

شبكات المياه والصرف الصحي

الموائع

الموائع

١

الوحدة الأولى : الموائع

الجدارة:

الإلمام ببعض المبادئ الأساسية في كل من ميكانيكا الموائع والهيدرولوجيا حتى تساعد المتدرب في فهم محتويات المقرر المرتبطة بشبكات المياه والصرف الصحي.

الأهداف:

بنهاية هذا الفصل يكون المتدرب لديه القدرة بإذن الله على معرفة:

١. الخواص الأساسية للمائع.
٢. الضغوط التي تولدها الموائع.
٣. حركة الموائع في المواسير والقنوات المفتوحة
٤. حركة المياه وكيفية تطبيق المعادلات اللازمة لذلك.

مستوى الأداء المطلوب: إتقان المتدرب لهذا الفصل بنسبة لا تقل عن ٩٥ %.

الوقت المتوقع لإنهاء الفصل: ٦ ساعات.

الوحدة الأولى : الموائع

١ - ١ مقدمة

يعد كل من علم ميكانيكا الموائع وعلم الهيدرولوجيا (علم المياه) من العلوم التي تحظى باهتمام الكثير من العلماء والباحثين نظراً لما لهذين العلمين من أهمية بالغة في حياة الإنسان وتقدمه الحضاري. كما أنهما من الركائز التي قامت عليها بعض العلوم الهندسية ومنها المدنية والميكانيكية والكيمائية وارتبطت بعلوم أساسية أخرى مثل الجيولوجيا والفيزياء والأرصاد الجوية. وتعتمد بعض مشاريع التشييد على دراسة ميكانيكا الموائع وعلم المياه كما هو الحال في مشاريع شبكات المياه والسيول والصرف الصحي، ومشاريع السدود والقنوات المائية ومحطات التحلية.

١ - ٢ وحدات النظام العالمي

من المناسب أن تستخدم وحدات النظام العالمي لوصف حالة الموائع بصفة عامة والمياه بصفة خاصة، وفي هذه الحقيبة التدريبية يمكن استعمال الوحدات الأساسية الموضحة في الجدول (١ - ١).

الجدول (١ - ١): وحدات المتغيرات في النظام العالمي.

وحدة القياس	الكمية
ثانية (s)	الزمن (t)
م ^٢ (m ²)	المساحة (A)
م ^٣ (m ³)	الحجم (V)
كجم (kg)	الكتلة (M)
نيوتن (N)، كيلو نيوتن (kN) 1 kN = 1000 N, 1 kg = 9.81 N	القوة (F)
م/ث (m/sec)	السرعة (v)
م/ث ^٢ (m/sec ²) عجلة الجاذبية = ٩,٨١ م/ث ^٢	العجلة (g)
م ^٣ /ث (m ³ /sec)	التدفق (Q)
باسكال (نيوتن/م ^٢) أو Pa = N/m ² كيلو باسكال (كيلو نيوتن/م ^٢) أو kPa = kN/m ² ميغا باسكال (نيوتن/مم ^٢) أو MPa = N/mm ² kPa = 1000 Pa	الضغط (P)
نيوتن × متر، (N.m)	الشغل (W)

١-٣ الخواص الأساسية للموائع

إن الموائع بأنواعها المختلفة ومنها المياه لها خواصها التي تميزها عن غيرها من المواد الصلبة والغازية، ومن أبرز هذه الخواص:

١. قدرتها على الانسياب.

٢. قدرتها على التشكل بحسب الأوعية التي تشغلها.

٣. قابليتها على الانضغاط وتأثرها بأي قوة قص.

٤. احتوائها على أسطح حرة.

١-٣-١ كثافة المائع

تعرف كثافة المائع بأنها كتلة وحدة الحجم من هذه المادة وتقاس بالوحدة $\rho = \text{kg} / \text{m}^3$. وتتأثر كثافة أي سائل بدرجة الحرارة، فعلى سبيل المثال تكون كثافة الماء 1000 kg/m^3 أو 1 gm/cm^3 عند درجة حرارة 4°C .

$$\rho = \frac{\text{Mass}}{\text{Volume}} = \frac{\text{الكتلة}}{\text{الحجم}}$$

١-٣-٢ الوزن النوعي للمائع

يعرف الوزن النوعي للمائع بأنه وزن وحدة الحجم من هذه المادة ويقاس بالوحدة kg / m^3 حيث:

$$\gamma = \frac{\text{Weight}}{\text{Volume}} = \frac{\text{الوزن}}{\text{الحجم}}$$

وبمعرفة كثافة المائع (ρ) يمكن تحديد وحدة وزنه النوعي (γ) وذلك وفق العلاقة التالية:

$$\gamma = \rho g \quad (١-١)$$

حيث: ($g = 9.81 \text{ m} / \text{s}^2$) تمثل تسارع الجاذبية الأرضية.

٣-٣-١ لزوجة المائع

تتشأ خاصية اللزوجة من خلال ارتباط جزيئات السائل ببعضها البعض، وتعرف على أنها مقدار مقاومة السائل لمقاومة القص، وتتناقص لزوجة السائل بتزايد درجة الحرارة، وتستنتج من العلاقة التالية:

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (١-٢)$$

حيث:

ν = معامل اللزوجة الكينماتيكية (m^2/s)

μ = معامل اللزوجة الديناميكية (Pa.s) أو ($N.s/m^2$)

ρ = كثافة السائل (kg/m^3)

٤-٣-١ ضغط المائع

يولد السائل ضغطاً موزعاً في جميع الاتجاهات، وبحسب المستوى الذي يحيط بذلك بالسائل. وتختلف قوة ضغط السائل باختلاف وضع المستوى، فعندما يأخذ المستوى الوضع الأفقي فإن الضغط يتساوى عند جميع نقاط ذلك المستوى، بينما يزيد ضغط الماء بزيادة العمق عندما يكون المستوى في وضع رأسي، كما يبينها الشكل (١-١).

