكن استخدام جزء من الهيكل المكتمل في المرحلة الأولى كمرفق تحويل diversion facility (مفيض spillway أو سد sluice) خلال المرحلة الثانية من البناء.

الهدار weir هو شق notch على شكل مستطيل يتدفق من خلاله الماء.الشقوق والهدارات هي عوائق منتظمة أو حواجز توضع عبر الجداول المفتوحة التي يحدث التدفق فوقها. ينطبق المصطلح أيضًا على المنشأة التي تحتوي على مثل هذا الشق. يُعرّف الهدار أيضاً على إنه منشأة فائض overflow structure مصممة لقياس تصريف المياه في نهر أو قناة مفتوحة. وبالتالي، قد يكون الهدار عبارة عن انخفاض في جانب الحوض أو الخزان أو المجرى، أو قد يكون سدًا لفيض أو منشأة مشابهة أخرى يمكن اعتبار الهدار weir أو الشق notch شكلاً خاصًا من الفتحة orifice الكبيرة مع سطح الماء الحر أسفل الحافة العلوية منه.

اختر أهم الاهداف الرئيسة لتركيب الهدار weir مما يلي:

- تحويل المياه

- الحفاظ على معدل تدفق موحد على مدى فترات طويلة من الزمن
- قياس معدلات التدفق
- جهاز التحكم الهيدروليكي
- الحفاظ على عمق أدنى ثابت للتدفق
- التحكم في ميل مسار المياه
- منع الفيضانات
- جعل الممر المائي أكثر قابلية للملاحة
- غير ذلك (يرجى التحديد)

ما انسب موضع للهدار المرتبط بتدفق المياه مما يلي:

- عمودي على التدفق
- في اتجاه التدفق
- تحت التدفق
- فوق التدفق
- غير ذلك (يرجى التحديد)

3-4-1-1) تصنيف الهدارات

تصنيف الهدارات يمكن أن يدرج حسب الشكل أو عرض الهدار أو طبيعته:

أ) التصنيف حسب الشكل

- الهدار المستطيل Rectangular weir
- الهدارات المثلثية Triangular أو ذات الشق V V–notch weirs
- الهدارات شبه المنحرفة Trapezoidal weirs
- هدار سيبوليتي Cippoletti weir
- الهدارات المكافئة Parabolic weirs
- الهدار النسبي أو السوترو Proportional or Sutro weir

ب) التصنيف حسب طبيعة الدفق

- الهدار العادي Ordinary weir
- الهدار المغمور Submerged weir

ج) التصنيف حسب عرض الهدار

- الهدار الحاد المتوج Sharp Crested Weir: بزاوية أو حافة حادة عند أعلى التيار بحيث ينبع الماء خاليًا من القمة
- الهدار الضيق المتوج Narrow crested weir
- الهدار العريض المتوج Broad crested weir

د) التصنيف حسب طبيعة القمة أو التاج

- هدار حاد المتوج Sharp crested weir
- هدار أوجي Ogee weir

أشكال أخرى من أجهزة قياس التدفق:

- الهدار مع العوائق Weir with obstructions (مثل الدرابزين guardrails، والأرصفة piers، وما إلى ذلك).

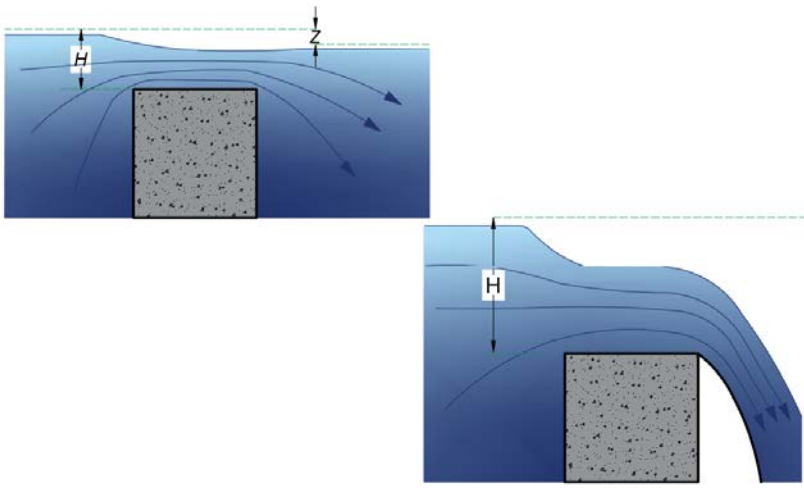
3-4-1-2) الحد الأدنى لفقدان الطاقة (MEL) الهدار Minimum energy loss (MEL) weir

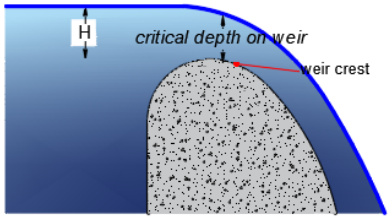
الهدار التقليدي عبارة عن منشأة مصممة لرفع منسوب مياه أعلى التيار: على سبيل المثال لتغذية مجرى التحويلdiversion channel . معدلات التدفق الصغيرة محصورة في مجرى تصريف spillway channel. يُسمح بتدفقات أكبر بالمرور فوق الجزء العلوي من الهدار بطوله الكامل. في نهاية المصب من الهدار، تتبدد الطاقة الحركية للتدفق في منشأة مشتتdissipater structure .

نوع آخر من الهدارات هو هدار الحد الأدنى لفقدان الطاقة (MEL). يصمم هدار MEL لتقليل فقد السمت الكلي للفيضان overflow وبالتالي للحث (بشكل مثالي) على عدم

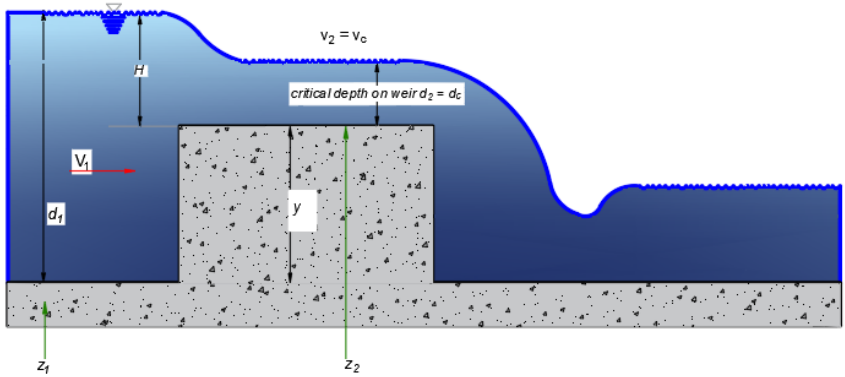
التدفق zero afflux. تستخدم الهدارات MEL في المناطق المسطحة وبالقرب من مصبات الأنهار estuaries.

تعتبر الاختلافات العملية بين السد الصغير small dam والهدار التقليدي conventional weir صغيرة، وغالبًا يتم تبادل المصطلحات "الهدار weir" أو "السد الصغير small dam".

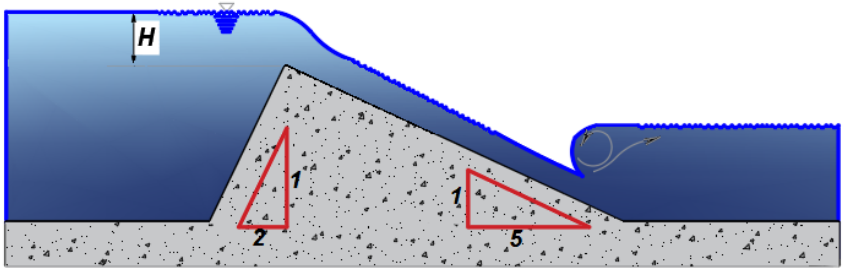




(a) Solid weir

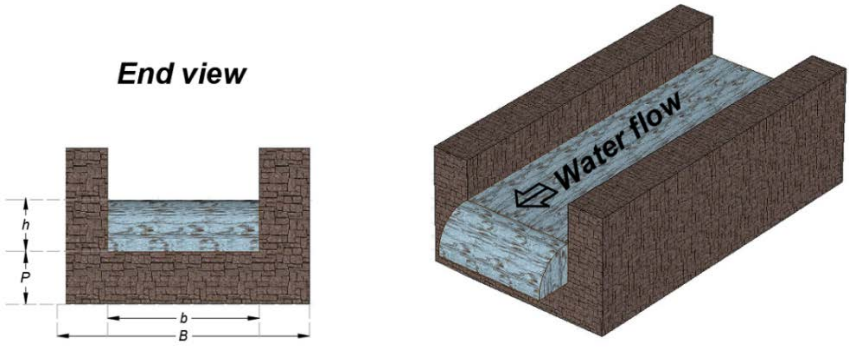


(b) Broad-crested weir

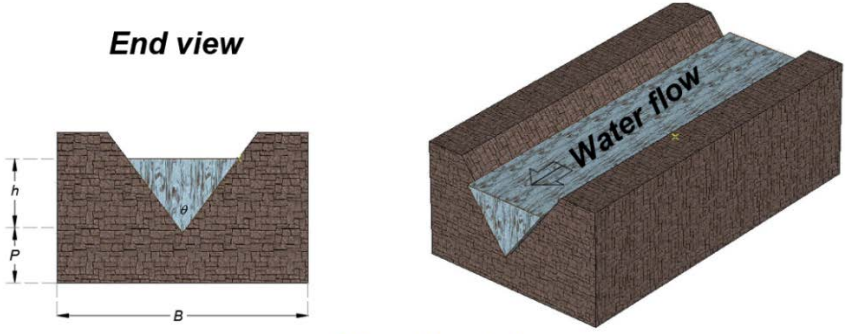


(c) Crump weir

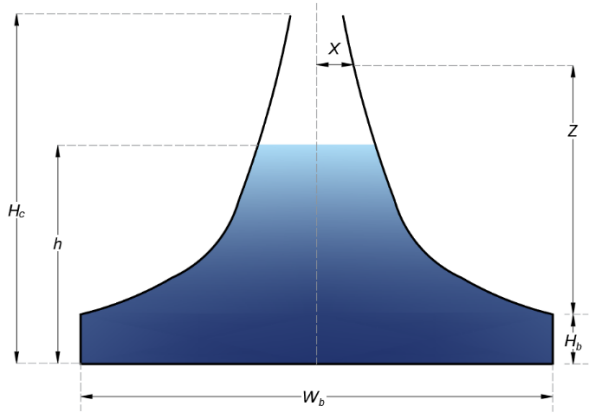
Solid weirs



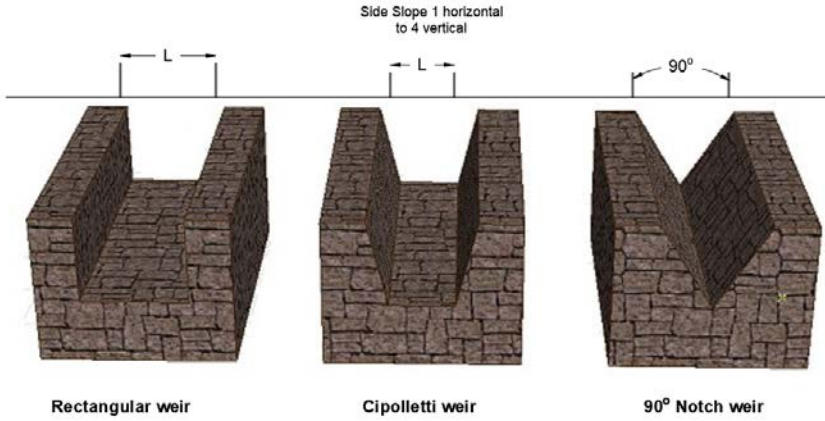
Rectangular notch



Triangular notch



Proportional or Sutro weir



شكل (3-15): أنواع الهدارات

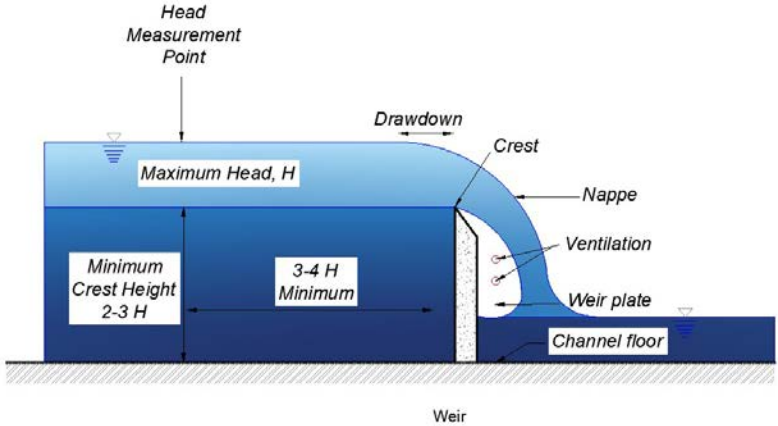
3-4-1-3) المصطلحات والتعريفات الشائعة للهدار

قمة Crest = الحافة أو السطح الذي يتدفق فوقه الماء = مساحة الهدار حيث يتدفق الماء

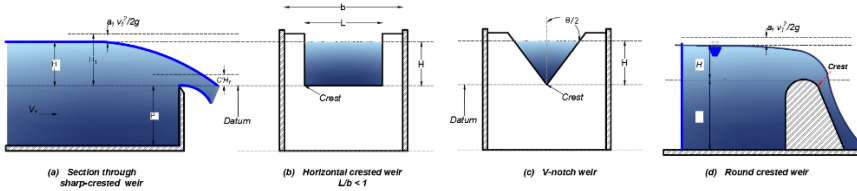
المقيلNappe = الصفيحة الفائضة من الماء = صفيحة الماء المتدفقة فوق الهدار

الشق Notch = الفتح حيث يتدفق الماء في أنواع مختلفة من منشأة الهدار

السمت Head = عمق المياه المنتجة للتصريف، H



شكل (3-16أ): أجزاء الهدار



شكل (3-16ب): أجزاء الهدار

يرتبط السمت الموجود فوق عتبة sill مثل هذا العائق بالتفريغ من خلال مبادئ الطاقة. بشكل عام، يمكن كتابة التفريغ على هذه المنشآت على النحو المبين في المعادلة 3-8.

$$Q = CbHn = K*Hn \qquad (3.8)$$

حيث:

Q = التفريغ أو معدل التدفق الحجمي

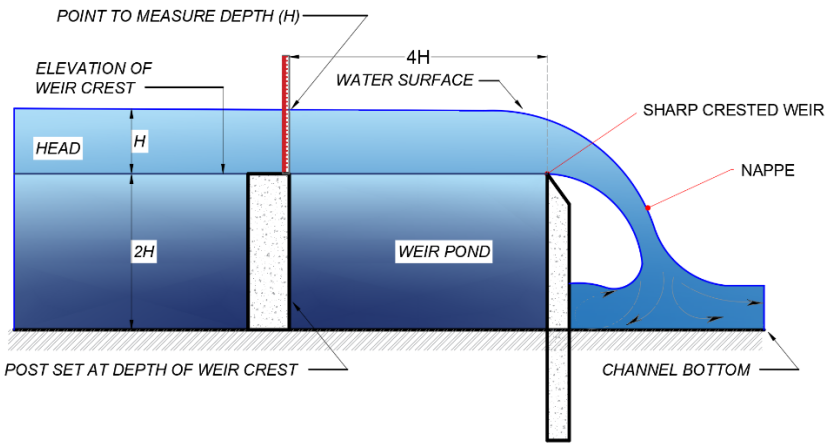
C = معامل التفريغ، يختلف باختلاف منشآت الهدار

B = العرض الفعال للقمة crest

K = Cb= يعتمد على هندسة الشق notch

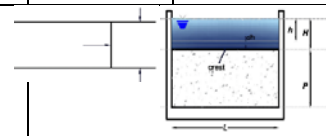
H = عمق التدفق فوق ارتفاع القمة (يجب تجاهل سرعة الاقتراب approach velocity في معظم التطبيقات)

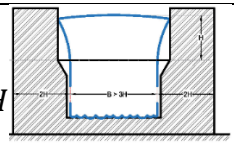
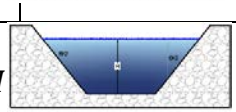
n = معامل، يختلف باختلاف منشأة الهدار

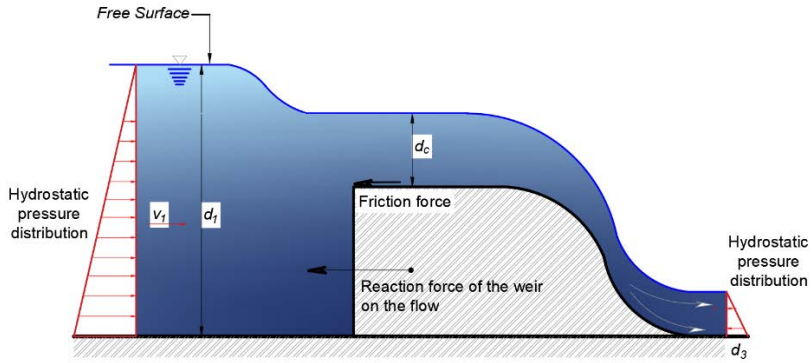


شكل (3-16ج): الهدار ذو القمة الحادة

جدول (3-4): مقارنة بين بعض أنواع قياس التدفق

جهاز قياس (كل ذي قمة حادة)	المشاهدات			المعادلة ذات الصلة
	Side view	Top view, plan	Elevation	
هدار مستطيل (بدون تقلص) Rectangular weir without contraction				$Q = 3.33LH^2$

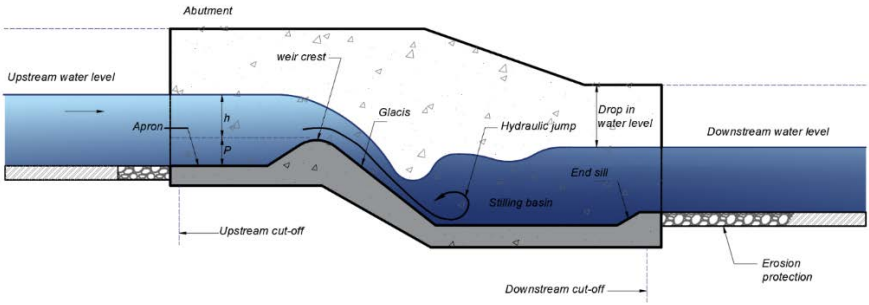
هدار مستطيل (مع تقلص)				$Q = 3.33(L - 0.2H)H$
هدار شبه منحرف Trapezoidal weir				$Q = 3.37LH$
الهدار المثلثي 90 درجة 90° triangular weir				$Q = 2.49H^{5/2}$



شكل (3-17): القوى حول الهدار

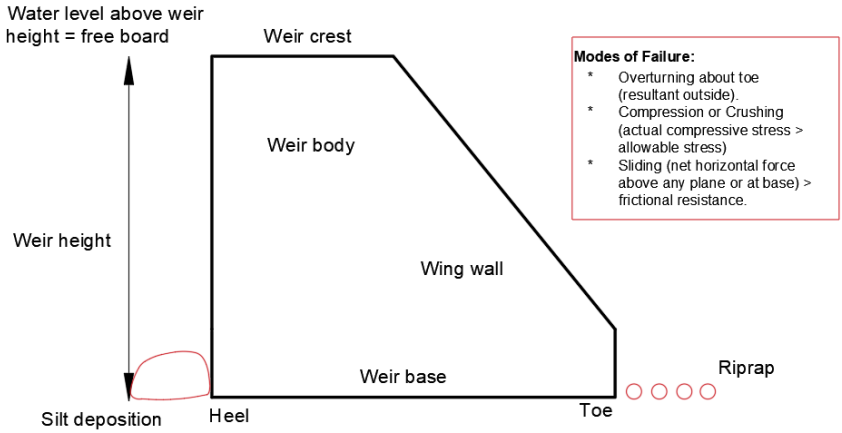
3-4-1-4) تصميم الهدار Weir design

المكونات الأساسية لمنشأة الهدار



شكل (3-18): المكونات الأساسية لمنشأة الهدار

3-4-1-5) مصطلحات الهدار Weir terminology



شكل (3-19): مصطلحات الهدار

3-4-1-6) القوى المؤثرة على الهدار

قد تكون القوى التي تعمل على الهدار المبني على أساس منيع ساكنة static أو ديناميكية dynamic:

أ) تشمل القوى الساكنة:

- ضغط الماء الطبيعي Normal water pressure على وجه الهدار أعلى التيار.
- ضغط الماء الطبيعي على وجه الهدار في اتجاه أدنى التيار.
- وزن الماء مدعوم بالقمة crest.
- وزن الهدار.

ب) تشمل القوى الديناميكية التي تعمل على الهدار ما يلي:

- تنتج قوى التآكل Erosive أو الجلي scouring على جانب المصب من الهدار إما عن طريق السرعة العالية أو عن طريق تأثير الماء المتدفق على الهدار.
- قوة تأثير المادة العائمة floating matter على القمة crest على الجانب أعلى التيار (المنبع) من الهدار.

3-4-1-7) شروط استقرار الهدار Conditions for stability of weirs

هناك بعض الشروط التي يجب توفرها لاستقرار الهدار. وتشمل هذه:

- يجب ألا يكون هناك توتر في البناء tension in the masonry أو في مستوى التلامس بين الهدار والأساس.
- يجب ألا يكون هناك قلب overturning.
- يجب ألا يكون هناك ميل للانزلاق tendency to slide على المفصل مع الأساس أو أي مستوى أفقي فوق القاعدة.
- يجب ألا يتجاوز الحد الأقصى لضغط إصبع القدم والكعب toe and heel pressures في الأساسات الحدود الآمنة المنصوص عليها.
- لا يتم اعتبار الفشل عن طريق التكسير crushing هنا، لأنه لا يحدث بشكل عام، لكونه بنية منخفضة low structure .

3-4-1-8) حالة الضغط الأقصى على الهدار Condition of maximum stress on weir

في حالة السد dam، تكون حالة الحد الأقصى من الإجهاد maximum stress عندما يكون مستوى الماء فوق القاعدة هو الحد الأقصى، أي عندما يكون الارتفاع بحد أقصى. ولكن في حالة تصميم الهدار weir، عندما يزداد التصريف، يتراكم مستوى الماء القريب أيضًا ويصبح الفرق بينهما قليلا؛ لذلك يتعرض الهدار لأقصى سمت عندما يبلغ مستوى الماء على الجانب أعلى التيار أقصاه ولا يمر الماء فوق القمة.

مثال (3-4): التصميم التفصيلي لأعمال أخذ الماء Detailed design of intake works

يبلغ طول الهدار المقترح 22.0 مترًا وارتفاعه 1.5 مترًا فوق قاع النهر. يجب أن يتم إنشاء منشأة الهدار الرئيسة والجدران الاستنادية retaining walls على الصخور ويقترح أن تكون مصنوعة من الخرسانة المسلحة لتجنب أي انهيار في القص shear failure .

تم إجراء تحليل الثبات stability analysis لكل من الهدار وجدران الجناح الاستنادية وتم توفير التسليح اللازم أثناء تطبيق عامل الأمان safety factor بقيمة 1.5.

تم تزويد موقع الهدار بإجراءات حماية على جانبي المنبع والمصب. تشمل تدابير الحماية مصيدة حشو grouted riprap ومئزر مائل tipped apron على قاع النهر ونصب الحجارة stone pitching على منحدرات جانب النهر.

تمت إضافة لوح طفو freeboard بطول 0.5 مم إلى جدران الجناح الاستنادية فوق قمة الهدار. وقد وجد أن هذا كاف لاحتواء تدفقات الفيضانات التي تصل إلى فترة عودة return period تصل إلى 20 عامًا.

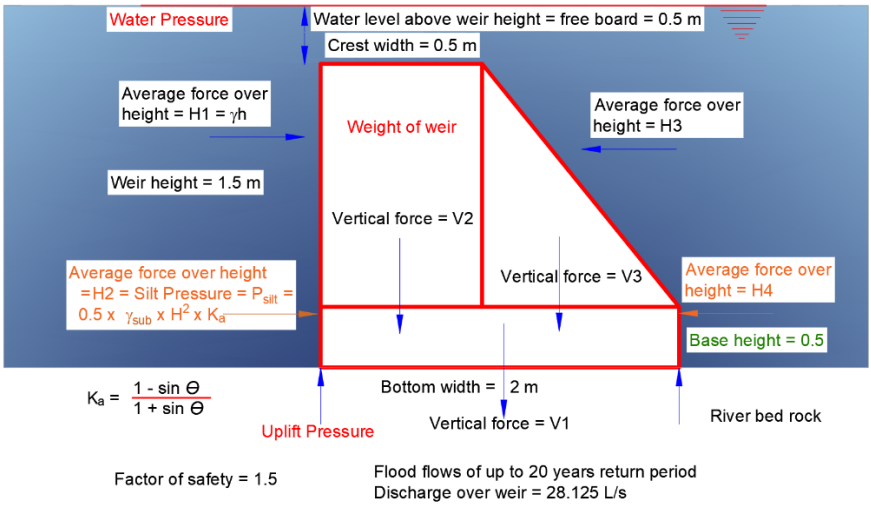
تم توفير فتحات أنابيب التحر Scouring pipe sluices داخل جسم الهدار لإزالة الطمي المستمر وبوابة الهدار sluice gate للمساعدة في تنظيف المدخول بعد كل حدث لفيضان كبير.

رسمت الخرط الكاملة لخطة الهدار وكذلك المقاطع المحددة بالمقياس وقدمت بشكل منفصل كخطة السحب intake والأقسام ذات الصلة كما هو موضح في الخطة.

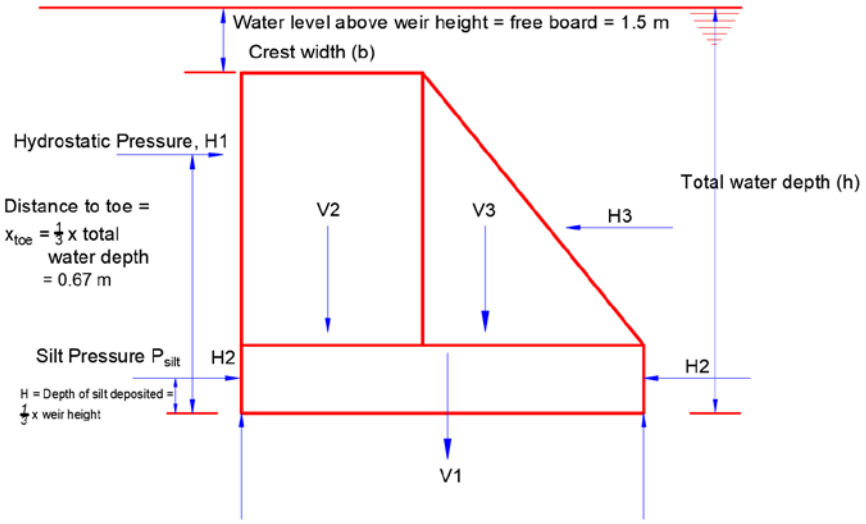
مواصفات فحوصات الثبات Specifications for stability checks موضحة بالجدول التالي.

Item	Weir on sandy gravels
Weight of water	10.00 KN/m^3
Weight of saturated soil	20.00 KN/m^3
Coefficient of neutral pressure	0.50
Mass concrete unit weight	24.00 KN/m^3
Discharge over weir	28.125 L/s
Length of weir	22.00 m
Water depth on weir	0.50 m
Angle of internal friction of sandy gravels	35 degrees
Average particle size	1.00 mm
Weir height	1.5 m
Water level above weir	0.50 m
Water level downstream	0.00 m
Sediment level downstream	0.00 m
Crest width	0.50 m
Bottom width	2.00 m
Base height	0.50
Downstream slope (1:0.8)	1.25

القوى الرئيسة التي تعمل على الهدار عند التشغيل



شكل (3–20أ): القوى الرئيسة التي تعمل على الهدار عند التشغيل



شكل (3–20ب): القوى الرئيسة التي تعمل على الهدار عند التشغيل

1) القوى الأفقية Horizontal forces

<u>المياه أعلى التيار (المنبع) Water upstream</u>

- جد الضغط الأفقي في القاع = γh = (ارتفاع الهدار + مستوى الماء فوق الهدار) * وزن الماء

The horizontal pressure at the bottom = γh = (Weir height + water level above weir)*weight of water = P1 = (1.50 + 0.50)*10 = 20 KN/m^2

- جد متوسط القوة على الارتفاع (الضغط الهيدروستاتيكي) * (1/2) = H1 = (الضغط الأفقي في الأسفل + الضغط الأفقي في الأعلى) * إجمالي عمق الماء، أي (ارتفاع السد + عمق الماء فوق القمة)

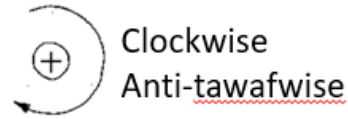
The average force over the height (hydrostatic pressure) = H1 = (1/2)*(horizontal pressure at the bottom + horizontal pressure at the top)*total water depth i.e. (weir height + water depth above crest) = ((20 + 0.00)/2)*(1.50 + 0.50) = 20 KN/m

- جد المسافة إلى إصبع القدم = x_{toe} = (ارتفاع السد + مستوى الماء فوق الهدار) / 3

The distance to the toe = x_{toe} = (weir height + water level above weir)/3 = (1.50 + 0.50)/3 = 0.67 m

- جد العزم حول إصبع الهدار = متوسط القوة على الارتفاع * المسافة إلى إصبع الهدار

The moment about the toe of the weir = average force over the height*distance to the toe = H1* x_{toe}= 20*0.67 = 13.4KN.m/m



الرواسب (الطمي) المنبع Sediment (silt) upstream

- جد الضغط الأفقي في القاع = ارتفاع السد * معامل ضغط التربة المحايد * (وزن التربة المشبعة – وزن الماء)

The horizontal pressure at the bottom = weir height*coefficient of neutral soil pressure*(Weight of saturated soil – weight of water) = P2 = $1.50*0.5*(20-10) = 7.5$ KN/m^2

- جد متوسط القوة على الارتفاع = (متوسط الضغط الأدنى والأقصى) * ارتفاع الهدار

The average force over the height = (average of minimum and maximum pressure)*weir height = $((7.5 + 0.00)/2)*1.50$ = H2 = 5.63 KN/m

- جد المسافة إلى إصبع القدم = ارتفاع الهدار

The distance to the toe = weir height/3 =$1.50/3 = 0.50$ m

- جد العزم حول إصبع الهدار = متوسط القوة على الارتفاع * المسافة إلى إصبع القدم

The moment about the toe of the weir = average force over the height *distance to toe = $5.63*0.50$ = 2.8KN.m/m

مجرى المياه Water downstream

- جد الضغط الأفقي في الأعلى = – مستوى الماء في اتجاه مجرى النهر * وزن الماء

The horizontal pressure at the top = – water level downstream *weight of water = P3 = $-0.00*10 = -0.00$ KN/m^2

- جد متوسط القوة على الارتفاع = (متوسط الضغط الأدنى والأقصى) * مستوى الماء في اتجاه مجرى النهر

The average force over the height = (average of minimum and maximum pressure)* water level downstream = ((− 0.00 + − 0.00)/2)*0.00 = H3 = − 0.00 KN/m

- جد المسافة إلى إصبع الهدار = مستوى الماء في اتجاه مجرى النهر

The distance to the toe = water level downstream/3 = 0.00/3 = 0.00 m

- جد العزم حول إصبع الهدار = متوسط القوة على الارتفاع * المسافة إلى إصبع القدم

The moment about the toe of the weir = average force over the height * distance to the toe = − 0.00*0.00 = − 0.00 KN.m/m

الرواسب المصب Sediment downstream

- جد الضغط الأفقي في القاع = − مستوى الرواسب في اتجاه مجرى النهر * معامل ضغط التربة المحايد * (وزن التربة المشبعة − وزن الماء)

The horizontal pressure at the bottom = − sediment level downstream*coefficient of neutral soil pressure*(weight saturated soil − weight water) = − 0.00*0.5*(20 − 10) = P4 = − 0.00 KN/m^2

- جد متوسط القوة على الارتفاع = (متوسط الضغط الأدنى والأقصى) * مستوى الرواسب في اتجاه مجرى النهر

The average force over the height = (Average of minimum and maximum pressure)*sediment level downstream = H4 = − 0.00 KN/m

- جد المسافة إلى إصبع القدم = مستوى الرواسب في اتجاه مجرى النهر / 3

The distance to the toe = sediment level downstream/3 = 0.00/3 = 0.00 m

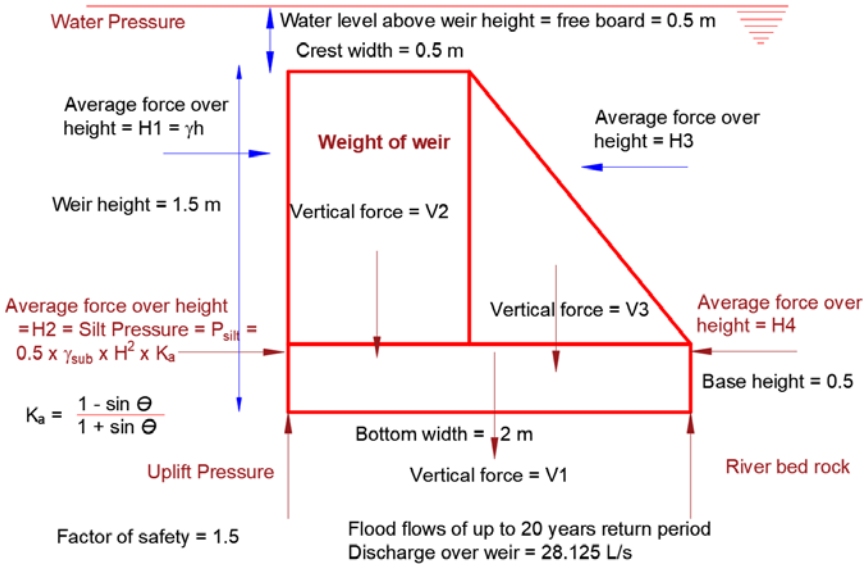
- جد العزم حول إصبع الهدار = متوسط القوة على الارتفاع * المسافة إلى إصبع القدم

The moment about the toe of the weir = Average force over the height*distance to the toe = − 0.00*0.00 = − 0.00 KN.m/m

- جد إجمالي العزوم الأفقية = 13.4 + 2.8 − 0.00 − 0.00 = 16.2 KN.m / m

Total of horizontal moments = 13.4 + 2.8 − 0.00 − 0.00 = 16.2 KN.m/m

القوى الرئيسية التي تعمل على الهدار عند التشغيل



شكل (3−20ج): القوى الرئيسة التي تعمل على الهدار عند التشغيل

2) القوى العمودية Vertical forces

مستطيل V1(قاعدة V1 Base (rectangle

- جد القوة العمودية = المساحة المقطعية لكل جزء * مضروبة بوحدة وزن الخرسانة =عرض القاع * ارتفاع القاعدة * وزن وحدة كتلة الخرسانة

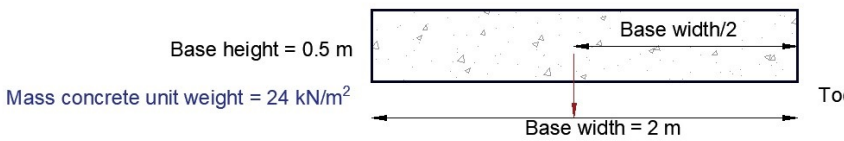
The vertical force = sectional area of each part*multiplied by unit weight of concrete = bottom width*base height*mass concrete unit weight = V1 = $2*0.5*24$ = 24 KN/m

- جد المسافة إلى إصبع القدم = (عرض القاع) / 2

The distance to the toe = (bottom width)/2 = $2/2$ = 1 m = 1 m

- جد العزم حول إصبع الهدار = القوة العمودية * المسافة إلى إصبع القدم

The moment about the toe of the weir = vertical force*distance to the toe = $24*1$ = 24 KN.m/m



مستطيل V2 rectangle

- جد القوة العمودية = عرض القمة * (ارتفاع السد – ارتفاع القاعدة) * وزن وحدة كتلة الخرسانة

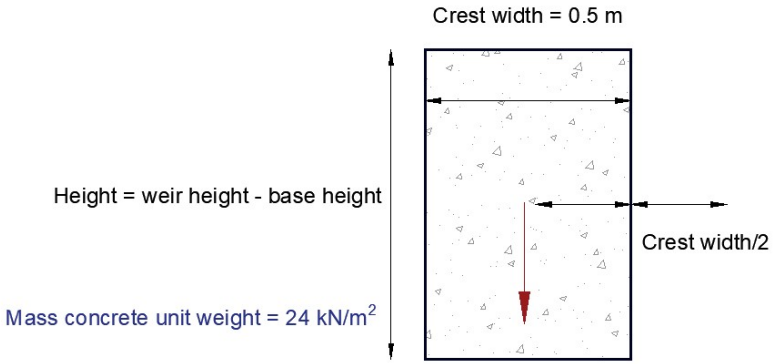
The vertical force = crest width *(weir height – base height)*mass concrete unit weight= V2 = $0.5*(1.5 - 0.5)*24$ = 12 KN/m

- جد المسافة إلى إصبع القدم = (عرض القاع – عرض القمة) + (عرض القمة / 2)

The distance to the toe = (bottom width – crest width) + (crest width/2) = (2 – 0.5) + (0.5/2) = 1.75 m

- جد العزم حول إصبع السد = القوة العمودية * المسافة إلى إصبع السد

The moment about the toe of the weir = vertical force*distance to the toe = 12*1.75 = 21 KN/m = 21 KN.m/m



المنحدر V3 sloping

- جد القوة العمودية = ((عرض القاع – عرض القمة) / 2) * (ارتفاع السد – ارتفاع القاعدة) * وزن وحدة الخرسانة الكتلية

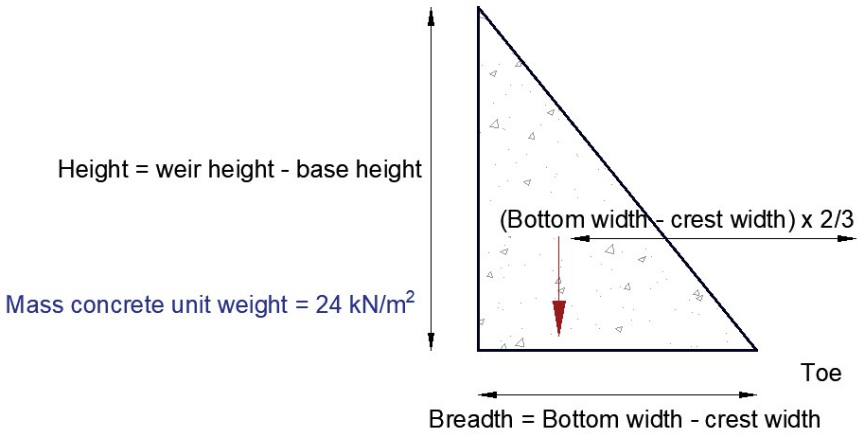
The vertical force = ((bottom width – crest width)/2)* (weir height – base height)*mass concrete unit weight = ((2 – 0.50)/2)*(1.50 – 0.5)*24 = V3 = 18 KN/m

- جد المسافة إلى إصبع القدم = (عرض القاع – عرض القمة) * 3/2

The distance to the toe = (bottom width − crest width)*2/3 = (2 − 0.50)*2/3 = 1 m

- جد العزم حول إصبع السد = القوة العمودية * المسافة إلى إصبع السد

The moment about the toe of the weir = vertical force*distance to the toe = 18*1 = 18 KN.m/m



القوى العمودية (ملخص) Vertical forces (summary)

V1 Base قاعدة ***(rectangle*** مستطيل ***)***

- جد القوة العمودية = المساحة المقطعية لكل جزء * مضروبة في وزن الوحدة من الخرسانة = عرض القاع * ارتفاع القاعدة * وزن وحدة كتلة الخرسانة

The vertical force = sectional area of each part*multiplied by unit weight of concrete = bottom width*base height*mass concrete unit weight = V1 = 2*0.5*24 = 24 KN/m

- جد المسافة إلى إصبع القدم = (عرض القاع) / 2

The distance to the toe = (bottom width)/2 = 2/2 = 1 m = 1 m

- جد العزم حول إصبع السد = القوة الرأسية * المسافة إلى إصبع الهدار

  The moment about the toe of the weir = vertical force*distance to the toe = 24*1 = 24 KN.m/m

V2 rectangle

- جد القوة الرأسية = عرض القمة * (ارتفاع السد – ارتفاع القاعدة) * وزن وحدة الخرسانة الكتلية

  The vertical force = crest width *(weir height – base height)*mass concrete unit weight = V2 = 0.5*(1.5 – 0.5)*24 = 12 KN/m

- جد المسافة إلى إصبع الهدار = (عرض القاع – عرض القمة) + (عرض القمة / 2)

  The distance to the toe = (bottom width – crest width) + (crest width/2) = (2 – 0.5) + (0.5/2) = 1.75 m

- جد العزم حول إصبع الهدار = القوة الرأسية * المسافة إلى إصبع الهدار

  The moment about the toe of the weir = vertical force*distance to the toe = 12*1.75 = 21 KN/m = 21 KN.m/m

V3 sloping المنحدر

- جد القوة العمودية = ((عرض القاع – عرض القمة) / 2) * (ارتفاع السد – ارتفاع القاعدة) * وزن وحدة الخرسانة الكتلي

  The vertical force = ((bottom width – crest width)/2)* (weir height – base height)*mass concrete unit weight = ((2 – 0.50)/2)*(1.50 – 0.5)*24 = V3 = 18 KN/m

- جد المسافة إلى إصبع الهدار = (عرض القاع – عرض القمة) * 3/2

The distance to the toe = (bottom width − crest width)*2/3 = (2 − 0.50)*2/3 = 1 m

- جد العزم حول إصبع الهدار = القوة الرأسية * المسافة إلى إصبع الهدار

The moment about the toe of the weir = vertical force*distance to the toe = 18*1 = 18 KN.m/m

Uplift upstream الرفع عند المنبع

- جد ضغط الرفع = − (ارتفاع السد + مستوى الماء فوق السد) * وزن الماء

The uplift pressure = − (weir height + water level above weir)*weight of water = P5 = − (1.5 + 0.5)*10 = − 20 KN/m^2

- جد متوسط القوة = ((ضغط الرفع لأعلى + ضغط الرفع باتجاه المصب) / 2) * عرض القاع

The average force = ((uplift pressure upstream + uplift pressure downstream)/2)*bottom width = ((− 20 + − 0.00)/2)*2 = −20 KN/m

- جد المسافة إلى إصبع الهدار = عرض القاع * (3/2)

The distance to the toe = bottom width*(2/3) = 2*(2/3) = 1.3 m

- جد العزم حول إصبع الهدار = متوسط القوة * المسافة إلى إصبع الهدار

The moment about the toe of the weir = average force*distance to the toe = −20*1.3 = −26KN.m/m

Uplift downstream الرفع عند المصب

- جد ضغط الرفع = − مستوى الماء في اتجاه مجرى النهر * وزن الماء

The uplift pressure = − water level downstream*weight water = P6 = − 0.00* 10 = − 0.00 KN/m^2

- جد متوسط القوة = ضغط الرفع باتجاه المصب * عرض القاع

The average force = uplift pressure downstream*bottom width = U1 = − 0.00*2 = − 0.00 KN/m

- جد المسافة إلى إصبع الهدار = عرض القاع * 3/2

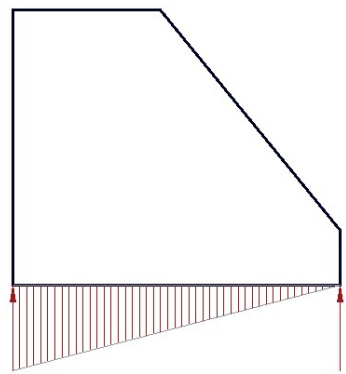
The distance to the toe = bottom width*2/3 = 2*2/3 = 1.3 m

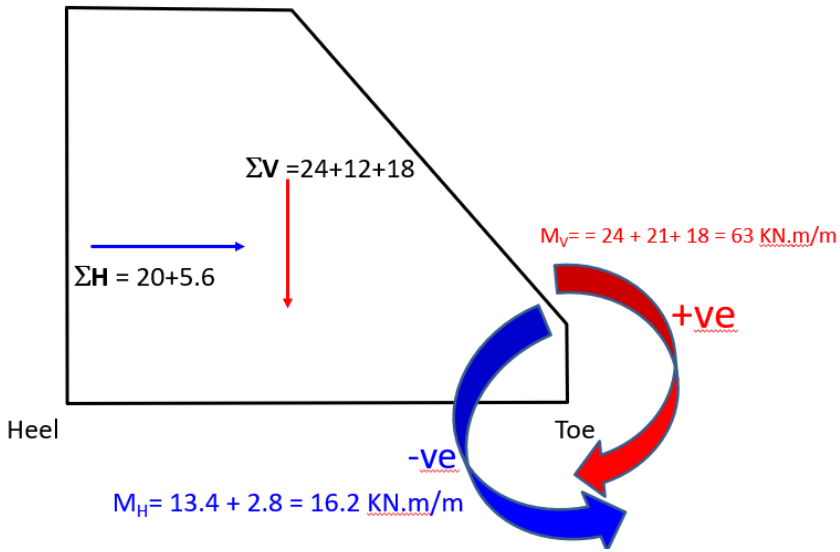
- جد العزم حول إصبع الهدار = متوسط القوة * المسافة إلى إصبع الهدار

The moment about the toe of the weir = average force*distance to the toe = − 0.00*1.3 = − 0.00 KN/m = − 0.00 KN.m/m

- جد إجمالي العزوم العمودية = 24 + 21 +18 + (26−) + 0.00− = 37 KN.m / m

Total of vertical moments = 24 + 21+ 18 + (−26) + −0.00 = 37KN.m/m





شكل (3-20د): القوى الرئيسية التي تعمل على الهدار عند التشغيل

3) الانقلاب حول إصبع الهدار Overturning about the toe

- إذا كانت نتيجة جميع القوى المؤثرة في الهدار تمر بالخارج، فيجب أن يدور الهدار وينقلب حول إصبع القدم. من الناحية العملية، لن تظهر هذه الحالة لأن السد سوف يفشل في وقت مبكر عن طريق الضغط.

  If resultant of all the forces acting in the weir passes outside, the weir shall rotate and overturn about the toe. Practically, this condition will not arise because the weir will fail much earlier by compression.

- نسبة عزم المقاومة إلى عزم الانقلاب حول الإصبع هي عامل الأمان ضد الانقلاب ويجب أن تكون أكبر من 1.5 للأمان.

The ratio of resisting moment to the overturning moment about the toe is the factor of safety against overturning and it should greater than 1.5 for safety.

- سيتم النظر إلى الانقلاب حول المصب في الإصبع. هناك طريقتان مختلفتان للنظر إلى الانقلاب:
  - مقارنة العزوم العمودية بالعزوم الأفقية
  - الاستقرار (العزم الموجب (+)) مقارنة بعزوم الانقلاب (العزم السالب(−)) .()

Overturning will be looked at around the downstream the toe of the weir. There are two different ways of looking at overturning:

a) The vertical compared to the horizontal moments
b) The stabilizing (positive moment (+)) compared to the overturning moments (negative moment(−)).

- يجب أن تكون النسبة أكبر من 1 ولكن لأسباب تتعلق بالسلامة تؤخذ على أنها 1.5 لـ (أ) و 1.3 لـ (ب).

The ratio should be larger than 1 but for safety reasons taken as 1.5 for (a) and 1.3for (b).

- نسبة العزوم = إجمالي العزوم الرأسية / إجمالي العزوم الأفقية يجب أن يكون>1.5

a) Ratio of moments = total vertical moment/total horizontal moments must be > 1.5

جد نسبة العزوم

Ratio of moments = $37/16.2 = 2.28$ about = 2.3

من ثم، السد مستقر ضد الانقلاب

As such. the weir is stable against overturning since the ratio is larger than 1.5

b) Comparing moments for stabilizing مقارنة العزوم لتحقيق الاستقرار

تستبعد العزوم الرأسية الإيجابية لحظة

positive vertical moments would exclude the moment of uplift = $0.00 + 0.00 + 24 + 21 + 18 = 63$

عزوم الانقلاب السلبية على الإصبع القدم أفقيًا بالإضافة إلى عزوم الارتفاع

Negative overturning moments over toe horizontal plus the moment of uplift = $-13.4 - 2.8 + (-26) + 0.00 = 42.2$

النسبة

Ratio = $63/42.2 = 1.49 > 1.3$

وبالتالي، فإن الهدار مستقر ضد الانقلاب لأن 1.49 أكبر من 1.3.

Thus, the weir is stable against overturning since 1.49 is greater than 1.3.

4) تحمل الضغط على الأساس Bearing pressure on foundation

- أثناء تصميم مقطع الهدار، يجب تصميمه بحيث يمر الناتج عبر الجزء الثالث الأوسط من القسم لتجنب التوتر المحتمل في قسم السد. يجب أن يكون القسم مضغوطًا تمامًا. لذلك، يجب فحص السد ضد الفشل عن طريق سحق مادته. إذا تجاوز الضغط الانضغاطي الفعلي الضغط المسموح به، فقد يتم تكسير مادة الهيكل.

While designing the weir section it should be so designed that the resultant should pass through middle 3rd part of the section to avoid the possible tension on the weir section. The section should be totally in compression. So, weir should be checked against the failure by crushing of its material. If the actual compressive stress may exceed the allowable stress, the structure material may get crushed.

- حدد مسافة (س) الناتج S = (كل اللحظات الرأسية على إصبع الهدار – كل اللحظات الأفقية على إصبع القدم) / القوى الرأسية الصغيرة (بدون رفع)

Determine distance (x) of resultant = Σ(all vertical moments over toe – all horizontal moments over toe)/ Σ all vertical forces (without uplift)

$x = (24 + 21 + 18 - 13.4 - 2.8 - 0.00 - 0.00)/[24 + 12 + 18] = 46.8/54 = 0.87$

Q.: Is (x) within the middle $1/3$ of the base of the weir body?

Ans.: Yes as 0.87 is between 0.66 m and 1.33 m

- يُعطى إجهاد التجميع الرأسي عند القاعدة بواسطة

The vertical combine stress at the base is given by:

$\sigma_{Min/max} = \Sigma[1 \pm 6*e/B]$

حيث

e = الانحراف المركزي للقوة الناتجة من مركز القاعدة

$e = (B/2) - x$, $x = \Sigma M/\Sigma V$, e = eccentricity of the resultant force from the centre of the base.

- جد الانحراف المركزي للقوة المحصلة من مركز القاعدة

Find eccentricity of the resultant force from the centre of the base, e = (1/2*bottom width) – x = {(1/2)*2} − 0.87 = 0.13

Bearing pressure on upstream face (T1)تحمل الضغط على وجه المنبع

- T1 = all verticals/[1000*bottom] − all verticals*e/[1/6*1000*(bottom width)^2]
- T1 = 24 + 12 + 18 /[1000*2] − (24 + 12 +18)*0.13/[1/6*1000*(2)^2] = 0.027 − 0.011 = 0.016 N/m^2

Bearing pressure on downstream face, T2تحمل الضغط على وجه المصب

- T2 = all verticals/[1000*bottom] + all verticals*e/[1/6*1000*(bottom width)^2]
- T2 = 24 + 12 + 18/[1000*2] + (24 + 12 + 18)*0.13/[1/6*1000*(2)^2] = 0.027 + 0.011 = 0.038 N/m^2
- Allowable: Sandy gravels t < 1.00 N/m^2

Q. Acceptable?

A. Yes since 0.038 is less than 1

5) انزلاق Sliding

يحدث الانزلاق عندما تتجاوز القوة الأفقية الصافية فوق أي مستوى في السد أو عند قاعدة السد مقاومة الاحتكاك المطورة عند هذا المستوى.

Sliding will occur when the net horizontal force above any plane in the weir or at the base of the weir exceed the frictional resistance developed at that level.

يُقاس عامل الأمان ضد الانزلاق كعامل استقرار القص

Factor of safety against the sliding is measured as **Shear Stability Factor** (**SSF**) and is given by:**SSF**= $(\mu \times \Sigma V + Bq)/\Sigma H$

Where, μ = Coefficient of friction; q = Average shear strength of the joint. For safety against sliding, SSF should be greater than 3.5. To increase the value of SSF, attempts are always made to increase the magnitude of q, which is achieved by providing the stepped foundation, ensuring the better bond between the dam base and rock foundation etc.

Sandy gravels:حصى ساندي

- النسبة = جميع الأعمدة ناقص الارتفاع * ظل زاوية الاحتكاك الداخلي / جميع القوى الأفقية

  Ratio = all verticals minus uplift*tangent of angle of internal friction/All horizontal forces

  - Ratio = $(18 + 21.1 + 8.4 - 20-0.00)*\tan 35^{\circ}/[20 + 5.63 + 0.00 + 0.00] = 19.2/25.6 = 0.75$
  - Allowable : sandy gravels ratio > 1.3

Q .Acceptable?

A. No.

- The weir is not safe against sliding effect hence a key is required

السد ليس آمنًا ضد تأثير الانزلاق وبالتالي يلزم وجود مفتاح

Method 2 الطريقة الثانية

Sandy gravels حصى ساندي

- Ratio = All horizontal forces / All verticals forces minus uplift = $20+5.03+\ 0.00+0.00\ /[24+12+18-20-0.00\ 34\ ] = 25 = 0.73$

  النسبة = جميع القوى الأفقية / جميع القوى الرأسية مطروحًا منها الرفع
- Allowable: Sandy gravels/coarse sand ratio < 0.4

Q. acceptable?

A. No

- As the weir is not safe against the sliding effect a key trench is required since the ratio is greater than 0.73.

نظرًا لأن السد ليس آمنًا ضد تأثير الانزلاق، يلزم وجود خندق رئيسي نظرًا لأن النسبة أكبر من 0.73.

- Horizontal force (F) in key trench is: F= (all vertical minus uplift forces)*ratio – all horizontal forces: F = $(24+12+18-20-0.00)*0.4 - (20+5.03+\ 0.00+0.00\ ) = 13.6 -25.0 = -\ 11.4$ KN/m
- The key trench width (W) should be:

Permissible shear stress (q) in key (mass concrete mix $1:2:4$) is 0.25 N/m^2

q = (required horizontal force)*load factor/1000*required trench width

$0.25 = (11.4*\ 10^3)*1.7/1000*w$

- The load factor is a safety factor taken for the impact of forces. It is taken as 1.7

W = 77.52 mm = 0.08 m

The key trench depth (D) will be

F = 1/2*T permissible compressive stress*D*1000

$11.4*10^3$ = 1/2*0.25*D*1000

D = 91.2 mm = 0.091 m

(Gravel : horizontal compressive stress = 0.25 N/mm^2)

(Sand : horizontal compressive stress = 0.10 N/mm^2)

- It can be concluded that only a small key is required to overcome the sliding tendency

يمكن الاستنتاج أنه لا يلزم سوى مفتاح صغير للتغلب على الاتجاه المنزلق

6) الإجهاد في الخرسانة Stresses in concrete

- Load factor = 1.7 عامل التحميل

A. compression ضغط

- t = ([all vertical forces−uplift forces]/[1000*bottom width] + [all verticals − uplift forces *e]/[1/6*1000*(bottom width)^2])*load factor
- t = ([24+12+18−20−0.00[/[1000*2] + ([24+12+18−20−0.00]/[1/6*1000*$(2)^2$])*0.13))*1.7
- t = ([34/1000*2] + [4.42]/ Σ 1/6*1000*$(2)^2$)*1.7 = (0.017 + 0.066)*1.7 = 0.14 N/m^2

B. Tensile

- t = (all vertical forces−uplift forces/[1000*bottom width] − all verticals − uplift forces*e/[1/6*1000*(bottom width)^2])*load factor

- t = ([24+12+18−20−0.00]/[1000*2] − ([24+12+18−20−0.00]/[1/6 *1000*$(2)^2$]) * 0.13))*1.7
- t = (34/[1000*2] − 4.42/[1/6*1000*$(2)^2$])*1.7 = $(0.017 - 0.066)*1.7 = -0.083$ N/m^2

Nominal mix $1:2:3$ permissible is 1.00 N/m^2 so tensile stress is within limit

Nominal mix $1:2:4$ permissible is 0.50 N/m^2 so tensile stress is within limit

Nominal mix $1:2.5:5$ permissible is 0.35 N/m^2 so tensile stress is within limit

C. Shear القص

- T = all horizontal forces* Load factor/1000*bottom width
- t = (20+5.03+ 0.00+0.00)*Load factor/$(1000*2)$ = $(25.03/2000)*1.7 = 0.021$ N/m^2

Nominal mix $1:2:3$ permissible is 0.05 N/m^2 so tensile stress is within limit

Nominal mix $1:2:4$ permissible is 0.25 N/m^2 so tensile stress is within limit

Nominal mix $1:2.5:5$ permissible is 0.17 N/m^2 so tensile stress is within limit

- The pipe diameter at the intake chamber is 400 mm for the intake pipes and 150 mm for the scour pipe.

This size of pipe is believed to convey the required discharge to the farmers.

- A silt gate is also provided to ensure that the amount of silt deposited upstream of the weir is minimal.
- A concrete mix of 1:2:4 should be used since it's within limits of compression and tensile stresses.
- Steel reinforcement bars of diameter 16mm are used and spaced at 200mm centre to centre and are put in both directions.
- A screen is provided at the intake chamber entrance to filter off any unwanted material that the water may be carrying.

حساب الكميات Bill of quantities

Volume of the intakeحجم المدخول

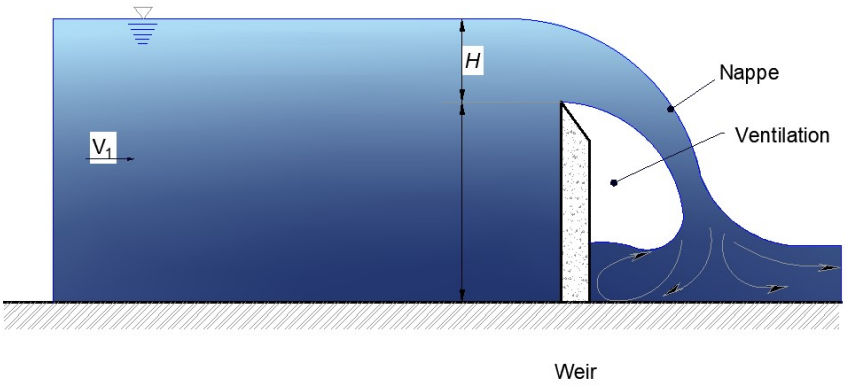
- Weir body = $(1/2)*1*(0.5 + 2)*22 + 0.5*2 = 28.8$ m^3 جسم السد
- Upper apron = $2*0.2*22 = 8.8$ m^3 المئزر العلوي
- Lower apron = $3.5*0.2*22 = 15.4$ m^3 المئزر السفلي
- Wing walls = $(2*8.5*0.3*2) + (4*0.2*0.2*2) = 10.52$ m^3 جدران الجناح
- Keys = $0.08*0.091*22*3 = 0.48$ m^3 المفاتيح
- Inlet chamber = $0.8*0.2*2*3 + 0.2*2*0.2 = 1.04$ m^3 حجرة الدخول
- Inlet chamber cover = $0.5*0.5*0.1 = 0.025$ m^3 غطاء غرفة المدخل

- Total volume ≈ 65 m^3 الحجم الإجمالي
- Concrete mix is 1:2:4 الخلطة الخرسانية
- Unit weight of concrete is 24KN/m^2 and 10 N make 1 Kg
- Hence total weight of concrete used is = 65*24*10^3/10 = 156,000 Kg الوزن الإجمالي للخرسانة المستخدمة
- Cement = 1/7*156,000 = 22,286 Kg/50 = 446 bags الأسمنت
- Sand = 2/7*65 = 18.6 m^3 الرمال
- Ballast = 4/7*65 = 37.2 m^3 الصابورة

Bill of quantities (BoQs) (BoQs) حساب الكميات

#	Description	Unit	Quantity	Unit cost (Kshs)	Total cost (Kshs)
1	Cement	Bags	450	1,250	562,500
2	Sand	m^3	18.6	2,800	52,080
3	Ballast	m^3	37.2	4,500	167,400
4	GI pipes				
	400 mm diameter	No.	2	50,000	100,000
	150 mm diameter	No.	1	25,000	25,000

5	Reinforcement bars				
	Y10	6 m	300	1,000	300,000
	Y16	6 m	150	2,500	375,000
6	Binding wires	Kg	200	300	60,000
7	Screens (0.5 m by 0.5 m)				
	Fine screen	No.	1	2,500	2,500
	Coarse screen	No.	1	2,000	2,000
8	Labour	Days	60	1,500	90,000
9	Contingencies	Kshs.	–	30,000	30,000
10	**Total cost**				**1,786,480**



شكل (3-21): الدفق خلال الهدار

3-4-1-9) الهدار الواسع القمة Broad crested weir

الهدار، الذي يعتبر السد العادي مثالاً عليه، هو عائق لمجرى يجب أن ينحرف عنه التدفق. بالنسبة إلى الأشكال الهندسية البسيطة، يرتبط تدفق القناة Q بالانسياب الحر تحت الجاذبية وبارتفاع الانسداد H الذي يدعم تدفق المنبع أعلى ارتفاع الهدار.

وبالتالي فإن الهدار هو مقياس تدفق بسيط ولكنه فعال ذو قناة مكشوفة. يوضح الشكل (3–15) اثنين من الهدارات التقليدية، هدار قمة حادة sharp–crested وهدار قمة عريضة broad–crested. في كلتا الحالتين، يكون التدفق في الاتجاه الأعلى دون الحرج، ويتسارع إلى الحرج بالقرب من الجزء العلوي من الهدار، ويفيض إلى قيلولة nappe فوق الحرج. لكل من الهدارين، يتناسب التفريغ q لكل وحدة عرض مع $\sqrt{gH^3}$ ولكن مع معاملات مختلفة نوعًا ما من Cd.

مثال (3-5): هدار عريض المتوج

جد معدل الدفق عبر هدار عريض المتوج عند ارتفاعه مقدار 0.9 متر فوق قاع مجرى أفقي عندما يكون فقد السمت 0.9 متر أعلى القمة أو تاج الهدار.

الحل:

1) المعطيات: ارتفاع الهدار العريض المتوج = 0.9 متر، فقد السمت = 0.9 متر
2) المطلوب: معدل الدفق عبر الهدار العريض المتوج
3) استخدم المعادلة

$$Q = L\sqrt{g}\left(\frac{2}{3}\right)^{3/2} E^{3/2}$$

4) جد الدفق من المعادلة بإدخال البيانات المعطاة

$$Q = L\sqrt{g}\left(\frac{2}{3}\right)^{3/2} E^{3/2} = L\sqrt{9.81}\left(\frac{2}{3}\right)^{3/2}\left(0.9 + \frac{v_0^2}{2g}\right)^{3/2}$$

$$\frac{Q}{L} = q = 1.705 * \left(0.9 + \frac{v_0^2}{2 * 9.81}\right)^{3/2}$$

5) بما أن v_o*1.2 = q أو v_o = q/1.2 من ثم تصبح معادلة الدفق لكل وحدة عرض

$$q = 1.705 * \left(0.9 + \frac{q^2}{2.88 * 9.81}\right)^{3/2}$$

ومنها عن طريقة محاولة الخطأ والتكرار يمكن إيجاد معدل الدفق لكل وحدة عرض

$q=1.715\ m^3/s/m$

برنامج (3-5): هدار عريض المتوج

```
import javax.swing.*;
import javax.swing.border.Border;
import javax.swing.event.DocumentEvent;
import javax.swing.event.DocumentListener;
import javax.swing.text.BadLocationException;
import javax.swing.text.Document;
import java.awt.*;

public class Example_3_5 extends JPanel {
    public static final String TITLE = "مثال 5-3";
    public static final String EMPTY_RESULT_TEXT = "<html><b>( قم بإدخال المعطيات
لیتم حساب النتیجة)</b><br/><br/></html>";
    private float Hl, h;

    JFormattedTextField[] textFields = {
            new JFormattedTextField(), new JFormattedTextField(),
    };

    JLabel[] labels = {
            new JLabel("ارتفاع الهدار (متر):", JLabel.RIGHT),
            new JLabel("فقد السمت أعلى القمة (متر):", JLabel.RIGHT),
    };

    JLabel resultLabel = new JLabel(EMPTY_RESULT_TEXT, JLabel.RIGHT);

    DocumentListener textFieldDocListener = new DocumentListener() {

        public void changedUpdate(DocumentEvent e) { calc(e); }

        public void removeUpdate(DocumentEvent e) { calc(e); }

        public void insertUpdate(DocumentEvent e) { calc(e); }

        public void calc(DocumentEvent e) {
            try {
                Document document = e.getDocument();
```

```
                Object owner = document.getProperty("owner");
                String s = document.getText(0,
e.getDocument().getLength());
                float val = Float.parseFloat(s);

                if (owner == textFields[0]) {
                    h = val;
                } else if (owner == textFields[1]) {
                    Hl = val;
                }
            } catch (BadLocationException | NumberFormatException ex) {
                resultLabel.setText(EMPTY_RESULT_TEXT);
                return;
            }

            if(h == 0 || Hl == 0) {
                resultLabel.setText(EMPTY_RESULT_TEXT);
                return;
            }

            double g32 = Math.sqrt(9.81) * Math.pow(((double) 2 / 3),
((double) 3 / 2));
            double dividend = 2.88 * 9.81;
            double i;

            for(i = 0.001; i < 10.000; i += 0.001) {
                double rhs = g32 * Math.pow((h + ((i * i) / dividend)),
((double) 3 / 2));

                if(rhs >= (i - 0.001) && rhs <= (i + 0.001)) {
                    break;
                }
            }

            if(i < 10.000) {
                String fmtfloat2 = "<b>%.2f</b>";
                String format = "<html>معدل الدفق لكل وحدة عرض = " + fmtfloat2 +
" متر مكعب/ثانية/متر<br/>" +
                        "<br/></html>";
                resultLabel.setText(String.format(format, i));
            } else {
                resultLabel.setText("<html>تعذر حساب معدل الدفق</html>");
            }
        }
    };

    public Example_3_5() {
        super(new BorderLayout());

        JPanel topPane = new JPanel(new GridLayout(0,1));
        JPanel centerPane = new JPanel(new GridLayout(0,2));
        JPanel bottomPane = new JPanel(new GridLayout(0,1));
        JPanel labelsPane = new JPanel(new GridLayout(0,1));
        JPanel textFieldsPane = new JPanel(new GridLayout(0,1));

        Border border = BorderFactory.createEmptyBorder(10, 10, 10, 10);
```

```
        Border border2 = BorderFactory.createEtchedBorder();
        topPane.setBorder(border);
        bottomPane.setBorder(border);
        labelsPane.setBorder(border);
        textFieldsPane.setBorder(border);
        centerPane.setBorder(border2);
        setBorder(border);

        topPane.add(new JLabel("<html>هذا المثال يستخدم المعادلة: <b>Q = L * Sqrt(g)
* (2/3) ^ 3/2 * E ^ 3/2</b></html>", JLabel.RIGHT));

        for(int i = 0; i < textFields.length; i++) {
            textFields[i].setColumns(10);
            labelsPane.add(labels[i]);
            textFieldsPane.add(textFields[i]);
            Document document = textFields[i].getDocument();
            document.addDocumentListener(textFieldDocListener);
            document.putProperty("owner", textFields[i]);
        }

        centerPane.add(textFieldsPane, BorderLayout.CENTER);
        centerPane.add(labelsPane, BorderLayout.LINE_END);
        bottomPane.add(resultLabel);
        add(topPane, BorderLayout.NORTH);
        add(centerPane, BorderLayout.CENTER);
        add(bottomPane, BorderLayout.SOUTH);
    }

    public static void main(String[] args) {
        try {
            UIManager.setLookAndFeel(
                    UIManager.getSystemLookAndFeelClassName());
        } catch (IllegalAccessException | InstantiationException |
                 UnsupportedLookAndFeelException | ClassNotFoundException
e) {
            e.printStackTrace();
        }

        SwingUtilities.invokeLater(() -> {
            JFrame frame = new JFrame(TITLE);
            frame.setDefaultCloseOperation(JFrame.EXIT_ON_CLOSE);
            frame.setResizable(false);
            frame.add(new Example_3_5());
            frame.pack();
            frame.setLocationRelativeTo(null);
            frame.setVisible(true);
        });
    }
}
```

مثال (3-6): هدار عريض المتوج

جد ارتفاع الماء أعلى التيار لهدار عريض المتوج ارتفاعه 0.4 متر في مجرى عرضه 1.8 متر لدفق مقداره 0.54 متر مكعب/الثانية.

الحل:

1) المعطيات: ارتفاع الهدار العريض المتوج = 0.4 م، عرض المجرى = 1.8 متر، معدل الدفق = 0.54 $م^3$/ث
2) المطلوب: ارتفاع الماء أعلى التيار لهدار عريض المتوج
3) جد معدل الدفق لكل وحدة عرض q

$q = 0.54/1.8 = 0.3\ m^3/s/m$

4) جد

$$y_2 = y_c = \left(\frac{q^2}{g}\right)^{1/3} = \left(\frac{0.3^2}{9.81}\right)^{1/3} = 0.209\ m$$

5) جد السرعة

$$v_2 = \frac{q}{y_2} = \frac{0.3}{0.209} = 1{,}433\ m/s$$

6) جد قيمة y_o

$$y_o + \frac{v_o^2}{2g} = 0.4 + 0.209 + \frac{1.433^2}{2g}$$

7) ومنها يمكن إيجاد علاقة السرعة والارتفاع $v_o = 0.3/y_o$
8) من ثم

$$y_o + \frac{1}{(218y_o^2)} = 0.714$$

9) عبر المحاولة والتكرار يمكن إيجاد قيمة $y_o = 0.705$ m

3-4-1-10) هدار سيبوليتي Cipolletti weir

هذا هو الهدار شبه المنحرف مع 14 درجة من المنحدرات الجانبية (1 أفقي: 4 عمودي). يمكن حساب التفريغ فوق هذا الهدار باستخدام الصيغة الخاصة بهدار مستطيل مكبوت

suppressed rectangular weir (بدون انقباضات نهائية no end contractions) بعرض عتبة sill متساوٍ. يمكن اعتبار الشق شبه المنحرف trapezoidal notch على أنه شق مستطيل واحد بعرض b واثنين من نصف الشقوق على شكل حرفV half V–notches (زاوية القمة 2 / q apex angle).

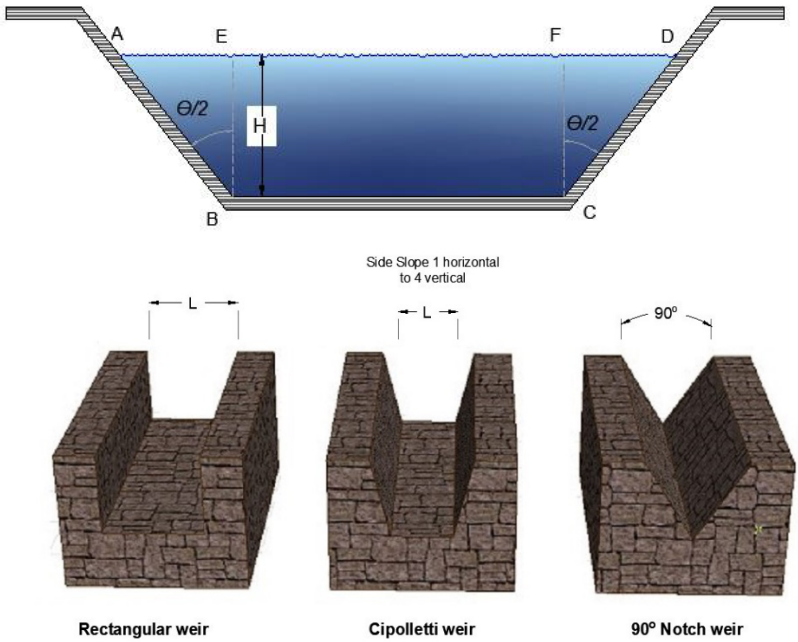
هدار سيبوليتي (شبه منحرف) Cipolletti (Trapezoidal) weir

- يشبه الهدار المستطيل، فيما عدا أن الجوانب مائلة.
- أقل دقة من الهدارات المستطيلة وهدارات v–notch، ولكنها أكثر ثباتًا.
- معادلة هدار Cipolletti Weir للتصريف:

$$Q = 3.367 * b * h^{3/2} \qquad (3.9)$$

حيث:

b = عرض القاع المقاس



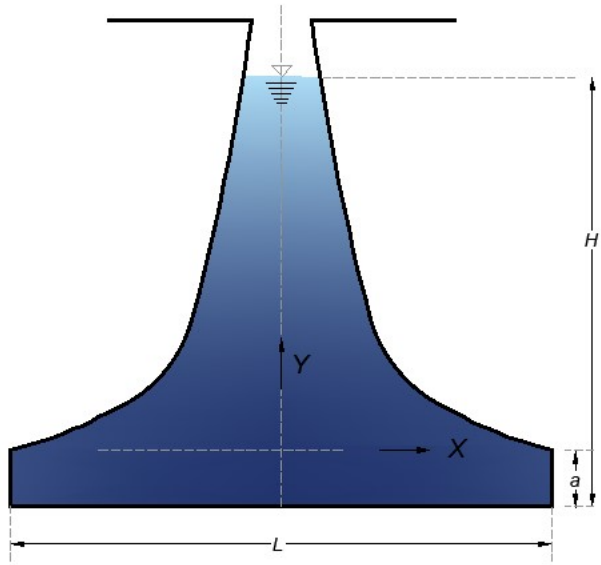
شكل (3–22): هدار سيبوليتي

الهدار النسبي أو السوترو Proportional or Sutro weir

بصورة عامة، يمكن التعبير عن الدفق خلال أي نوع من أنواع الهدارات كما في المعادلة 3-10.

$$Q \propto H^n \qquad (3.10)$$

بالنسبة لهدار فيه قيمة n تساوي الوحدة، أي أن التدفق يتناسب مع فقد السمت فوق قمة الهدار weir crest فيسمى الهدار proportional weir هداراً نسبياً.



شكل (3-23): الهدار النسبي سيبوليتي

3-4-1-11) الهدارات حادة القمة وغير حادة القمة Sharp-crested, not sharp-crested weirs

الهدارات ذات الزاوية أو الحافة الحادة أعلى التيار، والتي تكونت بحيث أن الماء ينبوع خالٍ من القمة crest، يسمى بالهدار ذو القمة الحادة sharp–crested weir. يتم تصنيف جميع الهدارات الأخرى، بسبب عدم وجود مصطلح أفضل، على أنها هدارات غير ذات قمم حادة أو مستديرة القمة not sharp–crested, or round–crested, weirs.

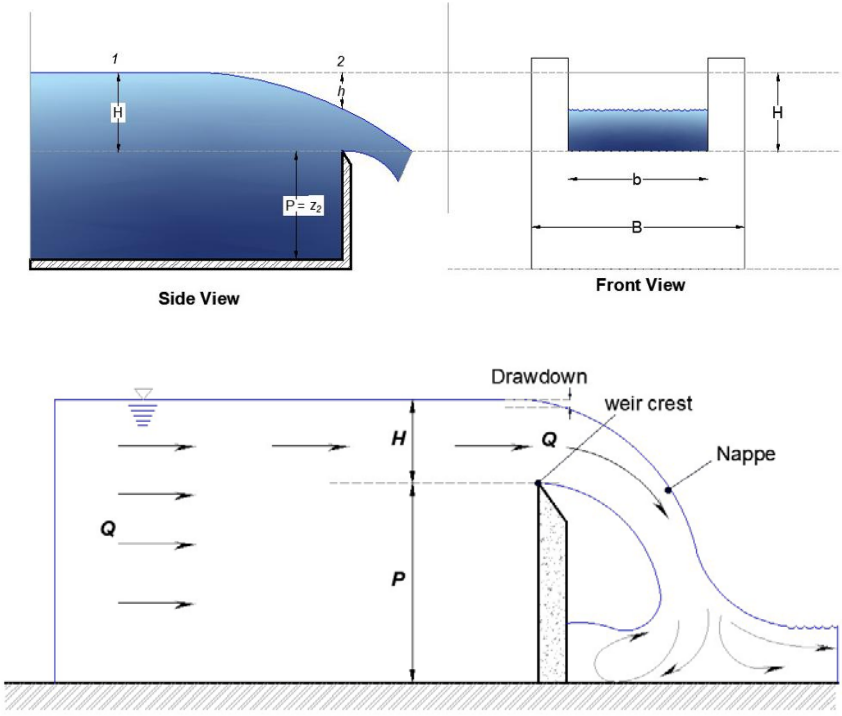
عادةً يتم دمج الهدارات غير الحادة not sharp–crested في المنشآت الهيدروليكية، وعلى الرغم من أنها تستخدم أحيانًا لقياس التدفق، إلا أن هذه تكون وظيفةً ثانويةً عادة. تُصنع الهدارات الحادة sharp–crested weirs عادةً عن طريق تشكيل زاوية 90 درجة على الحافة الداخلية للقمة. الهدارات ذات القمة الحادة مفيدة فقط كوسيلة لقياس المياه المتدفقة.

3-4-1-12) الهدارات حادة القمة Sharp crested weirs

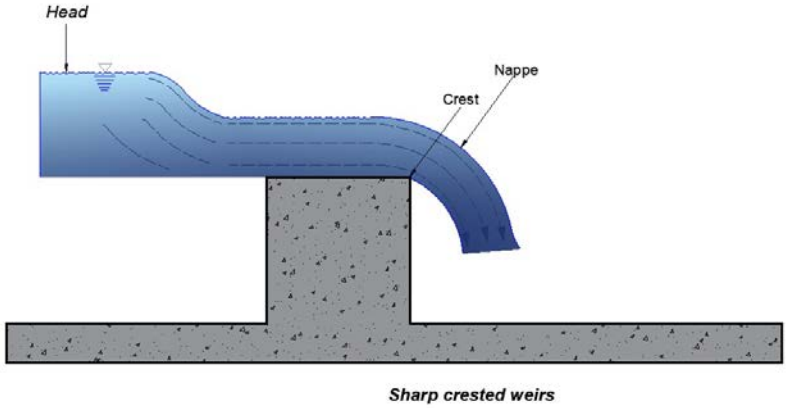
هذه الهدارات لديها حافة حادة عند القمة أعلى التيار، حيث يسقط الماء بعيدًا عن الهدار. تُستخدم عادةً في الأنهار الصغيرة أو في جلسات المختبر، ويتم تصميمها بألواح رفيعة ناعمة، يمكن أن تكون دقيقة للغاية، +/– 2٪.

توجد ثلاثة أنواع رئيسة من الهدارات الحادة القمة sharp crested weir:

- على شكل حرف V أو مثلث V–notch or triangular
- مستطيلي Rectangular
- شبه منحرف أو سيبوليتي Trapezoidal or Cipolletti



شكل (3-24): الهدار الحاد المتوج



شكل (3-25): الهدار الحاد المتوج

يعتبر الهدار حادًا متوجًا عندما:

$$\frac{y_1}{l} \geq 1.5 \qquad (3.11)$$

حيث:

y_1 = عمق التدفق أعلى التيار فوق الهدار

l = طول الهدار

يمكن استخدام الهدار كمنشأة فحص أو لقياس معدلات التدفق.

إذا استخدمت لقياس معدلات التدفق:

$$Q = \frac{2}{3} C_d \sqrt{2g} b H_1^{3/2} \qquad (3.12)$$

$$C_d = 0.611 + 0.075 \left(\frac{H_1}{P_w}\right) \qquad (3.13)$$

حيث:

H1 = إجمالي الطاقة أعلى التيار من الهدار

يعتبر الهدار مغمورًا إذا

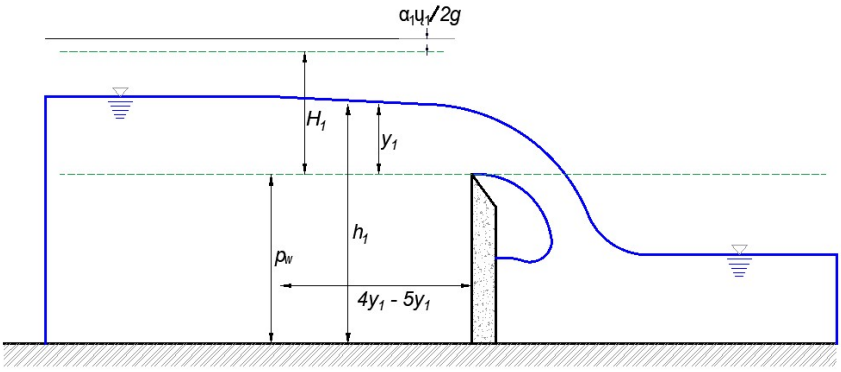
$$S = \frac{y_2}{y_1} \geq 0.15 \qquad (3.14)$$

إذا تم غمر الهدار، يتم ضرب معادلة التصريف بالقيمة f(S)

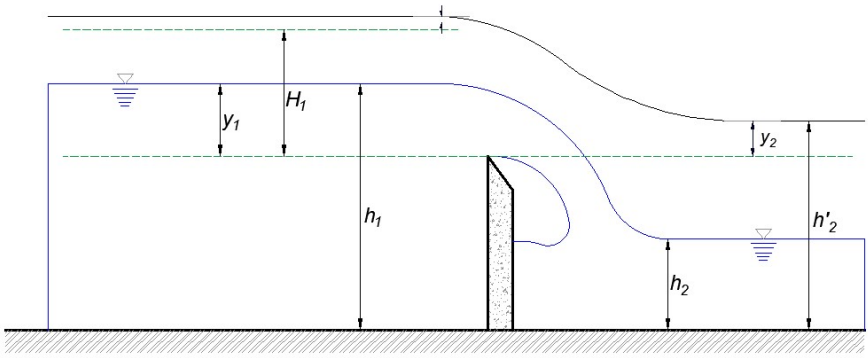
$$f(S) = \left|\left(1 - S^{3/2}\right)\right|^{0.38} \qquad (3.15)$$

قمة حادة Sharp Crested

مثال غير مغمور



مثال مغمور

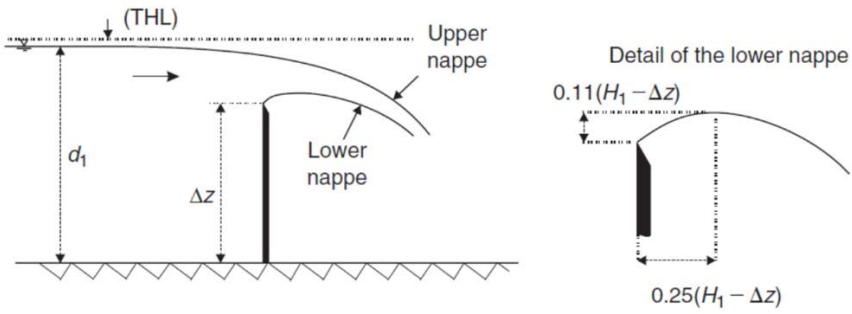


Weir

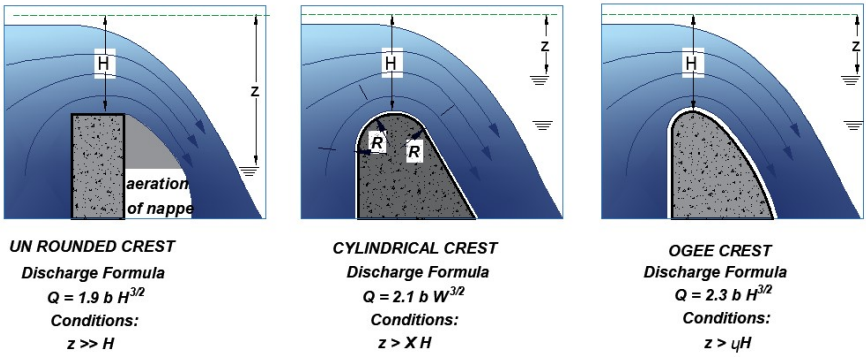
3-4-1-13) الهدار عريض القمة Broad-crested weir

الهدار العريض المستطيل عبارة عن منشأة فائض ذات قمة أفقية، بينما تكون الخطوط الانسيابية مستقيمة ومتوازية. لا توجد أجزاء متحركة على المنشأة. يمكن استخدام الهدار العريض لتنظيم مستوى المياه، ولكن أيضًا من أجل "تنظيم التصريف النسبي". علاوةً على ذلك، يتم تطبيق الهدار العريض في قنوات الري كمنشأة لقياس التصريف في ظل فقد سمت صغير.

يمكن تعريف الهدار ذو القمة العريضة على أنه يحتوي على قمة أفقية أو شبه أفقية طويلة بما فيه الكفاية في اتجاه التدفق بحيث يتم دعم القفازة nappe ويتم تطوير الضغوط الهيدروستاتيكية بالكامل لمسافة قصيرة على الأقل. مجرى الاقتراب channel of approach هو المجرى المؤدي إلى الهدار، والسرعة المتوسطة في هذا المجرى هي سرعة الاقترابvelocity of approach . إذا تم تفريغ القفازة nappe في الهواء، فإن الهدار يكون له تفريغ حر free discharge. إذا كانت التصريفات تحت الماء جزئية، يُقال إن الهدار مغمور submerged أو غرق drowned.



19.5 Sharp-crested weir.

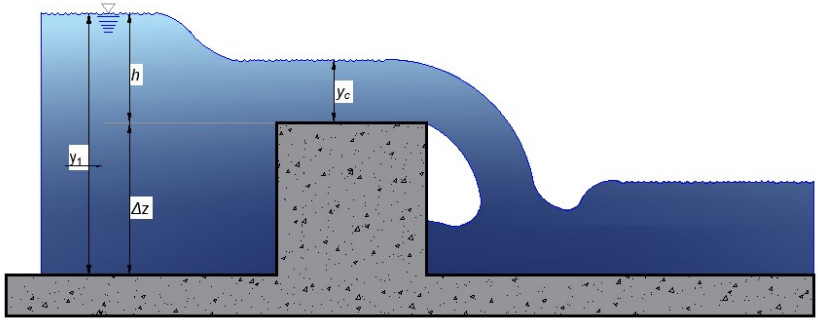


UN ROUNDED CREST
Discharge Formula
$Q = 1.9\ b\ H^{3/2}$
Conditions:
$z >> H$

CYLINDRICAL CREST
Discharge Formula
$Q = 2.1\ b\ W^{3/2}$
Conditions:
$z > X\ H$

OGEE CREST
Discharge Formula
$Q = 2.3\ b\ H^{3/2}$
Conditions:
$z > \psi H$

شكل (3-26): أنواع الهدارات العريضة



شكل (3-27): الأعماق في الهدار العريض

الهدارات العريضة منشآت قوية ذات قمة مسطحة، ويمتد العرض الكامل لها للمجرى المائي. تستخدم عادة للقنوات الكبيرة أو الأنهار مقارنة بالمجاري flumes. بصورة عامة، flumes تنتج مياه مرتدة backwater قليلة نسبياً مقارنة بالهدارات ومن ثم فواقد قليلة في الطاقة. تُستخدم الهدارات بشكل حصري تقريبًا لقياس تصريف المياه، كما وأنها قادرة على العمل بفاعلية مع مستويات أعلى لمياه المصب مقارنة بالهدارات الأخرى. يمكن للحطام العائم floating debris أن يمر عبرها عادة بسلاسة، وهذه تعد ميزة مفيدة في أعمال معالجة مياه الصرف الصحي والمياه العادمة. يمكن كتابة معادلة الهدار في صورة مماثلة لعداد الفنتوري:

$$Q=1.705C_dC_vbh^{1.5} \qquad (3.16)$$

حيث:

C_d = معامل الدفق

C_v = معامل السرعة

مثال (3-7): هدار عريض

حدد التصريف على هدار متعرج حاد sharp crested weir يبلغ طوله 4.5 متر بدون تقلصات جانبيةlateral contractions، بحيث يكون الارتفاع المقاس فوق القمة 0.45 مترًا. عرض قناة الاقتراب approach channel 4.5 م وارتفاع عتبة sill الهدار 1 م.

