جمهورية العراق
وزارة التربيـــــة
المديرية العامة للتعليم المهني

العلوم الصناعية

الصناعي / معالجة المياه وشبكاته

المرحلة الأولى

تأليف

د. حسن علي عمران　　د. ثائر شريف خيون　　أ. ساطع محمود الراوي

م. إحسان كاظم عباس　　م. مصطفى مجيد عبد الأئمة　　م. سعدية كصاب ساكت

الطبعة الرابعة　　1447هـ - 2025 م

بسم الله الرحمن الرحيم

مقدمة

لقد ظهرت في كثير من دول العالم المتقدم مناهج حديثة في جميع فروع العلم،وطرائق تدريسية جديدة، أثرت في العملية التعليمية في المدارس والجامعات، وأحدثت تطوراً جذرياً في جميع المناهج التدريسية، وعليه أصبح من الضروري أن يلتحق العراق بهذا الركب وأن يسارع في العمل لتطوير مناهج التعليم وأساليبه، واستحداث تخصصات جديدة وخاصة في مجال شبكات معالجة المياه ومحطاتها التي تؤدي دوراً طليعياً في إرساء دعائم الحضارة والمدنية، إذ إن هنالك علاقة طردية بين احتياجات التنمية الصناعية، والمدنية، والتكنولوجية، والاقتصادية، والبيئية بصفة خاصة، وبين مناهج التعليم الصناعي.

شُكلت لجنة مختصة من قبل المديرية العامة للتعليم المهني لإعداد كتاب العلوم الصناعية ـ المرحلة الأولى ـ لطلبة إعداديات الصناعة تخصص محطات المياه وشبكاتها، كمساهمة جزئية منها في ضمن خطة شاملة لإنشاء تخصصات مهنية جديدة، تواكب النهضة العلمية والتكنولوجية التي يعيشها العالم اليوم.

تضمن الكتاب ثلاثة أبواب، تناول الباب الأول منها مبادئ الهيدروليك حيث يتعرف الطالبعلىخصائص الموائع، هيدروستاتيكية الموائع، القوى المسلطة على الأجسام المغمورة،معادلات الطاقة، طرق قياس التصريف، وأنواع وطرق ربط المضخات وهيدروليكيتها.

أما الباب الثاني فيتناول المدخل إلى الكيمياء إذ، حيث يكون الطالب قادراً على أن يتعرف على آلية جمع العينات، المحاليل القياسية، متطلبات الماء الصالح للشرب، الخواص الفيزيائية والكيمياوية للماء، وطرق التبادل الأيوني.

واشتمل الباب الثالث والأخير على الأحياء المجهرية،إذ يتعرف الطالب على أهميةالأحياء المجهرية، وطرق السيطرة عليها، وتصنيف أهم الأمراض التي تسببها الأحياءالمجهرية وأسبابها، والمعالجات المختلفة وتأثيرها على الأحياء المجهرية والتعرف على معايير المياه الصالحة للشرب.

لقد تم إدراج أمثلة محلولة في حسابات القوانين والمعادلات الرياضية وغيرها من التطبيقات الحياتية المتنوعة ذات العلاقة. فضلاً عن إعطاء أسئلة مختلفة في نهاية كل فصل ليتمكن الطالب بمساعدة مدرسي المادة من فهم المادة العلمية بشكل أكبر، واستيعاب التخصص بصورةعلمية وفنية صحيحة، ومن ثم يكون قادراً على المهام الفنية التي سوف يُكّلف بها مستقبلاً من الأعمال الفنية في محطات تصفية المياه وتعقيمها ومحطات معالجة المياه، الفحوصات المختبرية للمياه كافة.

إن الفصول الدراسية المذكورة آنفاً ستكون بعون الله القاعدة الأساسية للمراحل الدراسية اللاحقة، وساندة لكتاب التدريب العملي للمراحل الدراسية الثلاث.

ندعو الله عز وجل أن نكون قد وفقنا في جهدنا بإعداد هذا الكتاب، وسنكون شاكرين لكل الأخوة المعنيين بهذه المادة إذا ما رفدونا بملاحظاتهم وآرائهم عن مضمون الكتاب مع شكرنا واعتزازنا بالجميع.

.....والله الموفق

المؤلفون

المحتويات

أسم الموضوع	رقم الصفحة
مقدمة الكتاب	I
المحتويات	II
الفصل الأول (خصائص الموائع)	2
مقدمة	3
وحدات القياس	3
الكثافة	5
اللزوجة	6
القوة	7
الضغط	7
أدوات قياس الضغط	11
أسئلة الفصل الأول	14
الفصل الثاني (الهيدروستاتيك)	15
مقدمة	16
قاعدة باسكال	16
إنتقال الضغط	18
قاعدة أرخميدس	20
أسئلة الفصل الثاني	23
الفصل الثالث (معادلات الطاقة)	24
المائع المثالي	25
معادلة الاستمرارية في الموائع	25
معادلة الطاقة	27
الطاقة الحركية	27
الطاقة الكامنة (الوضع)	28
معادلة برنولي	28
خط الانحدار الهيدروليكي وخط الطاقة	31
أدوات قياس الجريان	32
أسئلة الفصل الثالث	35
الفصل الرابع (الجريان وفواقد الطاقة)	36
مقدمة	37
أنواع الجريان	37
الجريان الطباقي	39
الجريان الاضطرابي	40
رقم رينولدز	41
معادلة الطاقة	44
الضائعات الرئيسة والثانوية	44
ربط الأنابيب على التوالي والتوازي	54
أسئلة الفصل الرابع	56

أسم الموضوع	رقم الصفحة
الفصل الخامس (القنوات المفتوحة)	58
مقدمة	59
أنواع الجريان في القنوات المفتوحة	59
الانحدار الهيدروليكي	61
معادلات الجريان المنتظم	62
قياس التصريف	64
أسئلة الفصل الخامس	66
الفصل السادس (المضخات)	67
مقدمة	68
أنواع المضخات	69
هيدروليكية عمل المضخات	72
طرق ربط المضخات	74
قدرة المضخات وكفاءتها	76
استعمال الغاز المضغوط لضخ السوائل	78
أسئلة الفصل السادس	79
الفصل السابع (نوعية المياه)	81
مقدمة	82
العوامل المؤثرة في نوعية المياه	82
تأثير نوعية المياه على صحة الإنسان	83
مظهر الماء	84
رائحة الماء	85
فحوصات الماء	86
جمع العيّنات	87
القواعد العامة لجمع العيّنات	88
متطلبات الماء الصالح للشرب	89
الآثار الصحية لبعض المواد الموجودة في الماء	91
المواصفات العالمية للماء الصالح للشرب	92
أسئلة الفصل السابع	93
الفصل الثامن (الخصائص الفيزيائية للمياه)	94
الشوائب الموجودة في الماء	95
المواد الصلبة	95
العكارة أو الكدرة	102
اللون	105
الطعم والرائحة	106
درجة الحرارة	108
أسئلة الفصل الثامن	110
الفصل التاسع (الخصائص الكيميائية للمياه)	111
القاعدية	112
الكبريتات	113
الكلوريدات	114
العسرة	115

أسم الموضوع	رقم الصفحة
تركيز الأيون الهيدروجيني	121
الفلوريدات	121
الحديد	125
التوصيل الكهربائي	125
أنواع المخثرات	127
مساعدات التخثير	129
أسئلة الفصل التاسع	130
الفصل العاشر (التبادل الأيوني)	131
ضرورة التبادل الأيوني	132
سعة التبادل الأيوني	133
نظرية المبادلات الأيونية	134
مواد التبادل الأيوني	135
أنواع راتنجات التبادل الأيوني	138
أنواع منظومات التبادل الأيوني	140
ميزات استخدام عملية التبادل الأيوني	141
محددات استخدام عملية التبادل الأيوني	142
تطبيقات المبادلات الأيونية	143
عملية إزالة الأيونات	144
الشحوم والزيوت	145
أسئلة الفصل العاشر	146
الفصل الحادي عشر (مدخل إلى الأحياء المجهرية)	148
مقدمة	149
أهمية الأحياء المجهرية في الماء	149
أسئلة الفصل الحادي عشر	151
الفصل الثاني عشر (الصحة العامة)	152
الأمراض ذات الصلة بتلوث المياه	153
مسببات الأمراض	156
أهم المؤثرات البكتريولوجية لتلوث الموارد المائية	157
الاختبارات البيولوجية للكشف عن صلاحية مياه الشرب	158
أنواع الأمراض وأعراضها	158
الاحتماء من الأمراض	160
أسئلة الفصل الثاني عشر	168

الباب الأول

مبادئ الهيدروليك

Hydraulic Principals

الأهداف

الهدف العام:

يهدف هذا الباب إلى التعرف على مبادئ علم الهيدروليك وخصائص الموائع والمعادلات الأساسية التي لها علاقة بالموضوع.

الأهداف الخاصة:

نتوقع أن يكون الطالب قادراً على أن:

1. يتعرف على أنواع وحدات القياس.
2. يتعرف على خصائص الموائع المهمة مثل الكثافة، اللزوجة، الضغط، الجريان.
3. التعرف على هيدروستاتيكية الموائع (الموائع الساكنة) من خلال دراسة الضغط الكلي ومركز تأثيره.
4. يتعرف على القوى المسلطة على الأجسام المستوية المغمورة
5. **يتعرف على معادلات الطاقة.**
6. **يصنف أنواع الجريان.**
7. **يصنف أنواع القنوات المفتوحة.**
8. **يتعرف على طرق وأنواع قياس التصريف.**
9. **يصنف أنواع المضخات والتعرف على هيدروليكية المضخات وطرق ربطها.**

الفصل الأول

خصائص الموائع

Fluid Characteristics

الفصل 1

محتويات

الموضوعات

- وحدات القياس بالنظام العالمي
- خصائص الموائع
  - الكثافة
  - اللزوجة
  - الضغط

خصائص الموائع

خصائص الموائع

Fluid Characteristics

1-1 مقدمة Introduction

يعرف المائع على إنه المادة التي يتغير شكلها أو تتشوه أو الاثنان معاً نتيجة تأثير قوى القص المسلطة عليها حتى لو كانت هذه القوى ضئيلة جداً، وتستمر بالتشوه أو تغيير الشكل ما دامت قوى القص مسلطة عليها. تشمل الموائع المادة بحالتيها الغازية والسائلة. بذلك يمكن تصنيف المواد بصورة عامة إلى مواد صلبة وموائع.