ويتم حساب ضغط السائل والمؤثر عمودياً على المستوى أو الجدار باستخدام العلاقة:

$$p = \frac{F}{A} \quad (١-٣)$$

حيث:

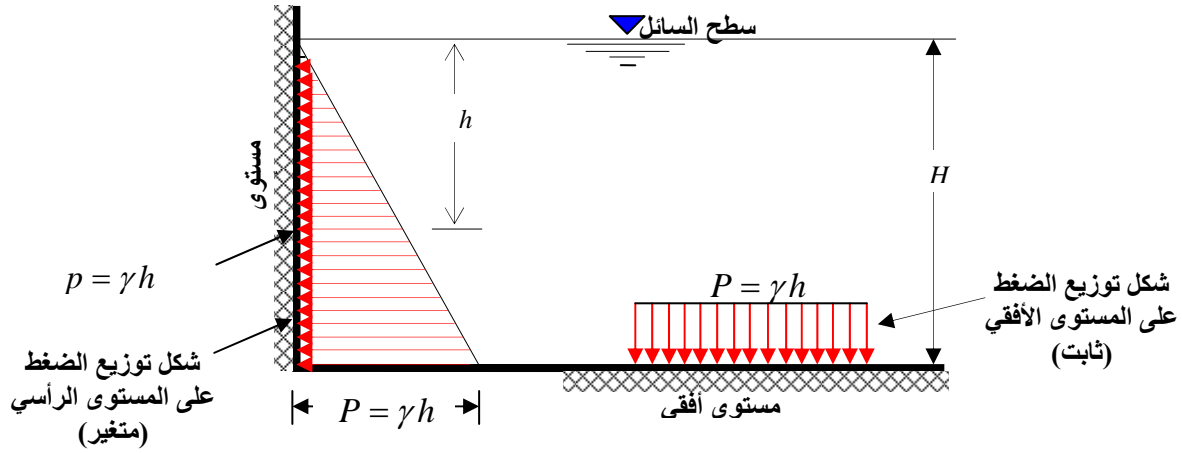
p = ضغط السائل (N/m^2)

F = القوة المسببة للضغط (N) = قوة الضغط

A = المساحة العمودية المعرضة للضغط (m^2)

بمعرفة كثافة السائل (ρ) يمكن تحديد الضغط الذي يولده عند عمق معين (h) عن طريق العلاقة التالية:

$$p = \rho gh = (\rho g)h = \gamma h \quad (١-٤)$$



الشكل (١ - ١): ضغط المائع على المستويين الأفقي والرأسي.

ويتضح من هذه العلاقة أن توزيع ضغط المائع على المستوى الرأسي يزيد بازدياد العمق من سطح ذلك المائع ويكون على الشكل مثلث كما في الشكل (١ - ١). ويمكن تمثيل ضغط السائل بوحدة البارومتر (bar) والتي تمثل الضغط النسبي (\bar{p}) بحسب طالما الكثافة ثابتة من الصيغة:

$$\bar{p} = \frac{p}{10^5} \quad (١ - ٥)$$

وهذا يعني أن 1.0 kPa من ضغط الماء يكافئ ضغط نسبي مقداره 0.0102 m.

مثال (١ - ١):

خزان أرضي ارتفاع الماء فيه ٣ م ، احسب الضغط المائي بوحدة الكيلوباسكال (kPa) في أسفل الخزان.

الحل:

حيث إن كثافة الماء 1000 kg/m^3 وبتطبيق المعادلة (١ - ٤) فإن ضغط الماء أسفل الخزان يكون:

$$\begin{aligned}
 p &= \rho gh \\
 &= 1000 \frac{kg}{m^3} \times 9.81 \frac{m}{s^2} \times 3 m \\
 &= 29430 \frac{kg}{m.s^2} = 29430 \frac{N}{m^2} = 29.43 \frac{kN}{m^2} = 29.43 kPa
 \end{aligned}$$

١- ٤ حركة المائع في المواسير والقنوات المفتوحة

تعد حركة الموائع ذات صبغة معقدة نتيجة ارتباط حركة تدفقها بعدة عوامل، فقد يكون التدفق انسيابي بحيث تتحرك جزيئات السائل بالشكل خطي، وقد يكون مضطرباً تتحرك جزيئاته بالشكل غير منتظم. كما يمكن أن يكون التدفق منتظماً لا تتغير قيمة واتجاه سرعته من نقطة لأخرى خلال لحظة من الزمن أو غير منتظم، وكذلك دوراني أو غير دوراني حول محور التدفق، وأحادي أو ثنائي أو ثلاثي الأبعاد، وكذلك ثابت أو متغير مع الزمن.

١- ٤-١ معادلة الاستمرار (معادلة التدفق)

يرجع أساس معادلة الاستمرار إلى مبدأ احتفاظ السائل بكتلته، أي أن هذه الكتلة تظل ثابتة في مقاطع تدفق السائل وفي وحدة الزمن المتحركة. فعندما يتدفق السائل خلال أنبوب كما يبينه الشكل رقم (١- ٢)، فإن معدل التدفق عند المقطع (١) يكون مساوياً لمعدل التدفق عند المقطع (٢)، أي أن:

$$\rho_1 V_1 A_1 = \rho_2 V_2 A_2 \quad (١- ٦)$$

حيث:

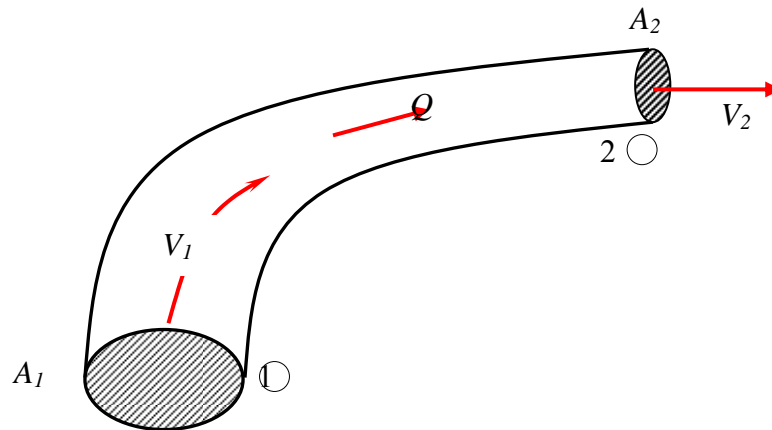
$$\begin{aligned}
 \rho_1 &= \text{كثافة السائل عند المقطع (١)} & \rho_2 &= \text{كثافة السائل عند المقطع (٢)} \\
 V_1 &= \text{سرعة تدفق السائل عند المقطع (١)} & V_2 &= \text{سرعة تدفق السائل عند المقطع (٢)} \\
 A_1 &= \text{مساحة المقطع (١)} & A_2 &= \text{مساحة المقطع (٢)}
 \end{aligned}$$

أما كمية تدفق السائل (Q) فتحسب من العلاقة التي تربط مساحة المقطع (A) مع معدل سرعة السائل (V):

$$Q = VA \quad (٧ - ١)$$

وفي حالة الموائع غير المنضغطة تكون كثافة المائع متساوية عند المقطعين، أي أن $\rho_1 = \rho_2$ ، وبذلك تصبح معادلة الاستمرار:

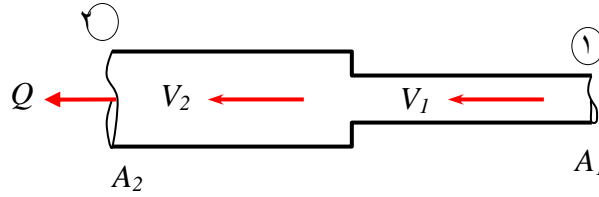
$$Q = V_1 A_1 = V_2 A_2 \quad (٨ - ١)$$



الشكل (١ - ٢): تدفق لسائل منتظم الاستمرار خلال أنبوب.