الحل:

1) المعطيات: طول الهدار = 4.5 متر، الارتفاع المقاس فوق القمة = 0.45 مترًا، عرض قناة الاقتراب = 4.5 م وارتفاع عتبة الهدار = 1 م
2) المطلوب: التصريف
3) استخدم المعادلة

$$Q=1.84\left[b-0.1n\left(H+\frac{\alpha v_a^2}{2g}\right)\right]\left[\left(H+\frac{\alpha v_a^2}{2g}\right)^{3/2}-\left(\frac{\alpha v_a^2}{2g}\right)^{3/2}\right]$$

$$Q=1.84b\left[\left(H+\frac{v_a^2}{2g}\right)^{3/2}-\left(\frac{v_a^2}{2g}\right)^{3/2}\right]$$

بالنسبة لهدار بدون تقلصات جانبية *lateral contractions* أو الهدار المكبوت *suppressed weir* فان قيمة *a* تساوي الوحدة، ومن ثم تضحى معادلة الهدار المكبوت

$$Q=1.84bH^{3/2}$$

بتجاهل سرعة الاقتراب velocity of approrach *كتقريب أولي وتعويض المعطيات*

$$Q = 1.84bH^{3/2} = 1.84 * 4.5 * (0.45)^{3/2} = 2.5\ m^3/s$$

جد سرعة الاقتراب من المعادلة

$$v_a=\frac{2.5}{4.5(1+0.45)}=0.383\ m/s$$

جد الدفق من المعادلة

$$Q = 1.84b\left[\left(H+\frac{v_a^2}{2g}\right)^{3/2}-\left(\frac{v_a^2}{2g}\right)^{3/2}\right]$$
$$= 1.84 * 4.5\left[\left(0.45+\frac{0.383^2}{2g}\right)^{3/2}-\left(\frac{0.383^2}{2g}\right)^{3/2}\right]$$
$$= 2.556\ m^3/s$$

برنامج (3-7): هدار عريض

```
import javax.swing.*;
import javax.swing.border.Border;
import javax.swing.event.DocumentEvent;
import javax.swing.event.DocumentListener;
import javax.swing.text.BadLocationException;
import javax.swing.text.Document;
import java.awt.*;

public class Example_3_7 extends JPanel {
    public static final String TITLE = "7-3 مثال";
    public static final String EMPTY_RESULT_TEXT = "<html><b>( قم بإدخال المعطيات
لتم حساب النتيجة)</b><br/><br/><br/></html>";
```

```
    private float b, H, L, lstep;

    JFormattedTextField[] textFields = {
            new JFormattedTextField(), new JFormattedTextField(),
            new JFormattedTextField(), new JFormattedTextField(),
    };

    JLabel[] labels = {
            new JLabel("طول الهدار (متر):", JLabel.RIGHT),
            new JLabel("الارتفاع المقاس فوق القمة (متر):", JLabel.RIGHT),
            new JLabel("عرض قناة الاقتراب (متر):", JLabel.RIGHT),
            new JLabel("ارتفاع عتبة الهدار (متر):", JLabel.RIGHT),
    };

    JLabel resultLabel = new JLabel(EMPTY_RESULT_TEXT, JLabel.RIGHT);

    DocumentListener textFieldDocListener = new DocumentListener() {

        public void changedUpdate(DocumentEvent e) { calc(e); }

        public void removeUpdate(DocumentEvent e) { calc(e); }

        public void insertUpdate(DocumentEvent e) { calc(e); }

        public void calc(DocumentEvent e) {
            try {
                Document document = e.getDocument();
                Object owner = document.getProperty("owner");
                String s = document.getText(0,
e.getDocument().getLength());
                float val = Float.parseFloat(s);

                if (owner == textFields[0]) {
                    L = val;
                } else if (owner == textFields[1]) {
                    H = val;
                } else if (owner == textFields[2]) {
                    b = val;
                } else if (owner == textFields[3]) {
                    lstep = val;
                }
            } catch (BadLocationException | NumberFormatException ex) {
                resultLabel.setText(EMPTY_RESULT_TEXT);
                return;
            }

            if(L == 0 || H == 0 || b == 0 || lstep == 0) {
                resultLabel.setText(EMPTY_RESULT_TEXT);
                return;
            }

            double Qa = 1.84 * b * Math.pow(H, ((double) 3 / 2));
            double va = Qa / (L * (lstep + H));
            double vg = (va * va) / (2 * 9.81);
            double Q = 1.84 * b * (Math.pow((H + vg), (double) 3 / 2) -
Math.pow(vg, (double) 3 / 2));
```

```
            String fmtfloat2 = "<b>%.2f</b>";
            String format = "<html>بتجاهل سرعة الاقتراب يكون معدل الدفق التقريبي = " +
fmtfloat2 + " متر مكعب/ثانية<br/>" +
                    "سرعة الاقتراب = " + fmtfloat2 + " متر/ثانية<br/>" +
                    "معدل الدفق = " + fmtfloat2 + " متر مكعب/ثانية<br/>" +
                    "</html>";

            resultLabel.setText(String.format(format, Qa, va, Q));
        }
    };

    public Example_3_7() {
        super(new BorderLayout());

        JPanel topPane = new JPanel(new GridLayout(0,1));
        JPanel centerPane = new JPanel(new GridLayout(0,2));
        JPanel bottomPane = new JPanel(new GridLayout(0,1));
        JPanel labelsPane = new JPanel(new GridLayout(0,1));
        JPanel textFieldsPane = new JPanel(new GridLayout(0,1));

        Border border = BorderFactory.createEmptyBorder(10, 10, 10, 10);
        Border border2 = BorderFactory.createEtchedBorder();
        topPane.setBorder(border);
        bottomPane.setBorder(border);
        labelsPane.setBorder(border);
        textFieldsPane.setBorder(border);
        centerPane.setBorder(border2);
        setBorder(border);

        topPane.add(new JLabel("<html>هذا المثال يستخدم المعادلة: <b>Q = 1.84 * b *
[[H + ((va ^ 2) / (2 * g))] ^ 3/2 - [(va ^ 2) / (2 * g)] ^
3/2]</b></html>", JLabel.RIGHT));

        for(int i = 0; i < textFields.length; i++) {
            textFields[i].setColumns(10);
            labelsPane.add(labels[i]);
            textFieldsPane.add(textFields[i]);
            Document document = textFields[i].getDocument();
            document.addDocumentListener(textFieldDocListener);
            document.putProperty("owner", textFields[i]);
        }

        centerPane.add(textFieldsPane, BorderLayout.CENTER);
        centerPane.add(labelsPane, BorderLayout.LINE_END);
        bottomPane.add(resultLabel);
        add(topPane, BorderLayout.NORTH);
        add(centerPane, BorderLayout.CENTER);
        add(bottomPane, BorderLayout.SOUTH);
    }

    public static void main(String[] args) {
        try {
            UIManager.setLookAndFeel(
                    UIManager.getSystemLookAndFeelClassName());
        } catch (IllegalAccessException | InstantiationException |
```

```
                UnsupportedLookAndFeelException | ClassNotFoundException
e) {
            e.printStackTrace();
        }

        SwingUtilities.invokeLater(() -> {
            JFrame frame = new JFrame(TITLE);
            frame.setDefaultCloseOperation(JFrame.EXIT_ON_CLOSE);
            frame.setResizable(false);
            frame.add(new Example_3_7());
            frame.pack();
            frame.setLocationRelativeTo(null);
            frame.setVisible(true);
        });
    }
}
```

3-4-1-14) الهدارات طويلة المتوج Long-crested weirs

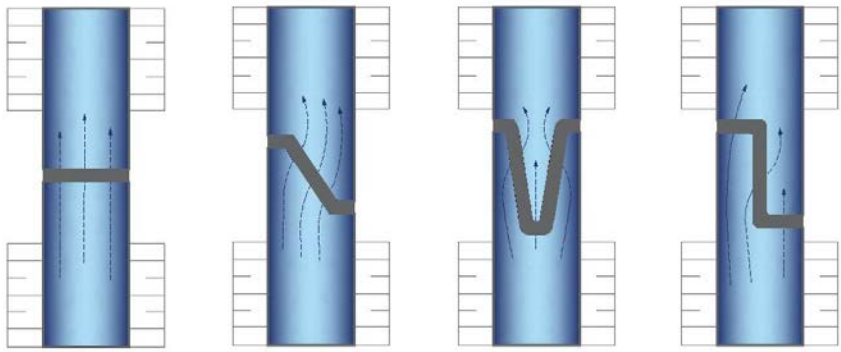
الهدارات طويلة القمة (أو المتوج) Long–crested weirs عبارة عن منظمات سلبية passive regulators، ويتم تطبيقها بشكل متكرر للتحكم في مستوى المياه في منشآت تحويل الفيضانات وفي الري. يحافظ الهدار ذو القمة الطويلة على مستوى المياه ضمن حدود ضيقة معينة.

تم تطوير الهدارات طويلة القمة إلى أنواع مختلفة، لتتناسب مع طول الهدار وعرض القناة canal:

- الهدار القُطْرِي diagonal weir، الذي له زاوية "a " أكبر من 0^o مع المقطع العرضي،
- هدار منقار البط duckbill weir أو حدوة الحصان horse–shoe weir، والذي له شكل U وله زاوية "a " تزيد عن 45 درجة،
- Z weir، وهو مزيج من الهدار العادي والهدار بزاوية "a" مع المقطع العرضي بمقدار 90 درجة.

من بين هذه الأنواع، يعد هدار منقار البط هو الأكثر استخدامًا لأنه يوفر تصريفًا مثاليًا فيما يتعلق بكمية أعمال البناء amount of construction works . يعد توفير البوابة

gate مفيدًا في المنشآت الأكبر حجمًا لتمكين إخلاء المنطقة أعلى التيار upstream reach.



شكل (3–28): أنواع الهدار طويل القمة

مثال (3-8): حساب التصريف باستخدام هدار عريض الذروة broad-crested weir

استخدم الهدار العريض لقياس التصريف في المجرى. إذا كان الهدار بطول 2 متر والارتفاع على القمة 0.35 متر، احسب التصريف.

$Q = 1.6*L*H^{3/2}$

الحل:

1) المعطيات: طول الهدار = 2 متر، الارتفاع على القمة = 0.35 متر
2) المطلوب: حساب التصريف
3) الدفق فوق الهدار عريض الذروة يمكن تقديره من المعادلة

$$Q=1.6LH^{3/2}=1.6*2*0.35^{\frac{3}{2}}=0.66\ m^3/s$$

برنامج (3-8): حساب التصريف باستخدام هدار عريض الذروة

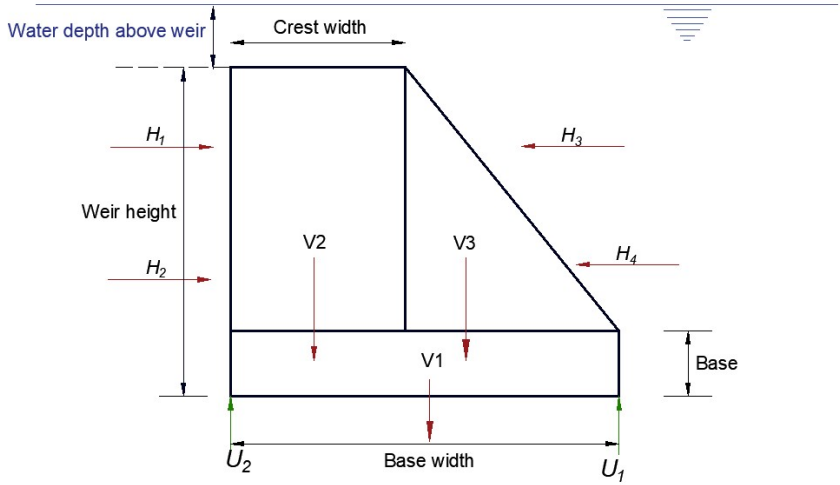
```
import javax.swing.*;
import javax.swing.border.Border;
import javax.swing.event.DocumentEvent;
```

```
import javax.swing.event.DocumentListener;
import javax.swing.text.BadLocationException;
import javax.swing.text.Document;
import java.awt.*;

public class Example_3_8 extends JPanel {
    public static final String TITLE = "مثال 3-8";
    public static final String EMPTY_RESULT_TEXT = "<html><b>( قم بإدخال المعطيات
ليتم حساب النتيجة)</b><br/><br/></html>";
    private float H, L;

    JFormattedTextField[] textFields = {
            new JFormattedTextField(), new JFormattedTextField(),
    };

    JLabel[] labels = {
            new JLabel("طول الهدار (متر):", JLabel.RIGHT),
            new JLabel("الارتفاع المقاس فوق القمة (متر):", JLabel.RIGHT),
    };

    JLabel resultLabel = new JLabel(EMPTY_RESULT_TEXT, JLabel.RIGHT);

    DocumentListener textFieldDocListener = new DocumentListener() {

        public void changedUpdate(DocumentEvent e) { calc(e); }

        public void removeUpdate(DocumentEvent e) { calc(e); }

        public void insertUpdate(DocumentEvent e) { calc(e); }

        public void calc(DocumentEvent e) {
            try {
                Document document = e.getDocument();
                Object owner = document.getProperty("owner");
                String s = document.getText(0,
e.getDocument().getLength());
                float val = Float.parseFloat(s);

                if (owner == textFields[0]) {
                    L = val;
                } else if (owner == textFields[1]) {
                    H = val;
                }
            } catch (BadLocationException | NumberFormatException ex) {
                resultLabel.setText(EMPTY_RESULT_TEXT);
                return;
            }

            if(L == 0 || H == 0) {
                resultLabel.setText(EMPTY_RESULT_TEXT);
                return;
            }

            double Q = 1.6 * L * Math.pow(H, ((double) 3 / 2));

            String fmtfloat2 = "<b>%.2f</b>";
```

```
            String format = "<html>معدل الدفق = " + fmtfloat2 + " متر
مكعب/ثانية<br/>" +
                    "<br/></html>";

            resultLabel.setText(String.format(format, Q));
        }
    };

    public Example_3_8() {
        super(new BorderLayout());

        JPanel topPane = new JPanel(new GridLayout(0,1));
        JPanel centerPane = new JPanel(new GridLayout(0,2));
        JPanel bottomPane = new JPanel(new GridLayout(0,1));
        JPanel labelsPane = new JPanel(new GridLayout(0,1));
        JPanel textFieldsPane = new JPanel(new GridLayout(0,1));

        Border border = BorderFactory.createEmptyBorder(10, 10, 10, 10);
        Border border2 = BorderFactory.createEtchedBorder();
        topPane.setBorder(border);
        bottomPane.setBorder(border);
        labelsPane.setBorder(border);
        textFieldsPane.setBorder(border);
        centerPane.setBorder(border2);
        setBorder(border);

        topPane.add(new JLabel("<html>هذا المثال يستخدم المعادلة: <b>Q = 1.6 * L * H
^ 3/2</b></html>", JLabel.RIGHT));

        for(int i = 0; i < textFields.length; i++) {
            textFields[i].setColumns(10);
            labelsPane.add(labels[i]);
            textFieldsPane.add(textFields[i]);
            Document document = textFields[i].getDocument();
            document.addDocumentListener(textFieldDocListener);
            document.putProperty("owner", textFields[i]);
        }

        centerPane.add(textFieldsPane, BorderLayout.CENTER);
        centerPane.add(labelsPane, BorderLayout.LINE_END);
        bottomPane.add(resultLabel);
        add(topPane, BorderLayout.NORTH);
        add(centerPane, BorderLayout.CENTER);
        add(bottomPane, BorderLayout.SOUTH);
    }

    public static void main(String[] args) {
        try {
            UIManager.setLookAndFeel(
                    UIManager.getSystemLookAndFeelClassName());
        } catch (IllegalAccessException | InstantiationException |
                 UnsupportedLookAndFeelException | ClassNotFoundException
e) {
            e.printStackTrace();
        }
```

```
        SwingUtilities.invokeLater(() -> {
            JFrame frame = new JFrame(TITLE);
            frame.setDefaultCloseOperation(JFrame.EXIT_ON_CLOSE);
            frame.setResizable(false);
            frame.add(new Example_3_8());
            frame.pack();
            frame.setLocationRelativeTo(null);
            frame.setVisible(true);
        });
    }
}
```

3-4-1-15) القوى الرئيسية التي تعمل على الهدار عند التشغيل Main forces acting on the weir when on operation



شكل (3-29): القوى الرئيسية التي تعمل على الهدار عند التشغيل

3-4-2) النتوءات والشقوق والأقواس Notch

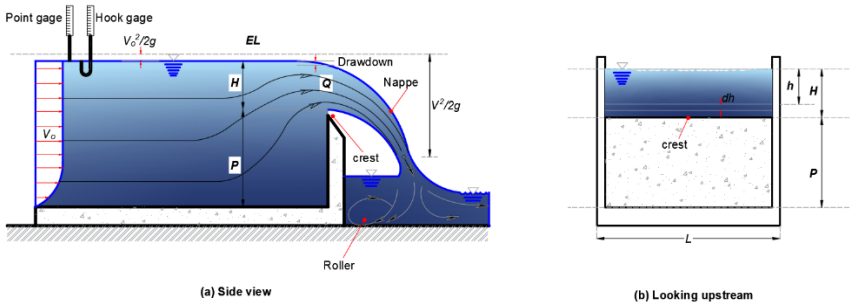
يمكن تعريف الشق Notch على أنه فتحة في جانب الخزان أو الوعاء، بحيث يكون سطح السائل في الخزان أسفل الحافة العلوية للفتحة.يمكن اعتبار الشق على أنه فتحة orifice يكون سطح الماء أسفل حافتها العلوية، وتصنع بشكل عام من صفيحة معدنية، وتستخدم لقياس معدل تدفق السائل عبر مجرى صغير من الخزان. وعليه يمكن تعريف الهدار على أنه أي عائق منتظم في مجرى مفتوح يحدث التدفق عليه، ويُصنع من الطوب أو الخرسانة.

حالة التدفق، بالنسبة للهدار، هي عملياً نفس حالة الشق المستطيل rectangular notch. ومما يلاحظ أن الاختلاف الرئيس بين الشق والهدار هو أن الشق أصغر في الحجم مقارنة بالهدار. أما المُقَيِّل Nappe فهو عبارة عن صفيحة الماء المتدفقة من خلال شق أو فوق الهدار. يُعرف الجزء العلوي من الهدار الذي يتدفق فوقه الماء باسم العتبة sill أو القمة crest.

3-4-2-1) تصنيف النتوءات والشقوق والهدارات CLASSIFICATION OF NOTCHES/WEIRS

تصنيف الشقوق Classification of Notches

- الشق المستطيل Rectangular notch
- الشق المثلث Triangular notch
- الشق شبه المنحرف Trapezoidal Notch
- الشق المتدرج Stepped notch



شكل (3−30): التدفق فوق الشق/الهدار المستطيل

3-4-2-2) الدفق خلال الشق/الهدار المستطيل

- افترض وجود شق مستطيل أو هدار في القناة التي تحمل الماء كما هو موضح في الشكل (3−30).
- بإهمال سرعة الاقتراب فان السرعة النظرية للشريط = $\sqrt{2gh}$

- الدفق المار عبر الشرائط = المساحة*السرعة
- من ثم فان الدفق فوق الشق المستطيل / الهدار أو تصريف الشريط

$$dQ = L * dh\sqrt{2gh} \qquad (3.17)$$

من أجل الحصول على التدفق على كامل المنطقة، يجب تكامل المعادلة 3-17 من h = 0 إلى h = H، لتنتج المعادلة 3-18.

$$Q_{act} = C_d \frac{2}{3}\sqrt{2g}LH^{3/2} \qquad (3.18)$$

حيث:

H = ارتفاع الماء فوق قمة الشق/الهدار

P = ارتفاع الشق/الهدار

L = طول الشق/الهدار

dh = ارتفاع الشريط strip

h = ارتفاع السائل فوق الشريط

L(dh) = مساحة الشريط

V_o = سرعة الاقتراب

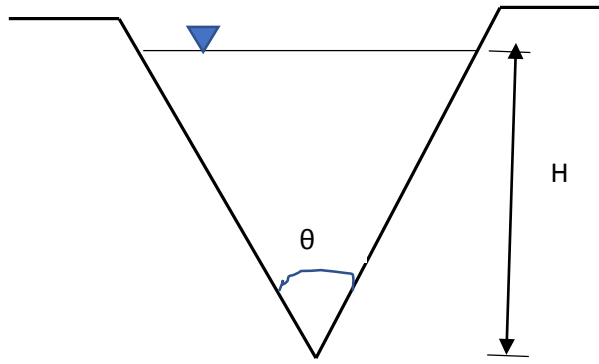
Q_{act} = التدفق على كامل المنطقة

Cd = معامل التفريغ

ملاحظة: التعبير عن التفريغ (Q) بالنسبة للشق المستطيل والهدارات الحادة المتوجة هي نفسها.

مثال (3-9): الشق المستطيل rectangular notch

الشق المستطيل بعرض 2 متر له سمت ثابت يبلغ 500 مم. جد التفريغ فوق الشق إذا كان معامل التدفق للشق 0.62.



الحل:

1) المعطيات: عرض الشق المستطيل L = 2 متر، السمت H= 500 مم،
معامل التدفق للشق C_d = 0.62

2) المطلوب: التفريغ فوق الشق

3) جد التفريغ فوق الشق من المعادلة

$$Q_{act} = C_d \frac{2}{3}\sqrt{2g}LH^{3/2} = 0.62 * \frac{2}{3}\sqrt{2g} * 2 * (0.5)^{3/2}$$
$$= 1.29\, m^3$$

برنامج (3-9): الشق المستطيل

```
import javax.swing.*;
import javax.swing.border.Border;
import javax.swing.event.DocumentEvent;
import javax.swing.event.DocumentListener;
import javax.swing.text.BadLocationException;
import javax.swing.text.Document;
import java.awt.*;

public class Example_3_9 extends JPanel {
    public static final String TITLE = "9-3 مثال";
    public static final String EMPTY_RESULT_TEXT = "<html><b>( قم بإدخال المعطيات
ليتم حساب النتيجة)</b><br/><br/></html>";
    private float Cd, H, L;

    JFormattedTextField[] textFields = {
            new JFormattedTextField(), new JFormattedTextField(),
            new JFormattedTextField(),
    };
```

```
    JLabel[] labels = {
            new JLabel("متر) عرض الشق المستطيل):", JLabel.RIGHT),
            new JLabel("ملليمتر) السمت):", JLabel.RIGHT),
            new JLabel("معامل التدفق للشق:", JLabel.RIGHT),
    };

    JLabel resultLabel = new JLabel(EMPTY_RESULT_TEXT, JLabel.RIGHT);

    DocumentListener textFieldDocListener = new DocumentListener() {

        public void changedUpdate(DocumentEvent e) { calc(e); }

        public void removeUpdate(DocumentEvent e) { calc(e); }

        public void insertUpdate(DocumentEvent e) { calc(e); }

        public void calc(DocumentEvent e) {
            try {
                Document document = e.getDocument();
                Object owner = document.getProperty("owner");
                String s = document.getText(0,
e.getDocument().getLength());
                float val = Float.parseFloat(s);

                if (owner == textFields[0]) {
                    L = val;
                } else if (owner == textFields[1]) {
                    H = val / 1000;     // convert mm to m
                } else if (owner == textFields[2]) {
                    Cd = val;
                }
            } catch (BadLocationException | NumberFormatException ex) {
                resultLabel.setText(EMPTY_RESULT_TEXT);
                return;
            }

            if(L == 0 || H == 0 || Cd == 0) {
                resultLabel.setText(EMPTY_RESULT_TEXT);
                return;
            }

            double Qact = Cd * ((double) 2 / 3) * Math.sqrt(2 * 9.81) * L
* Math.pow(H, ((double) 3 / 2));

            String fmtfloat2 = "<b>%.2f</b>";
            String format = "<html>التفريغ فوق الشق = " + fmtfloat2 + "  متر
مكعب<br/>" +
                    "<br/></html>";
            resultLabel.setText(String.format(format, Qact));
        }
    };

    public Example_3_9() {
        super(new BorderLayout());
        JPanel topPane = new JPanel(new GridLayout(0,1));
```

```
        JPanel centerPane = new JPanel(new GridLayout(0,2));
        JPanel bottomPane = new JPanel(new GridLayout(0,1));
        JPanel labelsPane = new JPanel(new GridLayout(0,1));
        JPanel textFieldsPane = new JPanel(new GridLayout(0,1));

        Border border = BorderFactory.createEmptyBorder(10, 10, 10, 10);
        Border border2 = BorderFactory.createEtchedBorder();
        topPane.setBorder(border);
        bottomPane.setBorder(border);
        labelsPane.setBorder(border);
        textFieldsPane.setBorder(border);
        centerPane.setBorder(border2);
        setBorder(border);

        topPane.add(new JLabel("<html>هذا المثال يستخدم المعادلة: <b>Qact = Cd *
(2/3) * Sqrt(2 * g) * L * H ^ (3/2)</b></html>", JLabel.RIGHT));

        for(int i = 0; i < textFields.length; i++) {
            textFields[i].setColumns(10);
            labelsPane.add(labels[i]);
            textFieldsPane.add(textFields[i]);
            Document document = textFields[i].getDocument();
            document.addDocumentListener(textFieldDocListener);
            document.putProperty("owner", textFields[i]);
        }

        centerPane.add(textFieldsPane, BorderLayout.CENTER);
        centerPane.add(labelsPane, BorderLayout.LINE_END);
        bottomPane.add(resultLabel);
        add(topPane, BorderLayout.NORTH);
        add(centerPane, BorderLayout.CENTER);
        add(bottomPane, BorderLayout.SOUTH);
    }

    public static void main(String[] args) {
        try {
            UIManager.setLookAndFeel(
                    UIManager.getSystemLookAndFeelClassName());
        } catch (IllegalAccessException | InstantiationException |
                 UnsupportedLookAndFeelException | ClassNotFoundException
e) {
            e.printStackTrace();
        }

        SwingUtilities.invokeLater(() -> {
            JFrame frame = new JFrame(TITLE);
            frame.setDefaultCloseOperation(JFrame.EXIT_ON_CLOSE);
            frame.setResizable(false);
            frame.add(new Example_3_9());
            frame.pack();
            frame.setLocationRelativeTo(null);
            frame.setVisible(true);
        });
    }
}
```

مثال (3-10):

جد الدفق عبر شق مثلث بزاوية 60 درجة60^o triangular notch of angle، عندما يكون السمت فوق الشق المثلث 0.2 م. افترض أن C_d = 0.6.

الحل:

1) المعطيات: زاوية الشق المثلث = 60^o، السمت فوق الشق المثلث H = 0.2 م، معامل الدفق C_d =0.6
2) المطلوب: الدفق عبر شق مثلث بزاوية 60 درجة
3) من أجل الحصول على تفريغ على كامل من شق مثلث على حرف V لكل المنطقة، يمكن استخدام المعادلة

$$Q_{act} = \frac{8}{15} C_d \sqrt{2g} * tan(\frac{\theta}{2}) [H^{5/2}]$$

4) بتعويض القيم في معادلة التدفق

$$Q_{act} = \frac{8}{15} C_d \sqrt{2g} * tan(\frac{\theta}{2}) [H^{5/2}]$$
$$= \frac{8}{15} * 0.6 * \sqrt{2 * 9.81} * tan(\frac{60}{2}) [0.2^{5/2}]$$
$$= 0.0146\ m^3$$

برنامج (3-10):

```
import javax.swing.*;
import javax.swing.border.Border;
import javax.swing.event.DocumentEvent;
import javax.swing.event.DocumentListener;
import javax.swing.text.BadLocationException;
import javax.swing.text.Document;
import java.awt.*;

public class Example_3_10 extends JPanel {
    public static final String TITLE = "10-3 مثال";
    public static final String EMPTY_RESULT_TEXT = "<html><b>( قم بإدخال المعطيات
لیتم حساب النتيجة)</b><br/><br/></html>";
    private float Cd, H, theta;

    JFormattedTextField[] textFields = {
            new JFormattedTextField(), new JFormattedTextField(),
            new JFormattedTextField(),
```

```
    };

    JLabel[] labels = {
            new JLabel("زاوية الشق المثلث (متر):", JLabel.RIGHT),
            new JLabel("السمت فوق الشق المثلث (متر):", JLabel.RIGHT),
            new JLabel("معامل التدفق للشق:", JLabel.RIGHT),
    };

    JLabel resultLabel = new JLabel(EMPTY_RESULT_TEXT, JLabel.RIGHT);

    DocumentListener textFieldDocListener = new DocumentListener() {

        public void changedUpdate(DocumentEvent e) { calc(e); }

        public void removeUpdate(DocumentEvent e) { calc(e); }

        public void insertUpdate(DocumentEvent e) { calc(e); }

        public void calc(DocumentEvent e) {
            try {
                Document document = e.getDocument();
                Object owner = document.getProperty("owner");
                String s = document.getText(0,
e.getDocument().getLength());
                float val = Float.parseFloat(s);

                if (owner == textFields[0]) {
                    theta = val;
                } else if (owner == textFields[1]) {
                    H = val;
                } else if (owner == textFields[2]) {
                    Cd = val;
                }
            } catch (BadLocationException | NumberFormatException ex) {
                resultLabel.setText(EMPTY_RESULT_TEXT);
                return;
            }

            if(theta == 0 || H == 0 || Cd == 0) {
                resultLabel.setText(EMPTY_RESULT_TEXT);
                return;
            }

            double Qact = ((double) 8 / 15) * Cd * Math.sqrt(2 * 9.81) *
Math.tan(Math.toRadians(theta / 2)) * Math.pow(H, (double) 5 / 2);

            String fmtfloat4 = "<b>%.4f</b>";
            String format = "<html>التفريغ فوق الشق = " + fmtfloat4 + " متر
مكعب<br/>" +
                    "<br/></html>";

            resultLabel.setText(String.format(format, Qact));
        }
    };

    public Example_3_10() {
```

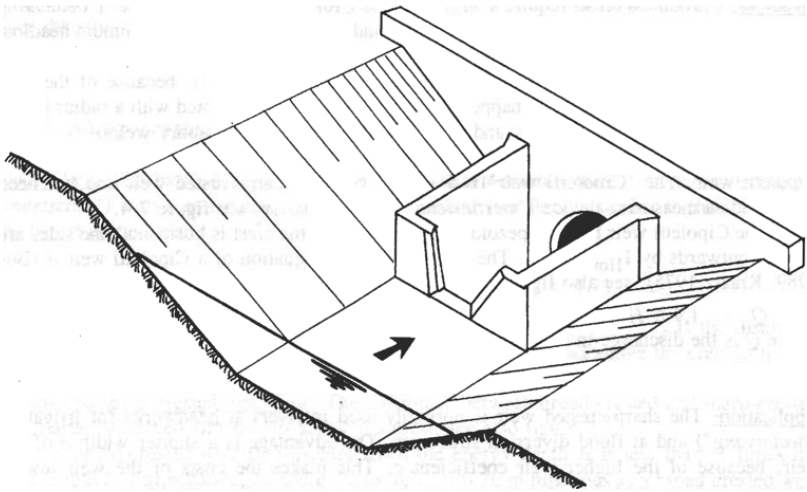
```
        super(new BorderLayout());

        JPanel topPane = new JPanel(new GridLayout(0,1));
        JPanel centerPane = new JPanel(new GridLayout(0,2));
        JPanel bottomPane = new JPanel(new GridLayout(0,1));
        JPanel labelsPane = new JPanel(new GridLayout(0,1));
        JPanel textFieldsPane = new JPanel(new GridLayout(0,1));

        Border border = BorderFactory.createEmptyBorder(10, 10, 10, 10);
        Border border2 = BorderFactory.createEtchedBorder();
        topPane.setBorder(border);
        bottomPane.setBorder(border);
        labelsPane.setBorder(border);
        textFieldsPane.setBorder(border);
        centerPane.setBorder(border2);
        setBorder(border);

        topPane.add(new JLabel("<html>هذا المثال يستخدم المعادلة: <b>Qact = Cd * (8
/ 15) * Sqrt(2 * g) * Tan(theta / 2) * H ^ (5 / 2)</b></html>",
JLabel.RIGHT));

        for(int i = 0; i < textFields.length; i++) {
            textFields[i].setColumns(10);
            labelsPane.add(labels[i]);
            textFieldsPane.add(textFields[i]);
            Document document = textFields[i].getDocument();
            document.addDocumentListener(textFieldDocListener);
            document.putProperty("owner", textFields[i]);
        }

        centerPane.add(textFieldsPane, BorderLayout.CENTER);
        centerPane.add(labelsPane, BorderLayout.LINE_END);
        bottomPane.add(resultLabel);
        add(topPane, BorderLayout.NORTH);
        add(centerPane, BorderLayout.CENTER);
        add(bottomPane, BorderLayout.SOUTH);
    }

    public static void main(String[] args) {
        try {
            UIManager.setLookAndFeel(
                    UIManager.getSystemLookAndFeelClassName());
        } catch (IllegalAccessException | InstantiationException |
                 UnsupportedLookAndFeelException | ClassNotFoundException
e) {
            e.printStackTrace();
        }

        SwingUtilities.invokeLater(() -> {
            JFrame frame = new JFrame(TITLE);
            frame.setDefaultCloseOperation(JFrame.EXIT_ON_CLOSE);
            frame.setResizable(false);
            frame.add(new Example_3_10());
            frame.pack();
            frame.setLocationRelativeTo(null);
            frame.setVisible(true);
```

```
        });
    }
}
```

3-2-4-3) درجة التحكم Control notch

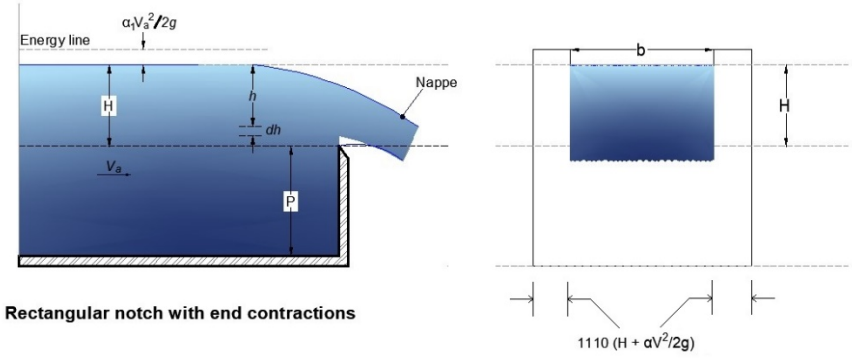
يتم استخدام درجة التحكم control notch للتحكم في مستويات المياه في أعلى التيار في المجرى، وللحفاظ على عمق المياه المنتظم في المجرى لأي تدفق. يتم تطبيقه عادةً عند مداخل منشآت التدفق فائقة الحرج super–critical flow structures، مثل المنشآت المتساقطة drop structures والمزالق chutes، وبالتالي منع زيادة "إجهاد القص" أو "قوة الجر في المجرى" التي يمكن أن تسبب تآكلاً لولا ذلك.

مزايا درجة التحكم شبه المنحرفة trapezoidal control notch هي: منشأة متينة يمكن بناؤها بتكاليف منخفضة، ولا تحتاج إلى الكثير من الصيانة maintenance، ولا تحتاج إلى تنظيم regulation، ولا تحتوي المنشأة على عتبة sill أو فتحة orifice، وبالتالي تمر الرواسب sediment والحطام debris.



شكل (3–31): التدفق فوق الشق شبه المنحرف

3-4-2-4) الشق المستطيل Rectangular notch



Rectangular notch with end contractions

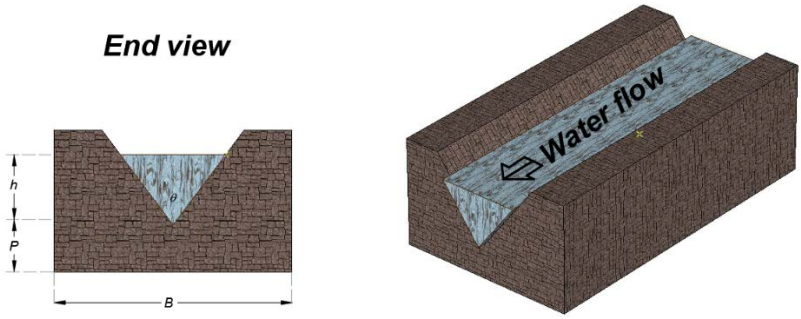
شكل (3-32): الشق المستطيل بنهايات

3-4-2-5) الشقوق على شكل V (مثلثة) V-notch (triangular) weirs

- أكثر دقة من الهدارات الحادة sharp crested weirs، ولكنها أكثر حساسية
- لا يمكن استخدامها إلا في القنوات ذات التفريغ discharge الصغير
- تُصمم بحيث لا ينسكب الماء فوق قمة الهدار، ولكن للبقاء داخل الجزء المثلثي منه

بالنسبة لهدار بزاوية 90 درجة على شكل حرف v v–notch weir، تكون معادلة التفريغ هي:

$$Q = 2.49 * H^{2.48} \qquad (3.19)$$



شكل (3-33): الشقوق على شكل V

3-4-2-6) الشقوق على شكل حرف V V-notch weirs

- توجد في جميع أنحاء العالم لأن البناء والتقسيط واضح للغاية
- تُستخدم في المقام الأول كجهاز بسيط لقياس التدفق
- يسهل تطوير العلاقة بين ارتفاع التدفق من خلال الشق notch والتفريغ discharge وقياسها في الحقل

$$Q=(g/2)^{1/2}*y_c^{5/2} \qquad (3.20)$$

حيث:

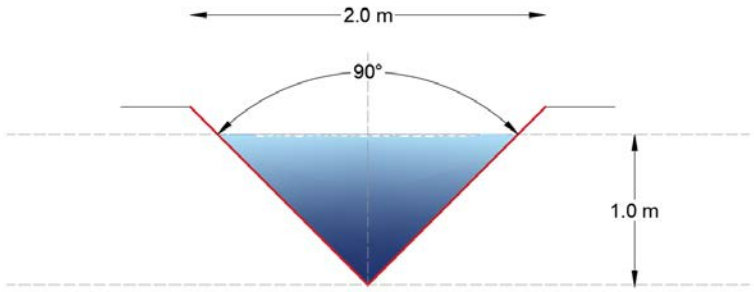
Q = التفريغ أو التصريف

g = الجاذبية الأرضية

y_c = ارتفاع الماء من خلال الشق notch

مثال (3-11): هدار

يجب أن يمر تصريف التصميم الذي يبلغ 0.0783 م^3/ثانية عبر هدار على شكل حرف V بزاوية 90 درجة. ماذا سيكون عمق المياه على الهدار؟



90^{o} V - notch

الحل:

1) المعطيات: Q = 0.0783 م^3/ث، زاوية الهدار على شكل حرف V = 90 درجة.
2) المطلوب: عمق المياه فوق الهدار.
3) خذ معادلة التفريغ العامة والبسيطة للهدار على شكل حرف V

$$Q=1.38*\tan\left(\frac{\theta}{2}\right)*h^{5/2}$$

حيث:

Q = تصريف التصميم على الهدار (م^3/ثانية)

θ = الزاوية المحصورة بين جانبي الشق notch (بالدرجات)

h = عمق الماء التصميمي (م)

استبدل البيانات المعطاة في المعادلة

$$0.0783=1.38*\tan\left(\frac{90}{2}\right)*h^{5/2}$$

منها جد قيمة h = 0.317 متر

برنامج (3-11): هدار

```
import javax.swing.*;
import javax.swing.border.Border;
import javax.swing.event.DocumentEvent;
import javax.swing.event.DocumentListener;
```

```
import javax.swing.text.BadLocationException;
import javax.swing.text.Document;
import java.awt.*;

public class Example_3_11 extends JPanel {
    public static final String TITLE = "مثال 3-11";
    public static final String EMPTY_RESULT_TEXT = "<html><b>( قم بإدخال المعطيات
ليتم حساب النتيجة)</b><br/><br/></html>";
    private float Q, theta;

    JFormattedTextField[] textFields = {
            new JFormattedTextField(), new JFormattedTextField(),
    };

    JLabel[] labels = {
            new JLabel("التصريف (متر مكعب/ثانية):", JLabel.RIGHT),
            new JLabel("زاوية الهدار (متر):", JLabel.RIGHT),
    };

    JLabel resultLabel = new JLabel(EMPTY_RESULT_TEXT, JLabel.RIGHT);

    DocumentListener textFieldDocListener = new DocumentListener() {

        public void changedUpdate(DocumentEvent e) { calc(e); }

        public void removeUpdate(DocumentEvent e) { calc(e); }

        public void insertUpdate(DocumentEvent e) { calc(e); }

        public void calc(DocumentEvent e) {
            try {
                Document document = e.getDocument();
                Object owner = document.getProperty("owner");
                String s = document.getText(0,
e.getDocument().getLength());
                float val = Float.parseFloat(s);

                if (owner == textFields[0]) {
                    Q = val;
                } else if (owner == textFields[1]) {
                    theta = val;
                }
            } catch (BadLocationException | NumberFormatException ex) {
                resultLabel.setText(EMPTY_RESULT_TEXT);
                return;
            }

            if(theta == 0 || Q == 0) {
                resultLabel.setText(EMPTY_RESULT_TEXT);
                return;
            }

            double h = Math.pow((Q / (1.38 *
Math.tan(Math.toRadians(theta / 2)))), ((double) 2 / 5));

            String fmtfloat4 = "<b>%.4f</b>";
```

```
            String format = "<html>عمق المياه فوق الهدار = " + fmtfloat4 + "
متر<br/>" +
                    "<br/></html>";

            resultLabel.setText(String.format(format, h));
        }
    };

    public Example_3_11() {
        super(new BorderLayout());

        JPanel topPane = new JPanel(new GridLayout(0,1));
        JPanel centerPane = new JPanel(new GridLayout(0,2));
        JPanel bottomPane = new JPanel(new GridLayout(0,1));
        JPanel labelsPane = new JPanel(new GridLayout(0,1));
        JPanel textFieldsPane = new JPanel(new GridLayout(0,1));

        Border border = BorderFactory.createEmptyBorder(10, 10, 10, 10);
        Border border2 = BorderFactory.createEtchedBorder();
        topPane.setBorder(border);
        bottomPane.setBorder(border);
        labelsPane.setBorder(border);
        textFieldsPane.setBorder(border);
        centerPane.setBorder(border2);
        setBorder(border);

        topPane.add(new JLabel("<html>هذا المثال يستخدم المعادلة: <b>Q = 1.38 *
Tan(theta / 2) * H ^ (5 / 2)</b></html>", JLabel.RIGHT));

        for(int i = 0; i < textFields.length; i++) {
            textFields[i].setColumns(10);
            labelsPane.add(labels[i]);
            textFieldsPane.add(textFields[i]);
            Document document = textFields[i].getDocument();
            document.addDocumentListener(textFieldDocListener);
            document.putProperty("owner", textFields[i]);
        }

        centerPane.add(textFieldsPane, BorderLayout.CENTER);
        centerPane.add(labelsPane, BorderLayout.LINE_END);
        bottomPane.add(resultLabel);
        add(topPane, BorderLayout.NORTH);
        add(centerPane, BorderLayout.CENTER);
        add(bottomPane, BorderLayout.SOUTH);
    }

    public static void main(String[] args) {
        try {
            UIManager.setLookAndFeel(
                    UIManager.getSystemLookAndFeelClassName());
        } catch (IllegalAccessException | InstantiationException |
                 UnsupportedLookAndFeelException | ClassNotFoundException
e) {
            e.printStackTrace();
        }
```

```
        SwingUtilities.invokeLater(() -> {
            JFrame frame = new JFrame(TITLE);
            frame.setDefaultCloseOperation(JFrame.EXIT_ON_CLOSE);
            frame.setResizable(false);
            frame.add(new Example_3_11());
            frame.pack();
            frame.setLocationRelativeTo(null);
            frame.setVisible(true);
        });
    }
}
```

3-4-2-7) الشق المثلث على شكل V Triangular or V-notch

بشكل عام، يمكن التعبير عن التفريغ من خلال أي نوع من الهدار في شكل

$$Q \text{ exp } H^n \qquad (3.21)$$

الهدار الذي يحتوي على n = 1، أي أن التفريغ يتناسب مع السمت فوق قمة الهدار، يسمى الهدار النسبيweir proportional.

مثال (3-12): الشق المثلث Triangular notch

أ) يمكن كتابة التصريف على الشق المثلثي triangular notch على النحو التالي:

$$Q=\frac{8}{15}C_d\sqrt{2g}*\tan\left(\frac{\theta}{2}\right)H^{\frac{5}{2}}$$

إذا ادخل خطأ بنسبة 1٪ في قياس H، حدد الخطأ المقابل في التفريغ المحسوب.

ب) استخدم شق مثلث قائم الزاوية لقياس تدفق مجرى المختبر laboratory flume. إذا كان معامل تفريغ الشق coefficient of discharge of the notch 0.593 وكان هناك شك في وجود خطأ قدره 2 مم في ملاحظة السمت، فجد النسبة المئوية للخطأ في حساب التفريغ المقدر بـ 20 لترًا/ثانية.

الحل:

1) المعطيات: الخطأ = dH/H = 1٪،
2) المطلوب: الخطأ في الدفق المحسوب

3) استخدم المعادلة

$$Q=KH^{5/2}$$

مفاضلة المعادلة تعطي

$$dQ=\frac{5}{2}KH^{3/2}dH$$

ومنها يمكن حساب الخطأ

$$\frac{dQ}{Q}=\frac{\frac{5}{2}KH^{3/2}dH}{KH^{5/2}}=\frac{5}{2}\frac{dH}{H}$$

اذا كان الخطأ = dH/H = 1٪، فمن لمعادلة أعلاه يصبح الخطأ في الدفق

%2.5 = dQ/Q

4) للمعطيات: معامل تفريغ الشق notch coefficient of discharge

= 0.593، خطأ السمت = dH = 2 مم، Q = 20 لترًا/ثانية.

المطلوب: النسبة المئوية للخطأ في حساب التفريغ

استخدم معادلة الدفق

$$Q=\frac{8}{15}C_d\sqrt{2g}*\tan\left(\frac{\theta}{2}\right)H^{\frac{5}{2}}$$

$$Q = 0.02 = \frac{8}{15}0.593\sqrt{2g}*1*H^{\frac{5}{2}}$$

ومنها H = 183 ملم

يمكن تقدير الخطأ في الدفق من المعادلة

$$\frac{dQ}{Q}=\frac{5}{2}\frac{dH}{H}=\frac{5}{2}*\frac{2}{183}=2.73\%$$

الخطأ في الدفق = 2.73 %

برنامج (3-12): الشق المثلث

```
import javax.swing.*;
import javax.swing.border.Border;
import javax.swing.event.DocumentEvent;
import javax.swing.event.DocumentListener;
import javax.swing.text.BadLocationException;
import javax.swing.text.Document;
import java.awt.*;
```

```
public class Example_3_12 extends JPanel {
    public static final String TITLE = "12-3 مثال";
    public static final String EMPTY_RESULT_TEXT = "<html><b>( قم بإدخال المعطيات
لیتم حساب النتيجة)</b><br/><br/><br/></html>";
    private float Q, Cd, dH;

    JFormattedTextField[] textFields = {
            new JFormattedTextField(), new JFormattedTextField(), new
JFormattedTextField(),
    };

    JLabel[] labels = {
            new JLabel("التصريف (لتر/ثانية):", JLabel.RIGHT),
            new JLabel("مقدار الخطأ (ملليمتر):", JLabel.RIGHT),
            new JLabel("معامل التفريغ للشق:", JLabel.RIGHT),
    };

    JLabel resultLabel = new JLabel(EMPTY_RESULT_TEXT, JLabel.RIGHT);

    DocumentListener textFieldDocListener = new DocumentListener() {

        public void changedUpdate(DocumentEvent e) { calc(e); }

        public void removeUpdate(DocumentEvent e) { calc(e); }

        public void insertUpdate(DocumentEvent e) { calc(e); }

        public void calc(DocumentEvent e) {
            try {
                Document document = e.getDocument();
                Object owner = document.getProperty("owner");
                String s = document.getText(0,
e.getDocument().getLength());
                float val = Float.parseFloat(s);

                if (owner == textFields[0]) {
                    Q = val / 1000;     // convert L/s to mm/s
                } else if (owner == textFields[1]) {
                    dH = val;
                } else if (owner == textFields[2]) {
                    Cd = val;
                }
            } catch (BadLocationException | NumberFormatException ex) {
                resultLabel.setText(EMPTY_RESULT_TEXT);
                return;
            }

            if(Q == 0 || dH == 0 || Cd == 0) {
                resultLabel.setText(EMPTY_RESULT_TEXT);
                return;
            }

            double h = Math.pow(((Q * 15) / (8 * Cd * Math.sqrt(2 * 9.81)
* 1)), ((double) 2 / 5)) * 1000;
            double dQ = ((5 * dH) / (2 * h)) * 100;
```

```
            String fmtfloat2 = "<b>%.2f</b>";
            String format = "<html>السمت = " + fmtfloat2 + " ملليمتر<br/>" +
                    "الخطأ في الدفق = " + fmtfloat2 + " %% <br/>" +
                    "<br/></html>";

            resultLabel.setText(String.format(format, h, dQ));
        }
    };

    public Example_3_12() {
        super(new BorderLayout());

        JPanel topPane = new JPanel(new GridLayout(0,1));
        JPanel centerPane = new JPanel(new GridLayout(0,2));
        JPanel bottomPane = new JPanel(new GridLayout(0,1));
        JPanel labelsPane = new JPanel(new GridLayout(0,1));
        JPanel textFieldsPane = new JPanel(new GridLayout(0,1));

        Border border = BorderFactory.createEmptyBorder(10, 10, 10, 10);
        Border border2 = BorderFactory.createEtchedBorder();
        topPane.setBorder(border);
        bottomPane.setBorder(border);
        labelsPane.setBorder(border);
        textFieldsPane.setBorder(border);
        centerPane.setBorder(border2);
        setBorder(border);

        topPane.add(new JLabel("<html>هذا المثال يستخدم المعادلات: <b>Q = (8 / 15) *
Cd * Sqrt(2 * g) * Tan(theta / 2) * H ^ (5 / 2) <br/>dQ/Q = (5 / 2) * (dH
/ H)</b></html>", JLabel.RIGHT));

        for(int i = 0; i < textFields.length; i++) {
            textFields[i].setColumns(10);
            labelsPane.add(labels[i]);
            textFieldsPane.add(textFields[i]);
            Document document = textFields[i].getDocument();
            document.addDocumentListener(textFieldDocListener);
            document.putProperty("owner", textFields[i]);
        }

        centerPane.add(textFieldsPane, BorderLayout.CENTER);
        centerPane.add(labelsPane, BorderLayout.LINE_END);
        bottomPane.add(resultLabel);
        add(topPane, BorderLayout.NORTH);
        add(centerPane, BorderLayout.CENTER);
        add(bottomPane, BorderLayout.SOUTH);
    }

    public static void main(String[] args) {
        try {
            UIManager.setLookAndFeel(
                    UIManager.getSystemLookAndFeelClassName());
        } catch (IllegalAccessException | InstantiationException |
                 UnsupportedLookAndFeelException | ClassNotFoundException
e) {
            e.printStackTrace();
```

```
        }

        SwingUtilities.invokeLater(() -> {
            JFrame frame = new JFrame(TITLE);
            frame.setDefaultCloseOperation(JFrame.EXIT_ON_CLOSE);
            frame.setResizable(false);
            frame.add(new Example_3_12());
            frame.pack();
            frame.setLocationRelativeTo(null);
            frame.setVisible(true);
        });
    }
}
```

3-4-3) عداد الفتحة والفوهة Orifice

الفوهة orifice هي فتحة ذات محيط مغلق وذات شكل منتظم يتدفق من خلالها الماء.إذا لم يكن المحيط مغلقًا أو إذا كان الفتح ممتلئًا جزئيًا فقط، تصبح الفتحة هداراً weir. عادةً تكون الفتحة ذات الجوانب الطويلة، مثل الأنبوب بطول 2 أو 3 أقطار أو فتحة في جدار سميك، وتسمى الأنبوب. أما البوابة gate فهي عبارة عن فتحة في منشأة هيدروليكية، وعادةً تتضمن ملحقات appurtenances لتنظيم التدفق الخارج. ومما يجدر ذكره أن نفس المبادئ الأساسية تنطبق على كل نوع من أنواع الفتحات.

مثال (3-13): قطر الفوهة Nozzle diameter

إذا تدفق الماء عبر خرطوم hose مطاطي قطره 2 سم بسرعة 5 م/ث، فما قطر الفوهة حتى يخرج الماء بسرعة 16 م/ث؟ $v_1 d_1^2 = v_2 d_2^2$

الحل:

1) المعطيات: قطر الخرطوم المطاطي = d_1 = 2 سم، سرعة تدفق الماء عبر الخرطوم المطاطي = v_1 =5 م/ث، سرعة خروج الماء من الفوهة = v_2 = 16 م/ث.
2) المطلوب: قطر الفوهة ? = d_2
3) استخدم المعادلة الاستمرارية

$$v_1 d_1^2 = v_2 d_2^2$$

ومنها تتناسب المساحة مع مربع القطر، لذلك يمكن إيجاد قطر الفوهة d_2 على النحو التالي:

$$d_2 = \sqrt{\frac{v_1 d_1^2}{v_2}} = \sqrt{\frac{5\ m/s*2*2\ cm}{16\ cm}} = 1.12\ cm$$

برنامج (3-13): قطر الفوهة

```
import javax.swing.*;
import javax.swing.border.Border;
import javax.swing.event.DocumentEvent;
import javax.swing.event.DocumentListener;
import javax.swing.text.BadLocationException;
import javax.swing.text.Document;
import java.awt.*;

public class Example_3_13 extends JPanel {
    public static final String TITLE = "13-3 مثال";
    public static final String EMPTY_RESULT_TEXT = "<html><b>( قم بإدخال المعطيات
لیتم حساب النتيجة)</b><br/><br/><br/></html>";
    private float d1, v1, v2;

    JFormattedTextField[] textFields = {
            new JFormattedTextField(), new JFormattedTextField(), new
JFormattedTextField(),
    };

    JLabel[] labels = {
            new JLabel("قطر الخرطوم المطاطي (سم):", JLabel.RIGHT),
            new JLabel("سرعة تدفق الماء عبر الخرطوم (متر/ثانية):", JLabel.RIGHT),
            new JLabel("سرعة خروج الماء من الفوهة (متر/ثانية):", JLabel.RIGHT),
    };

    JLabel resultLabel = new JLabel(EMPTY_RESULT_TEXT, JLabel.RIGHT);

    DocumentListener textFieldDocListener = new DocumentListener() {

        public void changedUpdate(DocumentEvent e) { calc(e); }

        public void removeUpdate(DocumentEvent e) { calc(e); }

        public void insertUpdate(DocumentEvent e) { calc(e); }

        public void calc(DocumentEvent e) {
            try {
                Document document = e.getDocument();
                Object owner = document.getProperty("owner");
                String s = document.getText(0,
e.getDocument().getLength());
                float val = Float.parseFloat(s);
```

```
                if (owner == textFields[0]) {
                    d1 = val;
                } else if (owner == textFields[1]) {
                    v1 = val;
                } else if (owner == textFields[2]) {
                    v2 = val;
                }
            } catch (BadLocationException | NumberFormatException ex) {
                resultLabel.setText(EMPTY_RESULT_TEXT);
                return;
            }

            if(d1 == 0 || v1 == 0 || v2 == 0) {
                resultLabel.setText(EMPTY_RESULT_TEXT);
                return;
            }

            double d2 = Math.sqrt((v1 * d1 * d1) / v2);
            String fmtfloat2 = "<b>%.2f</b>";
            String format = "<html>قطر الفوهة = " + fmtfloat2 + " سنتمتر<br/>"
+
                    "<br/></html>";
            resultLabel.setText(String.format(format, d2));
        }
    };

    public Example_3_13() {
        super(new BorderLayout());

        JPanel topPane = new JPanel(new GridLayout(0,1));
        JPanel centerPane = new JPanel(new GridLayout(0,2));
        JPanel bottomPane = new JPanel(new GridLayout(0,1));
        JPanel labelsPane = new JPanel(new GridLayout(0,1));
        JPanel textFieldsPane = new JPanel(new GridLayout(0,1));

        Border border = BorderFactory.createEmptyBorder(10, 10, 10, 10);
        Border border2 = BorderFactory.createEtchedBorder();
        topPane.setBorder(border);
        bottomPane.setBorder(border);
        labelsPane.setBorder(border);
        textFieldsPane.setBorder(border);
        centerPane.setBorder(border2);
        setBorder(border);

        topPane.add(new JLabel("<html>هذا المثال يستخدم المعادلة: <b>v1 * d1 ^ 2 =
v2 * d2 ^ 2</b></html>", JLabel.RIGHT));

        for(int i = 0; i < textFields.length; i++) {
            textFields[i].setColumns(10);
            labelsPane.add(labels[i]);
            textFieldsPane.add(textFields[i]);
            Document document = textFields[i].getDocument();
            document.addDocumentListener(textFieldDocListener);
            document.putProperty("owner", textFields[i]);
        }
```

```
        centerPane.add(textFieldsPane, BorderLayout.CENTER);
        centerPane.add(labelsPane, BorderLayout.LINE_END);
        bottomPane.add(resultLabel);
        add(topPane, BorderLayout.NORTH);
        add(centerPane, BorderLayout.CENTER);
        add(bottomPane, BorderLayout.SOUTH);
    }

    public static void main(String[] args) {
        try {
            UIManager.setLookAndFeel(
                    UIManager.getSystemLookAndFeelClassName());
        } catch (IllegalAccessException | InstantiationException |
                 UnsupportedLookAndFeelException | ClassNotFoundException
e) {
            e.printStackTrace();
        }

        SwingUtilities.invokeLater(() -> {
            JFrame frame = new JFrame(TITLE);
            frame.setDefaultCloseOperation(JFrame.EXIT_ON_CLOSE);
            frame.setResizable(false);
            frame.add(new Example_3_13());
            frame.pack();
            frame.setLocationRelativeTo(null);
            frame.setVisible(true);
        });
    }
}
```

3-4-4) لوحة فوهة ORIFICE PLATE

لوحة الفوهة عبارة عن جهاز بسيط، يعتبر أداة دقيقة، وتتشكل من قطعة من المعدن المسطح مع تجويف يحد من التدفق يتم إدخاله في الأنبوب بين الشفاه flanges. مقياس الفوهة مفهوم جيدًا، وعر وغير مكلف، تتراوح دقته في ظل الظروف المثالية بين 0.75–1.5٪. يمكن أن يكون حساسًا لمجموعة متنوعة من الظروف المسببة للخطأ، مثل حالة تآكل اللوحة أو تلفها.

3-4-4-1) لوحة الفوهة المتكاملة INTEGRAL ORIFICE PLATE

لوحة الفوهة المتكاملة مطابق لتركيب لوحة الفوهة ذات الحواف المربعة فيما عدا أنه يتم توفير اللوحة plate والشفاه flangesوجهاز الإرسال DP transmitter كوحدة واحدة. تستخدم لوحة الفوهة المتكاملة للخطوط الصغيرة (عادة أقل من 2 بوصة) وهي غير مكلفة نسبيًا للتركيب نظرًا لأنها جزء من جهاز الإرسال.

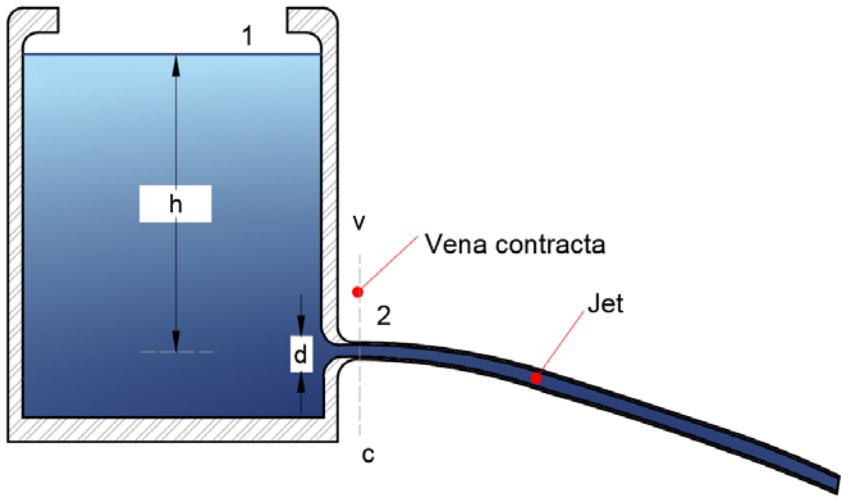
3-4-5) قياس التدفق من خلال الفتحات والأبواق Flow measurement through orifices and mouthpieces

- فتحة صغيرة Small orifice
- فتحة مستطيلة كبيرة Large rectangular orifice

3-4-5-1) فتحة صغيرة Small orifice

إذا كان الارتفاع، h، الذي تسبب في التدفق من خلال فتحة قطرها d، ثابتًا (فتحة صغيرة: h >>d) كما هو موضح في الشكل، بواسطة معادلة برنولي:

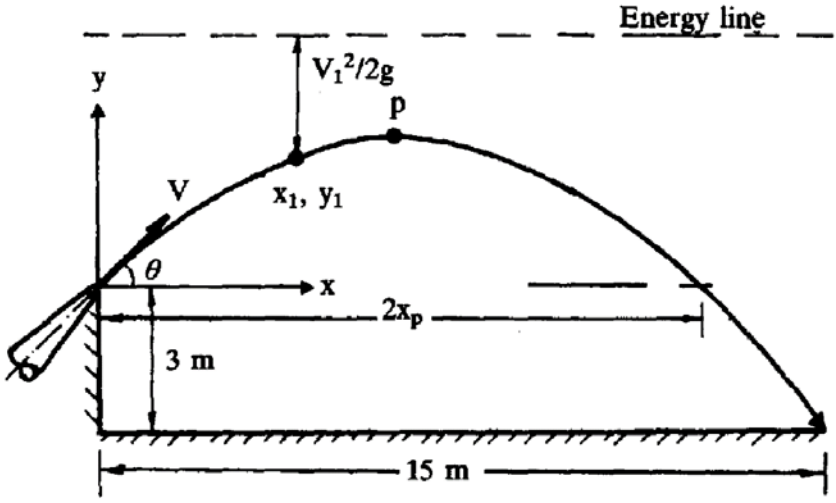
$$\frac{P_1}{\rho g}+\frac{v_1^2}{2g}+h=\frac{P_2}{\rho g}+\frac{v_2^2}{2g}+0+losses \qquad (3.22)$$



شكل (3-34): فتحة صغيرة (h >> d)

مثال (3-14): نافورة نفاثة

تخرج نفاثة jet من الماء من فوهة صنبور حريق hydrant nozzle مثبتة على ارتفاع 3 أمتار من الأرض بزاوية 45 درجة مع الأفقي. إذا ضربت النفاثة تحت ظروف تدفق معينة الأرض على مسافة أفقية 15 مترًا من الفوهة، فجد (1) سرعة النفث، و (2) أقصى ارتفاع يمكن أن تصل إليه النفاثة والمسافة الأفقية من الفوهة nozzle. أهمل مقاومة الهواء.



الحل:

1) المعطيات:
2) المطلوب:
3) استخدم ديناميكا النفاثة للحسابات

السرعة الابتدائية في الاتجاه الرأسي $v*\sin\theta$، بينما السرعة النهائية = صفر

علما بأن

$a = -g$

ومنها

$$0 - v^2\sin^2\theta = -2gy_{max}$$

$$y_{max} = \frac{v^2\sin^2\theta}{2g} = 3.12 \text{ m}$$

كما يمكن كتابة المعادلة

$$0 = v*\sin\theta - gt_p$$

$$t_p = \frac{v*\sin\theta}{g}$$

وللمسافة الأفقية

$$x_p = v*\cos\theta*t_p = v^2 sin^2\theta/2g = 6.24\, m$$

المسافة الافقية التي تحركتها النفاثة

total horizontal distance traversed by the jet $= 2x_p = v^2\sin^2\theta/g$

السرعة الابتدائية v في الاتجاه الرأسي تساوي $v*\sin\theta$، والسرعة النهائية تساوي صفر

من ثم وبما أن $a = -g$

$$0 - v^2 sin^2\theta = -2gy_{max}$$

أو

$$y_{max} = v^2 sin^2\theta - 2g = 3.12\, m$$

أيضا يمكن كتابة المعادلة

$$0 = v\, sin\theta - gt_p$$

أو

$$t_p = \frac{v\, sin\theta}{g}$$

والمسافة الأفقية xp يمكن ايجادها بنحو

$$x_p = v\, cos\theta * t_p = \frac{v^2 sin2\theta}{2g} = 6.24\, m$$

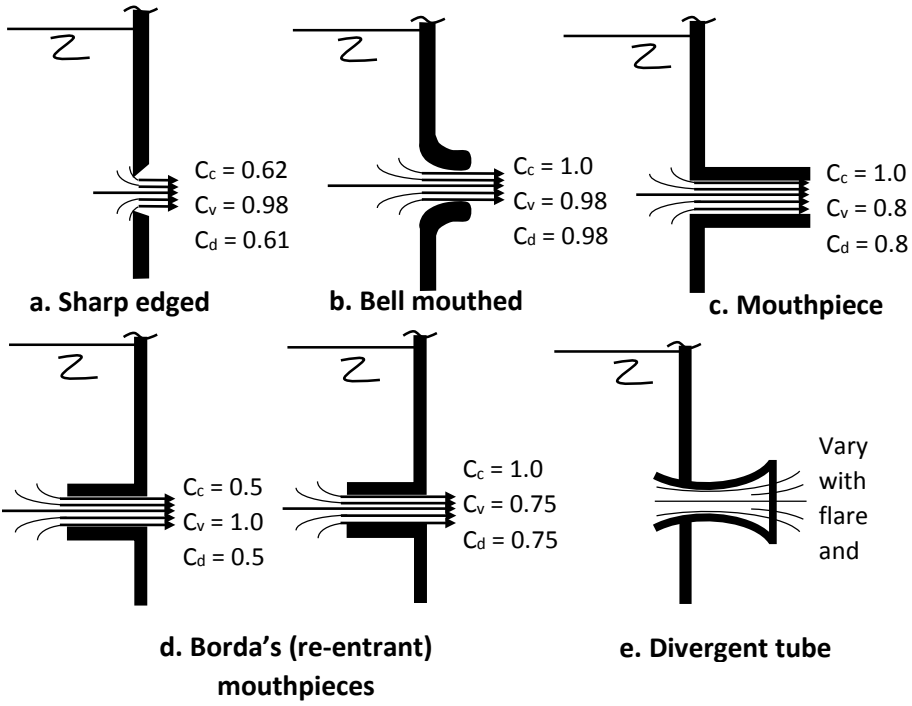
المسافة الكلية التي يقطعها النافث

$$total\ horizontal\ distance\ traversed\ by\ the\ jet = 2 * x_p = \frac{v^2 sin2\theta}{g}$$

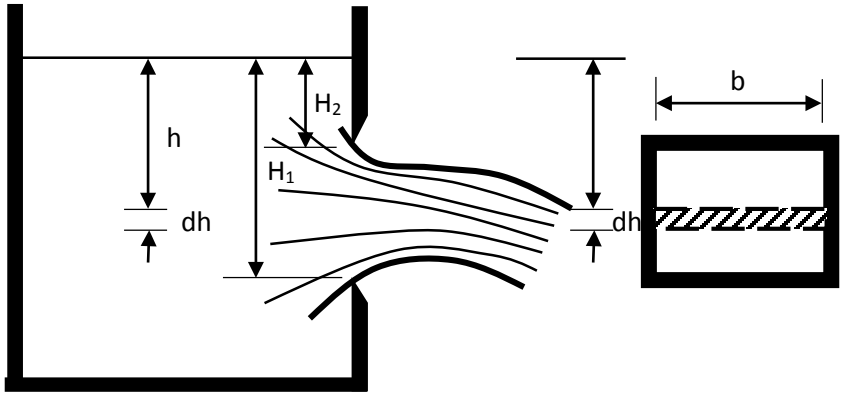
3-4-5-2) فتحة مستطيلة كبيرة *Large rectangular orifice*

نظرًا لأن الفوهة كبيرة، فإن السرعة عبر التفاثة jet لم تعد ثابتة؛ ومع ذلك، إذا أخذنا في الاعتبار مساحة صغيرة، b dh، على عمق، h، إجمالي التفريغ خلال الفتحة بأكملها يمكن ايجاده من المعادلة

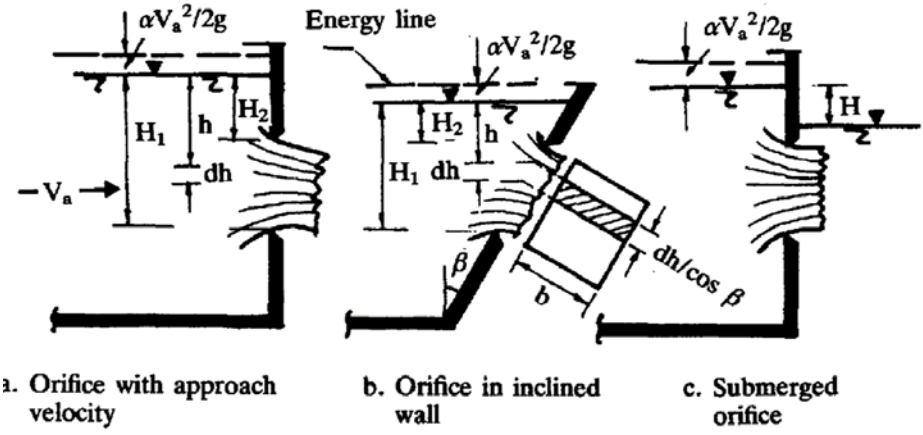
$$Q=\frac{2}{3}C_d\sqrt{2g}b\left(H_1^{3/2}-H_2^{3/2}\right) \qquad (3.23)$$



شكل (3–35): المعامل الهيدروليكي لبعض الفتحات orifices والأبواق mouthpieces



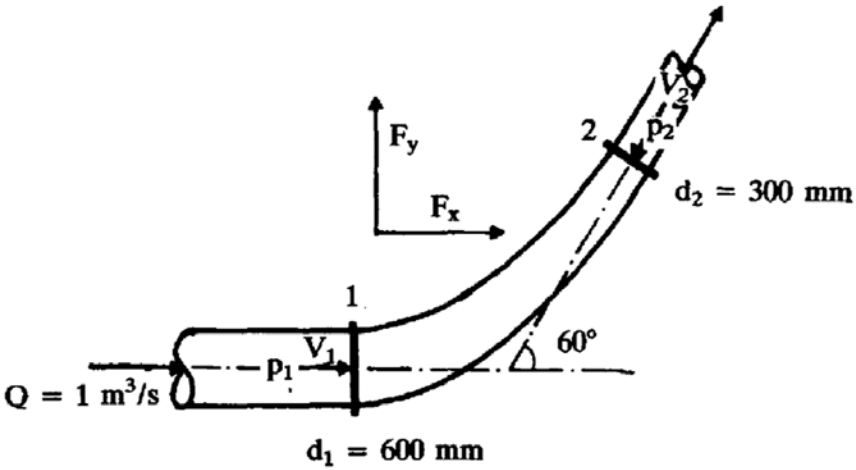
شكل (3–36أ): فتحة مستطيلة كبيرة



شكل (3–36ب): سرعة الاقدام في فتحة مستطيلة كبيرة

مثال (3-15): ماسورة حاملة للماء

خط أنابيب ينقل دفق Q مقداره 1 cumec من الماء ينخفض الانحناء الأفقي horizontal bend تدريجياً في قطره من 600 مم إلى 300 مم ليجعل التدفق ينحرف بزاوية 60 درجة. علما بأن الضغط في الطرف الأكبر 180 كيلو نيوتن/م^2. جد مقدار واتجاه القوة المؤثرة على المنعطف. افترض أن b=1.0



الحل:

1) المعطيات: Q = 1 cumec، D_1 = 600 مم، D_2 = 300 مم، زاوية انحراف التدفق = 60 درجة، P_1 = 170 كيلونيوتن/م^2، b = 1.0

2) المطلوب: مقدار واتجاه القوة المؤثرة على المنعطف

3) من معادلة الاستمرارية

$$\text{discharge, } Q = 1\text{m}^3/\text{s} = A_1v_1 = A_2v_2$$

$$v_1 = \frac{1}{\frac{\pi(0.6)^2}{4}} = 3.54 \text{ m/s}$$

$$v_2 = \frac{1}{\frac{\pi(0.3)^2}{4}} = 14.15 \text{ m/s}$$

بتجاهل فواقد الاحتكاك يمكن كتابة معادلة الطاقة

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g}$$

الضغط على المقطع 1 هو $P_1 = 170*10^3$ N/m^2

$$\frac{P_2}{\rho g} = \frac{170 * 10^3}{10^3 * 9.81} + \frac{(3.54)^2}{19.62} - \frac{(14.15)^2}{19.62}$$

ومنها $P_2 = 76.2*10^3$ N/m^2

عند كتابة معادلة قوة الدفع momentum equation يلاحظ أن قوى الجذب تتلاشى على المستوى الأفقي والقوى الفاعلة على كتلة المائع هي الضغط وقوى الدفع.

بافتراض مركبتي محصلة القوة F المؤثرة على حدود سطع المنحنى لكتلة المائع هما F_x وF_y وهما يؤخذان موجبين في اتجاه اليمين والأعلى، على الترتيب.

بالتحليل في اتجاه المحور السيني

$$P_1A_1 + F_x - P_2A_2cos\theta = \rho Q(V_2cos\theta - V_1)$$

بالتحليل في اتجاه المحور الصادي

$$0 + F_y - P_2A_2sin\theta = \rho Q(V_2sin\theta - 0)$$

$$F_x = 10^3 * 1(14.15cos60 - 3.54) + 7.62 * 10^4 * \frac{1}{4}\pi(0.3)^2sin60 - 17 * 10^4 * \frac{1}{4}\pi(0.6)^2$$
$$= -4.2 * 10^4 N\ (to\ left)$$

$$F_y = 10^3 * 1(14.15sin60) + 7.62 * 10^4 * \frac{1}{4}\pi(0.3)^2sin60$$
$$= 1.7 * 10^4\ N\ (upwards)$$

حسب قانون نيوتن الثالث للحركة فان القوى R_xو R_y المؤثرة من المائع على المنحنى تتساوى وتختلف في الاتجاه بالنسبة للمركبتين F_x و F_y. من ثم

$$R_x = -F_x = 4.2 * 10^4 N\ (to\ the\ right)$$
$$R_y = -F_y = -1.7 * 10^4\ N\ (downwards)$$

جد محصلة القوى على المنحنى

$$R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2} = 4.53 * 10^4 N$$

وتؤثر المحصلة بزاوية

$$\theta = tan^{-1}\left(\frac{R_y}{R_x}\right) = 22^{\circ}\ to\ the\ x - direction$$

برنامج (3-15): ماسورة حاملة للماء

```
import javax.swing.*;
import javax.swing.border.Border;
import javax.swing.event.DocumentEvent;
import javax.swing.event.DocumentListener;
import javax.swing.text.BadLocationException;
import javax.swing.text.Document;
import java.awt.*;

public class Example_3_15 extends JPanel {
    public static final String TITLE = "مثال 3-15";
    public static final String EMPTY_RESULT_TEXT = "<html><b>( قم بإدخال المعطيات
ليتم حساب النتيجة)</b><br/><br/><br/><br/><br/><br/><br/></html>";
    private float Q, d1, d2, theta, P1;

    JFormattedTextField[] textFields = {
            new JFormattedTextField(), new JFormattedTextField(), new
JFormattedTextField(),
            new JFormattedTextField(), new JFormattedTextField(),
    };

    JLabel[] labels = {
            new JLabel("الدفق (متر مكعب/ثانية):", JLabel.RIGHT),
            new JLabel("القطر الأكبر للأنبوب (ملليمتر):", JLabel.RIGHT),
            new JLabel("القطر الأصغر للأنبوب (ملليمتر):", JLabel.RIGHT),
            new JLabel("زاوية انحراف التدفق (درجة):", JLabel.RIGHT),
            new JLabel("الضغط في الطرف الأكبر (كيلونيوتن/متر مربع):", JLabel.RIGHT),
    };

    JLabel resultLabel = new JLabel(EMPTY_RESULT_TEXT, JLabel.RIGHT);

    DocumentListener textFieldDocListener = new DocumentListener() {

        public void changedUpdate(DocumentEvent e) { calc(e); }

        public void removeUpdate(DocumentEvent e) { calc(e); }

        public void insertUpdate(DocumentEvent e) { calc(e); }

        public void calc(DocumentEvent e) {
            try {
                Document document = e.getDocument();
                Object owner = document.getProperty("owner");
                String s = document.getText(0,
e.getDocument().getLength());
                float val = Float.parseFloat(s);

                if (owner == textFields[0]) {
```

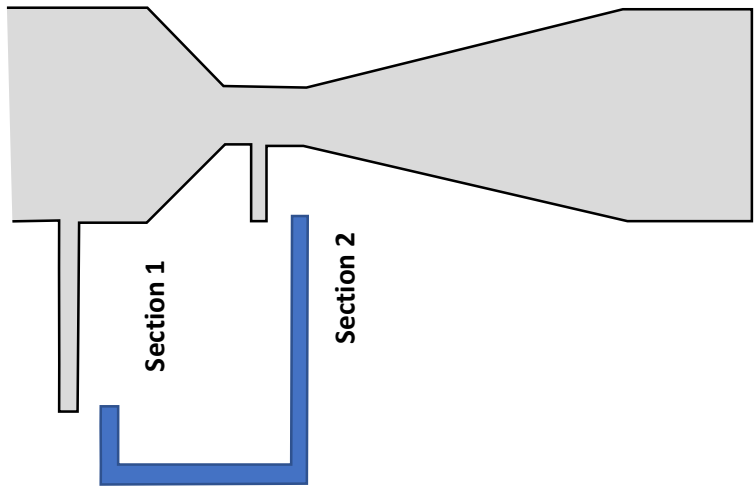
```
                    Q = val;
                } else if (owner == textFields[1]) {
                    d1 = val / 1000;    // convert mm to m
                } else if (owner == textFields[2]) {
                    d2 = val / 1000;    // convert mm to m
                } else if (owner == textFields[3]) {
                    theta = val;
                } else if (owner == textFields[4]) {
                    P1 = val * 1000;    // convert kN/m2 to N/m2
                }
            } catch (BadLocationException | NumberFormatException ex) {
                resultLabel.setText(EMPTY_RESULT_TEXT);
                return;
            }

            if(Q == 0 || d1 == 0 || d2 == 0 || theta == 0 || P1 == 0) {
                resultLabel.setText(EMPTY_RESULT_TEXT);
                return;
            }

            double cosTheta = Math.cos(Math.toRadians(theta));
            double sinTheta = Math.sin(Math.toRadians(theta));
            double A1 = 0.25 * Math.PI * d1 * d1;
            double A2 = 0.25 * Math.PI * d2 * d2;
            double v1 = Q / A1;
            double v2 = Q / A2;
            double Rhog = 1000 * 9.81;
            double g2 = 2 * 9.81;
            double P2 = Rhog * ((P1 / Rhog) + (v1 * v1 / g2) - (v2 * v2 /
g2));
            double Fx = (1000 * Q * (v2 * cosTheta - v1)) + (P2 * A2 *
cosTheta) - (P1 * A1);
            double Fy = (1000 * Q * v2 * sinTheta) + (P2 * A2 *
sinTheta);
            double Rx = -Fx;
            double Ry = -Fy;
            double R = Math.sqrt((Rx * Rx) + (Ry * Ry));
            double theta2 = Math.toDegrees(Math.atan2(Ry, Rx));

            P2 /= 1000;
            Fx /= 1000;
            Fy /= 1000;
            R /= 1000;

            String fmtfloat2 = "<b>%.2f</b>";
            String format = "<html>السرعة في الطرف الأكبر = " + fmtfloat2 + "
متر/ثانية<br/>" +
                    "السرعة في الطرف الأصغر = " + fmtfloat2 + " متر/ثانية<br/>" +
                    "الضغط في الطرف الأصغر = " + fmtfloat2 + "  كيلونيوتن/متر
مربع<br/>" +
                    "المركبة الأفقية لمحصلة القوة = " + fmtfloat2 + " كيلونيوتن<br/>" +
                    "المركبة الرأسية لمحصلة القوة = " + fmtfloat2 + " كيلونيوتن<br/>" +
                    "محصلة القوة على المنحنى = " + fmtfloat2 + " كيلونيوتن<br/>" +
                    "تؤثر المحصلة بزاوية = " + fmtfloat2 + " درجة<br/>" +
                    "</html>";
```

```
            resultLabel.setText(String.format(format, v1, v2, P2, Fx, Fy,
R, theta2));
        }
    };

    public Example_3_15() {
        super(new BorderLayout());

        JPanel topPane = new JPanel(new GridLayout(0,1));
        JPanel centerPane = new JPanel(new GridLayout(0,2));
        JPanel bottomPane = new JPanel(new GridLayout(0,1));
        JPanel labelsPane = new JPanel(new GridLayout(0,1));
        JPanel textFieldsPane = new JPanel(new GridLayout(0,1));

        Border border = BorderFactory.createEmptyBorder(10, 10, 10, 10);
        Border border2 = BorderFactory.createEtchedBorder();
        topPane.setBorder(border);
        bottomPane.setBorder(border);
        labelsPane.setBorder(border);
        textFieldsPane.setBorder(border);
        centerPane.setBorder(border2);
        setBorder(border);

        topPane.add(new JLabel("<html>هذا المثال يستخدم المعادلات: <b>v = Q / A
<br/>[P1 / (Rho * g)] + [(v1 ^ 2) / (2 * g)] = [P2 / (Rho * g)] + [(v2 ^
2) / (2 * g)] <br/>P1 * A1 + Fx - P2 * A2 * Cos(theta) = Rho * Q * [V2 *
Cos(theta) - V1] <br/>0 + Fy - P2 * A2 * Sin(theta) = Rho * Q * [V2 *
sin(theta) - 0] <br/>Rx = -Fx, Ry = -Fy <br/>R = Sqrt(Rx ^ 2 + Ry ^ 2)
<br/>theta = Atan(Ry / Rx)</b></html>", JLabel.RIGHT));

        for(int i = 0; i < textFields.length; i++) {
            textFields[i].setColumns(10);
            labelsPane.add(labels[i]);
            textFieldsPane.add(textFields[i]);
            Document document = textFields[i].getDocument();
            document.addDocumentListener(textFieldDocListener);
            document.putProperty("owner", textFields[i]);
        }

        centerPane.add(textFieldsPane, BorderLayout.CENTER);
        centerPane.add(labelsPane, BorderLayout.LINE_END);
        bottomPane.add(resultLabel);
        add(topPane, BorderLayout.NORTH);
        add(centerPane, BorderLayout.CENTER);
        add(bottomPane, BorderLayout.SOUTH);
    }

    public static void main(String[] args) {
        try {
            UIManager.setLookAndFeel(
                    UIManager.getSystemLookAndFeelClassName());
        } catch (IllegalAccessException | InstantiationException |
                 UnsupportedLookAndFeelException | ClassNotFoundException
e) {
            e.printStackTrace();
        }
```

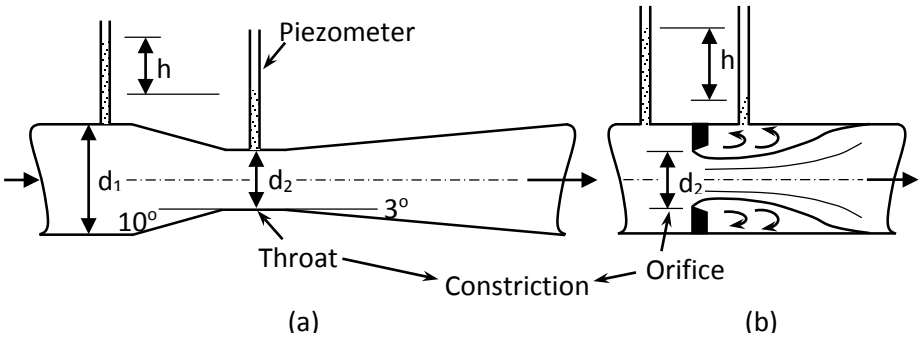
```
        SwingUtilities.invokeLater(() -> {
            JFrame frame = new JFrame(TITLE);
            frame.setDefaultCloseOperation(JFrame.EXIT_ON_CLOSE);
            frame.setResizable(false);
            frame.add(new Example_3_15());
            frame.pack();
            frame.setLocationRelativeTo(null);
            frame.setVisible(true);
        });
    }
}
```

3-4-6) مقياس فنتوري Venturi meter

مقياس فنتوري هو جهاز يستخدم لقياس الدفق في خطوط الانابيب. عبر تقدير فرق الضغط يمكن قياس الدفق ومقدار الجريان بافتراض عدم وجود فواقد في الطاقة.



شكل (3-37): نقاط عبر أنبوب الفنتوري



شكل (3–38): قياس الدفق عبر الأنابيب أ) مقياس الفنتشوري ب) مقياس الفتحة

معادلة برنولي بين مقطع الدخول inlet section والانقباض constriction – عند تجاهل الفواقد – يمكن تمثيلها على المعادلة 3–24.

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} \qquad (3.24)$$

$$\frac{P_1 - P_2}{\rho g} = h = \frac{v_1^2 - v_2^2}{2g} \qquad (3.25)$$

من معادلة الاستمرارية يمكن كتابة المعدلة 3–26.

$$Q = a_1 v_1 = a_2 v_2 \qquad (3.26)$$

من ثم يمكن كتابة المعادلات 3–27 و3–28 و3–29.

$$v_1 = a_2 \sqrt{\frac{2gh}{a_1^2 - a_2^2}} \qquad (3.27)$$

$$Q = a_1 v_1 = a_1 a_2 \sqrt{\frac{2gh}{a_1^2 - a_2^2}} \qquad (3.28)$$

$$Q = a_1 \sqrt{\frac{2gh}{k^2 - 1}} \qquad (3.29)$$

حيث:

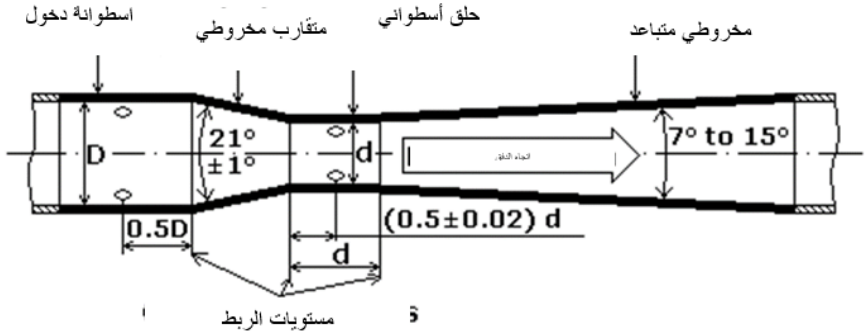
$$k= \frac{a_1}{a_2} \qquad (3.30)$$

المعادلة 3−30 يتحصل عليها بتجاهل الفواقد. غير أن الدفق الحقيقي يمكن تقديره بإدخال معامل كما في المعادلة 3−31.

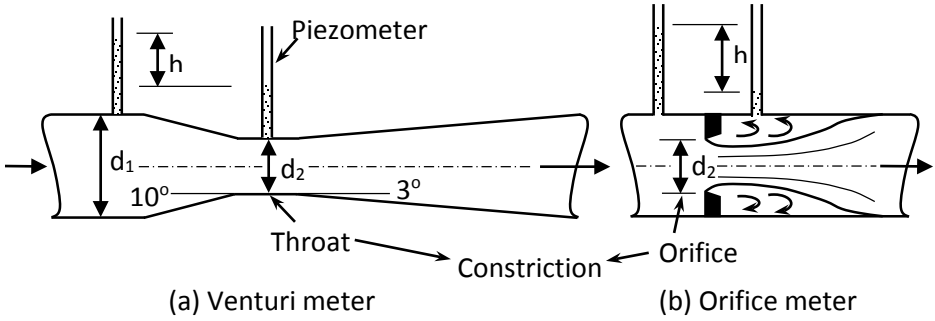
$$\text{Discharge, } Q= C_d a_1 \sqrt{\frac{2gh}{k^{2}- 1}} \qquad (3.31)$$

من ثم تعتمد القيمة العددية لمعامل الدفق C_d على نسبة المساحات المقطعية ونوع الانتقال والتحول والسرعة ودرجة اللزوجة للمائع المتدفق. وينتج أقل فاقد للانتقال المتدرج بين منطقتي الدخول والخروج في الفنتوري مما يجعل قيمة معامل الدفق C_d للدفق المضطرب والمائر بين 0.96 و0.99.

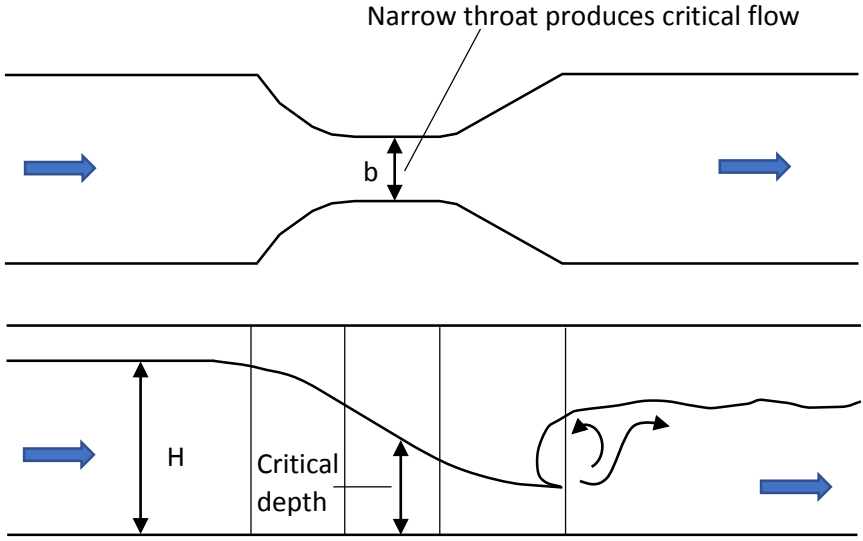
في أنبوب الفنتوري Venturi tube، يتسارع المائع من خلال مخروط متقارب converging cone، مما يؤدي إلى انخفاض الضغط المحلي. بعد ذلك، يقوم مقطع موسع من المقياس بإرجاع التدفق إلى مستوى قريب من ضغطه الأصلي. غالبًا يتم اختيار هذه الأدوات حيث يكون من المهم عدم إحداث انخفاض كبير في الضغط وحيثما تتطلب الدقة الجيدة. وتستخدم عندما تكون السرعة العالية واستعادة الضغط مطلوبًا. كما يمكن استخدامها عند وجود نسبة صغيرة وثابتة من المواد الصلبة.



شكل (3–39): أنبوب الفنتوري



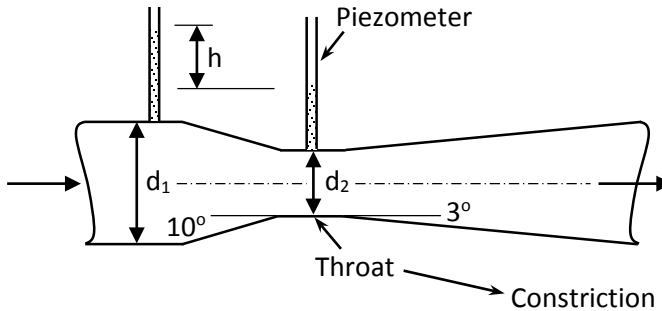
شكل (3–40): قياس الدفق عبر الأنابيب



شكل (3-41): venturi flume

مثال (3-16): مقياس الفنتشوري

ادخل مقياس فنتوري في خط أنابيب أفقي بقطر 300 مم. الأنبوب يحمل الماء تحت ضغط 150 كيلو نيوتن/م^2. قطر عنق throat جهاز الفنتوري 100 مم، والضغط على العنق 400 مم زئبق تحت الغلاف الجوي. في حالة فقد 3٪ من الضغط التفاضلي differential pressure بين المدخل والعنق، حدد معدل التدفق في خط الأنابيب. يبين الرسم الكروكي تفاصيل المسألة وبياناتها.