إن العلم الذي يعنى بحركة المواد السائلة أو الغازية (الموائع) يسمى ميكانيك الموائع Fluid Mechanics، مثلما يختص ميكانيك المواد الصلبة بحركة الأجسام الصلبة والقوى المؤثرة فيها، ومن هذا العلم تتفرع مجموعة من العلوم الأخرى مثل الهيدروديناميك Hydrodynamicsوالطاقة الكهرومائية Hydroelectric والهيدروليك Hydraulicوديناميك الهواء Aerodynamics وديناميك الغازات Gas dynamics وغيرها من العلوم، إذ إنّ كل علم من هذه العلوم يختص بحالة معينة من ميكانيك الموائع.

في هذا الفصل سيتم دراسة مجموعة موضوعات لها علاقة بميكانيك الموائع، إذ سيتم التطرق أولاً إلى موضوع الوحدات وعلى الطالب أن يولي هذا الجزء عناية خاصة لأن الأساس في فهم الكميات الفيزيائية عامة وأدراكها وخصائص الموائع خاصة. ثم يليها شرح وتوضيح بشكل موجز لخصائص الموائع مثل الكثافة واللزوجة والضغط، الحرارة و وغيرها.

2-1 وحدات القياس Measurement Units

تُقاس الكميات والخواص الفيزيائية بوحدات معينة لكل منها، فمثلاً يستعمل المتر واحياناً القدم لقياس الطول، ويشير هذا التنوع إلى وجود عدد من الأنظمة المعتمدة للوحدات ولاشك في إنّ اعتماد نظام واحد يسهل من انتقال المعرفة والتكنولوجيا بين شعوب العالم، كذلك من أهم متطلبات حل المسائل الهندسية تنسيق الوحدات فيما بينها.

هناك نظامان رئيسيان لوحدات القياس، النظام المتري(متر، غرام، ثانية) الذي يستخدم في بعض الدول، والنظام البريطاني (قدم، باوند، ثانية) الذي يستخدم في دول الكومنولث والولايات المتحدة وغيرها،ثم جاء النظام الدولي ليوحد وحدات القياس عالميا وسُمي بنظام الوحدات العالمي(SI Units Standard International Units) الذي يتكون من ستة وحدات أساسية، كمافي الجدول (1-1).

الجدول 1-1 الوحدات الأساسية لنظامي الوحدات العالمي والبريطاني SI& Imperial Base Units

الوحدات القياسية ورموزها	النظام العالمي		النظام البريطاني	
	وحدة القياس	الرمز	وحدة القياس	الرمز
الطول L	متر	م m	قدم	Ft
الكتلة m	كيلوغرام	كغم kg	باوند	Ib
الزمن t	ثانية	ثا s	ثانية	S
التيار الكهربائي I	أمبير	أمبير A	أمبير	A
درجة حرارة الديناميك الحراري T	كلفن	كلفن K	رانكن	R
شدة الإضاءة	شمعة	شمعة Cd	الشمعة	Candela

هناك وحدات غير أساسية كثيرة غيرها تمثل كميات فيزيائية وهندسية مختلفة تعدّ وحدات مشتقة من الوحدات الأساسية،كما هو مبين لبعض منها في الجدول (1-2).

الجدول 1-2 الوحدات المشتقة من نظام الوحدات العالميSI-Derived Units

الوحدة المشتقة	وحدة القياس	الرمز	أساس الوحدة
القوة	نيوتن	نت N	كغم.م/ثا^2
الشغل والطاقة	جول	جول J	نيوتن.م
القدرة	واط	واط W	جول/ثا
الضغط	باسكال	باسكال Pa	نيوتن/م^2
فرق الجهد الكهربائي	فولت	فل V	واط/أمبير
المقاومة	أوم	هم Ω	فولت/أمبير

3-1 الكثافةDensity(ρ)

إذا كان لديك كيلوغرام واحد من مادتين مختلفتين ولتكن المادة الأولى على سبيل المثال هي الحديد والثانية هي القطن، ستلاحظ الفرق الشاسع بين الحيز الكبير الذي يشغله القطن والحيز الصغير الذي يشغله الحديد، من هنا يتضح بأن لكل مادة كثافة معينة إذ تعرف **الكثافة الكتلية بأنها كتلة الجسم لوحدة الحجم**،ويرمز لها (ρ) ويلفظ (رو)ووحدة قياسها هي كيلو غرام \ المتر المكعب ويرمز لها (**كغم \م^3**) (**kg/m^3**).

وهنالك أكثر من مفهوم للكثافة يستعمل حسب التطبيقات المطلوبة إذ تستعمل الكثافة الوزنية والكثافة النسبية في تطبيقات الضغط والجريان في الموائع. **الكثافة الوزنيةهي وزن وحدة الحجوم ويرمز لها بالرمز**(γ) ويلفظ (كاما) ووحدة قياسها نيوتن\المتر المكعب (**N/m^3**). أما **الكثافة النسبية** (**r$_d$**)**فتعرف على أنها النسبة بين كثافة المادة وكثافة مادة قياسية معينة وهي مجردة من الوحدات**، والمادة القياسية التي ينسب لها عادة لهذا الغرض هي الماء عند درجة حرارة(**4°C**) إذ يبلغ الماء كثافته العظمى تحت الضغط الجوي القياسي والذي يعادل (**1000 kg/m^3**).

مثال 1-1/احسب الكثافة الكتليةللزئبق بوحدات كغم/ م^3 إذا كانت كتلته تساوي (1360 غم) وحجم العبوة التي تحويه تساوي (100 سم^3) ثمّ بيّن كثافته النسبية.

الجوابـــــ

$\rho = m / v$

$1360\ g = 1.36\ kg$

$100\ cm^3 = 0.0001\ m^3$

$\rho = 1.36 / 0.0001 = 13600\ kg/m^3$

$r_d = \rho / \rho_w$

$r_d = 13600 / 1000 = 13.6$

مثال 1-2 إحسب الكثافة الوزنية للماء، إذا علمت أن التعجيل الأرضي يساوي (9.8 م/ ثا^2).

الجواب

$$\gamma = \rho \times g$$

$$\gamma = 1000\ kg/m^3 \times 9.8 m/s^2 = 9800\ N/m^3$$

1 - 4 اللزوجة Viscosity (μ)

إن مفهوم اللزوجة يظهر جلياً في حالة جريان الموائع فقط، وهي من الخصائص المهمة للموائع التي تؤخذ بعين الاعتبار عند تصميم المنظومات الهيدروليكية وحسابها مثل اختيار مقاطع الأنابيب وأنواعها والمضخات واختيار أنواع المواد المستعملة في تصنيع الأنابيب وأسطحها الداخلية أوغيرها.

جميع الموائع في الطبيعة ذات لزوجة ناتجة من تماسك الجزئيات بعضها مع بعض وكذلك من تبادل الزخم بين طبقات المائع عند الجريان، ولكون هذه الخاصية لا يمكن مشاهدتها أو قياسها إلا والمائع في حالة الجريان خلافاً لخاصية الكثافة التي بالإمكان قياسها والمائع في حالة سكون لذا سميت خاصية اللزوجة باللزوجة الديناميكية. وتعرف اللزوجة على أنها **خاصية المائع التي يبدي المائع بموجبها مقاومة لإجهادات القص**. فالمائع الذي ينساب بسهولة مثل الماء تعد لزوجته صغيرة الذي ينساب بصعوبة تكون لزوجته عالية مثل العسل. إذن تعتمد مقادير اللزوجة على نوع المائع فضلاً عن تأثرها بدرجة حرارته، وعادة في السوائل تقل اللزوجة عند زيادة درجة الحرارة فالماء مثلاً تنخفض لزوجته بمقدار النصف بتغير درجة حرارته من (10°C) إلى (40°C)، أما في الغازات فيزداد مقدار اللزوجة عند زيادة درجة الحرارة ويعتقد أن السبب في ذلك هو زيادة نشاط حركة جزئيات الغاز وتصادمها فيما بينها مما يؤدي إلى زيادة مقاومة الجزئيات لحركة بعضها مبعض.

ينص قانون نيوتن للزوجة **على أن إجهاد القص يتناسب تناسباً طردياً مع اللزوجة**، ويرمز لها ( ) ويلفظ (ميو)، وحدة قياس اللزوجة هي البويز (Poise) وتعادل (1/10) باسكال - ثانية (Pa.s).

في تطبيقات معينة ونظراً لتكرار حاصل قسمة اللزوجة الديناميكية على الكثافة في معادلات تطبيقات الموائع تستعمل اللزوجة الكينماتيكية وهي عبارة عن **حاصل قسمة لزوجة المائع على كثافته**، ويرمز لها بالرمز (ν) وتلفظ (نيو) ووحدة قياسه هي مترمربع\ثانية (m^2/s).

مثال1-3 سائل لزوجته (0.05 poise) وكثافته النسبية (0.85)، إحسب:-

1. اللزوجة بوحدات النظام الدولي.
2. اللزوجة الكينماتيكية.