مثال (١ - ٢):

أنبوبتان متصلتان ببعضهما كما في الشكل رقم (١ - ٣) ويتدفق خلالهما الماء بسرعة 4.0 m/s عند المقطع (١) و 0.25 m/s عند المقطع (٢). فإذا كان قطر المقطع (١) هو 3.0 mm فكم يكون قطر الأنبوب عند المقطع (٢)؟



الشكل (١ - ٣): رسم توضيحي للمثال رقم (١ - ٢)

الحل:

معطى: $V_1 = 4.0 \text{ m/s}$ و $V_2 = 0.25 \text{ m/s}$

• يتم حساب مساحة المقطع (١) كالآتي:

$$A_1 = \frac{\pi D_1^2}{4} = \frac{\pi \times \left(\frac{3}{1000}\right)^2}{4} = 7.07 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

وبتطبيق معادلة الاستمرار يتم حساب مساحة المقطع (٢) كما يلي:

$$\begin{aligned} V_1 A_1 &= V_2 A_2 \\ 4.0 \times 7.07 \times 10^{-6} &= 0.25 \times A_2 \\ \therefore A_2 &= 1.13 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \end{aligned}$$

• وبمعرفة مساحة المقطع يمكن تحديد قطر الأنبوب عند المقطع (٢):

$$\begin{aligned} A_2 &= \frac{\pi D_2^2}{4} = 1.13 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \\ \therefore D_2 &= 0.012 \text{ m} = 12.0 \text{ mm} \end{aligned}$$

مثال (١ - ٣):

أنبوبة قطرها 150 mm يتدفق من خلالها الماء بمقدار $0.12 \text{ m}^3/\text{s}$ ، فأوجد سرعة تدفق الماء بهذه الأنبوبة.

الحل:

معطى: $D = 150 \text{ mm}$ و $Q = 0.12 \text{ m}^3 / \text{s}$

• مساحة مقطع الأنبوب:

$$A = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{\pi \times 150^2}{4} = 17.671 \times 10^3 \text{ mm}^2 = 17.671 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

• معادلة التدفق:

$$Q = AV$$

• وبالتالي فإن سرعة تدفق الماء في الأنبوب:

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{0.12}{17.671 \times 10^{-3}} = 6.80 \text{ m/s}$$

١ - ٤ - ٢ معادلة برنولي (معادلة الطاقة)

يعود أساس هذه المعادلة إلى مبدأ احتفاظ سريان الماء بالطاقة، أي أنه في حالة سريان السائل في الأنبوب فإن الطاقة لا تتغير، بمعنى أنها عند المقطع (١) تكون مساوية عند المقطع (٢) كما يوضحها الشكل (١ - ٤)، وذلك بفرض إهمال الفواقد بين المقطع (١) و (٢) وهي الفواقد الرئيسية الناتجة من الاحتكاك والفواقد الثانوية الناتجة من تغيير مقطع الأنبوب، أي أن مجموع الطاقة الكلية عند المقطعين متساويين:

$$H_1 = H_2$$

$$H_1 = \text{مجموع الطاقة الكلية عند المقطع (١)} \quad H_2 = \text{مجموع الطاقة الكلية عند المقطع (٢)}$$

وبالتالي فإن معادلة برنولي تأخذ الصيغة التالية:

$$\frac{p_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{p_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 \quad (١ - ٩)$$

حيث:

p_2 = ضغط السائل عند المقطع (٢).

p_1 = ضغط السائل عند المقطع (١).

V_2 = سرعة تدفق السائل عند المقطع (٢).

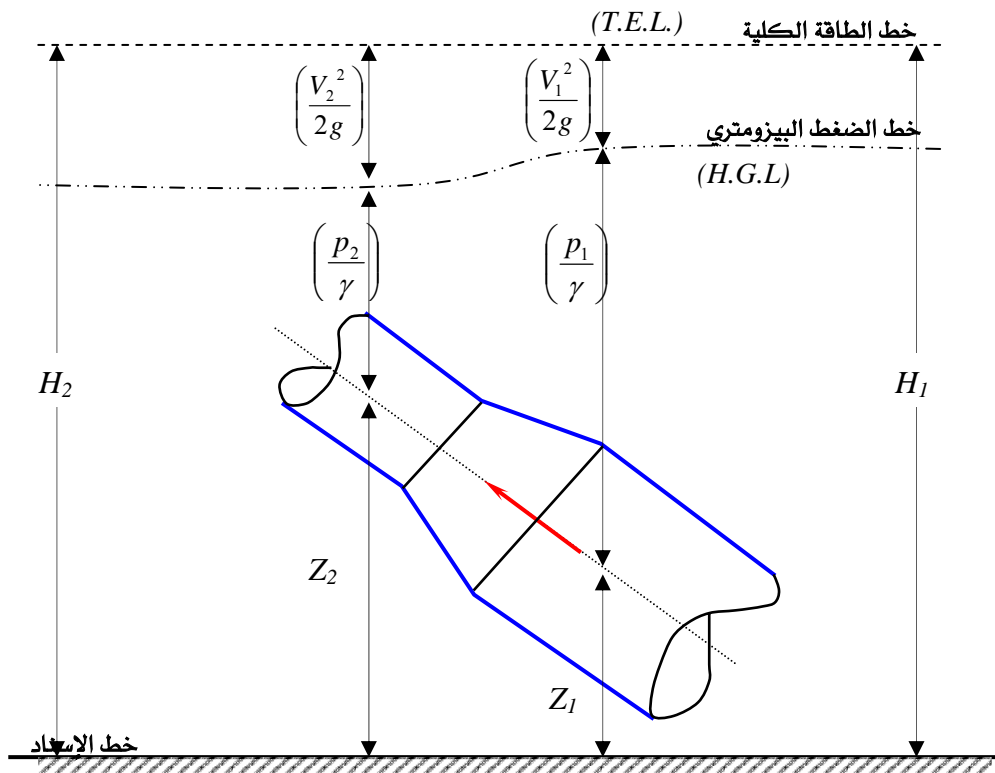
V_1 = سرعة تدفق السائل عند المقطع (١).