الحل:

1) المعطيات: خط أنابيب أفقي، قطر الأنبوب = 300 مم، الضغط = 150 كيلو نيوتن/م^2، قطر عنق جهاز الفنتوري = 100 مم، الضغط على العنق = 400 مم زئبق تحت الغلاف الجوي، الفقد من الضغط التفاضلي بين المدخل والعنق = 3٪

2) المطلوب: معدل التدفق في خط الأنابيب

3) من المعطيات: الفقد = 3٪ ضغط تفاضلي بين المدخل والعنق، والمطلوب معدل التدفق Q؟

4) معادلة بيرنولي بين المدخل والعنق

$$\frac{P_1}{\rho g}+\frac{v_1^2}{2g}=\frac{P_2}{\rho g}+\frac{v_2^2}{2g}+0.03\left(\frac{P_1}{\rho g}-\frac{P_2}{\rho g}\right)$$

$$\frac{0.97(P_1-P_2)}{\rho g}=\frac{(v_2^2-v_1^2)}{2g}$$

من الملاحظ أن 1 m water at 4°C, and 0.1019744 m = kPa

13.595 m water = Hg

$$P_1 = 150 * 10^3 N/m^2 = 15.29\ m\ of\ water$$

الضغط $P_2 = -400$ mm of mercury = $-0.4*13.6$ m of water

$= -5.44$ m of water

$$\frac{P_1 - P_2}{\rho g} = 15.29 -(-5.44) = 20.73\ m$$

من ثم

$$\frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} = 0.97*20.73 = 20.11 \text{ m}$$

من معادلة الاستمرارية $A_1*v_1 = A_2*v_2$

ومنها

$$v_1=\left(\frac{a_2}{a_1}\right)v_2=\left(\frac{d_2}{d_1}\right)^2 v_2 = \left(\frac{10}{30}\right)^2 v_2 = \frac{1}{9}v_2$$

من ثم وبالتعويض في المعادلة

$$\frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} = 20.11$$

$$\frac{v_2^2 - \left(\frac{v_2}{9}\right)^2}{2g} = \frac{v_2^2\left(1 - \frac{1}{81}\right)}{2g} = 20.11$$

$$v_2 = \frac{\sqrt{2g*20.11}}{1-\frac{1}{81}} = 19.9\ m/s$$

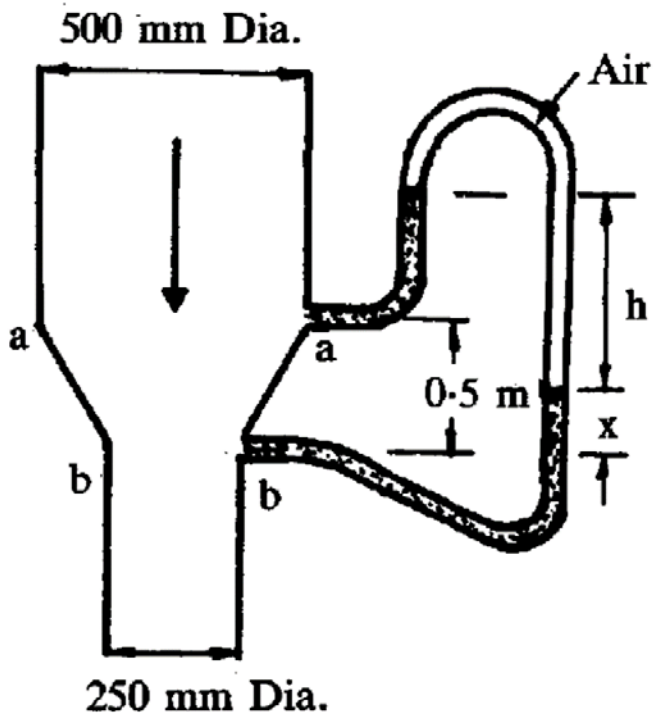
جد الدفق على النحو التالي

$$Q = A_2 v_2 = \frac{1}{4}\pi(0.1)^2 * 19.9 = 0.157\ m^3/s$$
$$= 157\ L/s$$

مثال (3-17)

خط أنابيب المياه العمودي بقطر 500 مم يقوم بتصريف المياه من خلال انقباض constriction قطره 250 مم (انظر الشكل). يقاس فرق الضغط بين القسمين العادي والمضيق للأنبوب بواسطة أنبوب U مقلوب inverted U–tube. جد:

1) الفرق في الضغط بين هذين المقطعين عندما يكون التدفق عبر النظام 600 لتر/ثانية،
2) انحراف مقياس الضغط– المانومتر manometer deflection، h، إذا كان أنبوب U المقلوب يحتوي على هواء.



الحل:

1) المعطيات: قطر خط أنابيب المياه = 500 مم، قطر الانقباض = 250 مم، التدفق Q= 600 لتر/ثانية = 0.6 م^3/ث
2) المطلوب: الفرق في الضغط بين المقطعين، انحراف مقياس الضغط عندما يحمل الأنبوب هواء
3) جد السرعة من معادلة الاستمرارية

$$v_a = \frac{0.6}{\left(\frac{\pi * 0.5^2}{4}\right)} = 3.056 \text{ m/s}$$

$$v_b = \frac{0.6}{\left(\frac{\pi * 0.25^2}{4}\right)} = 12.22 \text{ m/s}$$

بتجاهل الفواقد ومن معادلة برنولي بين aa و bb

$$0.5 + \frac{P_a}{\rho g} + \frac{(3.056)^2}{2g} = 0 + \frac{P_b}{\rho g} + \frac{(12.22)^2}{2g}$$

$$\frac{P_a - P_b}{\rho g} = 1.92\ m\ of\ water$$

$$P_a - P_b = 18.8\ kN/m^2$$

من معادلة المانومتر

$$\frac{P_a}{\rho g} - (h + x - 0.5) + x = \frac{P_h}{\rho g}$$

$$\frac{P_a - P_h}{\rho g} = (h - 0.5) = 1.92$$

ومنها h = 7.14 m

برنامج (3-17):

```
import javax.swing.*;
import javax.swing.border.Border;
import javax.swing.event.DocumentEvent;
import javax.swing.event.DocumentListener;
import javax.swing.text.BadLocationException;
import javax.swing.text.Document;
import java.awt.*;

public class Example_3_17 extends JPanel {
    public static final String TITLE = "17-3 مثال";
    public static final String EMPTY_RESULT_TEXT = "<html><b>( قم بإدخال المعطيات
ليتم حساب النتيجة)</b><br/><br/><br/></html>";
    private float d1, d2, Q;

    JFormattedTextField[] textFields = {
            new JFormattedTextField(), new JFormattedTextField(), new
JFormattedTextField(),
    };

    JLabel[] labels = {
            new JLabel("(قطر خط أنابيب المياه (ملليمتر):", JLabel.RIGHT),
            new JLabel("(قطر الانقباض (ملليمتر):", JLabel.RIGHT),
            new JLabel("(الدفق (لتر/ثانية):", JLabel.RIGHT),
    };

    JLabel resultLabel = new JLabel(EMPTY_RESULT_TEXT, JLabel.RIGHT);

    DocumentListener textFieldDocListener = new DocumentListener() {

        public void changedUpdate(DocumentEvent e) { calc(e); }

        public void removeUpdate(DocumentEvent e) { calc(e); }

        public void insertUpdate(DocumentEvent e) { calc(e); }
```

```
        public void calc(DocumentEvent e) {
            try {
                Document document = e.getDocument();
                Object owner = document.getProperty("owner");
                String s = document.getText(0,
e.getDocument().getLength());
                float val = Float.parseFloat(s);

                if (owner == textFields[0]) {
                    d1 = val / 1000;    // convert mm to m
                } else if (owner == textFields[1]) {
                    d2 = val / 1000;    // convert mm to m
                } else if (owner == textFields[2]) {
                    Q = val / 1000;     // convert L/m to m3/s
                }
            } catch (BadLocationException | NumberFormatException ex) {
                resultLabel.setText(EMPTY_RESULT_TEXT);
                return;
            }

            if(Q == 0 || d1 == 0 || d2 == 0) {
                resultLabel.setText(EMPTY_RESULT_TEXT);
                return;
            }

            double va = Q / (0.25 * Math.PI * d1 * d1);
            double vb = Q / (0.25 * Math.PI * d2 * d2);
            double g2 = 2 * 9.81;
            double PaPb = ((vb * vb / g2) - d1 - (va * va / g2));
            double h = PaPb + d1;

            String fmtfloat2 = "<b>%.2f</b>";
            String format = "<html>السرعة في المقطع الأول = " + fmtfloat2 + "
متر/ثانية<br/>" +
                    "السرعة في المقطع الثاني = " + fmtfloat2 + " متر/ثانية<br/>" +
                    "انحراف مقياس الضغط عندما يحمل الأنبوب هواء = " + fmtfloat2 + "
متر<br/>" +
                    "</html>";

            resultLabel.setText(String.format(format, va, vb, h));
        }
    };

    public Example_3_17() {
        super(new BorderLayout());

        JPanel topPane = new JPanel(new GridLayout(0,1));
        JPanel centerPane = new JPanel(new GridLayout(0,2));
        JPanel bottomPane = new JPanel(new GridLayout(0,1));
        JPanel labelsPane = new JPanel(new GridLayout(0,1));
        JPanel textFieldsPane = new JPanel(new GridLayout(0,1));

        Border border = BorderFactory.createEmptyBorder(10, 10, 10, 10);
        Border border2 = BorderFactory.createEtchedBorder();
        topPane.setBorder(border);
```

```
        bottomPane.setBorder(border);
        labelsPane.setBorder(border);
        textFieldsPane.setBorder(border);
        centerPane.setBorder(border2);
        setBorder(border);

        topPane.add(new JLabel("<html>هذا المثال يستخدم المعادلة برنولي<br/></html>",
JLabel.RIGHT));

        for(int i = 0; i < textFields.length; i++) {
            textFields[i].setColumns(10);
            labelsPane.add(labels[i]);
            textFieldsPane.add(textFields[i]);
            Document document = textFields[i].getDocument();
            document.addDocumentListener(textFieldDocListener);
            document.putProperty("owner", textFields[i]);
        }

        centerPane.add(textFieldsPane, BorderLayout.CENTER);
        centerPane.add(labelsPane, BorderLayout.LINE_END);
        bottomPane.add(resultLabel);
        add(topPane, BorderLayout.NORTH);
        add(centerPane, BorderLayout.CENTER);
        add(bottomPane, BorderLayout.SOUTH);
    }

    public static void main(String[] args) {
        try {
            UIManager.setLookAndFeel(
                    UIManager.getSystemLookAndFeelClassName());
        } catch (IllegalAccessException | InstantiationException |
                 UnsupportedLookAndFeelException | ClassNotFoundException
e) {
            e.printStackTrace();
        }

        SwingUtilities.invokeLater(() -> {
            JFrame frame = new JFrame(TITLE);
            frame.setDefaultCloseOperation(JFrame.EXIT_ON_CLOSE);
            frame.setResizable(false);
            frame.add(new Example_3_17());
            frame.pack();
            frame.setLocationRelativeTo(null);
            frame.setVisible(true);
        });
    }
}
```

3-5) التمارين العامة النظرية والعملية

1) **هدار حاد القمة Sharp-crested weir:** مساحة بركة احتجاز مياه الأمطار storm-water detention pond تقارب فداناً acre واحدًا مع جوانب عمودية تقريبًا. تحتوي البركة على هدار حاد يبلغ عرضه b حوالى 4 أقدام، وارتفاع قمته 120 قدمًا فوق مستوى سطح البحر. في لحظة معينة، قيس التدفق إلى البركة ووجد أنه يبلغ 40 قدم مكعب في الثانية cfs وكان ارتفاع سطح البركة 122.4 قدمًا. وبافتراض أن معدل التدفق الداخل ظل ثابتًا، فكم يبلغ التدفق (cfs) من البركة بعد مضي 5 دقائق. معامل الهدار C = 3.3.

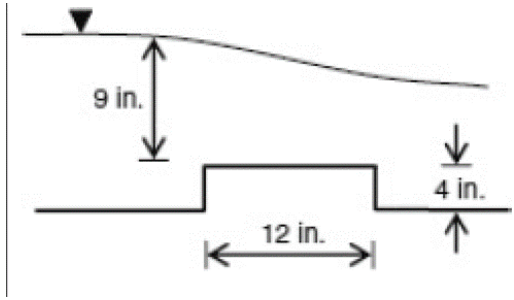
Effective width for a rectangular weir, $b_e=b-0.1*N*H$

$$Q=CbH^{3/2}$$

acre=43560 ft square

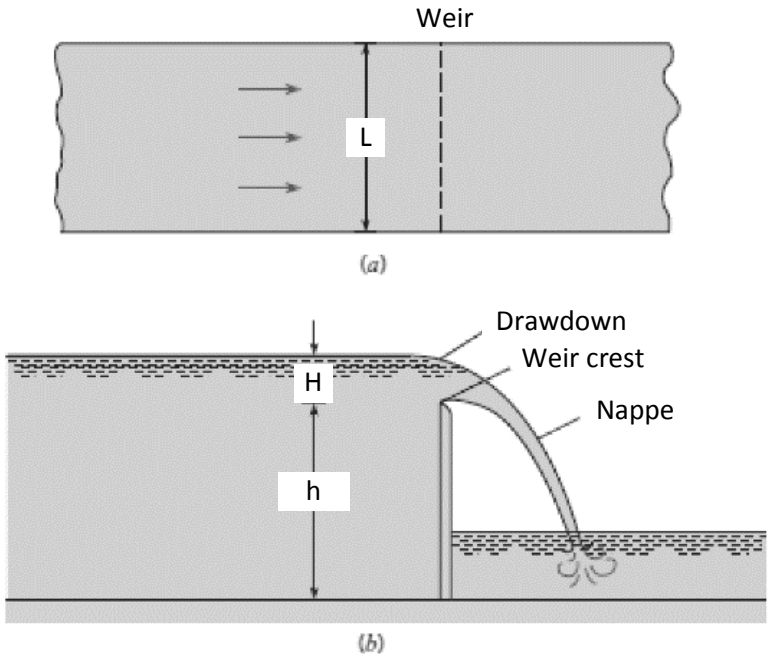
2) **قناة مفتوحة مستطيلة:** يتدفق الماء عبر قناة مفتوحة مستطيلة rectangular open channel بمعدل تدفق ثابت. في موقع معين من القناة، رفعت أرضية القناة 5 بوصات لخطوة طولها 12 بوصة، كما هو موضح في الشكل أدناه. قيس العمق فوق الخطوة ووجد أنه يبلغ 9 بوصات. جد معدل التدفق لكل وحدة عرض للقناة (cfs/ft). (ملاحظة: يمكن التعامل مع هذه الحالة كأنها هدار عريض القمة، معامل الهدار C = 2.82).

$$Q=CbH^{3/2}$$



3) **القوى على الهدار:** ما القوى الرئيسة التي تعمل على منشأة الهدار؟

4) **الهدار المستطيل:** هدار مستطيل rectangular weir يبلغ ارتفاعه (P) 60 سم، في قناة مستطيلة يبلغ عرضها 1.3 مترًا. قيس السمت (H) ووجد أنه يساوي 21 سم. ما مقدار تصريف الماء على الهدار؟ بالنسبة للسوائل منخفضة اللزوجة، فإن معامل التدفق (K) هو في الأساس دالة للسمت النسبي relative head (H/P) على الهدار. المعادلة التجريبية المحددة للمعامل (K) مقتبسة من كاينسفاتر وكارتر Kindsvater and Carter على النحو التالي:



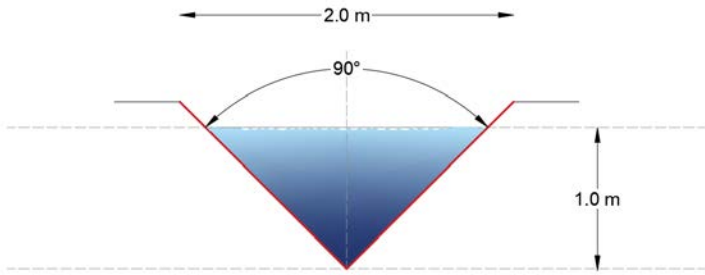
$K = 0.40 + 0.05H/h$

$Q = K\sqrt{2g}Lh^{3/2}$

(بكالوريوس جامعة الامام عبد الرحمن بن فيصل، 2019)

5) **استخدام الهدار وتصميمه:** يجب أن يمر التدفق التصميمي الذي يبلغ 0.09 م^3/ ثانية عبر V-notch weir هدار على شكل حرف V بزاوية 90 درجة (كما مبين على الشكل). كم سيكون عمق المياه على الهدار؟ (بكالوريوس جامعة الامام عبد الرحمن بن فيصل، 2019)

ملحوظة: $Q = 1.38 * \tan\left(\frac{1}{2} * \theta\right) * h^{5/2}$



90^o V - notch

هدار على شكل حرف V

6) **تصميم الهدار:** يبلغ طول الهدار الموضح في الشكل 20.0 مترًا و 1.4 مترًا فوق قاع النهر. يجب أن يتم إنشاء هيكل الهدار الرئيس والجدران الاستنادية على الصخور، ويقترح أن تكون مصنوعة من الخرسانة المسلحة لتجنب أي فشل في القص. تم تزويد موقع الهدار بإجراءات حماية على جانبي المنبع والمصب (أعلى التيار وأدناه). تشمل تدابير الحماية مصيدة حشو riprap ومئزر apron مائل على قاع النهر، ونصب الحجارة stone pitching على منحدرات النهر. تمت إضافة لوح طفو freeboard بطول 0.5م إلى جدران الجناح الاستنادية فوق قمة الهدار. وقد وجد أن هذا كافٍ لاحتواء تدفقات الفيضانات التي تصل إلى فترة عودة return period تصل إلى 20 عامًا. تم توفير فتحات أنابيب النحر داخل جسم الهدار لإزالة الطمي المستمر وبوابة السد sluice gate للمساعدة في تنظيف المدخول بعد كل حدث فيضان كبير. تم إجراء تحليل الثبات لكل من الهدار وجدران الجناح الاستنادية، وتم توفير التسليح اللازم أثناء تطبيق عامل الأمان 1.5. نسبة عزوم المقاومة إلى عزوم الانقلاب

حول إصبع الهدار هي عامل الأمان ضد الانقلاب ويجب أن تكون أكبر من 1.5 للأمان.

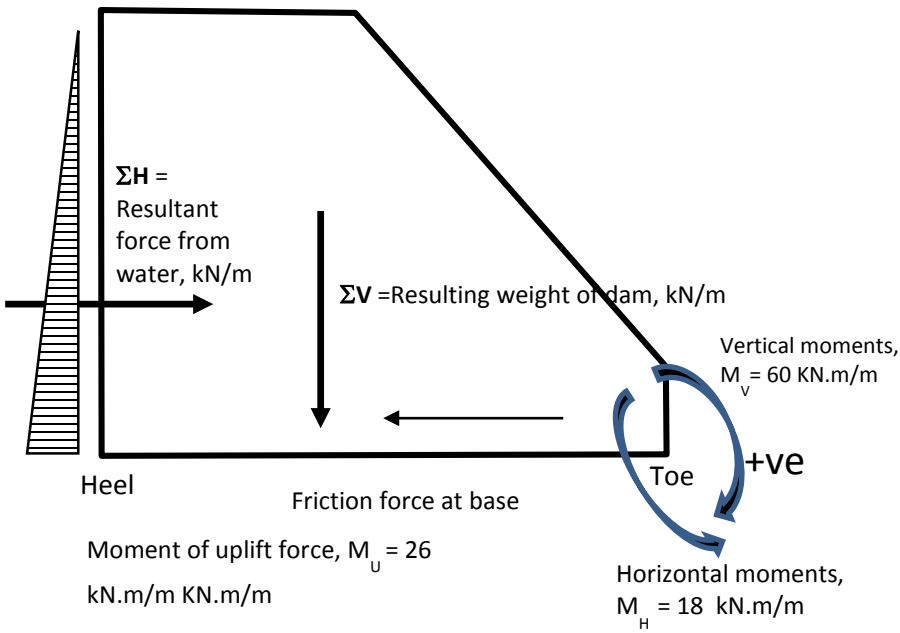
احكم على انقلاب الهدار حول المصب (أدنى التيار) لإصبع الهدار بطريقتين مختلفتين:

أ) العزوم العمودية ($M_V - M_U = 60 - 26$ KN.m/m) مقارنة بالعزوم الأفقية ($M_H = 18$ KN.m/m).

ب) الاستقرار (العزم الموجب ($M_V = 60$ KN.m/m) مقارنة بعزم الانقلاب (العزم السلبي، ($M_H = 18$ KN.m/m)، علما بأن العزم السلبي بسبب ضغط الرفع uplift pressure لأعلى التيار حول إصبع السد(M_U) يساوي 26 KN.m/m.

ج) يجب أن تكون النسبة أكبر من 1 ولكن لأسباب تتعلق بالسلامة تؤخذ على أنها 1.5 للبند (أ) و 1.3 للبند (ب).

(بكالوريوس جامعة الامام عبد الرحمن بن فيصل، 2019)



الهدار تحت ظروف التحميل

7) **أجهزة قياس التدفق:** أعط أمثلة لأجهزة قياس التدفق flow measuring devices العملية عبر الأنابيب.

8) **معادلة برنولي:** أي من الافتراضات التالية يجب تلبيته لتطبيق معادلة برنولي؟

- يجب أن يكون التدفق ثابتًا steady
- يجب أن يكون التدفق غير قابل للضغط incompressible
- يجب أن يكون الاحتكاك اللزج viscous friction ضئيلًا
- يجب أن يكون التدفق مضغوطًا compressible
- يجب أن يكون التدفق موحدًا uniform
- غير ذلك (يرجى التحديد)

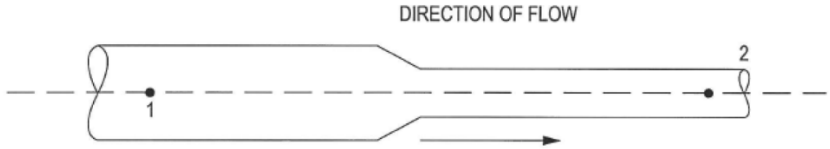
9) **معادلة برنولي:** لماذا وجوب تلبية الافتراضات التالية لتطبيق معادلة برنولي$\frac{v^2}{2}+gz+\frac{P}{\rho}=\text{constant}$؟

- أن يكون التدفق ثابتًا steady، أي أن معلمات التدفق (السرعة، الكثافة، إلخ ...) في أي نقطة لا يمكن أن تتغير بمرور الوقت،
- أن يكون التدفق غير قابل للضغط incompressible – على الرغم من اختلاف الضغط، يجب أن تظل الكثافة ثابتة على طول خط انسيابي streamline (عند انخفاض عدد الماخ Mach number)؛
- أن يكون الاحتكاك بالقوى اللزجة ضئيلًا

10) **معادلة برنولي** بافتراض أن معادلة برنولي تنطبق (تجاهل فواقد السمت) على الأنبوب الموضح في الشكل، أي العبارات التالية هي الأكثر صحة؟ (بكالوريوس جامعة الامام عبد الرحمن بن فيصل، 2019).

أ) يزيد سمت الضغط من المقطع 1 إلى المقطع 2.

ب) ينخفض سمت الضغط من المقطع 1 إلى المقطع 2.
ج) يظل سمت الضغط دون تغيير من المقطع 1 إلى المقطع 2.
د) يتقلب سمت الضغط باستمرار من المقطع 1 إلى المقطع 2.
ه) معادلة برنولي لا تشمل سمت الضغط.

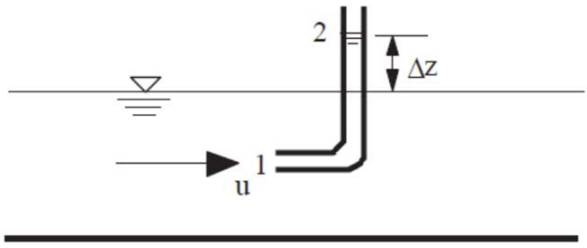


أنبوب مع مقطع متغير

11) **بيّن** الاختلافات الجوهرية بين أجهزة الفنتشوري venture، والفوهة orifice، والمجرى flume في منطقة فعلية. وضح إجابتك بالرسومات الهندسية المناسبة.

12) **أنبوب البيتوت:** يستخدم أنبوب البيتوت لقياس.....
(بكالوريوس جامعة الامام عبد الرحمن بن فيصل، 2019)
أ) الضغط.
ب) فرق الضغط.
ج) سرعة التدفق.
د) السمت.
ه) لا شيء من هؤلاء.

13) **أنبوب البيتوت:** يستخدم جهاز أنبوب البيتوت pitot الموضح في الشكل لتحديد سرعة السائل عند النقطة 1. وهو عبارة عن أنبوب يكون طرفه السفلي موجهًا لأعلى اتجاه الدفق، وساقه الأخرى عمودية ومفتوحة على الغلاف الجوي. تأثير واصطدام السائل على الفتحة 1 يجبر السائل على الارتفاع في الساق العمودية إلى ارتفاع Δz فوق السطح الحر. جد السرعة عند النقطة 1.



14)قياس التدفق من خلال الفتحات والأبواق Flow measurement through orifices and mouthpieces

أي مما يلي عبارة عن فتحة ذات محيط مغلق وذات شكل منتظم يتدفق عبرها المائع؟

- بوابة Gate
- فلوم Flume
- فتحة Orifice
- آلة النفخ Tube
- وير Weir

15)مسابقة البحث عن البرمجيات:

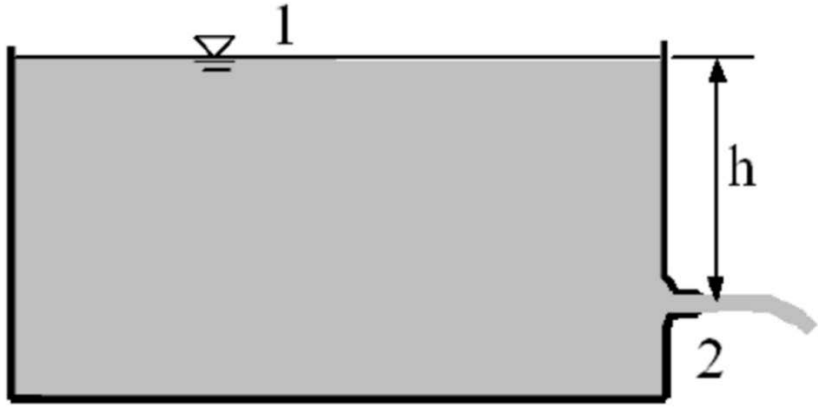
أ) يُطلب من كل مرشح البحث عن برنامج مجاني مفتوح المصدر متاح في المجال العام لأي من القنوات المفتوحة التالية وتصميم المنشآت الهيدروليكية:

- الممرات المائية المضغوطة (مثل القنوات culverts) التحليل والتصميم الهيدروليكي
- تحليل وتصميم المجرى المائي Channel
- تحليل وتصميم الهدار Weir
- تحليل وتصميم مصارف السدود Dam spillways
- تحليل وتصميم السدود الصغيرة

- تحليل وتصميم منشآت التحكم في التدفق (السدود weirs، الفتحات orifices، تقاطعات الجسور bridge crossings، إلخ)
- تحليل وتصميم منشآت تحويل التدفق (التشعبات bifurcations، التقاطعات junctions)
- تحليل وتصميم أحواض احتجاز التدفق والخزانات
- تحليل وتصميم أعمال الحماية الساحلية Coastal protection
- أجهزة محطات الضخ Pumping station devices (الصمامات valves، أجهزة المطرقة المائية water hammer devices، الخانق الهوائية air throttles، إلخ.)

ب) يعد إتقان تشغيل البرامج والمخرجات أمرًا ضروريًا لتمكين تدريب الشركاء المهتمين.

16) **نافورة نفاثة:** حوض كبير به فتحةجيدة الاستدارة تعمل مخرج لما به من سائل. متجاهلا طاقة الحركة على المقطع 1، جد سرعة انطلاق من النفاثة من الحوض.



17) **مقياس فتحة:** مقياس فنتوري مقاس 50 مم × 25 مم مع معامل تصريف 0.98 يجب استبداله بمقياس فتحة معامل تصريفه 0.6، إذا كان على كلا العدادين إعطاء نفس قراءة مقياس ضغط الزئبق التفاضلي لتصريف 10 لتر/ثانية، جد قطر الفتحة.

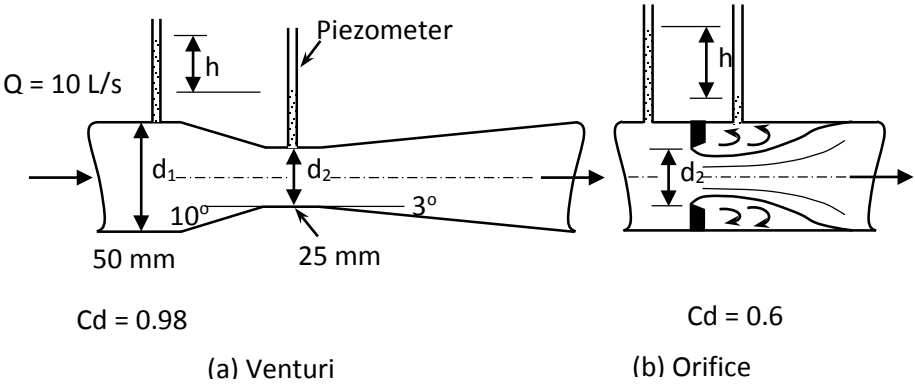
تلميح: صيغ مفيدة:

$$Q=C_d a_1 \sqrt{\frac{2gh}{k^2 -1}}$$

حيث:

$$k= \frac{a_1}{a_2}$$

(بكالوريوس جامعة الامام عبد الرحمن بن فيصل، 2019).



18) **شق مستطيل:** يبلغ تصريف الشق المستطيل 0.24 م^3/ثانية، عندما يكون سمت الماء 800 مم. جد طول الشق notch. افترض أن Cd = 0.6

19) **شق بزاوية قائمة:** خلال تجربة في المختبر، تم جمع 0.05 م^3 من المياه المتدفقة على شق بزاوية قائمةright angled notch في دقيقة واحدة. إذا كان السمت فوق العتبة sill 50 مم، فاحسب معامل تصريف الشق. ($Q_{act} = \left(\frac{8}{15} C_d \sqrt{2g} * tan\left(\frac{\theta}{2}\right)\right)[H^{5/2}]$

20) **شق زاوية قائمة على شكل حرف V:** قناة مستطيلة بعرض 1.5 متر لها تصريف يبلغ 0.2 متر مكعب/ثانية، والذي يتم قياسه بشق ذي زاوية قائمة على شكل حرف V (right–angled V notch)، ابحث عن موضع قمة الشق apex من قاع المجرى. يجب ألا يتجاوز عمق المياه الأقصى 1 متر. افترض أن $Cd=0.62$

21) **مقياس فنتوري:** يجب استبدال مقياس فنتوري venturi meter مقاس 50 مم × 25 مم له معامل تدفق coefficient of discharge يساوي 0.96، بمقياس فتحة orifice meter معامل تصريفه 0.6. إذا كان على كلا العدادين إعطاء نفس قراءة مقياس ضغط الزئبق التفاضلي differential mercury manometer readingلتصريف أو تدفق بمعدل 13 لتر/ثانية، حدد قطر الفتحة orifice.

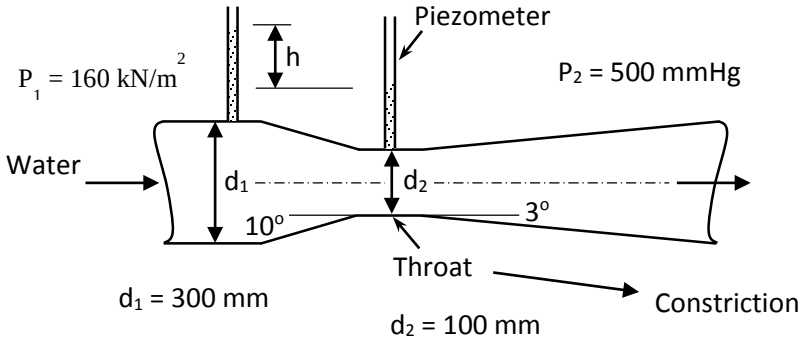
22) **مقياس فنتوري واستخداماته العملية:** (بكالوريوس جامعة الامام عبد الرحمن بن فيصل، 2019)

أ) متى تنصح باستخدام أنبوب فينتوري؟

ب) ادخل عداد فنتوري في خط أنابيب أفقي قطره 300 مم يحمل الماء تحت ضغط 160 كيلو نيوتن/م^2 (انظر الشكل). يبلغ قطر عنق العداد 100 مم والضغط في العنق 500 مم من الزئبق تحت الغلاف الجوي. في حالة فقد 3٪ من الضغط التفاضلي بين المدخل والعنق، حدد معدل التدفق في خط الأنابيب.

تلميح: 1 كيلو باسكال = 0.1019744 م ماء عند 4 درجات مئوية و 1 م زئبق = 13.595 م ماء

$$\frac{v^2}{2}+gz+\frac{P}{\rho}=\text{constant}$$



عداد الفنتوري

23) **الدفق المكشوف:** مجرى مكشوف مستطيل المقطع عرضه 2 متر. وضع عليه عداد فنتوري عنقه 1 متر في نقطة معينة. بافتراض قيم كل من C_v وC_d تساوي 1 و0.96 على الترتيب، ما مقدار التدفق؟

أ) إذا كان عمق أعلى التيار 1.2 متر ويحدث دفق حرج على مجرى الفينتوري؟ استخدم المعادلة

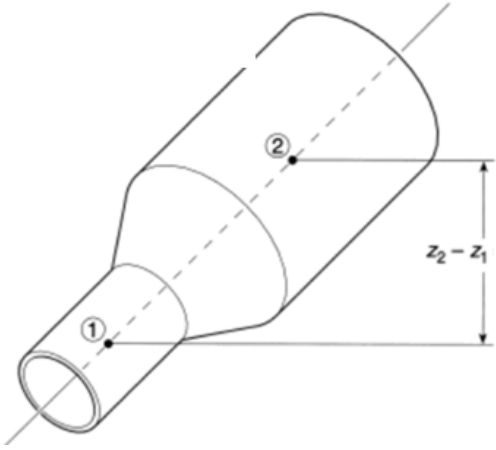
$$Q=1.705C_dC_vb_2h^{1.5}$$

ب) إذا كان عمق أعلى التيار 1.2 متر والعمق عند عنق الفنتوري 1.05 متر؟

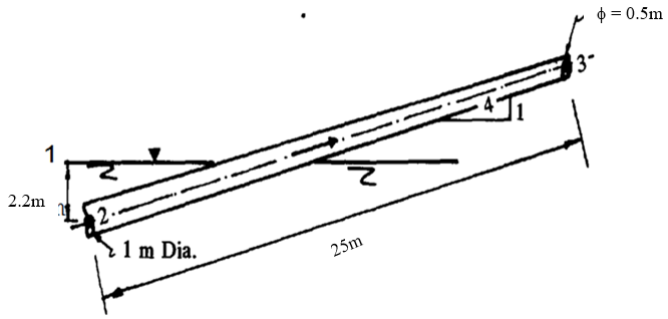
$$y_1+\frac{v_1^2}{2g}=y_2+\frac{v_2^2}{2g}$$

24) **معادلة الطاقة:** يتغير خط الأنابيب الذي يحمل تصريف 0.12 م^3/ث من قطر 150 مم إلى قطر 300 مم ويرتفع خلال 6 أمتار. احسب تغيرات الضغط باستخدام معادلة الطاقة في الأنبوب الذي قطره 300 مم عندما يكون الضغط في الأنبوب ذي القطر 150 مم يعادل 330 كيلو نيوتن/م^2.

$$\frac{P_1}{\rho g}+\frac{v_1^2}{2g}+z_1=\frac{P_2}{\rho g}+\frac{v_2^2}{2g}+z_2$$



25) **مضخة تصريف:** مضخة تصريف drainage pump لها أنبوب شفط مدبب، تقوم بتصريف المياه من الحوض sump. يبلغ قطر الأنبوب عند المدخل والطرف العلوي 1 م و0.5 م، على التوالي. يبلغ سطح الماء الحر في الحوض 2.2 متر فوق مركز المدخل ووضع الأنبوب على منحدر 1 (رأسيًا): 4 (على طول خط الأنابيب). يبلغ الضغط عند الطرف العلوي للأنبوب 0.24 م من الزئبق تحت الغلاف الجوي، بافتراض أن فقدان الضغط بسبب الاحتكاك بين القسمين هو تسع من ضغط السرعة في القسم العلوي، احسب معدل التدفق عبر الأنبوب إذا كان طوله 25 مترًا.



4

الباب الرابع

منشآت النقل والتحكم والحماية

ملخص هذا الباب

الهياكل والمنشآت غير المنظمة Non-Regulating structures

هياكل ومنشآت النقل Conveyance structures

- البرابخ أو العبّارات Culverts
- القنوات Aqueducts
- سيفونات Siphons
- القفزات الهيدروليكية Hydraulic jumps
- مراجعة التدفق فوق الحرج والتدفق دون الحرج
- موقع حدوث القفزة الهيدروليكية
- المعادلة عبر القفزة الهيدروليكية
- فقدان السمت عبر القفزة الهيدروليكية

بعد الانتهاء من قراءة هذا الباب سيتمكن القارئ من:

- فهم سلوك تدفق القناة المفتوحة في ظل ظروف مختلفة.
- التعرف على النظريات الأساسية التي تحكم تصميم القنوات المفتوحة والمنشآت الهيدروليكية.
- تطبيق النظريات الأساسية لاشتقاق المعادلات المختلفة المستخدمة في حساب تصميم المنشآت الهيدروليكية.

4-1) منشآت النقل لتوجيه التدفق من موقع إلى آخر

تشمل منشآت النقل لتوجيه التدفق الآتي:

- القنوات المكشوفة المفتوحة Open channel
- مواسير الضغط Pressure conduits
- المواسير Pipes
- القنوات Canals
- المجاري Sewers

4-1-2) الهدارات

الهدار هو حاجز يعترض المجرى المائي بحيث ينساب الماء من أعلاه عبر فتحة تسمى فتحة الهدار.

استخدامات الهدارات:

1- منشآت تحكم ومعايرة في المأخذ ضمن المجمعات الهيدروليكية وتقوم بما يلي:

- توجيه الماء نحو المأخذ.
- رفع وتنظيم منسوب الماء.
- تخفيض سرعة الجريان.

2- منشآت قياس التدفق (في المعمل).

تصنيف الهدارات:

1- حسب الشكل الهندسي لفتحته:

- مستطيلة واسعة الاستخدام.
- مثلثية واسعة الاستخدام في قياس التصريف حيث تعطي دقة جيدة للتصاريف الصغيرة.
- شبه منحرفه واسعة الاستخدام.
- دائرية نادرة.

- بشكل قطع مكافئ حيث تكون العلاقة بين تصريف الهدار والضاغط أمامه خطيه.

2- حسب موضع الهدار وشكله في المسقط الافقي:
   - هدارات ذات العتبة المستقيمة.
   - هدارات ذات العتبة غير المستقيمة.
   - هدارات منحنية.

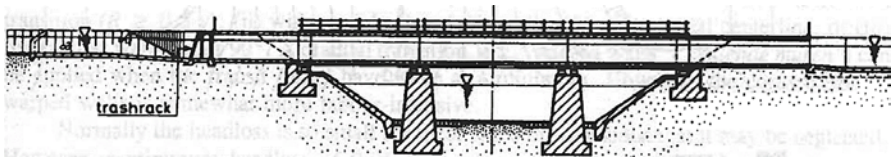
3- حسب شكل وأبعاد المقطع العرضي لجدار الهدار:
   - رقيق الحافه.
   - ذات مقطع عملي.
   - عريض الحافة.
   - قناة ذات ميل.

4- حسب طبيعية الجريان في الهدار:
   - مغمور.
   - غير مغمور.
   - ملاصق.
   - بدون انضغاط جانبي.

4-1-3) القنوات المائية Aqueducts

القناة المائية هي نوع آخر من منشآت النقل، وتصمم بسمت منخفض low headloss. تُستخدم القنوات المائية لتحويل الري أو القناة فوق مجرى drain أو حتى نهر. الجزء الأكبر من الحمل الحي live load هو الماء في القناة المائية. وبالتالي، يجب أن تظل السرعة v عالية لتقليل الوزن. من ناحية أخرى، يجب أن تظل السرعة v منخفضة لتقليل فقد السمت z، ويجب أن تكون السرعة v على الأقل ضعف سرعة القناة لتثبيط ترسب الرواسب والجوامد، ولكن بصورة عامة يجب ألا تتجاوز السرعة $v = 3.0$ متر على الثانية. يعمل المقطع الصندوقي للقناة المائية كعارض ممتد spanning beam، لذلك

يعتمد التصميم الاقتصادي على نسبة عالية من $\frac{b}{y}$ ، حيث يمثل b عرض المنشأة و y عمق الماء.

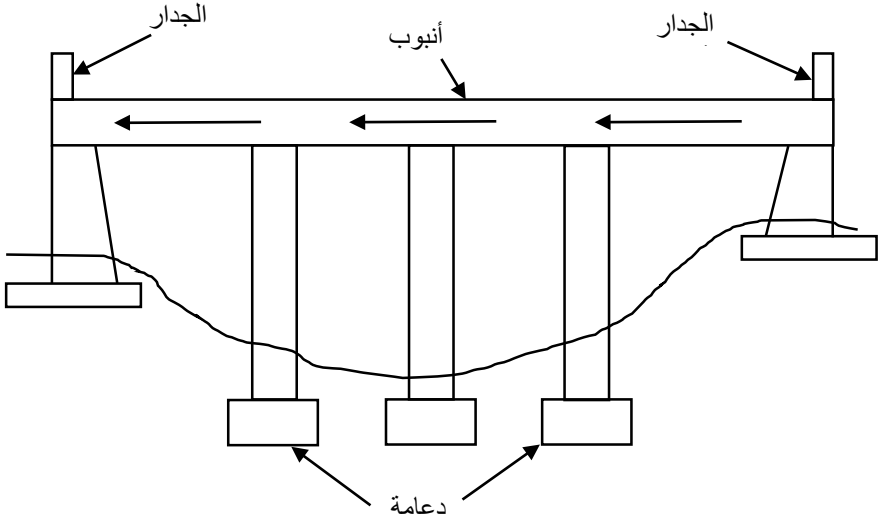


شكل (4–1): القنوات المائية

القناة المائية عبارة عن هيكل متقاطع للصرف cross–drainage structure ينشأ حيث يكون مستوى فيضان الصرف drainage flood أسفل قاع القناة المائية. قد تؤخذ المصارف الصغيرة تحت القناة المائية والضفاف بواسطة برميل خرساني أو حجري masonry barrel (بربخ)، بينما في حالة معابر الأنهار، قد يكون من الاقتصادي أن تسيل القناة المائية فوق التيار (على سبيل المثال، باستخدام حوض خرساني concrete trough).

عندما يلتقي كل من القناة المائية والمصرف بشكل أو بآخر على نفس المستوى، يمكن تمرير المصرف عبر قناة سيفون مقلوبة أسفل القناة المائية inverted siphon aqueduct؛ يكون التدفق عبر القناة المائية هنا دائمًا تحت الضغط. إذا كان تصريف المصرف محملاً بالطمي silt بشكل كبير، فيجب توفير قاذف الطمي silt ejector في نهاية المنبع (أعلى اتجاه التيار) لقناة السيفون؛ ويعتبر رف القمامة trash rack ضروريًا أيضًا إذا كان التيار يحمل حطامًا عائمًا floating debris قد يؤدي إلى خنق مدخل القناة المائية. في هذا النوع من أعمال الصرف المتقاطع، يمر المصرف الطبيعي فوق القناة، وتتميز القناة الموجودة أسفل المصرف دائمًا بتدفق سطح حر. يُطلق على الممر الفائق اسم سيفون القناة أو canal siphon، وببساطة سيفون مقلوب inverted siphon إذا تم خفض قاع القناة أسفل المصرف لاستيعاب تدفق القناة، والذي سيكون دائمًا تحت الضغط.

القناة المائية عبارة عن هيكل تم إنشاؤه في الموضع المراد، حيث يجب أن تعبر القناة مصرفاً على مستوى مرتفع بدرجة كافية. تشبه القناة الجسر، ولكن بدلاً من طريق أو سكة حديدية، تتدفق مياه القناة المائية فوق الصرف الطبيعي natural drainage. يمكن أخذ مياه الري من خلال أنبوب فوق مياه الصرف إذا كان مقطع قناة الري صغيرًا جدًا. يُدعم الأنبوب في موضعه عند النهايات بجدران حجرية masonry walls وبينها دعامات.



شكل (4-2): القناة المائية

النوع الأول: في هذا النوع من القنوات aqueduct، تكون جوانب القناة عبارة عن جسر ترابي earthen embankmentبالكامل مع منحدرات ترابية كاملة. يجب أن يكون طول البربخ الذي يمر من خلاله التصريف كافياً لاستيعاب مجرى المياه للقناة وكذلك عرض قاع الردميات الجانبية. في هذه الحالة، يحتفظ بقسم القناة الأصلي ولا يعمل شفاط في قسم القناة fluming of canal section.

النوع الثاني: يشبه إلى حد كبير النوع الأول باستثناء أنه يتم تقليل الجزء الخارجي من خلال دعمه بالحجارة أو الجدار الخرساني masonry or concrete wall.

النوع الثالث: في هذا النوع من القنوات aqueduct، يتم إيقاف ضفاف القناة في جزء القناة المائية وتنقل مياه القناة في حوض حجري أو حوض خرساني masonry or concrete trough مبني فوق قناة البربخ. في هذه الحالة، يتم تقليل طول البربخ للقيام بالنقل fluming. يصبح هذا النوع ضروريًا حيث تضطر القنوات الكبيرة إلى عبور التصريف الطبيعي الكبير مع مناطق مستجمعات المياه الكبيرة.

4-1-3-1) اختيار النوع المناسب Selection of a suitable type

لتحديد النوع المناسب، من الضروري فهم المصطلحات التالية:

- طول البربخ Culvert length: هو عرض القناة المائية aqueduct ويقاس على طول المصرف drain. تعتمد القناة على شكل وحجم مقطع القناة.
- طول القناة المائية Length of aqueduct: هو الطول المقاس بشكل عمودي على المصرف drain. من الواضح أنه يساوي عرض الصرف.
- ربط الضفة Bank connection: يتكون من أجنحة حجرية (خرسانية)، إلخ المطلوبة لربط المقطع العادي من القناة بالقسم المعدل فوق القناة المائية aqueduct.

4-1-4) الشفاطات المقلوبة Inverted Siphons

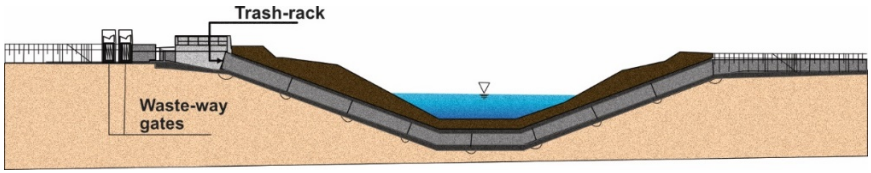
تم تصميم "السيفون المقلوب" أيضًا بشكل طبيعي مع فقد سمت منخفض. تستخدم الشفرات المقلوبة بشكل أساس في قنوات الري لعبور الأنهار river crossings حيث تكون القناة المائية aqueduct غير مناسبة.

يعتمد قرار استخدام قناة مائية aqueduct أو سيفون مقلوب inverted siphon في قناة الري على عدد من العوامل، أهمها نقل الرواسب. سوف يحبس السيفون جميع الرواسب عند التدفق المنخفض، حيث أن السرعة في السيفون ستصبح أقل بكثير مما هي عليه في القناة. قد تكون هناك حاجة إلى إجراءات خاصة، مثل مرافق الغسيل wash-out facilities، أو ببساطة بوابات لإغلاق أحد البراميل أثناء عمليات التفريغ المنخفضة. لمنع حدوث الطمي والانسداد، يجب الحفاظ على علو السرعة ٧. ومع ذلك، فإن السرعة العالية تؤدي إلى فقد سمتٍ عال. يجب أن تكون السرعات ضعف سرعة القناة الطبيعية على الأقل وألا تقل بأي حال عن 1.5 م/ث، كما يجب ألا تتجاوز السرعة القصوى 3 م/ث.

يقع الجزء العلوي من مدخل السيفون تحت سطح الماء العادي. سيؤدي ذلك إلى تقليل الانخفاض المحتمل في سعة السيفون الناجم عن دخول الهواء إلى السيفون. يُعرف عمق الغمر باسم "ختم" الماء water seal. يعتمد الارتفاع المطلوب للختم على المنحدر وحجم البرميل، ويمكن أخذه عند 1.5 مرة من فواقد المدخل، بحد أدنى 0.15 متر.

يجب تركيب "أكوام القمامة Trashracks" عند مدخل الشفاطات لتجنب الدخول غير الطوعي من قبل الأشخاص أو الحيوانات ولتجنب الانسداد بسبب الحطام العائم. ومع ذلك، فإن سد سلة المهملات سيزيد من فقد سمت المدخل.

سيكون السيفون المقلوب تحت ضغط داخلي وبالتالي يجب عدم استخدام الوصلات بين عناصر الأنبوب. بدلاً من ذلك، يمكن استخدام طوق خرساني مقوى، ويفضل أن يكون مصبوبًا في الموقع.



شكل (4–3): الشفاطات المقلوبة Inverted Siphons

4–1–5) تصميم قنوات المجاري Design of channels

الهدف من تصميم المجرى هو الوصول إلى مقطع عرضي يمكن أن يحمل التدفق التصميمي دون مشاكل النحر scouring أو الطمي silting. لتصميم المجاري، يجب أن تكون البيانات التالية متاحة: التدفق التصميمي Q؛ خصائص السطح والتربة (معامل الخشونة)؛ وعامل الطمي silt factor f. التصميم يتكون من تحديد العوامل الأربعة التالية:

- مساحة المقطع العرضي للمجرى channel، A
- متوسط العمق الهيدروليكي أو نصف القطر الهيدروليكي، R
- سرعة التدفق، v
- المنحدر الطولي للقاع Longitudinal slope of the bed، S

لبدء التصميم، تعتبر المعادلتان التاليتان (متاحتان):

- معادلة الاستمرارية Q = Av
- معادلة التدفق، مانينغ Manning، تشيزي Chezy، كوتر Kutter V = f(n, R, S)

مما سبق أعلاه، يتضح أن هناك أربعة مجاهيل، مما يستوجب معادلتين إضافيتين لحلها. للحصول على المعادلتين الإضافيتين، يمكن اعتماد الإجراءات التالية:

- من خلال توفير قناة من أفضل مقطع تفريغ، يمكن الحصول على معادلة بين المنطقة A ومتوسط العمق الهيدروليكي hydraulic mean depth.

- يمكن الحصول على معادلة محددة لسرعة التدفق بناءً على اعتبار النحر والطمي.
- تثبيت المنحدر الطولي على أساس الانحدار الأرضي المتاح.
- بناءً على التجربة، فإن تحديد نسبة عرض B وعمق D مناسبة (B/D) ليس ضروريًا ليعطي أفضل مقطع.

4-1-5-1) نظرية أو طريقة كينيدي *Kennedy's theory (method)*

1) للحفاظ على الطمي silt عالقاً، تتناسب قوة دعم الطمي بشكل مباشر مع عرض قاع التيار bed width of the stream ولا تعتمد على المحيط المبلل wetted perimeter.
2) يمكن تسمية السرعة المُحَدِّدَة limiting velocity التي لا تُنتج ترسيباً أو نحراً بالسرعة الحرجة critical velocity. العلاقة بين السرعة الحرجة والعمق:

$$v_c = 0.55*D^{0.64} \quad (4.1)$$

وبعد التعديل والتطوير ستصبح:

$$v = 0.55*m*D^{0.65} \quad (4.2)$$

where:

$$m = v/v_c \quad (4.3)$$

حيث:

v = سرعة التدفق في المجرى velocity of flow in channel

m = نسبة السرعة الحرجة (C.V.R.) critical velocity ratio، والتي تختلف من 0.7 للرمل الناعم إلى 1.3 للرمال الخشنة جدًا

لتحديد السرعة المتوسطة mean velocity للتدفق في القناة channel، استخدم كينفيدي Kennefdy معادلة كوتر Kutter's:

$$v=C\sqrt{RS} \quad (4.4)$$

$$C = \left[\frac{23+\frac{1}{n}+\frac{0.00155}{S}}{1+\left(23+\frac{0.00155}{S}\right)\frac{n}{R}}\right] \quad (4.5)$$

تكمن صعوبة صيغة كينيدي في أنه لم يقدم أي صيغة لإصلاح المنحدر S والذي يجب إصلاحه، كما يجب تثبيته بناءً على منحدر الأرض الطبيعي، مما يجعل من الصعب الحصول على أفضل مقطع best section للتصريف المحدد.

4-1-5-2) تصميم المجرى channel باستخدام طريقة كينيدي

طريقة التصميم

1) افترض قيمة تجريبية للعمق D بالمتر وجد سرعة كينيدي من المعادلة 4-6.

$$v = 0.55*m*D^{0.64} \quad (4.6)$$

2) احسب مساحة المقطع العرضي A من معادلة الاستمرارية A = Q/v.
3) احسب عرض القاع bed width المقدر b بمعلومية المساحة A والعمق D. مثلاً لقطع شبه منحرف قم باختيار ميل المجرى اعتمادا على مادة المجرى (مثلاً 1/2H:1V)، من ثم يمكن إيجاد مساحة المقطع المستعرض باستخدام المعادلة 4-7.

$$A = b * D + \frac{1}{2}D^2 \quad (4.7)$$

ومنها يمكن حساب b.

4) جد المحيط المبتل ونصف القطر الهيدروليكي:

$$\text{wetted perimeter, } P=b+2\sqrt{\left[D^2+\left(\frac{D}{2}\right)^2\right]} \quad (4.8)$$

$$\text{Hydraulic radius, } R=\frac{A}{P}=\frac{\left(bD+\frac{D^2}{2}\right)}{\left(b+D\sqrt{5}\right)} \quad (4.9)$$

5) جد السرعة المتوسطة الفعلية actual mean velocity باستخدام معادلة كينيدي:

$$v=C\sqrt{RS} \quad (4.10)$$

$$C = \left[\frac{23+\frac{1}{n}+\frac{0.00155}{S}}{1+\left(23+\frac{0.00155}{S}\right)\frac{n}{R}}\right] \qquad (4.11)$$

6) قيمة السرعة المحسوبة في (5) أعلاه لابد أن تقارن بقيمتها من (1) للعمق المفترض. في حالة عدم المقارنة بين القيمتين فلابد من تغيير افتراض العمق D وبالقيام بحساب كل الخطوات السابقة، ثم تكرار العملية لحين الحصول على قيمتين مقارنتين للسرعة.

7) يتم تحضير التصميم لميل معطى معلوم S.

4-1-6) القنوات الهيدروليكية المفتوحة Open channel hydraulics ونظرية منشآت قياس التدفق

القناة المفتوحة open channel هي القناة التي لا يكون فيها التيار محاطًا بحدود صلبة، وبالتالي يكون لها سطح حر يخضع فقط لضغط الغلاف الجوي. لا ينتج التدفق في هذه القنوات عن بعض السمت الخارجي، ولكن بالأحرى بسبب مركبة الجاذبية على طول منحدر القناة. لهذا السبب يُشار أحياناً إلى تدفق القناة المفتوحة باسم التدفق السطحي الحر free surface flow أو تدفق الجاذبية gravity flow. من أمثلة القنوات المفتوحة الأنهار والقنوات والجداول ونظام الصرف الصحي.

تصنف القنوات المفتوحة إلى:

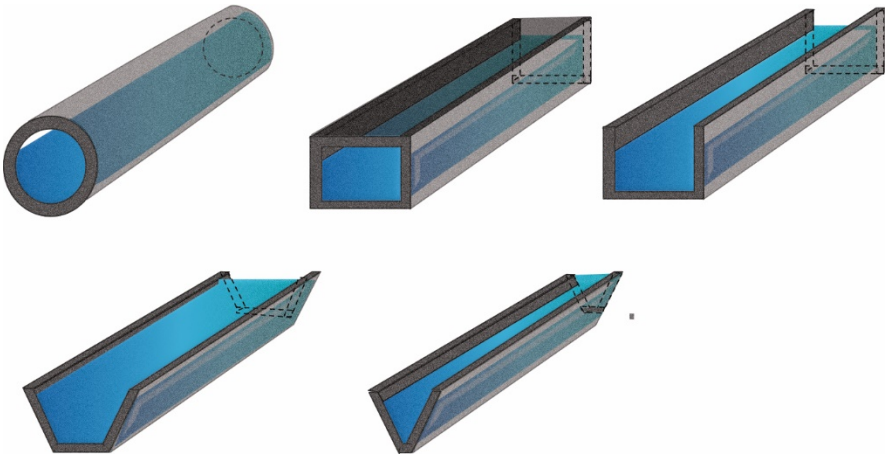
1- القنوات الطبيعية: وهي التي ليس لها مقطع منتظم لأنها تكونت بشكل طبيعي مثل الأنهار ومجاري المياه الطبيعية.

2- القنوات الصناعية: وهي القنوات التي تبنى لنقل المياه لأغراض مختلفة، ومقطع الجريان لهذه القنوات يكون بأشكال منتظمة على طول المجرى.

4-1-6-1) أشكال القنوات المفتوحة

تصمم القنوات حسب الشكل الي الاتي:

- قناة شبه منحرف.
- قناة مستطيلة.
- قناة مثلثة.
- قناة دائرية.



شكل (4-4): أنواع القنوات الهيدروليكية المفتوحة

4-1-6-2) أنواع القنوات حسب المادة

- قنوات مبطنة Lined channels (قنوات حدودية صلبة Rigid boundary channels)
- القنوات غير المبطنة (القنوات القابلة للتآكل أو الترابية erodible or earthen channels)

4-1-6-3) أنواع القنوات المفتوحة

1- القناة Canal: عادة ما تكون قناة طويلة وخفيفة الانحدار بنيت على الارض بالردم أو الحفر.

2- فلوم Flume: هي قناة مدعومة تكون على السطح أو فوقه لحمل الماء.
3- شلال Chute: هي قناة ذات منحدرات شديدة.
4- دروب Drop: مشابه للشلال، ولكن التغير في الارتفاع يتأثر في مسافة قصيرة.
5- عبّارة أو بربخ Culvert: قناة مغطاة تتدفق بالكامل أو جزئياً، وتثبت لتصريف المياه من خلال جسور الطرق السريعة والسكك الحديدية.

الخواص الهندسية للمجرى:

- العرض العلوي T.
- مساحة المقطع A.
- المحيط المبلل P.
- نصف القطر الهيدروليكي R.
- العمق Y.

4-1-7) شروط التدفق للتدفق المنتظم Uniform flow والتدفق غير المنتظم Non-uniform flow

للتدفق المنتظم عبر القناة المفتوحة:

$$\frac{dy}{dL} = 0 \qquad (4.12)$$

حيث:

dy = العمق

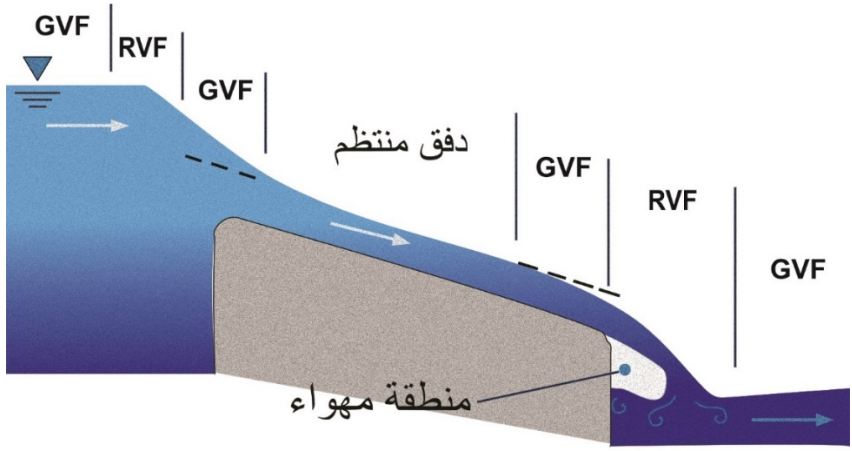
dl = المسافة عبر القناة المفتوحة

بالنسبة للتدفق غير المنتظم، فإن قوة الجاذبية ومقاومة الاحتكاك ليسا متوازنتين. وبالتالي تنتج المعادلة 4-13 مما ينتج عنه تدفق غير منتظم.

$$\frac{dy}{dL} \neq 0 \qquad (4.13)$$

يوجد نوعان من التدفقات غير المنتظمة:

- في النوع الأول، تمتد الحالة المتغيرة لمسافة طويلة، وهذا ما يسمى بالتدفق المتغير تدريجيًا gradually varied flow, GVF.
- في النوع الثاني، قد يحدث التغيير بشكل مفاجئ جدًا وبالتالي يقتصر الانتقال على مسافة قصيرة. يمكن تصنيف هذا على أنه ظاهرة تدفق غير موحدة محلية local non-uniform flow, LNUF أو تدفق متنوع بسرعة rapidly varied flow, RVF.



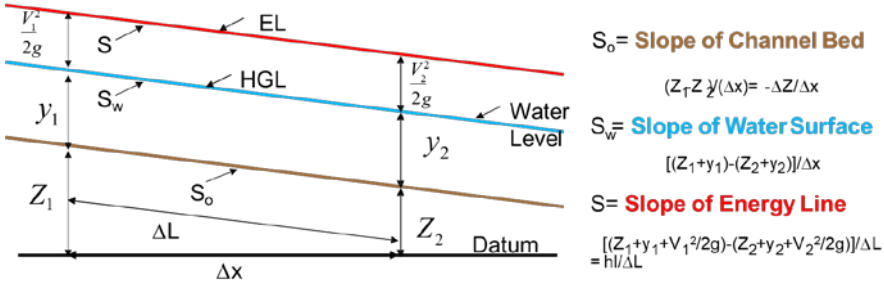
شكل (4-5): أنواع التدفق في القنوات الهيدروليكية المفتوحة

4-1-8) خواص الدفق المنتظم Characteristics of Uniform flow

للتدفق المنتظم تطبق المعادلة 4-14 و4-15.

$$y_1 = y_2 \qquad (4.14)$$

$$\frac{v_1^2}{2g} = \frac{v_2^2}{2g} \qquad (4.15)$$



شكل (4–6): خواص الدفق المنتظم

ومن ثم فإن الخط الذي يشير إلى قاع القناة ومظهر سطح الماء water surface profile، وخط الطاقة energy line، تكون متوازية مع بعضها البعض. ولأن قيم θ صغيرة جدًا (أقل من 5 درجات) فهذا يعني أن ΔL = Δx.

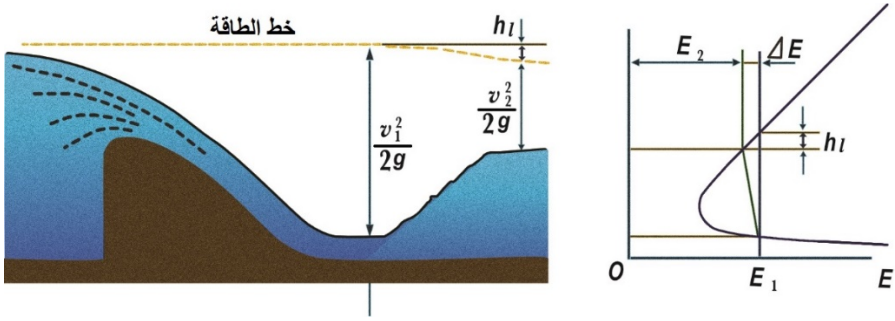
4–1–9) القفزة الهيدروليكية Hydraulic jumps

القفزة الهيدروليكية هي موجة صدمة shockwave مائع تنشأ عند الانتقال بين التدفق الصفحي والتدفق المضطرب. يمكن رؤية أحد الأمثلة الشائعة للقفزة الهيدروليكية في الماء الذي يشع للخارج عندما يصطدم تيار ماء الصنبور بالسطح الأفقي للحوض. يتدفق الماء في البداية في صحيفة ناعمة ذات أنماط تيار متسقة، إذ تتجاوز سرعة الماء سرعة الموجة المحلية. يؤدي الاحتكاك بسطح الحوض إلى إبطاء التدفق حتى يحدث تغيير مفاجئ. عند هذه النقطة، يزداد العمق مع تراكم المياه في المنطقة الانتقالية ويصبح التدفق مضطربًا. تعتبر القفزات الهيدروليكية أيضًا من السمات النموذجية لمنحدرات الأنهار حيث تدور المياه وتتراكم حول الصخور وجذوع الأشجار، وفي أغلب الأحيان تُشكّل الآلية المفضلة لتبديد الطاقة في قاع المجاري المائية. من خلال التحكم في عمق مياه الذيل tailwater أو الخزان المُستقبِل، قد تُجبر القفزة على الحدوث داخل ساحة مجرى الصرف spillway، وبالتالي تقلل من تآكل القناة بشكل أكبر في اتجاه مجرى النهر.

القفزة الهيدروليكية هي ظاهرة تدفق غير منتظمة محلية ناتجة عن التغيير في التدفق من الفائق الحرج super critical إلى الحرج الفرعي sub critical. في مثل هذه الحالة، يمر مستوى الماء عبر العمق الحرج critical depth ووفقًا للنظرية تسود المعادلة 4-16.

$$\frac{dy}{dx} = \infty \qquad (4.16)$$

المظهر الجانبي لسطح الماء water surface profile يجب أن يكون عموديًا. لا يمكن أن يحدث هذا فعلياً، والنتيجة هي انقطاع في السطح يتميز بانحدار شديد لأعلى المظهر مصحوبًا بالكثير من الاضطرابات والدوامات. تسبب الدوامات فقدان الطاقة والعمق بعد القفزة أقل بقليل من العمق المقابل. يُعرف العمق قبل القفزة الهيدروليكية وبعدها بالأعماق المترافقة conjugate depths أو الأعماق المتسلسلة sequent depths.



شكل (4-7): خواص القفزة الهيدروليكية

4-1-9-1) مراجعة التدفق فوق الحرج والتدفق دون الحرج Review of supercritical flow and subcritical flow

يتميز التدفق فوق الحرج Supercritical بسرعة تدفق عالية وعمق تدفق ضحل وانحدار قاع للقناة حاد نسبيًا. من ناحية أخرى، يتميز التدفق دون الحرج بانخفاض سرعة التدفق Subcritical، وعمق تدفق مرتفع، ومنحدر سفلي صغير نسبيًا للقناة. يُستخدم رقم فرود Froude Number (Fr) للتمييز بين التدفق فوق الحرج supercritical ودون الحرج

subcritical flow. رقم Froude فرود هو نسبة سرعة التدفق flow velocity إلى سرعة الموجة wave celerity ويبين الحدود بين التدفق الحرج ودون الحرج:

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{g * y}} \qquad (4.17)$$

حيث:

v = متوسط السرعة في القناة

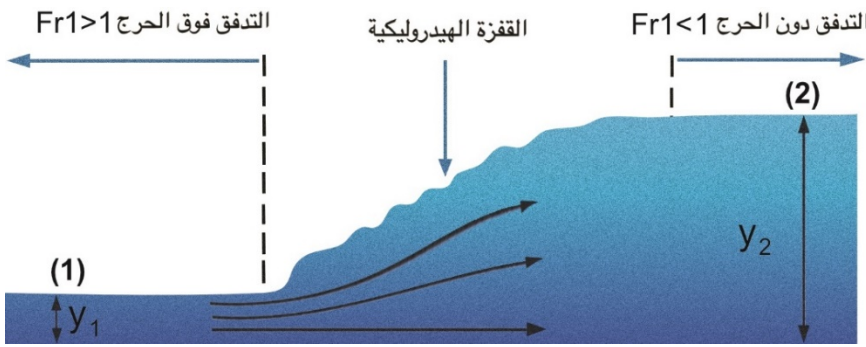
y = عمق التدفق

g = تسارع الجاذبية.

جدول (4-1): أنواع التدفق في القفزة الهيدروليكية	
نوع التدفق	**رقم فرود(Fr) Froude**
للتدفق فوق الحرج Supercritical flow	أكبر من 1
التدفق دون الحرج subcritical flow	أقل من 1

4-1-9-2) تصنيف القفزة الهيدروليكية classification of hydraulic jump

يبين الجدول (4-2) والشكل (4-8) تصنيف القفزة الهيدروليكية



شكل (4-8): تصنيف القفزة الهيدروليكية

جدول (4–2): تصنيف القفزة الهيدروليكية	
قيمة رقم فرود	التصنيف
1.0 إلى 1.7	قفزات متموجة undularjumps
1.7 إلى 2.5	قفزة ضعيفة weakjump
2.5 إلى 4.5	قفزة متذبذبة oscillatingjump
4.5 إلى 9.0	قفزة ثابتة steadyjump
9.0	قفزة قوية strongjump

كما يعطي جدول (4–3) شرح أوفي لحالة القفزة مع رقم فرود.

جدول (4–3): حالة القفزة مع رقم فرود	
قيمة رقم فرود F_{r1}	الملاحظات
أقل من 1	قفزة مستحيلة Jump impossible، تنتهك القانون الثاني للديناميكا الحرارية
1.0 إلى 1.7	موجة واقفة Standing–wave، أو متموجة undular jump، تقفز بطول $4y_2$ ؛ تبديد منخفض، أقل من 5 بالمائة
1.7 إلى 2.5	ارتفاع السطح الأملس باستخدام دحروج صغير يُعرف باسم قفزة ضعيفة weak jump، التبديد من 5 إلى 15 في المائة
2.5 إلى 4.5	قفزة متذبذبة oscillating jump غير مستقرة Unstable؛ كل نبضة غير منتظمة irregular pulsation تنتج موجة كبيرة، يمكنها الانتقال في اتجاه مجرى النهر لأميال، مما يؤدي إلى إتلاف الضفاف وغيرها من الهياكل والمنشآت. لا ينصح

	بهذه الحالة لظروف التصميم. تبديد 15 إلى 45 في المائة
4.5 إلى 9.0	قفزة ثابتة Stable ومتوازنة well–balanced وثابتة steady jump؛ أفضل من حيث الأداء والعمل، وغير حساسة لظروف المصب – أدنى التيار. أفضل مجموعة تصميم. تبديد 45 إلى 70 بالمائة
9.0	قفزة قوية Rough متقطعة إلى حد ما somewhat intermittent، لكنها ذات أداء جيد good performance. تبديد 70 إلى 85

4-1-9-3) موقع حدوث القفزة الهيدروليكية

تحدث القفزة الهيدروليكية في أي مكان يحدث فيه تدفق فوق الحرج في قناة channel ليس بها منحدر حاد بدرجة كافية للحفاظ على التدفق فوق الحرج. توفر القفزة الهيدروليكية الانتقال إلى التدفق دون الحرج من التدفق فوق الحرج.

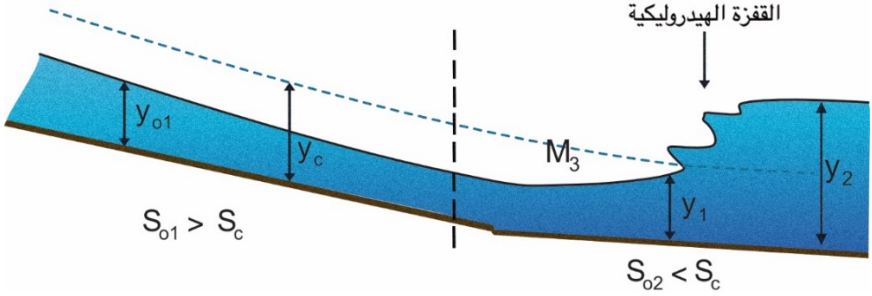
جدول (4–4): التدفق من خلال القفزة الهيدروليكية

نوع التدفق	رقم فرود(Fr) Froude	شروط التدفق
التدفق فوق الحرج	أكبر من 1	تتجاوز سرعة التدفق سرعة الموجة wave celerity (سرعة ذروة الموجة الفردية speed of an individual wave crest) وتكون حركة الموائع سلسة
التدفق دون الحرج	أقل من 1	عرض التدفق المضطرب

أحد المواقف المادية التي من شأنها أن تؤدي إلى قفزة هيدروليكية كما هو موضح في الرسوم البيانية.

هذا الانتقال من منحدر مجرى شديد الانحدار مع تدفق فوق الحرج إلى منحدر أصغر سيحافظ فقط على التدفق دون الحرج.

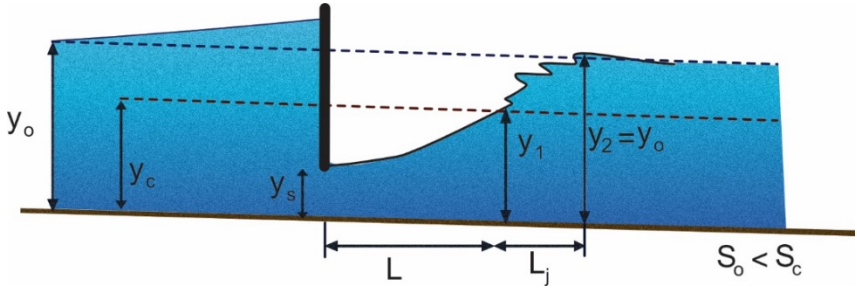
موقع القفزة الهيدروليكية عند تغيير المنحدر من شديد الانحدار Steep إلى معتدل Mild



شكل (4–9أ): موقع القفزة الهيدروليكية

قد تحدث قفزة هيدروليكية

- أدنى التيار من نقطة الفاصل في المنحدر Break point in slope ($y_1 > y_{o1}$)
- عند الفاصل في النقطة $y_1 = y_{o1}$
- أعلى التيار في المنحدر $y_1 < y_{o1}$



شكل (4–9ب): التدفق تحت بوابة السد Flow Under a Sluice Gate

موقع القفزة الهيدروليكية حيث تبدأ كما في المعادلة 4–18.

$$\boldsymbol{L} = \frac{(\boldsymbol{E_s} - \boldsymbol{E_1})}{(\boldsymbol{S} - \boldsymbol{S_o})} \quad (4.18)$$

شرط حدوث قفزة هيدروليكية توضحه المعادلة 4–19.

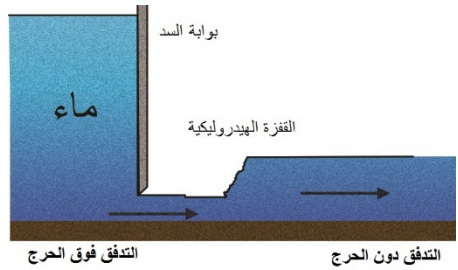
$$y_s < y_1 < y_c < y_2 \quad (4.19)$$

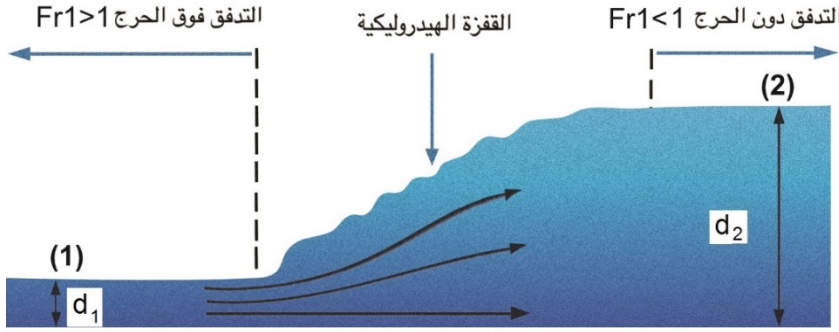
يصبح التدفق منتظمًا على مسافة $L + L_j$ من بوابة السد sluice gate حيث طول القفزة الهيدروليكية توضحه المعادلة 4–20.

$$L_j = 5y_2 \; or \; 7(y_2 - y_1) \quad (4.20)$$

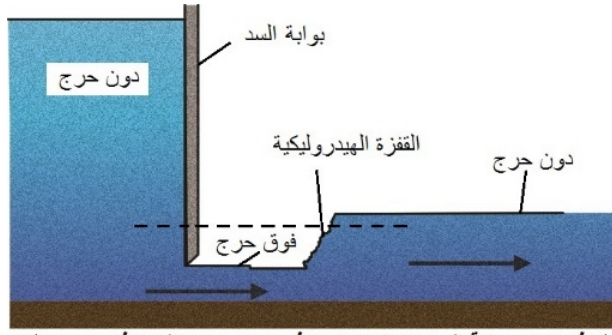
يُظهر شكل (4–10) تدفقًا فوق الحرج يأتي تحت بوابة السد sluice gate على منحدر يحافظ فقط على التدفق دون الحرج.

في كلتا الحالتين، توجد قفزة هيدروليكية لتوفير انتقال مفاجئ من التدفق فوق الحرج إلى التدفق دون الحرج. يمكن أن ينتقل تدفق القناة المفتوحة Open channel flow بسلاسة من التدفق دون الحرج إلى التدفق فوق الحرج، ولكن لا توجد طريقة للانتقال السلس من التدفق فوق الحرج إلى التدفق دون الحرج في تدفق القناة المفتوحة.





أرقام فرود وأعماق السائل عبر القفزة الهيدروليكية



التدفق تحت بوابة السد يتسارع من تدفق دون حرج، إلى تدفق حرج، إلى تدفق فوق حرج، من ثم يقفز مرة أخرى إلى التدفق دون الحرج

شكل (4–10): التدفق فوق الحرج تحت بوابة السد

4-1-9-4) استخدامات القفزة الهيدروليكية

تستخدم القفزة الهيدروليكية لتبديد أو تدمير طاقة الماء حيث لا تكون هناك حاجة إليها وإلا فقد تتسبب في تلف الهياكل الهيدروليكية. يمكن استخدامها أيضًا كجهاز قياس التدفق. كما يمكن استخدامها لخلط بعض المواد الكيميائية كما هو الحال في محطات تنقية المياه.

معادلة العمق المترابط Equation for conjugated depth ومعادلة كمية الحركة Equation Momentum

$$F_1 - F_2 + F_g - F_f = \rho Q(v_2 - v_2) \qquad (4.21)$$

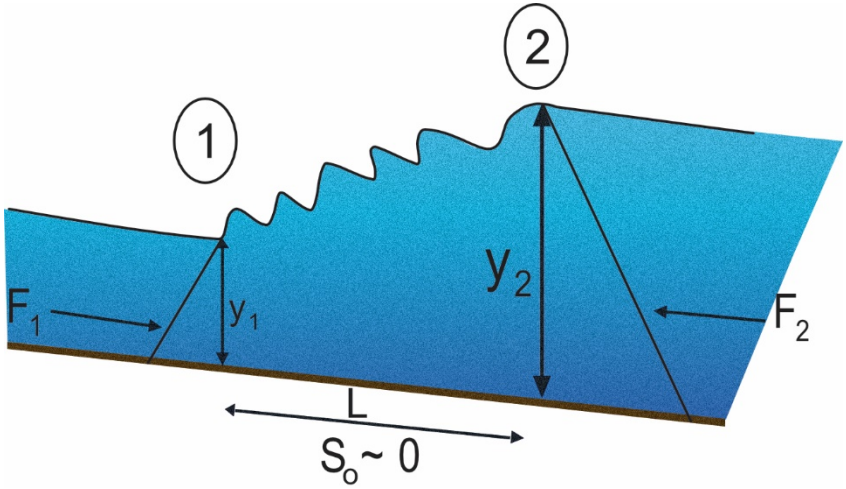
حيث:

F_1=Forcehelpingflow القوة المساعدة في التدفق

F_2=Forceresistingflow مقاومة التدفق

F_f= FrictionalResistance مقاومة الاحتكاك

F_g= Gravitational componentof flow عنصر الجاذبية للتدفق



شكل (4-11): معادلة العمق المترابط

الافتراضات

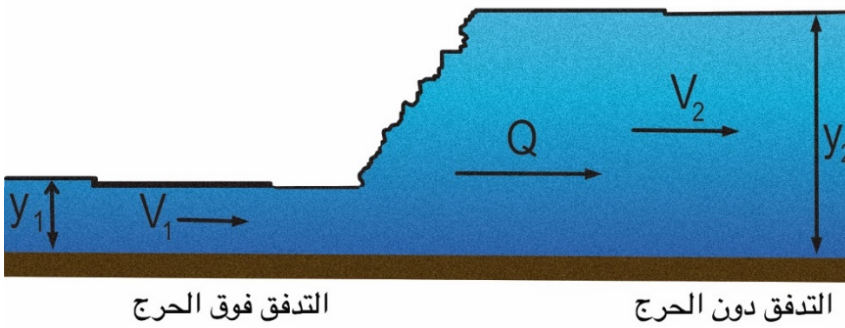
- إذا كان الطول صغيرًا جدًا، فقد تهمل مقاومة الاحتكاك. أي (F_f=0)
- افترض S_o=0; F_g=0

ملحوظة: يمكن ذكر أن في معادلة كمية الحركة Momentum equation مجموع جميع القوى الخارجية يساوي معدل تغير كمية الحركة.

4-1-9-5) المعادلة عبر القفزة الهيدروليكية

من خلال استخدام معادلات حفظ ميكانيكا الموائع الثلاث (معادلة الطاقة energy equation ومعادلة الاستمرارية continuity equation ومعادلة قوة الدفع momentum equation)، يمكن اشتقاق المعادلة التالية المتعلقة بالظروف قبل القفزة الهيدروليكية إلى الحالة بعد القفزة. يوضح الرسم البياني المعلمات في المعادلة 22–4.

$$\frac{y_2}{y_1}=\frac{1}{2}\left(-1+\sqrt{1+8\mathrm{Fr}_1^2}\right) \qquad (4.22)$$



شكل (4–12): الدفق الحرج وفوق الحرج

حيث:

$$Fr_1 = \frac{v_1}{\sqrt{y_1 g}} \qquad (4.23)$$

y_1 = عمق التدفق قبل القفزة الهيدروليكية ، قدم

y_2 = عمق التدفق بعد القفزة الهيدروليكية ، قدم

V_1 = متوسط سرعة التدفق قبل القفزة الهيدروليكية ، قدم / ثانية

V2 = متوسط سرعة التدفق بعد القفزة الهيدروليكية ، قدم / ثانية

4-1-9-6) فقدان السمت عبر القفزة الهيدروليكية *Head loss across a hydraulic jump*

بسبب الاضطراب في القفزة الهيدروليكية، سيكون هناك فقد سمت احتكاكي عبر القفزة. قد يكون مقدار فقد السمت مفيدًا في بعض الأحيان ويتم الحصول عليه من خلال المعادلة 4-24.

$$h_L = y_1 + V_1^2/2g - (y_2 + V_2^2/2g) \qquad (4.24)$$

إعادة ترتيب هذه المعادلة واستبدال التعبير عنFr_1، يؤدي إلى المعادلة التالية لـh_L من حيث عمقي التدفق ورقم فرود أعلى التيار:

$$h_L/y_1 = 1 - y_2/y_1 + (Fr_1^2/2)[1 - (y_1/y_2)^2] \qquad (4.25)$$

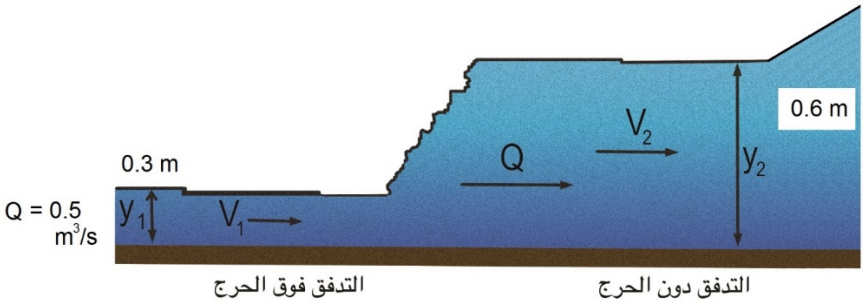
$$\frac{h_L}{y_1} = 1 - \frac{y_2}{y_1} + \left(\frac{Fr_1^2}{2}\right) * \left[1 - \left(\frac{y_1}{y_2}\right)^2\right] \qquad (4.26)$$

مثال (4-1): القفزة الهيدروليكية

ضع في اعتبارك قفزة هيدروليكية hydraulic jump في مجرى مستطيل بعرض 0.6 متر. معدل التدفق عبر المجرى 0.5 متر مكعب/ثانية وعمق التدفق قبل القفزة 0.3 متر.

أ) ماذا سيكون عمق التدفق بعد القفزة الهيدروليكية؟

ب) ماذا سيكون فقد السمت عبر القفزة ومن خلالها؟



الحل:

1) المعطيات: عرض المجرى المستطيل = 0.6 م، التدفق عبر المجرى Q =0.5 مكعب/ث، عمق التدفق قبل القفزة y_1 = 0.3 م
2) المطلوب: عمق التدفق بعد القفزة الهيدروليكية، وفقد السمت عبر القفزة
3) احسب سرعة التدفق في المجرى قبل القفزة من

V = Q/A = 0.5/(0.6×0.3) = 2.78m/sec.

احسب رقم Froude فرود أعلى التيار

$$\mathrm{Fr}_1=\frac{\mathrm{v}_1}{\sqrt{\mathrm{y}_1\mathrm{g}}}=\frac{2.78}{\sqrt{0.3{**}9.81}}=1.62$$

احسب y_2 من

$$\frac{y_2}{y_1}=\frac{1}{0.6}\left(-1+\sqrt{1+8Fr_1^2}\right)$$

$$\frac{y_2}{0.3}=\frac{1}{0.6}\left(-1+\sqrt{1+8*1.62^2}\right)$$

ومنها جد y_2 لتساوي 1.85 م

احسب فقد السمت h_L من

$$\frac{h_L}{y_1}=1-\frac{y_2}{y_1}+\left(\frac{Fr_1^2}{2}\right)*\left[1-\left(\frac{y_1}{y_2}\right)^2\right]$$

$$\frac{h_L}{0.3}=1-\frac{1.85}{0.3}+\left(\frac{1.62^2}{2}\right)*\left[1-\left(\frac{0.3}{1.85}\right)^2\right]$$

ومنها جد فقد السمت h_L ليساوي 1.16

قم بتكوين قالب جدول بيانات Excel لإجراء حسابات القفزة الهيدروليكية.