الجواب

1. $\mu = 0.05 / 10 = 0.005$ Pa.s
2. $\nu = \mu / \rho$

$\rho = r_d \times \rho_w = 0.85 \times 1000 = 850$ kg/m^3

$\nu = 0.005 / 850 = 5.88 \times 10\text{-}^6$ m^2/s

1- 5 القوة Force(F)

تُعرف القوة بأنها المؤثر الذي يغيرأو يحاول أن يغير من شكل الجسم أو حالته الحركية. أي عندما تتغير سرعة جسم مقداراً أوأتجاهاً أو كليهما تتوقع إن هنالك مسبباً لهذا التغيير، ينتج هذا التغيير من تأثير المحيط في المادة، وهي من خصائص الجريان التي قد تتغير زماناً أو مكاناً وهي كمية متجهة، ووحدة قياسها النيوتن (N)، المشتق من وحدات الكتلة والتعجيل، وبالرجوع إلى قانون نيوتن الثاني فإن:

النيوتن: القوة اللازمة لإكساب جسم كتلته (1) كغم تعجيلا مقداره (1) م\ثا^2 باتجاه القوة المؤثرة

$$F\ (N) = m\ (kg) \times a\ (m/s^2)$$

إذ أن:

F: القوة m: الكتلة a: التعجيل

1- 6 الضغط (P) Pressure

يُعرف الضغط بأنه مقدار القوة العمودية المسلطة على وحدة المساحة (قوة \ مساحة) ووحدة قياسه حسب نظام الوحدات الدولية هو (نيوتن\م^2)، وتُعرف هذه الوحدة بالباسكال(Pa)، ويمكن استعمال مضاعفات هذه الوحدة مثل الكيلو باسكال(kPa)أو الميكاباسكال (MPa) وغيرها من المضاعفات أو الأجزاء، وفي النظام البريطاني يستعمل(باوند \ قدم^2 psf) أو(باوند / إنج^2 psi)، وهنالك عدد من الوحدات مثل (سم عمود زئبق) أو (إنج عمود زئبق) أو (البار) الذي يساوي(100 kPa).

ويوجد الضغط في نقاط المائع أجمعها الواقعة تحت ضغطٍ سواءًأكان المائع في حالة حركة أم سكون، وللمائع القابلية على تسليط الضغط من غير مؤثر خارجي. والضغط كمية غير موجهه لوقوعه من جميع الجهات على نقطة معينة في المائع. كذلك تعدّ من خصائص الجريان لإمكان تغيره من نقطة إلى أخرى ومن زمن إلى آخر. ويحسب الضغط في الموائع من المعادلة الآتية:

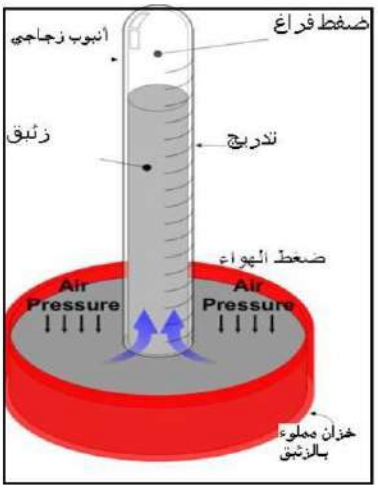
$$P = \gamma \times h$$

إذ إن :

P	الضغط	Pa
γ	الكثافة الوزنية	N/m^3
h	ارتفاع عمود السائل	m

1-6-1 الضغط الجوي(P_{atm}) Atmospheric Pressure (P_{atm})

يعرف الضغط الجوي في مكان ما على أنه مقدار الضغط الناتج من وزن عمود الهواء (من الغلاف الجوي إلى سطح الأرض) مقسوماً على وحدة المساحة، ويكون مقدار الضغط الجوي على مستوى سطح البحر عند($20^{\circ}C$)مساوٍ إلى(101.3 كيلوباسكال) أو واحد ضغط جوي (atm)، ويزداد الضغط الجوي عند الانخفاض عن مستوى سطح البحر ويقل عند الارتفاع عنه بسبب الزيادة والنقصان في طول عمود الهواء الذي يسبب الضغط.كما ويعتمد الضغط الجوي على درجة الحرارة فيرتفع مع انخفاض درجة الحرارة، ويقل عند ارتفاعها. يقاس الضغط الجوي بالبارومیتر الزئبقي وهو عبارة عن أنبوب مغلق من الأعلى مملوء بالزئبق مغمورة نهايته السفلى بحوض من الزئبق كما مبين في الشكل (1-1)، قيمة الضغط الجوي هي 76سم عمود زئبق عندمستوى سطح البحر بدرجة حرارة مقدارها($20^{\circ}C$) .



الشكل 1-1 البارومیتر الزئبقي

- يكون الضغط الجوي في مناطق جنوب العراق أكبر منه في شماله ، يعزى ذلك إلى أنّ ارتفاع مناطق الشمال عن مستوى سطح البحر هو أعلى منه في مناطق الجنوب، لذلك يكون ارتفاع عمود الهواء في مناطق الجنوب أكبر.
- يعتمد الضغط الجوي على درجة الحرارة فيرتفع الضغط الجوي مع انخفاض درجة الحرارة، ويقل مع ارتفاعهاأي أنه في الشتاء أعلى مما هو عليه في الصيف.

مثال 1-4

حول 0.9 ضغط جوي إلى كيلوباسكال، باوند\إنج^2، سم زئبق، إنج زئبق.

الجواب

$$0.9\ \text{atm} \times 101.3\ \text{kPa/atm} = 91.17\ \text{kPa}$$

واحد ضغط جو يعادل 14.7 باوند/إنج^2

$$0.9\text{atm} \times 14.7\ \text{psi/atm} = 13.23\ \text{psi}$$

$$0.9\text{atm} \times 76\ \text{cm Hg / atm} = 68.4\ \text{cm Hg}$$

واحد إنج يعادل 2.54 سم

$$68.4 \times \mathbf{12.54}(\textit{incm}) = 26.93\ \text{in Hg}$$

1-6-2ضغط المقياس(P_{gage}) Gage Pressure

ضغط المقياس هو قيمة الضغط التي يؤشرها مقياس الضغط،تبدأ أغلب مقاييس الضغط بالتدريج من الصفر، بافتراض أن قيمة الضغط الجوي تساوي صفراً لأنه مسلط على المائع المراد قياس ضغطه من الاتجاهات كافة .

3-6-1ضغط الخواء(P_v)Vacuum Pressure

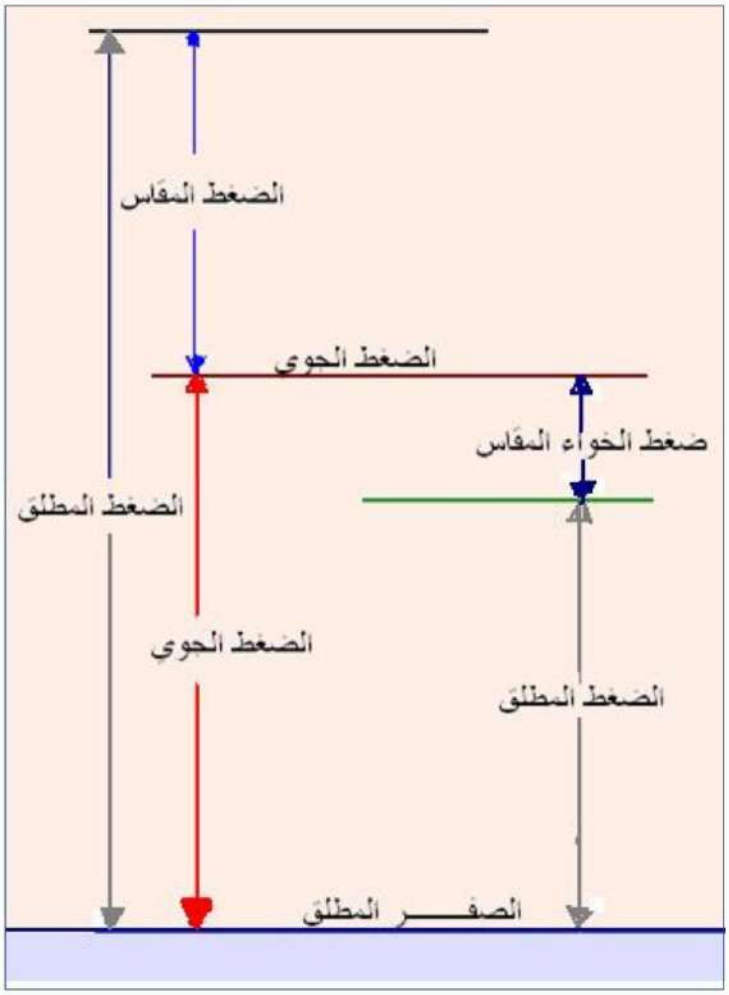
يسمى الضغط في داخل الحيز ضغط الخواء (ضغطاً خوائياً) إذا كان الضغط في الحيز أقل من الضغط الجوي وتكون قيمة القراءة تحت الضغط الجوي (قراءة سالبة).

4 -6-1 الضغط المطلق(P_{abs})Absolute Pressure

ويمثل القيمة الحقيقية للضغط ويساوي مجموع الضغط الجوي والضغط المقاس. ويوضح الشكل (2-1) أنواع الضغوط في أعلاه.