Z_2 = منسوب المقطع (٢) من مرجع الإسناد.

Z_1 = منسوب المقطع (١) من مرجع الإسناد.

g = تسارع الجاذبية الأرضية.

γ = وحدة وزن السائل.



الشكل (١ - ٤): رسم توضيحي لمعادلة برنولي.

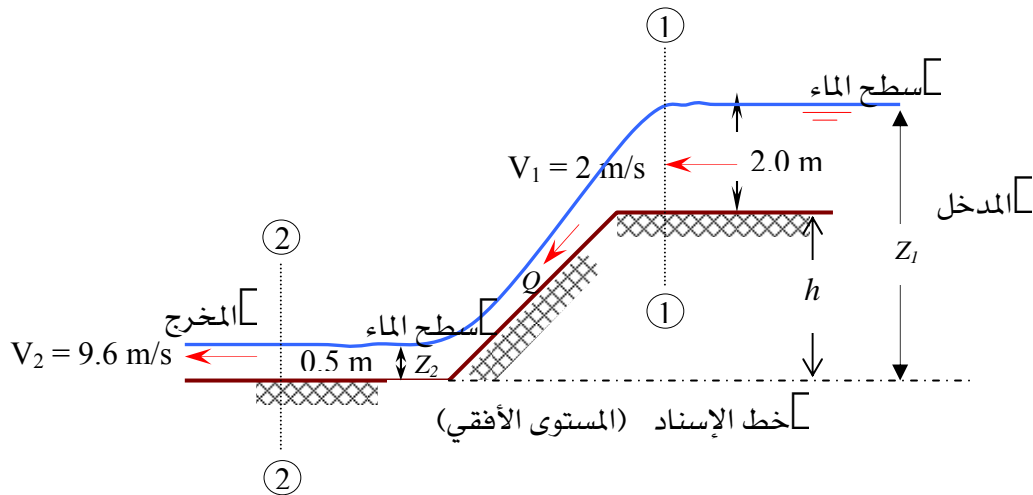
يحتوي طرقي معادلة برنولي على ثلاثة أجزاء الشكل في مجملها طاقة المائع بوحدة المتر وتحتوي على:

- طاقة ضغط السائل: $\left(\frac{p}{\gamma}\right)$
- طاقة حركة السائل: $\left(\frac{V^2}{2g}\right)$
- طاقة وضع السائل: (Z)
- الطاقة الكلية: $\left(\frac{p}{\gamma} + \frac{V^2}{2g} + Z\right) = H$

وتعتمد معادلة برنولي على خط الطاقة الكلية وهو تعبير بياني يمكن رسمه بوحدة المتر ويوضح إجمالي طاقة المائع عند كل مقطع، وينحدر هذا الخط باتجاه سريان المائع. كما تعتمد المعادلة على الخط البيزوميترى أو خط الضغط الهيدروليكي والذي يقع تحت خط الطاقة الكلية ويكون موازياً له حتى تتغير مساحة المقطع.

مثال (١ - ٤):

قناة مفتوحة تتدفق من خلالها المياه على مستويين، كما يبينها الشكل رقم (١ - ٥)، ومعطى سرعة وارتفاع المياه عند المقطعين (١) و (٢). فإذا كانت سرعة المياه منتظمة والضغط الهيدروليكي محدد على سطح الماء عن المقطعين، فما مقدار الارتفاع h (الفرق في الارتفاع بين المقطعين (١) و (٢))؟



الشكل (١ - ٥): رسم توضيحي للمثال (١ - ٤).

الحل:

حيث إن الضغط الهيدروليكي محدد على سطح الماء عن المقطعين، فإن:

$$p_1 = p_2 = 0$$

وبتطبيق معادلة برنولي بين القطاع (١ - ١) والقطاع (٢ - ٢) يتضح أن:

$$\frac{p_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{p_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2$$

حيث:

$$p_1 = 0$$

$$p_2 = 0$$

$$V_1 = 2 \text{ m/s}$$

$$V_2 = 9.6 \text{ m/s}$$

$$Z_1 = h + 2 \text{ m}$$

$$Z_2 = 0.5 \text{ m}$$

وبالتعويض المباشر في المعادلة يتم حساب الارتفاع h كما يلي:

$$0 + \frac{(2)^2}{2g} + (h + 2) = 0 + \frac{(9.6)^2}{2g} + 0.5$$

$$h = 3.0 \text{ m}$$

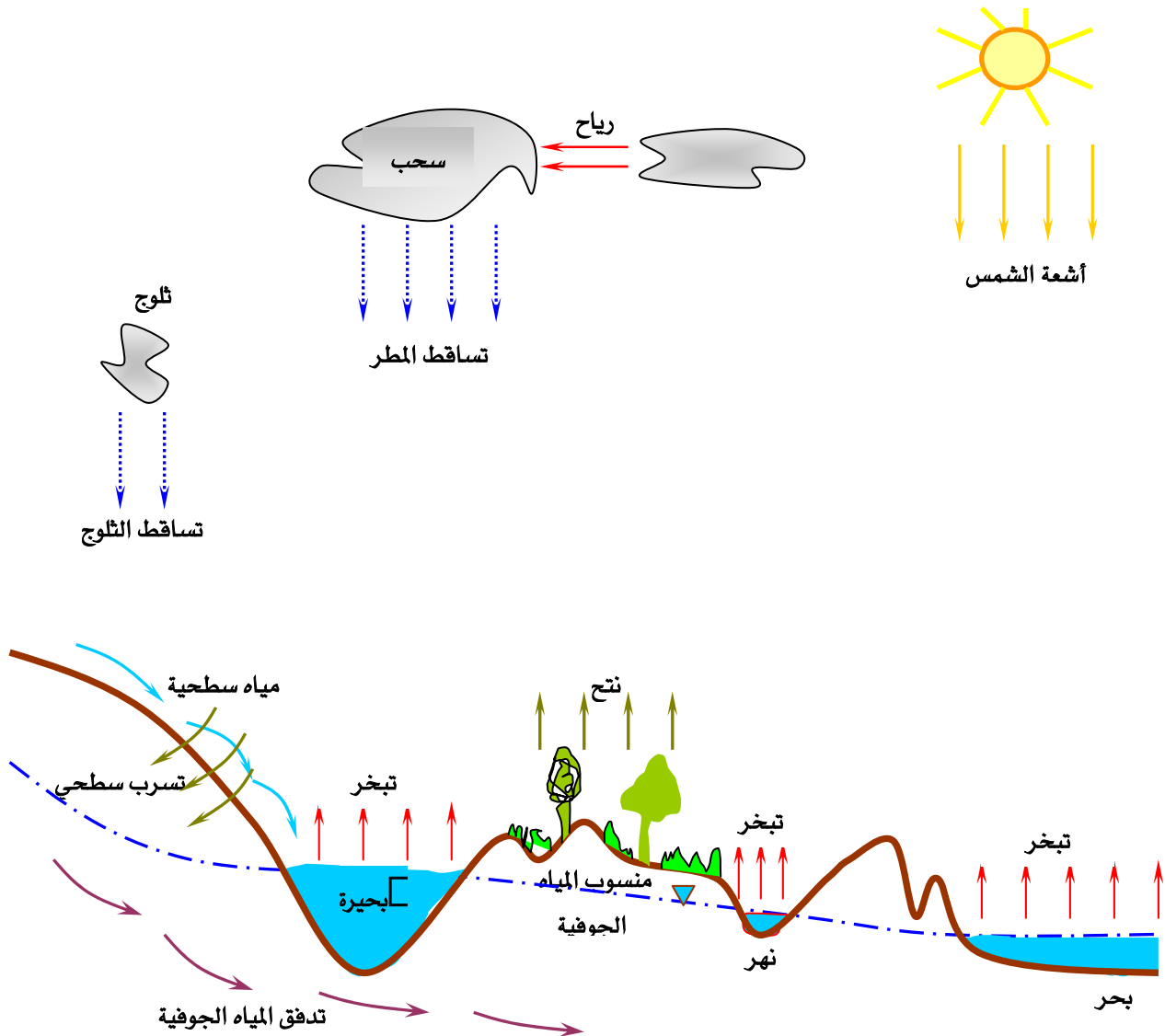
١- ٥ الهيدرولوجيا (Hydrology)