برنامج (4-1): القفزة الهيدروليكية

```
import javax.swing.*;
import javax.swing.border.Border;
import javax.swing.event.DocumentEvent;
import javax.swing.event.DocumentListener;
import javax.swing.text.BadLocationException;
import javax.swing.text.Document;
import java.awt.*;

public class Example_4_1 extends JPanel {
    public static final String TITLE = "1-4 مثال";
    public static final String EMPTY_RESULT_TEXT = "<html><b>( قم بإدخال المعطيات
ليتم حساب النتيجة)</b><br/><br/><br/><br/></html>";
    private float Q, y1, w;

    JFormattedTextField[] textFields = {
            new JFormattedTextField(), new JFormattedTextField(),
            new JFormattedTextField(),
    };

    JLabel[] labels = {
            new JLabel("عرض المجرى المستطيل (متر):", JLabel.RIGHT),
            new JLabel("التدفق عبر المجرى (مكعب/ثانية):", JLabel.RIGHT),
            new JLabel("عمق التدفق قبل القفزة (متر):", JLabel.RIGHT),
    };

    JLabel resultLabel = new JLabel(EMPTY_RESULT_TEXT, JLabel.RIGHT);

    DocumentListener textFieldDocListener = new DocumentListener() {

        public void changedUpdate(DocumentEvent e) { calc(e); }

        public void removeUpdate(DocumentEvent e) { calc(e); }

        public void insertUpdate(DocumentEvent e) { calc(e); }

        public void calc(DocumentEvent e) {
            try {
                Document document = e.getDocument();
                Object owner = document.getProperty("owner");
                String s = document.getText(0,
e.getDocument().getLength());
                float val = Float.parseFloat(s);

                if (owner == textFields[0]) {
                    w = val;
                } else if (owner == textFields[1]) {
```

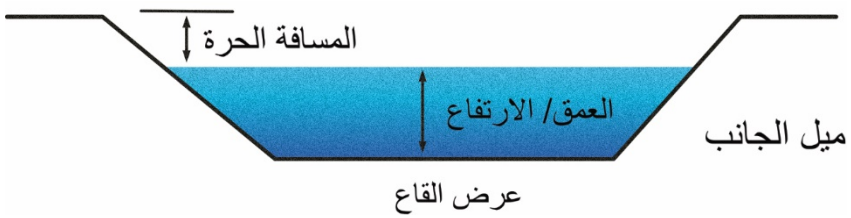
```
                    Q = val;
                } else if (owner == textFields[2]) {
                    y1 = val;
                }
            } catch (BadLocationException | NumberFormatException ex) {
                resultLabel.setText(EMPTY_RESULT_TEXT);
                return;
            }

            if(w == 0 || Q == 0 || y1 == 0) {
                resultLabel.setText(EMPTY_RESULT_TEXT);
                return;
            }

            double A = w * y1;
            double V = Q / A;
            double Fr1 = V / (Math.sqrt((y1 * 9.81)));
            double tmp = (1 + (8 * Fr1 * Fr1));
            double y2 = (y1 / w) * (-1 + Math.sqrt(tmp));
            double hL = y1 * (1 - (y2 / y1) + (((Fr1 * Fr1) / 2) * (1 -
((y1 * y1) / (y2 * y2)))));

            String fmtfloat2 = "<b>%.2f</b>";
            String format = "<html>سرعة التدفق قبل القفزة = " + fmtfloat2 + "
متر/ثانية<br/>" +
                    "رقم فرود أعلى التيار = " + fmtfloat2 + "<br/>" +
                    "عمق التدفق بعد القفزة = " + fmtfloat2 + " متر<br/>" +
                    "فقد السمت = " + fmtfloat2 +
                    "<br/></html>";

            resultLabel.setText(String.format(format, V, Fr1, y2, hL));
        }
    };

    public Example_4_1() {
        super(new BorderLayout());

        JPanel topPane = new JPanel(new GridLayout(0,1));
        JPanel centerPane = new JPanel(new GridLayout(0,2));
        JPanel bottomPane = new JPanel(new GridLayout(0,1));
        JPanel labelsPane = new JPanel(new GridLayout(0,1));
        JPanel textFieldsPane = new JPanel(new GridLayout(0,1));

        Border border = BorderFactory.createEmptyBorder(10, 10, 10, 10);
        Border border2 = BorderFactory.createEtchedBorder();
        topPane.setBorder(border);
        bottomPane.setBorder(border);
        labelsPane.setBorder(border);
        textFieldsPane.setBorder(border);
        centerPane.setBorder(border2);
        setBorder(border);

        topPane.add(new JLabel("<html>هذا المثال يستخدم المعادلات: <br/><b>Fr = v1 /
[Sqrt(y1 * g)] <br/> y2 / y1 = 0.5 [-1 + Sqrt(1 + 8 * Fr ^ 2)] <br/>
hL/y1 = 1 - (y2 / y1) + [(Fr ^ 2) / 2] * [1 - (y1 / y2) ^ 2]</b></html>",
JLabel.RIGHT));
```

```
        for(int i = 0; i < textFields.length; i++) {
            textFields[i].setColumns(10);
            labelsPane.add(labels[i]);
            textFieldsPane.add(textFields[i]);
            Document document = textFields[i].getDocument();
            document.addDocumentListener(textFieldDocListener);
            document.putProperty("owner", textFields[i]);
        }

        centerPane.add(textFieldsPane, BorderLayout.CENTER);
        centerPane.add(labelsPane, BorderLayout.LINE_END);
        bottomPane.add(resultLabel);
        add(topPane, BorderLayout.NORTH);
        add(centerPane, BorderLayout.CENTER);
        add(bottomPane, BorderLayout.SOUTH);
    }

    public static void main(String[] args) {
        try {
            UIManager.setLookAndFeel(
                    UIManager.getSystemLookAndFeelClassName());
        } catch (IllegalAccessException | InstantiationException |
                 UnsupportedLookAndFeelException | ClassNotFoundException
e) {
            e.printStackTrace();
        }

        SwingUtilities.invokeLater(() -> {
            JFrame frame = new JFrame(TITLE);
            frame.setDefaultCloseOperation(JFrame.EXIT_ON_CLOSE);
            frame.setResizable(false);
            frame.add(new Example_4_1());
            frame.pack();
            frame.setLocationRelativeTo(null);
            frame.setVisible(true);
        });
    }
}
```

جدول (4–5): تصنيف القفزة الهيدروليكية في قناة أفقية مستطيلة		
رقم فرود Fr	التصنيف	ملاحظات
1	دفق حرج critical flow	لا توجد قفزة هيدروليكية
1 – 1.7	القفزات المتموجة Undular (Fawer) jump	تتطور تموجات السطح الحر free surface undulations في اتجاه مجرى القفز لمسافات كبيرة؛ فواقد طاقة لا تذكر
1.7 – 2.5	قفزة ضعيفة Weak jump	فواقد طاقة
2.5 – 4.5	قفزة تجميعية Oscillating jump	سطح حر متموج، إنتاج موجات كبيرة من فترة غير منتظمة، قفزة متذبذبة غير مستقرة، كل تذبذب غير منتظم ينتج موجة كبيرة قد تنتقل بعيدًا في اتجاه مجرى النهر، مما يؤدي إلى إتلاف الضفاف وتآكلها، يجب تجنبها إن أمكن
4.5 – 9	قفزة ثابتة Steady jump	45–70٪ من تبديد الطاقة، قفزة ثابتة، غير حساس لظروف المصب – أدنى اتجاه التيار (أي عمق المياه الخلفية tailwater depth) ، أفضل تصميم اقتصادي
أكبر من 9	قفزة قوية Strong jump	قفزة شاذة rough jump، تبديد الطاقة يصل إلى 85٪، الخطر من تآكل قاع المجرى؛ ينبغي تجنبها

4-1-10) تصميم قناة مفتوحة

هي عملية الحصول على شكل المجرى / القناة والميل والهندسة التي لا ينبغي أن تحتوي على ترسبات غرينية ونحر غير مرغوب فيه.



شكل (4-13): قناة مكشوفة

على سبيل المثال، بالنسبة للقناة شبه المنحرفة، فهي تتكون بتحديد كل من العمق، وعرض المفرش، والميل الجانبي والميل الطولي للمجرى لإنتاج سرعة تمنع الترسيب والنحر non-scouring velocity لحمولة التصريف والرسوبيات المحددة.

4-1-10-1) تصميم قناة مفتوحة: المسافة الحرة Free Board

المسافة الحرة هي المسافة العمودية بين سطح الماء التصميمي وقمةضفة القناة. توفرلمراعاة عدم اليقين في تصميم المجرى وبنائه وتشغيله من الموصى به أن تكون المسافة الحرة بحد أدنى قدره 0.3 متر (قدم واحد) للقنوات الصغيرة. ويمكن استخدام الصيغة المبينة على المعادلة (4-27) لتقدير المسافة الحرة (FB) للقنوات الأكبر.

$$FB = C\sqrt{y} \qquad (4.27)$$

حيث:

y = عمق القناة بالمتر (قدم)

C = المعامل الذي يختلف عن0.7 (1.2) للقنوات الصغيرة بسعة 0.6 م^3/ثانية (20 قدم^3/ثانية) إلى 0.9 (1.6) للقنوات الأكبر بسعة 85 م^3/ثانية (3000 قدم^3/ثانية) أو أكبر.

في بعض الأحيان تكون هناك حاجة إلى مسافة حرة إضافية عند الحافة الخارجية للقسم المنحني بسبب قوة الطرد المركزي.

4-1-10-2) تصميم القناة: قنوات صلبة ذات حدود مستطيلة -Rigid Boundary Rectangular Channels

في القنوات الصلبة، تستخدم طبقة من المواد الصلبة (مثل الخرسانة والطوب والحجر، إلخ) في محيط القناة لتقليل التسرب وزيادة قدرة التفريغ ومنع التآكل. تعتمد أبعاد القنوات المستطيلة على القسم المستطيل الأكثر كفاءة. أي b = 2y أو y = b/2 حيث يكون b وy عرض وأعماق القناة على التوالي. بالنسبة للقنوات شبه المنحرفة، تختلف المنحدرات الجانبية من 1 : 1 للقنوات الصغيرة إلى 1.5(H):1(v) للقنوات الكبيرة. يمكن استخدام هذه القنوات لكل من التدفقات دون الحرجة وفوق الحرجة. التصميم يعتمد بشكل أساسي على معادلة مانينغ 4.28.

$$Q = \frac{C_o}{n} AR^{2/3}\sqrt{S_o} \qquad (4.28)$$

حيث:

$$AR^{2/3} = \frac{nQ}{(C_o\sqrt{S_o})}$$

Q = التفريغ

n = معامل الخشونة

A = منطقة التدفق

R = نصف القطر الهيدروليكي

S_o = ميل قاع القناة

C_o = المعامل يساوي الوحدة في نظام SI ويساوي 1.49 للوحدات الأمريكية المعتادة.

جدول (4–6): قيم n	
المادة	معامل الخشونة n
الرمل الناعم والغرواني Fine sand, colloidal	0.020
طفال رملي، غير غرواني Sandy loam, noncolloidal	0.020
طفال الطمي، غير غرواني Silt loam,noncolloidal	0.020
الطمي الغريني، غير غرواني Alluvial silts,noncolloidal	0.020
طمي ثابت عادي Ordinary firm loam	0.020
الرماد البركاني Volcanic ash	0.020
صلصال صلب، غرواني جداً Stiff clay, very colloidal	0.025
الطمي الغريني، الغرواني Alluvial silts, colloidal	0.025
السجيل والصخور الصلبة Shales and hardpans	0.025
حصى ناعم Fine gravel	0.020
طمي متدرج للحصى عندما يكون غير غرواني Graded loam to cobbles when noncolloidal	0.030
غرين متدرج للحصى عندما يكون غير غرواني Graded sillts to cobbles when noncolloidal	0.030
الحصى الخشن، غير غرواني Coarse gravel, noncolloidal	0.025
الحصى والقوباء المنطقية Cobbles and shingles	0.035

4-1-10-3) تصميم القناة: قنوات حدودية صلبة Channel Design: Rigid Boundary

إجراءات التصميم:

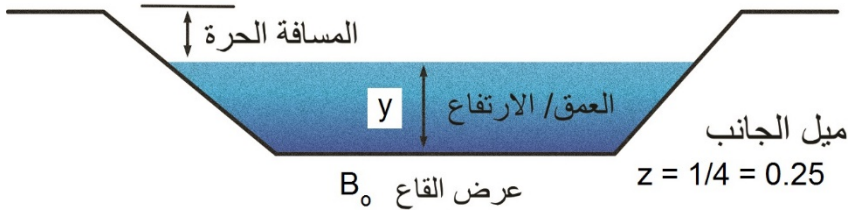
1) حدد قيمة معامل الخشونة n، والميل السفلي So، لسطح التدفق
2) حسابالعامل $AR^{2/3} = \frac{nQ}{(C_o\sqrt{S_o})}$

3) جد أبعاد القناة وعمق التدفق الذي يساوي $AR^{2/3}$ القيمة المحددة في الخطوة 2. على سبيل المثال، بالنسبة لمقطع شبه منحرف، حدد قيمة للميل الجانبي z، واحسب عدة نسب مختلفة من عرض القاع B_o وعمق التدفق y حيث يساوي $AR^{2/3}$ ذلك المحدد في الخطوة 2. حدد نسبة B_o/y التي تعطي مقطعًا عرضيًا بالقرب من أفضل مقطع هيدروليكي.
4) تأكد من أن السرعة الدنيا لا تقل عن تلك المطلوبة لحمل الرواسب لمنع تراكم الطمي.
5) أضف كمية مناسبة من المسافة الحرة freeboard.
6) قم بعمل رسم بياني يوضح جميع الأبعاد.

مثال (4-2): تصميم القناة: قنوات حدودية صلبة Rigid boundary channels

صمم مجرى شبه منحرف ليحمل تصريف 12 م^3/ثانية، وسيتم حفر المجرى من طمي متدرج للحصى عندما يكون غير غرواني عن طريق التفجير، وتكون التضاريس في المنطقة بحيث يكون الميل السفلي 1 من 4000 مناسبًا. افترض C = 0.8

الحل:



1) المعطيات: التصريف = 12 م^3/ثانية، الميل السفلي = 4000/1
2) المطلوب: صمم مجرى شبه المنحرف
3) جد المعامل n من الجدول 4–6 بالنسبة لسطح طمي متدرج للحصى عندما يكون غير غرواني$n = 0.030$
4) من الميل السفلي المناسب $S_o = 1 \div 4000 = 0.00025$

5) اختر قيمة الميل الجانبي Z = 1 أفقيًا إلى 4 عموديًا،

من الرسم جد مساحة شبه المنحرف على النحو التالي:

$$B_0 + 2Zy = 2y\sqrt{Z^2+1}$$

$$B_0 = 2y\sqrt{Z^2+1} - 2Zy = 2y\sqrt{0.25^2+1} - 2*0.25y = 1.56y$$

$$A = \left(B_o + \frac{1}{4}y\right)y = \left(1.56y + \frac{1}{4}y\right)y = 1.81y^2$$

ثم جد نصف القطر الهيدروليكي R من المعادلة

$$R = \frac{A}{P}$$

علماً بأن المحيط المبتل P من المعادلة

$$P = B_o + 2y\sqrt{\frac{1^2}{4} - 1} = 1.56y + 2.062y = 3.66y$$

$$R = \frac{A}{P} = \frac{1.81y^2}{3.66y} = 0.495\,y$$

6) ومن ثم فإن استبدال هذه القيم في معادلة مانينغ ينتج عنه

$$AR^{2/3} = \frac{nQ}{C_o\sqrt{S_o}} = \frac{0.03*12}{\sqrt{0.00025}} = 22.77$$

$$1.81y^2(0.495y)^{2/3} = 22.77$$

ومنها جد قيمة العمق أو الارتفاع ليساوي

y = 3.07 m

حل المعادلة لقيمة العمق y = 3.07 m

ثم جد عرض القناة ليساوي

Bo = 1.56*3.07 = 4.79 m

اعتمادا على معادلة المسافة الحرة Freeboard 4.22

$$FB = C\sqrt{y} = 0.8*\sqrt{3.07} = 1.40\,m$$

من ثم العمق الكلي = 3.07 + 1.40 = 4.47 متر

مساحة الدفق لعمق دفق يساوي 3.07 تبلغ 17.06 متر مربع

جد سرعة الدفق = 12 ÷ 17.06 = 0.7 م/ث

جد رقم فرود من المعادلة

$$Fr=\frac{v}{\sqrt{gy}}=\frac{0.7}{\sqrt{9.81*3.07}}=0.13$$

قم بعمل رسم تخطيطي واضح للقناة يوضح جميع الأبعاد كما في الشكل 4-13 أعلاه.

برنامج (4-2): تصميم القناة: قنوات حدودية صلبة

```
import javax.swing.*;
import javax.swing.border.Border;
import javax.swing.event.DocumentEvent;
import javax.swing.event.DocumentListener;
import javax.swing.text.BadLocationException;
import javax.swing.text.Document;
import java.awt.*;

public class Example_4_2 extends JPanel {
    public static final String TITLE = "مثال 2-4";
    public static final String EMPTY_RESULT_TEXT = "<html><b>( قم بإدخال المعطيات
ليتم حساب النتيجة)</b><br/><br/><br/><br/><br/></html>";
    private float Q, So, n, Z;

    JFormattedTextField[] textFields = {
            new JFormattedTextField(), new JFormattedTextField(),
            new JFormattedTextField(), new JFormattedTextField(),
    };

    JLabel[] labels = {
            new JLabel("التصريف (متر مكعب/ثانية):", JLabel.RIGHT),
            new JLabel("الميل السفلي:", JLabel.RIGHT),
            new JLabel("معامل الخشونة:", JLabel.RIGHT),
            new JLabel("الميل الجانبي:", JLabel.RIGHT),
    };

    JLabel resultLabel = new JLabel(EMPTY_RESULT_TEXT, JLabel.RIGHT);

    DocumentListener textFieldDocListener = new DocumentListener() {

        public void changedUpdate(DocumentEvent e) { calc(e); }

        public void removeUpdate(DocumentEvent e) { calc(e); }

        public void insertUpdate(DocumentEvent e) { calc(e); }

        public void calc(DocumentEvent e) {
            try {
                Document document = e.getDocument();
                Object owner = document.getProperty("owner");
                String s = document.getText(0,
e.getDocument().getLength());
                float val = Float.parseFloat(s);
```

```
                if (owner == textFields[0]) {
                    Q = val;
                } else if (owner == textFields[1]) {
                    So = val;
                } else if (owner == textFields[2]) {
                    n = val;
                } else if (owner == textFields[3]) {
                    Z = val;
                }
            } catch (BadLocationException | NumberFormatException ex) {
                resultLabel.setText(EMPTY_RESULT_TEXT);
                return;
            }

            if(Q == 0 || So == 0 || n == 0 || Z == 0) {
                resultLabel.setText(EMPTY_RESULT_TEXT);
                return;
            }

            double Z2 = (2 * Math.sqrt((Z * Z) + 1));
            double By = Z2 - (2 * Z);
            double Ay = By + Z;
            double Py = By + Z2;
            double Ry = Ay / Py;
            double rhs = (n * Q) / (Math.sqrt((So)));
            double lhs = Ay * Math.pow(Ry, ((double) 2 / 3));
            double y = rhs / lhs;
            y = Math.pow(y, ((double) 3 / 8));

            double Bo = By * y;
            double FB = 0.8 * Math.sqrt(y);
            double ytotal = FB + y;
            double A = Ay * y * y;
            double V = Q / A;
            double Fr = V / (Math.sqrt((y * 9.81)));

            String fmtfloat2 = "<b>%.2f</b>";
            String format = "<html>قيمة العمق أو الارتفاع = " + fmtfloat2 + "
مترbr/>" +
                    "عرض القناة = " + fmtfloat2 + " مترbr/>" +
                    "العمق الكلي = " + fmtfloat2 + " مترbr/>" +
                    "مساحة الدفق = " + fmtfloat2 + " متر مربعbr/>" +
                    "سرعة الدفق = " + fmtfloat2 + " متر/ثانيةbr/>" +
                    "رقم فرود = " + fmtfloat2 +
                    "<br/></html>";

            resultLabel.setText(String.format(format, y, Bo, ytotal, A,
V, Fr));
        }
    };

    public Example_4_2() {
        super(new BorderLayout());

        JPanel topPane = new JPanel(new GridLayout(0,1));
        JPanel centerPane = new JPanel(new GridLayout(0,2));
```

```
        JPanel bottomPane = new JPanel(new GridLayout(0,1));
        JPanel labelsPane = new JPanel(new GridLayout(0,1));
        JPanel textFieldsPane = new JPanel(new GridLayout(0,1));

        Border border = BorderFactory.createEmptyBorder(10, 10, 10, 10);
        Border border2 = BorderFactory.createEtchedBorder();
        topPane.setBorder(border);
        bottomPane.setBorder(border);
        labelsPane.setBorder(border);
        textFieldsPane.setBorder(border);
        centerPane.setBorder(border2);
        setBorder(border);

        topPane.add(new JLabel("<html>هذا المثال يستخدم المعادلات: <br/><b>B0 = 2 *
y * Sqrt(Z ^ 2 + 1) - (2 * Z * y) <br/> A = [B0 + Z * y] * y <br/> Fr = v
/ [Sqrt(y * g)] <br/> A * R ^ (2/3) = [n * Q] / [C0 *
Sqrt(S0)]</b></html>", JLabel.RIGHT));

        for(int i = 0; i < textFields.length; i++) {
            textFields[i].setColumns(10);
            labelsPane.add(labels[i]);
            textFieldsPane.add(textFields[i]);
            Document document = textFields[i].getDocument();
            document.addDocumentListener(textFieldDocListener);
            document.putProperty("owner", textFields[i]);
        }

        centerPane.add(textFieldsPane, BorderLayout.CENTER);
        centerPane.add(labelsPane, BorderLayout.LINE_END);
        bottomPane.add(resultLabel);
        add(topPane, BorderLayout.NORTH);
        add(centerPane, BorderLayout.CENTER);
        add(bottomPane, BorderLayout.SOUTH);
    }

    public static void main(String[] args) {
        try {
            UIManager.setLookAndFeel(
                    UIManager.getSystemLookAndFeelClassName());
        } catch (IllegalAccessException | InstantiationException |
                 UnsupportedLookAndFeelException | ClassNotFoundException
e) {
            e.printStackTrace();
        }

        SwingUtilities.invokeLater(() -> {
            JFrame frame = new JFrame(TITLE);
            frame.setDefaultCloseOperation(JFrame.EXIT_ON_CLOSE);
            frame.setResizable(false);
            frame.add(new Example_4_2());
            frame.pack();
            frame.setLocationRelativeTo(null);
            frame.setVisible(true);
        });
    }
}
```

4-1-10-4) تصميم القناة: قنوات قابلة للتآكل Erodible Channels

هناك العديد من الطرق المتاحة ومنها:

- طريقة السرعة المسموح بها Permissible velocity method
- طريقة قوة الجر Tractive force method

إذا كان قاع القناة أو جوانبها قابلة للنحر، فإن التصميم يتطلب تحديد حجم القناة والمنحدر السفلي بحيث لا تتآكل القناة. القنوات القابلة للنحر مصممة لظروف التدفق دون الحرج بقيمة رقم فرود أقل من 1. عادة يستخدم قسم القناة شبه منحرف للقنوات القابلة للتحر. لتصميم هذه القنوات، تختار أولاً قيمة مناسبة للميل الجانبي بحيث تكون الجوانب مستقرة في جميع الظروف.

جدول (4–7): ميول الجانب المقترحة	
المادة	**الميل الجانبي**
الصخر Rock	عمودي تقريبا
الطين القاسي Stiff clay	0.5 إلى 1.1
التربة الصلبة Firm soil	1 إلى 1
التربة الرملية الفضفاضة Loose sandy soil	1 إلى 2
الطمي الرملي Sandy loam	1 إلى 13

أ) تصميم القناة: القنوات المتآكلة - طريقة السرعة المسموح بها Erodible Channels (Permissible velocity Method)

- في طريقة السرعة المسموح بها، يختار حجم القناة بحيث تكون سرعة التدفق لتفريغ التصميم في ظل ظروف تدفق موحدة أقل من السرعة المسموح بها.
- تُعرَّف السرعة المسموح بها على أنها السرعة المتوسطة التي لا يتآكل عندها قاع وجوانب القنوات أو تحتها.

- السرعة المسموح بها تعتمد على:
  - نوع التربة
  - حجم الجسيمات
  - عمق التدفق
  - انحناء القناة

جدول (4-8): السرعات المسموح بها الموصي بها	
المادة	**السرعة، v، م/ث**
الرمال الناعمة Fine sand	0.6
الرمل الخشن Coarse sand	1.2
التربة Earth	
الطمي الرملي Sandy silt	0.6
الطمي الغريني Silt clay	1.1
الطمي Clay	1.8
أرض مبطنة بالعشب (أبقار أقل من 5٪) Grass-lined earth (sloes < 5%)	
o عشب برمودا Bermuda grass	
طمي الرملي Sandy silt	1.8
الغرين الطميSilt clay	2.4
o عشب كنتاكي الأزرق Kentucky blue grass	
الطمي الرملي Sandy silt	1.5
الغرين الطمي Silt clay	2.1
الصخور الفقيرة (رسوبية عادة) Poor rock (usually sedimentary)	
الحجر الرملي الناعم Soft sandstone	2.4

الصخر الزيتي الناعم Soft shale	1.1
الصخر الجيد (عادة يكون ناري أو صلب متحول Good rock (usually ingenious or hard metamorphic)	6.1

إجراءات التصميم:

1) بالنسبة للمادة المحددة حدد قيمة n، الميل الجانبي z، السرعة المسموح بها V ، (من الجداول 4–7 والجدول 4–8).
2) حدد نصف القطر الهيدروليكي المطلوب R من معادلة مانينغ، ومنطقة التدفق المطلوبة A من معادلة الاستمراريةA = Q/V
3) احسب المحيط المبلل P = A/R
4) حدد عرض قاع القناة B_o، وعمق التدفق y، حيث تكون مساحة التدفق A مساوية لتلك المحسوبة في الخطوة 2 والمحيط المبلل P يساوي ذلك المحسوب في الخطوة 3.

$$A = (B_o + zy)y \qquad (4.29)$$

$$P = B_o + 2y\sqrt{1 + z^2} \qquad (4.30)$$

5) أضف قيمة مناسبة للمسافة الحرة freeboard
6) قم بعمل رسم يوضح جميع الأبعاد
7) تصميم القناة: القنوات المتآكلة – طريقة السرعة المسموح بها

مثال (4-3): تصميم قناة

صمم قناة لتحمل تدفق 7.5 م^3/ثانية، وسيتم حفر القناة من خلال الحصى الخشن غير الغرواني عند ميل سفلي للقناة قدره 0.003، ومعامل n يساوي 0.025

$$Q = \frac{C_o}{n} AR^{2/3}\sqrt{S_o}$$

الحل:

1) المعطيات: التدفق = 7.5 م^3/ثانية، الحصى الخشن غير الغرواني، الميل سفلي للقناة = 0.003، معامل n = 0.025

2) المطلوب: تصميم القناة

3) جد قيمة المعامل n للحصى الخشن غير الغرواني من الجدول 4–6 تساوي n = 0.025

4) خذ الميل الجانبي المقترح بمعاملة الحصى الخشن غير الغرواني كأنه التربة الصلبة من الجدول 4–7 لتساوي

z = 1:1

5) اقترح سرعة التدفق المسموح بها (من الجدول 4–8) هي 1.8 م/ث.

ومن ثم جد المساحة A من المعادلة

$A = Q/V = 7.5/1.8 = 4.17\ m^2$

استبدال قيم V و n و S_o في معادلة مانينغ، ومعامل $C_o = 1$

$$Q = \frac{C_o}{n} AR^{2/3}\sqrt{S_o} = 7.5 = \frac{1}{0.025} * 4.17 * R^{2/3}\sqrt{0.003}$$

جد قيمة نصف القطر الهيدروليكي R،

R = 0.744m

جد المحيط المبتل من معادلته

P = A/R = 4.17/0.744 = 5.6m

الاستبدال في تعبيرات لـ P و A ومعادلتها بالقيم المحسوبة أعلاه، نحصل عليها

$$A = (B_o + zy)y = 4.17 = (B_o + 1 * y)y = (B_o + y)y$$

$$P = B_o + 2y\sqrt{1 + z^2} = 5.6 = B_o + 2y\sqrt{1 + 1^2} = B_o + 2y\sqrt{1 + 1^2} = B_o + 2.83y$$

أو يمكن تبسيط هذه المعادلات على النحو التالي:

$$4.17 = (B_o + y)y$$
$$5.6 = B_o + 2.83y$$

ينتج عن إزالة B_o من هذه المعادلات

$$4.17 = (5.6 - 2.83y + y)y = (5.6 - 1.83y)y$$
$$= 5.6y - 1.83y^2$$

$$1.83y^2 - 5.6y + 4.17 = 0$$

حل المعادلة التربيعية أعلاه ينتج

$$y_1, y_2 = \frac{-(-5.6) \mp \sqrt{5.6^2 - 4 * 1.83 * 4.17}}{2 * 1.83}$$

y = 1.78 m

وبالتالي

$$5.6 = B_o + 2.83y = B_o + 2.83 * 1.78$$
$$B_o = 5.6 - 2.83 * 1.78 = 0.6 \text{ m}$$

جد قيمة B_o لتساوي

$B_o = 0.6$ m

جد المسافة الحرة FB من المعادلة

$$FB = C\sqrt{y}$$

Freeboard (FB) = $0.8x\ (1.78)^{0.5} = 1.07$

إجمالي عمق قسم المجرى = 0.6 + 1.07= 1.7 م

برنامج (4-3): تصميم قناة

```
import javax.swing.*;
import javax.swing.border.Border;
import javax.swing.event.DocumentEvent;
import javax.swing.event.DocumentListener;
import javax.swing.text.BadLocationException;
import javax.swing.text.Document;
import java.awt.*;

public class Example_4_3 extends JPanel {
    public static final String TITLE = "3-4 مثال";
    public static final String EMPTY_RESULT_TEXT = "<html><b>( قم بإدخال المعطيات
ليتم حساب
النتيجة)</b><br/><br/><br/><br/><br/><br/><br/><br/><br/><br/><br/></html>";
    private float Q, So, n, V, Z;

    JFormattedTextField[] textFields = {
            new JFormattedTextField(), new JFormattedTextField(),
            new JFormattedTextField(), new JFormattedTextField(),
```

```
            new JFormattedTextField(),
    };

    JLabel[] labels = {
            new JLabel("التصريف (متر مكعب/ثانية):", JLabel.RIGHT),
            new JLabel("الميل السفلي:", JLabel.RIGHT),
            new JLabel("الميل الجانبي:", JLabel.RIGHT),
            new JLabel("معامل الخشونة:", JLabel.RIGHT),
            new JLabel("سرعة التدفق (متر/ثانية):", JLabel.RIGHT),
    };

    JLabel resultLabel = new JLabel(EMPTY_RESULT_TEXT, JLabel.RIGHT);

    DocumentListener textFieldDocListener = new DocumentListener() {

        public void changedUpdate(DocumentEvent e) { calc(e); }

        public void removeUpdate(DocumentEvent e) { calc(e); }

        public void insertUpdate(DocumentEvent e) { calc(e); }

        public void calc(DocumentEvent e) {
            try {
                Document document = e.getDocument();
                Object owner = document.getProperty("owner");
                String s = document.getText(0,
e.getDocument().getLength());
                float val = Float.parseFloat(s);

                if (owner == textFields[0]) {
                    Q = val;
                } else if (owner == textFields[1]) {
                    So = val;
                } else if (owner == textFields[2]) {
                    Z = val;
                } else if (owner == textFields[3]) {
                    n = val;
                } else if (owner == textFields[4]) {
                    V = val;
                }
            } catch (BadLocationException | NumberFormatException ex) {
                resultLabel.setText(EMPTY_RESULT_TEXT);
                return;
            }

            if(Q == 0 || So == 0 || n == 0 || V == 0 || Z == 0) {
                resultLabel.setText(EMPTY_RESULT_TEXT);
                return;
            }

            String res;
            String fmtfloat2 = "<b>%.2f</b>";
            double A = Q / V;
            double R = (Q * n) / (A * Math.sqrt(So));
            R = Math.pow(R, (double) 3 / 2);
            double P = A / R;
```

```
            double Z2 = (2 * Math.sqrt((1 + (Z * Z))));
            double a = -(Z - Z2);
            double b = -P;
            double disc = (b * b) - (4 * a * A);

            if(disc > 0)
            {
                double y1 = (-b + Math.sqrt(disc)) / (2 * a);
                double y2 = (-b - Math.sqrt(disc)) / (2 * a);
                double Bo1 = P - (Z2 * y1);
                double Bo2 = P - (Z2 * y2);
                double FB1 = 0.8 * Math.sqrt(y1);
                double FB2 = 0.8 * Math.sqrt(y2);
                double ytotal1 = FB1 + Bo1;
                double ytotal2 = FB2 + Bo2;
                String format = "<html>المساحة = " + fmtfloat2 + " متر
مربع<br/>" +
                        "نصف القطر الهيدروليكي = " + fmtfloat2 + "متر<br/>" +
                        "المحيط المبتل = " + fmtfloat2 + "متر<br/>" +
                        "يوجد جذران للمعادلة: <br/>" +
                        "(عمق الدفق (أ = " + fmtfloat2 + "متر<br/>" +
                        "(المسافة الحرة (أ = " + fmtfloat2 + "متر<br/>" +
                        "(اجمالي عمق المجرى (أ = " + fmtfloat2 + "متر<br/>" +
                        "(عمق الدفق (ب = " + fmtfloat2 + "متر<br/>" +
                        "(المسافة الحرة (ب = " + fmtfloat2 + "متر<br/>" +
                        "(اجمالي عمق المجرى (ب = " + fmtfloat2 + "متر<br/>" +
                        "</html>";
                res = String.format(format, A, R, P, y1, FB1, ytotal1,
y2, FB2, ytotal2);
            }
            else if(disc == 0)
            {
                double y = (-b) / (2 * a);
                double Bo = P - (Z2 * y);
                double FB = 0.8 * Math.sqrt(y);
                double ytotal = FB + Bo;
                String format = "<html>المساحة = " + fmtfloat2 + " متر
مربع<br/>" +
                        "نصف القطر الهيدروليكي = " + fmtfloat2 + "متر<br/>" +
                        "المحيط المبتل = " + fmtfloat2 + "متر<br/>" +
                        "عمق الدفق = " + fmtfloat2 + "متر<br/>" +
                        "المسافة الحرة = " + fmtfloat2 + "متر<br/>" +
                        "اجمالي عمق المجرى = " + fmtfloat2 + "متر<br/>" +
                        "</html>";
                res = String.format(format, A, R, P, y, FB, ytotal);
            }
            else
            {
                res = "<html>لا يوجد جذور حقيقية للمعادلة</html>";
            }

            resultLabel.setText(res);
        }
    };

    public Example_4_3() {
```

```
        super(new BorderLayout());

        JPanel topPane = new JPanel(new GridLayout(0,1));
        JPanel centerPane = new JPanel(new GridLayout(0,2));
        JPanel bottomPane = new JPanel(new GridLayout(0,1));
        JPanel labelsPane = new JPanel(new GridLayout(0,1));
        JPanel textFieldsPane = new JPanel(new GridLayout(0,1));

        Border border = BorderFactory.createEmptyBorder(10, 10, 10, 10);
        Border border2 = BorderFactory.createEtchedBorder();
        topPane.setBorder(border);
        bottomPane.setBorder(border);
        labelsPane.setBorder(border);
        textFieldsPane.setBorder(border);
        centerPane.setBorder(border2);
        setBorder(border);

        topPane.add(new JLabel("<html>هذا المثال يستخدم المعادلات: <br/><b>B0 = 2 *
y * Sqrt(Z ^ 2 + 1) - (2 * Z * y) <br/> A = [B0 + Z * y] * y <br/> A * R
^ (2/3) = [n * Q] / [C0 * Sqrt(S0)]</b></html>", JLabel.RIGHT));

        for(int i = 0; i < textFields.length; i++) {
            textFields[i].setColumns(10);
            labelsPane.add(labels[i]);
            textFieldsPane.add(textFields[i]);
            Document document = textFields[i].getDocument();
            document.addDocumentListener(textFieldDocListener);
            document.putProperty("owner", textFields[i]);
        }

        centerPane.add(textFieldsPane, BorderLayout.CENTER);
        centerPane.add(labelsPane, BorderLayout.LINE_END);
        bottomPane.add(resultLabel);
        add(topPane, BorderLayout.NORTH);
        add(centerPane, BorderLayout.CENTER);
        add(bottomPane, BorderLayout.SOUTH);
    }

    public static void main(String[] args) {
        try {
            UIManager.setLookAndFeel(
                    UIManager.getSystemLookAndFeelClassName());
        } catch (IllegalAccessException | InstantiationException |
                 UnsupportedLookAndFeelException | ClassNotFoundException
e) {
            e.printStackTrace();
        }

        SwingUtilities.invokeLater(() -> {
            JFrame frame = new JFrame(TITLE);
            frame.setDefaultCloseOperation(JFrame.EXIT_ON_CLOSE);
            frame.setResizable(false);
            frame.add(new Example_4_3());
            frame.pack();
            frame.setLocationRelativeTo(null);
            frame.setVisible(true);
```

```
        });
    }
}
```

ب) تصميم القنوات ـ طريقة قوة الجر Channel Design: Erodible Channels- Tractive Force Method

طريقة قوة الجر: يمكن النظر إلى عملية النحر والتآكل بطريقة عقلانية من خلال النظر في القوى المؤثرة على الجسيمات الموجودة على قاع القناة أو جوانبها. تتآكل القناة إذا كانت نتيجة القوى التي تميل إلى تحريك الجسيمات أكبر من تلك الناتجة عن القوى التي تقاوم الحركة. يشار إلى هذا المفهوم باسم نهج القوة الجر.

قوة الجر Tractive Force: القوة التي تمارس عن طريق تدفق المياه على قاع القناة وجوانبها تسمى قوة الجر. في التدفق المنتظم، تكون هذه القوة مساوية لمركبة الوزن التي تعمل في اتجاه التدفق وتعطى بواسطة المعادلة 4−31.

$$\tau_o = \gamma R S_o = \gamma y S_o \qquad (4.31)$$

حيث:

τ_o = قوة الجر tractive force

γ = وحدة وزن الماء unit weight of water

R = متوسط نصف القطر الهيدروليكي hydraulic mean radius

y = عمق التدفق

S_o = ميل قاع المجري

قوة الجر الحرجة Critical Tractive Force: القوة التي تبدأ عندها مادة القناة في التحرك من حالة السكون تسمى قوة الجر الحرجة.

توزيع قوة الجر: توزيع قوة الجر أو إجهاد القص على محيط القناة غير منتظم. بالنسبة للقنوات شبه المنحرفة، يمكن افتراض أن قوة الجر الوحدة في قاع القناة تساوي (γyS_o) وعند جوانب القناة تساوي 0.76γySo

معامل التخفيض لجوانب القناة: عامل الاختزال (نسبة قوة الجر) لقوة الجر الحرجة على جوانب القناة هو:

$$K = \sqrt{1 - \left(\frac{sin^2\theta}{sin^2\varphi}\right)} \qquad (4.32)$$

حيث:

K = عامل النقص reduction factor = قوة الجر المسموح بها على المنحدر الجانبي ÷ قوة الجر الحرجة

θ = ميل الجوانب

ϕ = زاوية الاستقرار angle of repose

يجب مراعاة تأثير زاوية الراحة angle of repose فقط للمواد الخشنة غير المتماسكة ويمكن إهمالها بالنسبة للمواد المتماسكة الدقيقة. تم إعطاء إجهاد القص الحرج للمواد المتماسكة وغير المتماسكة في الأشكال الجاهزة وهذه القيم للقنوات المستقيمة ويجب تقليلها للقنوات المتعرجة على النحو التالي:

- قنوات متعرجة قليلاً Slightly sinuous channels = 10٪
- قنوات متعرجة بشكل معتدل Moderately sinuous channels = 25٪
- قنوات متعرجة للغاية Highly sinuous channels = 40٪

صمم قناة شبه منحرفة مستقيمة لتصريف تصميمي 10 م^3/ثانية، الميل السفلي 0.00025 وحفرت القناة من خلال الحصى الناعم fine gravel الذي يبلغ حجم الجسيمات فيه 8 مم، افترض أن الجسيمات مستديرة بشكل معتدل، وأن الماء يحمل رواسب دقيقة بتركيزات منخفضة.

الحل:

1) المعطيات: التصريف التصميمي Q = 10 م^3/ثانية، الميل السفلي S_o = 0.00025، القناة خلال الحصى الناعم، حجم جسيمات الحصى الناعم = 8 مم، الجسيمات مستديرة
2) المطلوب: صمم قناة شبه منحرفة مستقيمة للتصريف التصميمي، عمق الدفق y وقيمة B_θ
3) جد قيمة n من جدول 4–8 لمادة حصى ناعم، مدور بدرجة معتدلة؛ فإن قيمة n= 0.024 و z= 1V:3H

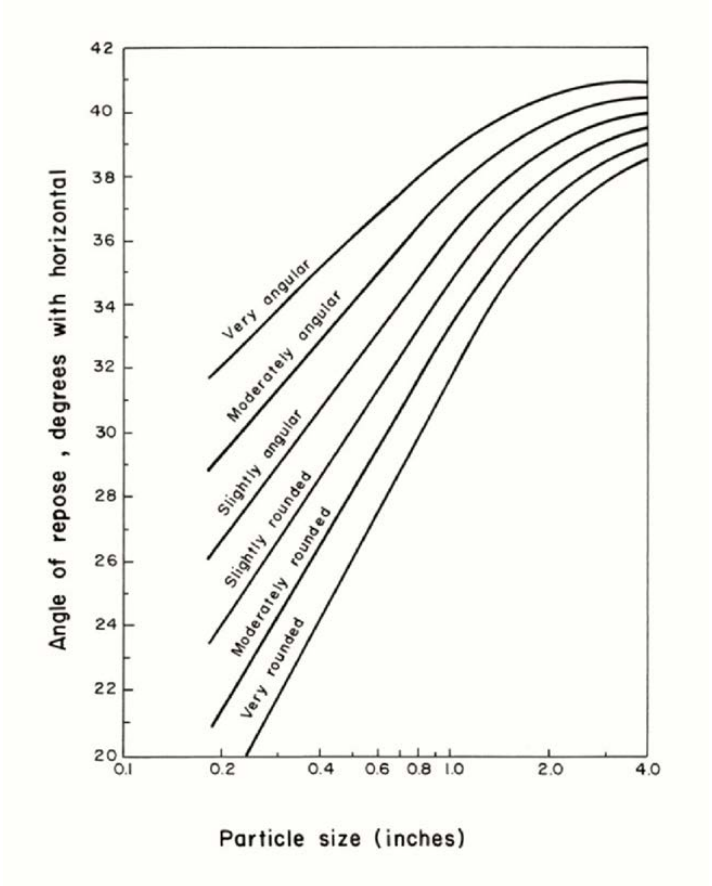
من ثم جد

$$\theta = \tan^{-1}(1/3) = 18.4^o$$

$$\text{Practical size} = 8/25.4 = 0.315 \text{in}$$

جد زاوية الاستقرار من الرسم

$$\text{From Fig}, \varphi = 24^o$$

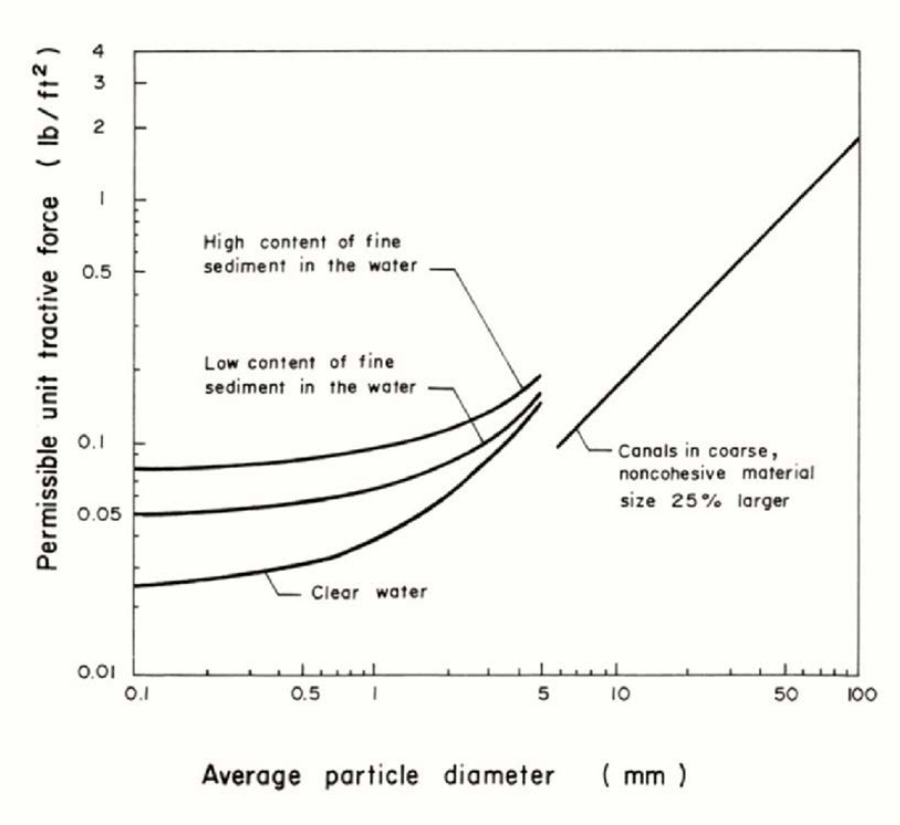


$$K = \sqrt{1 - \left(\frac{sin^2\theta}{sin^2\varphi}\right)} = \sqrt{1 - \left(\frac{0.1}{0.16}\right)} = 0.63$$

جد إجهاد القص الحرج Critical shear stress من الشكل = 0.15 رطل/قدم^2 = 7.18 نيوتن/م^2.

نظرًا لأن القناة مستقيمة، فلا يتعين علينا إجراء تصحيح للمحاذاة.

إجهاد القص المسموح به permissible shear stress لجانب القناة = 7.18 × 0.63 = 4.52 N/m^2.



الآن، قوة الجر unit tractive force على الجانب

$$0.76\gamma y S_o = 0.76 \times 999 \times 9.81 y \times 0.00025 = 1.862y$$

من خلال مساواة قوة الجر للوحدة unit tractive force بالإجهاد المسموح به permissible stress، نحصل على

$$1.862y = 4.52$$

Or

$$y = 2.43\text{m}$$

يمكن تحديد عرض قاع القناة، B_o، اللازم لحمل 10 م^3/ثانية من معادلة مانينج

$$Q = \frac{1}{n} A R^{2/3} \sqrt{S_o}$$

$$Q = \frac{1}{n}(B_o + zy) * \left(\frac{(B_o + zy)y}{\left(B_o + 2\sqrt{1+z^2}y\right)}\right)^{2/3} \sqrt{S_o}$$

بالتعويض عن $n = 0.024$، $z = 3$، $y = 2.43$، $S_o = 0.00025$، و $Q = 10$ m^3/s، جد Bo، نحصل على $Bo = 8.24m$

المسافة الحرة FR أو Free Board تساوي

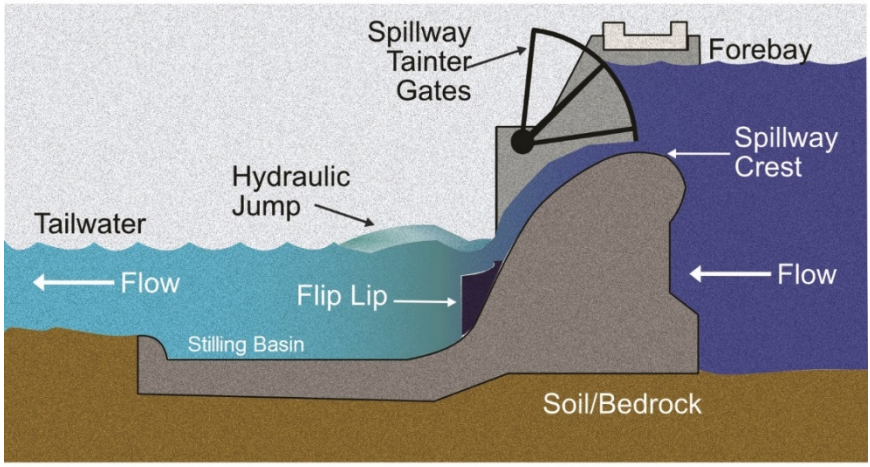
$FB = 0.8x\ (2.43)^{0.5} = 1.40m$

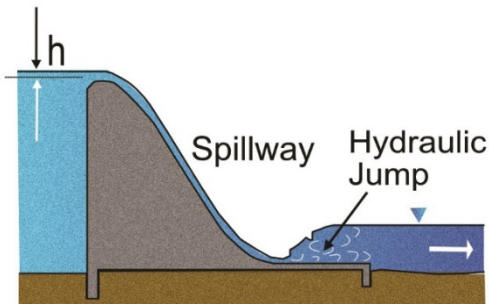
بالنسبة للمسافة الحرة المحددة 1.4 م، عمق المقطع = 2.43 + 1.4 = 3.82 م.
لسهولة البناء، حدد عرض القاع، Bo = 8.25 م.

4-2) منشآت التحكم في التدفق (لتنظيم الكمية وتمرير التدفق الزائد)

- مجاري المياه Spillways
- المنافذ outlets
- البوابات Gates
- الصمامات Valves
- مآخذ السحب
- المفيض Escapes وصمامات أمان القنوات

4-2-1) مجاري المياه Spillways





شكل (4-14): مقطع لمفيض

4-2-2) مبددات الطاقة energy dissipators

الطاقة الحركية في الدفق يمكنها نحر قاعدة السدود وغيرها من المنشآت المائية، ومن الأهمية بمكان تبديد الطاقة الزائدة لحماية المنشأة. الغرض من مفيض التصريف هو تمرير مياه الفيضان بأمان أدنى التيار عند امتلاء الخزان. تمثل منشآت حماية للسدود، وهي عبارة عن هيكل مصمم بحيث تنسكب مياه الفيضانات في ظل ظروف خاضعة للرقابة (أي آمنة). يمكن أن تكون الممرات المائية المفيضة Spillways غير خاضعة للرقابة (عادة)، أو مراقبة. من الملاحظ أن السدود الخرسانية عادةً تشتمل على مجرى انسيابي علوي over-fall أو مفيض قمة crest spillway، لكن سدود الردميات embankment dams تتطلب عمومًا قناة جانبية منفصلة أو هيكل مجرى صرف shaft spillway structure يقع بجوار السد. لابد من أن تكون للمفيض السعة لتصريف أغلب الفيضانات بدون احداث ضرر على منشأة السد كما مبين على المعادلة 4-33.

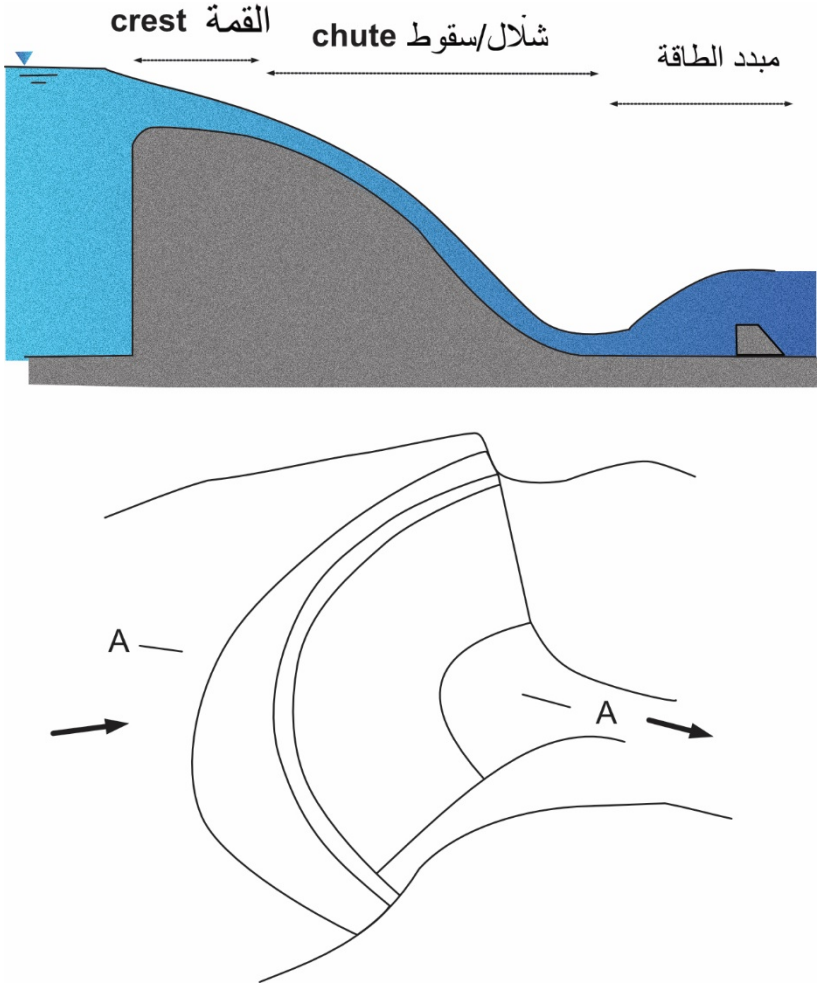
$$Q=Cbh^{1.5} \qquad (4.33)$$

حيث:

C تكون بين 1.6 و 2.3

4-2-2-1) أنواع المفيض

- مفيض انسكاب الفائض Overflow spillways
- مفيض مزلقة Chute spillways
- مجاري القناة الجانبية Side-channel spillways
- مفيض انسكاب العمود Shaft spillways
- مفيض السيفون Siphon spillways
- مفيض الخدمة والطوارئ Service & Emergency spillways



شكل (4-15): تخطيطي للهدار التقليدي/مفيض تصريف المياه Sketch of conventional weir/spillway

4-2-2-2) تصنيف المفيض

أ) حسب السمة الأبرز

- مفيض أوجي Ogee spillway هو النوع الأكثر شيوعًا لمجرى المياه. لديه هدار تحكم على شكل Ogee أو حرف S. إنها بنية جاذبية تتطلب أساسًا سليمًا ويفضل أن تكون موجودة في قناة النهر الرئيسة.
- مفيض مزلقة Chute spillway
- مفيض قناة جانبية Side channel spillway
- مفيض عمود Shaft spillway
- مفيض سيفونSiphon spillway
- مفيض سقوط مستقيم أو مفيض هبوط Straight drop or overfall spillway
- مفيض نفق / مفيض بربخ Tunnel spillway/Culvert spillway
- مفيض متاهة Labyrinth spillway
- مفيض تصاعد Stepped spillway

ب) حسب الوظيفة

- مفيض الخدمة Service spillway
- مفيض إضافي Auxiliary spillway
- قابس الصمامات أو مفيض الطوارئ Fuse plug or emergency spillway

ج) حسب هيكل التحكم Control Structure

- مفيض مسور (مزود ببوابة) Gated spillway
- مفيض غير مزود ببوابة Ungated spillway
- مفيض فتحة في مجرى تصريف المياه Orifice of sluice spillway

المفيض أوجي ogee or overflow spillways: الشكل الأساسي للمفيض (ogee) مشتق من الغلاف السفلي للقيلولة الكلية overall nappe التي تتدفق فوق شق notch

مستطيل عمودي مرتفع مع سرعة اقتراب $V_o = 0$، ومساحة مهواة بالكامل أسفل القيلولة nappe ($p = p_o$).

خصائص التفريغ discharge characteristics

على غرار ملف القمة، يمكن أيضًا اشتقاق خصائص التصريف للمفيض القياسي من خصائص الهدار ذي القمة الحادة معادلة الهدار 4–34.

$$Q = C\sqrt{2g}LH_e^{3/2} \qquad (4.34)$$

حيث:

Q = التدفق

C = معامل التدفق

L = السمت الكلي على القمة بما في ذلك سمت سرعة الاقتراب h_a

الانسكابات المفرطة overflow spillways: مقطع من السد يسمح بمرور المياه فوق قمته، ويستخدم على نطاق واسع في سدود الجاذبية والقوس والدعامات buttress.

مفيض المزلق chute spillways: تتشكل عن طريق الانسكاب الذي يتدفق فوق قمة إلى قناة مفتوحة شديدة الميلان. غالبًا يكون عرض المزلق ثابتًا (ضيق للاقتصاد). ويكون وسيع لتقليل سرعة التفريغ.

مفيض القنوات الجانبية side channel spillways: مفيض ينقل فيه التدفق، بعد مروره فوق القمة، بعيدًا في قناة تعمل بالتوازي مع القمة. وتُستخدم في الأخاديد الضيقة حيث يتوفر طول قمة كافٍ للفيضان أو المزلق.

مفيض العمود أو الرمح shaft spillway: يسقط الماء من خلال عمود رأسي في مادة الأساس إلى قناة أفقية تنقل المياه عبر السد. تستخدم غالبًا في الأماكن التي لا توجد بها مساحة كافية لمفيضات أخرى. هنالك مشكلة محتملة من احتمال الانسداد بالحطام؛ تقوم المصافي ورفوف القمامة بحماية المدخل.

مفيض السيفون: تنفيس الهواء المستخدم يحافظ تلقائيًا على ارتفاع سطح الماء بسعة كبيرة غير مطلوبة، جيدة للمساحة المحدودة. وعند التدفق المنخفض يعمل كمفيض للتصريف الفائض، أما عند التدفق العالي فيزيل عمل السيفون الماء من خلال الهيكل حتى يسقط الخزان إلى الارتفاع عند الشفة العليا للمدخل.

مفيض الخدمة والطوارئ: مفيض التدفق الإضافي التي يتم توفيرها في مشروع في حالة نادرة من الفيضانات الشديدة (الطوارئ). وتستخدم لنقل معدلات التدفق الخارج التي تحدث بشكل متكرر (الخدمة).

المفيض والمخارج والأعمال الإضافية spillway, outlets and ancillary works

- منفذ Outlet Works: المنافذ التي يتم التحكم فيها مطلوبة للسماح بسحب المياه كما هو ضروري من الناحية التشغيلية. يجب عمل مخصصات لاستيعاب بينستوكس penstocks والأنابيب المطلوبة مع بوابات أو صمامات التحكم المرتبطة بها.
- تحويل النهر River Diversion: ضروري للسماح للبناء بالمضي قدمًا في الظروف الجافة. يمكن تكييف نفق المخرج لهذا الغرض أثناء الإنشاء واستخدامه لاحقًا كمرفق لتصريف السد المكتمل.يمكن أن يكون البديل لهذه الأنفاق عبارة عن سدود الوعاء coffer dams.
- الانقطاعات Cut–offs: تستخدم للتحكم في التسرب حول وتحت جانب السدود.
- تعمل قطع ردميات السدود Embankment cut–offs بشكل عام بواسطة
  - ردم الخنادق الواسعة بالطين المدلفن،

- الحشو لأعماق أكبر،
- قطع شبكة الجص في الأساسات الصخرية

- الصرف الداخلي Internal Drainage: التسرب موجود دائمًا داخل جسم السد. يجب توجيه والتحكم في تدفقات التسرب والضغوط الداخلية الناتجة عنها.
في سدود الردميات، يتم التسرب من خلال مناطق سابقة موجودة بشكل مناسب تؤدي إلى مصارف أو منافذ بطانية أفقية عند المستوى الأساسي.
في السدود الخرسانية، تتشكل المصارف الرأسية داخل وجه المنبع، ويتم تخفيف التسرب في الرواق الداخلي أو مخرج التصريف.
في السدود المقوسة، غالبًا يتم تصريف ضغط التسرب في دعامات الصخور عن طريق نظام قنوات الصرف المبني لهذا الغرض.
- الدهاليز والأعمدة الداخلية Internal Galleries and Shafts: يتم توفير الدهاليز والأعمدة كوسيلة للسماح بالتفتيش الداخلي، وخاصة في السدود الخرسانية. يمكن استخدام هذه لاستيعاب الرصد والمراقبة الهيكلية الغرض.

4-2-2-3) جوانب مختلفة متضمنة في تصميم المفيض

تضمن الجوانب التالية في تصميم المفيض:

أ) الهيدرولوجيا
- تقدير التدفق الداخل التصميمي للفيضانات inflow design flood
- اختيار التدفق التصميمي للمفيض
- تحديد المصرف الخارجي للمفيض
- تحديد وتيرة frequency استخدام المفيض

ب) الطبوغرافيا والجيولوجيا: نوع وموقع مجرى التصريف

ت) المنفعة والجوانب التشغيلية: إمكانية الخدمة

ث) الجوانب الإنشائية: الفعالية من حيث التكلفة

4-2-2-4) الفيضان التصميمي للمفيض spillway design flood

- الحد الأقصى المحتمل للفيضان Probable Maximum Flood: هذا هو الفيضان الذي يمكن توقعه من أشد مجموعات الأرصاد الجوية والظروف الهيدرولوجية الحرجة التي يمكن توقعها بشكل معقول في المنطقة. يتم حساب ذلك باستخدام الحد الأقصى المحتمل للعاصفة.
- فيضان المشروع القياسي standard project flood: هذا هو الفيضان الذي يمكن توقعه من أشد مجموعة من العوامل الهيدرولوجية والجوية التي تعتبر من الخصائص المعقولة للمنطقة ويتم حسابها باستخدام عاصفة المشروع القياسية.

في بعض الدول، تصمم السدود الكبيرة بالحد الأقصى المحتمل للفيضان، والسدودالمتوسطة بكل من الحد الأقصى المحتمل للفيضان/فيضان المشروع القياسي، والسدود الصغيرة للفيضانات التي تعود لفترة 100 عام بفيضان المشروع القياسي.

4-2-2-5) تقدير الفيضان التصميمي للمفيض estimation of spillway design flood

إن تقدير الفيضان التصميمي للمفيض أو فيضان تصميم التدفق هو تمرين يشمل تخصصات متنوعة للهيدرولوجيا والأرصاد الجوية والإحصاءات والاحتمالات. هناك مجموعة كبيرة ومتنوعة من الأساليب المستخدمة لتحديد الفيضانات الاستثنائية وخصائصها. يجمع تحت الفئتين الرئيسيتين:

- طرق تعتمد بشكل أساس على بيانات التدفق.
- الأساليب التي تعتمد بشكل أساس على بيانات هطول الأمطار.

4-2-3) البوابات الهيدروليكية hydraulic gates

في الهندسة الهيدروليكية، البوابة عبارة عن هيكل دوار أو منزلق أو فتحات، مدعوم بمفصلات أو بمحور أفقي أو عمودي دوار، يمكن وضعه في أقصى أنبوب أو قناة كبيرة من أجل التحكم في تدفق الماء الخارج أو أي سائل من جانب إلى الآخر. رغم أن للبوابة خواص الفتحة orifice الهيدروليكية غير أنه لا يوجد تصميم قياسي لها، من ثم توجد

درجات متفاوتة من الانقباضات. الدفق قد يكون حر free أو مغمور submerged. وتبين المعادلة التالية حساب الدفق:

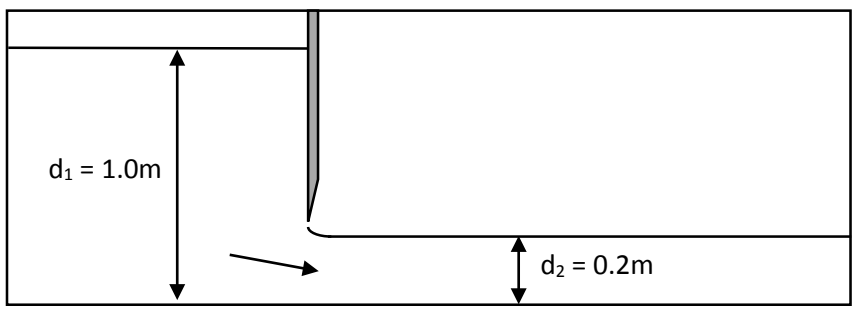
$$Q=C_a\sqrt{2gh}$$

حيث:

h = الارتفاع وسط الفتحة للفتحات ذات الدفق الحر free discharge، ويعادل لفرق في ارتفاعات سطح الماء للدفق المغمور submerge discharge

مثال (4-5): حساب التفريغ تحت بوابة السد Calculating discharge under a sluice gate

تستخدم بوابة السد للتحكم في التفريغ وقياسه في قناة مفتوحة. احسب التفريغ في القناة عندما تكون أعماق المياه في المنبع (أعلى التيار) والمصب (أدني اتجاه التيار) 1.0 م و 0.2 م، على التوالي.



الحل:

1) المعطيات: أعماق المياه أعلى التيار = 1.0 م، أعماق المياه أدني اتجاه التيار = 0.2 م
2) المطلوب: التفريغ في القناة
3) عندما يتقلص الدفق في بوابة السد يمنع الاضطراب ويحدث انتقال التدفق بشكل سلس. فواقد الطاقة قليلة جداً مما يمكن معه استخدام معادلة الطاقة:

الطاقة الكلية عند النقطة 1 = الطاقة الكلية عند النقطة 2

$$d_1+\frac{v_1^2}{2g}+z_1=d_2+\frac{v_2^2}{2g}+z_2$$

بما أن المجرى أفقي فإن $z_1 = z_2$ ومن ثم تصبح المعادلة

$$d_1+\frac{v_1^2}{2g}=d_2+\frac{v_2^2}{2g}$$

وبتعويض القيم المعطاة

$$1.0 - 0.2 =\frac{v_1^2}{2g} - \frac{v_2^2}{2g}$$

استخدم معادلة الاستمرارية لعلاقة السرعتين ببعضهما البعض

$$v_1d_1=v_2d_2$$

بتعويض الأعماق

$$v_1*1.0=v_2*0.2$$

ومنها $v_1 = 0.2v_2$ مما يتيح حل المعادلة

$$1.0 - 0.2 =0.8=\frac{v_2^2}{2g} - 0.04\frac{v_2^2}{2g}$$

$$v_2^2 =\frac{0.8*2*9.81}{(1 - 0.04)} = 16.35$$

من ثم جد السرعة v2

$$v_2 = 4.04 \text{ m/s}$$

جد الدفق لكل وحدة عرض من معادلة الاستمرارية

$$q =v_2d_2=4.04*0.2 = 0.81 \text{ m}^2/\text{s/m width of channel}$$

برنامج (4-5): حساب التفريغ تحت بوابة السد

```
import javax.swing.*;
import javax.swing.border.Border;
import javax.swing.event.DocumentEvent;
import javax.swing.event.DocumentListener;
import javax.swing.text.BadLocationException;
import javax.swing.text.Document;
import java.awt.*;
```

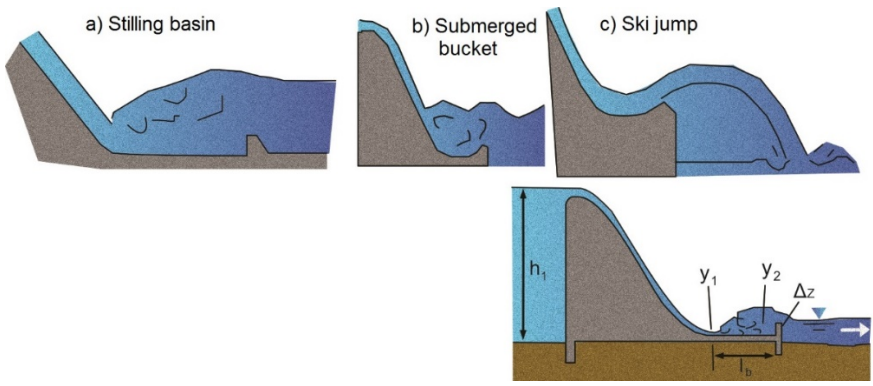
```
public class Example_4_5 extends JPanel {
    public static final String TITLE = "مثال 5-4";
    public static final String EMPTY_RESULT_TEXT = "<html><b>( قم بإدخال المعطيات
ليتم حساب النتيجة)</b><br/><br/></html>";
    private float d1, d2;

    JFormattedTextField[] textFields = {
            new JFormattedTextField(), new JFormattedTextField(),
    };

    JLabel[] labels = {
            new JLabel("(أعماق المياه أعلى التيار (متر):", JLabel.RIGHT),
            new JLabel("(أعماق المياه أدنى التيار (متر):", JLabel.RIGHT),
    };

    JLabel resultLabel = new JLabel(EMPTY_RESULT_TEXT, JLabel.RIGHT);

    DocumentListener textFieldDocListener = new DocumentListener() {

        public void changedUpdate(DocumentEvent e) { calc(e); }

        public void removeUpdate(DocumentEvent e) { calc(e); }

        public void insertUpdate(DocumentEvent e) { calc(e); }

        public void calc(DocumentEvent e) {
            try {
                Document document = e.getDocument();
                Object owner = document.getProperty("owner");
                String s = document.getText(0,
e.getDocument().getLength());
                float val = Float.parseFloat(s);

                if (owner == textFields[0]) {
                    d1 = val;
                } else if (owner == textFields[1]) {
                    d2 = val;
                }
            } catch (BadLocationException | NumberFormatException ex) {
                resultLabel.setText(EMPTY_RESULT_TEXT);
                return;
            }

            if(d1 == 0 || d2 == 0) {
                resultLabel.setText(EMPTY_RESULT_TEXT);
                return;
            }

            double d2d1 = (d2 * d2) / (d1 * d1);
            double v2sq = ((d1 - d2) * 2 * 9.81) / (1 - d2d1);
            double v2 = Math.sqrt(v2sq);
            double Q = v2 * d2;
            String fmtfloat2 = "<b>%.2f</b>";
            String format = "<html>السرعة أدنى التيار = " + fmtfloat2 + "
متر/ثانية<br/>" +
                    "الدفق لكل وحدة عرض = " + fmtfloat2 + " متر مربع/ثانية/متر" +
```

```
                    "<br/></html>";

            resultLabel.setText(String.format(format, v2, Q));
        }
    };

    public Example_4_5() {
        super(new BorderLayout());

        JPanel topPane = new JPanel(new GridLayout(0,1));
        JPanel centerPane = new JPanel(new GridLayout(0,2));
        JPanel bottomPane = new JPanel(new GridLayout(0,1));
        JPanel labelsPane = new JPanel(new GridLayout(0,1));
        JPanel textFieldsPane = new JPanel(new GridLayout(0,1));

        Border border = BorderFactory.createEmptyBorder(10, 10, 10, 10);
        Border border2 = BorderFactory.createEtchedBorder();
        topPane.setBorder(border);
        bottomPane.setBorder(border);
        labelsPane.setBorder(border);
        textFieldsPane.setBorder(border);
        centerPane.setBorder(border2);
        setBorder(border);

        topPane.add(new JLabel("<html>هذا المثال يستخدم المعادلة: <b>d1 + (v1^2 /
2*g) = d2 + (v2^2 / 2*g)</b></html>", JLabel.RIGHT));

        for(int i = 0; i < textFields.length; i++) {
            textFields[i].setColumns(10);
            labelsPane.add(labels[i]);
            textFieldsPane.add(textFields[i]);
            Document document = textFields[i].getDocument();
            document.addDocumentListener(textFieldDocListener);
            document.putProperty("owner", textFields[i]);
        }

        centerPane.add(textFieldsPane, BorderLayout.CENTER);
        centerPane.add(labelsPane, BorderLayout.LINE_END);
        bottomPane.add(resultLabel);
        add(topPane, BorderLayout.NORTH);
        add(centerPane, BorderLayout.CENTER);
        add(bottomPane, BorderLayout.SOUTH);
    }

    public static void main(String[] args) {
        try {
            UIManager.setLookAndFeel(
                    UIManager.getSystemLookAndFeelClassName());
        } catch (IllegalAccessException | InstantiationException |
                 UnsupportedLookAndFeelException | ClassNotFoundException
e) {
            e.printStackTrace();
        }

        SwingUtilities.invokeLater(() -> {
            JFrame frame = new JFrame(TITLE);
```

```
            frame.setDefaultCloseOperation(JFrame.EXIT_ON_CLOSE);
            frame.setResizable(false);
            frame.add(new Example_4_5());
            frame.pack();
            frame.setLocationRelativeTo(null);
            frame.setVisible(true);
        });
    }
}
```

4-2-4) أشكال أخرى من أجهزة قياس التدفق flow measuring devices

يمكن أيضًا قياس تدفقات القناة المفتوحة Open channel من خلال الهدار العريض المتوج broad crested weir ومسيل الفنتوري venturi flume وبعض الهياكل الخاصة مثل Crump weir.



شكل (4-16): أشكال أخرى من أجهزة قياس التدفق

Stilling basin calculation

The velocity at Section 1

$$V_1 = \phi\sqrt{2gh_1}$$

ϕ is usually taken as $0.90-0.95$

The depth before the jump (rectangular channel)

$$y_1 = \frac{Q}{bV_1}$$

The sequent depth

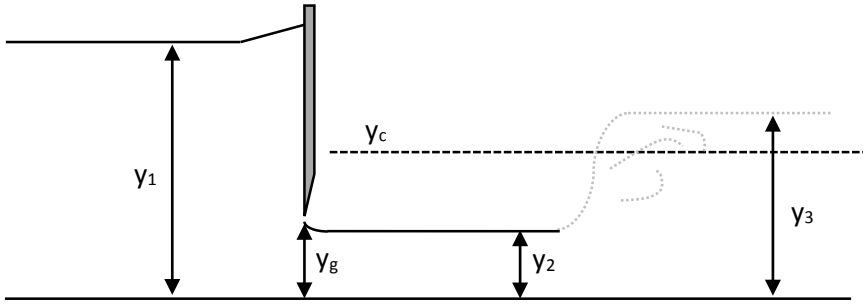
$$y_2 = \frac{y_1}{2}\left(\sqrt{1 + 8F_{r1}^2} - 1\right)$$

The wall at the end can be treated as a weir, so from Q = $1.705bh^{1.5}$ (ignore the energy loss) to derive h.

The height of the wall will be $\Delta z = y_2 - h$

The length of the basin is shorter than free jumps ($6.1y_2$) due to the baffling effect from the end wall, so

$$l_b = (4.0 \sim 5.0)y_2$$



Sluice Gates

Energy equation (Section $1 - 2$):

$$y_1 + \frac{V_1^2}{2g} = y_2 + \frac{V_2^2}{2g}$$

If y_1 and y_2 are known, discharge through the gate can be derived:

$$Q = by_1y_2\sqrt{\frac{2g}{y_1 + y_2}}$$

In practice, it is easier to link the discharge with the gate opening, so:

$$Q = C_d b y_G \sqrt{2 g y_1}$$

Where:

$$y_2 = C_c y_G, and$$

$$C_d = \frac{C_c}{\sqrt{1 + (C_c y_G / y_1)}}$$

C_c can be found from hydraulics manuals for various types of gates (usually between $0.61-0.66$).

The force acting on the gate can be derived from the momentum equation between section 1 and 2 (ignore frictional forces). If the downstream depth is greater than the critical depth y_c, a hydraulic jump will occur in the channel. The sequent depth y_3 can be derived from the depth at y_2. If the downstream depth is greater than y_3, a submerged gate flow will occur and the flow equation derived here is not applicable anymore.

4-2-5) منافذ الوقاية Escapes

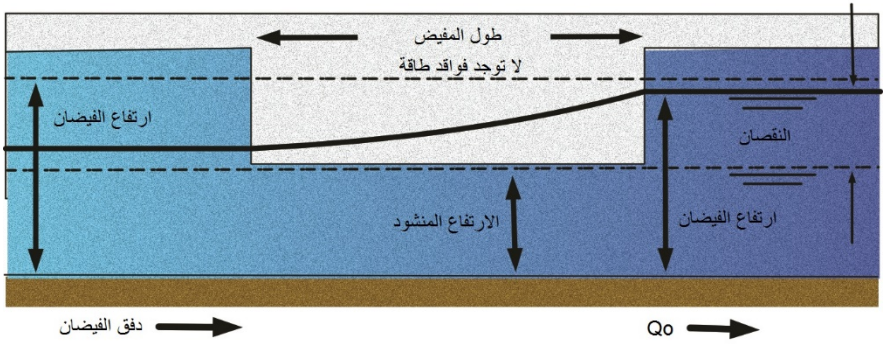
منافذ الوقاية Escapes عبارة عن هياكل وقائية للقنوات، تُستخدم لحماية القنوات والهياكل من الأضرار التي تسببها كميات المياه الزائدة. يجب أن تكون سعة المنفذ escape كافية لتصريف أي كميات زائدة من المياه ناتجة عن دخول الفيضانات إلى القناة، أو أثناء أخطاء التشغيل. في الواقع، إنها تحمي منسوب المياه في القناة من الارتفاع إلى هذا المستوى بحيث تتعرض الضفاف banks للخطر أو يتم تجاوزها. يمكن تحقيق الحماية بأنواع مختلفة من الهياكل:

- منظم يدوي manual regulator، أي بوابة تعمل يدويًا.

- إنشاء قنوات انسيابية جانبية side-channel spillways أو مجاري مياه جانبية lateral spillways في ضفة القناة، بتكلفة منخفضة ولكن بطول كبير في كثير من الأحيان؛
- عمل مجرى سيفون siphon spillway لإخلاء تدفق كبير لمستوى ماء ثابت إلى حد ما؛
- استخدام المنظمات الهيدروميكانيكية hydro-mechanical regulators، أي البوابات الخاضعة للتحكم في المنبع.

4-2-6) إنقاص Decrement

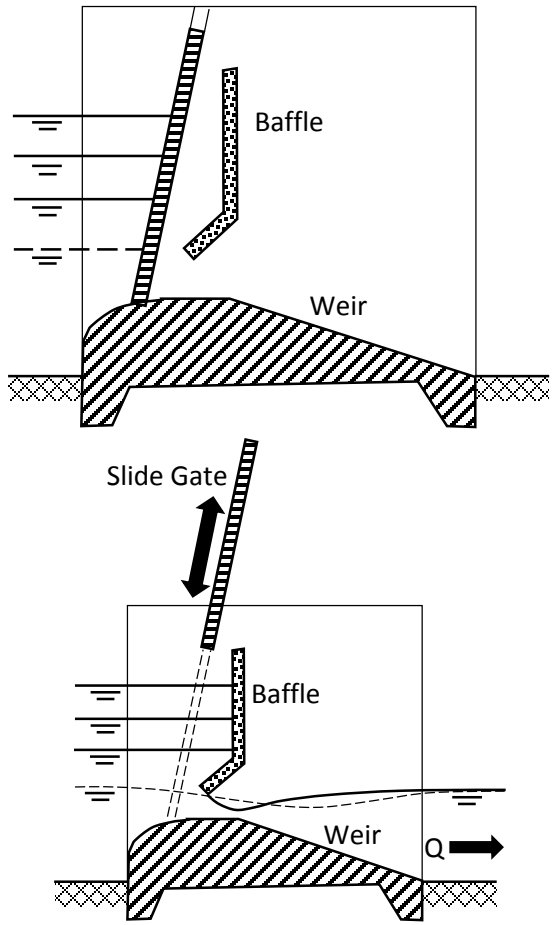
التناقص decrement في مجرى التدفق الجانبي side-channel spillway هو الفرق بين مستوى الماء التصميمي، أي الذي يقع مباشرة تحت قمة مجرى الصرف crest of the spillway، ومستوى المياه في القناة الجارية أثناء الفيضان، أي كافٍ فوق قمة مجرى التصريف spillway crest. يجب ملاحظة أن عمق الماء على طول مجرى الصرف يتناقص في اتجاه المنبع بسبب زيادة سمت السرعة velocity head عند سمت طاقة energy head ثابت.



شكل (4-17): إنقاص

موزع المصد أو الحاجز Baffle distributors "موزعي Neyrtec " أو "وحدات الفتحة"

تصمم موزع Baffle المصد، لتزويد عمليات التصريف المستمرة التي تكون مستقلة عن مستويات المياه في المنبع (أعلى اتجاه التيار). يحصل على هذه التدفقات المستمرة من خلال وظيفتها الهيدروليكية، وليس عن طريق تحريك الأجزاء. يمكن استخدام الموزع الحاجز لعملية تشغيل / إيقاف عن طريق فتح أو إغلاق اللوحة المنزلقة slide plate أو المصراع shutter.



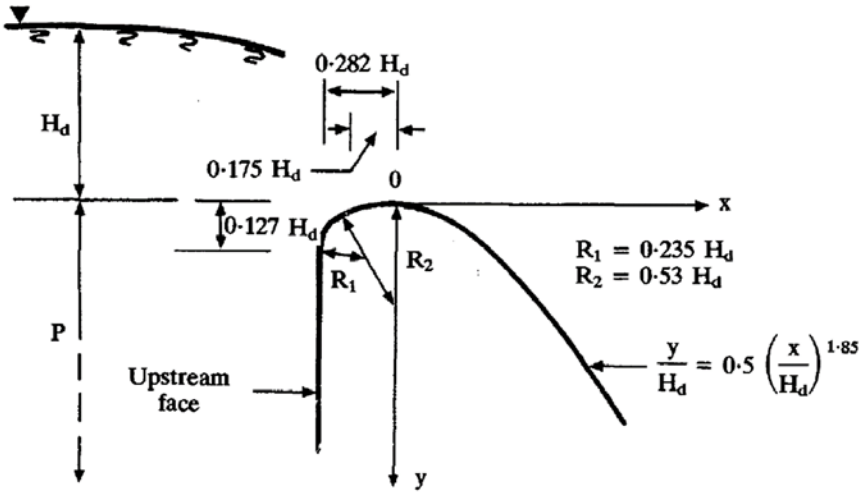
شكل (4-18): موزع المصد أو الحاجز

4-2-7) مفيض Ogee spillway

عادة تصرف التدفقات الزائدة للفيضانات خلف السدود من خلال توفير سبل مفيض spill ways. المظهر الجانبي لمجرى تصريف Ogee يتوافق مع شكل الهدار ذي القمة الحاد sharp crested weir (انظر الشكل 4-18) عند الارتفاع التصميمي. معادلة التدفق مشابهة لتلك الموجودة في الهدار، ولكن مع معامل تصريف أعلى C_{do} (نظرًا لأن مستوى العتبة المرجعي reference sill level لمجرى التصريف قد أزيح قليلاً).

مثال (4-6): مجرى مفيض

يجب تصميم مجرى مفيض Ogee spillway ذو ارتفاع كبير لإخلاء تصريف فيضان يبلغ 200 متر مكعب/ثانية تحت سمت يبلغ 2 متر. يمتد مجرى التصريف spillway بواسطة أرصفة piers لدعم سطح الجسر bridge deck أعلاه. المسافة الصافية بين الأرصفة تقتصر على 6 أمتار. حدد عدد الامتدادات spans المطلوبة لتمرير تصريف الفيضان بسمت لا يتجاوز 2 متراً؛ افترض أن معامل انكماش الرصيف $k_p = 0.01$ pier contraction coefficient ومعامل تقلص الدعامة abutment contraction coefficient $k_a = 0.10$.



شكل: مقطع مفيض اوجي

الحل:

1) المعطيات: تصريف الفيضان = 200 متر مكعب/ثانية، السمت= 2 متر، المسافة الصافية بين الأرصفة = 6 أمتار، معامل انكماش الرصيف k_p= 0.01، معامل تقلص الدعامة k_a =0.10
2) المطلوب: تصميم مجرى مفيضOgee. وتحديد عدد الامتدادات المطلوبة لتمرير تصريف الفيضان
3) لابد من تقليص التدفق بين الأرصفة piers والدعامات abutments لتقليل عرض مجرى التدفق spillway إلى Be.يحتوي كل رصيف pier على اثنين من الانقباضات النهائية end contractions والدعامة abutment؛ ومن ثم يعطى العرض الفعال effective width بواسطة المعادلة 4-35

$$B_e = B - 2(nk_p + k_a)H_e \qquad (4.35)$$

حيث:

n = عدد الأرصفة piers

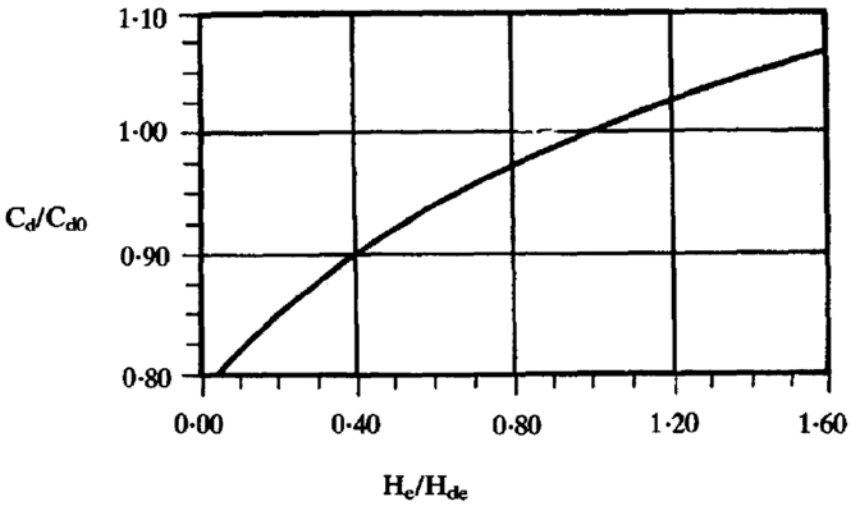
k_p = معامل تقليص الرصيف pier contraction coefficient والذي يعتمد على شكل الأنف nose حيث يساوي 0 لأنف مدببة pointed nose، ويساوي 0.02 لأنف مربعة square nose

k_a = معامل تقليص الدعامة abutment contraction coefficient يمكن أن يصل الى 0.2 للدعامة المربعة ويضمحل الى 0 للدعامة المستديرة.

ان كانت سرعة الاقتراب v_a غير قليلة ولا يمكن تجاهلها فيلجأ لطريقة التجربة والخطأ trial and error لحساب الدفق، عموماً للارتفاعات العالية P تتلاشى سرعة الاقتراب $(v_a \approx 0)$ ومن ثم $H_a \approx H$. بافتراض سرعة الاقتراض تقترب من الصفر يمكن كتابة المعادلة

$$Q = 200 = \frac{2}{3} C_{do} \sqrt{2g} \{6(n+1) - 2(n*0.01 + 0.10)2.0\} 2^{3/2}$$

والتي تعطي قيمة n تساوي 4.36 لقيم $C_{do} = 0.75 \left(\frac{P}{H} > 3\right)$
من ثم يصمم لخمس أرصفة. والبحر clear span of the spillway للدفق – 30 متر، يمكن من معادلة الدفق حساب السمت له. المفيض sillway يمكنه تصريف دفق فيضان كبير للسمت التصميمي المحدد 2 متر. يمكن إيجاد علاقة ارتفاع ودفق stage (head) – discharge باستخدام معامل دفق مناسب من الشكل التالي:

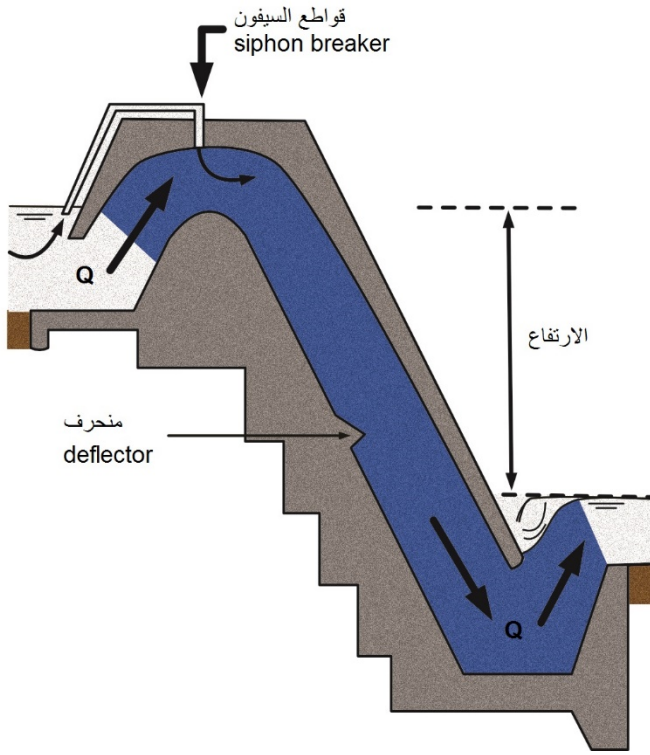


شكل: تغير المعلمات (C_d/C_{do}) مع فقد السمت (H_e/H_{de})

4-2-8) مجرى سيفون Siphon spillway

مجاري السيفون Siphon spillways هي منظمات سلبية لمستوى المياه لأنها تمنع مستوى الماء من الارتفاع فوق مستوى الماء المستهدف. الزيادات الصغيرة في مستويات المياه ستؤدي في البداية إلى عمل السيفون كهدار. إذا استمر مستوى الماء في الارتفاع، فإن التصريف عبر السيفون سيصل إلى سرعة كافية لتجهيز السيفون prime the siphon. يبدأ التحضير Primingلأن تدفق الماء يحمل خليطًا من الهواء والماء خارج البرميل. يحدث التحضير الكامل عندما يزال كل الهواء من البرميل ويصبح الضغط فوق

القمة تحت الغلاف الجوي. عادة يتم إنشاء عاكس التدفق flow deflector في الجزء أدنى اتجاه التيار من السيفون. سيبدأ عاكس التدفق التحضير عند التفريغ المنخفض عن طريق تحويل التدفق إلى الجانب العلوي للبرميل. سيؤدي الاضطراب الناتج عن ذلك وتأثير التدفق إلى خلط الهواء في البرميل مع المياه المتدفقة. بمجرد التحضير الكامل fully primed، يستمر العمل السيفوني حتى ينخفض مستوى الماء إلى ما دون ارتفاع المدخل أو أسفل مدخل قاطع السيفون the siphon–breaker، والسماح بتدفق الهواء لاستعادة الضغط الجوي عند القمة، وإنهاء التدفق فجأة.



شكل (4–19): مجرى سيفون

4-2-9) الفائض من تدفق المياه Overflow spillway

- أثناء أحداث هطول الأمطار الغزيرة، تتدفق كمية كبيرة من المياه إلى الخزان، وقد يرتفع مستوى الخزان فوق قمة السد dam crest. مجرى التصريف *spillway* عبارة عن هيكل مصمم "لتسرب" مياه الفيضانات في ظل ظروف خاضعة للرقابة (أي آمنة). يمكن تصريف مياه الفيضانات تحت السد (مثل البربخ culvert ومخرج القاع bottom outlet)، من خلال السد (مثل سد الصخور rockfill dam) أو فوق السد (أي مجرى التدفق الفائض overflow spillway).
- معظم السدود الصغيرة مجهزة بهيكل فائض (يسمى مفيض spillway).
- يشتمل مجرى التدفق الفائض overflow spillway بشكل نموذجي على ثلاثة أقسام: قمة crest ومزلقة chuteومشتت – مبدد – للطاقة energy dissipator في نهاية المصب. تم تصميم القمة لتعظيم قدرة مفيض تصريف مجرى المياه spillway.
- يصمم المزلق *chute* لتمرير (أي لنقل) مياه الفيضان فوق (أو بعيدًا عن) السد، ويتم تصميم مبدد الطاقة لتبديد (أي "تفكيك") الطاقة الحركية للتدفق عند نهاية مجرى النهر المزلق.
- أحد أنواع مجاري الصرف spillway ذات الصلة هو هيكل الإسقاط drop structure وخصائصه الهيدروليكية تختلف اختلافًا كبيرًا عن خصائص الهدارات الفائضة القياسية.
- تشمل الأنواع الأخرى من مجاري الصرف spillways قناة Morning–Glory spillway (أو مفيض الجرس bellmouth spillway). وهو عبارة عن عمود تفريغ رأسي، وبشكل أكثر تحديدًا شكل الفتحة الدائرية لمجرى تدفق المياه، مما يؤدي إلى قناة أسفل السد (أو دعامة abutment). شكل المدخول مشابه لزهرة Morning–Glory، ويطلق عليه أحيانًا تناول توليب. لا يوصى بمجرى تصريف Morning–Glory spillway للتصريفات التي تزيد عادة عن 80 م^3/ ثانية.

- تتضمن أمثلة مبددات الطاقة حوضًا ثابتًا stilling basin وحوض التبديد dissipation basin ودلوًا متقلبًا flip bucket متبوعًا بمسبح pool في اتجاه مجرى النهر وبركة غطس plunge pool.

4-2-10) مجاري المياه والبوابات Spillways and gates

ممر تصريف المياه Spillway هو ممر لنقل تدفق فيضان السد الذي لا يمكن احتواؤه في مساحة التخزين المخصصة أو التي تزيد عن تلك التي تم تحويلها إلى أنظمة التحويل. تعمل المجاري المائية Spillways بشكل غير منتظم، في أوقات الفيضانات أو الجريان السطحي المستمر، عندما تكون المرافق الأخرى غير كافية. ومع ذلك فإن سعتها الكبيرة ذات أهمية قصوى لسلامة السد والمنشآت الهيدروليكية الأخرى.