الضغط المطلق=الضغط الجوي+ الضغط المقاس

$$P_{abs} = P_{atm} + P_{gage}$$

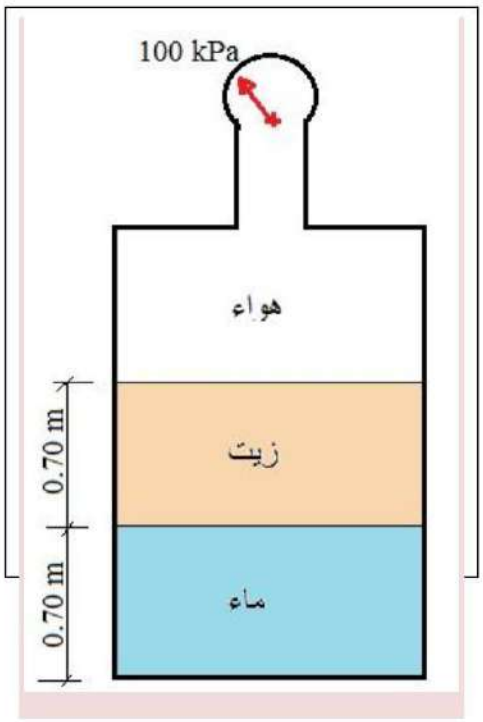


الشكل 1-2 الضغط الجوي والضغط المقاس وضغط الخواءوالضغط المطلق

مثال 1-5

خزان مغلق يحتوي على هواء وزيت وماء، وكانت القراءة على مقياس الضغط مقدارها (100kPa)،فإذا علمت أن أبعاد الخزان في المستوى الأفقي (1.2×1.2)م، أوجد القوة الكلية على قاعدة الخزان مع العلم أن الكثافة النسبية للزيت تساوي (0.8)

الجواب



$P_{air} = 100\ kPa$

$P_{oil} = r_d \times \gamma_w \times h$

$= 0.8 \times 9810 \times 0.7 = 5493.6\ Pa$

$\cong 5.5\ kPa$

$P_w = \gamma_w \times h$

$= 9810 \times 0.7 = 6867\ Pa$

$= 6.87\ kPa$

$P_t = P_{air} + P_{oil} + P_w$

$= 100 + 5.5 + 6.87 = 112.37\ kPa$

$F = P \times A = 112.37 \times 1.2 \times 1.2 = 161.8\ kN$

5-6-1 أدوات قياس الضغط Pressure Measurement Instruments

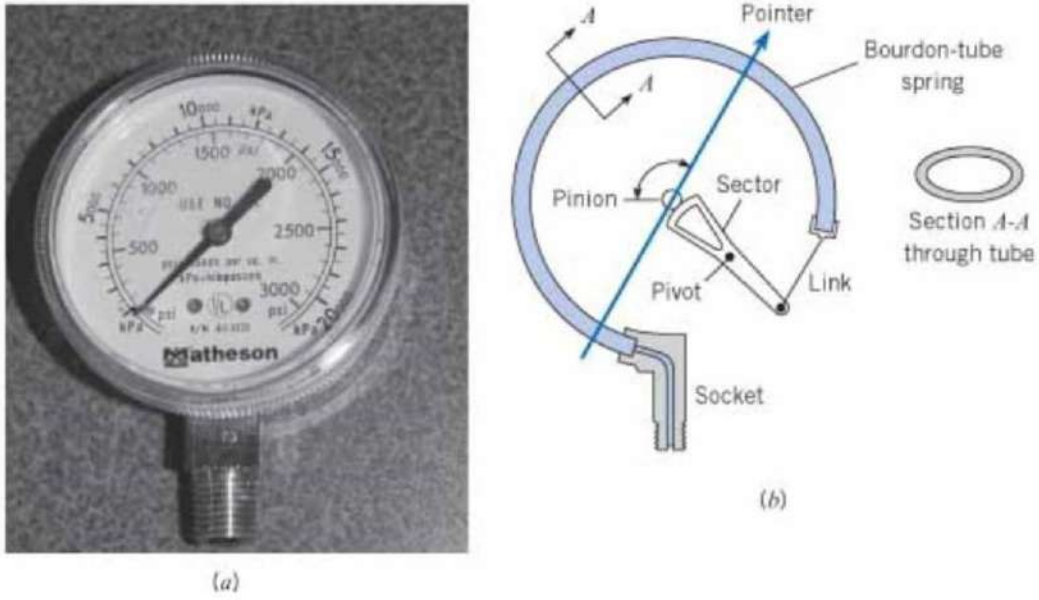
المانومتر Manometer

عبارة عن أداة بسيطة تستعمل لقياس فرق الضغط، وهي عبارة عن أنبوبة زجاجية مدرجة بشكل حرف (U) ويعتمد فرق الضغط فيهاعلى الفرق في ارتفاع السائل بين ساقي الأنبوبة ويرمز له بالحرف(h). عند الحاجة إلى قراءة فروقات صغيرة في الضغط يستعمل المانومتر المائل، وفي هذه الحالة تكون القراءة أكثر دقة، الشكل(1-3) يوضح المانومتر بنوعيه.يمكن حساب فرق الضغط من المعادلة الآتية إذا كان المانومتر غير مائل:

تذكر

مقياس بوردن :

ويستخدم لقياس الضغط او التفريغ, في هذا المقياس يوجد انبوب مقوّس ومقطعه على شكل قطع ناقص ويتغير تقوس الانبوب مع تغير الضغط المؤثر عليه. والطرف الحر للانبوب يدير مؤشرا،شكل 1-4.



الشكل 1-4: مقياس بوردون

عمود البيزوميتر

يعد وسيلة سهلة لقياس الضغط المتوقعة للسائل ويتركب من انبوب يرتفع بداخله سائل بصورة حرة من غير ان تفيض. ويعطي ارتفاع السائل في الانبوبة قيمة الضغط.

المانوميترات الفرقية:

لقياس الفرق بين ضغطين إذ يكون مائع المقياس ذا كثافة اكبر منها بالنسبة للمائع المطلوب قياس فرق ضغطه. ان السوائل المستخدمة والتي كثا فتها كبيرة هي الزئبق. وبالتالي فان المانوميترات تكون مناسبة لقياس فروق الضغط الكبيرة

مثال 1-6

1. إذا كان الفرق بين ذراعي مانومتر 20 سم عمود ماء، جد الفرق بالضغط بالباسكال.
2. إذا كانت القراءة في المانومتر المائل بزاوية 30درجة هي 50 سم عمود ماء، جد الفرق بالضغط بوحدات الباسكال.

الجواب

1)

$$P_d = h \times \rho \times g$$

$$\rho_{water} = 1000\ kg/m^3$$

$$P_d = \frac{20}{100} \times 1000 \times 9.8 = 1960\ Pa$$

2)

$$P_d = L \times \sin\theta \times \rho \times g$$

$$P_d = 0.5 \times \sin 30 \times 1000 \times 9.8$$

$$P_d = \frac{50}{100} \times 12 \times 1000 \times 9.8 = 2450\ Pa = 2.45\ kPa$$

أسئلة الفصل الأول

س1) عرف الموائع، وما هو الأختلاف بين السوائل والغازات؟

س2) عدد العوامل التي تؤثر في لزوجة الموائع.

س3) عرف الضغط، وما هي وحداته المستعملة؟ ذاكراً أهم المقاييس المستعملة لقياس الضغط.

س4) قارن بين الضغط المطلق وضغط المقياس.

س5) وعاء مملوء بالزيت، إذا كان وزن الزيت يساوي (1.9 kN) وحجم الوعاء يساوي 200 لتر. ا ِحسب الكثافة الوزنية والكثافة الكتلية والكثافة النسبية للزيت.

ج: $8.45\ kN/m^3$، $862\ kg/m^3$ ، 0.862

س6)

- إذا كان الضغط الجوي في مدينة بغداد 101 كيلو باسكال، جد مقدار الضغط الجوي بالباوند/ قدم^2 وبالباوند/ أنج^2(psi). ج/ 14.7 , $2109.4\ lb/ft^2$ psi
- ما هو الضغط المسلط على قاعدة خزان مساحته 0.2 م^2، إذا كان الخزان ملئ بالماء، الذي كثافته 1000 كغم/م^3، علما بأن الإناء معرض إلى الضغط الجوي وارتفاع الخزان 1.2م.

ج/ 113.085 kPa

- يقرأ المقياس ضغطاً مقداره 150 كيلوباسكال، في حين أن الضغط الجوي يساوي 99 كيلوباسكال، أوجد الضغط المطلق. ج/ 249 kPa
- إذا علمت أن مقدار الضغط المُقاس في خزان لترشيح الماء وتصفيته يساوي (29.4 psi)، جد مقدار الضغط المطلق بوحدتي البار والكيلو باسكال. ج/ 303.9 kPa ، 3.039 Bar

س7)

- إذا كان الفرق بين ذراعي مانومتر 5 سم عمود زئبق، جد الفرق بالضغط بالباسكال.

ج/ 6.6 Pa

- إذا كانت القراءة في مانومتر مائل بزاوية 45 درجة هي 42 سم، جد الفرق بالضغط بوحدات الباسكال إذا كان المائع هو الماء علما ان جا 45 =0707. ج/ 2.9 kPa

الفصل الثاني

الـهيدروستاتيك

Hydrostatic

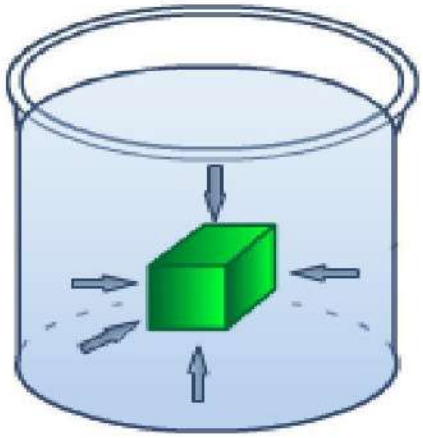
الفصل 2

محتويات

تعلم الموضوعات

- الضغط الكلي
- القوى المؤثرة في الأجسام المستوية المغمورة
- قاعدة باسكال
- قاعدة أرخميدس

الـهيدروستاتيك



الهيدروستاتيك Hydrostatic

2-1 مقدمة Introduction

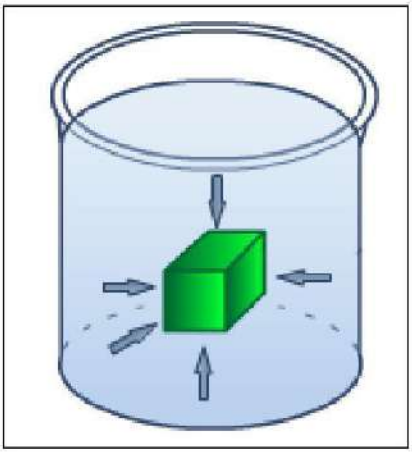
الهيدروستاتيك هو العلم الذي يعُنى بدراسة الموائع وهي في حالة سكون، وقوى الضغط المؤثرة فيها، وعندما يكون المائع في حالة سكون لا توجد هنالك حركة نسبية بين طبقات المائع المختلفة، وعليه فجميع الأجسام الحرة في الموائع الساكنة تؤثر فيها قوى الضغط العمودية وحسب.