يهتم علم الهيدرولوجيا بدورة المياه على الكرة الأرضية سواء كانت هذه المياه في باطنها أو على سطحها أو بالغلاف الجوي، من حيث توزيعها وخواصها الكيميائية والفيزيائية وتفاعلها مع مكونات البيئة وعلاقته بالحياة.



١- ٥ الدورة الهيدرولوجية

يغطي الماء ما يقارب ثلاثة أرباع الكرة الأرضية ويمر بحركة طبي تسرب عميق كما يوضحها الشكل (١ - ٦)، فالدورة الهيدرولوجية أو الدورة المائية تتكون من سلسلة من الأحداث التي تصف مسارات الماء من الغلاف الجوي إلى الأرض ومن الأرض إلى الغلاف الجوي.



الشكل (١ - ٦): الدورة الهيدرولوجية للماء.

وتتمثل الدورة المائية في العناصر الرئيسية التالية:

- التبخر
- التساقط
- التسرب السطحي
- التدفق السطحي
- النتح
- الجريان السطحي
- التسرب العميق
- التدفق العميق

وتعمل الدورة المائية في مجملها على حفظ التوازن المائي في الكرة الأرضية. ويمكن التعبير عن التوازن المائي لمساحة معينة من العلاقة:

$$I - O = \Delta S \quad (10 - 1)$$

حيث (I) يمثل كمية المياه الداخلة للمساحة، و (O) يمثل كمية المياه الخارجة، بينما يمثل (ΔS) المخزون المائي لتلك المساحة.

١- ٥- ٢ توزيع مياه الكرة الأرضية

تتواجد المياه في الكرة الأرضية بكميات هائلة من الصعب حصرها، ولكن التقديرات التقريبية تشير بأن إجمالي كمية المياه قد تصل لحوالي $1.36 \times 10^{18} m^3$. والشكل المياه المالحة الجزء الأكبر بينما لا الشكل المياه العذبة إلا الجزء القليل جداً. ويوضح الجدول (١ - ٢) توزيع مياه الكرة الأرضية والنسب التقريبية للتوزيع.

الجدول (١ - ٢): توزيع مياه الكرة الأرضية التقريبي.

النسب التقريبية (%)	الكمية ($10^3 km^3$)	موقع المياه
٠,٦٢	١,٢٥	أنهار
	١٢٥	بحيرات مياه عذبة
	٨٢٥٠	المياه الجوفية
	٦٥	المحتوى المائي في التربة
٠,٠٠٨	١٠٥	بحيرات مالحة وجزر البحار
٠,٠٠١	١٣	الغلاف الجوي
٢,١٠	٢٩٢٠٠	قطبي الكرة والأنهار الجليدية
٩٧,٢٥	١٣٢٠٠٠٠	بحار ومحيطات
١٠٠	١٣٦٠٠٠٠	

ولا شك أن المياه العذبة لها الأهمية الكبرى في حياة الإنسان، إلا أنها لا الشكل إلا ما نسبته حوالي ٠,٦٢٪ من مياه الكرة الأرضية، ونصف هذه النسبة لا يتم الحصول عليها بسهولة لكونها تقع على عمق يزيد عن 800 m من سطح الأرض.

١- ٥- ٣ التساقط

يحدث التساقط نتيجة تكثف الهواء المشبع ببخار الماء وتكون قطراته حتى تصبح ثقيلة وتبدأ في السقوط ويقاس بوحدة الطول الذي يمثل عمق الماء المتساقط على مساحة معينة، ويعبر عن ذلك بالمليمتر (mm) أو البوصة (in). ويأخذ التساقط صوراً عدة أهمها:

(١) المطر: تزيد قطر حبيباته عن 0.5 mm، ويأخذ ثلاث درجات حسب غزارة أو شدة المطر وهي:

- مطر غزير: حيث تزيد شدة سقوطه عن حوالي 7.6 mm/hr
- مطر متوسط: حيث تتراوح غزارته بين 2.5 mm/hr و 7.6 mm/hr
- مطر خفيف: حيث تقل شدة سقوطه عن حوالي 2.5 mm/hr

(٢) الرذاذ: وهو تساقط خفيف ومتجانس لقطرات تقل أبعاد أقطارها عن 0.5 mm وتقل شدة سقوطها عن 1 mm/hr.

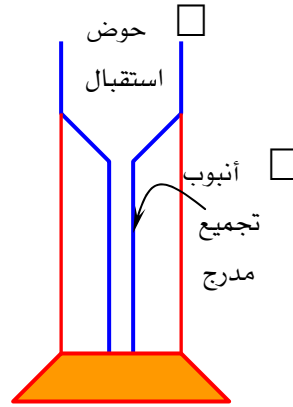
(٣) الثلج: ويكون على الشكل كرات مائية هشة، وقد يكون ثلج بردي في صورة كرات مائية متجمدة.

(٤) البرد: ويأخذ الشكل الكرات المائية المتجمدة التي تزيد أقطارها عن 5 mm.