4-2-11) الجوانب الهيدروليكية لتصميم قناة مفيض تصريف المياه Hydraulic aspects of spillway design

- تتعلق بتصميم المكونات الثلاثة لمفيض مجرى التصريف spillway: هيكل التحكم control structure وقناة التصريف discharge channel والهيكل الطرفي terminal structure.
- تنظم بنية التحكم التدفقات الخارجة من الخزان وقد تتكون من عتبة sill أو قسم من الهدار أو فتحة orifice أو أنبوب tube أو ماسورة pipe. تتعلق مشاكل التصميم هنا بتحديد شكل المقطع وحساب التدفق من خلال المقطع. ينقل التدفق المنطلق من هيكل التحكم إلى مجرى النهر أسفل السد في قناة تصريف. يمكن أن يكون هذا هو الوجه السفلي لقسم الفائض، أو نفقًا محفورًا من خلال دعامة، أو قناة مفتوحة على طول سطح الأرض.
- تحدد أبعاد القناة channel بواسطة المكونات الهيدروليكية لتدفق القناة. الهياكل الطرفية Terminal structuresعبارة عن أجهزة تبديد للطاقة يتم توفيرها

لإعادة التدفق إلى قناة النهر دون نحر خطير أو تآكل عند إصبع السد toe of the dam.

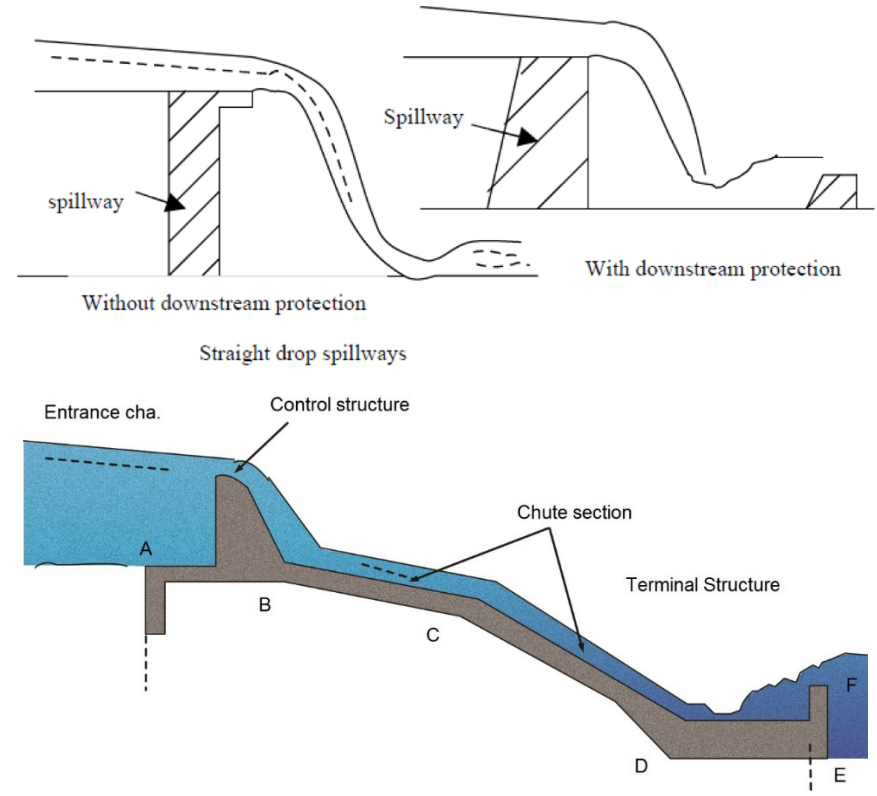
- عادةً توجد المجاري المائية Spillways عند مستوى الفيضان الطبيعي وتفيض المياه فقط عن القمة عندما تصل إلى هذا المستوى. ومع ذلك، فإن بعض مجاري الصرف spillways مجهزة ببوابات، وهي حواجز مؤقتة يتم تركيبها فوق القمة الدائمة لمجرى الصرف لتخزين المياه الإضافية خلال فترة مواسم انخفاض المياه.
- يُسمح لجميع التدفقات الصغيرة التي تتجاوز المستوى الأعلى للحاجز بالمرور فوق الحاجز barrier، ولكن أثناء تدفقات الفيضانات الكبيرة، يزال الحاجز وتستخدم السعة الكاملة لمجرى التصريف full spillway capacity لتصريف مياه الفيضان.

12-2-4) أنواع المجاري المائية Types of Spillways

يمكن تصنيف مجاري المياه، اعتمادًا على نوع الهيكل والانشاء على النحو التالي:

- قناة الصرف الجانبية Side channel spillway: هي الأكثر ملاءمة لسدود ردم الأرض earthfill والصخور rockfill dams، في الأخاديد الضيقة narrow canyons، حيث لا يمكن إنشاء أنواع أخرى من قنوات الصرف spillway.
- مجرى الانسكاب المستقيم (الانهيار الحر): Straight drop (free overfall) spillway يُسمح للماء بالهبوط بحرية من السد المنخفض وهيكل السقوط العمودي vertical fall structure.
- الفائض أو مفيض أوجي Overflow or Ogee spillway: شكل خاص من الهدار الذي تم صنع شكله.
- يتوافق مع المظهر الجانبي للغطاء السفلي lower nappe لصفيحة ماء جيدة التهوية ventilated sheet of water تسقط من هدار حاد متوج sharp crested weir.

- مجرى الصرف أو الحوض الصغير Chute or Trough spillway: حيث يتم نقل التصريف من خزان إلى مستوى مجرى النهر من خلال قناة مفتوحة شديدة الانحدار موضوعة إما على طول دعامة السد dam abutment أو من خلال سرج saddle.
- مجرى التدفق (مجد الصباح): Shaft (Morning glory) spillway يدخل الماء عبر قمة دائرية أفقية ثم يسقط من خلال عمود دائري circular shaft، ثم عبر نفق tunnel أو قناة conduit أفقية.
- مجرى سيفون Siphon spillway: مجرى قصير مغلق enclosed duct يكون قسمه الطولي منحنيًا.



شكل (4-20): المجاري المائية

مثال (4-7): مفيض أوجي

صمم مقطع مجرى فائض overflow spillway لتصريف 50000 قدم مكعب. سطح الماء المنبع عند المستوى 700، وأرضية القناة عند المستوى 580. يبلغ طول الوجه الرأسي لقناة التصريف spillway 180 قدمًا.علما بأن معادلة تصريف مجرى تصريف المياه على شكل أوجي ogee-shaped spillway.

$$Q = C*L_e*(h_e)^{3/2} \qquad (4.36)$$

Where:

Q = discharge over the ogee spillway التفريغ فوق مجرى الصرف

L_e = effective length of the crest الطول الفعال للقمة

$h_e = h + v^2/2g$ = total water head at crest including the velocity approach سمت الماء الكلي في القمة بما في ذلك سرعة الاقتراب

C = a variable coefficient of discharge, whose value varies from 2.1 to 2.5 depending on various factors. معامل تصريف متغير.

يمكن تقدير طول تأثير القمة من خلال المعادلة 4-37:

$$L_e = L - 2(NK_p - K_a) \qquad (4.37)$$

حيث:

L = Total clear length of crest الطول الإجمالي الواضح للقمة

N = No. of piers in the spillway عدد الأرصفة في مجرى تصريف المياه

K_p = pier contraction coefficient معامل انكماش (تقليص) الرصيف

K_a = abutment contraction coefficient معامل انكماش الدعامة

جدول: معامل تقليص الرصيف Pier Contraction Coefficient Kp

	Condition of Pier حالة الرصيف	Value of Kp
1	Pointed nose piers دعامات الأنف المدببة	0.00
2	Round nose piers دعامات الأنف المستديرة	0.01
3	Square-nose pier with corners rounded on a radius 0.1 times pier thickness رصيف ذو أنف مربعة بزوايا دائرية نصف قطرها 0.1 مرة سمك الرصيف	0.02

معامل تقليص الدعامة Abutment Contraction Coefficient (Kp)

	Condition of Abutment	Value of Ka
1	Rounded abutment with head wall as 90o to the direction of flow, when 0.5h > r > 0.15h دعامة مدورة بجدار رأسي 90 درجة لاتجاه التدفق	
2	Rounded abutment where r> $0.5H_o$ and the angle of head wall with direction of flow is $<45^o$	0.00
3	Square abutment with head wall at 90^o to the direction offlow of water دعامة مربعة مع جدار رئيسي عند 90 درجة في اتجاه تدفق المياه	0.2

الحل:

1) المعطيات: التصريف = 50000 قدم مكعب/ث، سطح الماء المنبع عند المستوى = 700، أرضية القناة عند المستوى = 580، طول الوجه الرأسي لقناة التصريف = 180 قدم.

2) المطلوب: صمم مقطع مجرى فائض

3) افترض C = 3.95

من معادلة دفق المفيض على شكل ogee

$$h_e^{3/2} = \frac{Q}{CL} = \frac{50000}{3.95 * 180} = 70.32$$

ومنها يمكن إيجاد قيمة h_e لتساوي 17.1 متر

جد عمق المياه أدنى اتجاه التيار

Depth of water upstream, H = 700 − 580 = 120 ft

جد سرعة الاقتراب

Velocity of approach v_o = Q/HL = 50,000/120(180) = 2.31ft/sec

جد سمت السرعة

Velocity head = $v^2/2g = (2.31)^2/(32.2) = 0.08$ ft

جد الحد الأقصى لسمت الماء

Maximum water head = 17.1 − 0.08 = 17.0ft

جد ارتفاع القمة

Height of crest, P = 120 − 17.0 = 103ft

Since h_e<30 ft, design head, h_d = 17.1/1.42 = 12.0ft

P/h_d = 103/12 = 8.58 > 1.33, high overflow section

بالنسبة للربع السفلي من شكل القمة

Downstream quadrant of the crest shape

منحنى أوجي الأيمن، في شكل مقطع مفيض أوجي، تمثل بالمعادلة

$$\frac{y}{H_d} = 0.5\left(\frac{x}{H_d}\right)^{1.85}$$

$$\frac{\mathrm{y}}{12} = \frac{1}{2}\left(\frac{\mathrm{x}}{12}\right)^{1.85}$$
$$y = 0.06\mathrm{x}^{1.85}$$

X (select) ft	Y (computed) ft
5	1.18
10	4.25
15	9.00
20	15.30
30	32.40

جد نقطة التماس تفترض منحدرًا في اتجاه مجرى النهر بمقدار 2: 1

9. Point of tangency assume a downstream slope of 2:1

$$\frac{\mathrm{x_{DT}}}{\mathrm{h}} = 0.485(\mathrm{k}\alpha)^{1.176}$$

حيث:

x_{DT} = horizontal distance from the apex to the downstraeam tangent point المسافة الأفقية من القمة إلى نقطة التماس في اتجاه مجرى النهر

α = slpe of the downstream face= منحدر وجه المصب

$$\frac{\mathrm{x_{DT}}}{\mathrm{h}} = 0.485(\mathrm{k}\alpha)^{1.176}$$
$$= \frac{\mathrm{x_{DT}}}{12} = 0.485(2*2)^{1.176}$$

x_{DT} = 30 ft

بالنسبة للربع الأعلى من شكل القمة

Upstream quadrant. A/h = 0.28, B/h = 0.165

A = 0.28*12 = 3.36, B = 0.165*12 = 2.00 ft

$$\frac{x^2}{3.36^2} = \frac{(2.0 - y)^2}{2.0^2} = 1$$

X (select) ft	Y (computed) ft
1.0	0.09
2.0	0.39
3.0	1.10
3.36	2.00

مثال (4-8): مفيض spillway

يبلغ عرض القناة المستطيلة rectangular channel 15 قدمًا وتنقل معدل تدفق يبلغ 120.000 جالون/دقيقة. يتم نقل التدفق إلى أسفل مفيض spillway له نفس العرض، حيث يبلغ عمق التدفق في قاعه 15 بوصة. إذا تم دفع مضخة هيدروليكية في قاع مجرى تصريف المياه، فكم يجب أن يكون عمق مياه الذيل tailwater depth.

الحل:

1) المعطيات: عرض القناة المستطيلة=15 بوصة = 1.25 قدم، ومعدل التدفق = 120.000 جالون/دقيقة = 268 قدم^3/ث، عرض spillway d_1= 15 بوصة، عمق التدفق = 15 بوصة.
2) المطلوب: عمق مياه الذيل tailwater depth
3) جد الدفق لكل وحدة طولية q = 268 ÷ 15 = 17.87 قدم/ث
4) جد العمق الحرج من المعادلة

$$d_c = \left(\frac{q^2}{g}\right)^{1/3} = \left(\frac{17.87^2}{32.2}\right)^{1/3} = 2.15 \text{ ft}$$

5) من ثم فان العمق الذي يساوي 15 بوصة أو 1.25 قدم هو فوق الحرج supercritical. تحدث قفزة هيدروليكية على هذا الموضع ما فتئ عمق d_2 ذيل الماء tailwater يساوي d_1=1.25 قدم.

6) جد السرعة أسفل المفيض spillway من المعادلة

$$v_1=\frac{Q}{bd}=\frac{268}{15*1.25}=14.3\ ft/s$$

7) جد d_2 عمق tailwater والذي يمثل العمق المتوافق مع العمق d_1 من المعادلة

$$d_2=-\frac{1}{2}d_1+\sqrt{\frac{2v_1^2d_1}{g}+\frac{d_1^2}{4}}=-\frac{1.25}{2}+\sqrt{\frac{2*14.3^2*1.25}{32.2}+\frac{1.25^2}{4}}=3.41\ ft$$

برنامج (4-8): مفيض

```
import javax.swing.*;
import javax.swing.border.Border;
import javax.swing.event.DocumentEvent;
import javax.swing.event.DocumentListener;
import javax.swing.text.BadLocationException;
import javax.swing.text.Document;
import java.awt.*;

public class Example_4_8 extends JPanel {
    public static final String TITLE = "مثال 8-4";
    public static final String EMPTY_RESULT_TEXT = "<html><b>( قم بإدخال المعطيات
لبتم حساب النتيجة)</b><br/><br/><br/><br/></html>";
    private float d1, b, Q;

    JFormattedTextField[] textFields = {
            new JFormattedTextField(), new JFormattedTextField(),
            new JFormattedTextField(),
    };

    JLabel[] labels = {
            new JLabel("عرض القناة المستطيلة (قدم):", JLabel.RIGHT),
            new JLabel("عمق التدفق (بوصة):", JLabel.RIGHT),
            new JLabel("معدل التدفق (قدم مكعب/ثانية):", JLabel.RIGHT),
    };

    JLabel resultLabel = new JLabel(EMPTY_RESULT_TEXT, JLabel.RIGHT);

    DocumentListener textFieldDocListener = new DocumentListener() {

        public void changedUpdate(DocumentEvent e) { calc(e); }
```

```
        public void removeUpdate(DocumentEvent e) { calc(e); }

        public void insertUpdate(DocumentEvent e) { calc(e); }

        public void calc(DocumentEvent e) {
            try {
                Document document = e.getDocument();
                Object owner = document.getProperty("owner");
                String s = document.getText(0,
e.getDocument().getLength());
                float val = Float.parseFloat(s);

                if (owner == textFields[0]) {
                    d1 = val;
                } else if (owner == textFields[1]) {
                    b = val;
                } else if (owner == textFields[2]) {
                    Q = val;
                }
            } catch (BadLocationException | NumberFormatException ex) {
                resultLabel.setText(EMPTY_RESULT_TEXT);
                return;
            }

            if(d1 == 0 || b == 0 || Q == 0) {
                resultLabel.setText(EMPTY_RESULT_TEXT);
                return;
            }

            double q = Q / b;
            double dc = (q * q) / 32.2;
            dc = Math.pow(dc, (double) 1 / 3);
            double v1 = Q / (b * d1);
            double d2 = (-d1 / 2) + Math.sqrt(((2 * v1 * v1 * d1) / 32.2)
+ ((d1 * d1) / 4));
            String fmtfloat2 = "<b>%.2f</b>";
            String format = "<html>الدفق لكل وحدة طولية = " + fmtfloat2 + "
قدم/ثانية<br/>" +
                    "العمق الحرج = " + fmtfloat2 + " قدم<br/>" +
                    "السرعة أسفل المفيض = " + fmtfloat2 + " قدم/ثانية<br/>" +
                    "عمق مياه الذيل = " + fmtfloat2 + " قدم<br/>" +
                    "</html>";
            resultLabel.setText(String.format(format, q, dc, v1, d2));
        }
    };

    public Example_4_8() {
        super(new BorderLayout());

        JPanel topPane = new JPanel(new GridLayout(0,1));
        JPanel centerPane = new JPanel(new GridLayout(0,2));
        JPanel bottomPane = new JPanel(new GridLayout(0,1));
        JPanel labelsPane = new JPanel(new GridLayout(0,1));
        JPanel textFieldsPane = new JPanel(new GridLayout(0,1));
```

```
        Border border = BorderFactory.createEmptyBorder(10, 10, 10, 10);
        Border border2 = BorderFactory.createEtchedBorder();
        topPane.setBorder(border);
        bottomPane.setBorder(border);
        labelsPane.setBorder(border);
        textFieldsPane.setBorder(border);
        centerPane.setBorder(border2);
        setBorder(border);

        topPane.add(new JLabel("<html>هذا المثال يستخدم المعادلة: <b>dc = [q ^ 2 /
g] ^ (1/3) <br/> v1 = Q / (b * d) <br/> d2 = -0.5 * d1 + Sqrt[[(2 * v1 ^
2 * d1) / g] + [d1 ^ 2 / 4]</b></html>", JLabel.RIGHT));

        for(int i = 0; i < textFields.length; i++) {
            textFields[i].setColumns(10);
            labelsPane.add(labels[i]);
            textFieldsPane.add(textFields[i]);
            Document document = textFields[i].getDocument();
            document.addDocumentListener(textFieldDocListener);
            document.putProperty("owner", textFields[i]);
        }

        centerPane.add(textFieldsPane, BorderLayout.CENTER);
        centerPane.add(labelsPane, BorderLayout.LINE_END);
        bottomPane.add(resultLabel);
        add(topPane, BorderLayout.NORTH);
        add(centerPane, BorderLayout.CENTER);
        add(bottomPane, BorderLayout.SOUTH);
    }

    public static void main(String[] args) {
        try {
            UIManager.setLookAndFeel(
                    UIManager.getSystemLookAndFeelClassName());
        } catch (IllegalAccessException | InstantiationException |
                 UnsupportedLookAndFeelException | ClassNotFoundException
e) {
            e.printStackTrace();
        }

        SwingUtilities.invokeLater(() -> {
            JFrame frame = new JFrame(TITLE);
            frame.setDefaultCloseOperation(JFrame.EXIT_ON_CLOSE);
            frame.setResizable(false);
            frame.add(new Example_4_8());
            frame.pack();
            frame.setLocationRelativeTo(null);
            frame.setVisible(true);
        });
    }
}
```

4-2-13) بوابات تصريف المياه Spillway gates

بوابات مجرى الصرف Spillway gates هي الحاجز المؤقت المثبت فوق القمة الدائمة لمجرى التصريف permanent crest of the spillway، لتخزين مياه إضافية خلال موسم الطقس الجاف. يُسمح للتدفقات الصغيرة الزائدة فوق بوابات المجرى spillway gates بالمرور عبر البوابات، ولكن في حالة حدوث فيضان كبير، يتم فتح بوابات المجرى spillway gates واستخدام السعة الكاملة لإزالة مياه الفيضان الزائدة.

يمكن توفير بوابات مجرى التصريف Spillway gates على جميع أنواع قنوات الصرف باستثناء مجرى تصريف السوائل siphon spillway. يشيع استخدام الأنواع التالية من بوابات قنوات التصريف:

- بوابات السبورة الفلاش Flash board gates
- قطع جذوع الأشجار أو بوابات الإبرة Stop logs or needle gates
- البوابات الشعاعية Radial gates
- بوابات الطبل Drum gates
- بوابات الرفع العمودية vertical lift gates

4-2-14) مآخذ السحب

الهدارات ومآخذ القناة Weirs and canal intakes

الأهداف

- لتحويل المياه من القناة الرئيسة إلى القنوات الثانوية.
- للمساعدة في الحفاظ على معدل تدفق أكثر اتساقًا على مدى فترات زمنية طويلة.
- لقياس معدلات التدفق والعمل كجهاز للتحكم الهيدروليكي.
- للحفاظ على حد أدنى ثابت لعمق التدفق.
- للسيطرة على ميل النهر.
- تستخدم لمنع الفيضانات أو لجعل النهر أكثر ملاءمة للملاحة.

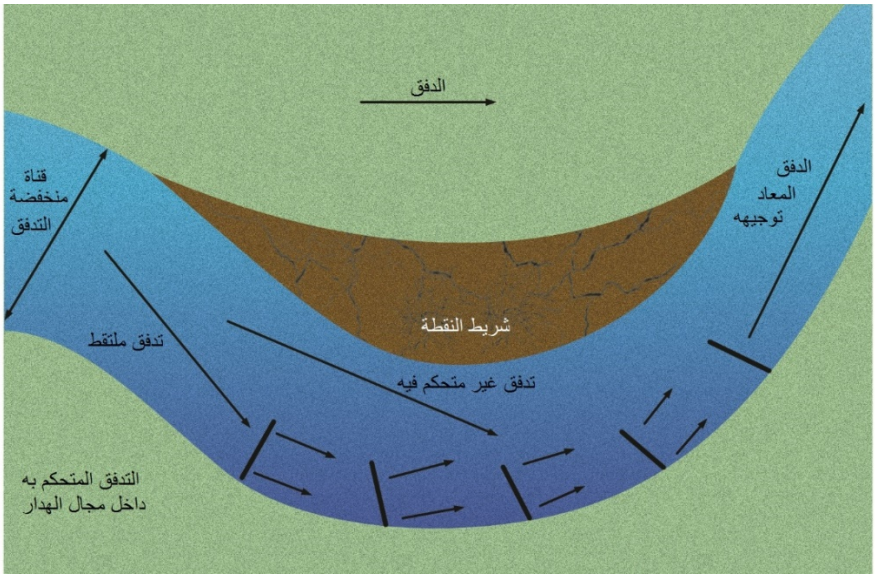
- يتم وضع الهدار بشكل عمودي على تدفق الماء.

الاستخدامات الترفيهية:

- غالبًا ما يتم بناء الهدارات لإنشاء أحواض السباحة والاستجمام.
- يمكن استخدام قطرة الماء الناتجة عن الهدار على جانب المصب (أدنى اتجاه نيار الماء) في التجديف boating والأنابيب tubing.

4-2-14-1) مآخذ الهدارات والقناة *Weirs and Canal Intakes*

- يمكن أيضًا استخدام الهدارات لتحسين ظروف الصيد (توجد هدارات الصيد في جميع أنحاء العالم، بعضها بسيط للغاية وبعضها يتضمن هندسة معقدة، سيما ويخلق النسخ الاحتياطي للمياه Backup of water عند المنبع (أعلى التيار) من الهدار مكانًا للاحتفاظ بالأسماك.
- تستخدم هدارات Bendway لإعادة توجيه التدفق في المنحنيات المتعرجة في الأنهار
  - الهدف من هدارات Bendway الانحناء هو تحسين الملاحة من خلال الانحناءات الضيقة
  - عادة بزاوية 20 درجة – 30 درجة عند المنبع (أعلى التيار)
  - الهدارات منخفضة بما يكفي للسماح للسفن بالمرور حتى في حالة التدفق المنخفض
  - عالية بما يكفي بحيث تتحكم بشكل كبير في السرعات القريبة من القاع near–bed velocities وتعيد توجيه خطوط الانسياب القريبة من القاع near–bed streamlines
  - بنيت في مجموعات من حوالي 4–14 هدار لكل منعطف



شكل (4-21): هدار الانحناء Bendway weir

4-2-14-2) مآخذ الهدارات والقناة

•اعتبارات الموئل:

- يمكن أن يؤدي الانخفاض الكبير في اتجاه مجرى التيار من حافة الهدار إلى إنشاء حاجز أمام ممر الأسماك في الاتجاه أعلى التيار
- يمكن بناء الهدارات بحيث تحافظ على موائل الأسماك أو تعززها
- المنحدرات الصخرية Rock ramps في نهاية المصب (أدنى اتجاه التيار) من الهدارات تولد موطن ترشاش riffle habitat بدلاً من شلال صغير
- أحد أنواع الهدار الذي يعزز الموطن هو ترشاش نيوبري Newbury Riffle
- تم تثبيت Newbury Riffles كمنشأة للتحكم المتدرج وتحسين الموائل
- يقوم الهدار بتخزين الماء في البركة، ويحافظ الترشاش على مرور الأسماك

4-2-14-3) بناء الهدار

- تتمثل إحدى الطرق البسيطة لبناء الهدار في استخدام أكوام الألواح sheet piles التي يتم دفعها في قاع النهر إلى عمق يبلغ اثنان إلى ثلاثة (2–3) أضعاف الحد الأقصى لمعدل النحر scour rate
- بغض النظر عن مواد البناء، يجب ربط جوانب الهدار في الضفاف باستخدام riprapأو كومة صفائح sheet pile لمنع الماء من الالتفاف حول الهدار
- بالنسبة للهدارات ذات المنحدرات ramps على جانب المصب (أدنى التيار)، يجب وضع الصخور بعناية للحفاظ على الانحدار المطلوب على الجانب الخلفي من الهدار
- عند استخدام العديد من الهدارات للتحكم في التسوية والميلان، يجب أن يتم بناؤها بحيث يتطابق منحدر الطاقة energy slope بين الهياكل مع المطلوب للتحكم في الرواسب

4-2-14-4) فشل الهدار

- عندما لا يتم إنشاء الهدار بشكل كافٍ أو لا يتم ربطه مرة أخرى بالبنك bank، يمكن أن يحدث الفشل
- يمكن أن تسبب الهدارات الفاشلة مواقف خطيرة للحيوانات والملاحة والاستجمام

4-2-14-5) مآخذ القناة

- الأنواع الرئيسية لمآخذ القناة
  - المدخول الجانبي Lateral Intake
  - القاع المدخول Bottom Intake
  - المدخول العلوي Overhead Intake (تستخدم المداخل الموجودة في الأرصفة piers لسحب المياه)

4-2-14-6) مآخذ السدود والقناة Weirs and Canal Intakes

- المدخول الجانبي مع السدود

- يستخدم Weir الهدار أو هيكل تحكم هيدروليكي مشابه للحفاظ على الحد الأدنى من المرحلة
- يسمح لهيكل الإقلاع off take structure بمواصلة العمل بغض النظر عن ظروف النهر
- أصعب في التصميم والبناء من المدخل الجانبي دون السدود lateral intake without damming
- سيكون له تأثير بيئي أكبر من المدخول الجانبي بدون سد lateral intake without damming

- المدخول الجانبي دون السدود Lateral Intake without damming

- يقتصر معدل تدفق Off take flow rate على 1 أو 2 متر مكعب على الثانية cms بافتراض

$$2cms << Q_{river}$$

- يرتبط معدل تدفق Off take flow rate بمعدل تدفق النهر نظرًا لعدم وجود هيكل فحصcheck structure لضمان الحد الأدنى لمرحلة النهر
- يتجنب توليد المياه الراكدة وهو أرخص في البناء

4-2-14-7) مآخذ القاع Bottom Intakes (يُعرف أيضًا باسم مآخذ تيرولين Tyrolean Intakes)

تحول المياه من النهر باستخدام قناة تجميع عمودية على النهر ومغطاة بمنخل أو مصفاة أو غربال. تغسل الجسيمات والحطام الأكبر من المنخل في اتجاه مجرى النهر. سيكون معدل التدفق في قناة السحب off take canal دائمًا عند الحد الأقصى لذلك يكون هذا هو الأنسب لإنتاج الطاقة. من ثم يستنتج أن تحتوي مآخذ الهدارات والقناة على مجموعة

كبيرة من الاستخدامات والتصاميم، كما ويجب أن تكون مصممة بشكل صحيح بحيث تعمل على النحو المنشود.

15-2-4) إسقاط الهياكل Drop structures

- وظيفية بحتة لتبديد الطاقة وتقليل السرعة في القناة.
- إرضاء جمالياً بالإضافة إلى وظيفتها، خاصةً للأماكن العامة.
- توضع في مكانها عندما تكون السرعة عالية جدًا لمنع التآكل والنحر الزائد.
- هناك العديد من التصاميم لكل من السدود والهياكل المتساقطة. تصميم كل منها خاص بقناة التدفق flow channel التي ستعمل فيها.

15-2-4-1) إرشادات لتصميم هيكل الإسقاط Guidelines for drop structure design

- هيكل الهبوط الأولي primary drop structure
  - شكل عام "v" يشير إلى المنبع
  - زاوية المصب بين 120 درجة و 180 درجة
  - خفضت نقطة المنبع من 4 إلى 18 بوصة
    - لتركيز التدفق
    - للحماية من تآكل الضفاف
- هيكل خلفي للتحكم في المياه back water control structure
  - غالبًا عبر القناة مباشرة، ولكن يمكن بناؤها بين 135 درجة و 180 درجة
  - للحفاظ على حوض الغطس plunge pool بين الهياكل
  - زيادة تبديد الطاقة الحركية
  - لتقليل النحر على جانب المصب من هيكل الإسقاط الأساسي
  - لتباعد عادة بين 0.3 و 0.6 ضعف عرض القناة

4-2-15-2) إسقاط الهياكل في قنوات القوارب Drop structures in boatable channels

- يجب مراعاة اعتبارات التصميم الخاصة، فيما يتعلق بالسلامة العامة، لقنوات المراكب.
- يجب على المصمم ألا يهيئ المسرح للمكونات الهيدروليكية الخطرة التي من شأنها أن تحبس القارب، كما هو الحال في هيكل هبوط به أسطوانة عكسية قد تتطور مع غمر القفزة الهيدروليكية.
- يجب ألا تخلق الهياكل الهيدروليكية على قنوات القارب عوائق من شأنها تثبيت زورق canoe أو طوف raft أو قوارب الكاياك kayak، ويجب تجنب الحواف الحادة.
- يجب أن تشتمل الهياكل المنسدلة drop structures أو السدود منخفضة الرأس low–head dams في قنوات القوارب boatable channels على مجرى للقارب مصمم وفقًا للمكونات المخططة بعناية والتي تتوافق مع المتطلبات الترفيهية لسلامة القوارب.

4-2-16) المجاري Flumes

تستخدم مجاري قياس التصريف على نطاق واسع في مخططات الري بشكل أساسي لأنها:

- يمكن استخدامها تحت أي ظروف تدفق تقريبًا
- لديها فقد سمت أصغر من الهدارات، وبالتالي فهي أكثر دقة على مدى تدفق كبير
- غير حساسة لسرعة الاقتراب
- تكون أقل عرضة نسبيًا لنقل الرواسب والحطام
- ومع ذلك، تشمل العيوب الرئيسة للمجارير الأحجام الكبيرة النسبية ودقة التصنيع / التشييد البناء المطلوبة لتحقيق الأداء الأمثل.

المجاري flumes الأكثر شيوعًا هي:

- مجرى بارشال Parshall flume

- مجرى شبه منحرف Trapezoidal flume: لقياس التفريغ الأصغر. مناسبة بشكل خاص للتركيب في القنوات الخرسانية
- مجرى الحلق Cut-throat flume

4-2-17) تصميم وابل Design of a barrage

كيفية تصميم وابل Design of a barrage

- سيتم تصميم القناطر Barrage والمنظمين الرئيسيين Head Regulators للقنوات المغذية والهياكل الملحقة appurtenant structures على أساس معايير التصميم القياسية الموضوعة للقناطر الأخرى والهياكل المرتبطة بها، والتي تم بناؤها بالفعل على بعض الأنهار والروافد. سيتم استخدام معايير التصميم، بما في ذلك الصيغ والمعاملات والثوابت في جميع التصميمات الهيدروليكية حسب الاقتضاء.
- هناك جانبان لتصميم وابل:
  - اعتبار التدفق السطحي / الفائض Surface flow / Overflow
  - السلامة ضد تدفق باطن الأرض subsoil flow (من خلال نظرية زحف Bligh's creep theory، ونظرية زحف لين المرجحة Lane's weighted creep theory ونظرية خوسلا Khosla's theory)

1) اعتبارات التدفق السطحي / الفائض Surface Flow / Overflow Consideration:

يجب تقدير / تصميم العناصر التالية في حالة اعتبارات تجاوز التدفق:

- تقدير الفيضان التصميمي design flood
- طول الوابل barrage (العرض بين الدعامات abutments)
- تراجع Retrogression
- ملف تعريف القناطر Barrage profile، أي مستوى الأرضية المنبع D/S floor level، مستوى القمة crest level

2) تقدير الفيضان التصميمي Estimation of design flood:

- يتم تقدير الفيضان التصميمي (الفيضان الأقصى maximum flood) الذي سيتم تصميم الوابل من أجله اعتمادًا على عمر المنشأة. قد يكون تقدير الفيضان التصميمي لمدة 50 عامًا أو 100 عام وما إلى ذلك.

3) طول القناطر Length of Barrage (Width b/w Abutments):

- يمكن استخدام صيغة لاسي Lacey's formula لتحديد طول الحاجز length of barrage، أي $P_w = 4.75\ Q$

حيث، Pw = المحيط المبلل Q = الحد الأقصى لتصريف الفيضان

- من t يمكن تقييم طول القناطر على النحو التالي: Length of barrage = L.L.C x Pw

حيث، L.L.C = معامل رخاوة لاسي Lacey's looseness coefficient

خذ LLC = 1.8 إذا لم يتم ذكرها

4) التراجع Retrogression:

- ظاهرة مؤقتة تحدث بعد بناء وابل في النهر يتدفق عبر التربة الغرينية. نتيجة لتأثير المياه الراجعة وزيادة العمق، تقل سرعة الماء مما يؤدي إلى ترسب حمل الترسيب. المياه المتدفقة عبر الوابل تحتوي على كمية أقل من الطمي، لذلك يلتقط الماء الطمي من قاع مجرى النهر. ينتج عن هذا خفض مجرى النهر d/sإلى بضعة أميال. يُعرف هذا بالتراجع.
- قد يحدث في السنوات القليلة الأولى وغالبًا تستعيد مستويات القاع مستواها السابق. في غضون بضع سنوات، يكون للمياه المتدفقة على السد حمولة طينية طبيعية وتنعكس هذه الدورة. ثم بسبب العمق الأكبر، يترسب الطمي ويتعافى القاع d/s إلى التوازن. قيمة التراجع هي الحد الأدنى لتصريف الفيضان والحد الأقصى للتصريف المنخفض. تختلف القيم ما بين (2 – 8.5) قدم.

5) التراكم Accretion:

التراكم عكس التراجع ويحدث عادةً في المنبع، على الرغم من أنه قد يحدث d/s بعد اكتمال دورة التراجع. لا توجد طريقة دقيقة لحساب قيم التراجع والتراكم ولكن يمكن استخدام القيم التي تم حسابها من القناطر المختلفة كمبدأ توجيهي.

6) بروفايل وابل Barrage profile:

- مستوى القمة Crest level: يتم تثبيت مستوى القمة من خلال السمت الكلي المطلوب لتمرير فيضان التصميم فوق القمة. يتم أخذ مستوى البركة على أنه H.F.L. يمكن حساب أقصى عمق للنحر من صيغة لاسي للنحر Lacey's scour formula،

$$R = 1.35\ (q^2f)^{1/3}\ (M.K.S)\quad R = 0.9\ (q^2f)^{1/3}\ (F.P.S)$$

- التفريغ لكل وحدة عرض Discharge per unit width، q = QL سرعة الاقتراب، V = qR سمت السرعة = $\frac{v^2}{2g}$ ويمكن العثور على التفريغ باستخدام صيغة التفريغ ، $Q = CLH^{3/2}$

حيث C = معامل التفريغ المأخوذ كـ 2.03 (M.K.S)، Q = تصريف الفيضان ، L = طول قمة القناطر Length of barrage crest، H = سمت الطاقة الإجمالي = $\frac{v^2}{2g} + h$

4-2-17-1) تقدير تصميم الفيضان *Estimation of Design Flood*

أساس التقدير

- عادةً يقدر تدفق التصميم لأي فترة عودة return period معينة بواسطة طريقة تحليل التردد frequency analysis. يتم اختيار النوع المناسب لتوزيع التردد من بين التوزيعات التالية:
  - Pearson & Log Pearson Type III distributions
  - Gumbel's Extreme Value distributions
  - Normal & Log Normal distributions

- من المناسب الإشارة إلى أن توزيع Log Pearson Type III قد تم تبنيه من قبل الوكالات الفيدرالية الأمريكية بينما وجد أن توزيع Gumbel مناسب بشكل عام لمعظم الأنهار والجداول وروافدها في بعض الدول.

4-2-17-2) فترة إرجاع التصميم Design Return Period

يتم اعتماد فترة عودة تبلغ 100 عام بشكل عام في تصميم هياكل وابل مهمة ومكلفة حيث تكون العواقب المحتملة للفشل خطيرة للغاية. وفقًا لذلك، يتم تنفيذ تقدير تدفق التصميم لفترات إرجاع مختلفة تبلغ 100 عام و 200 و 500 عام وفقًا لموافقة العميل. بالإضافة ذلك، تتم مراجعة ذروة تصريف الفيضانات المسجلة الفعلية للتصميم إذا تجاوزت التفريغ المحسوب لفترة العودة المعنية.

4-2-17-3) الوحدات الهيدروليكية Hydraulic Units

يتم التعبير عن أبعاد ووحدات الخصائص المستخدمة في حل المشكلات الهيدروليكية في ثلاث كميات أساسية من الكتلة (M)، والطول (L)، والوقت (T). يتم إجراء جميع التحليلات والتصاميم في نظام الوحدات Foot–Pound–Second ويتم التحويل إلى وحدات S.I فقط للنتائج المهمة حسب الضرورة.

4-2-17-4) عرض القناطر Width of Barrage

هناك ثلاثة اعتبارات تحكم عرض وابل barrage وهي فيضان التصميم design flood وعرض تصميم لاسي Lacey design width وعامل الرخاوة looseness factor. من المعتقد عمومًا أنه من خلال الحد من المجرى المائي، يمكن القضاء على تكوين المياه الضحلة في أعلى المنبع shoal formation upstream. ولكن ذلك يزيد من شدة التفريغ وبالتالي يصبح قسم الهيكل أثقل مع ارتفاع البوابة الزائدة وزيادة التكلفة، على الرغم من تقليل طول الهيكل.

عرض تصميم لاسي Lacey's Design Width

تصميم لاسي أو العرض المستقر Lacey's Design or Stable width لمجرى واحد single channel هو:

$$W = 2.67 \text{ v } Q$$

حيث:

$$Q = \text{the Design Discharge in cusecs } (ft^3/sec).$$

تم تصميم القناطر لعرض يتجاوز W، جزئيًا لاستيعاب تصريف السهول الفيضية floodplain discharge وجزئيًا للاستفادة من تشتت تدفق القناة الناجم عن العائق الناجم عن الوابل نفسه.

4-2-17-5) عامل الرخاوة The Looseness Factor

نسبة العرض الفعلي إلى عرض النظام هي "عامل الرخاوة"، وهي العامل الثالث الذي يؤثر على عرض الوابل. تختلف القيم المستخدمة من 1.9 إلى 0.9، وتم تطبيق العامل الأكبر في التصاميم السابقة. بشكل عام يتراوح العامل من 1.1 إلى 1.5. من أداء هذه الهياكل، ينشأ شعور في بعض الأوساط أنه مع عامل الرخاوة المرتفع، وهناك ميل لتشكيل المياه الضحلة عند المنبع من الهياكل، مما يتسبب في حدوث أضرار ومشاكل في الصيانة. يستخدم الاستشاريون عامل الرخاوة الأنسب لتوفير مرونة معقولة لإبقاء الآثار السيئة إلى الحد الأدنى.

4-2-18) Afflux

- يُعرف الارتفاع في مستوى الفيضان الأقصى للنهر عند منبع الوابل نتيجة لتشييده بالـAfflux. على الرغم من حصر Afflux في البداية بطول قصير من النهر فوق الحاجز، فإنه يمتد تدريجيًا بعيدًا جدًا حتى يتم إنشاء المنحدر النهائي للنهر عند منبع الوابل.

- في تصميم القناطر barrages / الهدارات القائمة على الرمال الغرينية alluvial sands، يقتصر التدفق بين 3 و 4 أقدام – الأكثر شيوعًا هو 3 أقدام. يحدد مقدار afflux المستويات العليا للضفاف الإرشادية وأطوالها، والمستويات والأقسام العليا لسدود الحماية من الفيضانات. يحكم هذاالمقدار الإجراء الديناميكي، فكلما زاد afflux أو انخفضت المستويات من المنبع إلى المصب، يكون الإجراء أكبر. كما يتحكم المقدار في عمق وموقع الموجة الواقفة. من خلال توفير afflux مرتفع، يمكن تضييق عرض الوابل ولكن تكلفة أعمال التدريب سترتفع وستزداد مخاطر الفشل عن طريق المرافقة الخارجية. من المحتم اختيار واعتماد قيمة متوسطة واقعية.

4-2-18-1) منحنى تصنيف مياه الذيل Tail Water Rating Curve

يتم إنشاء منحنى تصنيف المياه الذيل Tail water rating curve للقناطر barrages من خلال تحليل بيانات قياس تصريف المياه. يتم إنشاء مستويات مياه الذيل المقترحة للتصاميم الجديدة عن طريق طرح قيم التراجع المصممة designed retrogression values من متوسط مستويات مياه الذيل الحالية.

4-2-18-2) مستويات القمة Crest Levels

من الواضح أن تثبيت مستوى القمة مرتبط بعامل الرخاوة المسموح به وشدة التفريغ (من حيث التفريغ لكل قدم من مقطع الفائض في الوابل). بعد النظر في جميع العوامل ذات الصلة والخبرة في الهياكل المماثلة، يتم تثبيت مستويات القمة من أجل تمرير فيضان التصميم على مستوى البركة العادي مع فتح جميع البوابات بالكامل.

4-2-18-3) التفريغ عبر وابل Barrage (شروط التدفق الحر Free Flow Conditions)

يتم الحصول على التفريغ عبر وابل تحت ظروف التدفق الحر من المعادلة 4–38:

$$Q = C. L . H3/2 \qquad (4.38)$$

حيث:

Q = التفريغ في cusecs

C = معامل التفريغ Coefficient of Discharge

L = ممر مائي واضح للقناطر Clear waterway of the Barrage (قدم)

H = إجمالي السمت الذي يتسبب في التدفق (قدم)

يتم أخذ قيمة C بشكل عام على أنها 3.09، ولكن قد تقترب من قيمة قصوى تبلغ 3.8 لتشغيل الهدار المعياري modular (جيبسون Gibson). ومع ذلك، لتصميم وابل جديد يتم تحديد القيمة من خلال دراسات النماذج المادية physical model studies.

4-2-18-4) التدفق من خلال وابل (شروط التدفق المغمور) *Discharge through a Barrage (Submerged Flow Conditions)*

يكون التدفق فوق الهدار معياريًا modular عندما يكون مستقلاً عن الاختلافات في مستوى المياه في اتجاه مجرى النهر. ولكي يحدث هذا، يجب ألا يرتفع سمت طاقة المصب فوق القمة (E_2) عن ثمانين (80) بالمائة من فقد طاقة المنبع فوق القمة (E_1). النسبة (E_2/E_1) هي "النسبة المعيارية modular ratio" و"الحد المعياري modular limit" هو القيمة (E_2/E_1= 0.80) للنسبة المعيارية التي يتوقف عندها التدفق عن أن يكون حراً free.

4-2-18-5) منحنى فاين *Fane's Curve*

بالنسبة للتدفق المغمور submerged (غير المعياري non–modular)، يجب ضرب معامل التدفق discharge coefficient بمعامل الاختزال reduction factor. يعتمد عامل التخفيض على النسبة المعيارية (E_2/E_1) وقيم عامل الاختزال (C_r) الواردة في الجدول (4–9) المأخوذة من منحنى Fane والذي ينطبق على الهدارات التي بها منحدر ramp أعلى التيار وتميل أدنى التيار بميل 2H:1V أو مسطح. يتم تقدير التدفق المغمور submerged discharge بواسطة المعادلة 4–39:

$$Q = 3.09.\ C_r.b\ .E_1^{1.5} \qquad (4.39)$$

جدول (4-9): قيم عامل الاختزال من منحنى فاين	
"E_2/E_1"	Value of "C_r"
0.80	0.99
0.85	0.99
0.90	0.98
0.92	0.96
0.94	0.90
0.95	0.84
0.96	0.77
0.97	0.71
0.98	0.61

4-2-19) منحنى Curve

$$Q = C'bE^{1.5} \qquad (4.40)$$

حيث:

Q = submerged discharge over crest (cusecs) التصريف المغمور فوق القمة

C' = submerged discharge coefficient معامل التصريف المغمور

B = width of weir (ft) عرض الهدار

E_1 = upstream energy head above crest= $h_1 + v_1^2/2g$ (ft) طاقة المنبع فوق القمة

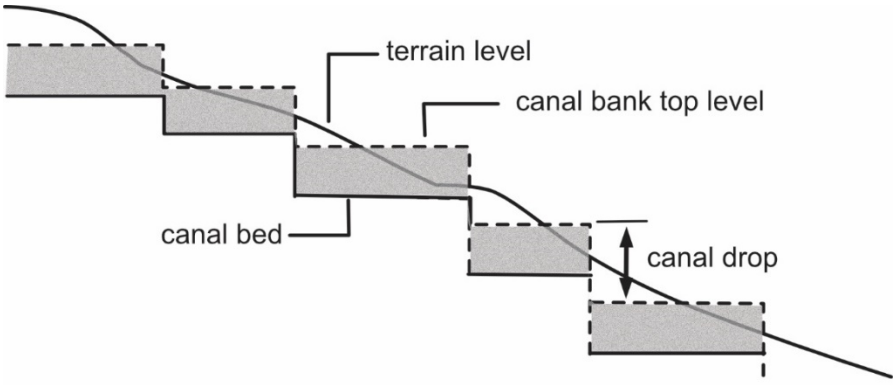
بالنسبة لعمليات التفريغ المغمورة، يتم ضرب معامل تصريف التدفق الحر free flow discharge coefficient (C = 3.80) في عامل الاختزال reduction factor (C'/C). يعتمد المعامل على النسبة المعيارية modular ratio (h/E)، حيث يكون عمق التدفق أعلى من القمة. قيم عامل الاختزال "C'/C" الواردة في الجدول (4–10) مأخوذة من منحنى جيبسون Gibson curve المطبق على الهدارات العريضة ذات العروة broad crested weirs.

جدول (4–10): قيم عامل الاختزال من منحنى جيبسون

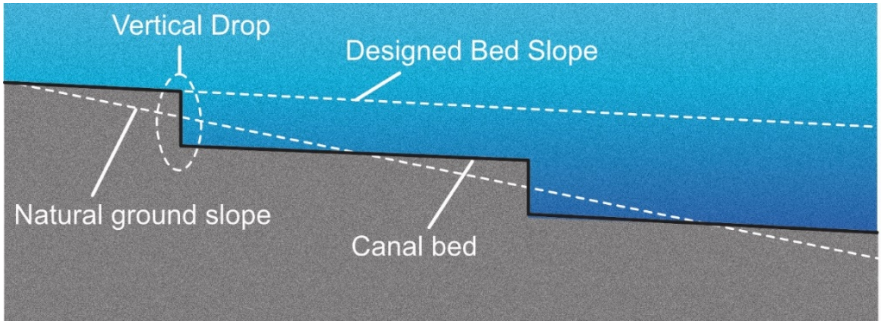
h/E	C'/C	C'
0.70	0.86	3.27
0.80	0.78	2.96
0.90	0.62	2.36
0.95	0.44	1.67

الهياكل المتساقطة (متساقطات القناة)drop structures (canal drops)

هيكل الهبوط (أو السقوط) هو هيكل منظم يخفض مستوى الماء على طول مساره.عادةً يكون ميل القناة أكثر اعتدالًا من ميل التضاريس، ونتيجة لذلك تتجاوز القناة في القطع عند رأسها headworks سطح الأرض على ارتفاع قريب. من أجل تجنب الردم المفرط، يخفض مستوى قاع قناة المصب، ويوصل المقطعان reaches بهيكل إسقاط مناسب.



شكل (4-22): موضع متساقطات القناة



شكل (4-23): متساقطات القناة

الهياكل المتساقطة (متساقطات القناة): أنواع الهياكل المتساقطة

عادة تتوفر المتساقطات بجدار منخفض low crest wall وتنقسم إلى الأنواع التالية:

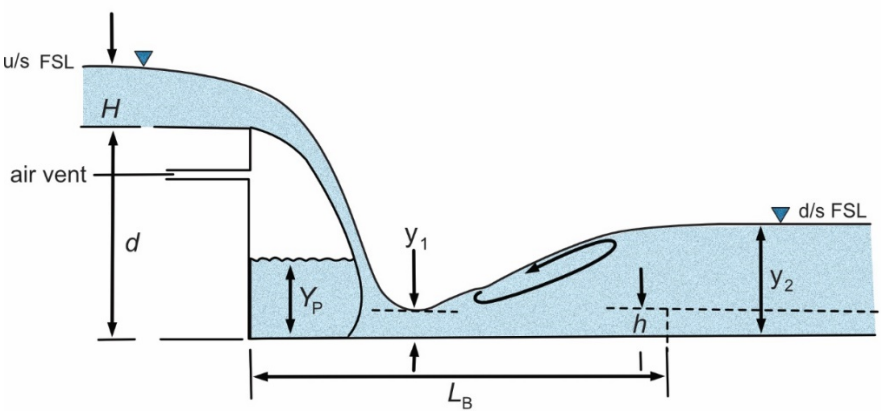
- الهبوط العمودي Vertical drop
- الهبوط المائل Inclined drop
- انخفاض الأنابيب Piped drop
- هياكل هبوط المزارع Farm drop structures

ملاحظة: لا يغطي التصنيف أعلاه سوى جزء من مجموعة واسعة من المتساقطات، خاصة إذا تم تضمين الهياكل المستخدمة في تصميم المجاري الصحية.

أنواع الهياكل المتساقطة drop structures

الهبوط العمودي vertical drop

- الهبوط الشائع المشترك (مستقيم)
- سقوط من نوع ساردا (الهند) YMGT–type drop (اليابان)
- هبوط الهدار المستطيل مع قمة مرتفعة (فرنسا)



شكل (4–24): الهبوط الشائع المشترك

تثبت المعادلات التالية هندسة الهيكل بالشكل المناسب للميول الشديدة:

$$Drop\ number, D_r = \frac{q^2}{gd^3}$$

q = الدفق لكل وحدة عرض عرض الحوض من المعادلة

$$\frac{L_B}{d} = 4.3D_r^{0.27} + \frac{L_j}{d}$$

عمق الحوض pool depth under nappe

$$\frac{Y_p}{d} = D_r^{0.27}$$

$$sequent\ depth, \frac{y_1}{d} = 0.5D_r^{0.27}$$

$$\frac{y_2}{d} = 1.66D_r^{0.27}$$

حيث d هو ارتفاع قمة الهبوط فوق أرضية الحوض و Lj طول القفزة

$$L_j = 6.9(y_2 - y_1)$$

من المستحسن القيام بخطوة صغيرة للأعلى، h (حوالي $0.5 < h/y_1 < 14$) ، في نهاية قاع الحوض من أجل تحديد موقع تكوين القفزة الهيدروليكية. طوّر Forster and Skrinde (1950) مخططات تصميم لتوفير مثل هذا الارتفاع المفاجئ.

فيما يلي بعض من معايير التصميم المقترحة:

أ) طول القمة Length of crest: نظرًا لأن التدفق غير مسموح به في هذا النوع من السقوط، فإن طول القمة يظل عادةً مساويًا لعرض قاع القناة

شكل القمة: مستطيل Shape of crest: Rectangular

ب) العرض العلوي

$$Bt = 0.55d^{1/2} (m)$$

عرض القاعدة

$$B1 = (H+d)/G$$

حيث G هي الكثافة النسبية لمادة القمةللبناء masonry (G = 2)

شبه منحرف Trapezoidal

العرض العلوي

$$Bt = 0.55(H+d)^{1/2} (m)$$

بالنسبة لعرض القاعدة B_1، يوصى عادةً باستخدام ميول للمنبع والمصب بحوالي 1 في 3 و 1 من 8

ج) التفريغ التصميمي Design Discharge:

مستطيلي Rectangular

شبه منحرف Trapezoidal

$$Q=1.835LH^{3/2}(H/Bt)^{1/6} \quad Q=1.99LH^{3/2}(H/Bt)^{1/6}$$

حيث:

L = طول القمة length of crest

Bt = العرض العلوي

H = رأس الماء فوق القمة head of water over crest

طول وعمق طول الخزان cistern

$$Lc=5(H.H_L)^{1/2} \text{ depth}, dc=1/4(H.H_L)^{2/3}$$

Where, H_L=drop

د) جدران الجناح عند المنبع أعلى اتجاه التيار

بالنسبة للقمة شبه المنحرفة، يُحتفظ بجدران الجناح في المنبع مقطعية بنصف قطر يساوي 5 إلى 6 مرات H ويقابل زاوية 60 درجة في المركز ثم تُنقل بشكل عرضي إلى الساتر الترابي berm. يوضع الأساس على أرضية خرسانية غير منفذة. للقمة المستطيلة، يمكن أن تنفصل أجنحة الاقتراب بشكل مستقيم بزاوية 45 درجة.

ه) حماية المنبع Upstream Protection

يمكن وضع ميل الطوب بطول يساوي عمق المياه في المنبع على قاعه، مائلًا نحو القمة عند منحدر 1:10. يجب توفير أنابيب الصرف أعلى اتجاه التيار

على مستوى القاع المستخدم في القمة وذلك لتصريف قاع المنبع أثناء إغلاق القناة. الجدران الستارية عند المنبع: بوصة ونصف من الطوب (~ 35 سم) مما يوفر جدار ستارة عند المنبع بعمق يساوي ثلث عمق الماء.

و) أرضية منيعة أسفل مجرى القمة Impervious floor downstream of the crest

الطول: يمكن تحديد الطول الإجمالي للأرضية غير المنفذة من خلال نظرية Bligh للأعمال الصغيرة ونظرية Khosla للأعمال الكبيرة. يجب أن يكون الحد الأدنى لطول الفيضان d / s لإصبع جدار القمة

$$L_{bd}=2(D_1+1.2)+H_L$$

$$D_1=U/SFSL-BL \text{ and } H_L=drop$$

السماكة: يمكن عمل سماكة الأرضية لضغط الرفع (باستخدام حد أدنى للسمك من 0.4 متر إلى 0.6 متر) وتوفر سماكة اسمية تبلغ 0.3 متر فقط على جانب المنبع.

ملحوظة: نظريات التسرب تلعب دورًا رئيسيًا في حساب طول وسمك الأرضية.

ز) حماية المصب downstream protection:

قد يكون القاع أدنى اتجاه التيار محميًا بوحدات من الطوب الجاف dry brick pitching، يبلغ سمكها حوالي 20 سم وتستريح على صابورة ballast بسمك 10 سم. طول النصب pitching أدنى التيار يُعطى من خلال القيم المبينة في الجدول أو 3 أضعاف عمق المياه في اتجاه مجرى النهر، أيهما أكثر. يمكن توفير pitching بين جدارين أو ثلاثة جدران ستارية. قد تكون الجدران الستارية بسمك قرميد ونصف (~ 35 سم) وعمق يساوي ½ عمق المصب؛ أو على النحو المبين في الجدول (الحد الأدنى = 0.5 م).

نصب الميل Slope pitching

بعد الجناح الخلفي، تُنصب pitched جوانب القناة بقرميد واحد من الحافة. يجب أن يستقر النصب على جدار الإصبع بسمك قرميد ونصف وبعمق يساوي نصف عمق المياه في اتجاه مجرى النهر. قد يتم تقليص النصب الجانبي بزاوية 45 درجة من نهايته أو تمديده مباشرة من نهاية نصب القاع.

أجنحة المصب Downstream wings. يُحتفظ بأجنحة المصب بشكل مستقيم لقيم 5 إلى 8 مرات ضعف $(H.H_L)^{1/2}$ ويمكن بعد ذلك لفها تدريجيًا، ويجب أن تُؤخذ حتى نهاية أرضية غير منفذة. يجب تصميم جميع جدران الجناح كجدران حاجزة، بحيث تخضع للضغط الكامل للتربة المغمورة في الخلف عند إغلاق القناة. مثل هذا الجدار له عمومًا عرض قاعدة يساوي ثلث ارتفاعها.

4-3) منشآت حماية الشاطئ والمصارف والضفاف

تضم الحواجز والأسيجة (Dikes) والأربية (Groins) والأرصفة (Jetties) والردميات (Revetments).

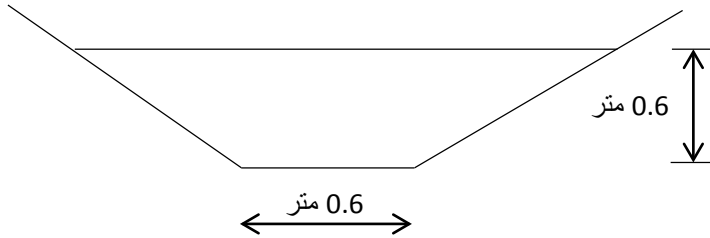
التمارين العامة النظرية والعملية

1) **القناة المثلثة:** قناة مثلثة triangular channel ذات منحدرات جانبية 1V:3H تنقل معدل تدفق 0.4 متر^3/ثانية. إذا كان المنحدر الطولي 0.5٪ ومعامل مانينج Manning's n = 0.015، فكم تبلغ السرعة الحرجة في القناة (قدم/ثانية)؟

$$d_c = \left(\frac{2Q^2}{gm^2}\right)^{1/5} \quad v_c = \left(\frac{Qg^2}{4m}\right)^{1/5}$$

2) **القناة شبه المنحرفة:** يبلغ عرض قاع القناة شبه المنحرفة trapezoidal channel 0.6 متر، المنحدر الطولي بنسبة 0.5٪ والجوانب عند منحدرات

1V:3H، كما هو موضح. قيمة n معامل مانننج0.020. إذا كان عمق المياه المتدفقة يبلغ 0.6 متر، فما مقدار السرعة فيها؟



3) **مجرى الري:** صَمِّم مجرى للري ليحمل تدفق يبلغ 50 م^3/ث على ميل 5000/1. حذ معامل كتر Kutter's n = 0.0225 وافترض قيمة m = 0.9.

4) **عمود انخفاض بدون كتل Vertical drop without blocks:** معدل حجم التدفق في قناة مستطيلة 0.15 متر^3/ث/متر. يستخدم عمود هبوط لخفض القناة 1.7 متر. التدفق دون الحرج أعلى وأسفل هيكل الإسقاط. جد أبعاد هيكل الهبوط لعمق مياه الذيل tailwater أدنى اتجاه التيار بعمق 0.5 متر.

5) **تصميم القناة: القنوات المتآكلة – طريقة السرعة المسموح بها Channel Design: Erodible Channels– Permissible velocity Method:** قناة تصريف مبطنة بالأعشاب grass–lined تحمل تصريف 600 متر مكعب على الثانية بسرعة قصوى تبلغ 1.2 متر في الثانية (fps)، وستكون الميول الجانبية للقناة 4:1 وسيكون الميل الطولي للقناة 0.001. صمم القناة لقيم مانينغ n عند 0.03 و 0.035.

6) **مجرى تصريف:** صمم مجرى تصريف spillway لسمت يبلغ 2.5 متر وطول 170 متر. معامل التفريغ C = 0.49.

أ) احسب التفريغ لهذا السمت.

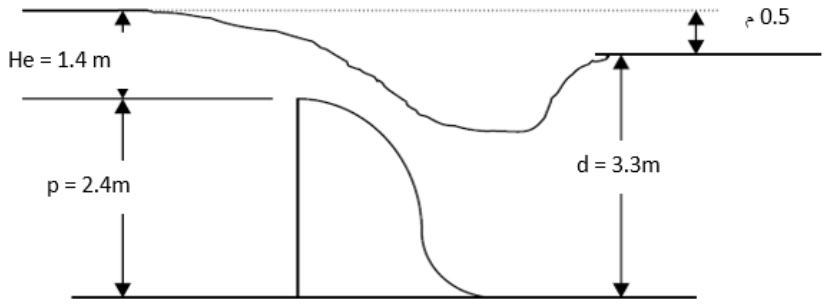
ب) ماذا سيكون التصريف لسمت 0.22 م و 1.55 م؟

ج) ما الحد الأقصى للتصريف الذي يمكن أن يمر عبر هذا المجرى بدون تجويف cavitation؟

7) **عمود انخفاض:** صمم هبوط من نوع ساردا Sarda type لقناة تحمل دفق 10 م^3/ث. استخدم البيانات المدرجة في الجدول.

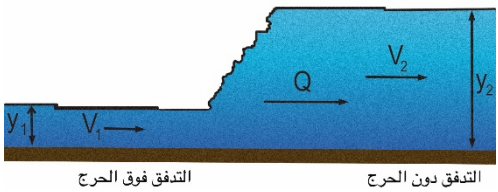
مستوى القاع أعلى اتجاه التيار	105.0 متر
ميول القناة للجوانب	1:1 م
مستوى القاع أدنى اتجاه التيار	101.5 م
مستوى الامداد الكامل عند المنبع أعلى اتجاه التيار	106.5 م
عرض القاع أعلى اتجاه التيار وأدناه	1.0 م
نوع التربة	طفلة جيدة Good loam
معمل بلاي Bligh's coefficient	6

8) **مجرى التدفق الفائض:** جد طول مجرى التدفق الفائض overflow spillway ليمر 55 متر مكعب/ثانية بعمق H_e لا يتجاوز 1.4 متر فوق القمة. ارتفاع P قناة التصريف spillway 2.4 م. الوجه المنبع (أعلى التيار) مائل 1/1. لقيمة 55 متر مكعب/ثانية، يرتفع منسوب المياه بمقدار 1.00 متر فوق القمة. صمم قناة التصريف لأقصى سمت.



9) **قناة تصريف المياه spillway:** صَمِّم مقطعا مناسبًا للجزء الفائض من سد الجاذبية الخرساني الذي يكون وجهه مائلًا أدنى التيار *0.7H: 1V*. التدفق التصميمي للمجرى هو 8500 متر مكعب/ثانية. يُحتفظ بارتفاع قمة قناة تصريف المياه spillway عند RL 205.0 متر. يبلغ متوسط مستوى قاع النهر في الموقع 0.110 متر. يتكون طول قناة تصريف المياه spillway من 5 امتدادات بعرض واضح لكل منها 9 أمتار. يمكن اعتبار سماكة كل رصيف 22 متر. (خذ $He=H_D$)

10) **القفزة الهيدروليكية:** قناة مستطيلة يبلغ عرضها 25 مترًا تنقل الماء على عمق 0.6 متر قبل القفزة الهيدروليكية. بافتراض أن عمق الماء بعد القفزة الهيدروليكية هو 1.2 متر، احسب الآتي:



أ) رقم فرود في مقطع المنبع (أعلى التيار).

ب) السرعة في مقطع المنبع.

ج) فقدان السمت عبر القفزة.

د) فواقد الطاقة في القفزة.

$$Fr=\frac{v}{\sqrt{g*y}}$$

$$\frac{y_2}{y_1}=\frac{1}{2}\left(-1+\sqrt{1+8Fr_1^2}\right)$$

$$\frac{h_L}{y_1}=1-\frac{y_2}{y_1}+\left(\frac{Fr_1^2}{2}\right)*\left[1-\left(\frac{y_1}{y_2}\right)^2\right]$$

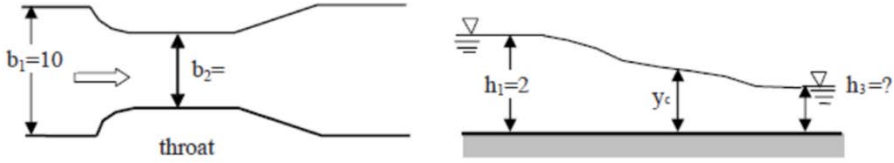
$$\Delta E=\frac{(y_2-y_1)^3}{4y_1y_2}$$

11) **مقياس فنتوري:** يعطي مقياس العمق لفلوم الفنتوري ذي العنق 1.3 متر قراءة كبيرة جدًا للسمت h بلغت 15 سم. جد النسبة المئوية للأخطاء في التدفق عندما تكون القراءات الملاحظة للسمت h تساوي 0.3 متر و 0.5 متر (افترض سيادة ظروف التدفق الحرجة لكلتا الحالتين).

12) **عداد فلوم فنتوري:** يمر من خلال عداد فلوم فنتوري دفق Q مقداره 35 م^3/ث. b_1 يساوي 10 متر و h_1 يبلغ 2 متر.

أ) جد عرض عنق عداد فلوم فنتوري b بحيث ينتج تدفقًا حرجًا فقط.

ب) بتجاهل فواقد الطاقة، ما مقدار العمق المحتمل للتدفق الفائق الحرج أدنى اتجاه التيار.



13) **هيكل هبوط:** صَمِّم أبعاد هيكل هبوط مستقيم مع حوض من نوع كتلة التأثير impact block type basin، مستعيناً بالبيانات التالية لمقطع القناة على شكل شبه منحرف من المنبع والمصب (أعلى التيار وأدناه):

- الدفق Q = 8.4 م^3/ثانية
- الهبوط h = 1.9 م
- العرض B = 3.1 م
- الميل Z = 1V:3H
- ميل القاع S_o = 0.002 (بعد توفير الانخفاض)
- قيمة المعامل n = 0.030

14) **مفيض للتصريف التصميمي:** صَمِّم مقطع مفيض للتصريف التصميمي 1650 م^3/ثانية. مستوى سطح الماء في المنبع على ارتفاع 230 م وأرضية القناة عند المنبع على ارتفاع 190 م. يبلغ طول المفيض ذا الوجه الرأسي 45 متراً.

15) تصميم هيكل الإسقاط المستقيم Straight drop structure design:

جِد أبعاد هيكل الهبوط drop structure المستقيم بهدار مستطيل يستخدم لتقليل منحدر المجرى، مستخدما المعطيات التالية: (المجرى أعلى النهر وأدناه له مقطع شبه منحرف)

الدفق Q = 7 متر مكعب/ث

الارتفاع h = 1.8 م

العرض Wo = 3 م

العرض B = 3 م

ميل الجوانب Z = 1V:3H

ميل القاع So = 0.002 م/م بعد توفير الهبوط

المعمل n = 0.03

16) **فلوم مجرى الحلق:** بَيِّن **طريقة** تشييد فلوم مجرى الحلق cut-throat flume الذي يبلغ طوله L 1.3 متر وعرض حلقه w 0.4 متر. علماً بأن أقصى دفق يسري من خلال الفلوم 0.25 متر مكعب/ث. خذ القيم التالية لبعض مؤشرات التصميم:

S_t = %60

K = 3.1

n = 1.75

الباب الخامس

5

المنشآت غير المنظمة في قنوات الفيضان والصرف

ملخص هذا الباب

المنشآت غير المنظمة Non-regulating structures

منشآت النقل: قنوات وقنوات وسيفونات Conveyance structures: culverts, aqueducts & siphons

عبور المنشآت Crossing structures

قناطر Culverts

5-1) منشآت النقل وعبور المياه والمنشآت المتقاطعة conveyance structures

القناطر والبرابخ Culverts

القنوات المائية Aqueducts

الجسور Bridges

سيفونات (مقلوب) Siphons (inverted)

منظمات مسورة gated regulators

الدفق في القنوات المكشوفة أو المفتوحة

5-1-1) المنشآت غير المُنَظِّمة Non-Regulating structures

المنشآت غير المُنَظِّمة هي المنشآت التي تنقل التدفق المقترب approaching flow، وليس لها الوظيفة الأساسية لتنظيم منسوب المياه أو التصريف. يمكن تقسيم المنشآت

غير المُنَظَّمة في قنوات الفيضان flood والصرف drainage channels إلى مجموعتين مختلفتين اعتمادًا على فقد السمت: منشآت النقل conveyance structures ومنشآت السقوط drop structures.

منشآت النقل مطلوبة عند معابر الفيضانات والصرف / المجاري مع الطرق وقنوات الري. تم تصميم هذه المنشآت بفقد سمت منخفضة لجميع التصريفات. ومن الأمثلة على ذلك الجسور bridges والقنوات culverts والقنوات المائية aqueducts والسيفونات (المقلوبة) siphons (inverted). بالإضافة لذلك، تم تصميم "المنظمات ذات البوابات 'gated regulators" ذات فقد السمت منخفضة لتكون "منشأة نقل" أثناء الحد الأقصى من التفريغ maximum discharge.

المنشآت المتساقطة Drop structures مطلوبة لتبديد الطاقة الزائدة في محاذاة شديدة الانحدار لتجنب التآكل في القنوات المفتوحة غير المبطنة. تم تصميم هذه المنشآت على فقد سمت مرتفع لجميع التصريفات. كبديل، يمكن أيضًا تطبيق "المزالق 'chutes"، والتي هي عبارة عن قنوات مياه مفتوحة مبطنة فقط بتدفق شديد الحرج super–critical flow.

5–1–2) منشآت النقل Conveyance structures

القناطر والبرابخ Culverts

القنوات المائية Aqueducts

الجسور Bridges

سيفونات (مقلوب) Siphons (inverted)

منظمات مسورة gated regulators

منشآت العبور Crossing Structures

المنشآت المتقاطعة Crossing structures هي تلك التي يتم إنشاؤها عند تقاطعات:

طريق مائي Waterway–road (بربخ culvert أو جسر bridge).

ممر مائي – ممر مائي (سيفون syphon أو قناة مائية aqueduct).

مجرى مائي ينتهي عند ممر مائي آخر (هروب الذيل tail escape).

5-1-3) أعمال الصرف المتقاطع Cross drainage works

عندما تعترض القناة مجرىً طبيعياً أو صناعياً natural or artificial drainage في ممرها، يجب توفير أعمال الصرف المتقاطع cross drainage.

5-1-3-1) أنواع أعمال الصرف المتقاطع Types of cross-drainage works

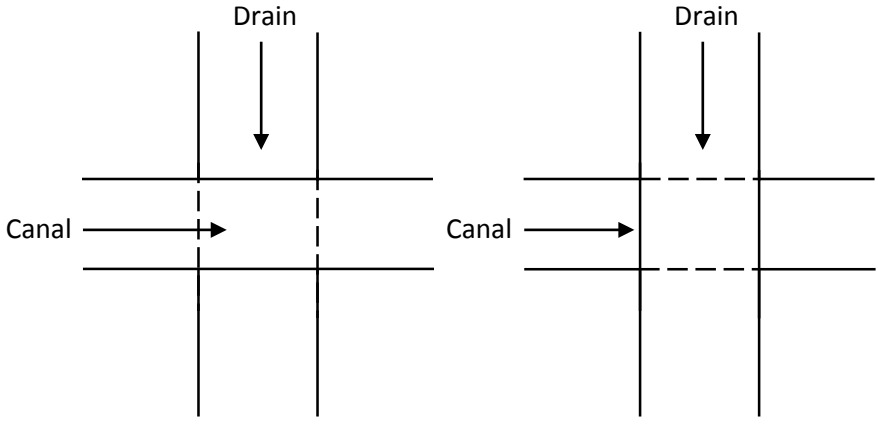
قد تحدث ثلاثة احتمالات رئيسة عندما تضطر القناة canal إلى عبور الصرف الطبيعي natural drainage:

أ. عندما يكون مستوى قاع القناة أعلى من مستوى قاع النهر، يُعرف عمل الصرف المتقاطع الذي تم إنشاؤه باسم قناة المياه aqueduct

ب. عندما يكون مستوى قاع الصرف الطبيعي أعلى من مستوى القناة، فإن عمل الصرف المتقاطع الذي تم إنشاؤه يسمى ممرًا فائقًا super passage

ج. عندما تكون مستويات قاع القناة والصرف الطبيعي هي نفسها تقريبًا، ويتم خلط مياه القناة والصرف الطبيعي أثناء العبور، تُعرف أعمال الصرف المتقاطع هذه باسم عبور المستوى level crossing

إذا لم يكن مستوى قاع القناة أعلى بكثير من مستوى الصرف، فإن عمل الصرف المتقاطع يسمى قناة سيفون siphon aqueduct. وبالمثل، إذا لم يكن الاختلاف بين مستوى قاع القناة والصرف الطبيعي كبيراً، فإن الصرف الطبيعي يكون على مستوى أعلى، وعندها يسمى عمل الصرف المتقاطع بممر السيفون الفائق siphon super passage.

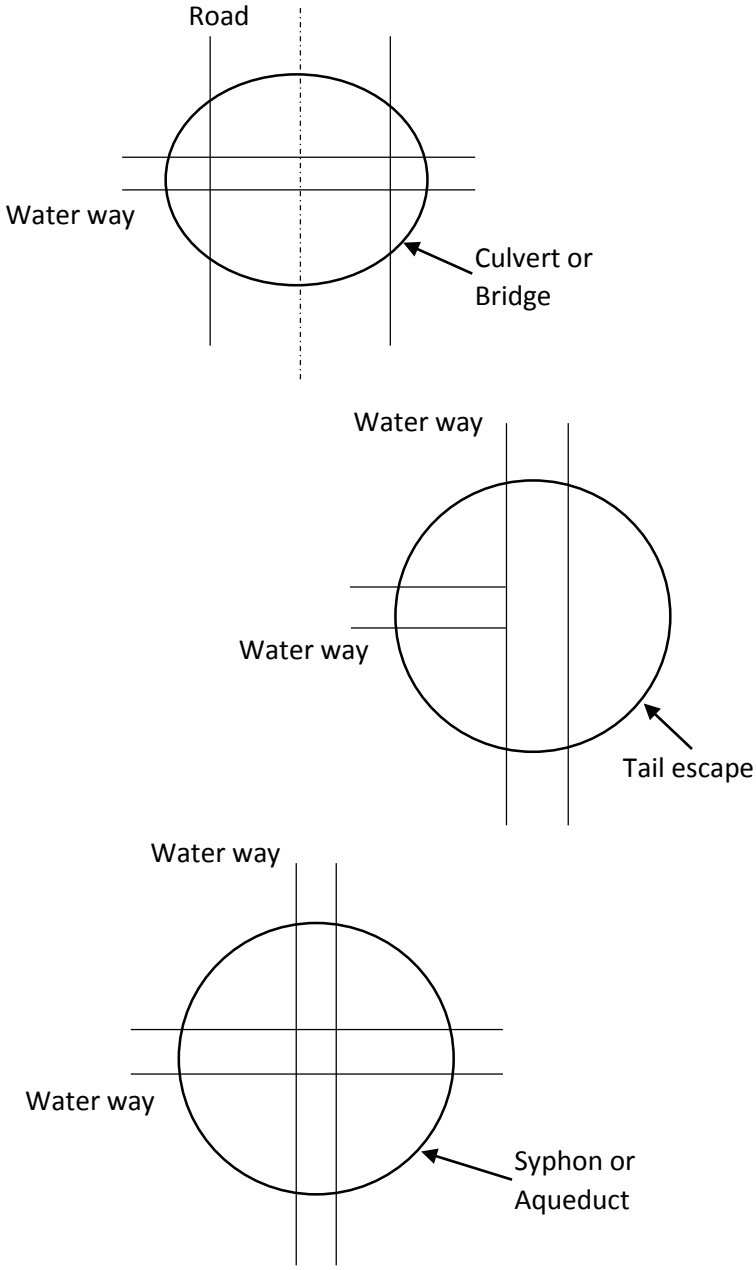


شكل (5−1): عمل الصرف المتقاطع

5-1-3-2) اختيار نوع أعمال الصرف المتقاطع cross-drainage work

يعتمد اختيار أي نوع معين من أعمال الصرف المتقاطع على ما يلي:

- مستوى قاع Bed level القناة ومستوى الصرف الصحي الطبيعي
- تصريف القناة Discharge والصرف drainage
- شروط تأسيس foundation الموقع
- توافر المواد والعمالة
- توافر طرق الاتصال.



شكل (5-2): أنواع أعمال الصرف المتقاطع

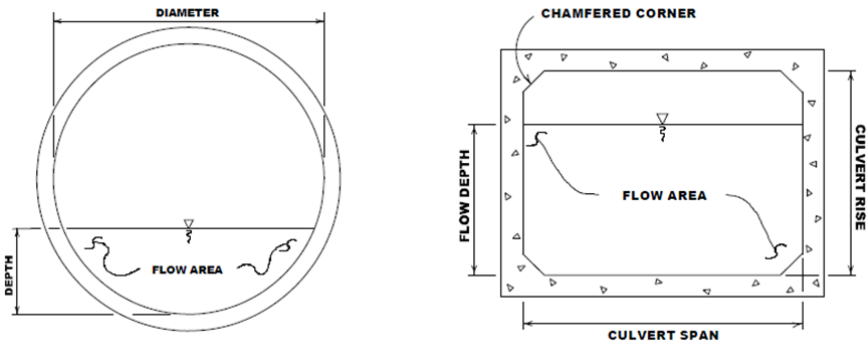
5-1-4) البرابخ-العبارات Culverts

البربخ عبارة عن منشأة تنقل قناة تصريف أو قناة ري أسفل الطريق أو السكة الحديدية أو المسار المائي، أو هو قناة قصيرة هيدروليكيًا تنقل تدفق التيار عبر جسر طريق **roadway embankment** أو بعد نوع آخر من عوائق التدفق (انظر شكل 5-3). بعبارة أخرى، يمكن تعريف البربخ على أنه قناة conduit (أنبوب pipe أو مقطع صندوقي box section) مغلقة قصيرة هيدروليكيًا تم إنشاؤها لنقل تدفق التيار عبر جسر طريق roadway embankment أو لتجاوز نوع آخر من عوائق التدفق.

يعتمد اختيار نوع البربخ على الدفق على النحو المبين في الجدول (5-1).

جدول (5-1): اختيار نوع البربخ بناء على قيمة الدفق

قيمة الدفق والانسياب، متر مكعب/ثانية m^3/sec	نوع البربخ
اقل من أو تساوي 3.0	استخدم بربخ أنبوب Pipe culvert
اكبر من أو تساوي 12.0	استخدم مقطع صندوقي Box section



شكل (5-4): منطقة الدفق في البربخ

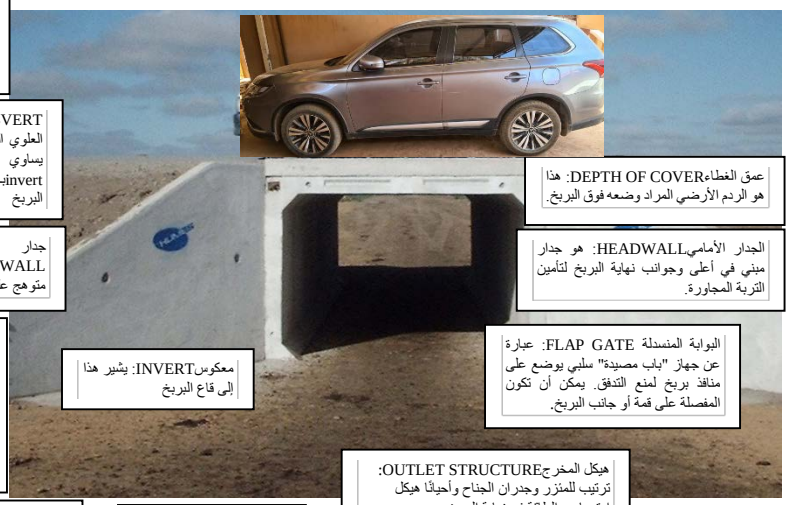
بربخ الصندوق BOX CULVERT: عبارة عن قناة ذات مقطع عرضي مستطيل، عادةً من الخرسانة سابقة الصب.

هيكل المدخل INLET STRUCTURE: ترتيب لجدران الجناح والمنزر يعمل على تسهيل الانتقال الهيدروليكي من القناة المفتوحة إلى تدفق البربخ ويزيد من السعة القصوى. قد تكون أيضًا نقطة التثبيت لرف القمامة

SURCHARGE: حالة يتجاوز فيها ارتفاع المياه عند نهاية أعلى التيار فتحة البربخ culvertobvert.

البربخ عبارة عن هيكل يسمح بتدفق المياه تحت طريق أو خط سكة حديد أو ممر أو عائق مماثل من جانب إلى الجانب الآخر. عادةً يكون مدمج في التربة ومحاط بها، ويمكن صنعه من أنبوب أو خرسانة مسلحة أو مادة أخرى.

الفراشBEDDING: يشير إلى الحصى الناعم أو الصخور المكسرة الموضوعة حول البربخ لتوزيع الحمل بالتساوي.



OBVERT:إنه الجزء العلوي الداخلي من البربخ ، يساوي المقلوب invertبالإضافة إلى قطر البربخ

عمق الغطاءDEPTH OF COVER: هذا هو الردم الأرضي المراد وضعه فوق البربخ.

جدار الجناح WING WALL: جدار عمودي متوهج على جانبي البربخ.

الجدار الأماميHEADWALL: هو جدار مبني في أعلى وجوانب نهاية البربخ لتأمين التربة المجاورة.

APRON SAB: هو سطح أملس (خرساني بشكل عام) يوضع بين البربخ والقناة لتحسين الكفاءة وتقليل الانجراف والتعرية.

معكوسINVERT: يشير هذا إلى قاع البربخ

البوابة المنسدلة FLAP GATE: عبارة عن جهاز "باب مصيدة" سلبي يوضع على منافذ بربخ لمنع التدفق. يمكن أن تكون المفصلة على قمة أو جانب البربخ.

هيكل المخرجOUTLET STRUCTURE: ترتيب للمنزر وجدران الجناح وأحيانًا هيكل امتصاص الطاقة في نهاية البربخ.

رف القمامة TRASH RACK: عبارة عن شبكة معدنية موضوعة في نهاية البربخ لمنع الحطام الخشبي والصخور وما إلى ذلك من دخول البربخ.

SLUICE GATE: لوحة منزلقة أو دوارة تشغل يدويًا أو تلقائيًا لتقييد التدفق داخل أو خارج البربخ

العمق الحرجCRITICAL DEPTH: يتعلق بعمق المياه عند مخرج البربخ الخاضع للتحكم في المخرج حيث لا يتأثر تدفق المياه بقوى المياه الراجعة. العمق الحرج هو العمق الذي تكون فيه الطاقة المحددة لمعدل تدفق معين عند الحد الأدنى. بالنسبة لتفريغ وهندسة المقطع العرضي، يوجد عمق حرج واحد فقط.

https://edoc.site/structural-design-of-a-reinforced-box-culvert-pdf-free.html

شكل (5-3): صندوق البربخ

5-1-4-1) نظرة عامة على البرابخ

تُصنع العبّارات أو البرابخ من مجموعة متنوعة من المواد، وهي متوفرة في العديد من الأشكال والتكوينات المختلفة.

تتضمن عوامل اختيار العبارات التالي:

- ملامح الطريق roadway profiles
- خصائص القناة
- تقييمات أضرار الفيضانات
- تكاليف البناء والصيانة
- تقديرات عمر الخدمة service life

5-1-4-2) أشكال العبّارات أو البرابخ

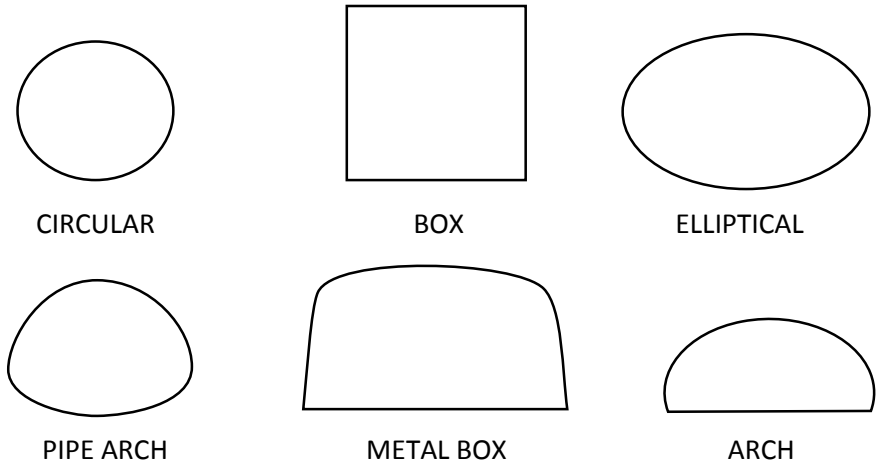
تتوفر العديد من الأشكال المقطعية للبرابخ، وتشمل الأشكال الأكثر استخدامًا الأشكال الآتية:

- الدائرية
- المربعة (المستطيلة)
- الإهليلجية elliptical
- القوس الأنبوبي pipe–arch
- القوس arch

يتم اختيار الشكل على أساس:

- تكلفة البناء،
- الحد من ارتفاع سطح الماء أعلى التيار،
- ارتفاع جسر الطريق roadway embankment
- الأداء الهيدروليكي.

يبين الشكل (5–5) أشكال البرابخ شائعة الاستخدام.



شكل (5-5): أشكال البرابخ شائعة الاستخدام

5-1-4-3) المواد المستخدمة في تصنيع البرابخ

قد يعتمد اختيار مادة العبّارات على كل من التالي:

- القوة الهيكلية structural strength
- الخشونة الهيدروليكية hydraulic roughness
- المتانة durability
- مقاومة التآكل corrosion resistance
- مقاومة الكشط abrasion resistance

المواد الثلاثة الأكثر شيوعًا هي الخرسانة والألمنيوم المموج corrugated aluminum والصلب المموج corrugated steel. يمكن أيضًا تبطين العبارات بمواد أخرى لمنع التآكل والكشط، أو لتقليل المقاومة الهيدروليكية (على سبيل المثال، قد يتم تبطين البرابخ المعدنية المموجة corrugated metal بالخرسانة الإسفلتية asphaltic concrete).

5-1-4-4) التصميم الهيدروليكي

الغرض من التصميم الهيدروليكي هو تحديد أبعاد البربخ. يتم تحديد الأبعاد بناءً على:

- السرعة خلال البربخ بين 1.0 إلى 2.0 م/ثانية.
- فقد السمت ليصبح أقل من 15 سم.
- غمر المدخل Entrance submergence ليكون في حدود 30 سم على الأقل.

المعادلة المتاحة هي معادلة الاستمرارية 5−1:

$$Q = A * V \qquad (5.1)$$

حيث:

Q = التفريغ أو الدفق م^3/ثانية،

A = مساحة المقطع العرضي للبربخ بالمتر المربع،

V = سرعة الماء عبر العبّارة متر/ثانية. نظرًا لأن التفريغ معروف، يجب افتراض السرعة لتحديد أبعاد البربخ. عادة تُفترض السرعة بين 1.0 و 2.0 م/ثانية لأسباب عملية.

بمجرد تحديد الأبعاد، يجب التحقق من فقد السمت. يتم حساب فقد السمت Head losses على النحو المبين في المعادلة 5−2:

$$H_l = \frac{v^2}{2g}(C_e + C_f + C_o) \qquad (5.2)$$

حيث:

H_l = فقد السمت بالمتر

V = السرعة م / ثانية

g = تسارع الجاذبية الأرضية

C = المعاملات

C_e = معامل فقد المدخل Entrance coefficient of loss = 0.5

C_o = معامل فقد المخرج Outlet coefficient of losses = 1.0

C_f = معامل الاحتكاك Friction coefficient. يمكن حساب معامل الاحتكاك على النحو المبين في المعادلة:

$$C_f = f\frac{L}{m}$$

$$f = a * \left(1 + \frac{b}{m}\right)$$

حيث:

f = معامل يعتمد على مادة البربخ وابعاده

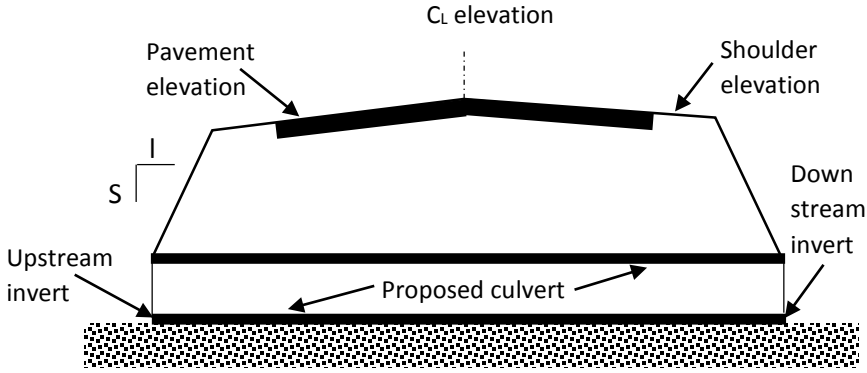
L = طول البربخ

m = نصف القطر الهيدروليكي Hydraulic radius

a و b = معامل ثابت ويعتمد على مادة العبّارة. (انظر جدول 5-2).

جدول (5-2): تقدير قيم المعاملات a و b

مادة البربخ	قيم المعامل a	قيم المعامل b
الصلب Steel	0.0048	0.0256
للخرسانة Concrete	0.00316	0.0305



شكل (5–6): تصميم البرابخ الهيدروليكي

مثال (5-1): تصميم البربخ

صمم بربخ يمر تحت الطريق، علما بأن التصريف 3 م^3/ثانية وعمق المياه 1.8 م. طول البربخ أو العبّارة 20 م.

الحل:

- المعطيات: التصريف Q = 3 م^3/ثانية، عمق الماء = 1.8 م، طول البربخ L =20 م
- المطلوب: تصميم البربخ
- حسب شروط اختيار البربخ بناء على قيم التصريف

For $Q \leq 3.0$ m^3/sec use Pipe culvert.
For $Q \leq 12.0$ m^3/sec use Box section.