يشغل هذا العلم حيزاً مهماً من موضوع ميكانيك الموائع لما له من تطبيقات واسعة في حياتنا اليومية مثل أجهزة قياس الضغط، المضخات المختلفة، بناء السدود، صناعة السفن، وغيرها من التطبيقات.

في الموائع الساكنة الضغط هو القوى السائدة في الموضوع كما مر ذكره ، وقد تم تعريف الضغط في الفصل الأول وذكرت وحداته و في هذا الفصل سيتم تناول الضغط الكلي ومركز تأثيره وتغيرات الضغط وغيرها من المواضيع التي لا بد للطالب من أن يستوعبها بشكل صحيح لعلاقته الوثيقة باختصاصه.

2-2 قاعدة باسكال Pascal's Rule

تنص قاعدة باسكال على أن **الضغط المسلط على أي جسم مغمور في مائع يكون متساوياً من جميع الجهات عند مستوىً معين**. يوضح الشكل (2-1) في أدناه تأثير المائع على جسم ما مغمور في سائل، إذ تكون القوة عبارة عن قوى ضغط مسلطة عمودياً على الجسم من جميع الجهات كما يؤثر بقوة عمودية على جدران الإناء أيضاً.



الشكل 2-1 تأثير قوى الضغط في الأجسام المغمورة

ولحساب مقدار الضغط في أي نقطة من السائل سنجد العلاقة من خلال حساب مقدار الضغط المؤثر في قاعدة الإناء الموضح في الشكل (2-2) المجاور.

القوة (F) = وزن عمود السائل (W)

= الكتلة (m) × التعجيل الأرضي (g)

بما أن الكتلة (m)= الكثافة (ρ) × الحجم (V)

الحجم (V) = مساحة السائل (A) × ارتفاع عمود السائل (h)

إذاً:

القوة (F) = الكثافة (ρ)× مساحة السائل (A) × ارتفاع عمود السائل (h) × التعجيل الأرضي (g)

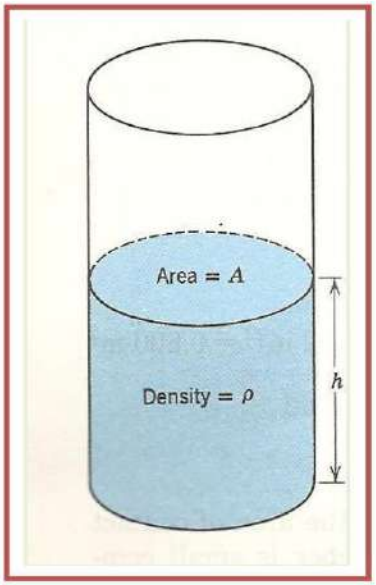
الضغط (P) = القوة (F)÷ المساحة (A)

إذاً:

$$P = \rho \times h \times g$$

أو

$$P = \gamma \times h$$



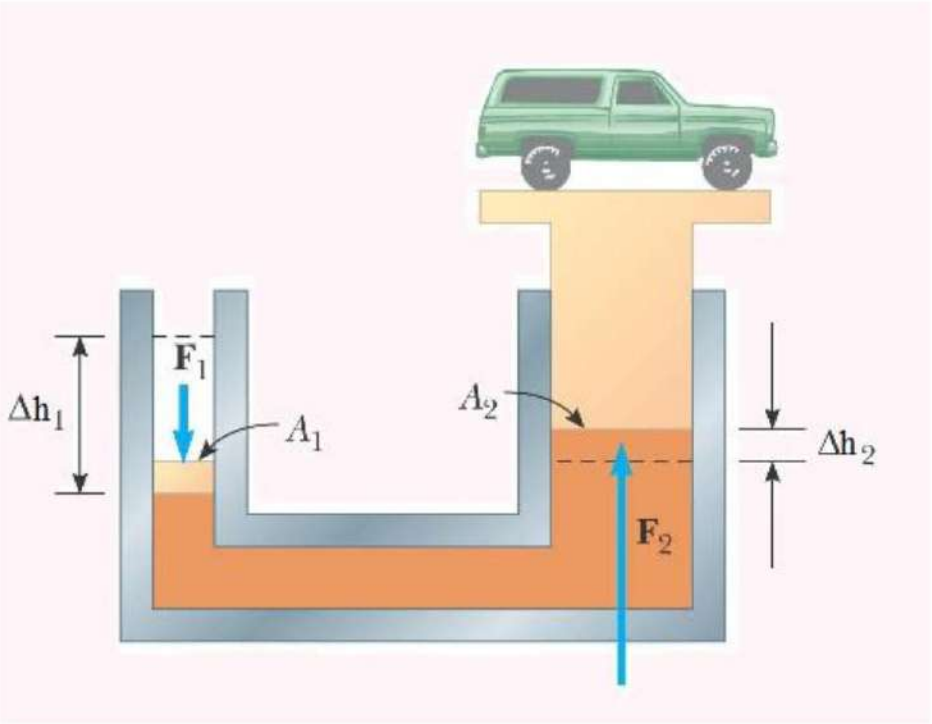
شكل 2-2 مقدار الضغط في اناء

- إنّ الضغط يعتمد على ارتفاع عمود السائل وكثافته الوزنية

3-2 انتقال الضغط Pressure Transition

بالنظر إلى أن الضغط متساوٍ عند جميع النقاط ذات العمق المتساوي في السائل، فإن أيّةً زيادة في الضغط على السطح يجب أن تنتقل إلى أية نقطة في السائل بصورة متساوية واعتماداً على قاعدة باسكال يمكن صياغة النص الأتي حول انتقال الضغط في الأوعية المغلقة **الضغط الخارجي المطبق على سائل في ضمن وعاء مغلق ينتقل دونما أي نقصان إلى جميع نقاط السائل وإلى جدران الوعاء المغلق.**

وتطبيقاً على هذه القاعدة الرافعة الهيدروليكية المبينة في الشكل (2-3).



الشكل 2-3 الرافعة الهيدروليكية

نستنتج الآتي:

$$P_1 = P_2$$

$$\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2},\ F_1 \neq F_2\ ,\ A_1 \neq A_2$$

يمكن الافادة عملياً من هذا التطبيق بتسليط قوى صغيرة (F_1) لرفع أجسام ثقيلة مثل المركبات (F_2).

مثال 2-1

احسب القوة اللازمة لرفع سيارة وزنها (25) كيلونيوتن باستعمال الرافعة الهيدروليكية، علماً بأن مساحة الأسطوانة الصغيرة (25) سم^2 ، ومساحة الأسطوانة الكبيرة (2500) سم^2 .

الجواب

$$P_1 = P_2$$

$$\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2}$$

$$25\ kN = 25000\ N$$

$$F_2 = F_1 \times \frac{A_2}{A_1}$$

$$25000 = F_1 \times \frac{2500}{25}$$

$$F_1 = 250\ N$$

في مثل هذه التطبيقات عزيزي الطالب وفي موضوع انتقال الضغط يستخدم زيت الهيدروليك بوصفة مائعاً نموذجياً لامتلاكه الخواص الأتية:

- قوة الاحتكاك بين المائع والجدران الداخلية للأنابيب قليلة جداً.
- ذو لزوجة واطئة جداً حتى في درجات الحرارة الواطئة يساعد ذلك على سرعة حركته وسهولتها.
- الضغط التبخيري للمائع يكون عالي يساعد ذلك كي لا يتبخر منه شيء.
- غير سام وبطيء الاشتعال.

4-2 قاعدة أرخميدس Archimedes Rule

تنص قاعدة أرخميدس على أنه **إذا غمر جسم جزئياً أو كلياً في مائع فأنه يفقد من وزنه بقدر وزن المائع المزاح**.هنالك كثير من التطبيقات العملية على هذه القاعدة سيتم الإشارة إليها.

وبصيغة أخرى فإن قوة الطفو على جسم مغمور في مائع تساوي وزن المائع المزاح، وبذلك يتضح بأن أي جسم عندما يغمر في مائع تؤثر فيه قوتان وكالآتي:

- وزن الجسم (W) ويكون متجهاً عمودياً إلى الأسفل.
- قوة الطفو (Buoyancy Force) (F_B) وهي وزن المائع المزاح وتكون عمودية ومتجهة الى الأعلى.

وبحسب التطبيقات العملية فإن الأجسام تكون على حالتين الأولى أن تكون الأجسام مغمورة جزئياً في الموائع كما في السفن والأخرى مغمورة كلياً، لاحظ الشكل (2-4)، إذ تبين التدرجات المثبتة على جانب السفن عمق الغاطس.

الشكل 2-4 تطبيق قاعدة ارخميدس (السفن)

تذكر

يتغير مقدار عمق الغاطس في السفن اعتماداً على مقدار حمولة السفن إذ يزداد مقداره بزيادة الحمولة.