ويقاس التساقط بعدة طرق يذكر منها على سبيل المثال:

(١) مقياس المطر: وهو جهاز يحتوي على حوض تجميع مرتبط بأنبوب مدرج كما يوضحه الشكل رقم (١- ٧). ويكون مقدار المطر المتساقط مساوياً لحجم الماء المتجمع في الأنبوب مقسوماً على مساحة مقطع الأنبوب.

(٢) الطريقة الأتوماتيكية: حيث يرتبط جهاز قياس المطر مع راسمة لرصد تساقط المطر بيانياً على مدار الساعة.



الشكل (١ - ٧): جهاز قياس المطر.

إن حساب معدل تساقط الأمطار على منطقة معينة يتم بعدة طرق من أبسطها:

(١) طريقة المتوسط الحسابي: بحيث يتم حساب متوسط سقوط المطر في محطات الرصد المتوفرة بالمنطقة، وتتمثل بالصيغة التالية:

$$\bar{P} = \sum_{i=1}^N \frac{P_i}{N} \quad (١ - ١١)$$

حيث:

\bar{P} : متوسط سقوط المطر

P : قياس كمية المطر على محطة الرصد

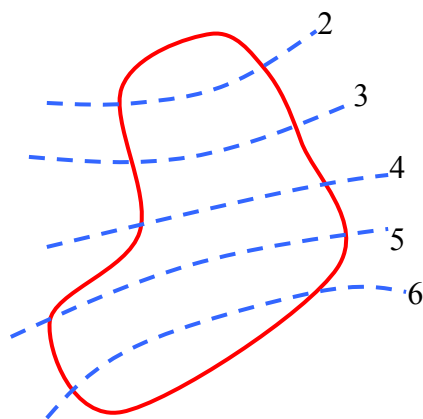
N : عدد محطات الرصد

(٢) طريقة خطوط تساوي المطر: حيث ترسم الخطوط الكنتورية لتساوي سقوط المطر كما في الشكل (١ - ٨)، ويحسب معدل التساقط بجمع حاصل ضرب متوسط الأمطار بين كل خطين

متجاورين بالمساحة الواقعة بين هذين الخطين ومقسومة على المساحة الكلية للمنطقة، كما تبينها المعادلة:

$$\bar{P} = \frac{\sum_{i=1}^N P_i A_i}{\sum_{i=1}^N A_i} \quad (1-12)$$

حيث A تمثل المساحة بين خطي تساوي المطر.



الشكل (١ - ٨): مثال على خطوط التساوي المطرية.

١- ٥- ٤ التبخر

تكمن عملية التبخر في تحول جزيئات الماء من الحالة السائلة إلى الحالة الغازية. ويحدث التبخر في الدورة المائية للكرة الأرضية من أسطح الماء المكشوفة مثل المحيطات والبحار والأنهار. وتتأثر عملية التبخر بعوامل رئيسية هي:

(١) الظواهر المناخية: مثل درجة الحرارة والإشعاع الشمسي والرياح والرطوبة الجوية.

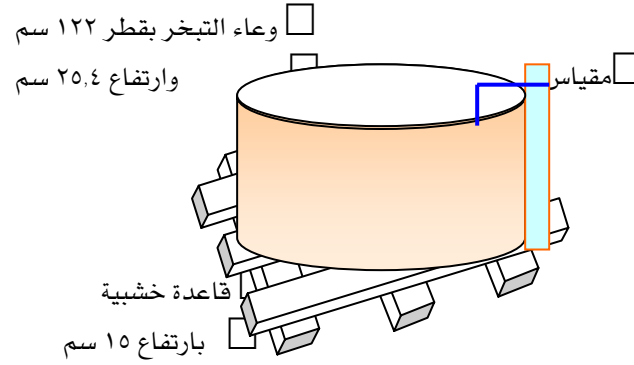
(٢) طبيعة الأسطح: مثل سطح الماء الحر، وسطح الأرض المشبعة بالماء، والأسطح الجليدية.

(٣) نوعية الماء المتبخر: مثل احتوائه على نسبة من الأملاح الذائبة والمواد الصلبة.

ويمكن حساب الفاقد من التبخر بالشكل سنوي، فعلى سبيل المثال: يصل فاقد التبخر في مدينة الرياض إلى 2900 mm/year لكونها مدينة ذات مناخ صحراوي.

ويقاس فاقد التبخر لمنطقة معينة بطرق ميدانية وأخرى حسابية. ومن أكثر الطرق التجريبية استخداماً طريقة وعاء التبخر (class A pan) الموضح في الشكل (١ - ٩) والذي اقترحه مكتب الأرصاد الأمريكي. وتحسب كمية التبخر بقياس عمق الماء في الوعاء. ونظراً لاختلاف الظروف المناخية

بين التبخر من الوعاء والتبخر من المسطحات المائية، فإن ذلك يحتاج إلى التصحيح بمعامل يتراوح بين ٠,٦ و٠,٨.



الشكل (١ - ٩): وعاء التبخر.

أما قياس التبخر باستخدام المعادلات التجريبية فتستخدم في وجود المسطحات المائية الكبيرة والتي تطبيق عليها قوانين: توازن الطاقة، والتوازن المائي، وانتقال الكتلة. فعندما تكون درجة حرارة سطح الماء مساوية تقريباً لدرجة حرارة الهواء، فإنه يمكن تطبيق المعادلة التجريبية التالية لقياس مقدار التبخر:

$$E_a = 0.35(e_s - e)(0.5 + 0.54u_2) \quad (١٣ - ١)$$

حيث:

E_a : مقدار التبخر بوحدة (mm/day)

e_s : ضغط بخار الماء المشبع عند سطح الماء

e : ضغط بخار الماء في الجو

u_2 : سرعة الرياح عند ارتفاع 2 m بالوحدة (m/s)

مثال (٥ - ١):

احسب فاقد التبخر اليومي من بحيرة ضغط بخار الماء المشبع عند سطحها وضغط بخار الماء في الجو

١٤,٤ و ٥,٨ مم زئبق على التوالي، وسرعة الرياح 18 km/hr.