- استخدم بربخ أنبوب pipe culvert لأن التصريف يقل عن 3 م^3/ث، من ثم افترض أن السرعة V = 1.3 م/ثانية

$A = Q/V = 3/1.3 = 2.31$ m^2

- جد قطر البربخ من المساحة

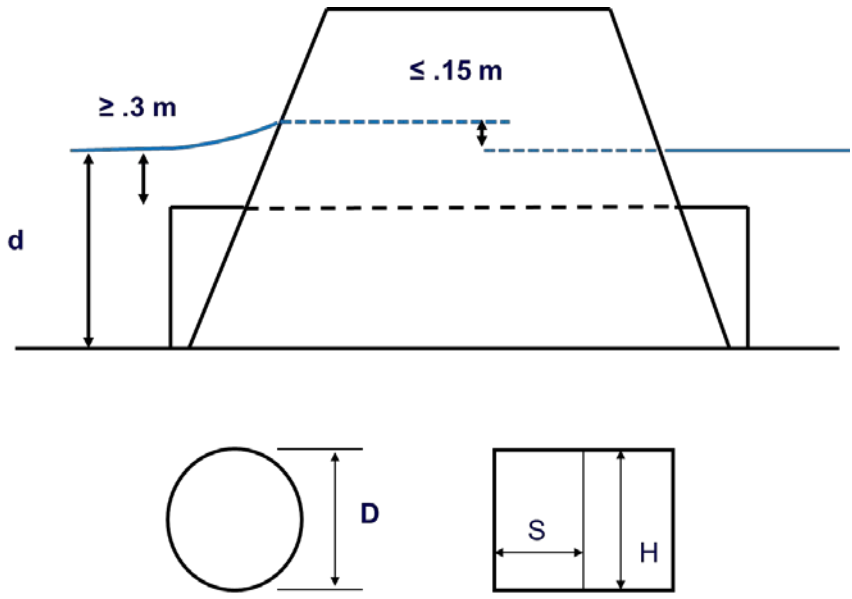
$A = \pi D^2/4 = 2.31$ m^2

وبالتالي يصبح قطر البربخ، D = 1.7 م

ومع ذلك، يجب أن يكون القطر أقل من عمق الماء مطروحًا منه المسافة الحرة free board، أي

$$D \leq 1.8 - 0.3 \quad (1.5\ m)$$

غير أن هذا القطر (1.5) لن يكون كافيًا لتمرير التدفق عبر البربخ.



من ثم ينصح باستخدام أنبوبين (مساحة كل أنبوب منهما، A = 1.155 م^2)

- القطر يساوي D= 1.7 م،
- وعند التحقق من السرعة فنجدها V = 1.13 م/ث (مقبولة)
- لابد من التحقق من فقد السمت headloss من المعادلة

$$H_l = \frac{v^2}{2g}(C_e + C_f + C_o)$$

- بمعلومية العوامل:

$C_e = 0.5,\ C_o = 1.0$

- وإيجاد نصف القطر الهيدروليكي m = المساحة ÷ المحيط المبتل

$$m = \frac{A}{W_p} = \frac{\frac{\pi D^2}{4}}{\pi D} = \frac{D}{4} = \frac{1.7}{4} = 0.425\ m$$

m = D/4 = 0.425 m

- جد قيمة C_f من المعادلة

$$C_f = f\frac{L}{m} = 0.0052*\frac{20}{0.425} = 0.24$$

- جد فقد السمت:

$$H_l = \frac{v^2}{2g}(C_e + C_f + C_o) = \frac{1.13^2}{2*9.81}(0.5 + 0.24 + 1) = 0.11\ m$$

(Head loss is less than 15 cm, then it is OK)

برنامج (5-1): تصميم البربخ

```
import javax.swing.*;
import javax.swing.border.Border;
import javax.swing.event.DocumentEvent;
import javax.swing.event.DocumentListener;
import javax.swing.text.BadLocationException;
import javax.swing.text.Document;
import java.awt.*;

public class Example_5_1 extends JPanel {
    public static final String TITLE = "1-5 مثال";
    public static final String EMPTY_RESULT_TEXT = "<html><b>( قم بإدخال المعطيات
لیتم حساب النتيجة)</b><br/><br/><br/><br/><br/><br/><br/></html>";
    private float Q, Wdepth, L;

    JFormattedTextField[] textFields = {
            new JFormattedTextField(), new JFormattedTextField(),
            new JFormattedTextField(),
    };

    JLabel[] labels = {
            new JLabel("معدل التدفق (متر مكعب/ثانية):", JLabel.RIGHT),
            new JLabel("عمق الماء (متر):", JLabel.RIGHT),
            new JLabel("طول البربخ (متر):", JLabel.RIGHT),
    };

    JLabel resultLabel = new JLabel(EMPTY_RESULT_TEXT, JLabel.RIGHT);

    DocumentListener textFieldDocListener = new DocumentListener() {

        public void changedUpdate(DocumentEvent e) { calc(e); }

        public void removeUpdate(DocumentEvent e) { calc(e); }

        public void insertUpdate(DocumentEvent e) { calc(e); }
```

```
        public void calc(DocumentEvent e) {
            try {
                Document document = e.getDocument();
                Object owner = document.getProperty("owner");
                String s = document.getText(0,
e.getDocument().getLength());
                float val = Float.parseFloat(s);

                if (owner == textFields[0]) {
                    Q = val;
                } else if (owner == textFields[1]) {
                    Wdepth = val;
                } else if (owner == textFields[2]) {
                    L = val;
                }
            } catch (BadLocationException | NumberFormatException ex) {
                resultLabel.setText(EMPTY_RESULT_TEXT);
                return;
            }

            if(Q == 0 || Wdepth == 0 || L == 0) {
                resultLabel.setText(EMPTY_RESULT_TEXT);
                return;
            }

            String result;

            if(Q <= 3.0)
            {
                // Use a pipe culvert
                double A = Q / 1.3;     // assume V == 1.3 m2/s
                double D = Math.sqrt(((A * 4) / Math.PI));
                double m = D / 4;
                double v = (Q * 4) / (Math.PI * D * D);
                double Cf = 0.0052 * L / m;
                double Hl = ((v * v) / (2 * 9.81)) * (0.5 + Cf + 1);

                String fmtfloat2 = "<b>%.2f</b>";
                String format = "<html>سيتم استخدام بربخ أنبوب:<br/>" +
                        "المساحة = " + fmtfloat2 + " متر مربع<br/>" +
                        "قطر البربخ = " + fmtfloat2 + " متر<br/>" +
                        "السرعة = " + fmtfloat2 + " متر/ثانية<br/>" +
                        "نصف القطر الهيدروليكي = " + fmtfloat2 + " متر<br/>" +
                        "قيمة معامل Cf = " + fmtfloat2 + " <br/>" +
                        "فقد السمت = " + fmtfloat2 + " متر<br/>" +
                        "</html>";
                result = String.format(format, A, D, v, m, Cf, Hl);
            }
            else
            {
                // Use a box culvert
                double A = Q / 1.3;     // assume V == 1.3 m2/s
                double H = Wdepth - 0.3;    // assume FreeBoard == 0.3 m
                double S = A / H;
                double v = Q / (H * S);
```

```
                double m = (H * S) / ((H + S) * 2);
                double Cf = 0.00336 * L / m;
                double Hu = ((v * v) / (2 * 9.81)) * (0.5 + Cf + 1);

                String fmtfloat2 = "<b>%.2f</b>";
                String format = "<html>سيتم استخدام بربخ مربع:<br/>" +
                        "المساحة = " + fmtfloat2 + " متر مربع<br/>" +
                        "ارتفاع البربخ = " + fmtfloat2 + " متر<br/>" +
                        "عرض البربخ = " + fmtfloat2 + " متر<br/>" +
                        "السرعة = " + fmtfloat2 + " متر/ثانية<br/>" +
                        "نصف القطر الهيدروليكي = " + fmtfloat2 + " متر<br/>" +
                        "قيمة معامل Cf = " + fmtfloat2 + " <br/>" +
                        "فقد السمت = " + fmtfloat2 + " متر<br/>" +
                        "</html>";
                result = String.format(format, A, H, S, v, m, Cf, Hu);
            }

            resultLabel.setText(result);
        }
    };

    public Example_5_1() {
        super(new BorderLayout());

        JPanel topPane = new JPanel(new GridLayout(0,1));
        JPanel centerPane = new JPanel(new GridLayout(0,2));
        JPanel bottomPane = new JPanel(new GridLayout(0,1));
        JPanel labelsPane = new JPanel(new GridLayout(0,1));
        JPanel textFieldsPane = new JPanel(new GridLayout(0,1));

        Border border = BorderFactory.createEmptyBorder(10, 10, 10, 10);
        Border border2 = BorderFactory.createEtchedBorder();
        topPane.setBorder(border);
        bottomPane.setBorder(border);
        labelsPane.setBorder(border);
        textFieldsPane.setBorder(border);
        centerPane.setBorder(border2);
        setBorder(border);

        topPane.add(new JLabel("<html>هذا المثال يستخدم المعادلات:<br/><b>v = Q / a
<br/>m = A / Wp <br/>Cf = f * (L / m) <br/>Hl = [(v ^ 2) / (2 * g)] * [Ce
+ Cf + Co]</b></html>", JLabel.RIGHT));

        for(int i = 0; i < textFields.length; i++) {
            textFields[i].setColumns(10);
            labelsPane.add(labels[i]);
            textFieldsPane.add(textFields[i]);
            Document document = textFields[i].getDocument();
            document.addDocumentListener(textFieldDocListener);
            document.putProperty("owner", textFields[i]);
        }

        centerPane.add(textFieldsPane, BorderLayout.CENTER);
        centerPane.add(labelsPane, BorderLayout.LINE_END);
        bottomPane.add(resultLabel);
        add(topPane, BorderLayout.NORTH);
```

```
        add(centerPane, BorderLayout.CENTER);
        add(bottomPane, BorderLayout.SOUTH);
    }

    public static void main(String[] args) {
        try {
            UIManager.setLookAndFeel(
                    UIManager.getSystemLookAndFeelClassName());
        } catch (IllegalAccessException | InstantiationException |
                 UnsupportedLookAndFeelException | ClassNotFoundException
e) {
            e.printStackTrace();
        }

        SwingUtilities.invokeLater(() -> {
            JFrame frame = new JFrame(TITLE);
            frame.setDefaultCloseOperation(JFrame.EXIT_ON_CLOSE);
            frame.setResizable(false);
            frame.add(new Example_5_1());
            frame.pack();
            frame.setLocationRelativeTo(null);
            frame.setVisible(true);
        });
    }
}
```

مثال (5-2) تصميم بربخ

صمم بربخاً يمر تحت طريقٍ ما علماً بأن مقدار التصريف من خلال البربخ يبلغ 5 م^3/ثانية وعمق المياه يبلغ 2.2 م، بينما طول البربخ 20 م.

الحل:

- المعطيات: التفريغ Q=5 م^3/ثانية، عمق المياه = 2.2 م، طول البربخ L = 20م
- المطلوب: تصميم البربخ

من المقترح استخدام بربخ مربع، وافترض أن السرعة فيه تبلغ V = 1.3 م/ثانية (عادة تفترض السرعة بين 1.0 و 2.0 م/ث لأسباب عملية)، من ثم يمكن إيجاد المساحة A من معادلة الاستمرارية

$A = Q/V = 3.85\ m^2$

جد الارتفاع بافتراض المسافة الحرة فريبورد تساوي 0.3 متر

$H = 2.2 - 0.3 = 1.9\ m$

جد العرض S = المساحة ÷ الارتفاع

$$S = \frac{A}{H} = \frac{3.85}{1.9} = 2\,m$$

تأكد من أن تحقق الشرط التالي

S < 1.5 H

$$S < 1.5\,H\,(= 1.5 * 1.9) = 2.85$$

وبما أن قيمتها أقل من هذا المقدار، فيكون الشرط قد تحقق.

- راجع قيمة السرعة خلال البربخ من معادلة الاستمرارية حسب القيم المحسوبة

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{HS} = \frac{5}{1.9 * 2} = 1.32\,m/sec$$

- تحقق من فقد السمت H_u بأخذ كل من:

قيمة نصف القطر الهيدروليكي m = المساحة ÷ المحيط المبتل

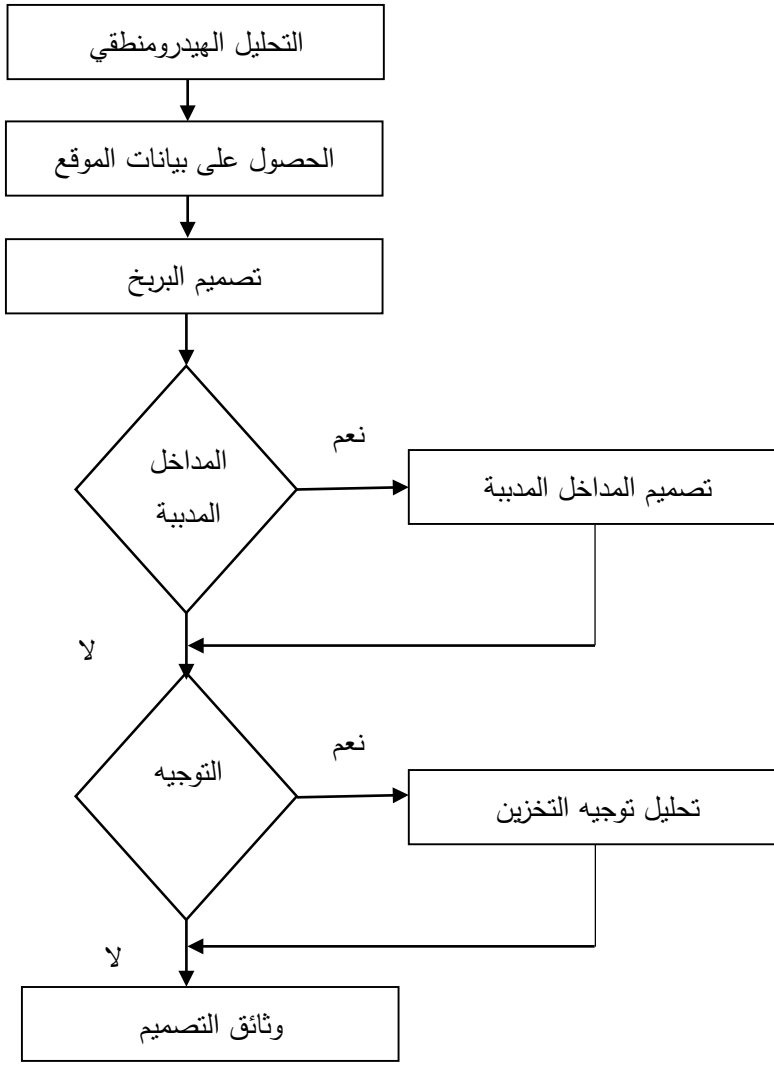
$$m = \frac{A}{W_p} = \frac{2 * 1.9}{(2 + 1.9) * 2} = 0.49\,m$$

وقيمة معامل $f = 0.00336$ ومقدار معامل $C_f = 0.14$

$$C_f = f\frac{L}{m} = 0.00336 * \frac{20}{0.49} = 0.14$$

- من ثم جد فقد السمت من معادلته

$H_u = 0.145$ m … OK



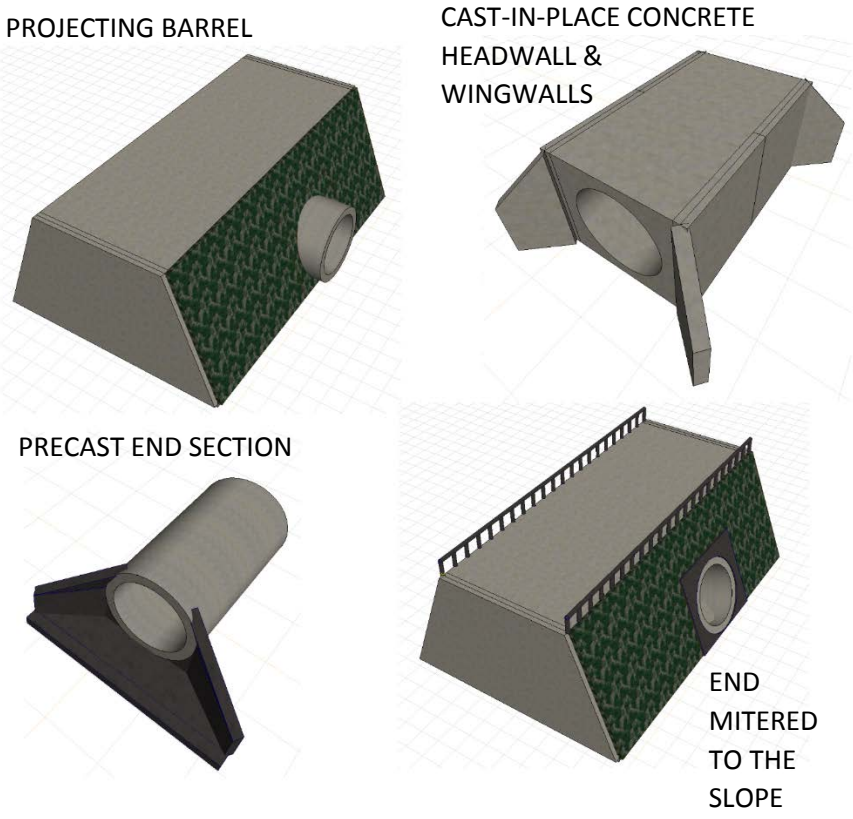
شكل (5-7): تصميم البربخ

5-1-4-5) تصميم البربخ

- قم بتقدير معدل التدفق التصميمي design flow rate بناءً على الخصائص المناخية ومستجمعات المياه (التحليل الهيدرولوجي). (حدد تدفق الذروة peak

flow بناءً على اختيار فترة العودة أو تكرار حدوث أحداث نادرة مثل الفيضانات).

- قم بتقييم البيانات الخاصة بموقع البربخ، وبيانات المجرى المائي (معلومات المقطع العرضي، ومنحدر التيار والنهر، والمقاومة الهيدروليكية لقناة التدفق والسهول الفيضية floodplain، وأي حالة تؤثر على ارتفاع سطح المياه في اتجاه مجرى النهر أو مياه الذيل tailwater، وسعة التخزين في أعلى التيار للبربخ)، وبيانات الطريق (المقطع العرضي، ملف تعريف الطريق الطولي Longitudinal Roadway Profile)، وتصميم المياه الرأسية design headwater (الاعتبارات الاقتصادية، القيود التنظيمية، أو القيود التعسفية).
- اختر البربخ بناءً على: ملفات تعريف الطريق roadway profiles، وخصائص القناة، وتقييمات أضرار الفيضانات، وتكاليف البناء والصيانة، وتقديرات عمر الخدمة service life.
- حدد مادة البربخ بناءً على: القوة الهيكلية، والخشونة الهيدروليكية، والمتانة، ومقاومة التآكل والكشط.
- اختر تكوين المدخل (براميل البربخ البارزة، والجدران الخرسانية المصبوبة في المكان، والأقسام الطرفية مسبقة الصنع أو الجاهزة، ونهايات البربخ المعلقة لتتوافق مع منحدر التعبئة). يعتبر الاستقرار الهيكلي والجماليات والتحكم في التآكل والاحتفاظ بالملء اعتبارات في اختيار تكوينات المدخل المختلفة.
- قد يتدفق برميل البربخ بالكامل (تدفق الضغط pressure flow) أو يكون ممتلئًا جزئيًا (السطح الحر، القناة المفتوحة) اعتمادًا على ظروف المنبع والمصب، وخصائص البرميل، وهندسة المدخل.



شكل (5–8): أنواع مدخل البربخ

يبين الجدول (5–3) البيانات والمعلومات المطلوبة لتصميم البربخ.

جدول (5–3): البيانات والمعلومات المطلوبة لتصميم البربخ	
البيانات والمعلومات	المصدر
الهيدرولوجيا	
التدفق الذروة Peak flow	تحليل بيانات مقاييس الدفق، أو حسابات الطريقة العقلانيةrational method ، أو طريقة SCS، أو معادلات الانحدار regression equations
تحقق من التدفقات Check flows	
هيدروغراف hydrographs	خاصة عند استخدام توجيه التخزين من بيانات مقاييس الدفق، أو طرق التطوير الاصطناعية مثل SCS, Snyder method أو النماذج الحاسوبية
بيانات الموقع Site data	
موقع البربخ Culvert location	اعتمادا على خصائص الموقع بما فيها مقطع النهر الطبيعي، الميل، والمحاذاة
بيانات الممر المائي Waterway data المقاطع العرضية Cross sections الميلان الطولي Longitudinal slope المقاومة Resistance مجال Tailor field الخزن أعلى التيار (المنبع) Upstream storage	مسوحات ميدانية أو خرط طبغرافية مسوحات ميدانية أو خرط طبغرافية الملاحظات، والصور، والطرق الحسابية مسوحات ميدانية، وخرط مسوحات ميدانية، وخرط
بيانات الطريق Roadway data المقاطع العرضية Cross sections الملف Profile	خطط الطرق roadway maps خطط الطرق

طول البربخ Culvert length	خطط الطرق
تصميم منبع Design headwater النقاط الحرجة على الطريق Critical points on roadway المباني المجاورة أو المنشآت Surrounding buildings or structures القيود التنظيمية Regulatory constraints القيود التعسفية Arbitrary constraints	خطط الطرق صور المناطق، المساحة، الخرط الطبغرافية ضوابط التأمين على السهول الفيضية والفيضانات للوصول إلى جزء النهر المحدد stream reach الضوابط الولائية أو المحلية لإنشاء البربخ

5-1-4-6) تدفق البربخ

عادةً يتم توفير الصرف المتقاطع للطريق السريع Highway cross-drainage بعبارات أو برابخ culverts وجسور bridges ومنحدرات dips.

البرابخ عبارة عن منشآت مغمورة مدفونة تحت سد embankment عالي المستوى. يتكون البربخ من ماسورة أنبوب أو برميل (الجزء الناقل conveyance part، أي المجرى) مع أعمال حماية عند مدخله ومخرجه. يُحدِث البربخ تأثيرًا في مياه خلفية backwater لتدفق الاقتراب approach flow، مما يتسبب في بركة pondage من الماء فوق مدخل البربخ.

5-1-4-7) ظروف التصريف والتدفق

- يعتمد التصميم الهيدروليكي للبربخ على خصائص تدفق البرميل barrel flow (التدفق السطحي الحر، وتدفق الفوهة orifice أو تدفق الأنبوب pipe) التي تعتمد على طوله، وخشونته، وتدرجه، ومستويات المياه عند المنبع والمصب.
- قد يمتلئ برميل البربخ بالكامل على طوله ويتدفق أو يكون ممتلئًا جزئيًا.

- التصريف والتدفق في البربخ إما أن يكون كاملاً أو جزئياً.
- التدفق الكامل Full Flow (تدفق الضغط pressure flow): إذا زادت مساحة المقطع العرضي للبربخ في تدفق الضغط ، فإن منطقة التدفق ستتوسع.
- التدفق الجزئي Partly Full (السطح الحر Free Surface أو تدفق القناة المفتوحة open channel flow) يمكن أن يكون دون حرج subcritical أو حرج critical أو فوق حرج supercritical.

يُحدَّد نظام التدفق المناسب من خلال تقييم رقم بلا أبعاد، يُعرف برقم فرود Froude:

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{gy_h}} \qquad (5.3)$$

حيث:

Fr = رقم فرود (انظر جدول 5-4)

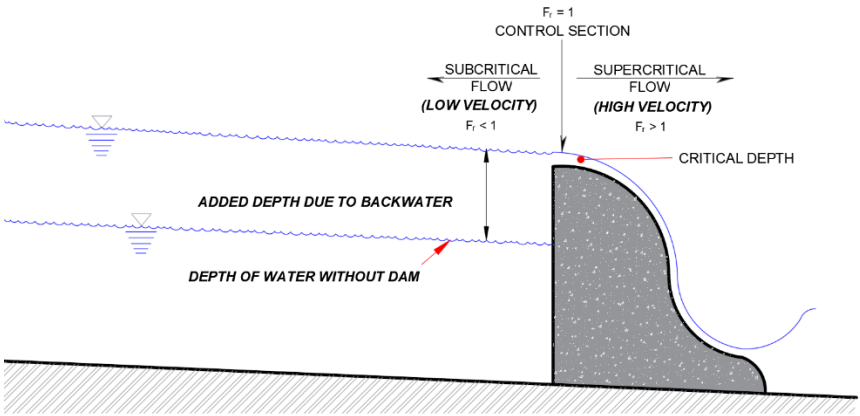
V = متوسط سرعة التدفق

g = تسارع الجاذبية الأرضية

y_h = العمق الهيدروليكي hydraulic depth. يتم حساب العمق الهيدروليكي بقسمة منطقة التدفق المقطعي على عرض سطح الماء الحر.

The hydraulic depth y_h = cross-sectional flow area / the width of the free water surface.

جدول (5-4): رقم فرود وخواص التدفق	
رقم فرود (Fr) Froude	خواص التدفق
أقل من 1.0	التدفق دون الحرج، ويتميز بأنه سلس smooth وهادئ tranquil. (يحدث التدفق دون الحرج في أعلى قمة السد dam crest حيث تكون المياه عميقة وتكون السرعة منخفضة).
يساوي 1.0	التدفق حرج. (يحدث التدفق الحرج عند قمة السد ويمثل نقطة الانقسام بين أنظمة التدفق دون الحرج subcritical وفوق الحرج supercritical).



شكل (5-9): الدفق فوق سد صغير

شروط الدخول الحر Free entrance conditions (انظر جدول 5-5)

H/D < 1.2; $y_o > Y_c < y_2 < D$; any length; mild slope: open channel subcritical flow.

H/D < 1.2; $y_o > Y_c > Y_2 < D$; any length; mild slope: open channel subcritical flow.

$H/D < 1.2$; $y_o < Y_c > y_2 < D$; any length; steep slope: open channel supercritical flow; critical depth at inlet.

$H/D < 1.2$; $y_o < Y_c < y_2 < D$; any length; steep slope: open channel supercritical flow; formation of hydraulic jump in barrel.

ظروف الدخول المغمورة Submerged entrance conditions

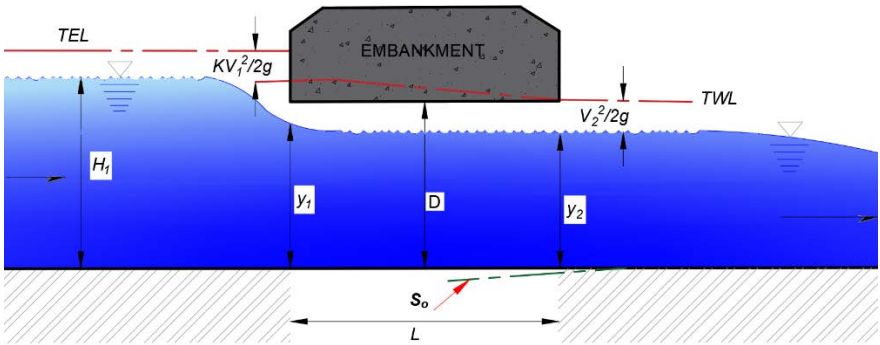
$H/D > 1.2$; $y_2 < D$; short; any slope: orifice flow.

$H/D > 1.2$; $y_2 < D$; long; any slope: pipe flow.

$H/D > 1.2$; $y_2 > D$; any length; any slope: pipe flow.

جدول (5-5): شروط الدخول			
الشرط	**الطول**	**الانحدار أو الميل**	**حالة التدفق**
شروط الدخول الحر			
$H/D < 1.2$; $y_o > Y_c < y_2 < D$	أي طول	انحدار معتدل	قناة مفتوحة التدفق تحت الحرج
$H/D < 1.2$; $y_o > Y_c > Y_2 < D$	أي طول	منحدر معتدل	قناة مفتوحة التدفق تحت الحرج
$H/D < 1.2$; $y_o < Y_c > y_2 < D$	أي طول	منحدر حاد	قناة مفتوحة تدفق فوق الحرج؛ العمق الحرج عند المدخل
$H/D < 1.2$; $y_o < Y_c < y_2 < D$	أي طول	منحدر حاد	قناة مفتوحة تدفق فوق الحرج؛ تشكيل قفزة هيدروليكية في البرميل.

ظروف الدخول المغمورة			
$H/D > 1.2;\ y_2 < D$	قصيرة	أي منحدر	تدفق الفتحة
$H/D > 1.2;\ y_2 < D$	طويل	أي منحدر	تدفق الأنابيب
$H/D > 1.2;\ y_2 > D$	أي طول	أي منحدر	تدفق الأنابيب



L = length of culvert
D = height of culvert
S_o = bed slope
y_1 = depth at entrance
y_2 = depth at exit
y_o = uniform flow depth
Y_c = critical depth
K = entry loss; coefficient
TEL = total energy line
TWL = total water level

شكل (5-10): شروط الدخول

مثال (5-3): تصميم بربخ خرساني مزدوج

اقترح تصميم بربخ خرساني مزدوج الصندوق لتصريف فيضان التصميم design flood 13.5 م^3/ثانية. تشير البيانات التالية إلى كل معبر من فتحات البربخ:
معامل مانينغ n = 0.013

الارتفاع = 0.75 م

العرض = 1.5 م

الطول = 30 م

المنحدر = 1 ÷ 100

شروط المدخل entrance conditions = حافة مربعة، معامل الفقد loss coefficient, K = 0.5

شروط في اتجاه مجرى النهر (أدنى التيار) = تدفق حر (نافورة حرة free jet)

قم بإنشاء منحنى التصنيف rating curve (التصريف مقابل ارتفاع الماء headwater elevation فوق المنعكس invertعند المدخل) لظروف الارتفاع المتصاعدة على مدى تدفق يتراوح من 0 إلى 13.5 م^3/ثانية. أهمل سرعة الاقترابapproach velocity .

حدد الحد الأدنى لارتفاع سطح الطريق بافتراض وجود لوح حر free board يبلغ 300 مم لتجنب أي فيضان flooding للطريق السريع.

الحل:

المعطيات: مواصفات البربخ

يعتمد سلوك البربخ على مستوى المياه الرأسية headwater level, H، ارتفاع البربخ D ، المنحدر S_0 ، وطول البربخ L؛ هنا يتم تفريغ المخرج بحرية وليس له أي تأثير على نوع التدفق عبر البربخ.

أ) بالنسبة لـ$HID \leq 1.2$، تدفق قناة مكشوفة:

في حالة وجود تحكم في المدخل، يكون العمق عند المدخل حرجًا، أي أن المنحدر إما حرج أو شديد الانحدار.

بافتراض التحكم في المدخل

$Yc = (2/3) * H$

$Vc = \sqrt{(g\ Yc)}$

ومن ثم يمكن حساب Q

أيضًا، من معادلة مانينغ للمقاومة، يمكن حساب المنحدر الحرج Sc، والتحقق منه مقابل المنحدر المقترح للبربخ؛ إذا تبين بعد ذلك أن المنحدر معتدل mild، فيجب تقدير حسابات العمق والتفريغ بواسطة معادلات الطاقة والمقاومة.

بالنسبة إلى H = 0.1 م، Yc = 0.067م و Vc = 0.81 م/ث

من معادلة مانينغ، Sc = 0.00028

منحدر البرّبخ $S_o = 0.01 > S_c = 0.0028$ منحدر حاد ومن ثم يوجد تحكم في المدخل.

تعطي معادلة الطاقة في المدخل

$$H = Y_c + 0.5\ V_c^2/2g + V_c^2/2g = 1.75y_c$$

والتدفق لمعبر صندوق واحد

$$Q = b\ Y_c\sqrt{(g\ Y_c)} = b\ \sqrt{(g)}\ Y_c^{3/2} \text{ for one box}$$

حيث b هو عرض البربخ.

يتم افتراض قيم مختلفة لـ Yc وبالتالي مستويات المياه الرأسية (H = 1.75yc) حتى H = 1.2D (الحد الأعلى لتدفق القناة المكشوفة).

صندوق (5-1): أداء مدخل البربخ

طريقة زيادة أداء المدخل هي استخدام حواف مشطوفة عند مدخل البربخ. تقلل الحواف المشطوفة من تقلص التدفق عن طريق توسيع وجه البربخ بشكل فعال.

Headwater level, H (m)	Discharge, Q m^3/s (two boxes)
0.175	0.297
0.525	1.544
0.700	2.377
0.900	3.465

(ب) بالنسبة إلى $H/D \geq 1.2$، يتصرف مدخل البربخ مثل فتحة orifice (انقباض constriction)؛ إذا كان العمق الطبيعي في البرميل المقابل لتفريغ الفتحة أقل من D، فإن التدفق باتجاه المصب للمدخل يكون حرًا. معادلة تدفق الفوهة orifice لمعبر صندوق واحد تمثل

$$Q = C_d * b * D * [2g\ (H - D/2)]^{1/2} \text{ for one box}$$

معامل التدفق $C_d = 0.62$(مفترض). الحسابات بين $H = 1.2D$ والقيمة التي عندها $y_o = D$ هي على النحو التالي:

Headwater level, H (m)	Discharge, Q m^3/s (two boxes)
0.900	4.477
1.300	5.943
1.700	7.113
2.100	8.116
2.500	9.007

(ج) بالنسبة لـ $H/D > 1.2$ and $y_0 \geq D$

يوجد تدفق الأنابيب في البربخ. تعطي معادلة الطاقة بين مدخل ومخرج القناة

$$H + S_oL = D + (1 + K)V^2/2g + S_fL$$

حيث: Sf هو ميل الاحتكاك المعطى بواسطة معادلة مانينغ

$$S_f = (V_n)^2/R^{4/3}$$

ما سبق يتقلص إلى

$$Q = 3.41(H - 0.45)^{1/2}$$

لصندوق واحد؛ حالة تدفق الأنابيب مع ما يلي:

Headwater level, H مستوى الماء الرأسي(m)	Discharge, Q m^3/s (two boxes) التدفق
2.500	9.774
2.900	10.685
3.100	11.112
3.500	11.921
3.900	12.679
4.200	13.219
4.368	13.500 (design discharge)

ارتفاع سطح الطريق بمسافة حرة free board مقدارها 300 مم يساوي

Headwater level, H= 4.368 + 0.300 = 4.668 m

فوق منعكس البربخ culvert invert عند مدخله.

صندوق (5-2): منخفض البربخ

عندما يتم ضغط البربخ أسفل مجرى التيار عند المدخل، يُطلق على المنخفض اسم FALL منخفض.بالنسبة للبرابخ التي لا تحتوي على مداخل مدببة، يتم تعريف FALL على أنه العمق من قاع التدفق الطبيعي في الوجه إلى قلب المدخل. بالنسبة للبرابخ ذات المداخل المستدقة، يتم تعريف السقوط على أنه العمق من قاع التدفق الطبيعي في الوجه إلى قلب الحلق.

مثال (5-4): بربخ

يجب تصميم بربخ عند معبر طريق جديد لتمرير فيضان 25 عامًا. يشير التحليل الهيدرولوجي إلى معدل تدفق ذروة peak flow rate يبلغ 5.663 متر مكعب / ثانية. استخدم معلومات الموقع التالية:

الارتفاع عند واجهة البربخ: 30.480 م

منحدر مجرى التدفق الطبيعي: 1 بالمائة = 0.01 م/م

المياه الخلفية Tailwater لفيضان 25 عامًا: 1.067 م

طول البربخ التقريبي: 60.960 م

ارتفاع الكتف Shoulder Elevation: 33.528 م

صمم بربخ أنبوب دائرة لهذا الموقع. ضع في اعتبارك استخدام أنبوب معدني مموج (corrugated metal pipe,CMP)بمعيار 68 × 13 مم في التمويجات والحواف المشطوفة corrugations and beveled edges والأنابيب الخرسانية بنهاية الأخدود with a groove end. ضع تصميم المنبع headwater على ارتفاع الكتف باستخدام freeboard 0.61 م (ارتفاع 32.918 م). اضبط قلب المدخل inlet invert على ارتفاع مجرى التدفق الطبيعي (بدون سقوط no FALL).

ملاحظة: استخدم مخططات التصميم المناسبة design charts.

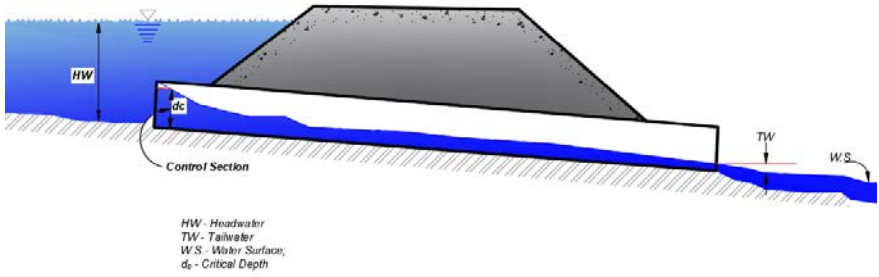
صندوق (5-3): مصطلحات البربخ

عمق ماء المنبع Headwater depth هو عمق سطح الماء في المنبع الذي يقاس من الانعكاس invert عند مدخل البربخ.

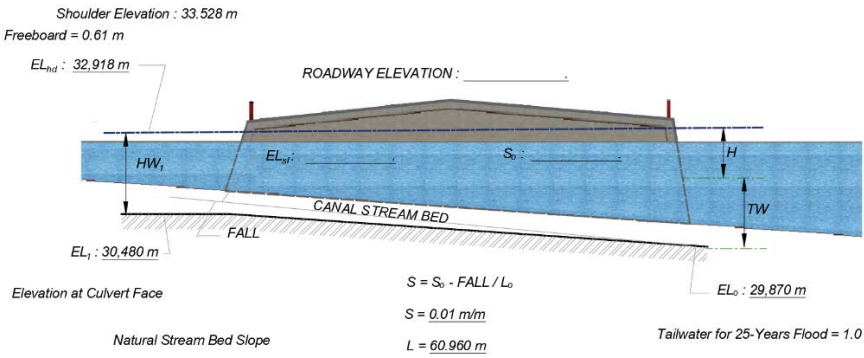
مياه الذيل Tailwater هي عمق المياه في اتجاه مجرى البربخ الذي يتم قياسه من انعكاس invertالمخرج.

التحكم في المدخل Inlet control يحدث عندما يكون برميل البربخ قادرًا على نقل تدفق أكثر مما يقبله المدخل. يقع قسم التحكم في البربخ الذي تعمل تحت عمل التحكم في المدخل داخل المدخل مباشرةً. يحدث العمق الحرج في هذا الموقع أو بالقرب منه، ونظام التدفق يسري على الفور في اتجاه مجرى النهر فوق الحرج.

التشكيلات المموجة Corrugation profiles توفر صلابة هيكلية لجدار الأنبوب وهي مصممة لمقاومة الانحراف أثناء التثبيت وتوفير القوة لهيكل الردم backfilled structure.



شكل (5–11): مصطلحات البربخ



A method of increasing inlet performance is the use of **beveled** edges at the entrance of the culvert. Beveled edges reduce the contraction of the flow by effectively enlarging the face of the culvert.

When a culvert is depressed below the stream bed at the inlet, the depression is called the **FALL**. For culverts without tapered inlets, the FALL is defined as the depth from the natural stream bed at the face to the inlet invert. For culverts with tapered inlets, the FALL is defined as the depth from the natural stream bed at the face to the throat invert.

5-1-4-9) استمارة تصميم بربخ

يتم توفير مجموعات الملخص Summary blocks في الجزء العلوي من النموذج لوصف المشروع وتحديد المصمم. كما يتم تضمين ملخصات البيانات الهيدرولوجية للنموذج. في أعلى اليمين يوجد رسم تخطيطي صغير للبربخ مع فراغات لإدخال الأبعاد والارتفاعات المهمة. يحتوي الجزء المركزي من نموذج التصميم على خطوط لإدخال وصف المجرى التجريبي وحساب ارتفاعات مياه الرأس للتحكم في المدخل والتحكم في المخرج. يتم توفير مساحة في المركز السفلي للتعليقات وفي أسفل اليمين لوصف برميل البربخ المحدد.

تتمثل الخطوة الأولى في عملية التصميم في تلخيص جميع البيانات المعروفة للبربخ في الجزء العلوي من نموذج تصميم البربخ Culvert Design Form. يتم جمع هذه المعلومات أو حسابها قبل تنفيذ التصميم الفعلي للبربخ.

تتمثل الخطوة التالية في تحديد المادة الأولية للبربخ وشكله وحجمه ونوع المدخل. ثم يقوم المُستخدِم بإدخال معدل التدفق التصميمي ومتابعة حسابات التحكم في المدخل.

التحكم في المدخل Inlet Control

تحدد حسابات التحكم في المدخل ارتفاع الماء headwater elevation المطلوب لتمرير التدفق التصميمي من خلال تكوين البربخ المختار في التحكم في المدخل. يمكن تضمين سمت سرعة الاقتراب كجزء من الماء الرأسي headwater، إذا رُغِبَ في ذلك. تُستخدم الرسوم البيانية للتحكم في المدخل في عملية التصميم.

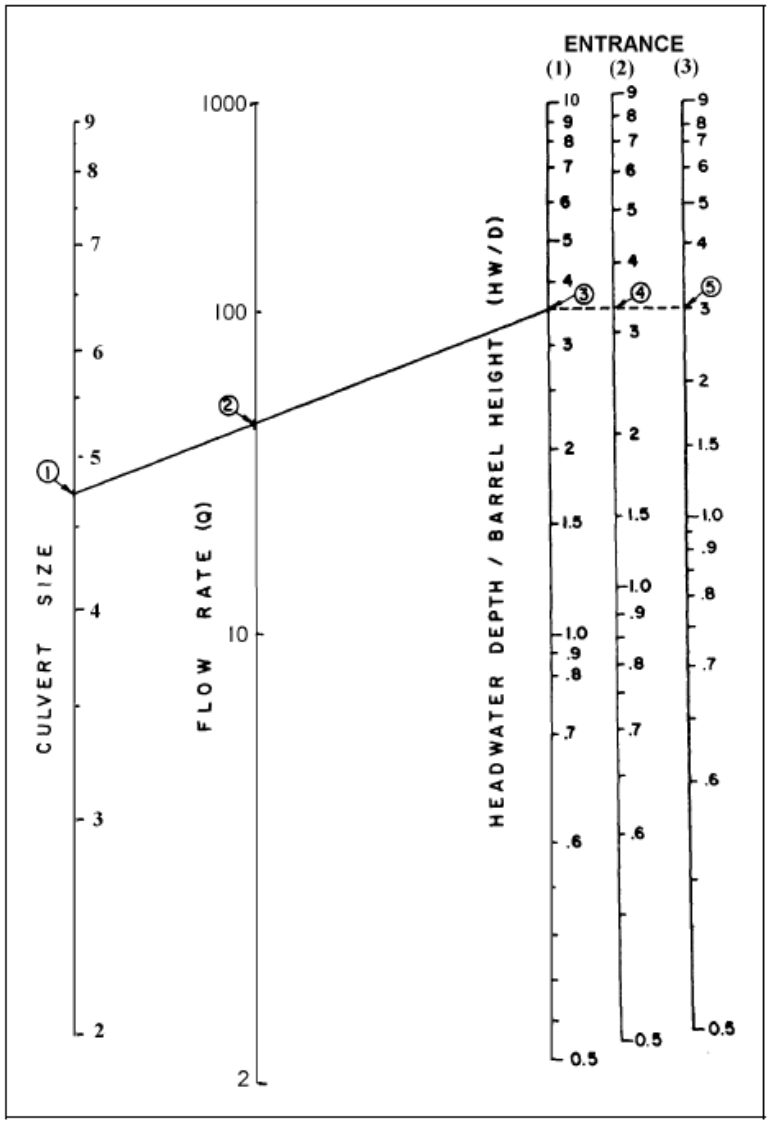
حدد موقع حجم البربخ المختار (النقطة 1) ومعدل التدفق (النقطة 2) على المقاييس المناسبة لمخطط التحكم في المدخلinlet control nomograph . (لاحظ أنه بالنسبة لبرابخ الصندوقية، يستخدم معدل التدفق لكل قدم من عرض البرميل) (**استخدم 1800 مم لتدفق 5.663 م3/ثانية**).

باستخدام المسطرة straightedge، قم بتمديد خط مستقيم بعناية من حجم البربخ (النقطة 1) عبر معدل التدفق (النقطة 2) وقم بتمييز نقطة على مقياس ارتفاع المياه/المجرى first headwater/culvert height (HW/D) scale (النقطة 3). مقياس HW/D الأول هو أيضًا خط تحول. (**ارسم خطًا مستقيمًا يصل 1800 مم وتدفق 5.66 لتقاطع HW/Dعند 0.97 م**).

إذا كان مقياس HW/D آخر مطلوبًا، فقم بتمديد خط أفقي من مقياس HW/D الأول (خط الدوران) إلى المقياس المطلوب واقرأ النتيجة.

اضرب HW/D في ارتفاع البربخ، D، للحصول على المياه الرأسية headwater المطلوبة (HW) من قلب قسم التحكم invert of the control section إلى خط تدرج

الطاقة. إذا تم إهمال سرعة الاقتراب، فإن HW يساوي عمق الماء headwater depth المطلوب (HWi). إذا تم تضمين سرعة الاقتراب في الحسابات، فقم بطرح سمت سرعة الاقتراب من HW لتحديد HW_i (**0.97*1.800 = 1.75 m**).



شكل (5–12): نوموجرام للتحكم في المدخل

احسب الانخفاض المطلوب (FALL) لقسم التحكم في المدخل أسفل قاع التدفق على النحو التالي:

Calculate the required depression (FALL) of the inlet control section below the stream bed as follows:

$HW_d = EL_{hd} - EL_{sf}$

$FALL = HW_i - HW_d$

حيث:

HW_d = the design headwater depth, m (ft)عمق المياه للتصميم

EL_{hd} = the design headwater elevation, m (ft) ارتفاع منسوب المياه في التصميم

EL_{sf} = the elevation of the streambed at the face, m (ft) ارتفاع التيار عند الوجه

HW_i = the required headwater depth, m (ft)عمق الماء المطلوب

(*in this example fall = 0, no FALL*)

Possible results and consequences of this calculation are: النتائج والتبعات المحتملة لهذا الحساب هي

(1) If the FALL is negative or zero, set FALL equal to zero and proceed to step f.

(2) If the FALL is positive, the inlet control section invert must be depressed below the streambed at the face by that amount. If the FALL is acceptable, proceed to step f.

(3) If the FALL is positive and greater than is judged to be acceptable, select another culvert configuration and begin again at step f.

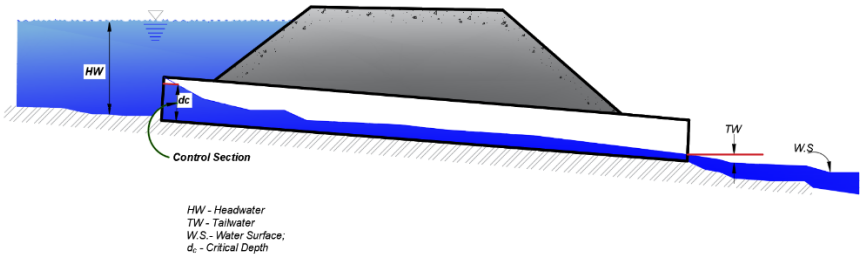
Calculate the inlet control section invert elevation as follows: احسب معكوس ارتفاع قسم التحكم في المدخل على النحو التالي

$EL_{hi} = EL_{sf} - FALL$

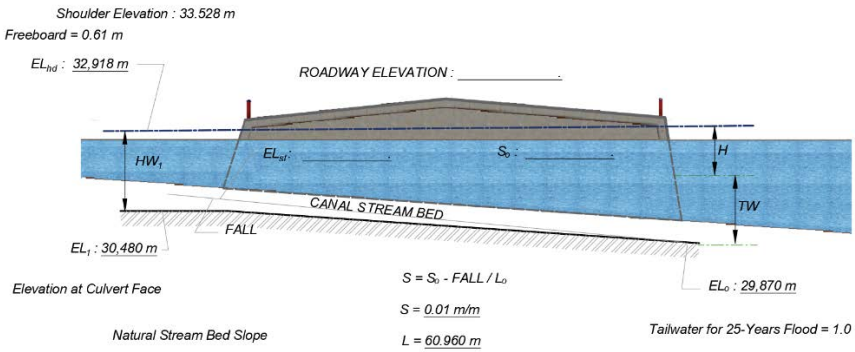
Where:

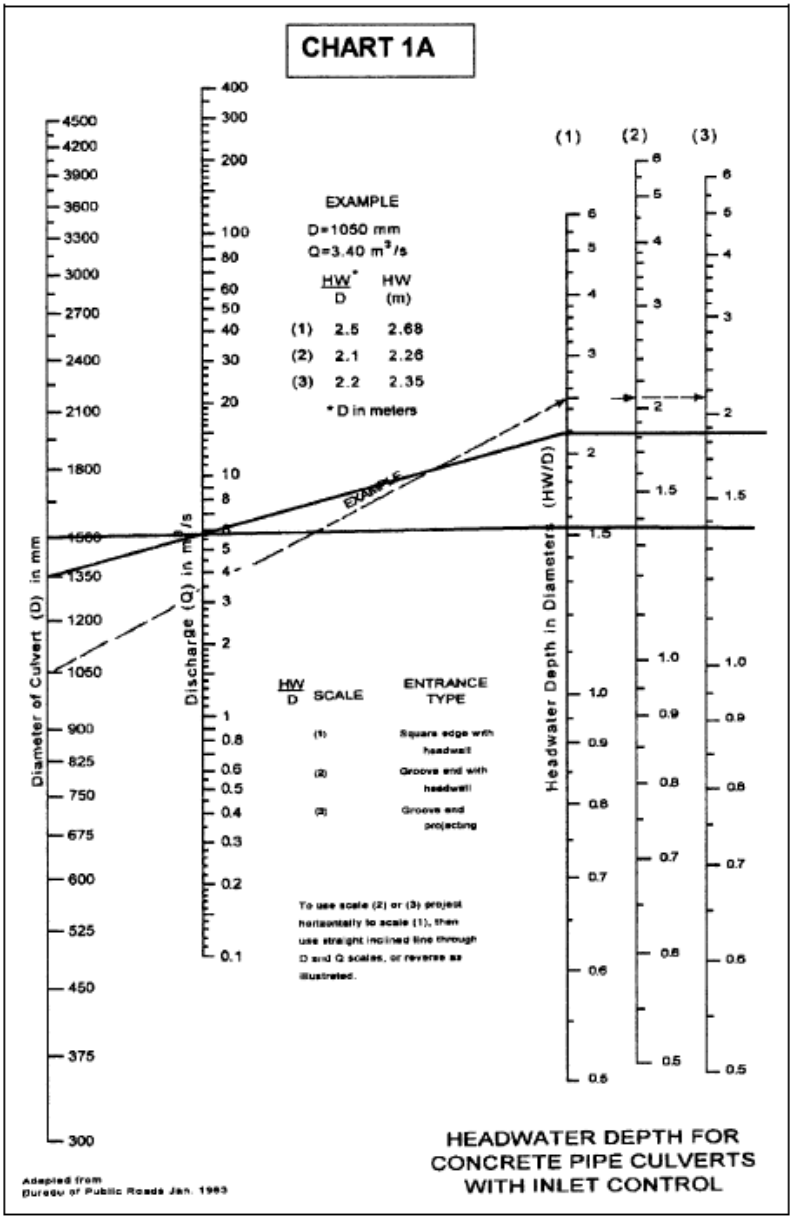
EL_i = the invert elevation at the face of a culvert (EL_f) or at the throat of a culvert with a tapered inlet (EL_t).

(in this case: $EL_{hi} = EL_i + HW_i - FALL = EL_{hd} - FALL = 30.48 + 1.75 - 0 = 32.23$):



HW - Headwater
TW - Tailwater
W.S.- Water Surface;
d_c - Critical Depth



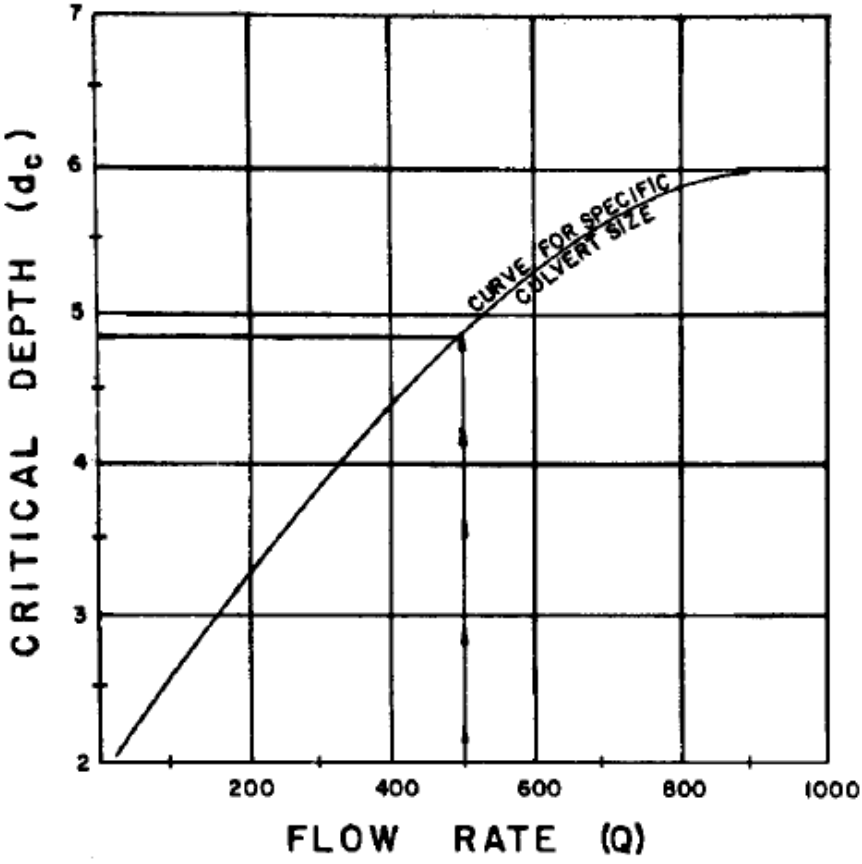


شكل (5–13): نوموجرام التصميم

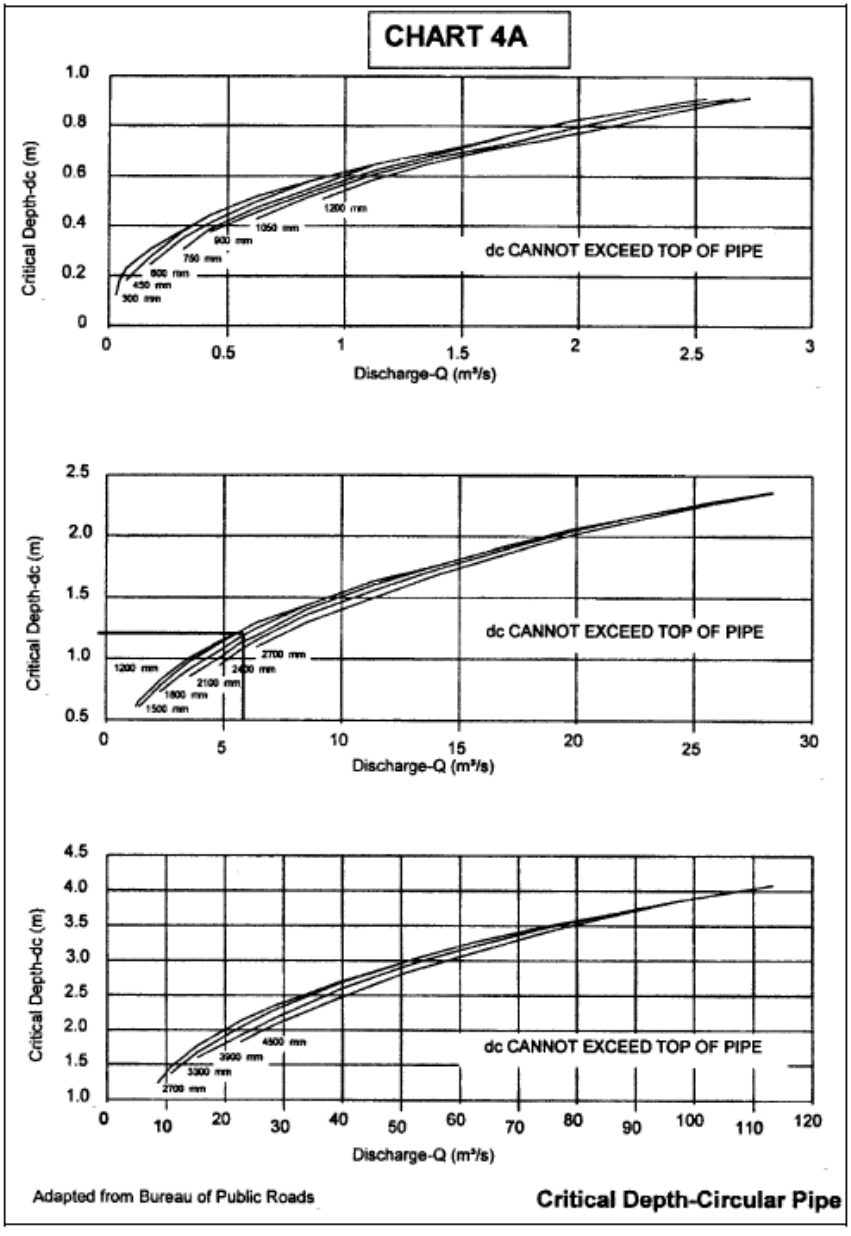
تؤدي حسابات التحكم في المخرج إلى ارتفاع مستوى المياه headwater elevation المطلوب لنقل التدفق التصميمي من خلال البربخ المختار في التحكم في المخرج outlet control. يمكن تضمين النهج والسرعات النهائية في عملية التصميم، إذا رُغِبَ في ذلك. تستخدم مخططات العمق الحرج critical depth charts والرسوم البيانية للتحكم في المخرج outlet control nomographs في عملية التصميم.

تحديد عمق مياه الذيل tailwater depth فوق انعكاس المخرج outlet invert (TW) عند معدل التدفق التصميمي. يتم الحصول عليها من المياه الراكدة backwater أو حسابات العمق العادية normal depth calculations، أو من الملاحظات الميدانية. (في هذه الحالة يُعطى: المياه الخلفية ***Tailwater*** للفيضان لمدة 25 عامًا = 1.067 م)

أدخل مخطط العمق الحرج المناسب (الرسم البياني 4 أ) مع معدل التدفق واقرأ العمق الحرج (d_c). لا يمكن أن يتجاوز العمق الحرج d_c مقدار D! ملاحظة: منحنيات d_c قطعت للراحة عند تقاربها. إذا كانت هناك حاجة إلى dc دقيق لقيمة $d_c > 0.9D$، فاستشر دليل المكونات الهيدروليكية أو المراجع الهيدروليكية الأخرى. (في هذه الحالة التدفق = 5.663 م^3/ث وقيمة ***D***= 1800 مم يعطي ***d_c*** = 1.2 م)



شكل (5–14): رسم العمق الحرج



شكل (5–15): الدفق والعمق الحرج

حلل ظروف التدفق الكامل جزئيًا partly full flow conditions باستخدام طريقة تقريبية. وهكذا، ابدأ خط التدرج الهيدروليكي hydraulic grade line على عمق $(d_c+D)/2$ فوق معكوس المخرج outlet invert وقم بتمديد خط التدرج الهيدروليكي المستقيم الكامل التدفق حتى مدخل البربخ عند منحدر S_n. احسب $(d_c + D)/2$. في هذه الحالة

$$(d_c + D)/2 = (1.2+1.8)/2 = 1.5\ m$$

تحديد العمق من معكوس مخرج البربخ culvert outlet invert إلى خط التدرج الهيدروليكي (h_o). $h_o = TW$ أو $d_c + D / 2$ أيهما أكبر.

في هذه الحالة: $(dc + D) / 2 > TW$

$$(d_c + D)/2 > TW \text{ or } 1.5 > 1.07.\ Thus,\ h_o = 1.5\ m.$$

من الجدول 5–6، احصل على معامل فواقد المدخل المناسب، k_e، لتكوين مدخل البربخ. في هذه الحالة، بالنسبة **للأنبوب الخرساني والحواف المشطوفة، $k_e = 0.2$**

جدول (5–6): معاملات فواقد المدخل

Entrance Loss Coefficients

Outlet Control, Full or Partly Full Entrance Head Loss $H_e = K_e\left[\frac{V^2}{2g}\right]$	
Type of Structure and Design of Entrance	**Coefficient K_e**
Pipe, Concrete	
Projecting from fill, socket end (groove–end)	0.2
Projecting from fill, sq. cut end	0.5

Headwall or headwall and wingwalls	
Socket end of pipe (groove-end)	0.2
Square-edge	0.5
Rounded (radius = D/12)	0.2
Mitered to conform to fill slope	0.7
*End-Section conforming to fill slope	0.5
Beveled edges, 33.7° or 45° bevels	0.2
Side- or slope-tapered inlet	0.2
Pipe or Pipe-Arch Corrugated Metal	
Projecting from fill (no headwall)	0.9
Headwall or headwall and wingwalls square-	0.5
edge	0.7
Mitered to conform to fill slope, paved or	0.5
unpaved slope	0.2
*End-Section conforming to fill slope	0.2
Beveled edges, 33.7° or 45° bevels	
Side- or slope-tapered inlet	
Box, Reinforced Concrete	
Headwall parallel to embankment (no	
wingwalls)	0.5
Square-edged on 3 edges	0.2
Rounded on 3 edges to radius of D/12	
or B/12 or beveled edges on 3 sides	
Wingwalls at 30° to 75° to barrel	0.4
Square-edged at crown	0.2

Crown edge rounded to radius of D/12 or beveled top edge	0.5
Wingwall at 10^o to 25^o to barrel	0.7
Square-edged at crown	0.2
Wingwalls parallel (extension of sides)	
Square-edged at crown	
Side- or slope-tapered inlet	
*Note: "End Sections conforming to fill slope," made of either metal or concrete, are the sections commonly available from manufacturers. From limited hydraulic tests they are equivalent in operation to a headwall in both inlet and outlet control. Some end sections, incorporating a closed taper in their design have a superior hydraulic performance. These latter sections can be designed using the information given for the beveled inlet.	

حدد الفواقد من خلال برميل البربخ، H، باستخدام الرسم البياني للتحكم في المخرج outlet control nomograph (الرسم البياني 5 أ) أو المعادلات (5) أو (6) إذا كان خارج نطاق النوموجراف.

إذا كانت قيمة Manning n المعطاة في مخطط بيانات التحكم في المخرج مختلفة عن Manning's n لقناة البربخ، اضبط طول قناة البربخ باستخدام الصيغة

$$L_1 = L(n_1/n)2$$

حيث L_1 = طول البربخ المعدل بالمتر أو القدم، L = طول البربخ الفعلي بالمتر أو القدم، n_1 (ft) = القيمة المطلوبة لمعامل مانينج، n = قيمة معامل مانينج من مخطط التحكم في

المخرج ، ثم استخدمL_1 بدلاً من طول البربخ الفعلي عند استخدام مخطط التحكم في المخرج.

باستخدام المسطرة straightedge، قم بتوصيل حجم البربخ (النقطة 1) بطول قناة البربخ على مقياس ke المناسب (النقطة 2). هذا يحدد نقطة على خط التحول (النقطة 3). باستخدام أداة الاستقامة straightedge مرة أخرى، قم بتمديد خط من التدفق (النقطة 4) عبر النقطة الموجودة على خط الدوران (النقطة 3) إلى مقياس فقدان السمت (H). قم بقراءة H، حيث H هو فقدان الطاقة من خلال البربخ، بما في ذلك فواقد المدخل والاحتكاك والمخرج. ملحوظة: المحاذاة الدقيقة للمسطرة ضرورية للحصول على نتائج جيدة من مخطط بيانات التحكم في المنفذ outlet control nomograph.

في هذه الحالة بالنسبة لـD = 1800، ارسم خطًا ممتدًا لخط التحول. تمديد الخط من منحنى ke = 0.2 لطول البربخ L = 60.96 إلى خط الدوران. اربط التقاطع بالتدفق المقابل = 5.663. ثم جد فقد السمت، H = 0.8م

احسب ارتفاع المنبع headwater elevation المطلوب للتحكم في المنفذ $EL_{ho} = El_o + H + H_o$، حيث EL_o هو الارتفاع المعكوس invert elevation عند المخرج. (إذا كان من المطلوب تضمين النهج والسرعات النهائية في الحسابات، قم بإضافة سمت السرعة عند المصب downstream velocity head وطرح سمت سرعة الاقتراب approach velocity head من الجانب الأيمن من المعادلة.

في هذه الحالة، جد– $El_o = El_i$

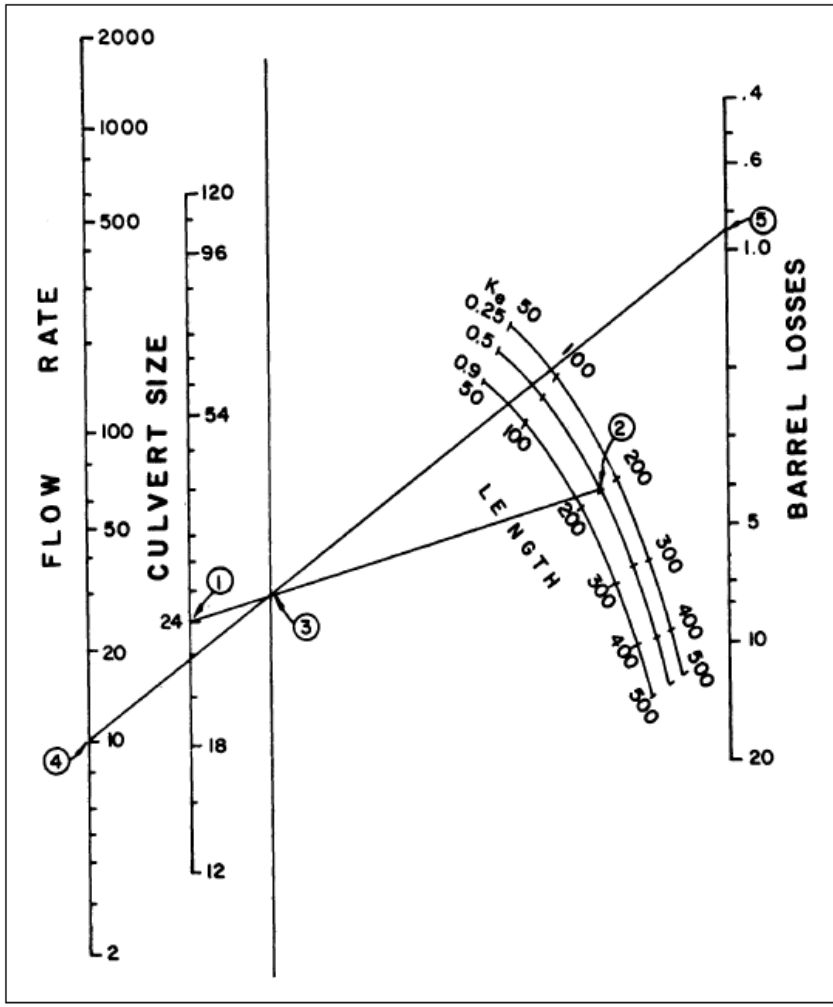
$El_o = El_i$ – culvert length*slope = 30.48 – 0.01*60.96 = 29.87m

ثم

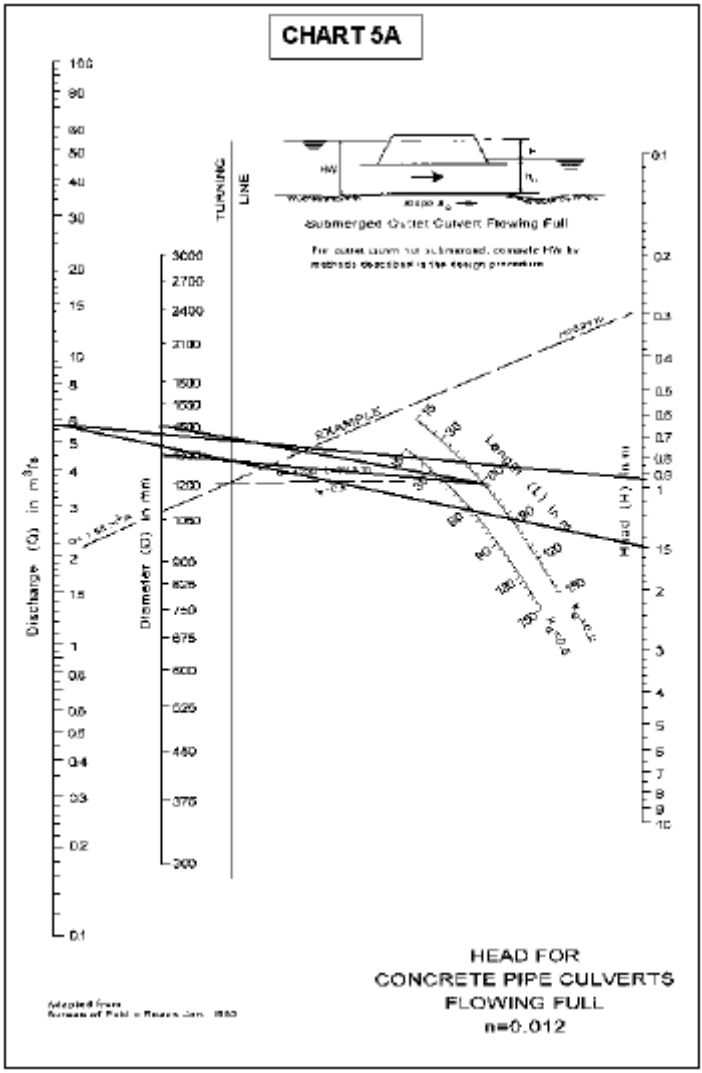
$$EL_{ho} = El_o + H + h_o = 29.87 + 1.5 + 0.8 = 32.17$$

$$H = \left[1 + k_e + \frac{29n^2L}{R^{1.33}}\right]\frac{V^2}{2g}$$

$$HW_o + \frac{V_u^2}{2g} = TW + \frac{V_d^2}{2g} + H_L$$



شكل (5–16): نوموغراف التحكم في المخرج



شكل (5–17): السمت لبربخ خرساني ممتلئ الدفق

إذا تجاوز ارتفاع المنبع للتحكم في المخرج outlet control headwater elevation ارتفاع منسوب المياه التصميمي design headwater elevation، فيجب تحديد تكوين بربخ جديد وتكرار العملية. بشكل عام، سيكون البرميل الموسع ضروريًا نظرًا لأن تحسينات المدخل ذات فائدة محدودة في التحكم في المخرج. في هذه الحالة:

الشكل التالي من معادلة مانينغ لتدفق القناة المكشوفة تحت الجاذبية، يتعلق بمعلمات قناة البربخ تحت شرط التحكم في المخرج.

هذه المعادلة مناسبة للاستخدام إذا كان $Q/AD^{0.5} \geq 4$ للوحدات الأمريكية أو إذا كان $Q/AD^{0.5} \geq 2.2$ لوحدات S.I.

المعلمات في المعادلة هي كما يلي:

h_L = the head loss in the culvert barrel when it is flowing full, in ft (m for S.I. units).فقد السمت في برميل البربخ عند التدفق الكامل

K_u = a constant equal to 29 for the U.S. units shown here or 19.63 for S.I. units.ثابت

n = the Manning roughness coefficient for the culvert material. It is dimensionless.معامل خشونة مانينغ لمادة البربخ

L = the length of the culvert barrel in ft (m for S.I. units). طول برميل البربخ

R = the hydraulic radius of the culvert barrel when it is flowing full in ft (m for S.I. units). Note that R = A/P, with A and P as defined below.نصف القطر الهيدروليكي للبرميل البربخ عندما يتدفق بالكامل

A = the cross-sectional area of flow for the culvert barrel in ft (m for S.I. units).مساحة المقطع العرضي للتدفق لبرميل البربخ

P = the perimeter of the culvert barrel in ft (m for S.I. units). محيط برميل البربخ

V = the velocity of flow in the culvert barrel in ft/sec (m/s for S.I. units). (Note that V = Q/A.)سرعة التدفق في برميل البربخ

Ke = the loss coefficient for the type of pipe entrance being used. It is dimensionless.معامل الفقدان لنوع مدخل الأنبوب المستخدم

Check value of $Q/AD^{0.5} = \frac{Q}{A*\sqrt{D}} = \frac{5.663}{\frac{\pi}{4}*1.8^2*\sqrt{1.8}} = 1.7$

Solving for v at outlet gives: $v = \sqrt{2gh_L\left[\frac{K_u n^2 L}{R^{1.33}}+1+K_e\right]}$

$$v = \sqrt{2*9.81*0.8\left[\frac{19.63*0.012^2*60.96}{\left(\frac{1.8}{4}\right)^{1.33}}+1+0.2\right]} = 2.8\ m/s$$

$$h_L = \left[\frac{K_u n^2 L}{R^{1.33}} + 1 + k_e\right]\frac{V^2}{2g}$$

(source:https://www.brighthubengineering.com/hydraulics-civil-engineering/127685-pipe-culvert-design-calculations/)

$$H = \left[1 + k_e + \frac{29\ n^2\ L}{R^{1.33}}\right]\frac{V^2}{2g}$$

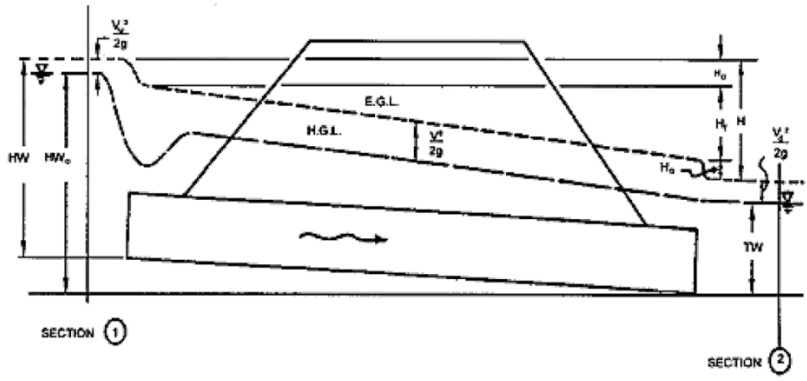
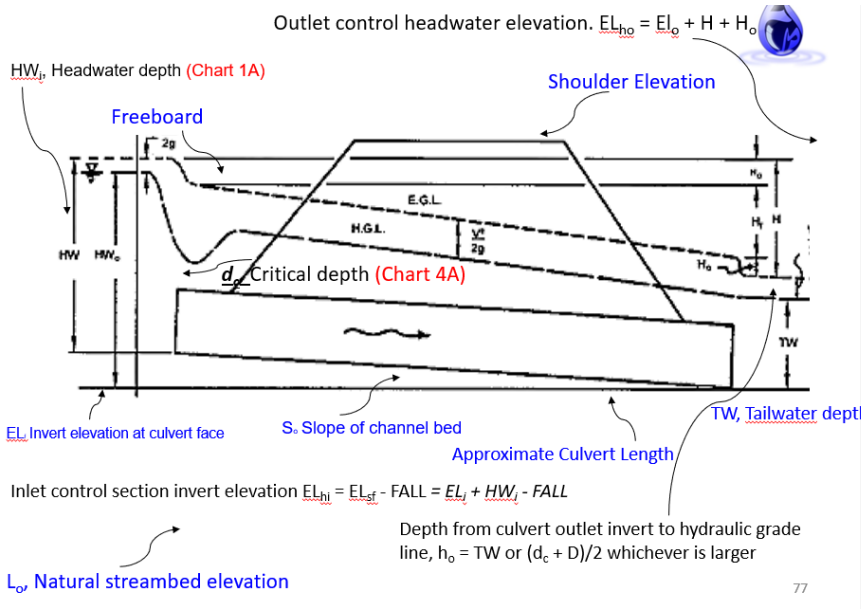


Figure III-8–Full Flow Energy and Hydraulic Grade Lines

شكل (5-18أ): البربخ المصمم



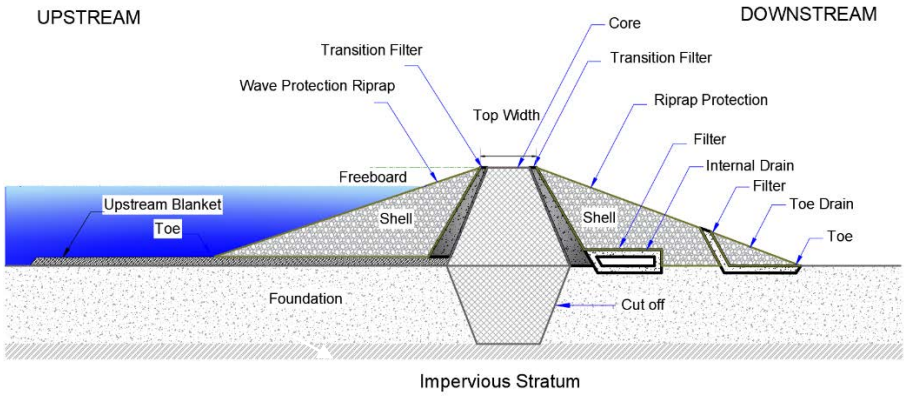
شكل (5–18ب): البربخ المصمم

5–2) منشآت السقوط (المنشآت المتساقطة) drop structures

تضم مآخذ القنوات Canal Intakes، ومجاري الصرف، والجدران، وقوى الأمواج على المنشآت البحرية.

5-3) منشآت التخزين

5-3-1) السدود Dams



شكل (5-19): سد

السد منشأة تمنع تدفق المياه وتجمعها في الخزان. السد عبارة عن منشأة يتم بناؤها عبر مجرى أو نهر أو مصب للاحتفاظ بالمياه. بعبارة أخرى، السد هو عبارة عن حاجز يتم بناؤه عبر مجرى أو نهر أو مصب للحفاظ على تدفق المياه والتحكم فيه لاستخدامات مثل إمدادات مياه الشرب والري والتحكم في الفيضانات وتوليد الطاقة الكهرومائية وما إلى ذلك. السدود تصنع من مواد مختلفة مثل الصخور والصلب والخشب.

5-3-1-1) مزايا السد

الاستخدامات الرئيسية للسد:

- يمنع تدفق المياه.
- يتراكم الماء في الخزان.
- الاحتفاظ الآمن بالمياه وتخزينها من مجرى أو نهر أو مصب.
- إمدادات المياه في مرافق الاستصلاح (إمدادات البلدية – المنزلية – الصناعية، الحياة البرية).

- إنتاج الطاقة الكهرومائية.
- حجز المياه خلال فترات فائض العرض لاستخدامها خلال فترات نقص الإمداد خلال فترات الجفاف.
- ري المزارع.
- تنظيم النهر River regulation.
- السيطرة على الفيضانات.
- الاحتفاظ والتحكم في الرواسب.
- زيادة عمق النهر للمساعدة في الملاحة الداخلية.
- تحسين جودة المياه.
- الزراعة المائية Aqua culture farming.
- تربية الأسماك.
- مرافق ترفيهية.
- إنتاج الطاقة الكهرومائية.
- الملاحة.
- تهوية الماء.
- بالنسبة للحيوانات، قد تشمل الفوائد ما يلي:
  - أعداد أكبر من الأسماك والطيور في الخزان
  - تنوع أكبر في الموائل

5-3-1-2) مساوئ السد

- الابتعاد عن البيئات الطبيعية، وفساد عمل الطبيعة.
- غمر مناطق تفريخ الأسماك.
- تمنع الهجرة الموسمية للأسماك.
- تعرض بعض أنواع الأسماك للخطر.
- غمر الإمكانات والاكتشافات الأثرية.
- يمكن أن تعزز الخزانات الأمراض إذا لم تتم صيانتها بشكل صحيح.

- يمكن أن تتبخر مياه الخزان بشكل ملحوظ.
- يعتقد بعض الباحثين أن الخزانات يمكن أن تسبب الزلازل.
- التأثيرات على البيئة والنظام البيئي للمنطقة:

– التغيرات في درجة الحرارة وتدفق الرواسب ونقلها في مجرى النهر من السد

– فقدان موطن المياه المتدفقة واستبدالها بموائل المياه الراكدة (الخزان)

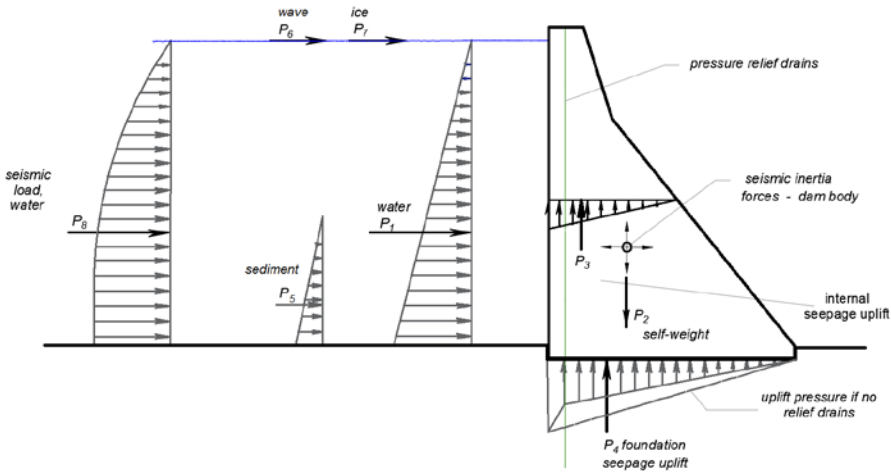
– توقف حركات الحيوانات على طول مجرى النهر

– التغيير المحتمل لمجتمع الأسماك في منطقة النهر

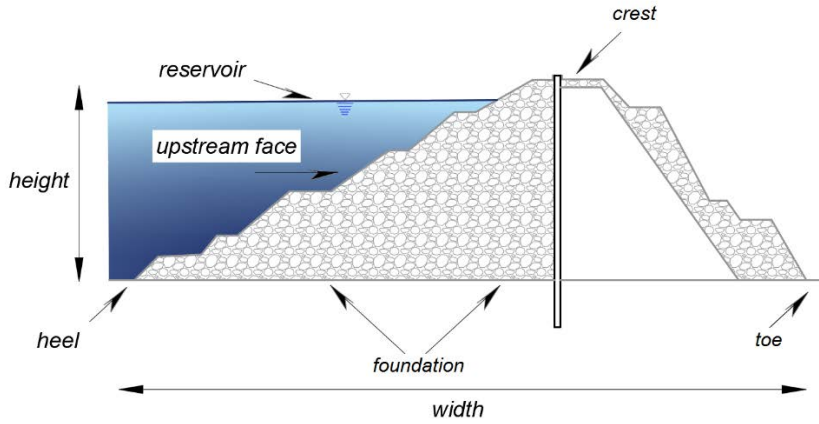
– انقطاع التبادل الجيني بين السكان الذين يسكنون مجرى النهر

– الحد من إيصال مغذيات النهر إلى الجزء السفلي من النهر بسبب فخ الخزان entrapment

– فقدان موطن السهول الفيضية والاتصال بين النهر والموائل المجاورة في المرتفعات



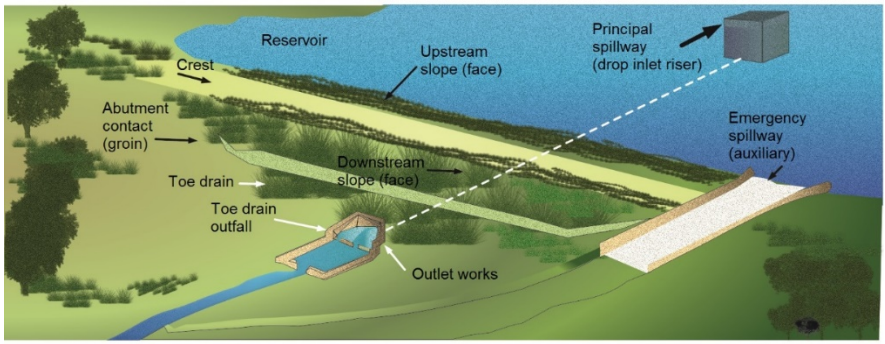
شكل (5–20): القوى الأساسية في السد الانسيابي



5-3-1-3) استخدامات المياه المخزنة

تشمل استخدامات المياه المخزنة في مرافق الاستصلاح ما يلي:

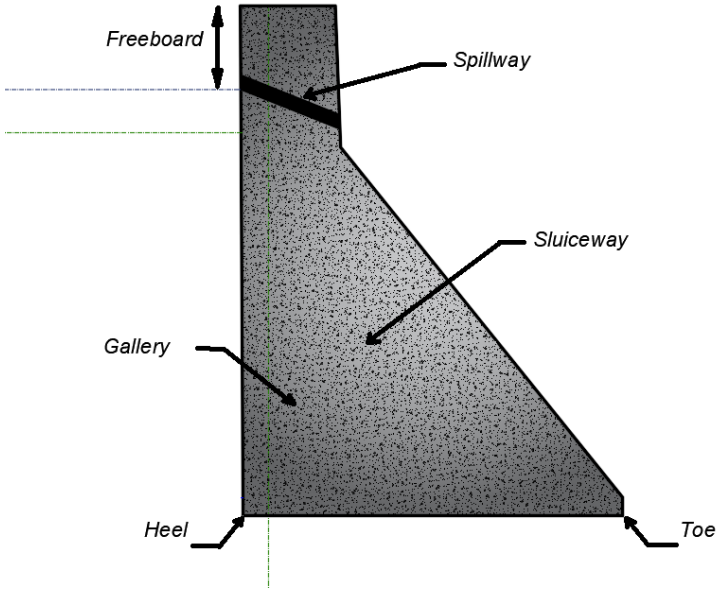
- الري
- إمدادات المياه البلدية والشرب والمنزلية
- إمدادات المياه الصناعية
- الاستخدامات الترفيهية
- الأسماك والحياة البرية
- إنتاج الطاقة الكهرومائية وتوليد الطاقة
- أغراض أخرى.



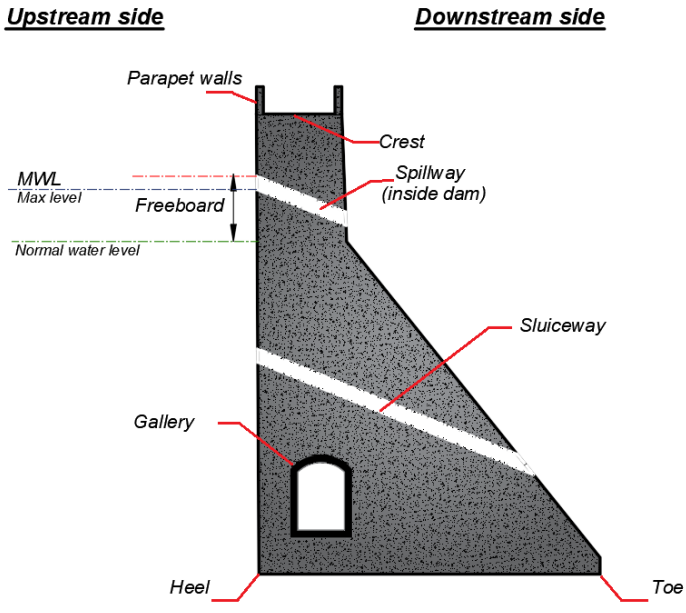
شكل (5-21): مقطع في السد

5-3-1-4) هيكل السد

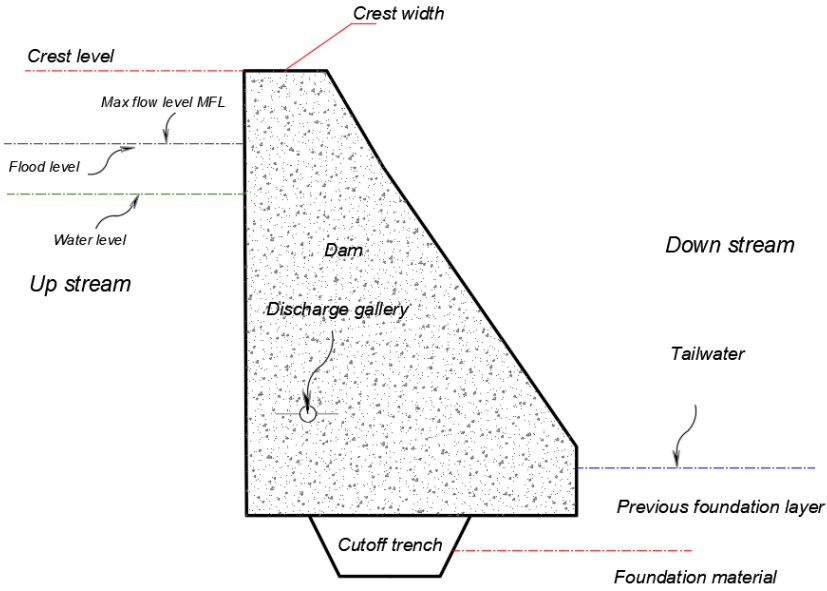
- الكعب Heel: اتصال مع الأرض على الجانب أعلى التيار.
- القدم Toe: اتصال على الجانب أدنى اتجاه التيار المصب.
- دعامة Abutment: جوانب الوادي التي يرتكز عليها هيكل السد.
- صالات عرض Galleries: غرف صغيرة مثل الهيكل متروك داخل السد لفحص العمليات.
- إنشاء أنفاق التحويل Diversion tunnel: لتحويل المياه قبل بناء السد. هذا يساعد في الحفاظ على قاع النهر جافًا.
- مجاري الصرف Spillways: هي أنفاق بالقرب من الجزء العلوي لإخراج المياه الزائدة من الخزان إلى جانب مجرى النهر.
- طريق السد Sluice way: فتحة في السد بالقرب من مستوى الأرض، تستخدم لإزالة تراكم الطمي في جانب الخزان.



شكل (5-22أ): أجزاء السد



شكل (5-22ب): أجزاء السد



شكل (5-22ج): أجزاء السد

5-1-3-5) تصنيف السدود

بناءً على أو وفقاً لـ:

1. الدور والعمل المُؤَدَّى.
2. ارتفاع السد.
3. التصميم الهيدروليكي.
4. مواد البناء.
5. الحجم والسعة.
6. التصميم الساكن (الاستاتيكي) لجسم السد.
7. السلوك الهيكلي.