وعليه تطبق قاعدة أرخميدس كما مبين في أدناه:

1- **الاجسام المغمورة جزئياً في المائع (الأجسام الطافية)**، لاحظ الشكل (2-5- A)

وزن الجسم في الهواء – وزن الجسم في المائع = وزن المائع المزاح

وزن الجسم الطافي في المائع = صفر

وزن الجسم الطافي في الهواء – صفر = وزن المائع المزاح

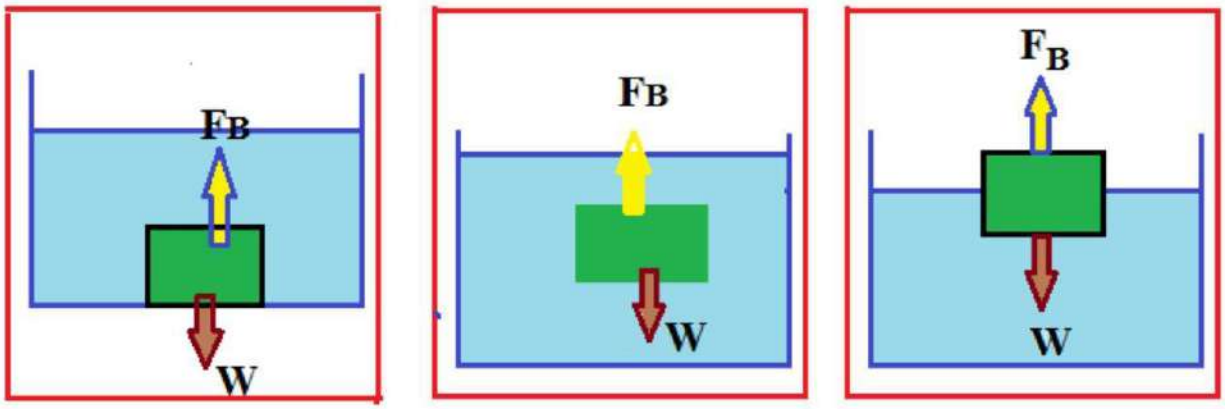
وزن الجسم الطافي (القوة الصعودية) (W) = حجم الجزء المغمور(V) ×الكثافة الوزنية للمائع (ρ)

2- **الأجسام المغمورة كلياً في المائع**، لاحظ الشكلين (2-5-B) والشكل (2-5-c)

القوة الصعودية للمائع = وزن المائع المزاح

وزن الجسم في الهواء – وزن الجسم في المائع = وزن المائع المزاح

وزن الجسم في الهواء – وزن الجسم في المائع = حجم السائل المزاح(V) ×الكثافة الوزنية للمائع (ρ)



C B A

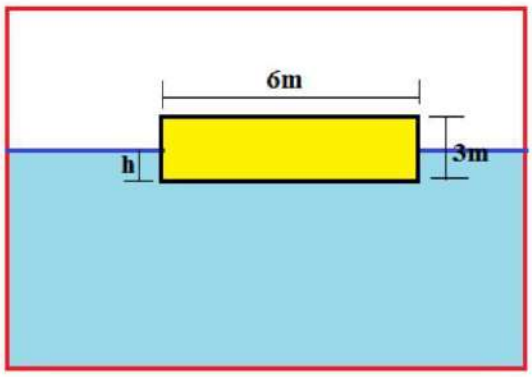
الشكل 2-5 حالات قاعدة أرخميدس

تذكر

- إذا كانت كثافة الجسم أقل من كثافة المائع فإن الجسم يطفو على سطح المائع.
- إذا كانت كثافة الجسم أكبر من كثافة المائع فإن الجسم يغطس كلياً في. المائع.
- إذا كانت كثافة الجسم تساوي كثافة المائع فإن الجسم سيبقى معلقاً في حالة توازن في داخل المائع.

مثال 2-2

إحسب ارتفاع الغاطس (h) في عوامة نهرية والموضحة في الشكل (2-6)، إذا كان طولها يساوي (12) م وعرضها (6)م وارتفاعها (3)م، وثقلها مع الحمل (1000)كيلو نيوتن.



الشكل 2-6 عوامة نهرية (مثال 2-2)

حجم الماء المزاح (V_L) يساوي

$$V_L = 12 \times 6 \times h$$

$$= 72\ h$$

$$W = \gamma \times V_L$$

$$1000000 = \gamma_w \times 72\ h$$

$$\gamma_w = 9800\ N/m^3$$

$$1000000 = 9800 \times 72\ h$$

$$h = 1.4\ m$$

أسئلة الفصل الثاني

س1) املأ الفراغات الآتية بما يناسبها:

1. ينتقل الضغط المسلط على مائع محصور في جميع الاتجاهات ومن غير نقصان اعتماداً على قاعدة .....
2. يتوقف مقدار الفقدان من وزن الجسم الغاطس في مائع ما على .....
3. من أهم التطبيقات العملية على قاعدة أرخميدس .....
4. إذا غمر جسم وزنه (W) في مائع وبقي معلقاً داخل المائع في حالة توازن، معناه أن القوة الصعودية (F).....وزنه.

س2) حوض سباحة على شكل متوازي المستطيلات طوله (20)م وعرضه (15)م وارتفاع الماء فيه (5)م، إحسب

1. الضغط على قاعدة الحوض.
2. القوة المؤثرة في القاعدة.

س3) مكبس في جهاز هيدروليكي مساحة مكبسه الكبير (20) مرة بقدر مساحة مكبسه الصغير، فإذا كانت القوة المسلطة على المكبس الكبير (5000)نيوتن، إحسب القوة المسلطة على المكبس الصغير.

الفصل الثالث

معادلات الطاقة

ENERGY EQUATIONS

الفصل 3

محتويات

تعلم الموضوعات

- المانع المثالي
- معادلة الإستمرارية في الموائع
- معادلة الطاقة
- الطاقة الحركية
- الطاقةالكامنة
- معادلة برنولي
- خط الإنحدار الهيدروليكي وخط الطاقة
- أدوات قياس الجريان

معادلات الطاقة

معادلات الطاقة Energy Equations

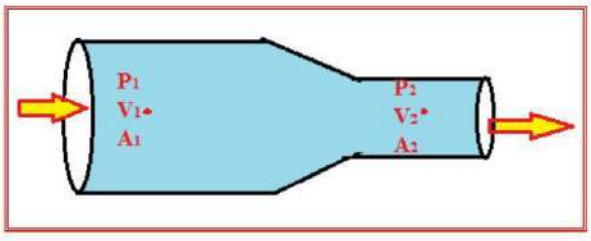
1-3 المائع المثالي Ideal Fluid

في بعض الحالات ولتسهيل البحوث والدراسات يُلجأ إلى افتراض المائع بأنه مائع مثالي، ويمكن وصف المائع بالمثالي إذا اتصف بما يأتي:

- **غير قابل للإنضغاط** أي لا يمكن ضغطه فكثافته تبقى ثابتة في أثناء جريانه.
- **جريانه منتظم** أي أن سرعة جريان دقائق المائع عند نقطة معينة تبقى ثابتة مع الزمن في المقدار والإتجاه.
- **عديم اللزوجة** إذ تُعد اللزوجة مقياساً للاحتكاك الداخلي في المائع عند جريانه لذلك نفترض أنَ لزوجة المائع تساوي صفراً.
- **غير دوراني أو دوامي** أي أن جريانه غير اضطرابي أي لا تتداخل خطوط جريانه فلا تحصل فيها دوامات.

2-3 معادلة الاستمرارية في الموائع Continuity Equation in Fluid

تنص معادلة الاستمرارية على أن **معدل تدفق (Discharge) كمية المائع من أي مقطع داخل الأنبوب يبقى ثابتاً**، وفي حالة الجريان الانسيابي للموائع المثالية يمكن تحقيق هذه المعادلة وهي صحيحة على طول الأنبوب الأفقي، وكما مبين في الشكل (3-1).



الشكل 3-1 جريان مائع في داخل أنبوب متغير المقطع

يمكن التعبير عن معدل التدفقبدلالة نسبة الحجم للزمن ويرمز له (Q) ووحداته هو (m^3/s)، أو يعبر عنه بدلالة نسبة الكتلة للزمن ويرمز له ($\dot{m}$) ووحداته هو (kg/s). فإذا كانت سرعة المائع تمثل (v) ومساحة مقطع الأنبوب (A) فإن معدل التدفق تساوي:

$$Q = A \times v$$

ولحساب معدل التدفق الكتلي تستخدم المعادلة الآتية:

$$\dot{m} = Q \times \rho$$

حيث (ρ) تمثل كثافة المائع ووحداتها هي (m^3/kg) كما تم ذكره في الفصل الأول.

وعليه يمكن التعبير عن معادلة الاستمرارية لجريان الموائع بحسب النص الذي تم ذكره في بداية هذه الفقرة كالآتي:

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 \longrightarrow \rho_1 \times A_1 \times v_1 = \rho_2 \times A_2 \times v_2$$

وفي حالة السوائل (الموائع غير القابلة للإنضغاط) يمكن عدّ الكثافة ثابتة على طول الجريان ولا تتغير وهذا عملياً صحيح عند الجريان بسرع واطئة نسبياً (ليست عالية جداً)، تصبح المعادلة في أعلاه كالآتي بعد حذف الكثافة من حدود المعادلة:

$$A_1 \times v_1 = A_2 \times v_2$$

مثال 3-1

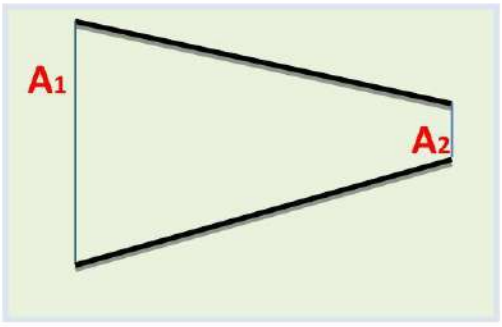
أنبوب متغير المقطع الموضح في الشكل (3-2) يجري فيه سائل بمعدل تدفق (0.008 م^3 / ثا)، إذا كان قطر المقطع الأول (100 ملم) والثاني (50 ملم)، جِد معدل السرعة بالمقطعين.