الحل:

• سرعة الرياح:

$$u_2 = 18 \text{ km/hr} = \frac{18 \times 1000}{60 \times 60} = 5 \text{ m/s}$$

• فاقد التبخر اليومي:

$$\begin{aligned} E_a &= 0.35(e_s - e)(0.5 + 0.54u_2) \\ &= 0.35(14.4 - 5.8)(0.5 + 0.54 \times 5) \\ &= 9.63 \text{ mm/day} \end{aligned}$$

١- ٥- ٥ التسرب

يقصد بالتسرب بأنه السريان الرأسي للماء من سطح التربة إلى الطبقات التحتية، ويعبر عن ذلك بمعدل التسرب الذي يبين السرعة التي يتحرك بها الماء من سطح الأرض إلى طبقات التربة، ويقاس بعمق الماء المتسرب في وحدة زمنية. ويعتمد معدل التسرب على عوامل أبرزها:

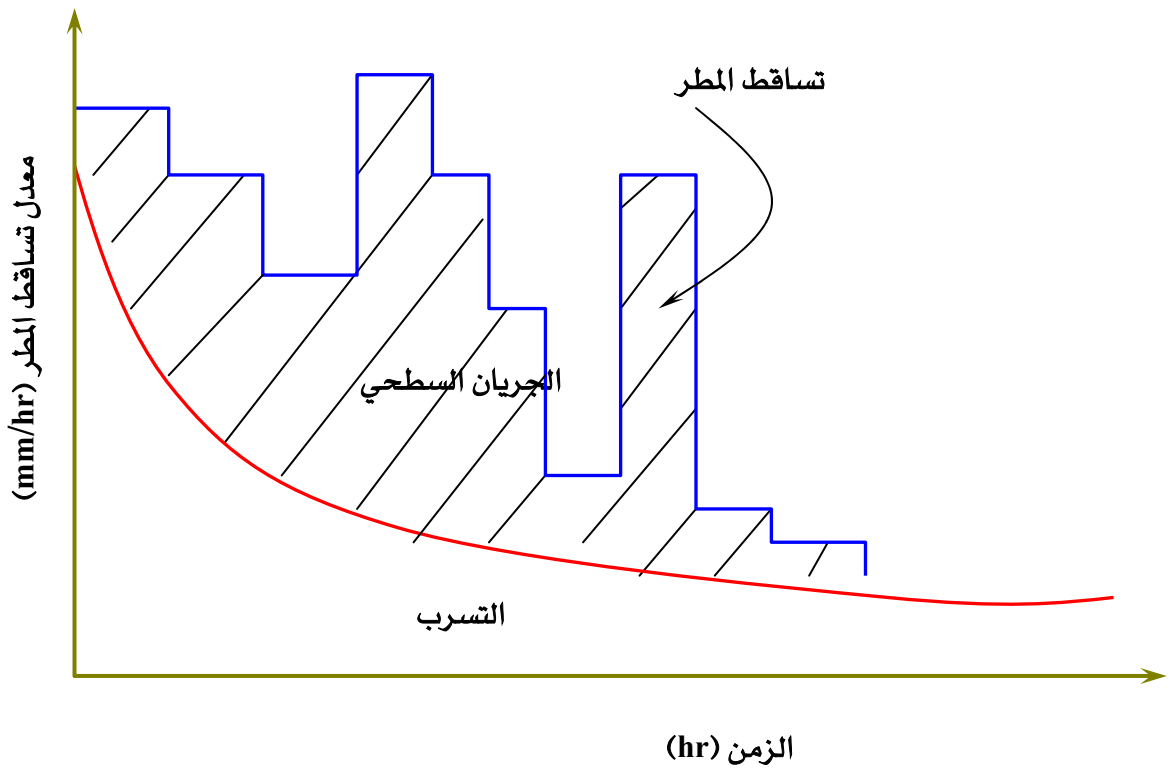
(١) الخواص الفيزيائية للتربة من حيث نفاذيتها وحجم حبيباتها ونسبة المحتوى المائي بها.

(٢) الغطاء النباتي على سطح الأرض.

(٣) الميول الأرضية.

(٤) اختلاف فصول السنة.

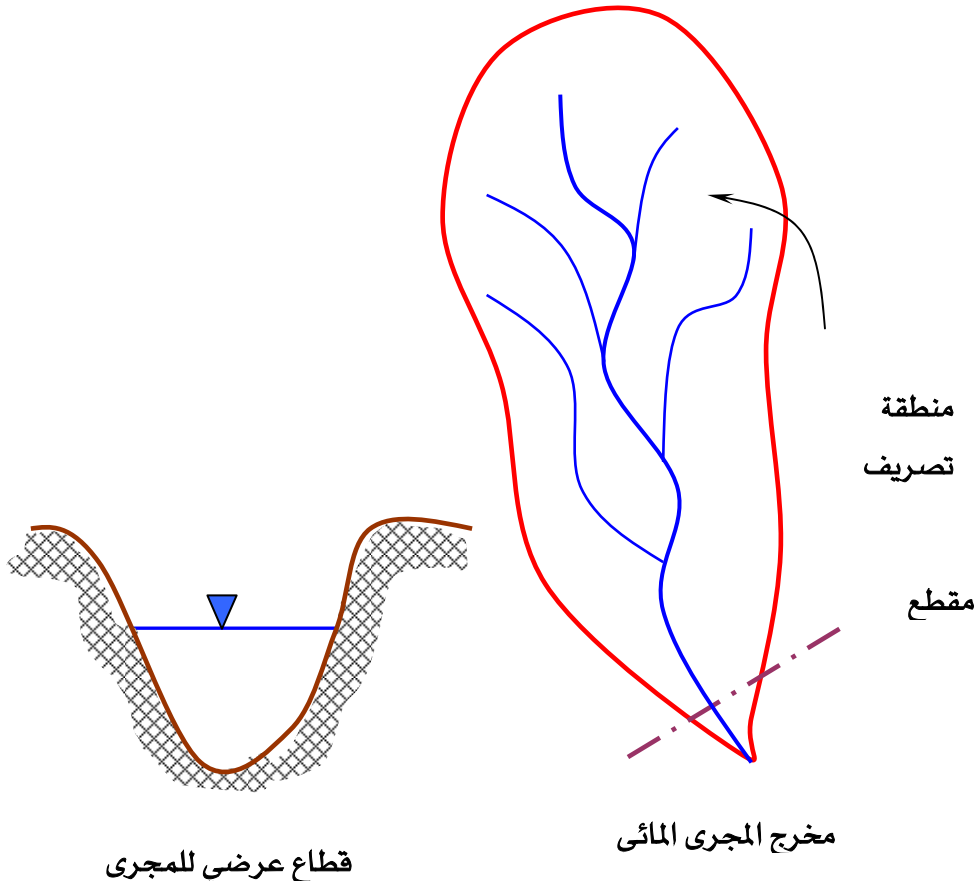
ويقاس معدل التسرب بأجهزة خاصة تتناسب مع الماء والتربة، إلا أن تحليل المنحنيات المائية أو ما يسمى بالهيدروجراف (hydrograph) هي الأكثر استخداماً لقربها من الظروف الحقيقة. وتحتوي المنحنيات المائية على بيانات عن تساقط المطر وما ينتج عنه من جريان سطحي وتسرب للمياه، ويوضح الشكل (١- ١٠) نموذج لتلك المنحنيات.