التصنيف حسب الحجم

سد كبير (كبير)Large (Big) dam

سد صغيرSmall dam

سد كبير (ضخم) Large (Big) dam

اللجنة الدولية للسدود الكبيرة International Commision on Large Dams, (ICOLD) تفترض وجود سد كبير عندما يكون ارتفاعه أكبر من 15 متراً.

إذا كان ارتفاع السد بين 10 و 15 مترًا ومطابقًا للمعايير التالية، فإن ICOLD تقبل السد على أنه كبير:

1. إذا كان طول القمة crest length أكبر من 500 متر
2. إذا كانت سعة الخزان reservoir capacity أكبر من مليون م^3
3. إذا كان تصريف الفيضان flood discharge أكثر من 2000 م^3/ثانية
4. إذا كانت هناك بعض الصعوبات في بناء الأساس.

التصنيف حسب ارتفاع السد

- السد العالي أو السد الكبير *High Dam or Large Dam*: إذا كان ارتفاع السد أكبر من 100 م
- سد متوسط Medium Dam إذا كان ارتفاع السد بين 50 م و 100 م
- سد منخفض أو سد صغير Low Dam or Small Dam إذا كان ارتفاع السد أقل من 50 م

التصنيف حسب التصميم الثابت لجسم السد

- السدود الساترة Embankment Dams (ملء الأرض Earth fill، الصخور rockfill)
- السدود الخرسانية Concrete dams (بما في ذلك سدود البناء masonry dams)
- سدود الجاذبية Gravity Dams

- السدود المقوسة Arch Dams
- سدود الدعامة Butress Dams
- قوس متعدد Multiple arch
- حجر البناء Stone masonry
- سدود الجاذبية الحجرية stone-masonry gravity dams
- السدود القوسية الحجرية stone-masonry arch dams
- السدود الخشبية Timber dams
- سدود الوعاء الفولاذي Steel coffer dams
- السدود المركبة Composite Dams

التصنيف حسب الوظيفة Classification based on function

- سد التخزين Storage dam: لحجز المياه للاستخدامات التنموية.
- سد الحاجز Detention dam: لتعليق المياه بشكل مؤقت لتأخير تدفق الفيضانات.
- سد التحويل Diversion dam: لتحويل مجرى المياه إلى قنوات أو أنظمة نقل أخرى.
- سد الوعاء Coffer dam: حاوية مانعة لتسرب المياه تضخ لتجف للسماح بأعمال البناء تحت خط الماء، كما هو الحال عند بناء الجسور أو إصلاح السفينة.
- سد الأنقاض Debris dam: ترسبت المواد البركانية في الوادي لتشكل سدودًا طبيعية غير مستقرة تسد المصارف الموجودة مسبقًا؛ قد تتشكل البحيرات خلف الحجز impoundment.

التصنيف حسب التصميم الهيدروليكي

- السد الفائض Overflow dam: لنقل التصريف فوق قممها.
- السد غير الفائض Non-overflow dam: الذي لم يتم تصميمه بحيث يتم تجاوزه أو اعتلاؤه overtopped.

التصنيف حسب مواد البناء

- السد الصلب Rigid dam: يتم تشييده بمواد صلبة مثل الحجر أو البناء أو الخرسانة أو الفولاذ أو الأخشاب.
- السد غير الصلب Non-rigid dam: يتم تشييده بمواد غير صلبة مثل التربة والمخلفات والصخور وما إلى ذلك.
- السد الترابي Earthen dam: الحصى والرمل والطمي والطين وما إلى ذلك.
- سدود المخلفات Tailings dam: نفاية أو قمامة يتم الحصول عليها من المناجم.
- سد الصخور Rockfill dam: مادة صخرية أدنى اتجاه التيار تدعم مادة مانعة لتسرب المياه على وجهها.
- سد روكفيل المركب Rockfill composite dam: على جانب أدنى اتجاه التيار وتمتلئ بالتربة على جانب أعلى اتجاه التيار.
- السدود الترابية Earthen dams مزودة بحجر البناء أو قسم الخرسانة الفائضة (مفيض spillway). تسمى هذه السدود بالسدود المركبة.
- في بعض الحالات، يتم إنشاء جزء من طول السد كسد ترابي earth dam (باستثناء المفيض أو قناة تصريف المياهspillway) والباقي كسد بناء masonry dam. تسمى هذه السدود بالبناء والسدود الترابية masonry cum earthen dams.
- سد الخرسانة / البناء Concrete / Masonary dams
- سدود الردم الترابي Earthfill dams
- السدود الترابية والصخرية Earth and rockfill dams
- سدود مدافن الصخور الخرسانية Concrete faced rockfill dams

التصنيف حسب السعة

- سدود صغيرة
- سدود متوسطة
- سدود كبيرة

- سد الجاذبية Gravity dam: يُشَيَّد من الخرسانة أو الأحجار stone masonry، ويُصَمّم لحجز المياه عن طريق استخدام وزن المادة وحدها في المقام الأول لمقاومة الضغط الأفقي للمياه التي تدفع ضدها. الميول المواجهة غير متشابهة، وعادة تكون شديدة الانحدار في اتجاه مجرى النهر وقريبة من المنبع الرأسي والسدود لها جوانب رفيعة نسبيًا اعتمادًا على النوع. تقاوم هذه السدود الدفع الأفقي للمياه تمامًا بوزنها. تستخدم هذه عادة لمنع التدفقات من خلال الخوانق الضيقة.
- السد القوسي Arch dam: هو سد خرساني منحني أعلى اتجاه التيار في المسقط الأفقي.
- سد الدعامة Buttress dam (السد المجوف hollow dam): هو سد ذو جانب صلب ومقاوم للماء أعلى اتجاه التيار يتم دعمه على فترات على الجانب أدنى مجرى النهر بواسطة سلسلة من الدعامات buttresses أو الدعامات supports. يمكن أن تتخذ عدة أشكال – قد يكون الوجه مسطحًا أو منحنيًا.
- سد الردميات Embankment dam: هو سد صناعي كبير، يتم إنشاؤه عادةً عن طريق وضع وضغط كومة شبه بلاستيكية معقدة complex semi–plastic mound من تركيبات مختلفة من التربة أو الرمل أو الطين أو الصخور. تُشَيّد من ردم أرضي و/أو ردم صخري. متشابهة وميول وجه المنبع والمصب هي زاوية معتدلة، مما يعطي اختيارًا واسعًا وحجمًا عاليًا للبناء بالنسبة للارتفاع.

5-3-1-6) السدود: نقاط التركيز Dams: focus points

تختلف السدود عن جميع هياكل الهندسة المدنية الرئيسة الأخرى في عدد من الاعتبارات المهمة:

– كل سد فريد من نوعه، كبيراً كان أو صغيراً؛ نظراً لأن جيولوجيا الأساسات، وخصائص المواد، وهيدرولوجيا مستجمعات المياه، وما إلى ذلك، جميعها خاصة بالموقع.

- يجب أن تعمل السدود عند التحميل التصميمي أو بالقرب منه لفترات طويلة.
- السدود ليس لها عمر إنشائي structural lifespan؛ ومع ذلك، قد يكون لها عمر افتراضي notional life للأغراض المحاسبية، أو عمر وظيفي functional lifespan تمليه عملية الترسيب في الخزان.
- الغالبية العظمى من السدود مصنوعة من التربة earthfill، مبنية من مجموعة من التربة الطبيعية؛ هذه هي أقل مواد البناء اتساقًا.
- تجمع هندسة السدود بين مجموعة من التخصصات، على سبيل المثال الانشاء وميكانيكا الموائع، والجيولوجيا والجيوتقنية، وهيدرولوجيا المياه والهيدروليكا، إلى درجة فريدة من نوعها.
- هندسة السدود تعتمد بشكل حاسم على تطبيق الحكم الهندسي المستنير informedengineering judgement.

باختصار، هندسة السدود هي تخصص متميز، واسع القاعدة ومتخصص. يُطلَب من مهندس السد توليف حلول التصميم التي تمثل التوازن الأمثل بين الاعتبارات التقنية والاقتصادية والبيئية، دون المساومة على السلام.

جدول (5–7) يبين أسلوب اختيار السد حسب النوع والخواص.

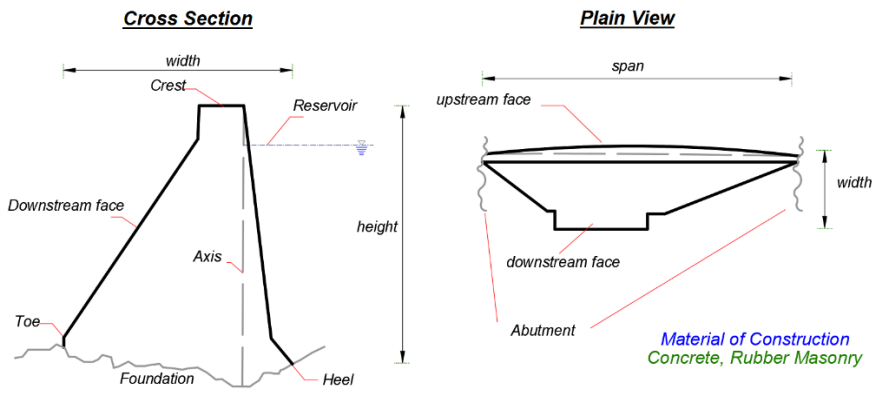
جدول (5–7): اختيار السد حسب النوع والخواص	
نوع السد	**الخواص الجوهرية**
Embankments	
Earthfill	تصلح لأساسات الصخور والتربة المضغوطة والأودية الواسعة. يمكنها استقبال هبوط تفاضلي محدود عند وجود قلب بلاستيكي عريض نسبياً.

	Cut-off to sound, i.e. less permeable, horizons required اجهادات تلامسية قليلة. تحتاج لمجموعة مواد لقلب ومناطق الكتفيات والمرشحات الداخلية وغيرها.
Rockfill	يفضل الأساس الصخري. يمكنها تقبل القليل من التغيرات في النوعية والنحر والتآكل. Cut-off to sound horizons required الصخر مناسب لكل أحوال المناخ. تحتاج مواد للقلب والمرشحات الخ.
Concrete	
Gravity	تناسب متسع من الاودية شريطة الحفر للصخر أقل من 5 متر. تتقبل تعرية محدودة للصخر. لابد من التأكد من عدم الاستمرارية في الصخر بالنسبة للانزلاق. اجهاد تلامسي متوسط. تحتاج لأسمنت مستورد.
Buttress	بما انها سد انسيابي غير أن الاجهاد التلامسي العالي يحتاج لصخور مناسبة. هنالك توفير 30 الى 60% في الخرسانة مقارنة بالسد الانسيابي.
Arch & Cupola	تناسب الgorger الضيقة اعتماداً على الصخر المناسب المنتظم ذي المتانة وقليل التشوهات في الأساس وخاصة في الدعامات.

	حمل دعامات عالي. 50 الى 85% توفير في الخرسانة مقارنة بالسد الانسيابي gravity dam.

5-3-1-7) سدود الجاذبية Gravity dams

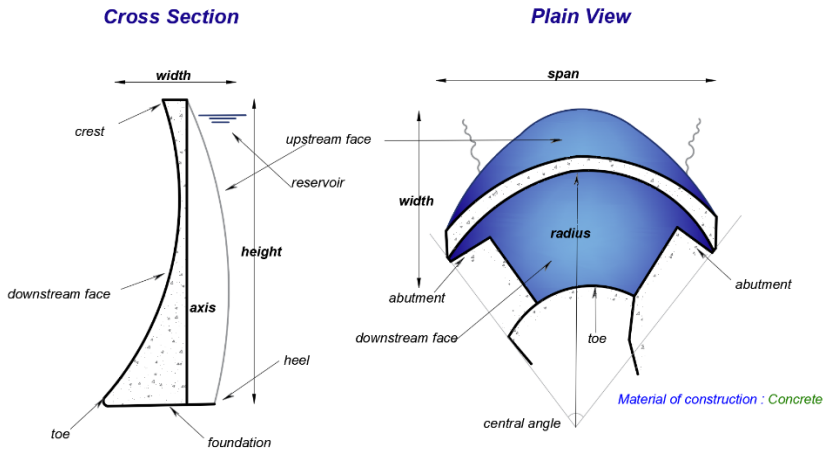
سدود الجاذبية هي السدود التي تقاوم الاتجاه الأفقي للمياه horizontal thrust of the water بالكامل من خلال وزنها. تَستخدِم سدود الجاذبية شكلها الثلاثي والوزن الهائل لصخورها وبنيتها الخرسانية لحجز المياه في الخزان. تُستخدم سدود الجاذبية الخرسانية عادةً لسد التيارات block streams عبر الوديان الضيقة narrow gorges.



شكل (5-23أ): تشييد السد

5-3-1-8) السدود المقوسة Arch dams

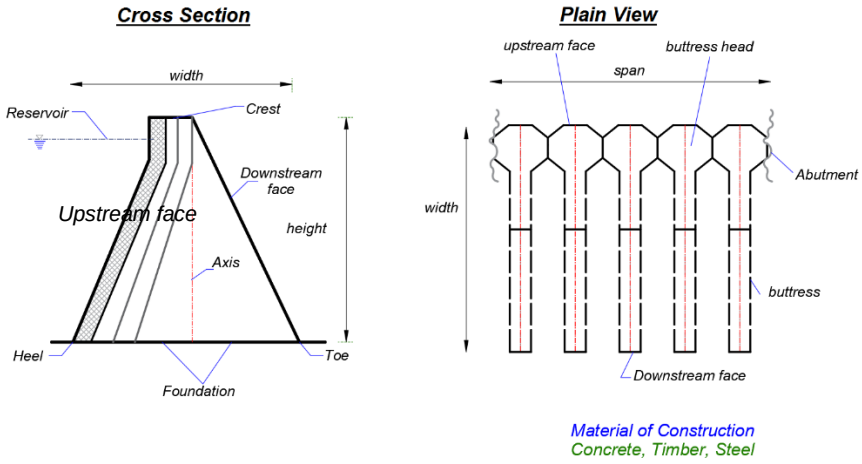
السد القوسي هو سد منحني يعتمد على عمل القوس لمتانته. السدود المقوسة أرق thinner وبالتالي تتطلب مواد أقل من أي نوع آخر من السدود. تَستخدِم السدود المقوسة قوة القوس لإزاحة حمولة المياه الموجودة خلفها على الجدران الصخرية التي بنيت فيها. تُعتبَر السدود المقوسة جيدة للمواقع الضيقة وذات الدعامات abutments القوية.



شكل (5-23ب): تشييد سد القوس

5-3-1-9) سدود الدعامة Butress dams

سد الدعامة هو سد جاذبية مدعوم بدعامات هيكلية. سدود الدعامة هي السدود التي يتم فيها تثبيت الوجه بواسطة سلسلة من الدعامات. الدعامة Buttress هي دعامة تنقل القوة من سقف أو جدار إلى هيكل داعم آخر. يتم استخدام عدة أعمدة معززة لدعم سد له هيكل رقيق نسبيًا. لهذا السبب، غالبًا تستخدم هذه السدود نصف كمية الخرسانة الموجودة في سدود الجاذبية gravity dams. يمكن أن يتخذ السد عدة أشكال – قد يكون الوجه مسطحًا أو منحنيًا. يمكن اعتبار هذا النوع من الهياكل حتى لو كانت صخور الأساس أضعف قليلاً.



شكل (5-23ج): تشييد السد

5-3-1-10) سدود الردم (ردم الصخور أو سدود ملء التربة) Embankment dams(rock fill or earth fill dams)

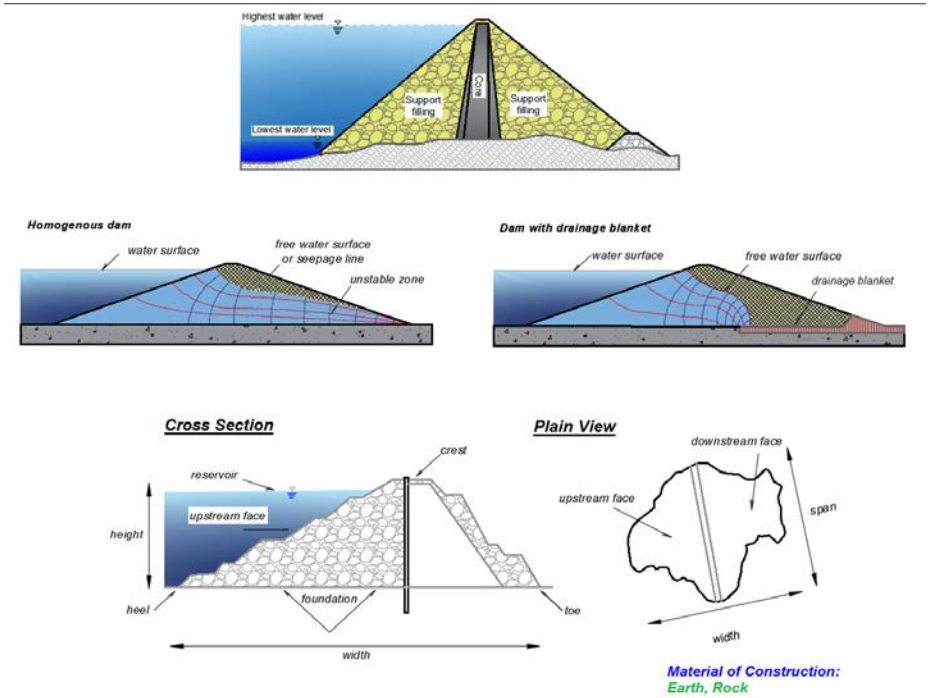
هي سدود ضخمة مشيدة من التربة أو الصخور، وتعتمد على وزنها لمقاومة تدفق المياه. تتكون في الغالب من مواد طبيعية مثل الطين والرمل والحصى وما إلى ذلك. تتشابه منحدرات الوجه في المنبع والمصب وذات زاوية معتدلة، مما يعطي قطاعًا عريضًا وحجمًا عاليًا للبناء بالنسبة للارتفاع. يتم وضع قلب منيع Impervious core في منتصف جسم السد. بشكل عام، يُستخدَم ريبراب riprap للتحكم في التعرية.

5-3-1-11) السدود الترابية Earth fill dams

السدود الترابية من ردم الأرض هي أكثر أنواع السدود شيوعًا ويتم بناؤها على أي ارتفاع. تُصمَّم كقسمٍ غير فائض بمجرى منفصل non-overflow section with separate spillway. أسباب هذا الاستخدام الواسع النطاق لسدود الردم هو:

- متطلبات الأساسات ليست صارمة مثل السدود الأخرى
- التربة المحلية المتوفرة هي مادة البناء الرئيسة
- المهارة العالية غير مطلوبة

- لا تتطلب خططاً خاصة
- يمكن استخدام معظم آلات تحريك التربة



شكل (5-24): مواد تشييد العبارة

5-3-1-12) السدود المركبة Composite dams

السدود المركبة عبارة عن مجموعات من نوع واحد أو أكثر من أنواع السدود. في أغلب الأحيان يكون جزء كبير من السد إما جسرًا embankment أو سد جاذبية gravity dam، ويكون القسم المسؤول عن توليد الطاقة بمثابة دعامة buttress أو قوس arch.

5-3-1-13) اختيار موقع السد site selection of a dam

فيما يلي العوامل المهمة التي تؤخذ في الاعتبار عند اختيار موقع السد:

1. خصائص مستجمعات المياه
2. طول السد
3. ارتفاع السد
4. شروط الأساس
5. توافر موقع مفيض مناسب
6. توافر مواد البناء المناسبة
7. سعة التخزين
8. تكلفة البناء والصيانة
9. إمكانية الوصول إلى الموقع
10. خيارات تحويل النهر أثناء البناء
11. تكلفة التعويض عن الممتلكات وحيازة الأراضي
12. جودة المياه
13. نقل الرواسب
14. الظروف البيئية

5-3-1-14) الدراسات الجيولوجية الهندسية لبناء السدود Engineering geological studies for dam construction

- دراسة الاسترداد Reconnaıssance
- دراسات أولية في منطقة الخزان وموقع السد
- مسح مفصل في موقع السد
- العوامل المؤثرة في اختيار نوع السد
- العوامل المؤثرة في مكان محاور السد
- التأثيرات البيئية للسدود

دراسة الاسترداد Reconnaissance study

- تقييم البيانات الموجودة في أرشيف المؤسسات، مكتب التصميم، ..... الخ
- التحقيق الميداني لفترة محدودة (دراسة استطلاعية)
- بعض الخرائط صغيرة الحجم، على سبيل المثال 1 / 25.000 أو 1 / 50.000
- بعض البيانات الهيدروليكية حول الحوض
- منطقة هطول الأمطار
- الجريان السطحي، الحد الأقصى للتصريف { maximum discharge Q = R/t (m^3/s)}
- معامل الجريان السطحي Modulus of Runoff ($R/t/m^2$ ~ $R/t/km^2$)
- بعض الاقتراب من منطقة الخزان، وموقع السد ونوعه وارتفاعه ... إلخ
- الدراسات الضوجيولوجية Photogeological
- التقرير الأولي

دراسات أولية في منطقة الخزان وموقع السد Preliminary studies at the reservoir area & dam site

- تحقيقات موقع السد
- موقع محور السد
- موقع نفق التحويل
- موقع المجاري spillway
- موقع محطة التوليد powerhouse... الخ
- الدراسات الجيولوجية
- المسح الجيوفيزيائي
- المسوحات الجوفية
- الآبار Boreholes
- مس الدهاليز وصالات الدفق galleries
- الثقوب Pitholes

- المسح للمواد
- المسح الميداني
- الفحوصات المخبرية
- تحقيقات استقرار المنحدر
- تحليل مخاطر الزلازل والمخاطر
- الدراسات البيئية
- احتمالات التسرب من منطقة الخزان
- احتمالات التسرب من موقع السد
- التآكل والترسيب والتغرين Erosion, sedimentation & siltation

مسح مفصل في موقع السد Detailed investigation at dam site

- المسوحات الطبوغرافية
- الخرائط الجيولوجية 5000/1 – 1000/1 أو 500/1
- التنقيب تحت الأرض، الآبار، ....الخ
- الدراسات الهيدروجيولوجية
- تحليل استقرار المنحدر

العوامل المؤثرة في اختيار نوع السد Factors affecting to the dam type selection

- التضاريس – شكل الوادي
  - وادي ضيق على شكل حرف V: سد القوسArch Dam
  - وادي ضيق أو متوسط على شكل حرف U: سد الجاذبية Gravity / الدعامةButtress Dam
  - وادي واسع: سد الحاجز أو الردمية Embankment Dam
- الجيولوجيا وحالة الأساس
  - قدرة تحمل التربة التحتية Bearing capacity of the underlying soil
  - هبوط الأساس Foundation settlements

- نفاذية تربة الأساس

- أساس الصخر الصلد Solid Rock: جميع الأنواع
- أساس الحصى والرمل الخشن: Embankment/Concrete Gravity Dam ($H \leq 15$ m)
- أساس الطمي والرمل الناعم: ردمية Embankment / سد الجاذبية Gravity Dam ($H \leq 8$ m)
- توافر مواد البناء
- حجم وموقع قناة تصريف المياه Spillway
- منطقة الزلازل
- السلامة
- الارتفاع
- المنظر الجمالي
- العمالة المؤهلة
- التكلفة الإجمالية
- الظروف المناخية
- اعتبارات عامة

العوامل المؤثرة في مكان محاور السد Factors affecting place of dam axis

- التضاريس
- الجيولوجيا
- المواد
- توافر موقع تصريف المياه Spillway
- الاشتقاق
- رواسب في المياه المتدفقة
- جودة المياه
- تكاليف المصادرة

- احتمال وقوع زلزال
- حقوق مياه دول المصب

الآثار البيئية للسدود Environmental impacts of dams

- الآثار البيئية لمرحلة بناء السدود
- التأثيرات البيئية للخزانات reservoirs
- تأثيرات السدود على جودة المياه

الآثار البيئية لمرحلة بناء السدود Environmental impacts of construction phase of dams

- تلوث الأنهار
- التآكل
- فقدان الرؤية الجمالية
- تلوث الهواء
- التلوث الضوضائي
- الغبار

التأثيرات البيئية للخزانات Environmental impacts of reservoirs

- فقدان الأرض
- تدمير الموائل Habitat: تدمر المنطقة التي يغطيها الخزان، مما يسفر عن مقتل أي موطن وموئل كان موجودًا هناك مسبقًا
- ضياع الأماكن الأثرية والتاريخية
- فقدان الرواسب المعدنية
- فقدان التكوينات الجيولوجية الخاصة
- تخفيض الرؤية الجمالية
- الترسيب

- تغيير في نظام تدفق النهر وتأثيرات الفيضانات
- الزلازل التي يسببها الخزان
- تغير المناخ والأنواع النباتية

تأثير السدود على جودة المياه *Effects of dams to water quality*

- تغير في درجة الحرارة
- العكارة
- الغازات المذابة في الماء
- تحتوي المياه التي يتم تصريفها من المجاري spillway على 110–120٪ نيتروجين مشبع. قد تكون هذه الكمية مدمرة لحياة الأسماك
- التخمة والتخثث
- تعني زيادة الغطاء النباتي. في حالة وجود الطحالب والنباتات الأخرى في الماء، فإن جودة تلك المياه تزداد سوءًا

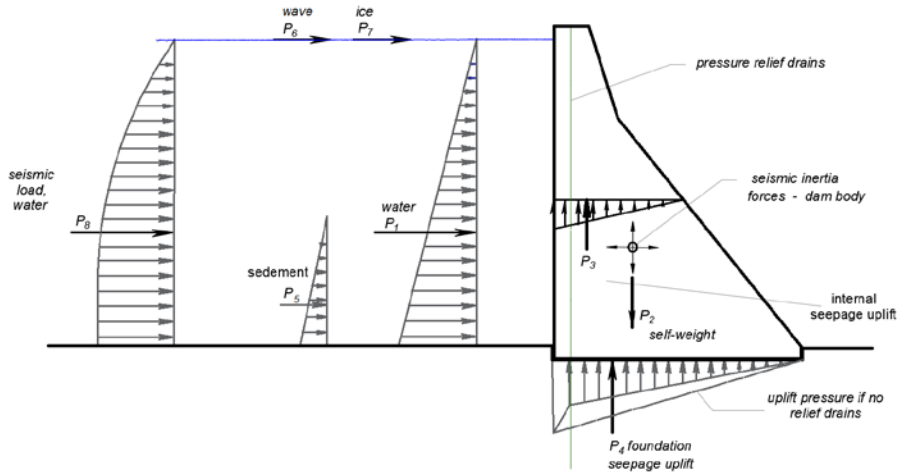
5-3-1-15) القوى المؤثرة على السدود

يتم تحديد الأحمال الأولية Primary Loads على أنها قابلة للتطبيق عمومًا وذات أهمية قصوى لجميع السدود، بغض النظر عن نوعها، على سبيل المثال المياه وأحمال التسرب ذات الصلة، وأحمال الوزن الذاتي.

تكون الأحمال الثانوية Secondary loads عمومًا تقديرية وذات حجم أقل (مثل حمل الرواسب) أوبدلاً من ذلك، ذات أهمية كبيرة فقط لأنواع معينة من السدود (مثل التأثيرات الحرارية داخل السدود الخرسانية).

يتم تحديد الحمل الاستثنائي Exceptional Load على أساس التطبيق العام المحدود أو وجود احتمال ضئيل لحدوثه. (مثل التأثيرات التكتونية، أو الأحمال بالقصور الذاتي المرتبطة بالنشاط الزلزالي).

تم تحديد الأحمال الأولية والمصادر الثانوية والاستثنائية الأكثر أهمية للتحميل بشكل تخطيطي في الشكل. استخدم مقطع سد الجاذبية للراحة التوضيحية.



شكل (5-25): الأحمال الرئيسة على السد

الأحمال الأولية Primary Loads:

- حمل الماء Water Load: عبارة عن توزيع هيدروستاتيكي للضغط مع القوة الناتجة الأفقية (P_1). من الملاحظ أن المكون الرأسي للحمل سيكون موجودًا أيضًا في حالة الخليط السطحي في المنبع upstream face batter، وأن أحمال مياه الذيل المكافئة equivalent tailwater loads قد تعمل على وجه المصب أدنى اتجاه التيار.
- حمل الوزن الذاتي Self Weight load: يحدد ذلك فيما يتعلق بوزن الوحدة المناسب للمادة. لتحليل المرونة البسيط، يعتبر الناتج (P_2)، يعمل من خلال النقطة الوسطى centroid للمقطع.
- أحمال التسرب Seepage Loads: تتطور أنماط تسرب التوازن داخل السد وتحته، على سبيل المثال في المسام والانقطاعات، مع تحديد الأحمال العمودية الناتجة على أنها رفع داخلي وخارجي P_3 و P_4، على التوالي.

الأحمال الثانوية Secondary Loads:

- حمل الرواسب Sediment load: يولد الطمي المتراكم وما إلى ذلك دفعًا أفقيًا، يُعتبر حملًا هيدروستاتيكيًا إضافيًا مكافئًا مع الناتج الأفقي (P5).
- حمل الموجة الهيدروديناميكية Hydrodynamic wave load: هذا حمل محلي عابر وعشوائي (P6)، ناتج عن حركة الموجة ضد السد (ليست مهمة في العادة).
- حمل الجليد Ice Load: قد يكون الدفع الجليدي (P_7)، الناتج عن التأثيرات الحرارية وسحب الرياح تتطور في ظروف مناخية أكثر تطرفًا (ليست مهمة في العادة).
- الحمل الحراري Thermal Load: (السدود الخرسانية)، وهو حمل داخلي ناتج عن فروق درجات الحرارة المرتبطة بالتغيرات في الظروف المحيطة ambient conditions ومع ترطيب الأسمنت وتبريده cement hydration and cooling (غير موضح).
- التأثير التفاعلي Interactive effect: تأثير داخلي، ناشئ عن الصلابة النسبية والتشوهات التفاضلية للسد وتعزى إلى الاختلافات المحلية في صلابة الأساس وعوامل أخرى، على سبيل المثال الحركة التكتونية (غير موضحة).
- الحمل الهيدروستاتيكي للدعامة Abutment hydrostatic load: حمل تسرب داخلي في كتلة الصخور الداعمة (هذا ذو أهمية خاصة لسدود القوس arch والقبة cupola).

حمولة استثنائية Exceptional Load:

- الحمل الزلزالي Seismic Load: تتولد أحمال تذبذبية أفقية ورأسية من القصور الذاتي فيما يتعلق بالسد والمياه المحتجزة عن طريق الاضطراب الزلزالي. بالنسبة للسد، يتم عرضهم بشكل رمزي للعمل من خلال النقطة الوسطى للمقطع section centroid. بالنسبة لقوى القصور الذاتي، يظهر الدفع الساكن المكافئ المبسط simplified equivalent static thrust (P8).

- الأحمال التكتونية Tectonic Loads: قد يؤدي التشبع أو الاضطراب بعد التنقيب العميق في الصخور إلى حمل نتيجة للحركات التكتونية البطيئة.

تجميع الأحمال load combination

يُصَمَّم السد للتعامل مع أكثر مجموعات الأحمال ضررًا نظرًا لوجود احتمالية معقولة لحدوثها في وقت واحد.

لظروف البناء: السد مكتمل والخزان فارغ ولا توجد مياه في الذيل tail water

مع قوى الزلزال

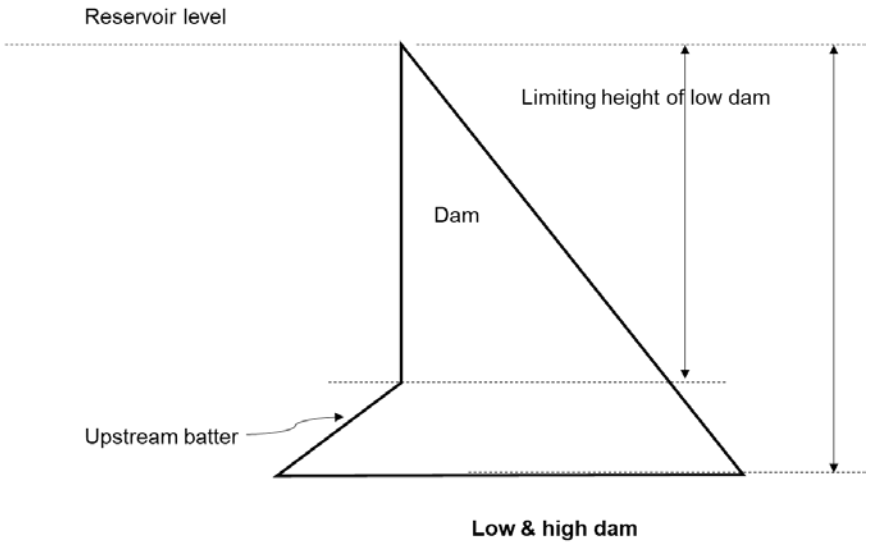
بدون قوى الزلزال

لظروف التشغيل العادية؛ الخزان ممتلئ وظروف مياه الذيل العادية والرفع العادي وحمل الطمي

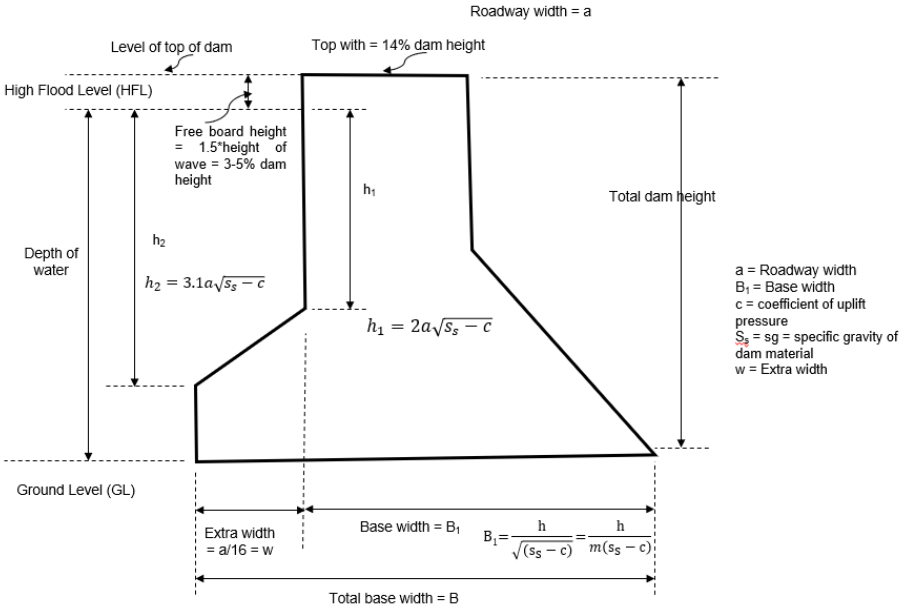
مع قوى الزلزال

بدون قوى الزلزال

لظروف تصريف الفيضان: الخزان عند مستوى الفيضان الأقصى، جميع بوابات مفيض التصريف مفتوحة، مياه الذيل عند مستويات الفيضان، الرفع العادي وحمل الطمي



شكل (5-26): تشييد السد



مثال (5-5): سد الجاذبية من أحجار البناء Stone masonry gravity dam

من البيانات الواردة أدناه، قم بتصميم سد حجري بالجاذبية بمظهر عملي.

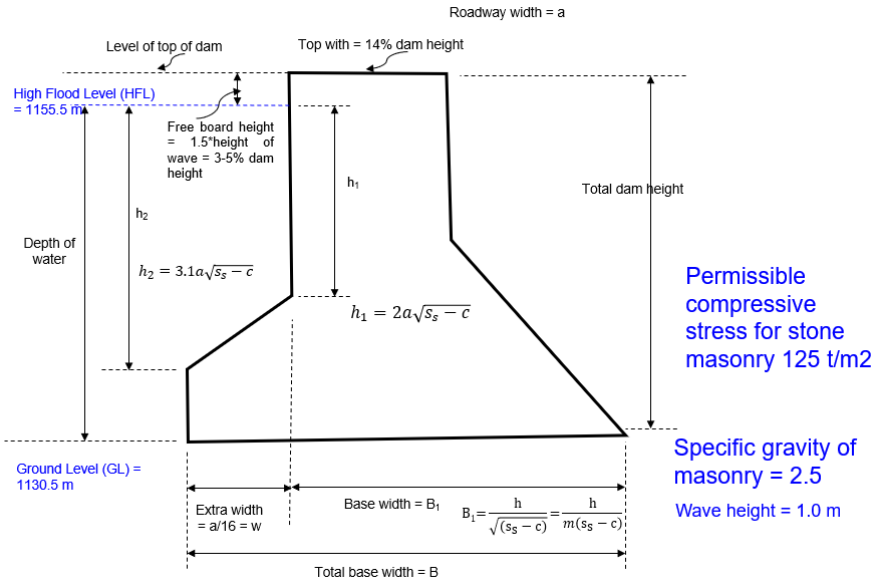
Ground level, R.L (relative level) = 1130.5 m مستوى الأرض (المستوى النسبي)

R.L of HFL (high flood level) = 1155.5 m مستوى الفيضان العالي

Wave height = 1.0 m ارتفاع الموج

Specific gravity of masonry = 2.5 الثقل النوعي للسد

Permissible compressive stress for stone masonry 125 t/m^2 إجهاد الضغط المسموح به لأعمال البناء الحجرية



الحل:

- المعطيات: البيانات الواردة بالسؤال لخواص السد.
- المطلوب: تصميم سد حجري
- جد المسافة الحرة

Free board height = 1.5 x height of wave = 1.5 x1.0 = 1.5 m

- جد المستوى المطلوب أعلى السد

Required level of top of dam = 1155.5 + 1.5 = 1157 m

- جد ارتفاع السد

Height of dam, h = 1157 – 1130.5 = 26.5 m

- حدد ما إذا كان السد منخفضًا أم مرتفعًا باستخدام علاقة تحديد ارتفاع السد

Establish whether dam is low or high dam using the relationship for limiting height of dam:

$$h_{lim} = \frac{f_c}{\gamma_w(s_s + 1)}$$

حيث:

f_c= permissible shear stress (N/m^2)

γ_w = unit weight of water (9.81×1000 kg/m^3)

S_s = sg = specific gravity of dam material (for concrete, = 2.4)

Limiting height of dam $h_{lim} = \frac{f_c}{\gamma_w(s_s+1)}$

$h_{lim} = \frac{f_c}{\gamma_w(s_s+1)} = \frac{125*1000\ (\frac{kg}{m2})}{1000\ (\frac{kg}{m3})*(2.5+1)}$= 35.71 m

Since limiting height of dam > height of dam (= 26.5m), then, the dam is a low gravity dam.

بما أن الحد من ارتفاع السد> ارتفاع السد (= 26.5 م)، إذن، السد هو سد منخفض الجاذبية.

The design of the يمكن تصميم السد مع مراعاة التفاصيل المبينة على النحو التالي .dam can be done with respect to the details

- جد عمق الماء

Depth of water = $1155.5 - 1130.5 = 25$m

- جد العرض العلوي للسد

Top width of dam, b = 14% height of dam = $0.14*h = 0.14*26.5$ = 3.71m

- افترض عرض الطريق

Assume a roadway width (a) of 4.5 m

- من ثم فإن أعلى عرض للسد يصبح

Therefore, provide top width of dam, a = 4.5m

- حدد عرض قاعدة السد من المعادلة

$$B_1 = \frac{h}{\sqrt{(s_s - c)}}$$

حيث:

B= base width of dam عرض قاعدة السد

H = height of damارتفاع السد

Ss = Specific gravity of materialالثقل النوعي للمادة

c = coefficient of uplift pressureمعامل ضغط الرفع

- عند تجاهل قوى الرفع ولا تضبط

When the uplift force is not considered, c = 0, then: $B_1 = \frac{25}{\sqrt{(2.5-0)}}$

= 15.81 m, assume 16 m

- جد العرض الإضافي

Extra width, w = roadway width/16 = a/16 = 4.5/16 = 0.281 m, assume 0.3 m

- جد المسافة الرأسية h1

Vertical distance h_1 (from HFL to tip of dam at upstream side) may be found as

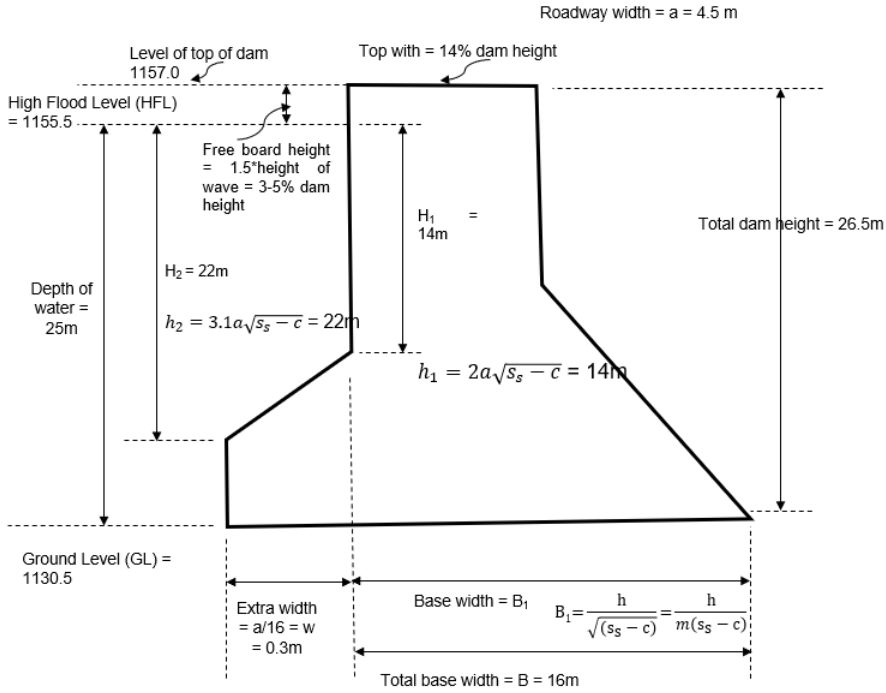
$h_1 = 2a\sqrt{s_s - c} = 2 * 4.5 * \sqrt{2.5 - 0}$ = 14.23 m, assume 14 m

- جد المسافة الرأسية h2

Vertical distance h_2 (from HFL to heel of dam at upstream side) may be found as

$h_2 = 3.1a\sqrt{s_s - c} = 3.1 * 4.5 * \sqrt{2.5 - 0}$= 22 m

بَيِّن تفاصيل أبعاد السد على الرسم.



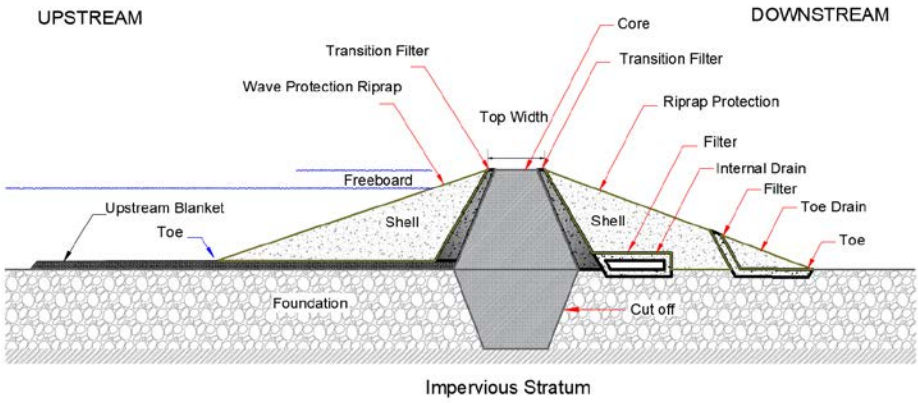
برنامج (5-5): سد الجاذبية من أحجار البناء

```
import javax.swing.*;
import javax.swing.border.Border;
import javax.swing.event.DocumentEvent;
import javax.swing.event.DocumentListener;
import javax.swing.text.BadLocationException;
import javax.swing.text.Document;
import java.awt.*;

public class Example_5_5 extends JPanel {
    public static final String TITLE = "مثال 5-5";
    public static final String EMPTY_RESULT_TEXT = "<html><b>( قم بإدخال المعطيات
ليتم حساب النتيجة)</b><br/><br/><br/><br/><br/><br/><br/><br/></html>";
    private float gl, hfl, wh, sg, Ps, a;

    JFormattedTextField[] textFields = {
            new JFormattedTextField(), new JFormattedTextField(),
            new JFormattedTextField(), new JFormattedTextField(),
            new JFormattedTextField(), new JFormattedTextField(),
    };

    JLabel[] labels = {
            new JLabel("مستوى الأرض (متر):", JLabel.RIGHT),
            new JLabel("مستوى الفيضان العالي (متر):", JLabel.RIGHT),
            new JLabel("ارتفاع الموج (متر):", JLabel.RIGHT),
```

```
            new JLabel("الثقل النوعي للسد:", JLabel.RIGHT),
            new JLabel("اجهاد الضغط المسموح به (طن/متر مربع):", JLabel.RIGHT),
            new JLabel("عرض الطريق (متر، افترض 4.5 متر اذا لم يكن معلوماً):",
JLabel.RIGHT),
    };

    JLabel resultLabel = new JLabel(EMPTY_RESULT_TEXT, JLabel.RIGHT);

    DocumentListener textFieldDocListener = new DocumentListener() {

        public void changedUpdate(DocumentEvent e) { calc(e); }

        public void removeUpdate(DocumentEvent e) { calc(e); }

        public void insertUpdate(DocumentEvent e) { calc(e); }

        public void calc(DocumentEvent e) {
            try {
                Document document = e.getDocument();
                Object owner = document.getProperty("owner");
                String s = document.getText(0,
e.getDocument().getLength());
                float val = Float.parseFloat(s);

                if (owner == textFields[0]) {
                    gl = val;
                } else if (owner == textFields[1]) {
                    hfl = val;
                } else if (owner == textFields[2]) {
                    wh = val;
                } else if (owner == textFields[3]) {
                    sg = val;
                } else if (owner == textFields[4]) {
                    Ps = val;
                } else if (owner == textFields[5]) {
                    a = val;
                }
            } catch (BadLocationException | NumberFormatException ex) {
                resultLabel.setText(EMPTY_RESULT_TEXT);
                return;
            }

            if(gl == 0 || hfl == 0 || wh == 0 || sg == 0 || Ps == 0 || a
== 0) {
                resultLabel.setText(EMPTY_RESULT_TEXT);
                return;
            }

            double fb = 1.5 * wh;
            double toph = hfl + fb;
            double h = toph - gl;
            double hlim = (Ps * 1000) / (1000 * (2.5 + 1));
            double wd = hfl - gl;
            double topw = 0.14 * h;
            double Bl = wd / Math.sqrt(2.5);
            double ew = a / 16;
```

```
            double h1 = 2 * a * Math.sqrt(2.5);
            double h2 = 3.1 * a * Math.sqrt(2.5);

            String fmtfloat2 = "<b>%.2f</b>";
            String format = "<html>المسافة الحرة = " + fmtfloat2 + " متر<br/>" +
                    "المستوى المطلوب أعلى السد = " + fmtfloat2 + " متر<br/>" +
                    "ارتفاع السد h = " + fmtfloat2 + " متر<br/>" +
                    "الحد من ارتفاع السد hlim = " + fmtfloat2 + " متر<br/>" +
                    "عمق الماء = " + fmtfloat2 + " متر<br/>" +
                    "العرض العلوي للسد = " + fmtfloat2 + " متر<br/>" +
                    "عرض قاعدة السد = " + fmtfloat2 + " متر<br/>" +
                    "العرض الإضافي = " + fmtfloat2 + " متر<br/>" +
                    "المسافة الرأسية h1 = " + fmtfloat2 + " متر<br/>" +
                    "المسافة الرأسية h2 = " + fmtfloat2 + " متر<br/>" +
                    "<br/></html>";

            resultLabel.setText(String.format(format, fb, toph, h, hlim,
wd, topw, Bl, ew, h1, h2));
        }
    };

    public Example_5_5() {
        super(new BorderLayout());

        JPanel topPane = new JPanel(new GridLayout(0,1));
        JPanel centerPane = new JPanel(new GridLayout(0,2));
        JPanel bottomPane = new JPanel(new GridLayout(0,1));
        JPanel labelsPane = new JPanel(new GridLayout(0,1));
        JPanel textFieldsPane = new JPanel(new GridLayout(0,1));

        Border border = BorderFactory.createEmptyBorder(10, 10, 10, 10);
        Border border2 = BorderFactory.createEtchedBorder();
        topPane.setBorder(border);
        bottomPane.setBorder(border);
        labelsPane.setBorder(border);
        textFieldsPane.setBorder(border);
        centerPane.setBorder(border2);
        setBorder(border);

        topPane.add(new JLabel("<html>هذا المثال يستخدم المعادلات: <br/><b>hlim = fc
/ [gw * (Ss + 1)] <br/>Bl = h / Sqrt(Ss - c) <br/>h1 = 2 * a * Sqrt(Ss -
c) <br/>h2 = 3.1 * a * Sqrt(Ss - c)</b></html>", JLabel.RIGHT));

        for(int i = 0; i < textFields.length; i++) {
            textFields[i].setColumns(10);
            labelsPane.add(labels[i]);
            textFieldsPane.add(textFields[i]);
            Document document = textFields[i].getDocument();
            document.addDocumentListener(textFieldDocListener);
            document.putProperty("owner", textFields[i]);
        }

        centerPane.add(textFieldsPane, BorderLayout.CENTER);
        centerPane.add(labelsPane, BorderLayout.LINE_END);
        bottomPane.add(resultLabel);
        add(topPane, BorderLayout.NORTH);
```

```
        add(centerPane, BorderLayout.CENTER);
        add(bottomPane, BorderLayout.SOUTH);
    }

    public static void main(String[] args) {
        try {
            UIManager.setLookAndFeel(
                    UIManager.getSystemLookAndFeelClassName());
        } catch (IllegalAccessException | InstantiationException |
                 UnsupportedLookAndFeelException | ClassNotFoundException
e) {
            e.printStackTrace();
        }

        SwingUtilities.invokeLater(() -> {
            JFrame frame = new JFrame(TITLE);
            frame.setDefaultCloseOperation(JFrame.EXIT_ON_CLOSE);
            frame.setResizable(false);
            frame.add(new Example_5_5());
            frame.pack();
            frame.setLocationRelativeTo(null);
            frame.setVisible(true);
        });
    }
}
```



شكل (5-27): مكونات السد

مثال (5-6) سد حجارة

يوضح الرسم البياني أدناه المقطع العرضي لسد حجارة masonry dam. حدد مدى استقرار السد. حدد أيضًا الاجهاد الرئيس principal stress عند إصبع toe وكعب heel السد. خذ وزن وحدة unit weight مادة السد على أنه 2250 كجم/م^3، وكثافة الماء 1000 كجم/م^3 وضغط القص المسموح به للمفصل permissible shear stress of joint= 15 كجم/سم^2. افترض قيمة معامل الاحتكاك $\mu = 0.75$

الحل:

- المعطيات: وزن وحدة unit weight مادة السد = 2250 كجم/م^3، كثافة الماء = 1000 كجم/م^3، ضغط القص المسموح به للمفصل = 15 كجم/سم^2، قيمة معامل الاحتكاك $\mu = 0.75$
- المطلوب: مدى استقرار السد. والاجهاد الرئيس عند إصبع وكعب السد

قم باختبار استقرار السد بافتراض عدم وجود سطح حر Stability of dam is tested assuming no free board.

حسابات القوى العمودية Vertical forces

جد الوزن الذاتي للسد

Self weight of dam = (12 + 2.5)/2 x 15 x 1 x 2250 = 244,687.5 kg

جد وزن الماء في العمود

Weight of water in column DD'A = (1 x 15)/2 x 1000 = 7500 kg

جد قوة الرفع على السد

Uplift force on dam =(15 x 12)/2 x 1000 = 90,000kg

جد مجموع القوي العمودية

Therefore ΣV = 244687.5 + 7500 – 90,000 = 162.187.5 kg

جد ضغط الماء الأفقي

Horizontal water pressure = $(\gamma w \times h2)/2 = (1000 \times 152)/2 = 112,500$ g

Calculation of moments due حساب العزوم بسبب قوى مختلفة حول إصبع السد to various forces about toe of dam

جد عزم الوزن الذاتي

Moment of self-weight = $[(1x\ 15)/2](1 + 2.5 + 8.5) + (2.5x\ 15\ x\ 2250)[(2.5/2)+ 8.5] + [(8.5x15)/2](2/3x8.5)= 194,062.5 + 822,656.25+ 406,406.25 = 1,423,124.9$kg-m (+ve)

جد العزم بسبب وزن الماء

Moment due to weight of water in DD'A = $7500 \times (1 +2.5 + 8.5) = 78,750$kg-m (+ve)

جد العزم بسبب قوة الرفع

Moment due to uplift force = $82,500 \times 2/3 \times 12 = 660,000$ kg-m (-ve)

جد العزم بسبب ضغط الماء الأفقي

Moment due to horizontal water pressure = $112,500 \times 1/3 \times 15 = 562,500$ kg-m (-ve)

جد مجموع العزوم

$\Sigma M = 1,423,124.9 + 78750-660000-562500 = + 279,374.9$ kg-m

عامل حساب الأمان Factor of safety calculation

جد عامل الأمان ضد الانقلاب

$$\text{Factor of safety against overturning} = \frac{resisting\ moments}{overturning\ moments}$$
$$= \frac{(0.75 * 1423124.9 + 78750162{,}187.5)}{(660{,}000 + 562{,}500)}$$
$$= 1.228 > 2\ unsafe$$

جد عامل الأمان ضد الانزلاق

$$\text{Factor of safety against sliding} = \frac{\mu \sum V}{\sum H} = \frac{(0.75 * 162{,}187.5)}{112{,}500}$$
$$= 1.08 > 1.0\ safe$$

جد عامل احتكاك القص

$$\text{Shear friction factor} = \frac{\mu \sum V + bq}{\sum H}$$
$$= \frac{(0.75 * 162{,}187.5 + 12 * 15 * 10^4)}{112{,}500} = 17.08$$

حساب الإجهاد Stress calculation

Let the resultant be acting افترض عمل المحصلة على بعد x_{av} من الاصبع at x_{av} from the toe

$$x_{av} = \frac{\sum M}{\sum H} = \frac{279{,}374.9}{162{,}187.5} = 1.72\ m$$

eDistance of resultant force جد مسافة القوة الناتجة من مركز السد– الانحراف from centre of dam, (eccentricity, e)

$e = B/2 - x_{av} = (12/2) - 1.72 = 4.28$ m

جد إجهاد الضغط في إصبع السد

$$f_t = \sum V * \left(1 + \frac{6e}{B}\right) = 162{,}187.5 * \left(1 + \frac{6 * 4.28}{12}\right)$$
$$= 509{,}268.7 > 50\ kg/\text{cm}^2 \text{ unsafe}$$

جد إجهاد الشد عند الكعب

$$f_h = \frac{\sum V}{B} * \left(1 - \frac{6e}{B}\right) = \frac{162{,}187.5}{12} * \left(1 - \frac{6 * 4.28}{12}\right)$$
$$= -15407.81 = -1.54\ \text{kg/cm}^2 \text{ unsafe}$$

في سدود البناء، لا ينبغي أن يكون هناك أي إجهاد شد. لذلك، فالمقطع غير آمن.

5-3-1-16) تحليل سد الجاذبية *gravity dam analysis*

المعايير والمبادئ

يجب أن يُظهر ملف السد هامش أمان مقبول فيما يتعلق بـ:

- الدوران والانقلاب Rotation and overturning
- الترجمة والانزلاق Translation and sliding
- الإجهاد الزائد والفشل المادي Overstress and material failure

يتحكم المعياران للدوران والانقلاب والترجمة والانزلاق في الاستقرار الهيكلي الشامل. يجب أن يكون كلاهما مرضيًا فيما يتعلق بالمظهر الجانبي فوق جميع المستويات الأفقية داخل السد والأساس. يجب استيفاء معيار الإجهاد لخرسانة السد ولأساس الصخور. معيار الاستقرار المنزلق هو عمومًا الأكثر أهمية في ثلاثة المعايير، لا سيما عند تطبيقه على أساس الصخور الطبيعية. يُعَبّر عن السلامة والانزلاق بشكل تقليدي من حيث عامل الأمان FOS، أو عامل الاستقرار ضد الانزلاق FS، المقدر باستخدام واحد أو آخر من ثلاثة تعريفات:

عامل انزلاقي Sliding factor, F_{SS}

عامل احتكاك القص Shear friction factor, F_{SF}

عامل توازن الحد Limit equilibrium factor, F_{LE}

عند تطبيقه على الخرسانة الكتلية جيدة البناء، لا ينبغي السماح للعامل الانزلاقي F_{SS} على مستوى أفقي أن يتجاوز 0.75 لمجموعة الحمل العادية المحددة. قد يُسمح للعامل الانزلاقي F_{SS} بالارتفاع إلى 0.9 تحت تركيبة الحمل القصوى.

معايير السلامة safety criteria

- السلامة ضد الانقلاب Safety against Overturning
- السلامة ضد الانزلاق Safety against Sliding
- الأمان ضد التكسير Safety against Crushing

- السلامة ضد الشد Safety against Tension

لا تُصَمّم السدود لتحمل أي حمل شد. يجب أن تكون عوامل الأمان أكثر من المسموح به في جميع مجموعات الأحمال.

5-3-1-17) سد الجاذبية Gravity dam: مفاهيم التحميل

(أ) الأحمال الأولية primary loads

حمل المياه: يُعَبّر عن الضغط الهيدروستاتيكي الخارجي Pw عند العمق z_1بالمعادلة:

$$p_w = \gamma_w z_1$$

حيث:

γ_w = وحدة وزن الماء = 9.81 كيلو نيوتن/م^3

القوة الأفقية الناتجة، P_{wh}، تُحَدّد على أنها:

$$P_{wh} = \gamma_w z_1^2/2$$

والتي تعمل على ارتفاع $z_1/3$ فوق المستوى X – X

يجب أيضًا حساب القوة العمودية الناتجة P_{wv} إذا كان وجه المنبع له ميل، كما هو الحال مع الملف أعلاه:

$$P_{wv} = \gamma_w (area\ A1)$$

ويعمل من خلال النقطة الوسطى centroid من A_1.

على غرار أعلى اتجاه التيار، فإن القوى الناتجة المقابلة P_{wh}' و P_{wv}' عند أدنى اتجاه التيار العامل أعلى الاصبع يمكن أيضًا حسابها.

الحمل الذاتي self load

يُحسَب الوزن الذاتي للهيكل من حيث المحصلة، P_m، والتي تعمل من خلال النقطة الوسطى centroid لمنطقة المقطع العرضي A_p من ملف السد:

$$P_m = \gamma_c A_p$$

γ_c = وزن وحدة الخرسانة، ويفترض أنه 23.5 كيلو نيوتن/متر المكعب في حالة عدم وجود بيانات محددة من التجارب المعملية أو من العينات الأساسية.

في حالة وجود بوابات علوية وغيرها من الهياكل أو المعدات الملحقة ذات الوزن الكبير، يجب أيضًا أخذها في الاعتبار عند تحديد P_m وموضع خط عملها.

التسرب وحمل الرفع seepage and uplift load يُمَثِّل حمل الرفع، P_u، بالمكونات الرأسية الفعالة الناتجة لضغط الماء الخلالي interstitial water pressure, u_w

ضغط الرفع أعلى اتجاه التيار $=\gamma_w z_1$، وضغط الرفع أدنى اتجاه التيار $=\gamma_w z_2$

إذا لم تتوفر مصارف تنفيس الضغط أو إذا توقفت عن العمل بسبب الترشيح والانسداد، فحينئذٍ:

$$P_u = T\gamma_w \frac{z_1 + z_2}{2}$$

حيث T هي المساحة الأساسية لكل وحدة سمك للقاعدة.

يعمل P_u من خلال النقطة الوسطى centroid لمخطط توزيع الضغط على مسافة y_1 من الكعب ، و:

$$y_1 = \frac{T}{3}\frac{2z_2 + z_1}{z_2 + z_1}(m)$$

في السدود الحديثة، يتم التحكم في الارتفاع الداخلي من خلال توفير مصارف تصريف رأسية قريبة خلف وجه المنبع. يمكن التعبير عن متوسط السمت الفعال عند خط المصارف، z_d، على النحو المبين في المعادلة:

$$z_d = z_2 + k_d(z_1 - z_2)(m)$$

(ب) الأحمال الثانوية secondary loads

حمل الرواسب sediment load: حجم حمولة الرواسب، P_s، يُعطى بواسطة:

$$P_s = K_a \gamma_s' z_3^2/2$$

حيث:

$$K_a \approx \frac{1 - sin\phi_s}{1 + sin\phi_s}$$

z_3 = عمق الرواسب

γ_s = وزن الوحدة المغمورة للرواسب

K_a = معامل الضغط الجانبي النشط

ϕ_s= زاوية مقاومة القص للرواسب

P_s نشط عند $z_3/3$ فوق المستوى X – X

حمل موجة هيدروديناميكية hydrodynamic wave load

لا يُنظر إليه إلا في حالات استثنائية. يعد P_{wave} ضروريًا كتقدير متحفظ للحمل الإضافي الهيدروستاتيكي على سطح الخزان يمن ايجاده من المعادلة:

$$P_{wave} = 2\gamma_w H_s^2$$

H_s هو ارتفاع الموجة الكبير، أي متوسط ارتفاع الثلث الأعلى من الموجات في عينة، وينعكس بسعة مزدوجة عند ضربه لوجه عمودي.

حمل الجليد iceload

يمكن إدخال حمل الجليد في الظروف التي تتشكل فيها الصفائح الجليدية بسماكة ملحوظة وتستمر لفترات طويلة. عادة يُراد توفير قبول أولي لحمل الجليد:

P_{ice}= 145 كيلو نيوتن/م^2 إذا كان سمك الجليد أكبر من 0.6 م

P_{ice} = 0 إذا كان سمك الجليد أقل من 0.4 متر

تأثيرات التداخل الحراري وأساس السد والمؤثرات المتداخلة.

(ج) أحمال استثنائية exceptional loads

الزلازل والحمل الزلزالي seismicity and seismic load

السدود الخرسانية هي هياكل شبه مرنة وتهدف إلى البقاء على نفس المستوى التصميمي للتسارع الزلزالي. يجب أيضًا تصميمها لتحمل أقصى زلزال مناسب، على سبيل المثال السيطرة على الزلزال الأقصى controlling maximum earthquake، أو زلزال تقييم السلامة safety evaluation earthquake بدون تمزق. يمكن تقريب الأحمال الزلزالية باستخدام نهج مبسّط لتحليل المعامل الكاذب أو الزلزالي pseudostatic or seismic coefficient analysis. يتم حساب قوى القصور الذاتي من حيث الحد الأقصى للتسارع المحدد للتصميم وتعتبر مكافئة للأحمال الساكنة الإضافية. هذا النهج، الذي يشار إليه أحيانًا بطريقة الحمل الثابت المكافئ equivalent static load method، متحفظ بشكل عام.

الزلزال والحمل الزلزالي seismicity and seismic load: التحليل النفسي pseudostatic analysis

قوى القصور الذاتي: كتلة السد

يُحَدّد القصور الذاتي والأحمال الهيدروديناميكية من المعاملات الزلزالية α_h وα_v.

$$Horizontal\ force\ is: P_{emh} = \pm\alpha_h P_m$$
$$and\ Vertical\ force\ is: P_{emv} = \pm\alpha_v P_m$$

كما هو الحال مع الحمل الذاتي للوزن، P_m، تعمل قوى القصور الذاتي من خلال النقطة الوسطى centroid من مقطع السد. لابد من ملاحظة الاتجاه القابل للانعكاس للقوى؛ حيث يُستخدَم الموجب هنا للإشارة إلى قوى القصور الذاتي العاملة في المنبع و/أو الإحساس التنازلي.

الزلزال والحمل الزلزالي: التحليل النفسي

قوى القصور الهيدروديناميكي: التفاعل المائي

يمكن الحصول على تقدير أولي لهذه القوى باستخدام تقريب مكافئ لتوزيع الضغط النظري. بالنسبة إلى أي ارتفاع عند العمق z_1 تحت سطح الماء، يُحَدّد الضغط الهيدروديناميكي p_{ewh} بواسطة المعادلة:

$$P_{ewh} = C_e \alpha_h \gamma_w z_{max}$$

حيث:

z_{max} = أقصى عمق للمياه في مقطع السد

C_e = عامل ضغط بلا أبعاد، وهو دالة في z_1/z_{max}

α_h = زاوية ميل وجه المنبع إلى العمودي

يُعطى الحمل الهيدروديناميكي الناتج عن طريق المعادلة:

$$P_{ewh} = 0.66 C_e \alpha_h z_1 \gamma_w \left(\frac{z_1}{z_{max}}\right)^{1/2}$$

ويعمل على ارتفاع $0.40z_1$ فوق X–X.

الزلزال والحمل الزلزالي: التحليل النفسي

قوى القصور الهيدروديناميكي: التفاعل المائي، كتقريب أولي تقريبي، فإن الحمل الهيدروديناميكي P_{ewh} يساوي أحيانًا زيادة بنسبة 50٪ في حمل القصور الذاتي، P_{emh}.الحمل الهيدروديناميكي العمودي الناتج، P_{ewv}، الفعال فوق الخليط أو التوهج السطحي في المنبع upstream face batter or flare يمكن حسابه عن طريق تطبيق المعامل الزلزالي المناسب على حمل الماء العمودي P_{wv} الذي يعمل من خلال النقطة الوسطى للمنطقة A1 وبالتالي:

$$P_{ewv} = \pm\alpha_v P_{wv}$$

يُفترض عادةً أن حمل الرفع لم يتغير بسبب الصدمة الزلزالية نظرًا لطبيعة الأخيرة العابرة والمتذبذبة.

مثال (5-7): السد الخرساني Concrete dam

بالنسبة للسد الخرساني concrete dam المحدد، يجب أن تكون عوامل الأمان ضد الانقلاب و/أو الانزلاق على الأقل 2. كثافة الخرسانة 2500 كجم/م^3، وكثافة الماء 1000 كجم/م^3، ومعامل الاحتكاك بين الخرسانة والتربة الحبيبية أدناه هو $\mu = 0.7$.

هل تم استيفاء متطلبات السلامة؟

إذا لم يكن الأمر كذلك، فابحث عن حل ممكن لجعل التصميم أكثر أمانًا.

الحل:

المعطيات: عوامل الأمان (FS) ضد الانقلاب و/أو الانزلاق = 2 على الأقل، كثافة الخرسانة RC = 2500 كجم/م^3، كثافة الماء rw=1000 كجم/م^3، م = 0.7

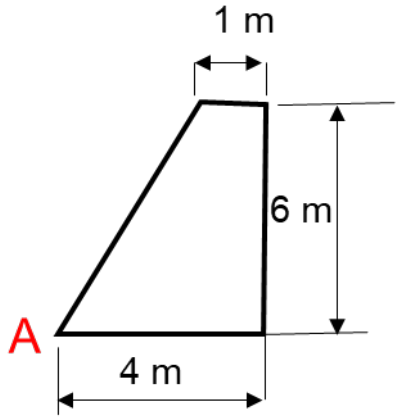
جد عامل الانقلاب للأمان FS_o = عزم إبقاء السد في مكانه (العزوم الفعالة) / العزوم التي تحاول قلب السد بالنسبة للنقطة أ

Overturning factor of Safety, FS_o = moment keeping dam in place (reacting moments)/Moments trying to overturn dam w.r.t. point A

جد عامل انزلاق الأمان FS_s = قوى الاحتكاك في الاتجاه x /قوى دفع الماء (القوى الهيدروستاتيكية)

Sliding factor of Safety, FS_s = friction forces in direction x/forces of pushing of water (hydrostatic forces)

افترض أن طول وحدة السد = 1 م



عامل الانقلاب للسلامة Overturning factor of Safety FS_o

جد القوة بسبب وزن الخرسانة weight of concrete (إسفين مثلث ومستطيلTriangular & rectangular wedge)

وزن الإسفين المستطيل W_{c1} = المساحة * وحدة طول السد * كثافة الخرسانة * تسارع الجاذبية

Weight of rectangular wedge, W_{c1} = area*unit length of dam*density of concrete*gravitational acceleration= BLH*ρ_c*g=1*6*1*2500*9.81 = 147.15 kN

جد مسافة الوتد المستطيل من النقطة أ

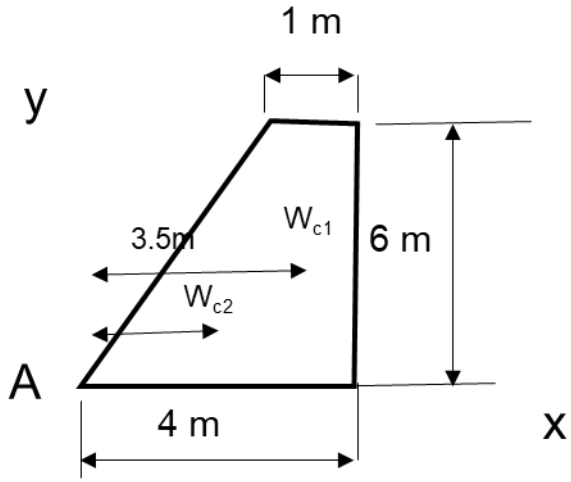
Distance of rectangular wedge from point A = 3 + (1/2)*(1) = 3.5 m

جد وزن الوتد الثلاثي Weight of triangular wedge

W_{c2} = (3*6/2)*1*2500*9.81 = 220.725 KN

جد مسافة الوتد المثلث من النقطة أ

Distance of triangular wedge from point A = (2/3)*base = (2/3)*(4−1) = 2 m



جد الضغط الهيدروستاتيكي للماء (جزء الانقلاب)

Hydrostatic pressure to water (overturning part) = γ*h = ρ_w*g*h = 1000*9.81*6 = 58.86 kN/m^2

جد القوة بسبب الماء (مثلثية)= متوسط القوة (الهيدروستاتيكي) على الارتفاع = (2/1) * (الضغط الأفقي في الأسفل + الضغط الأفقي في الأعلى) * عمق الماء الكلي (أي ارتفاع السد)

Find force due to water (triangular) = The average force (hydrostatic) over the height = (1/2)*(horizontal pressure at the bottom + horizontal pressure at the top)*total water depth (i.e. dam height) =(1/2)*58.86*6 = 176.58 KN/m

جد مسافة القوة من النقطة أ

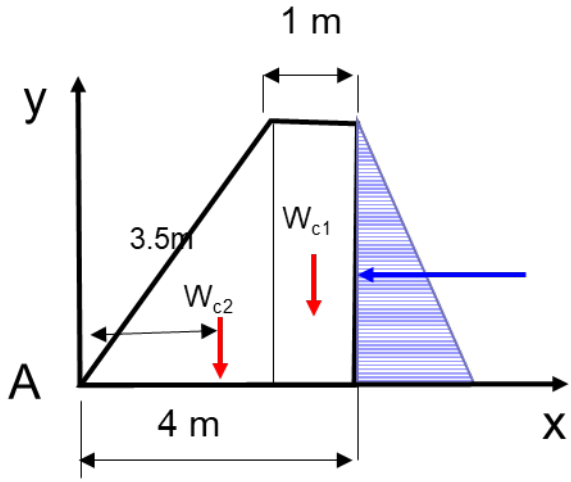
Distance of force from point A = (1/3)*dam height = (1/3)*6 = 2m

جد قوة الاحتكاك

Find friction force $F_R = \mu * N$

وبالتالي، فإن عامل الأمان بسبب الانقلاب = FS_{over} = عزم الاستقرار/عزم الانقلاب

Thus, factor of safety due to overturning = FS_{over} = Stabilizing moment/ Overturning moment



جد عزم الاستقرار الناتج عن وزن السد

Stabilizing moment caused by dam weight w.r.t. point A = ΣMsA = 220.725*2 + 147.15*3.5 = 956.5 kN.m

جد عزم الانقلاب الناتج عن وزن الماء

Overturning moment caused by water weight w.r.t. point A = ΣMoA = $176.58*2 = 353.2$ kN.m

جد عامل الأمان للانقلاب

Factor of safety for overturning, F.So = Stabilizing moment/ Overturning moment = $56.5/353.2 = 2.7 > 2$ (OK)

وبالتالي، فإن السد آمن ضد الانقلاب

Thus, dam is safe against overturning.w.r.t. النقطة أ = SMsA.

Factor of safety due to sliding, FS_s عامل الأمان بسبب الانزلاق

جد قوة الاحتكاك عند القاعدة

Find friction force at base, FR = $\mu*N$

FF = $0.7*(147.15 + 220.725) = 257.5$ KN

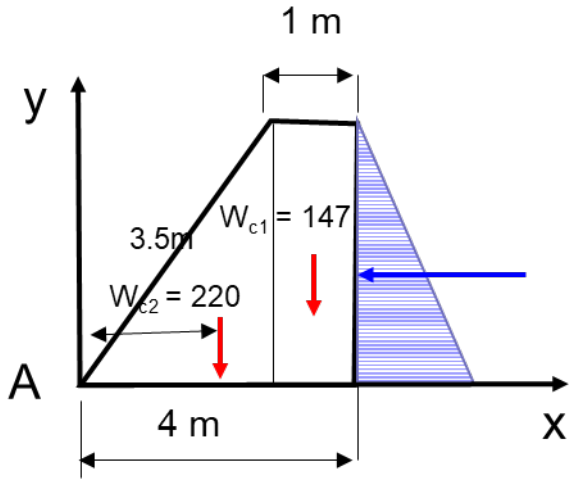
جد القوة الناتجة من الماء

Resultant force coming from water, FRw = 176.58 KN

جد عامل الأمان بسبب الانزلاق

Thus, factor of safety due to sliding, FSs = friction force/resultant force from water = FF/ FRw = $257.5/176.58 = 1.5 < 2$ (not OK)

لذلك، فشل السد في الانزلاق Therefore, dam is failing for sliding



Factor of safety due to sliding, FS_s عامل الأمان بسبب الانزلاق

Suggested solution may be الحل المقترح

خفض مستوى الماء لتقليل وزن القوة الهيدروستاتيكية (الماء).

lowering level of water to lessen weight of hydrostatic force (water).

إضافة الوزن فوق السد إذا تم بناؤه بالفعل لزيادة القوة الطبيعية (يجب توخي الحذر فيما يتعلق بغرق السد بسبب خصائص التربة)

Adding weight on top of dam if it already built to increase normal force (care ought to be taken regarding sinking of dam due to soil characteristics).

زيادة وزن السد عن طريق زيادة المساحة إذا لم يتم بناء السد (في مرحلة التصميم)

Increase weight of dam by increasing area if dam is not built (at design stage)

يمكن زيادة المساحة عن طريق زيادة القاعدة والحفاظ على العرض العلوي كما هو

Area may be increased by increasing base & keeping upper width as it is (= 1 m)

من ثم

Then, FSs = friction force/ resultant force from water = FF/FRW = μ*N/FRW

جد القوة العمودية

Thus, normal force, N = FSs*FRW*/μ = 2*176.58/0.7 = 504.5 kN

= area*density of concrete = area*γ

Area = 504.5*1000/(2500*9.81) = 20.6 m^2 = area of trapezoid = average of parallel lines*height = 6*(1+ x)/2

X = new width of base of dam = 5.9 m or 6 m

وبالتالي فإن أخذ قاعدة بطول 6 أمتار سيمنع الفشل بسبب الانزلاق Thus taking a base of 6m will prevent failure due to sliding.

5-3-2) خزانات المياه الارضية

تحتل المنشآت المائية عامة والخزانات الارضية خاصة من حيث التصميم والتنفيذ عند المهندس المدني أو مهندس المياه اهتماماً كبيراً لضرورتها في المشاريع الانشائية لتوفير الماء العذب للمواطنين في القطاع السكني وتوفير الماء للمصانع في القطاع الصناعي. عند تصميم الخزانات الارضية لابد من الاخذ بالاعتبار كمية المياه المطلوبة لتوفير الماء الكافي الذي يتناسب مع الغرض الذي تم تصميم الخزان من أجله.

5-3-2-1) تعريف

الخزانات هي عبارة عن منشآت هندسية مصنوعة من الخرسانة أو الفولاذ تُستَخدم لتخزين المياه الصالحة للشرب أوالمياه لأغراض صناعية، وتكون على سطح الارض أو مغمورة جزئياً في الارض أو مغمورة كلياً في الارض. الخزانات التي تكون مغمورة في الارض تكون دائماً من الخرسانة المسلحة وذلك لتحملها ومقاومتها للتربة وطبيعة التربة.

5-3-2-2) اختيار شكل الخزان

تختلف أشكال الخزانات من المربعة إلى المستطيلة والدائرية، لكن دائماً نجد أن الخزانات صغيرة الحجم تكون مربعة أو مستطيلة الشكل، والخزانات كبيرة الحجم تكون دائرية الشكل، وذلك لقلة تكلفتها. يعود ذلك لسببين هما:

1. إن الخزان الذي محيطه أصغر هو أقل تكلفة، فالخزانات الدائرية يكون محيطها أقل من المستطيلة أو المربعة لنفس المساحة.
2. الخزانات الدائرية تكون أكثر مقاومة للضغط من الخزانات المستطيلة أو المربعة وذلك من خلال توزيع الضغط مما يؤدي الى تقليل التكلفة.

5-3-2-3) المؤثرات المعتبرة في دراسة الخزانات

تخضع الخزانات للمؤثرات الآتية:

- الوزن الذاتي للخزان.
- وزن المياه الموجودة فيه.
- الحمولات المختلفة.
- تغيرات درجة الحرارة.
- أثر التقلص.
- السيلان.
- الهزة الارضية.

5-3-2-4) تصنيف الخزانات

يمكن تصنيف الخزانات وفق ما يلي:

- وضع الخزانات في للأرض:
  - خزانات تستند إلى سطح التربة مباشرة.
  - خزانات تستند إلى أعمدة قصيرة.
  - خزانات تستند إلى أعمدة عالية.
- شكل الخزانات:
  - خزانات مربعة.

- خزانات أسطوانية.
- خزانات مستطيلة.
- خزانات ذات أشكال مختلفة.

- التغطية:
  - خزانات مكشوفة.
  - خزانات مغلقة.

5-3-2-5) الاشتراطات الفنية الواجب توافرها في خزانات المياه الارضية

الموقع:

- يجب أن يكون الخزان بعيداً عن جميع مصادر التلوث بحيث لا تقل المسافة عن 10 أمتار.
- يجب أن يكون موقع الخزان غير منخفض حتى لا تغمره مياه الأمطار المحملة بالأتربة.
- يجب أن يكون الموقع مرتفعاً عن بيّارات الصرف.
- يجب أن يكون منسوب الخزان أعلى من منسوب مصادر التلوث بما لايقل عن 50 سم.
- يجب عمل تصريف للمياه إذا كان منسوب المياه الجوفية مرتفعاً وذلك لمنع الترشيح داخل الخزان.
- يجب أن يكون الخزان قريباً ما يمكن لمدخل السكن وذلك لتسهيل عملية الملأ وعملية الصيانة.

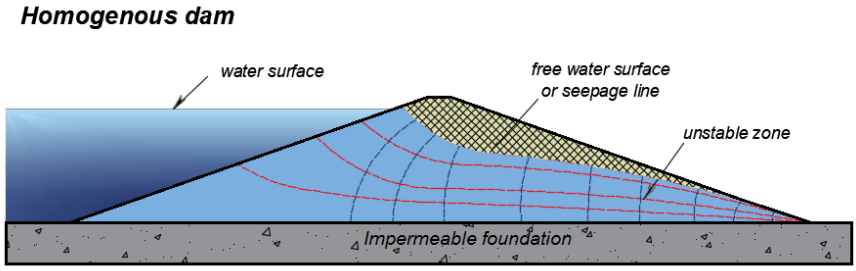
العزل:

يجب أن تكون جدران وقاعدة الخزان محكمة إحكاماً تاماً لمنع التسرب وحتى لا تكون معرضة للتلوث وذلك بالعزل.

الصيانة الدورية:

- يجب تفريغ الخزان من الماء لإجراء المعالجة الضرورية.
- الاهتمام بالعوامة والصمامات وتنظيفها وتغييرها في حالة تلفها.
- الاهتمام بغلق الخزان جيداًحتى يصعب فتحه.
- مراجعة المضخات.

5-3-3) نظريات التسرب Seepage theories

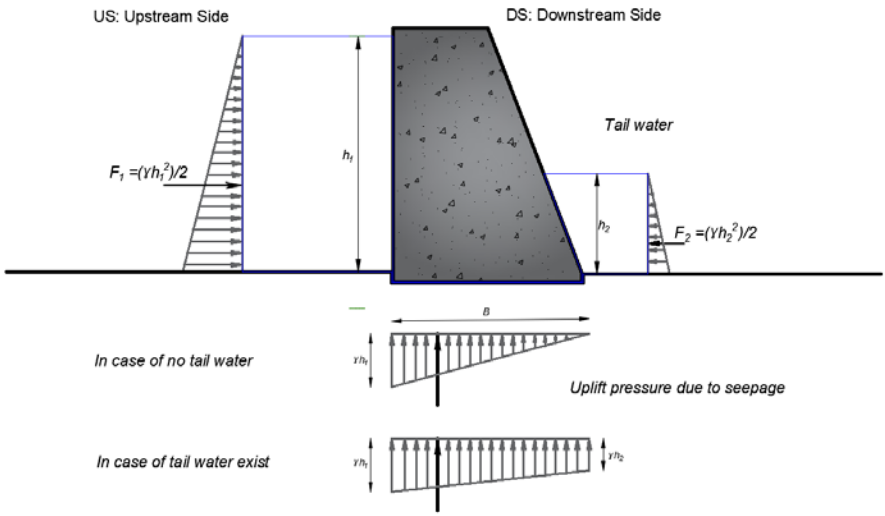


شكل (5-28): نظريات التسرب

التسرب هو الهروب البطيء للسائل أو الغاز من خلال مادة مسامية أو ثقوب صغيرة، ويشكل أحد تطبيقات المياه الجوفية الهيدروليكية. أهداف دراسة التسرب في الهندسة المدنية هي:

1. العثور على تصريفات التسرب من خلال الهيكل وتحت المنشأة
2. العثور على ضغط الرفع تحت الهيكل والمنشأة
3. إيجاد حل لأعطال الأساسات والأنابيب

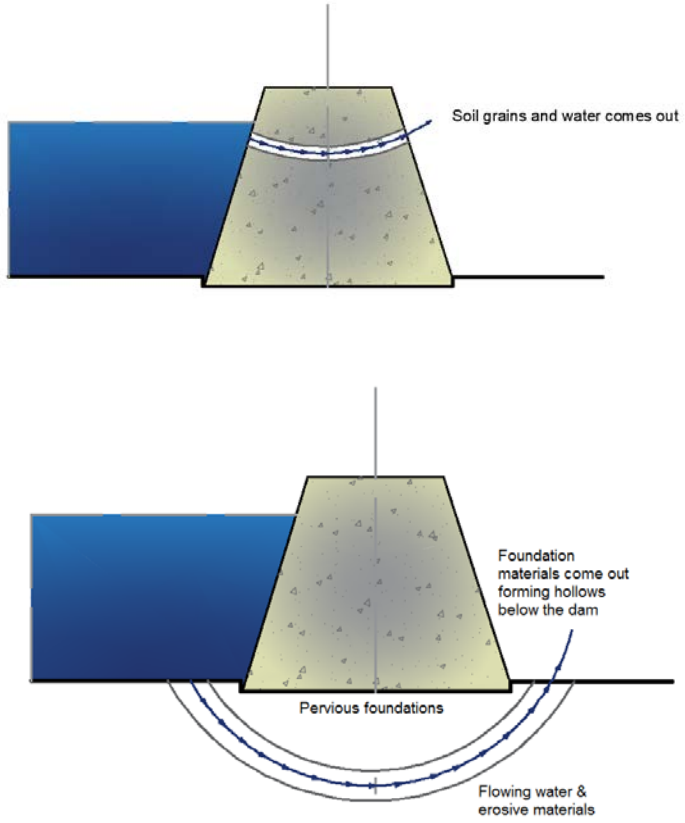
يمكن إنشاء الهياكل الهيدروليكية إما على أساس صخري صلب منيع أو على أساس مسامي منفذ للماء. وكلما تم إنشاء مثل هذا الهيكل على أساس منفذ، فإنه يتعرض لتسرب المياه تحت الهيكل، بالإضافة إلى جميع القوى الأخرى.



شكل (5–29): رسم كروكي للسد

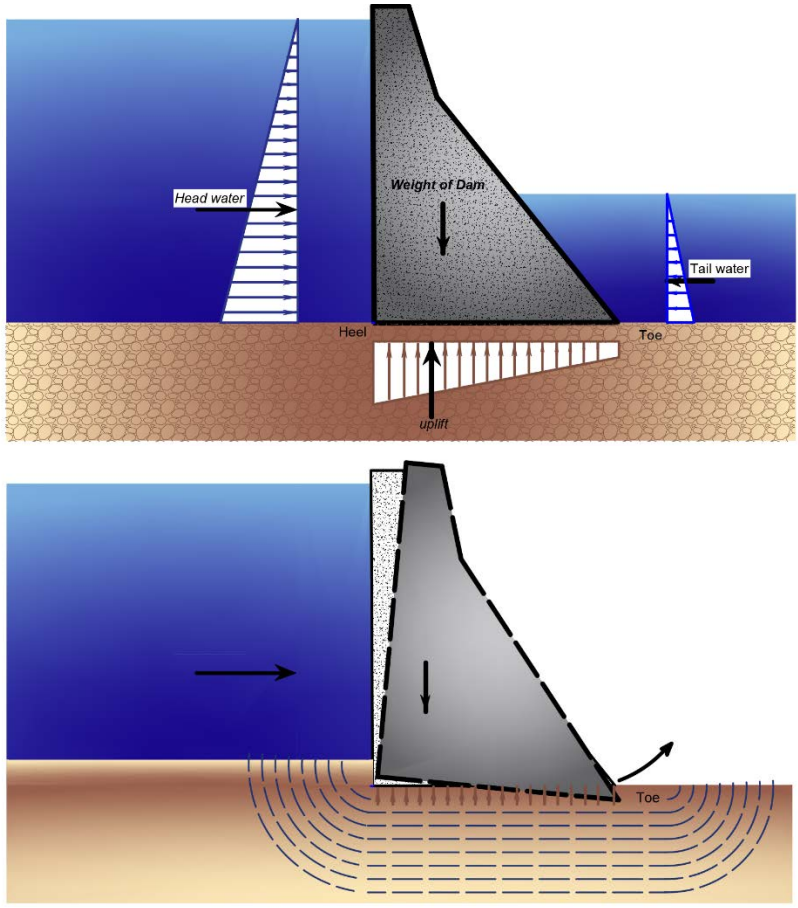
إن تسرب المياه أسفل جسم الهيكل الهيدروليكي، يعرض استقرار الهيكل للخطر وقد يتسبب في فشله، إما عن طريق الأنابيب (وتسمى أيضًا بالتقويض undermining)؛ أو بواسطة الرفع المباشر Direct uplift.

فشل الأنابيب أو التقويض Failure by Piping or undermining: عندما تحتفظ المياه المتسربة بقوة متبقية كافية في نهاية المصب ناشئة في المنشأة، فقد ترفع جزيئات التربة. يؤدي هذا إلى زيادة مسامية التربة عن طريق الإزالة التدريجية للتربة من أسفل الأساس. قد يستقر الهيكل في النهاية في الجوف المتشكل، مما يؤدي إلى فشل الهيكل.



شكل (5–30أ): فشل الأنابيب أو التقويض

فشل بواسطة الرفع المباشر Direct uplift: المياه التي تتسرب من أسفل الهيكل تمارس ضغطًا تصاعديًا على أرضية الهيكل. إذا لم يتم موازنة هذا الضغط بوزن خرسانة أرضية البناء، فسوف يفشل الهيكل بسبب تمزق جزء من الأرضية.



شكل (5-30ب): فشل الرفع المباشر

بشكل عام، هناك ثلاث نظريات عن التسرب:

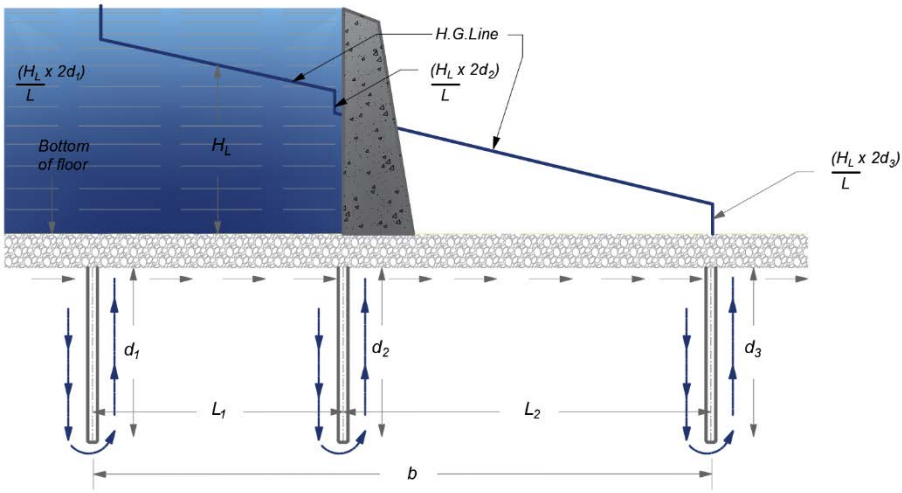
1. نظرية بليغ للزحف Bligh's creep theory
2. نظرية زحف لين المرجحة Lane weighted creep theory
3. نظرية خوصلة Khosla theory

5-3-3-1) نظرية زحف بليغ

وفقًا لنظرية Bligh، فإن الماء المتسرب يتبع الخطوط العريضة لقاعدة أساس الهيكل الهيدروليكي. بمعنى آخر، يزحف الماء على طول المحيط السفلي للهيكل. يُطلق على طول المسار الذي يجتازه الماء طول الزحف L:

$$L = LH + LV$$

علاوة على ذلك، من المفترض في هذه النظرية، أن فقد السمت يتناسب مع طول الزحف. إذا كان HL هو إجمالي فقد السمت بين المنبع والمصب، و L هو طول الزحف، فإن فقد السمت لكل وحدة من طول الزحف (أيHL/L) يسمى التدرج الهيدروليكي hydraulic gradient. ملاحظة، Bligh لا يميز بين الزحف الأفقي والرأسي.