الجواب

$$Q = v \times A = A_1 \times v_1 = A_2 \times v_2 = 0.008 \ m^3/s$$

$$v_1 = \frac{Q}{A_1} = \frac{0.008}{(\pi \times (0.1)^2)/4} = 1.02 \ m/s$$

$$v_2 = \frac{Q}{A_2} = \frac{0.008}{(\pi \times (0.05)^2)/4} = 4.07 \ m/s$$

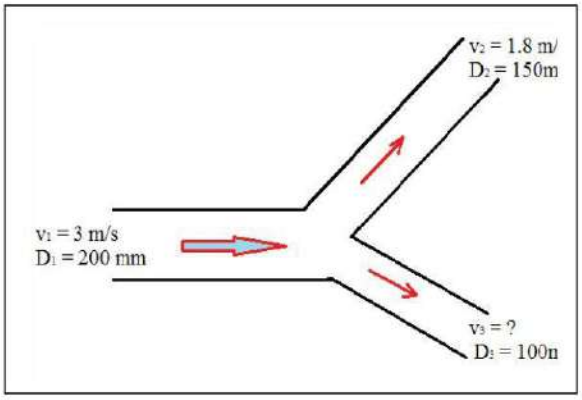


شكل 3-2 أنبوب متغير المقطع (مثال 3-1)

مثال 3-2

الشكل (3-3) يوضح أنبوب قطره (200) ملم ينقل ماء ويتفرع منه أنبوبين بإقطار (150، 100) ملم على التوالي، جِد السرعة في الأنبوب الثاني.

الجواب



$$Q_1 = Q_2 + Q_3$$

$$Q_1 = A_1 \times v_1 = \frac{\pi}{4} \times 0.2^2 \times 3 = 0.094\ m^3/s$$

$$Q_2 = A_2 \times v_2 = \frac{\pi}{4} \times 0.15^2 \times 1.8 = 0.032\ m^3/s$$

$$Q_3 = Q_1 - Q_2 = 0.094 - 0.032 = 0.062\ m^3/s$$

$$V_3 = \frac{Q_3}{A_3} = \frac{0.062}{(\pi\ (0.1)^2)/4} = 7.9\ m/s$$

الشكل 3-3 أنبوب متفرع (مثال 3-2)

2-3معادلة الطاقة Energy Equation

للطاقة أشكال أو صور عديدة بصورة عامة، وفي هذه المرحلة الدراسية وفي موضوع جريان الموائع سيتم الحديث عن طاقة الحركة والطاقة الكامنة وطاقة الضغط.لقد تم شرح موضوع الضغط في الفصل الأول وسيتم تناول الطاقة الحركية والطاقة الكامنة في هذه الفقرة.

1-2-3 الطاقة الحركية KineticEnergy

لعلك شاهدت على شاشة التلفاز الآثار المدمرة التي تخلفها الرياح والأعاصير والفيضانات في مناطق مختلفة من العالم. ولابد من انك تستنتج من ذلك أن هذه الرياح والمياه المتحركة تمتلك كمية كبيرة من الطاقة تكفي لتدمير مجمعات سكنية بأكملها.يُسمى هذا الشكل من الطاقة التي تمتلكها الأجسام بسبب حركتها الطاقة الحركية، ولهذا تُعرف الطاقة الحركية للجسم على أنها الطاقة الناتجة بسبب سرعته، لذلك فإن أي جسم يتحرك يمتلك طاقة حركية، ويستطيع أن ينجز شغلاً نتيجة طاقته الحركية. وتُحسب الطاقة الحركية من المعادلة الآتية:

$$KE = \frac{1}{2} \times ك \times س^2 = \frac{1}{2} m \times \times v^2$$ طـ

إذإن:

KEطـ	الطاقة الحركية	جولJ
m ك	كتلة الجسم	كغمkg

سV	السرعة	m/s مٍثا

2-2-3الطاقةالكامنة(الوضع) Potential Energy

تُعرف الطاقة الكامنة بأنها قدرة الجسم على إنجاز شغل ما اعتماداً على موقع جزيئاته بعضها من بعض، أو على موقعه بالنسبة لأجسام أخرى مثل الكرة الأرضية. عند رفع كمية من الماءمن الخزان السفلي إلى الخزان العلوي، فإننا نبذل لرفعه شغلاً ضد الجاذبية الأرضية، ويخزن هذا الشغل على شكل طاقة كامنة بسبب تغير موقعه من سطح الأرض، يستفاد من هذه الطاقة المخزونة في الماء بالحصول على تدفق جريان الماء بسرع عالية ومنتظمة لكل منافذ التغذية في البناية أي تحولها من طاقة موضع إلى طاقة حركية.

وتُحسب الطاقة الكامنة من المعادلة الآتية:

الطاقة الكامنة (طو) = ك × ج × ع $Z\times PE = m\times g$

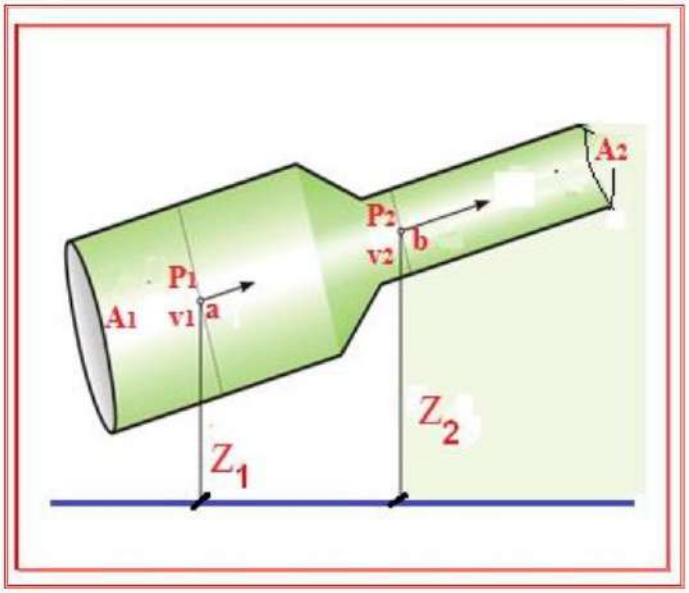
إذ أن:

طوPE	الطاقةالكامنة	جولJ
جg	التعجيل الأرضي	م/ثا^{2}m/s
ع Z	ارتفاع الجسم عن سطح الأرض	مm

3-3معادلة برنولي Bernoulli's Equation

اشتق العالم برنولي معادلته المعروفة باسمه التي استند فيها على أساس أن **ضغط المائع يتغير بتغير سرعته**، وعلى افتراض إن المائع عديم اللزوجة وغير قابل للانضغاط ويجري جرياناً انسيابياً (**مائع مثالي**)، أي أن معادلة برنولي هي حالة خاصة من معادلة الطاقة لجريان الموائع الحقيقية التي سيتم ذكرها في الفصل القادم والتي تتضمن حدود أخرى فضلاً عن حدود معادلة برنولي. الشكل (3-4) يوضح جريان مائع مثالي في داخل أنبوب مساحة مقطعه غير منتظمة ويختلف ارتفاع أجزائه عن مستوى معين، ولنفترض إنّ ضغط المائع عند النقطة (a) يساوي (P_1) ومساحة مقطع الأنبوب في هذه النقطة (A_1) ومقدار سرعته هو (v_1) ويبلغ ارتفاع مركز المقطع عن مستوى أفقي معين (Z_1)، بينما

عند النقطة (b) فإن ضغطه يساوي (P_2) ومساحة مقطع الأنبوب في هذه النقطة (A_2) ومقدار سرعته يساوي (v_2) وارتفاع مركز المقطع عن المستوى الأفقي ذاته (Z_2).



الشكل 3-4 تطبيق معادلة برنولي على جريان المائع

وعليه يمكن كتابة نص معادلة برنولي بالصيغة الآتية:

مجموع طاقة الجريان والطاقة الكامنة والطاقة الحركية لأي جزيئة من مائع ما يجري في مسار معين يظل ثابتاً عند أي مقطع على طول ذلك المسار، إن لم يكن هنالك فقدان أو اكتساب للطاقة من محيط المسار.

لغرض تجانس حدود معادلة برنولي يتم تحوير مقادير الطاقات المذكورة في أعلاه بحيث تصبح طاقات نوعية بالنسبة إلى وزن المائع وتحسب بوحدات الطول (م)، وكالآتي:

- طاقة الضغط

$$\frac{P}{\gamma} = \frac{N/m^2}{N/m^3} = (m)\ \text{متر}$$

- الطاقة الحركية

$$\frac{KE}{w} = \frac{\frac{1}{2}\times m \times v^2}{w} = \frac{\frac{1}{2}\times m \times v^2}{m\times g} = \frac{v^2}{2g} = \frac{(m/s)^2}{2\times m/s^2} = (m)\ \text{متر}$$

- الطاقةالكامنة

$$\frac{PE}{w} = \frac{m\times g \times Z}{m\times g} = Z\ (m)\ \text{متر}$$

إذ أن w تمثل وزن المائع وكذلك g تمثل التعجيل الأرضي، أما بقية الرموز فقد عُرفت سابقاً.