الشكل (١ - ١٠): نموذج لمنحنى مائي.

١ - ٥ - ٦ الجريان السطحي

عندما يسقط المطر على منطقة معينة فإن جزءاً منه يجري على سطح الأرض نتيجة تشبع التربة وعدم قدرتها على امتصاص المياه. ويبدأ الجريان السطحي من فترة سقوط المطر وحتى يصب في المجرى المائي أو أنابيب التصريف، كما هو مبين في الشكل (١ - ١١).



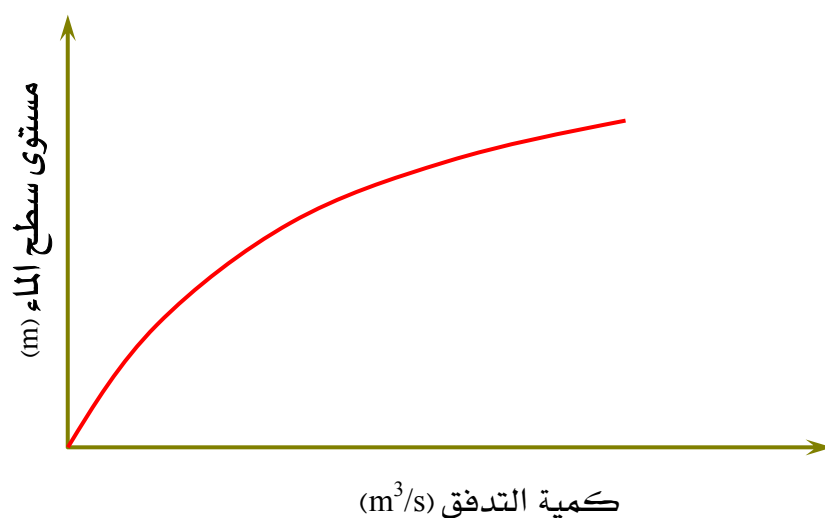
الشكل (١ - ١١): منطقة تصريف بمجرى مائي.

وبمعرفة مساحة مقطع المجرى ومتوسط سرعة المياه فيه، يمكن تحديد كمية المياه المتدفقة خلاله في وحدة الزمن وذلك وفق المعادلة التالية:

$$Q = VA \quad (١ - ١٤)$$

حيث: Q : تدفق المياه في المجرى المائي، A : مساحة مقطع المجرى و V : متوسط سرعة الماء.

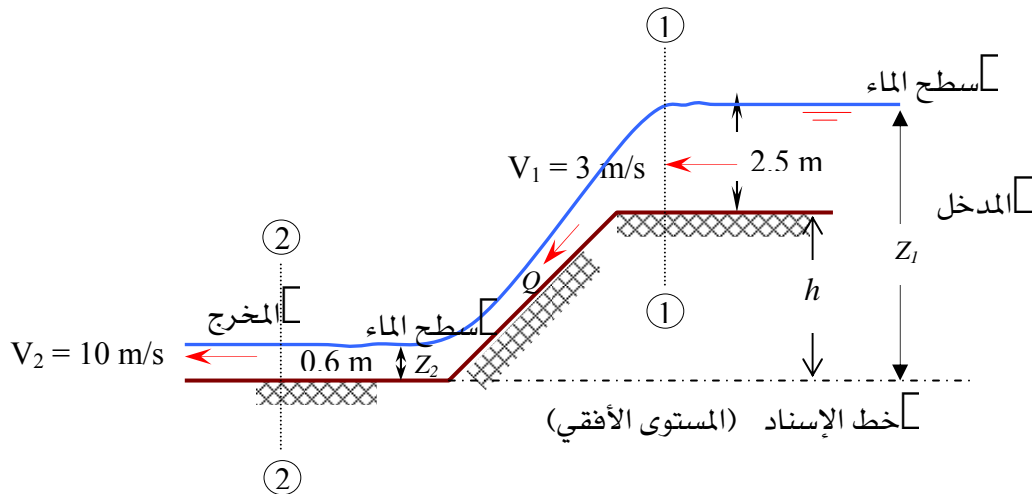
وبرصد جريان الماء خلال ذلك المقطع على مدار العام وبكميات تدفق مختلفة حسب تساقط الأمطار، يستنتج منحنى معايرة للمجرى المائي يربط كمية المياه المتدفقة بمستوى سطح الماء في المجرى كما يوضح ذلك الشكل (١ - ١٢). حيث تؤخذ عدد من القياسات لكمية المياه المتدفقة والمنسوب المقابل لسطح الماء في المجرى المائي لرسم منحنى المعايرة الذي يصف حالة المجرى.



الشكل (١ - ١٢): منحنى معايرة لمجرى مائي.

أسئلة وتمارين:

- (١) عرف: كثافة المائع، والوزن النوعي للمائع، ولزوجة المائع، وضغط المائع.
- (٢) عرف: التبخر، والتسرب، والجريان السطحي.
- (٣) اشرح حركة المائع في المواسير والقنوات المفتوحة.
- (٤) اشرح معادلة الاستمرار للسوائل (معادلة التدفق).
- (٥) تتكون الدورة الهيدرولوجيا من سلسلة من الأحداث التي تصف مسارات الماء من الغلاف الجوي إلى الأرض ومن الأرض إلى الغلاف الجوي، اشرح ذلك.
- (٦) خزان أرضي ارتفاع الماء فيه ٢,٥ م. احسب الضغط المائي في أسفل الخزان بوحدة (kPa).
- (٧) أنبوبتان متصلتان ببعضهما ويتدفق خلالهما الماء بسرعة 6 m/s عند المدخل و 0.2 m/s عند المخرج. احسب قطر الأنبوب عند المخرج علماً أن القطر عند المدخل هو ٩٥ cm
- (٨) أوجد سرعة تدفق الماء لأنبوبة قطرها ٢٠٠ MM ويتدفق من خلالها الماء بمقدار 0.2 m³/s.
- (٩) قناة مفتوحة تتدفق من خلالها المياه على مستويين، كما بينها الشكل المرفق، ومعطى سرعة وارتفاع المياه عند المقطعين (١) و (٢). فإذا كانت سرعة المياه منتظمة والضغط الهيدروليكي محدد على سطح الماء عن المقطعين، فما مقدار الارتفاع h ؟



- (١٠) احسب فاقد التبخر اليومي من بحيرة ضغط بخار الماء المشبع عند سطحها وضغط بخار الماء في الجو ١٣,٥ و ٦,١ مم زئبق على التوالي، وسرعة الرياح 20 km/hr.