شكل (5-31): زحف بليغ

فقد السمت لكل وحدة طول أو تدرج هيدروليكي وفواقد السمت Head loss per unit length or hydraulic gradient and the headlosses

$$\left[\frac{H_L}{b + 2(d_1 + d_2 + d_3)}\right] = \frac{H_L}{L}$$

وسيحدث فواقد السمت في مواقع ثلاث قطع رأسية vertical cutoffs، يمكن بعد ذلك رسم خط التدرج الهيدروليكي (خط HG) كما هو موضح في الشكل أعلاه.

السلامة ضد الأنابيب أو التقويض Safety against piping orundermining:
وفقًا لبليغ، يمكن ضمان السلامة ضد الأنابيب من خلال توفير طول زحف كافٍ، يُعطى بواسطة المعادلة:

L = C.HL

حيث C= معامل Bligh للتربة.

ملحوظة: التدرج الهيدروليكي أي HL/L يساوي 1/C. ومن ثم، يمكن الإشارة إلى أن التدرج الهيدروليكي يجب أن يظل تحت حد آمن من أجل ضمان السلامة ضد الأنابيب. أي:

$$HL/L \leq 1/C$$

السلامة ضد ضغط الرفع Safety against uplift pressure: تمثل إحداثيات خط HG أعلى قاع الأرض سمت الماء المتبقي في كل نقطة. لنفترض على سبيل المثال، إذا كان إحداثيات خط HG أعلى قاع الأرض في أي وقت هو 1 متر، فإن 1 متر من سمت الماء سيكون بمثابة رفع عند تلك النقطة. إذا كانت 'h متر هي هذا الترتيب، فإن ضغط الماء الذي يساوي 'h متر سيعمل عند هذه النقطة، ويجب موازنته بوزن الأرضية ذات السماكة، لنقل t.

5-3-3-2) نظرية زحف لين المرجح *Lane's Weighted Creep Theory*

قام Bligh، في نظريته، بحساب طول الزحف، ببساطة عن طريق إضافة طول الزحف الأفقي وطول الزحف العمودي، وبالتالي لم يميز بين الزحفين.ومع ذلك، أشار لين، بناءً على تحليله الذي أجراه على حوالي 200 سد في جميع أنحاء العالم، إلى أن الزحف الأفقي أقل فعالية في تقليل الارتفاع (أو في التسبب في فقد السمت) من الزحف العمودي.لذلك، اقترح عامل وزن قدره الثلث من الزحف الأفقي، مقابل 1.0 للزحف العمودي:

$$L=LH/3+LV$$

السلامة ضد الأنابيب أو التقويض Safety against piping or undermining: لضمان السلامة ضد الأنابيب، وفقًا لهذه النظرية، يجب ألا يقل طول الزحف LI عن C_1HL، حيث HL هو السمت المسبب للتدفق، و C_1 هو معامل زحف لين. ملحوظة: التدرج الهيدروليكي، أي HL/LI يساوي بعد ذلك $1/C_1$. من ثم، يمكن الإشارة إلى أن التدرج الهيدروليكي يجب أن يظل تحت حد آمن من أجل ضمان السلامة ضد الأنابيب.

السلامة ضد ضغط الرفع Safety against uplift pressure: نفس الصيغ كما في نظرية بليغ: باستخدام نظرية زحفBligh ونظرية زحف لين الموزون، ضغط الرفع في أي نقطة تحت الهيكل يمكن حسابها باستخدام الصيغة:

$$UA=H(1-LA/L)$$

حيث:

UA = ضغط الرفع المتبقي عند أي نقطة A (HL زائد)

H= total uplift pressure at upstream(~HL)

LA = طول الزحف حتى النقطة A

L = الطول الإجمالي للزحف للهيكل

5-3-3-3) نظرية خوسلا *Khosla's Theory*

لا تتسلل مياه التسرب على طول الخطوط العريضة للهيكل الهيدروليكي كما بدأها Bligh، ولكن من ناحية أخرى، يتحرك هذا الماء على طول مجموعة من خطوط التدفق. يمكن التعبير عن هذا التسرب الثابت في مستوى عمودي لتربة متجانسة بواسطة معادلة لابلاسيان Laplacian:

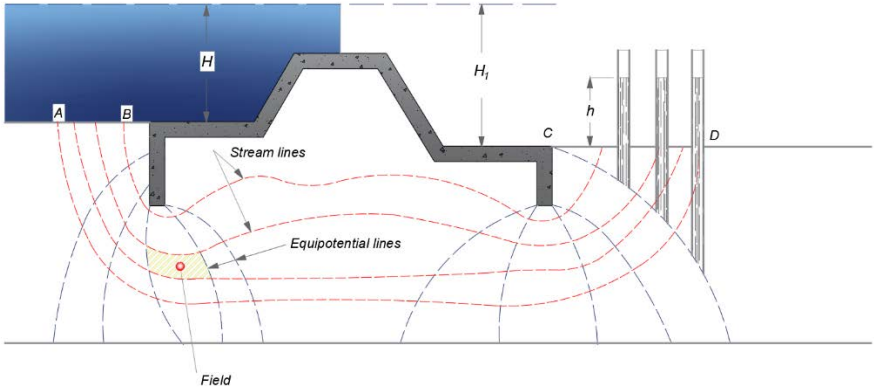
$$\frac{d^2\phi}{dx^2} = \frac{d^2\phi}{dz^2}$$

Where:

ϕ = flow potential = Kh

K = the co-efficient of permeability of soil as defined by Darcy's law, and h is the residual head at any point within the soil

تمثل المعادلة أعلاه مجموعتين من المنحنيات التي تتقاطع مع بعضها البعض بشكل متعامد. يسمى مخطط التدفق الناتج الذي يظهر كلا المنحنيين بشبكة التدفق Flow Net.



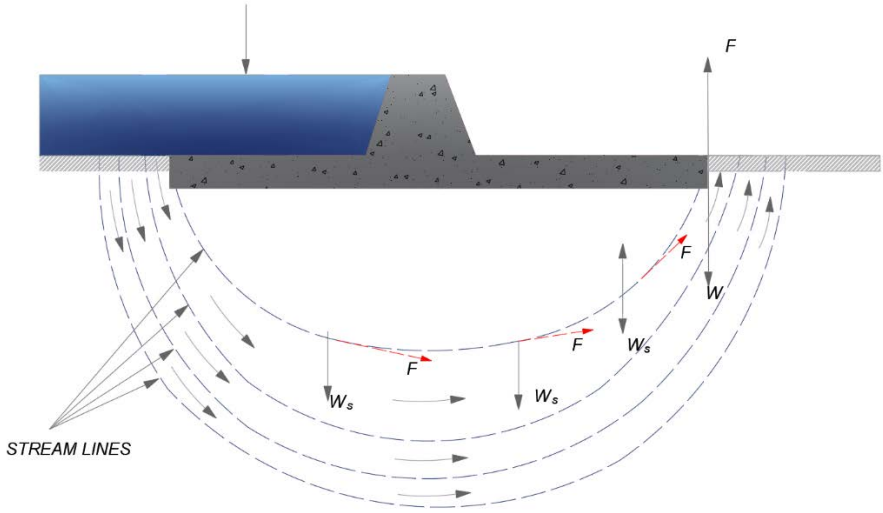
شكل (5-32): خطوط تدفق خوسلا

خطوط التدفق: تمثل الخطوط الانسيابية المسارات التي يتدفق فيها الماء عبر التربة الفرعية. كل جسيم يدخل التربة عند نقطة معينة في بداية المنشأة، سوف يتتبع مساره الخاص ويمثل خطًا انسيابيًا streamline. يتبع الخط الانسيابي الأول المحيط السفلي للمنشأة وهو نفس مسار زحف Bligh. تتبع الخطوط الانسيابية المتبقية منحنيات ناعمة تنتقل ببطء من مخطط الأساس إلى شبه القطع الناقص semi-ellipse. يمثل خط متساوي الجهد equipotential line ضم النقاط ذات السمت المتبقي المتساوي، وبالتالي إذا تم تركيب مقاييس الضغط على خط متساوي الجهد، فإن الماء سيرتفع فيها جميعًا إلى نفس المستوى. كل جسيم ماء على الخط AB له سمت متبقي h = h1، وعلى CD يحتوي على سمت متبقي h = 0، وبالتالي، AB و CD هما خطان متساويان equipotential lines.

تدرج الخروج Exit Gradient

تمارس المياه المتسربة قوة عند كل نقطة في اتجاه التدفق وعرضية لخطوط الانسياب كما هو موضح في الشكل. تحتوي هذه القوة (F) على مركبة صاعدة من النقطة التي يتحول فيها الانسياب إلى أعلى. لأن اتجاه هذه القوة عند نقطة الخروج يكون عموديًا لأعلى، وبالتالي فإن القوة الكاملة تعمل كمكونها الصاعد. لكي تظل حبيبات التربة مستقرة، يجب

أن يكون الوزن المغمور لحبيبات التربة أكبر من هذه القوة المقلقة الصاعدة. تتناسب القوة المزعجة في أي نقطة مع تدرج ضغط الماء عند تلك النقطة (أيdp/dl). يسمى هذا التدرج لضغط الماء عند نهاية المخرج بتدرج الخروج exit gradient. من أجل أن تظل جزيئات التربة عند المخرج مستقرة، يجب أن يكون الضغط التصاعدي عند الخروج آمنًا. بمعنى آخر، يجب أن يكون التدرج للخروج آمنًا.



شكل (5-33): خروج التدرج

تدرج الخروج الحرج Critical Exit Gradient

إن تدرج الخروج أمر بالغ الأهمية، عندما تكون القوة المقلقة الصاعدة على الحبيبات مساوية لوزن الحبيبة المغمور عند المخرج. عند استخدام عامل أمان يساوي 4 إلى 5، يمكن بعد ذلك اعتبار التدرج للخروج آمنًا. بمعنى آخر، يتم ضمان التدرج للخروج بما يساوي خمس إلى ربع من تدرج الخروج الحرج، وذلك للحفاظ على الهيكل آمنًا ضد الأنابيب.

طريقة خوسلا للمتغيرات المستقلة لتحديد الضغوط وخروج التدرج للتسرب تحت السد أو الوابل

لمعرفة كيفية حدوث التسرب أسفل أساس الهيكل الهيدروليكي، من الضروري رسم شبكة التدفق. بمعنى آخر، يجب أن نحل معادلات لابلاسيان. يمكن تحقيق ذلك إما عن طريق الحل الرياضي لمعادلات لابلاسيان، أو بطريقة القياس الكهربائي، أو عن طريق رسم بياني عن طريق تعديل الخطوط الانسيابية وخطوط الجهد المتساوية فيما يتعلق بشروط الحدود. هذه الطرق معقدة وتستغرق وقتًا طويلاً. لذلك، لتصميم الهياكل الهيدروليكية مثل السدود أو البراج أو الأساسات المنفذة، طور خوسلا منهجًا بسيطًا وسريعًا ودقيقًا يسمى طريقة المتغيرات المستقلة Method of Independent Variables. في هذه الطريقة، يتم تقسيم ملف معقد مثل الهدار إلى عدد من الملفات البسيطة؛ يمكن حل كل منها رياضيًا. تم تقديم الحلول الرياضية لشبكات الدفق لهذه الملامح القياسية البسيطة في شكل معادلات مذكورة في الأشكال والمنحنيات الواردة في اللوحة، والتي يمكن استخدامها لتحديد النسبة المئوية للضغوط عند النقاط الرئيسة المختلفة.

الملفات البسيطة الأكثر فائدة في التحليل هي:

1. أرضية أفقية مستقيمة بسمك ضئيل مع خط كومة صفائح sheet pile line على نهاية أعلى اتجاه التيار وأدناه.
2. أرضية أفقية مستقيمة منخفضة أسفل القاع ولكن بدون أي قواطع عمودية.
3. أرضية أفقية مستقيمة بسمك ضئيل مع خط كومة صفائح عند نقطة وسيطة.

النقاط الرئيسة هي تقاطعات الأرضية وخطوط العمود pole lines على كلا الجانبين، والنقطة السفلية لخط الخازوق pile line، والزوايا السفلية في حالة الأرضية المنخفضة. تعتبر النسبة المئوية للضغوط في هذه النقاط الرئيسة للأشكال البسيطة التي تم كسر الملف المعقد فيها صالحة للملف المعقد نفسه، إذا تم تصحيحه من أجل:

- تصحيح التداخل المتبادل للخوازيق
- تصحيح سماكة الأرضية

- تصحيح ميل الأرضية

5-4) منشآت التقسيم لتحويل مجرى الماء الرئيس

تضم سدود الخزانات Coffer dams، وأعمال رؤوس القنوات Canal headworks، وأعمال السحب Intake works.

5-5) منشآت التجميع (لجمع المياه للتخلص منها)

تضم مداخل التصريف Drain inlets، وصالات التسلل Infiltration galleries، والآبار Wells.

التمارين العامة النظرية والعملية

1. **انهيار السد:** يمكن استخدام الحل التالي في مرحلة التصميم للتغلب على فشل السد في الانزلاق dam failing for sliding..... (ناقش)(بكالوريوس جامعة الامام عبد الرحمن بن فيصل، 2019)

زيادة وزن السد عن طريق زيادة المساحة.

إضافة وزن فوق السد.

خفض مستوى الماء لتقليل وزن القوة الهيدروستاتيكية.

كل ما ورد اعلاه.

لا شيء مما سبق.

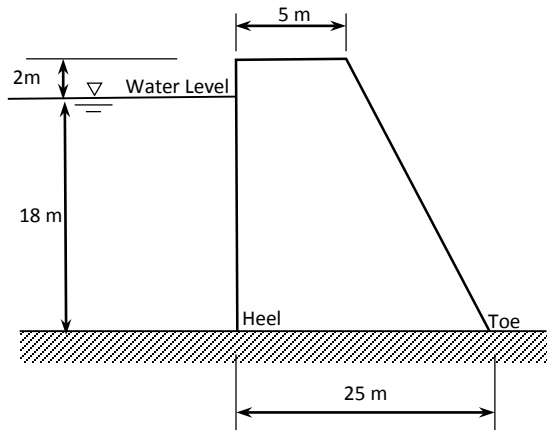


Fig. (1a): Gravity dam.

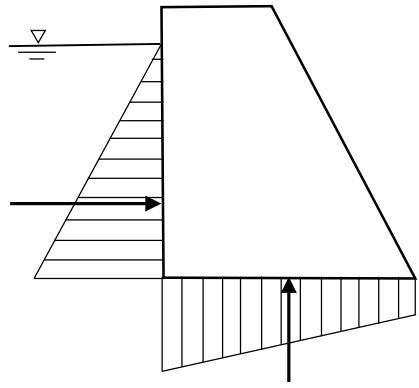


Fig. (1b): Dam pressure distribution.

2. **سد الجاذبية الخرساني:** الشكل يوضح سد الجاذبية الخرساني بارتفاع 20 م (لكل من عمق الماء واللوح الحر free board). معامل الاحتكاك بين السد والقاعدة وأساسها يساوي 0.6. توجد قوى رفع كاملة Full uplift على قاعدة السد. الوزن النوعي للخرسانة والماء 25 و 10 كيلو نيوتن/م^3 على التوالي. بإهمال قوى الزلازل والترسيب:

ما مقدار قوة الوزن الرأسي للسد لكل وحدة عرض.

جد قيمة القوة الهيدروستاتيكية الأفقية للسد لكل وحدة عرض.

ملحوظة: ($P = \rho gh = \gamma h$)

(بكالوريوس جامعة الامام عبد الرحمن بن فيصل، 2019)

3. تصميم بربخ

يلزم وجود بربخ جديد عند معبر طريق لتمرير تدفق لمدة 50 عامًا بمعدل يبلغ 8.5 متر مكعب/ثانية. استخدم شروط الموقع التالية:

- تصميم ارتفاع منسوب المياه (El_{hd})headwater elevation: 33.528 م بناءً على الهياكل والمنشآت المجاورة
- ارتفاع الكتف El_{ev} Shoulder: 34.595 م
- ارتفاع مجرى التيار Elevation of Stream Bed عند واجهة البربخ: 30.48 م
- الانحدار الطبيعي للنهر Natural Stream Slope: 2٪
- عمق المياه الخلفية Tailwater Depth: 1.219 م
- طول البربخ التقريبي: 76.200 م

قم بتصميم بربخ صندوق من الخرسانة المسلحة reinforced concrete box culvert لهذا الانشاء. جرب كلاً من الحواف المربعة square edges والحواف المشطوفة 45 درجة 45– degree beveled edges في الجدار الأمامي headwall. لا تضغط على المدخل (no FALL).

4. استخدام البربخ وتصميمه:

ما الغرض من البربخ؟

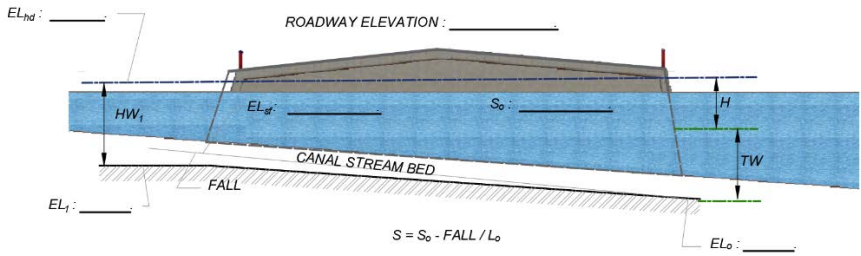
يجب تصميم بربخ (انظر الشكل) عند معبر طريق جديد لتمرير فيضان 25– عامًا. يشير التحليل الهيدرولوجي إلى معدل تدفق ذروة peak flow يصل إلى 2.8 متر مكعب/ ثانية. يعطي الجدول معلومات وبيانات أساسية عن الموقع والبربخ.

جدول: معلومات التصميم		
الصنف	**القيمة**	**الوحدة**
ميل قاع النهر الطبيعي	1	نسبة في المائة (أي 0.01 م/م)
المياه الخلفية لفيضان 25 سنة Tailwater for 25-year flood	1.08	م
طول البربخ التقريبي	60	م
لوح الطفو Freeboard	0.6	م
قطر قناة الأنبوب الدائري الذي سيختار	1350	مم

ضع في اعتبارك استخدام أنبوب معدني مموج corrugated metal pipe (CMP) بمعيار 68 × 13 مم في التمويجات والحواف المشطوفة corrugations and beveled edges والأنابيب الخرسانية بنهاية أخدود concrete pipe with a groove end.

باستخدام مخططات تصميم مخطط التحكم في المدخل inlet control nomograph design charts، حدد ارتفاع المياه الرأسية headwater elevation من معكوس مقطع التحكم invert of the control section إلى خط تدرج الطاقة energy grade line.

عين البيانات المعطاة والقياسات المحسوبة حيثما تنتمي على طول الشكل.



البربخ

5. **استقرار سد الجاذبية الخرساني:** يحتوي سد الجاذبية الخرساني على الأبعاد التالية:

- اقصى مستوى للمياه = 305 م
- منسوب قاع النهر = 225 م
- مستوى القمة = 309 م
- الميل أعلى اتجاه التيار = (H:V)= 0.5 :1
- الميل أدنى اتجاه التيار يبدأ من 300 متر
- وجه الميل أدنى اتجاه التيار = (H:V) = 3:2
- C / L من دهاليز الصرف C/L of drainage galleries عند 8 متر أدنى وجه اتجاه التيار

ضغوط الرفع Uplift pressures

- عند الكعب Heal = 100%
- عند الاصبع Toe= 0%
- في دهليز الصرف = 50٪

كثافة الخرسانة = 2400 كجم/م^3

لا ماء الذيل (الخلفية)

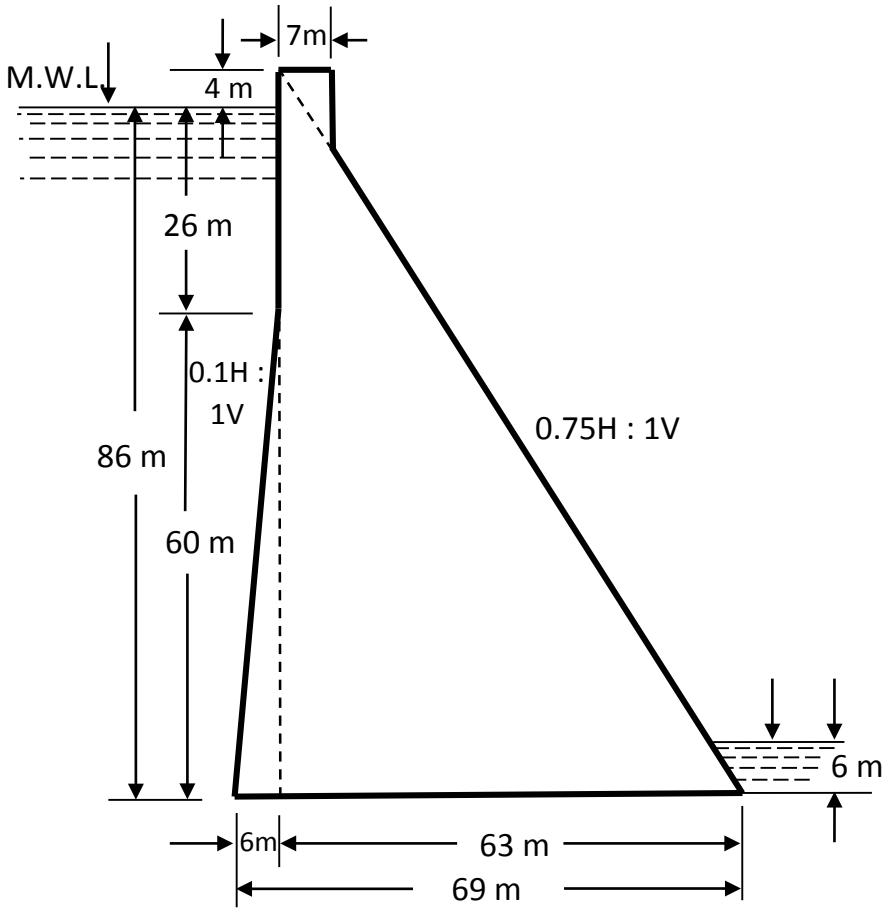
خذ في الاعتبار مراعاة الوزن الذاتي والضغط الهيدروستاتيكي وضغط الرفع لسد ما، تحقق من استقرار السد لك من التالي:

الدوران والانقلاب

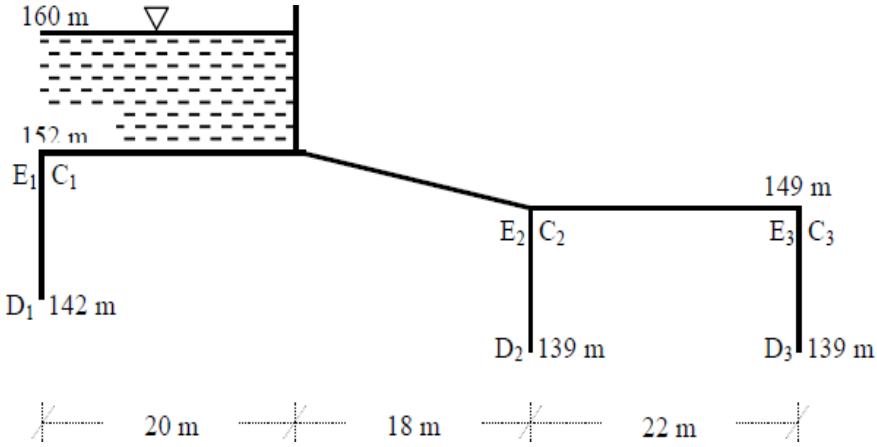
الترجمة والانزلاق
الإجهاد الزائد والفشل المادي.

6. **سد الجاذبية:** يوضح الشكل جزءًا من سد الجاذبية المبني من الخرسانة، افحص الاستقرار الثابت والديناميكي لهذا المقطع في القاعدة للحالات التالية:
   - الخزان ممتلئ ولا توجد قوة زلزالية تعمل
   - الخزان ممتلئ والقوى الزلزالية تعمل

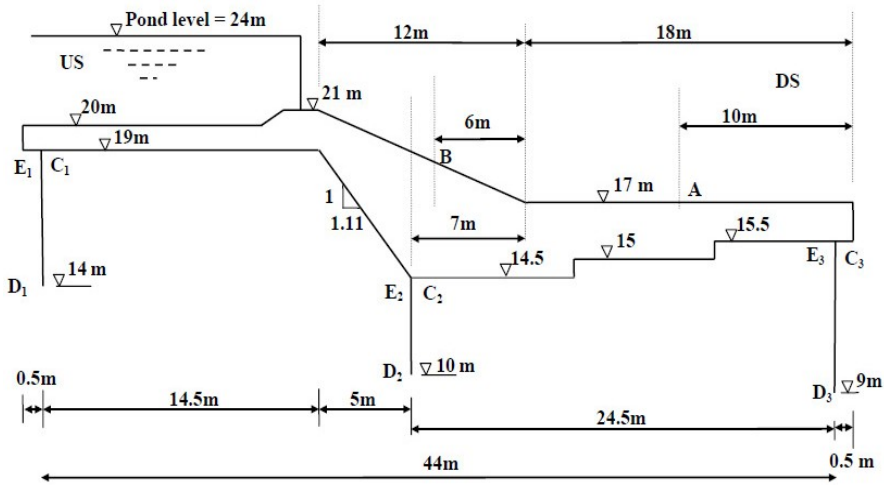
يمكن اعتبار قوى الزلزال تعادل 0.1 جرام للأفقي و 0.05 جرام للقوى الرأسية.
يمكن اعتبار الرفع uplift مساويًا للضغط الهيدروديناميكي في أي من الطرفين ويعتبر يعمل على أكثر من 60٪ من مساحة المقطع عند القاعدة.
يُفترض وجود مياه ذيل خلفية tail water يبلغ ارتفاعها 6 أمتار عندما يكون الخزان ممتلئًا ولا توجد مياه ذيل عندما يكون الخزان فارغًا.
احسب أيضًا الأنواع المختلفة من القوى عند كعب heal وإصبع toe السد.
افترض أن وحدة وزن الخرسانة = 24 كيلو نيوتن/م^3، ووزن وحدة الماء = 10 كيلو نيوتن/م^3



7. **وابل:** استخدم منحنيات خوسلا Khosla's curves لحساب النسبة المئوية لضغط الرفع عند النقاط C1 و E2 و C2 و D3 و E3 لملف أساس وابل barrage الموضح في الشكل أدناه مع تطبيق التصحيحات اللازمة. حدد أيضًا التدرج للخروج. [لنفترض: سماكة الأرضية = 1 م]



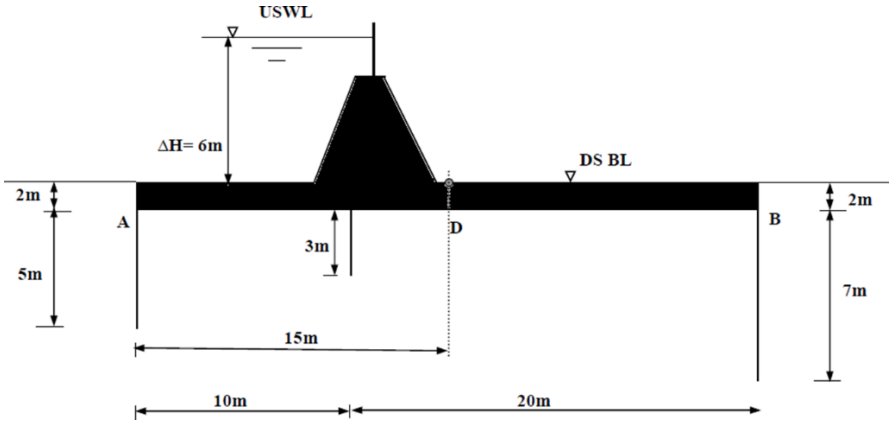
8. **براج:** بالنسبة للبراج Barrage الموضح في الشكل أدناه



باستخدام جميع النظريات الثلاث:

- ارسم .H.G.L (خط التدرج الهيدروليكي) لحالة السمت الثابتة
- تحقق من السلامة ضد فشل الأنابيب؛ افترض أن تربة قاع النهر هي رمل خشن
- جد سمت ضغط الرفع عند النقطة A و B

9. **التسرب في منشأة هيدروليكية:** جد التدرج الهيدروليكي والسمت عند النقطة D من الهيكل التالي للحالة الثابتة. يتسرب الماء عند النقطة A ويخرج عند النقطة B. استخدم نظرية Blight للزحف، ونظرية Lane للزحف الموزون، ونظرية خوسلا.



المراجع

Abdel-Magid, I.M., Mohammed, A.W.H. and Rowe, D.R., 1996. Modeling methods for environmental engineers. CRC Press.

Ahmed, I.M.A.M. and Abdel-Magid, M.I.M., 2017. Computer Modeling Applications for Environmental Engineers. CRC Press.

Ankum, P., 2002. Design of open-channels and hydraulic structures. Collegedictaat CT3410.

Brater, E.F. and King, H.W., 1996. Handbook of hydraulics: For the solution of hydraulic engineering problems, 7th Edi., McGraw, Boston, 1996.

Chanson, H., 2004. Environmental hydraulics for open channel flows. Elsevier.

Chanson, H., The Hydraulics of Open Channel Flow: An Introduction Basic principle, sediment motion, hydraulic modelling, design of hydraulic structures, 2nd Edi., Elsevier Butterworth-Heinemann, Oxford, 2004

Charlton, R., 2007. Fundamentals of fluvial geomorphology. Routledge.

Featherstone, R.E. and Nalluri, C., 1982. Civil engineering hydraulics: Essential theory with worked examples. Granada.

Featherstone, R. E. and Nalluri, C., Civil Engineering Hydraulics: Essential Theory with Worked Examples, 3 Edi., Blackwell Science Ltd, Oxford, 1995

Han, D., Concise hydraulics, Free study books, www.bookboon.com, Dawei Han & Ventus Publishing ApS, 2008.

https://www.isamabdelmagid.net/

Kay, M., Practical Hydraulics, 2nd edi., Taylor & Francis, London, 2007.

Kay, M., 2017. Practical Hydraulics and water resources engineering. CRC Press.

Mays, L.W., 1999. Hydraulic design handbook. McGraw-Hill Education.

Mays, L.W., 2001. Stormwater collection systems design handbook. McGraw-Hill Education.

Novak, Norman, J.M., Houghtalen, R.J. and Johnston, W.A., 2001. Hydraulic design of highway culverts (No. FHWA-NHI-01-020). United States. Federal Highway Administration. Office of Bridge Technology.P., Moffat, A.I.B., Nalluri, C. and Narayanan, R.A.I.B., 2017. Hydraulic structures. CRC Press.

Norman, J. M., Houghtalen, R. J. and Johnston, W. J., Hydraulic design of highway culverts, hydraulic design series number 5, publication no. Fhwa-nhi-01-020, US Department of transportation, federal highway administration, 2005.

Schall, J.D., 2012. Hydraulic design of highway culverts (No. FHWA-HIF-12-026). United States. Federal Highway Administration.

Chanson, H., Leng, X. and Wang, H., 2021. Challenging hydraulic structures of the twenty-first century–from bubbles, transient turbulence to fish passage. Journal of Hydraulic Research, 59(1), pp.21-35.

Novak, P., Moffat, A.I.B., Nalluri, C. and Narayanan, R.A.I.B., 2017. Hydraulic structures. CRC Press.

DESIGN OF A DIVERSION WEIR F21/0029/2008 Page 1 1.0, ebe.uonbi.ac.ke/sites/default/files/cae/engineering/ebe/rose.pdf

Finnemore, E.J. and Franzini, J.B., 2002. Fluid mechanics with engineering applications. McGraw-Hill Education.

Santosh, K.G., 2007. Irrigation engineering and hydraulic structures, Khanna Publishers

Brudtland Commission, World Commission on Environment and Development. (1987). Our Common Future.

سمير محمد إسماعيل، 2001. هيدروليكا المضخات والقنوات المكشوفة، الناشر مكتبة بستان المعرفة لطبع ونشر وتوزيع الكتب، كفر الدوار – الحدائق، مصر

عبدالحميد كيخيا، 2011. الخزانات الارضية ،https://books-library.website/files/download-pdf-ebooks.org-1492705528Mx2L8.pdf، نظر فيها في 4 إبريل 2023

فريق العمل في المنظمة. ٢٠١٢. المنتقى معجم بالمصطلحات العلمية والهندسية، المنظمة العربية للترجمة، مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية، الحمراء، بيروت

محمد سليمان، 1992. خزانات المياه العالية والارضية، دار الغدير للطباعة والنشر والتوزيع، سوريا.

محمد عزت حسن، الاشتراطات الفنية الواجب توفرها في خزانات مياه الشرب.-http://ccww.com.eg/wp-content/uploads/2017/07/%D8%A7%D9%84%D8%A7%D8%B4%D8%AA%D8%B1%D8%A7%D8%B7%D8%A7%D8%AA-%D8%A7%D9%84%D9%81%D9%86%D9%8A%D8%A9-%D8%A7%D9%84%D9%88%D8%A7%D8%AC%D8%A8-%D8%AA%D9%88%D8%A7%D9%81%D8%B1%D9%87%D8%A7-%D9%81%D9%89-%D8%AE%D8%B2%D8%A7%D9%86%D8%A7%D8%AA-%D9%85%D9%8A%D8%A7%D9%87-%D8%A7%D9%84%D8%B4%D8%B1%D8%A8.pdf، نظرت في 4 إبريل 2023

مسرد المنشآت الهيدروليكية (معجم الألفاظ الصعبة وثبت المصطلحات الفنية الواردة في متن الكتاب)

حرف الألف:

آبار wells الحفريات العمودية الضحلة إلى العميقة، مع الأنابيب المثقبة أو المشقوقة المملوءة بالركام المختار، مما ينتهي معه الجزء السفلي من الحفريات في طبقات سابقة تحت منسوب المياه الجوفية.

ارتوازي artesian ارتفاع المياه الجوفية المعرضة للضغط إلى أعلى إذا كانت غير مقيدة.

اضطراب turbulence حركة السوائل متقلبة السرعات والضغوط المحلية بشكل غير منتظم وبطريقة عشوائية، لحالة من تدفق الماء الذي يتحرك بفعل التيارات المتقاطعة والدوامات.

أمطار المنطقة area rainfall متوسط هطول الأمطار على منطقة ما.

أنابيبي piping حركة المياه المارة عبر الجسر أو تحته، وتحمل معها بعض المواد الدقيقة إلى السطح عند وجه المصب، أو إزالة مواد التربة من خلال التدفق الجوفي أو المياه المتسربة المطورة للمجاري أو الأنابيب داخل ضفة التربة، يجب أن تحتوي الأنابيب على أقل عدد من الانحناءات والتجهيزات، ويجب تثبيتها بإحكام.

أنبوب البيتوت – نظام تصريف pitot tube جهاز لقياس سرعة تدفق المياه ومراقبتها، ويتكون أساسًا من فتحة مثبتة مشيرة إلى أعلى في المياه المتدفقة ومتصلة بأنبوب يمكنه مراقبة ارتفاع المياه في الأنبوب فوق سطح الماء، ويؤشر الاختلاف في مستويات المياه لسمت السرعة.

انثقاب – تخلل percolation تدفق السائل عبر مادة ما في فتحات صغيرة أو وسط مسامي، مشبع أو شبه مشبع، إلى أسفل عبر المنطقة تحت الضغط الهيدروستاتيكي.

أنقاض – ركام – مخلفات – طلل – بقايا debris أي مادة تنقل بواسطة التيار، سواء كانت عائمة أو مغمورة، مثل جذوع الأشجار أو الفرشاة أو الرواسب المعلقة أو حمولة القاع أو القمامة التي قد تستقر على هيكل.

أنقاض – ركام rubble شظايا خشنة غير منتظمة ذات حجم عشوائي، من ألواح خرسانية مكسورة أو حجارة بناء أو نفاية مناسبة أخرى، موضوعة على ضفة قناة أو شاطئ، لتأخير التعرية.

انقباض – اختناق constriction القسم المضغوط أو الضيق من المجرى الطبيعي أو الصناعي، أو ناتج عن رفع القاع، أو تقليص العرض، مع قدرة تدفق محدودة حيث يرتبط التصريف بارتفاع سطح الماء في المنبع.

انقسام الصرف drainage divide الفجوة التي تفصل بين حوض صرف وآخر، والحد الفاصل بين منطقة صرف وأخرى.

حرف الباء الموحدة:

بثور avulsion تغيير مفاجئ في مسار القناة، يحدث عندما يخترق تيار فجأة ضفافه ويرتبط بالفيضان الكبير أو الكارثي.

بحيرة – لاجون – هور lagoon امتداد من المياه المالحة مفصولة عن البحر بواسطة ضفة رملية منخفضة أو شعاب مرجانية، أو بركة اصطناعية لمعالجة المياه لرمادية أو لاستيعاب المياه السطحية التي تفيض بالمصارف أثناء هطول الأمطار الغزيرة.

بحيرة lake مساحة مفتوحة من المياه العميقة نسبيًا كبيرة بما يكفي لتنتج في مكان ما على محيطها شاطئًا قاحلًا تجتاحه الأمواج.

بربخ – عَبّارة culvert هيكل منتظم لقناة أو مجرى مائي مغلق، يُستخدَم لنقل الجريان السطحي من خلال الطرق السريعة أو جسر السكك الحديدية، وغيرها.

بركة pond مسطحات صغيرة وضحلة جدًا من المياه الراكدة الهادئة المغطاة بالنباتات المائية الأعلى.

بطانة blanket مادة غير منفذة مثل الخرسانة والإسفلت المضغوط والأسمنت وغيرها، تغطي كل أو جزء من ضفة المجرى، مصممة لمنع التآكل.

بطانية طينية clay blanket طبقة من الطين المضغوط توضع فوق تربة الضفة غير المتماسكة لحمايتها من النحر حال التدفق.

بيزومتر – مقياس الضغط الحجاجي piezometer أداة لقياس سمت الضغط، تتكون من أنبوب صغير يدخل في جانب قناة مغلقة أو مفتوحة ومتدفقة بالداخل، متصلة بمقياس ضغط أو زئبق أو عمود ماء أو أي جهاز آخر للإشارة إلى سمت الضغط.

حرف التاء المثناة الفوقية:

تجويف cavitation حالة تحدث في المضخات عندما لا يتم ملء الفراغ الموجود بالسائل المتاح، يحدث عندما تنشأ فقاعات الهواء أو الجيوب التي في الخطوط والمكونات الهيدروليكية من خلال التدفق المضطرب للسائل الهيدروليكي.

تجويف هيدروليكي hydraulicbore موجة من المياه لها جبهة عمودية تقريبًا تتقدم لأعلى في اتجاه مجرى النهر نتيجة انفجار سحابي أو الإطلاق المفاجئ لكمية كبيرة من المياه من الخزان وفي بعض المصبات، تشبه القفزة الهيدروليكية من حيث تمثيلها لحالة محددة لمنحنى السطح عندما يميل ليصبح عموديًا على قاع التيار.

تحويل القنوات channelization استقامة و/أو تعميق القناة بالقطع الاصطناعي والتدريج وتدابير التحكم في التدفق والتدريب النهري أو تحويل التدفق إلى قناة اصطناعية، أو غيره.

تدرج الطاقة energy gradient ميل خط تدرج الطاقة بالإشارة إلى أي مستوى، يمثل ميل هذا الخط معدل فقد السمت، ودوماً ينحدر للأسفل في اتجاه التدفق.

تدريب النهر – ترويض النهر river training ممارسة استخدام التدابير الهيكلية لمحاولة إجبار مجرى أو قناة نهر على الأداء بطريقة محددة.

تدفق أساسي – دفق القاعدة – الجريان السطحي base flow تصريف يبين بيانات ذروة التدفق، ويُختَار في كل محطة لعرض المتوسط السنوي لثلاث قمم.

تدفق الطين mud flow كتلة مخلوطة جيدًا من الماء والطمي، والتي تتحرك بمعدل بطئ للزوجتها العالية وسيولتها المنخفضة مقارنة بالماء، لتتراكم وتنتشر فوق المروحة الغرينية مثل صفيحة من الملاط الرطب أو الخرسانة.

تدفق القنوات المفتوحة open channel flow تدفق في أي قناة مفتوحة أو مغلقة، حيث يكون سطح الماء حراً؛ أي حيث يكون سطح الماء تحت الضغط الجوي.

تدفق مضطرب – تدفق مائر turbulent flow حالة التدفق التي تسود فيها قوى القصور الذاتي على القوى اللزجة، ولا يرتبط فيها فقدان السمت بالسرعة خطيًا، وتتحرك فيه جزيئات السائل على طول مسارات غير منتظمة للغاية، وفيه فقد السمت متناسبًا تقريبًا مع القوة الثانية للسرعة.

تدفق تصميمي design discharge الحد الأقصى لمعدل التدفق (أو التصريف) الذي صمم مرفق الصرف من أجله.

تدفق تيار الماء flow الكمية الإجمالية التي يحملها تيار من الماء والطمي و/أو الرمل، وغيره.

تدفق ثابت – تفريغ ثابت steady flow تدفق ذي معدل أو كمية سوائل فيه ثابتة ومستمرة مع الوقت عند المرور بنقطة معينة لكل وحدة زمنية.

تدفق حرج critical flow يتدفق في قنوات مفتوحة فيها أقل محتوى للطاقة في السائل، أو التدفق في العمق الحرج، هذا التدفق فيه رقم فروديساوي الوحدة.

تدفق داخل inflow معدل التصريف الذي يصل إلى نقطة ما في مجرى أو هيكل أو خزان.

تدفق صفحي – تدفق انسيابي – تدفق لزج laminar flow تدفق يتحرك فيه كل جسيم بثبات في مسارات ناعمة ومستقيمة وموازية لجدران القناة، وفيه يتناسب فقدان السمت تقريبًا مع القوة الأولى للسرعة، وتنخفض فيه قيم رقم رينولد.

تدفق صفحي – تدفق رقائقي (الانسياب)(Laminar Flow(Streamline التدفق السلس والفعال للسائل الهيدروليكي عبر الخطوط الهيدروليكية ومكوناتها.

تدفق ضمني – تدفق دون الحرج subcritical flow تهيمن فيه قوى الجاذبية بحيث

يكون التدفق هادئ وبسرعة منخفضة نسبيًا أقل من السرعة الحرجة، وغالبًا يحتوي على رقم فرودأقل من الوحدة.

تدفق غير ثابت – التدفق المتنوع unsteady flow تفريغ متغير مع الوقت لتدفق المقطع العرضي المتغير، ومتوسط السرعة من خلال مقطع المجرى في فترة زمنية.

تدفق فائق– تدفق فوق الحرج supercritical flow تهيمن فيه قوى القصور الذاتي بحيث يكون لهذا التدفق سرعة عالية أكبر من السرعة الحرجة، ويتدفق في أعماق أقل من العمق الحرج، يحتوي على رقم فرود أكبر من الوحدة.

تدفق متنوع بسرعة rapidly varied flow يتغير فيه العمق والسرعة على مسافات قصيرة، وتهيمن قوى التسارع، فيما يكون فقدان الطاقة بسبب الاحتكاك طفيفًا.

تدفق منتظم uniform flow دفق مستمر وثابت وسرعة متوسطة ثابتة في مقطع المجري العرضي والفترة الزمنية.

تربة soil مادة شديدة التقسيم، مكونة من صخور مفككة ومختلطة بمواد عضوية تنمو فيها النباتات.

تسرب – نضح – ارتشاح seepage حركة الماء البطيئة من خلال الشقوق الصغيرة أو مسام مادة الضفة.

تصريف discharge حجم الماء أو معدل حجم التدفق الذي يمر عبر نقطة خلال وقت معين.

تصريف drainage عملية إزالة مياه المنطقة أو المياه الجوفية الفائضة أو المياه السطحية بوسائل اصطناعية.

تصميم العاصفة design storm عاصفة مختارة بتردد معين (فترة تكرار) تستخدم لتصميم النظام.

تعرية –تآكل – تحات erosion عملية التآكل بفعل الرياح أو الماء أو العوامل الطبيعية الأخرى.

تغذية المخزون الجوفي recharge إضافة الماء من الترسيب أو التسرب إلى منطقة التشبع.

تفريغ الضفة – التدفق المهيمن أو المسيطر bankfull discharge متوسط التفريغ

السنوي أو التفريغ من سنتين إلى ثلاث سنوات يملأ قناة إلى نقطة الفيضان، أو في قناة كانت مستقرة نسبيًا لعدد من السنوات دون حدوث فيضان كبير مدمر للضفاف.

توجيه الفيضان flood routing عملية التحديد التدريجي لتوقيت موجة فيضان وشكلها والتغيرات فيها عند نقاط متتالية على طول النهر، أو أثناء تحركها في اتجاه مجرى النهر عبر وادي أو عبر خزان.

حرف الثاء المثلثة:

ثغرة – أخدود groove قطع طويل أو ضيق أو منخفض، خاصة إذا أُجري لتوجيه الحركة أو تلقي سلسلة من التلال المقابلة.

ثقب – ثقب حفرة – حفرة السبر – تجويف حفرة البئر borehole حفرة عميقة وضيقة مصنوعة في الأرض، خاصة لتحديد موقع الماء أو الزيت.

ثقل نوعي specific gravity وزن السائل مقارنةً بوزن الماء بنفس الكمية وبنفس درجة الحرارة.

ثلمة – شق – حز notch فجوة أو شق على حافة أو سطح، أو قطع على شكل حرف **V** في حافة أو سطح.

حرف الجيم المعجمة[8]:

جاك – مقبس Jack توصيل أجهزة معًا في صفوف متوازية تقريبًا للتحكم في التدفق وحماية الضفاف من التآكل الجانبي.

جدار أساسي core–wall جدار من الحجارة أو أساسات الخوازيق أو الطين المبني داخل السد أو الردمية لتقليل الترشيح، وغيرها.

[8] يوصف المنقوط بالمعجمِ، والمتروك بالمهملِ كتمييز لفظي

جدار القطع cutoff wall جدار أو طوق أو هيكل آخر مصمم لتقليل ترشيح الماء على طول الأسطح الملساء أو الطبقات المسامية، يُبنى من دعامات الألواح أو الخرسانة، والذي يمتد من نهاية هيكل الصرف و/أو خط التدفق نزولاً إلى أدنى عمق النحر المتوقع، أو إلى مادة مقاومة للنحر.

جدار ساند retaining wall هيكل يستخدم للحفاظ على فرق الارتفاع بين سطح الماء والضفة العلوية مع منع تآكل الضفاف وعدم استقرارها في نفس الوقت.

جريان سطحي runoff يشمل كلاً من التدفق البري والعائد والداخلي والأساس لمياه التيار والفيضانات للصرف على الطريق السريع الذي يسري على سطح منطقة الصرف، ولا يتأثر بالتحويلات الاصطناعية أو التخزين أو الأعمال الأخرى التي يقوم بها الإنسان في/أو على قنوات التدفق.

جسر – كبري bridge هيكل يشمل الدعامات التي أقيمت فوق مُنخفَض أو عائق، مثل المياه أو الطريق السريع أو السكك الحديدية، وله مسار أو ممر لنقل حركة المرور أو نقل الأحمال، ويمثل هيكلاً مصمماً هيدروليكيًا باستخدام مبادئ تدفق القناة المفتوحة للعمل مع سطح مائي حر وقد يُغمَر تحت ظروف الفيضان.

جسر مائي bridge waterway مساحة لفتحة متاحة للتدفق، تقاس لاتجاه التدفق الرئيس تحت مرحلة محددة وطبيعية.

فرع جانبي – خندق ثانوي **lateral** قناة أو خندق أو جدول أو مجرى لنقل المياه المحولة من قناة رئيسة أو مجرى لتسليمها إلى التوزيعات.

حرف الحاء المهملة:

حاجِز – قضبان bar رواسب مطولة من الطمي، غير مزروعة بشكل دائم، داخل أو على طول جانب القناة.

حاجز dike هيكل خطي غير منفذ لاحتواء التدفق أو التحكم فيه أو إعادة توجيهه فوق الضفة أو أسفل مسار آخر، تتوازى هذه السدود مع ضفة النهر وتمتد لمسافة قصيرة على طول الضفة.

حاجز إنشائي bulkhead جدار شديد الانحدار أو عمودي، يدعم جسرًا طبيعيًا أو

اصطناعيًا، ويمكن استخدامه كإجراء وقائي ضد تآكل الضفاف.

حجر الأساس بيدروك bedrock مادة مقاومة للنحر تحت التربة القابلة للتآكل، وتتراوح من التعرض السطحي إلى أعماق تصل إلى عدة كيلومترات.

حجم الجسيمات الفعال effective particle size قطر الجسيمات المكافئ لشكل كُرِّي، متساوي في الحجم ومرتّب بطريقة معينة، لعينة افتراضية من مادة حبيبية سيكون لها نفس ثابت الإرسال ومقاومة القص والنحر والاستجابة وسرعة السقوط.

حصاة cobble قطعة من الصخور يتراوح قطرها بين 64 إلى 250 ملم.

حصى gravel يُحَضّر من الصخور أو خليط من الأحجام مع الرمل أو غيره – حيث يكون الجزء السائد أو النموذجي هو نطاق حجم الحصى، يتراوح قطره بين 2 مم و 64 مم.

حمل – رواسب loador sediment load مقدار الرواسب التي يحركها المجرى المائي.

حوض – تجمع pool بركة صغيرة عميقة نوعًا ما في مجرى من المياه الهادئة.

حوض التقاط catch basin هيكل أحيانًا به حوض، لإدخال الصرف من أماكن مثل الميزاب أو الوسيط وتفريغ المياه من خلال قناة.

حوض الصرف drainage basin جزء من سطح الأرض يشغله نظام تصريف، يتكون من مجرى سطحي أو جسم من المياه مع جميع التيارات السطحية والروافد والكتل السطحية للمياه السطحية المحجوزة.

حوض تغذية المخزون الجوفي recharge basin حوض محفور في الأرض أو حفرة لاستقبال التصريف من مجاري المياه أو مصارف مياه الأمطار بغرض تجديد إمدادات المياه الجوفية وخزانها وإعادة شحنها و/أو تخفيف تصريف الفيضانات عبر امتصاص الماء في الأرض بمعدلات تتجاوز الشكل الطبيعي. حوض، يتخلص من المياه المخزنة بالترشيح أو الحقن (الآبار الجافة) المصممة لهذه الأغراض.

حوض مكث retention basin ليس لديه منفذ غير متحكم فيه للاحتفاظ بالماء وتخزينه لتنظيم الفيضان، ويتخلص من المياه المخزنة بالتسلل والحقن أو إطلاقها إلى نظام الصرف في اتجاه مجرى النهر بعد العاصفة أو إطلاقها بالجاذبية عبر بوابة أو عن طريق الضخ.

حوض مياه جوفي – مكمن مائي aquifer تكوين جيولوجي مسامي حامل للماء من مواد قادرة على توفير إمداد ملموس من المياه.

حرف الخاء المعجمة:

خازوق pile عضو مطول، مصنوع من الخشب أو الخرسانة أو الفولاذ، يعمل كمكون لهيكل تدريب نهر أو لأساس جسر.

ختم seal جهاز يمنع هروب السوائل الهيدروليكية أو يتحكم في مرورها.

خرسانة – بيتون concrete مادة بناء ثقيلة وخشنة مصنوعة من خليط من الحجر المكسور أو الحصى والرمل والأسمنت والماء، والتي يمكن نثرها أو سكبها في قوالب وتشكل كتلة تشبه الحجر عند التصلب.

خزان reservoir وعاء طبيعي أو صناعي لحفظ إمدادات السوائل العاملة في نظام هيدروليكي.

خط تدرج الطاقة energygrade line خط مائل مرسوم فوق خط التدرج الهيدروليكي يمثل الطاقة الإجمالية لتيار يتدفق من ارتفاع أعلى إلى ارتفاع منخفض مسافة تعادل سمت السرعة للماء المتدفق عند كل مقطع عرضي على طول مقطع المجرى أو القناة.

خلاصة abstraction ذلك الجزء من الأمطار الذي لا يتحول إلى جريان، شاملا الاعتراض والتسلل والتخزين في المنخفضات، ويتأثر باستخدام الأرض ومعالجتها وحالتها ورطوبة التربة.

خندق ditch قناة اصطناعية صغيرة الحجم.

خوازيق حاجزة – خوازيق مصد baffle–piers العوائق الموضوعة في مسار المياه عالية السرعة لتبديد الطاقة ومنع تآكل الضفاف ونحر قاع التدفق، مثل الأرصفة الموجودة على ساحة حوض ساكن.

حرف الدال المهملة:

درع armor تسطيح اصطناعي لقاع القنوات أو الضفاف أو ميول الردميات لمقاومة نحر القاع و/أو تآكل الضفة الجانبية.

دفق دائم perennial stream دفق أو مدى وصول لتيار يتدفق بشكل مستمر طوال العام أو معظمه.

دفق سريع الزوال ephemeral stream مجرى أو نهر لتيار لا يتدفق بشكل مستمر معظم العام ويتدفق فقط كاستجابة مباشرة لهطول الأمطار وتكون قناته في جميع الأوقات فوق منسوب المياه الجوفية.

ديناميكا مائية Hydrodynamics الأجهزة أو الأنظمة التي تستخدم التأثير أو الطاقة الحركية في السائل لنقل الطاقة.

حرف الذال المعجمة:

ذروة apex أعلى نقطة، القمة.

ذروة التفريغ peak discharge أعلى قيمة للمرحلة أو التفريغ الذي تحقق بالفيضان؛ ويمثل الحد الأقصى لمعدل التفريغ على مخطط هيدروغرافي للجريان السطحي لفيضان معين.

ذيل المياه – المياه الخلفية backwater العمق المقاس من خط التدفق السفلي للقناة أو تصريف العواصف إلى سطح الماء في القناة مباشرة في اتجاه مجرى مرفق الصرف، يستخدم في تصميم المجاري وتصريف مياه الأمطار.

حرف الراء المهملة:

راكدة afflux المياه الخلفية Backwater الارتفاع الذي ترفع من خلاله مستويات المياه عند نقطة محددة، بسبب وجود انقباض أو عائق، مثل الجسر.

رام ram آلية هيدروليكية تستخدم الطاقة الحركية لسائل متدفق لإرسال كمية صغيرة من السائل لخزان على مستوى أعلى.

ردم خلفي backfill المواد المستخدمة لإعادة ملء حفرة أو فجوات أخرى، أو مادة موضوعة بجوار هيكل الصرف أو حوله، أو عملية الردم.

رصيف – ردمية **levee**، ردمية خطية خارج المجرى لاحتواء التدفق تقع في اتجاه اليابسة من أعلى الضفة، ليحصر التدفق خلال فترات ارتفاع المياه، ويمنع التدفق إلى الأراضي المنخفضة.

رفع uplift قوة ضغط الماء الصاعد على قاعدة الهيكل.

رقم رينولدز Reynolds number رقم لابعدي يحدد العلاقة بين قوى القصور الذاتي والقوى اللزجة للسائل المتحرك.

رقم فرود Froude number رقم بدون أبعاد يمثل نسبة القصور الذاتي إلى قوى الجاذبية.

رمل sand مادة التربة الرملية ذات الحبيبات أصغر من 2.0 مم وخشنة من 0.062 مم والتي تجتاز المنخل القياسي الأمريكي رقم 4 (4.76 مم) ويحتفظ بها على المنخل رقم 200 (0.074 مم) مادة.

رواسب القاع bed load كمية الرواسب أو الطمي أو الرمل أو الحصى أو أي مخلفات أخرى ملفوفة على طول قاع مجرى مائي تنقل عن طريق التدحرج أو الانزلاق أو التخطي (الملوحة) على طول قعر المجرى أو بالقرب منه.

رواسب غرينية – طمي alluvial رواسب الطمي أو الرمال أو الحصى أو المواد المتفتتة المماثلة التي تنقلها المياه الجارية.

ريبراب riprap الحجارة أو الطوب أو المواد المشيدة المماثلة مثل الخرسانة المكسورة

الموضوعة في تجمعات مفكوكة على طول الضفاف وقعر جدول أو شاطئ بحيرة أو بركة أو خليج أو محيط لمنع التعرية والنحر.

ريبل ripple الاهتزاز الخفيف لسطح الماء الناجم عن النسيم، والنتوءات والأخاديد المتموجة أو القمم والأحواض المتكونة بفعل التدفق.

حرف الزاي المعجمة:

زاوية الراحة angle of repose الزاوية القصوى، مقاسة من الأفقي، والتي يمكن أن تقف عندها الجسيمات الحبيبية.

حرف السين المهملة:

ساتر ترابي berm رف أو حافة ضيقة أو حاجز.

سد dam حاجز لحصر أو رفع المياه للتخزين أو التحويل، أو لإنشاء سمت هيدروليكي.

سد التعبئة الهيدروليكية hydraulic-fill dam سد من التراب والرمل والحصى، يسوي في مكانه؛ تغسل الحبيبات الناعمة باتجاه المركز لمزيد من النفاذية.

سد الفحص check dam سد منخفض نسبيًا أو هدار عبر قناة لتحويل تدفقات الري من قناة صغيرة أو خندق أو غيره.

سد ترابي – سد طيني earth dam حاجز أمام مجرى النهر من التربة أو الطين أو الرمل أو الرمل والحصى، أو مزيج من الأرض والصخور.

سد ترابي gravity dam سد يعتمد فقط على وزنه لمقاومة ضغط المياه وأي قوى وعزوم أخرى عليه.

سد سرير crib dam حاجز مصنوع من الخشب مكونًا خلجانًا أو خلايا مملوءة بالحجر أو أي مادة أخرى مناسبة.

سرعة velocity معدل حركة مجرى أو نهر أو للأشياء أو الجسيمات المنقولة فيه،

ويحدد متوسط السرعة عند مقطع عرضي معين بقسمة إجمالي التفريغ في تلك النقطة على إجمالي مساحة المقطع العرضي.

سرعة حرجة critical velocity متوسط السرعةلتدفق عند العمق الحرج؛ في القنوات المفتوحة حيث سمت السرعة يساوي نصف متوسط العمق.

سرعة صفائحية laminar velocity يمثل في قناة معينة السرعة التي سيظل يتواجد دائمًا تحتها التدفق الصفحي، والتي قد يكون التدفق فوقها إما رقائقيًا أو مضطربًا حسب الظروف.

سرعة متوسطة mean velocity السرعة في قسم معين من النهر، ويحصل عليها بقسمة تصريف التيار أو التفريغ على مساحة منطقة المقطع العرضي في هذا القسم أو متوسط مساحة الوصول.

سعة capacity مقياس لقدرة قناة أو مجرى على نقل المياه.

سمت head ارتفاع الماء فوق أي نقطة أو مستوى أو مرجع أو السطح الحر لجسم مائي فوق نقطة معينة.

سمت الدخول entrance head السمت المطلوب لإحداث تدفق في قناة أو هيكل آخر؛ يشمل كلاً من فواقد المدخل وسمت السرعة؛ يعادل ارتفاع المياه وسمت الطاقة في مقطع الاقتراب لبربخ أو جسر.

سمت بيزوميتر – ارتفاع بيزوميتر – سمت الضغط piezometric head السمت الإجمالي في أي مقطع عرضي مطروحًا منه سمت السرعة ؛ يعادل ارتفاع سطح الماء في تدفق القناة المفتوحة؛ أو ارتفاع خط التدرج الهيدروليكي في أي نقطة.

سن – نتوء dental بروز شبيه بالسن على ساحة أو حوض ثابت أو أي سطح آخر، لصرف أو كسر قوة المياه المتدفقة؛ شكل من أشكال **baffle**.

سويل – مستنقع swale خندق واسع ضحل مرصوف أو مرصوف بالأعشاب وبدون قاع وضفاف محددة جيدًا.

سيبوليتي وير Cipolletti عداد قياس مع تقلص، حيث يكون لكل جانب من جوانب الهدار منحدر من 1 أفقي إلى 4 عمودي، للتعويض عن الانقباضات النهائية.

حرف الشين المعجمة:

شغل work الطاقة المنقولة من أو إلى جسم عن طريق تطبيق القوة على طول الإزاحة، بالنسبة لقوة ثابتة في اتجاه الحركة، فإن الشغل يساوي حاصل ضرب القوة والمسافة المقطوعة.

حرف الصاد المهملة:

صمام valve جهاز يتحكم في ضغط السائل أو اتجاه تدفقه أو معدل التدفق.

صهريج tank خزان اصطناعي لمياه المخزون.

صيغة جيزي Chezy formula صيغة تجريبية للتدفق المنتظم تعبر عن العلاقة بين سرعة التدفق المتوسطة في قنوات القناة المفتوحة ونصف القطر الهيدروليكي.

صيغة كوترز Kutters formula صيغة تجريبية تعبر عن قيمة معامل صيغة جيزي، من حيث ميل الاحتكاك ونصف القطر الهيدروليكي ومعامل الخشونة.

صيغة منطقية rational formula معادلة تجريبية لتقدير تصريف الفيضان المعطى.

حرف الضاد المعجمة (السَّاقِطَة[9]):

ضغط pressure القوة لكل وحدة مساحة.

ضغط هيدروستاتيكي hydrostatic pressure الضغط الذي يمارسه وزن الماء في أي نقطة في جسم مائي عند السكون.

ضفة bank المنحدرات أو الهوامش والحدود الجانبية للقناة أو مجرى، التي ينحصر بينها التيار أو النهر.

ضلع abutment دعامة البنية الفوقية في أي من طرفي الجسر أو هيكل، ويعتبر جزءًا

[9]أي التي سقط العصى (الألف التي على الظاء فوقها).

من البنية التحتية للجسر، ويصنف انسكابي أو رأسي.

حرف الطاء المهملة

طاقة energy القدرة على القيام بالعمل، الطاقة الحركية هي تلك الناتجة عن الحركة، والطاقة الكامنة ناتجة عن الموضع، تمثل الطاقة الإجمالية في أي مقطع بمجموع طاقاتها المحتملة والحركية.

طبقة غير قابلة للإنفاذ impermeable strata طبقة يكون فيها النسيج من النوع الذي لا يمكن للماء أن يتحرك خلاله بشكل محسوس تحت الضغوط الموجودة عادة في المياه الجوفية.

طريق الجسر causeway ردمية صخرية أو ترابية تحمل طريقًا عبر المياه.

طمي – غرين silt تمر بالمنخل القياسي الأمريكي رقم 200 (0.074 مم) وهو غير بلاستيكي أو قليل البلاستيك جدًا ولا يظهر قوة عند التجفيف بالهواء، ويضم الرواسب والمواد المنقولة التي تحملها المياه من التربة الناعمة أو الرمل أو الطين والمواد المعلقة وحمل القاع.

طين – وحل mud خليط ناعم مشبع يتكون أساسًا من الطمي أو الغرين والطين.

طين clay مادة تمر على المنخل القياسي الأمريكي رقم 200 (0.074 مم) تظهر اللدونة وتتمتع بقوة كبيرة عندما تجف بالهواء.

حرف الظاء المعجمة

ظاهر **apparent** واضح للعيان أو مفهوم؛ بديهي، تبدو حقيقية ولكن ليس بالضرورة كذلك.

حرف العين المهملة:

عبور crossover المدى القصير والضحل نسبيًا لتيار بين الانحناءات؛ النقطة التي تعبر فيها التدفقات من ضفة مجرى تدفق منخفض إلى آخر.

عتبة – هيكل – جهاز sill يوضع عبر قناة أو مستعرض للتحكم في التسوية والتدفق في مجرى شديد الانحدار لتوفير مجرى صيد.

عداد قياس التيار current meter جهاز ينزل إلى الجدول لقياس سرعة جريان المياه وتسجيل معدل تحرك التيار.

عرض البرميل – عرض الحاجز barrel width يمثل المدى الداخلي والأفقي لمنشأة الصرف.

عزم ازدواج couple زوج من القوى المتوازية المتساوية التي تكون معاكسة في الاتجاه، تمنع الدوران. يقاس بضرب مقدار أي من القوتين بالمسافة العمودية بين خطوط عمل القوتين.

عمق حرج critical depth عندما يكون سمت الطاقة هو الحد الأدنى وسمت السرعة يساوي نصف متوسط العمق، يكون العمق المقابل هو عمق Belanger الحرج، وهو العمق الذي يحدث عنده الحد الأقصى للتصريف، أو العمق الذي تتدفق فيه كمية معينة من الماء في قناة معينة مع الحد الأدنى من محتوى الطاقة.

عمق متوسط mean depth مساحة المقطع العرضي لقناة مقسومة على عرض سطحها.

عوارض baffle هيكل يشمل الدوارات والأدلة والشباك أو جهاز مشابه، يشيد على قاعدة مجرى أو قناة أو مرفق تدفق لصرف أو تعطيل التدفق، أو فحص التيارات الدوامة والتوزيع وتسهيل المرور.

حرف الغين المعجمة:

غابيون Gabion سلة مستطيلة الشكل مصنوعة من قماش أو شبكة من الأسلاك الفولاذية مملوءة بالصخور أو مادة مماثلة ذات حجم وتدرج مناسبين، تستخدم لبناء هياكل التحكم في التدفق وحماية الضفاف والأربية والأرصفة البحرية والسدود.

غرفة التفتيش – فتحة الوصول manhole الهيكل الذي يمكن للمرء من خلاله الوصول إلى نظام الصرف.

غيسون – غواص CAISSON غرفة تغرق بالحفر من الداخل، لغرض الوصول إلى الجيولوجيا تحت السطحية المختارة لدعم البنية التحتية للهيكل (الأساس)، تسمى غواص هوائي إذا اغلقت الحجرة من الأعلى واستبعد الماء عن طريق ضغط الهواء.

حرف الفاء الموحدة:

فتحة – منفذ orifice ثقب أو فتحة عادة في لوحة أو جدار أو فاصل أو نهاية أنبوب صغير مثل فتحة أنبوب بيتوت أو مقياس ضغط، يتدفق من خلالها الماء، لغرض التحكم أو القياس.

فقدان الاحتكاك أو السمت friction loss or head السمت أو الطاقة المفقودة نتيجة الاضطرابات التي تنشأ عن التلامس بين تيار متحرك من الماء والمجرى المحتوي عليه.

فلتر – مرشح filter جهاز مدمج في نظام هيدروليكي لإزالة الملوثات، أو مرشح من مواد طبيعية أو صناعية للسماح بالتسرب الطبيعي أو لإزالة المواد الصلبة أو الغروية أو منع انتقال جزيئات التربة الدقيقة أثناء مرور المياه.

فلوم – قناة صنعية لنقل المياه – مسيل flume مجرى مفتوح أو مغلق يستخدم لنقل المياه أو الخشب أو الخرسانة أو المعدن أو حملها على ميلان أو حامل أو جسر مُعد.

فيضان السجل flood of record أقصى تصريف مقدر أو مقاس حدث في الموقع.

فيضان خمسمائة عام five-hundred year flood الفيضان الناجم عن عاصفة و/أو

مد له فرصة 0.2 بالمائة لتجاوزه في أي سنة معينة.

فيضان مائة عام – الفيضان الاحتمالي – فيضان الصدفة one-hundred year flood حجم الفيضان الذي يبلغ احتمال وجوده 0.01 تجاوز في أي سنة معينة ولديه فرصة بنسبة 63 في المائة للتجاوز خلال 100 عام.

فيضان وميض flash flood هو فيضان يحدث في وقت قصير (دقائق إلى ساعات) بعد الحدث المسبب.

فيضان flood حدث أو غمر يفيض على ضفاف التدفق الطبيعي أو الجريان السطحي الذي تسرب من قناة أو أي مجرى مائي آخر أو مياه سطحية أخرى ويسبب أو يهدد بأضرار.

فيضانات – عاصفة كارثية catastrophic storm or flood أي فيضان (أو عاصفة) تزيد كثيرًا عن الفيضان الأساسي قادرة على إحداث قدر كبير من الضرر والدمار.

فينا كونتراكتا – منطقة ازدحام *Vena contracta* منطقة القسم الأكثر تعاقدًا لتيار أو نفاث أو قيلولة خارج مستوى الانقباض الذي يصدر من خلاله.

حرف القاف المثناة:

قابلية النفاذ – نفاذية permeability خاصية مادة تسمح بحركة ملموسة للمياه من خلالها عندما تكون مشبعة، وتتحرك عن طريق الضغط الهيدروستاتيكي المعتاد في المياه الجوفية الطبيعية.

قاع القناة bed جزء القناة غير المزروع بشكل دائم تحده الضفاف وتتدفق المياه فوقه بشكل طبيعي.

قانون باسكال Pascal's law يعبر عن انتقال الضغط في حاوية مغلقة بشكل متساوٍ وغير منقوص إلى جميع أجزاء الحاوية ويعمل بزوايا قائمة على الجدران المحيطة.

قانون دارسي Darcy's law معدل التفريغ يتناسب مع التدرج في السمت الهيدروليكي والموصلية الهيدروليكية.

قطع cutoff مجرى طبيعي أو اصطناعي لتقصير طول المجرى المائي.

قفزة هيدروليكية – وثبة هيدروليكية hydraulic jump الممر المفاجئ والمضطرب للمياه من مرحلة تحت العمق الحرج (التدفق فوق الحرج) إلى مرحلة فوق العمق الحرج (التدفق دون الحرج) تنتقل خلاله السرعة من فوق الحرجة إلى ما دون الحرجة. إنه يمثل الشروط المحددة لمنحنى سطح الماء حيث يميل إلى أن يصبح عموديًا على قاع التيار.

قمة crest أقصى ارتفاع للفيضان في موقع معين.

قناة – أنبوب – ترعة conduit قناة اصطناعية أو طبيعية مفتوحة أو مغلقة مثل الأنبوب أو المجاري المخصصة لنقل المياه.

قناة canal قناة أو مجرى مفتوح مبنية لنقل مياه الري وتتميز عن الخندق بحجمها الأكبر، عادة تحفر في أرض طبيعية، وربما تكون مبطنة.

قناة النهج approach channel مدى وصول القناة في اتجاه المنبع من السد أو الجسر أو المجرى أو أي هيكل صرف آخر.

قناة متعرجة tortuous channel قناة ملتوية ليست حرة لتغيير المحاذاة.

قناة مكشوفة open channel قناة بها سطح مائي معرض للضغط الجوي في جميع النقاط، أو أي وسيلة نقل يتدفق فيها الماء بسطح حر.

قنطرة – كوبري bridge هيكل يحمل طريقًا أو مسارًا أو سكة حديدية أو قناة عبر نهر أو واد أو طريق أو خط سكة حديد أو أي عائق آخر.

قواطع breakers الانقطاعات السطحية للأمواج عند تفككها، وقد تتخذ أشكالًا مختلفة (انسكاب، غرق، اندفاع).

قوة حصان Horsepower 1 حصان يساوي 33000 قدم رطل/دقيقة واحدة، أو 1 حصان يعادل 550 قدم رطل/ثانية واحدة.

حرف الكاف:

كتف shoulder الجزء المتاخم للطريق المقطوع لاستيعاب المركبات المتوقفة،

وللاستخدام في حالات الطوارئ، وللحصول على الدعم الجانبي لقاعدة الطريق ومسارات السطح.

كتلة Mass تمثل مقدار المادة في الجسم، وقصورها الذاتي أو مقاومتها للحركة.

كثافة **density** درجة انضغاط المادة ودرجة الاتساق حيث تقاس بكمية الكتلة لكل وحدة حجم.

كثافة حجمية – كثافة ظاهرية **bulk density** كتلة العديد من جسيمات المادة مقسومة على الحجم الكلي الذي تشغله.

كشط abrasion إزالة مادة ضفة التدفق بسبب احتكاك الرواسب أو الجليد أو الحطام.

كمية الحركة – اندفاع momentum قوة دفع جسم متحرك؛ وتقاس كمية الحركة في الجسم بحاصل ضرب كتلته في سرعته.

كوفردام cofferdam حاجز مبني في الماء لتشكيل سياج يضخ منه المياه للسماح بالوصول الحر إلى المنطقة الواقعة بداخله.

حرف اللام:

لزوجة viscosity مقياس لمقاومة السائل للتدفق.

لزوجة تحريكية – لزوجة ديناميكية – لزوجة مطلقة dynamic viscosity مقياس لزوجة مائع، كلما زادت اللزوجة زاد سمك السائل؛ كلما انخفضت اللزوجة كان أرق وأكثر سيولة. وحدة اللزوجة الديناميكية في النظام الدولي للوحدات باسكال ثانية.

لزوجة حركية kinematic viscosity تساوي اللزوجة الديناميكية مقسومة على كثافة السائل.

لوحة الفتحة orifice plate لوحة تحتوي على فتحة أصغر من الأنبوب والانخفاض في خط التدرج الهيدروليكي الناتج عن ذلك هو مؤشر التدفق.

حرف الميم:

مادة واقية –غطاء الضفة apron موضوعة على قاع مجرى تيار لمنع النحر الذي تسببه بعض مرافق الصرف. تبطين الأرضية بمواد مثل الخرسانة والخشب و riprapلحماية السطح من التآكل، مثل الرصيف الموجود أسفل المزالق أو مجاري المياه أو عند أصابع السدود أو عند منافذ المجاري.

مانومتر – مقياس الضغط – مؤشر الضغط التفاضلي manometer أنبوب يحتوي على سائل يتحرك سطحه بشكل متناسب مع تغيرات الضغوط.

مبدأ المفيض spillway principal أنبوب أو قناة خرسانية أو معدنية تستخدم مع منشأة مائية لنقل – بطريقة آمنة وغير مؤذية – جميع التصريفات العادية الواردة وجزء التصريف العالي الذي لا يمر عبر مجرى تصريف الطوارئ أو أعمال المخرج.

متوسط التدفق الشهري mean monthly flow تحديد متوسط التدفقات الشهرية للمواقع المقاسة، معبرًا عنه بالنسبة المئوية للتدفق السنوي، لكل من الأحواض المجاورة في نفس المنطقة الهيدرولوجية.

متوسط التفريغ average discharge المتوسط الحسابي لجميع سنوات المياه الكاملة المسجلة سواء كانت متتالية أم لا، ويستخدم "المتوسط" لمتوسطات الفترات الأقصر، أي متوسط التفريغ اليومي.

متوسط التفريغ اليومي mean daily discharge المتوسط لدفق تيار نهر ليوم واحد.

متوسط الفيضان السنوي mean annual flood ذروة الفيضان السنوية القصوى لها فاصل تردد أو فاصل تكرار 2.33 سنة.

متوسط حسابي للتفريغ mean discharge لمتوسط التفريغ اليومي الفردي خلال فترة محددة.

متوسط مستوى البحر mean sealevel المستوى الذي يتأرجح حوله المد والجزر، يحدد من حساب متوسط ارتفاعات المد والجزر المسجلة بالساعة على مدى عدة سنوات.

مجرى – تدفق stream جسم من المياه المتدفقة في أي قناة، طبيعية أو اصطناعية أو

مجرى جسم مائي قد يتراوح حجمه من نهر كبير إلى جدول صغير.

مجرى channel القاع والضفاف التي تحصر تدفق المياه السطحية في مجرى طبيعي أو قناة اصطناعية وتحتوي بشكل دوري أو مستمر على مياه متحركة أو تشكل رابطًا بين جسدين مائيين، مما يعمل على حصر المياه حتى كمية التصريف الكاملة.

مجرى العاصفة الرئيسة major storm drain نظام تصريف العواصف الرئيس لتجنب مخاطر الفيضانات الكبيرة.

مجرى أو قناة غير منتظم الدفق non-uniform channel يكون فيه التدفق غير مستقيم ومتوازي، ويختلف متجه السرعة في حالة معينة اختلافًا كبيرًا مع المسافة على طول مسار التدفق.

مجرى فينتوري Venturi flume عداد يستخدم لقياس التدفق ويمثل نوع من مجاري الهواء المفتوح مع حلق متقلص يسبب هبوطًا في خط التدرج الهيدروليكي.

مجرى منتظم الدفق uniform channel قناة منتظمة المقطع العرضي وذات خشونة وميل ثابت للتدفق المستقيم والمتوازي، لا يوجد تباين كبير في متجه السرعة مع المسافة على طول خط انسيابي في لحظة معينة.

مسافة حرة freeboard الخلوص الرأسي بين أدنى عضو هيكلي في البنية الفوقية للمنشأة الهيدروليكية إلى ارتفاع سطح الماء للفيضان، وقد تكون **Freeboard** أيضًا المسافة الرأسية فوق مرحلة التصميم المسموح بها للأمواج والارتفاعات المفاجئة والانجراف وغيرها من الحالات الطارئة.

مسند – معطى وحيد – بيان datum نقطة انطلاق ثابتة لمقياس أو عملية.

مصرف – بالُوعَة – قناة – أنبوب drain لحمل المياه الجوفية الفائضة، أو فائض السوائل، أو المياه السطحية، أو النفايات السائلة عادة يدفن المصرف المغلق.

مصرف مياه الأمطار storm drain نظام مجاري مجمعة لحمل مياه الفيضانات أو العاصفة أو الصرف الصحي.

مصمم هيدروليكي hydraulics designer مهندس هيدروليكي، أو في بعض الحالات فني يقوم بتصميم الهياكل الهيدروليكية تحت إشراف مهندس هيدروليكي أكثر

خبرة.

معادلة الاستمرارية continuity equation التدفق يساوي السرعة مضروبة في مساحة المقطع العرضي.

معادلة الطاقة energy equation علاقة الشغل بالطاقة، وهي مختزلة إلى الصيغة المبسطة من معادلة برنولي.

معادلة بازين Bazin equation معادلة لحساب السرعة المتوسطة لتدفق المياه في قناة مفتوحة، يرتبط معامل التفريغ لجيزي بنصف القطر الهيدروليكي ومعامل خشونة القناة.

معادلة مانينغ Manning's equation صيغة تجريبية لتدفق الحوسبة في القنوات والأنابيب المفتوحة.

معامل التقلص coefficient of contraction نسبة أصغر مساحة مقطع عرضي للتدفق بعد اجتياز الانقباض إلى منطقة المقطع العرضي الاسمية للتضييق.

معامل الدفق coefficient of discharge نسبة التفريغ الملحوظ إلى النظري، وتعبر أيضًا عن المعامل المستخدم للفتحة أو عمليات التدفق الأخرى لتقديره بعد نقطة ما أو من خلال مقطع معين.

معامل المجرى channel coefficient معامل الخشونة في صيغ **Kutter** و **Manning**و **Bazin** وغيرها من الصيغ التي تعبر عن طبيعة المجرى لأنها تؤثر على منحدر الاحتكاك للمياه المتدفقة فيها.

معامل مانينغ Manning's n معامل الخشونة المستخدم في معادلة مانينغ لتقدير سعة المجرى على نقل المياه.

معبر تكساس Texas crossing عبور طريق منخفض المستوى لبربخ مصمم لتمرير التدفقات المنخفضة التي تحدث بشكل متكرر من خلال فتحة صغيرة نسبيًا مع فيضانات كبيرة ونادرة تنقل عبر الطريق مع حدوث أضرار قليلة أو معدومة.

معقل Ford موقع يعبر فيه طريق سريع مجرى والسماح بمرور تدفقات سنوية أو أكبر عالية عبر الطريق السريع وتدفقات أقل بالمرور عبر بربخ، غالبًا تستخدم مع الجدران

المقطوعة وعلامات حارات الطرق وسدود الطرق المعبدة والطرق المقطوعة (والأكتاف) وعلامات التحذير.

معكوس invert خط التدفق في مقطع عرضي للقناة أو البربخ، لأدنى نقطة في المقطع العرضي أو عند أجهزة التحكم في التدفق مثل الهدار أو السد، وتمثل الأرضية أو الجزء السفلي من المقطع العرضي الداخلي للمجرى.

مفرش – البطانة – البطانية mattress غطاء من الخرسانة أو الخشب أو الحجر أو أي مادة أخرى تستخدم لحماية مجرى النهر من التآكل.

مفيض spillway ممر لإراقة الماء الفائض.

مقرن confluence تقاطع تيارين أو أكثر.

مقطع reach طول قصير نسبيًا لجزء من مجرى أو واد، يختار بحدود عشوائية لأغراض الدراسة.

مقياس بارشال Parshall measuring flume جهاز معاير لقياس تدفق المياه في الأماكن المفتوحة.

مقيلل nappe صفحة أو ستارة من الماء مستقرة ولها سطح مائي علوي وسفلي معرضان للغلاف الجوي، وتفيض بأشياء مثل الهدار أو الهيكل المتساقط.

منحدر chute قناة مفتوحة أو مغلقة عالية السرعة، أو هبوط مائل على سطح الأرض تستخدم لنقل المياه.

منحنى التراجع drawdown curve شكل معين من منحنى السطح لتيار مائي محدب لأعلى.

منحنى الكتلة mass curve رسم بياني على المحور الرأسي للقيم التراكمية لكمية هيدرولوجية (مثل هطول الأمطار أو الجريان السطحي)، مقابل الوقت أو التاريخ على المحور الأفقي.

منحنى المياه الخلفية backwater curve شكل معين (أو مقطع جانبي) لمنحنى سطح الماء لتيار مائي مقعر لأعلى. وهو ناتج عن انسداد في القناة مثل تلك التي تسبب المياه الراكدة. يكون العمق أكبر من العمق الحرج والعادي في جميع النقاط الواقعة أسفل المنحنى،

وتقل السرعات في اتجاه مجرى النهر.

منسوب المياه watertable السطح العلوي لمنطقة التشبع المتكون بجسم غير منفذ حيث يساوي ضغط الماء في الوسط المسامي الضغط الجوي. يمكن قياسه عن طريق تركيب آبار ضحلة في منطقة التشبع ثم قياس منسوب المياه في تلك الآبار.

منشأة التحكم control structure هيكل في بيئة نهرية أو على مجرى أو قناة تُستخدم لتنظيم التدفق أو مرحلة المجرى، أو لمنع تسرب المياه المالحة.

منشأة هيدروليكية hydraulic structure مرفق يستخدم لأشياء مثل حجز المياه أو استيعابها أو نقلها أو التحكم في تدفقها، مثل السد أو الهدار أو مأخذ السحب أو المجاري أو القناة أو الجسر.

منطقة الصرف – منطقة مستجمعات الأمطار – مساحة حوضية drainage area منطقة محصورة بفواصل الصرف ومقاسة في مستوى أفقي منتجة للجريان السطحي وتساهم في منطقة الصرف عند نقطة معينة، وغالبًا يكون لها منفذ واحد فقط للتصريف.

منفث – فتحة المنفث – بزباز nozzle صنبور أسطواني أو دائري في نهاية الأنبوب أو الخرطوم المستخدم للتحكم في نفاثة الغاز أو السائل.

مهد – حامل cradle هيكل قاعدة على شكل يلائم القناة التي يدعمها.

مهندس هيدروليكي hydraulics engineer مهندس تقتصر ممارسته بشكل أساس على علم السوائل المتحركة وميكانيكا الأنهار.

مؤشر الفيضان flood index كمية الأمطار التي ستنتج مرحلة فيضان في 6 ساعات؛ يحسب عن طريق قياس رطوبة التربة.

موصلية هيدروليكية – توصيل هيدروليكي hydraulic conductivity مقياس لمدى سهولة مرور الماء عبر التربة أو الصخور، تشير القيم العالية إلى مادة قابلة للاختراق ومرور المياه بسهولة عبرها؛ وتشير القيم المنخفضة إلى أن المادة أقل نفاذية.

مياه تحت السطحية water, subsurface جميع المياه التي تحدث تحت سطح الأرض.

مياه جوفية groundwater تحتل المياه الجوفية الموجودة تحت سطح الأرض في

منطقة التشبع التي تغذى منها الآبار والينابيع.

مياه جوفية جاثمة perched groundwater المياه الجوفية مفصولة عن الجسم السفلي للمياه الجوفية بمنطقة غير مشبعة، يحتفظ بها بواسطة طبقة جاثمة ذات نفاذية منخفضة للغاية بحيث لا يتمكن الماء المتسرب إلى أسفل من خلالها من جلب الماء إلى المنطقة غير المشبعة الموجودة فوق الضغط الجوي.

مياه سطحية surface waters المياه الموجودة على سطح الأرض لأي مجرى أو نهر أو بحيرة أو بركة أو خزان والمياه التي تظهر على سطح الأرض في حالة منتشرة لفترة طويلة، بدون مصدر دائم للإمداد أو مسار منتظم.

مياه عاكسة – الموجة الخلفية backwater الزيادة في ارتفاع سطح الماء المحرض في اتجاه المنبع من أشياء مثل الجسر أو البربخ أو السد أو غيرها من الهياكل أو الظروف المماثلة التي تعيق أو تضيق القناة بالنسبة للارتفاع الطبيعي وظروف السهول الفيضية.

ميزانية المياه water budget تقييم لجميع مصادر الإمداد وما يقابلها من تصريفات فيما يتعلق بطبقة المياه الجوفية أو حوض الصرف.

ميل التدرج الهيدروليكي hydraulic gradient منحدر سطح الماء بتدفق منتظم ومجرى مفتوح، للتغيير في إجمالي السمت مع تغيير المسافة في اتجاه معين ينتج عنه أقصى معدل انخفاض في السمت.

ميل حرج critical slope المنحدر المحدد لقناة منتظمة مفتوحة حيث يساوي العمق الطبيعي العمق الحرج لتفريغ معين.

حرف النون الموحدة الفوقية:

نحر scour الإزاحة والإزالة الموضعية لمادة قاع القناة بسبب تدفق المياه؛ نتيجة التأثير التآكلي للمياه الجارية التي تقوم بحفر المواد ونقلها بعيدًا عن قاع القناة.

نصف القطر الهيدروليكي hydraulic radius مساحة منطقة المقطع العرضي لتيار مائي (طبيعي للتدفق) مقسومة على طول ذلك الجزء من محيطه الملامس للقناة المحتوية

عليه.

نظرية بيرنولي Bernoulli'stheorem اقتراح دانيال برنولي بأن سمت الطاقة في أي مقطع في تيار متدفق يساوي سمت الطاقة في أي مقطع آخر في مجرى النهر بالإضافة إلى الفواقد المتداخلة.

نفاثة jet تيار سريع من السائل أو الغاز يُجبر على الخروج من فتحة صغيرة.

نفق – أنبوب tube جسم طويل ضيق يشبه الأنبوب الذي يمكن أن يتحرك خلاله السائل أو الغاز.

نهر river تيار طبيعي من المياه بكميات كبيرة، ويعتمد على الاستخدام المحلي.

حرف الهاء:

هبوط المنسوب – خفض المنسوب drawdown الفرق في الارتفاع بين ارتفاع سطح الماء عند انقباض النهر أو المجرى والارتفاع الذي يمكن حال غياب الانقباض.

هدار weir سد عبر قناة لتحويل التدفقات أو لقياس التدفق.

هدار ثلاثي triangular عداد قياس متقلص مع جوانب تشكل زاوية مع قمته لأسفل الهدار على شكل شق حرف **V**.

هدار حاد القمة sharp-crestedweir قياس معدني متقلص مع قمته عند حافة المنبع أو زاوية لصفيحة رقيقة نسبيًا.

هدار حر free weir هدار غير مغمور؛ أي أن مياه الذيل تقع تحت القمة أو أن التدفق لا يتأثر بارتفاعها.

هدار شبه منحرف trapezoidal weir هدار قياس متقلص مع شق شبه منحرف.

هدار مستطيل rectangular weir هدار قياس مع تقلص وشق مستطيل الشكل.

هدار مغمور submerged weir هدار عند استخدامه يكون مستوى مياه الذيل يساوي قمة الهدار أو أعلى منها.

هدار واسع متعرج – هدار عريض القمة broad-crested weir هيكل فائض يدعم

القيلولة فيه بطول ملموس؛ الهدار مع بعد كبير في اتجاه التيار. تعمل الطرق السريعة بشكل عام كهدارات واسعة عند غمرها بمياه الفيضانات.

هيدروستاتيك Hydrostatics الأجهزة أو الأنظمة التي تستخدم القوة المطبقة على سائل محصور، ويوزع الضغط فيها لكل وحدة مساحة على المنطقة المعرضة للسائل.

هيدروليكا Hydraulics علم تطبيقي يهتم بسلوك السوائل وانسيابها، خاصة في الأنابيب والقنوات والهياكل والأرض، يعالج العلم خصائص ميكانيكا الموائع المشاركة في تدفق المياه في أو من خلال مرافق الصرف.

هيكل التحكم في التدفق flow-control structure هيكل داخل و/أو خارج مجرى يتحكم في اتجاه أو عمق أو سرعة تدفق المياه، قد يعمل بمثابة إجراء مضاد.

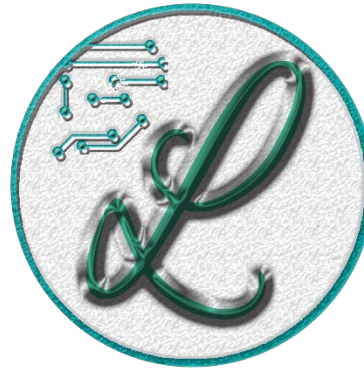
حرف الواو:

وزن weight كمية الثقل أو الكتلة نتيجة لقوة الجاذبية أو الشد على الجسم، تساوي كتلة الجسم مضروبة في التسارع المحلي للجاذبية.

وسادة cushion جهاز يوفر مقاومة محكومة للحركة.

حرف الياء المثناة التحتية:

يدور – يندفع – يسير circulate التحرك أو التسبب في التحرك أو المرور والانتقال من مكان إلى آخر بشكل مستمر أو بحرية عبر نظام أو منطقة مغلقة.



منصة ليلى الثقافية

https://laylacp.net/

2023م