تصبح الصيغة الرياضية لمعادلة برنولي بين مقطعين في مسار جريان مائع ما كالآتي:

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + Z_2$$

مثال 3- 3

يجري سائل كثافته النوعية (1.26) في أنبوب بمعدل (700) لتر\ثا، إذا كان الضغط عند النقطة التي فيها قطر الأنبوب (60) سم يساوي (300) كيلو نيوتن\ م^2، جد الضغط عند النقطة التي يصبح فيها قطر الأنبوب يساوي (30) سم وتنخفض عن مستوى النقطة الأولى بمسافة متر واحد.

الجواب

$700\ \ell / s = 0.7\ m^3/s$

$$Q = A_1 \times v_1 \longrightarrow v_1 = \frac{Q}{A_1} = \frac{0.7}{\frac{\pi}{4} \times 0.6^2} = 2.48\ m/s$$

$$Q = A_2 \times v_2 \longrightarrow v_2 = \frac{Q}{A_2} = \frac{0.7}{\frac{\pi}{4} \times 0.3^2} = 9.92\ m/s$$

وبتطبيق معادلة برنولي بين المقطعين 1 و2

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + Z_2$$

$$\frac{300\ 000}{1.26 \times 9810} + \frac{2.48^2}{2 \times 9.81} + 1 = \frac{P_2}{1.26 \times 9810} + \frac{9.92^2}{2 \times 9.81} + zero$$

$P_2 = 254.5\ kN/m^2$

مثال 3-4

أنبوب بقطر (200) ملم يضيق قطره ليصبح (100) ملم، إذا كان الأنبوب ينقل ماء والضغط عند القطر الأكبر (400) كيلو باسكال وعند القطر الأصغر (250) كيلو باسكال، جِد التصريف المار في الأنبوب.

الجواب

بتطبيق معادلة الاستمرارية:

$$A_1 \times v_1 = A_2 \times v_2$$

$$v_1 = \frac{A_2}{A_1} \times v_2 = \frac{\frac{\pi}{4}D_2^{\,2}}{\frac{\pi}{4}D_1^{\,2}} \times v_2 = \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^2 \times v_2 = \left(\frac{100}{200}\right)^2 \times v_2$$

$$v_1 = \frac{1}{4} v_2$$

بتطبيق معادلة برنولي بين النقطتين (1،2)

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^{\,2}}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^{\,2}}{2g} + Z_2$$

$Z_1 = Z_2$ المنسوب نفسة

$$\frac{400\,000}{9810} + \frac{\frac{1}{4}\times v_2^{\,2}}{2\times 9.81} = \frac{250000}{9810} + \frac{v_2^{\,2}}{2\times 9.81}$$

$$\frac{v_2^{\,2}}{2\times 9.81} = 16.31 \text{ m}$$

$v_2 = \sqrt{2 \times 9.81 \times 16.31} = 17.9$ m/s $\Longrightarrow$ $v_1 = \frac{1}{4} v_2 = \frac{1}{4} \times 17.9 = 4.5$ m/s

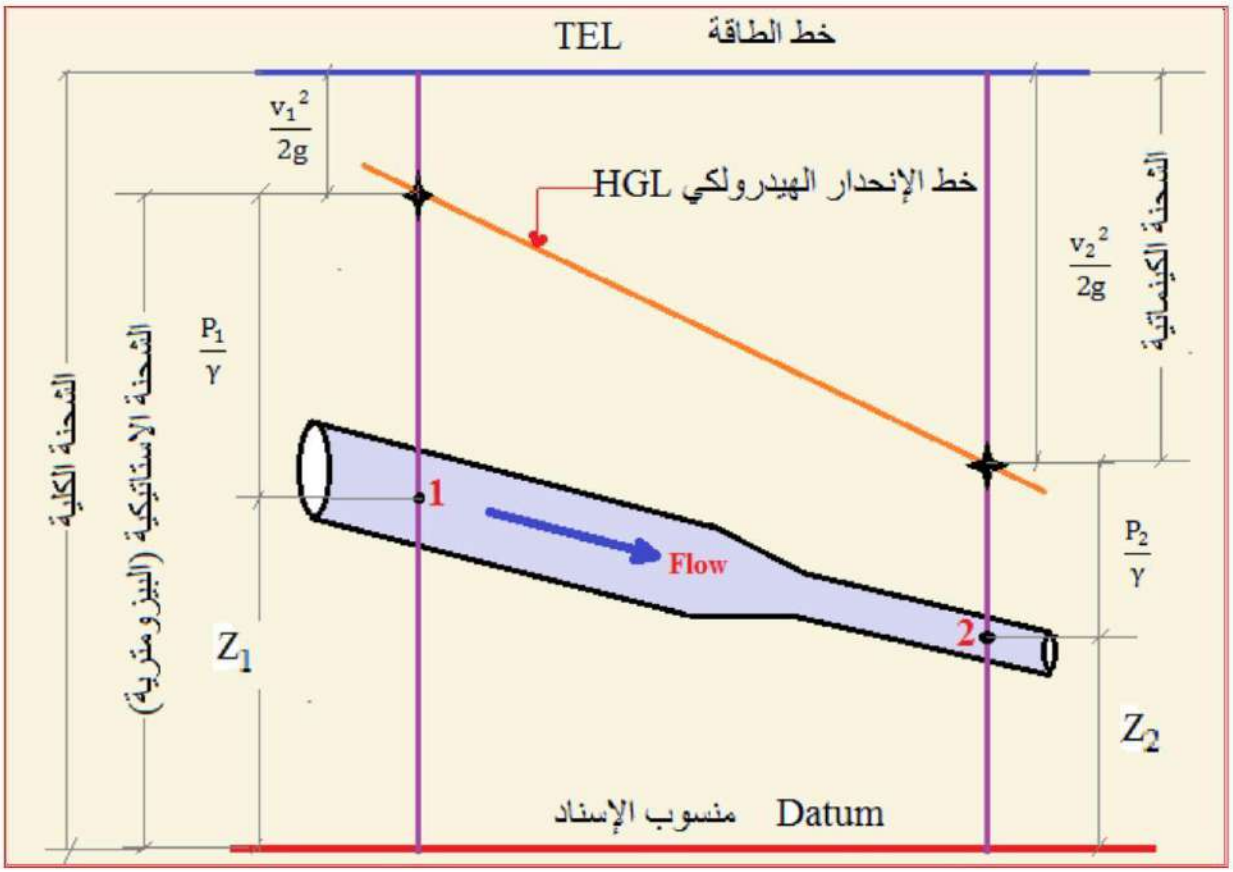
$$Q = A_2 \times v_2 = \frac{\pi}{4} \times 0.1^2 \times 17.9 = 0.14 \text{ m}^3/\text{s}$$

4-3 خط الانحدار الهيدروليكي وخط الطاقة

Hydraulic Grade and Energy Lines

يوضح الشكل (3-5) خط الانحدار الهيدروليكي والذي يرمز له اختصاراً (HGL)، وهو مجموع الحدين $(h + \frac{P}{\gamma})$ ويمثل الشحنة الاستاتيكية وتسمى الشحنة البيزومترية نسبة إلى أحد أنواع مقاييس ضغط الموائع (البيزومتر Piezometer) وهو أنبوب شفاف مدرّج بمقياس معين مثبت على فتحة في سطح أنبوب الجريان ويرتفع فيه السائل بمقدار هذه الشحنة.

أماخط الطاقة الكلي الذي يرمز له اختصاراً (TEL) وهو مساوٍ لمجموع حدود أحد أطراف معادلة برنولي ويمثل بخط أفقي دائماً في حالة عدم وجود أي نوع من أنواع خسائر الجريان (الضائعات)وبقية حدود معادلة الطاقة الأخرى وبمعنى آخر إنه يمثل الشحنة الكلية أي مجموع كل من الشحنتين (الكينماتية والاستاتيكية) $(\frac{P}{\gamma} + \frac{v^2}{2g} + Z)$.



الشكل 3-5 خطّا الطاقة والإنحدار الهيدروليكي

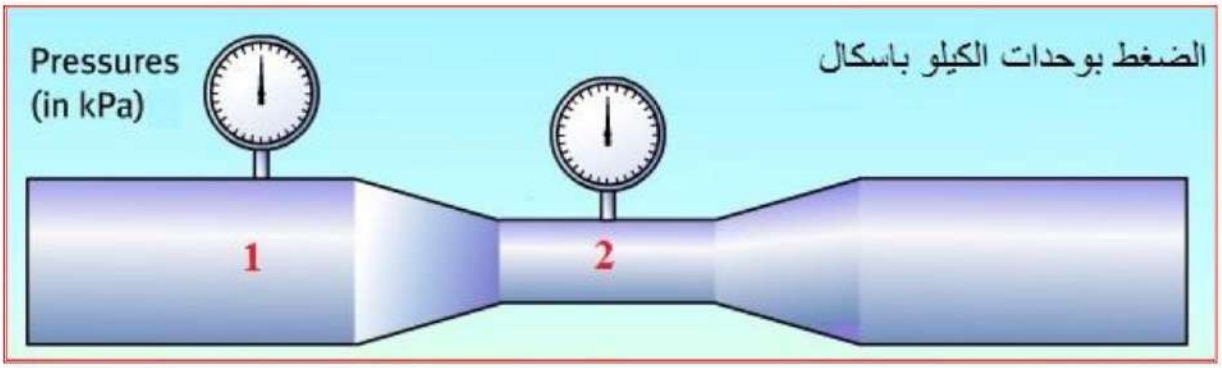
5-3 مُعدات قياس الجريان Flow Measurement Equipment

يستند تشغيل معظم مقاييس الجريان إلى معادلة برنولي، إذ يستخدم تضييق في مجرى المائع لتوليد هبوط في الضغط مصحوب بزيادة في السرعة، ومن المعروف أنّ معدل الجريان دالة لهبوط الضغط، لذا نستطيع تقويمه من معرفة مقدار هبوط الضغط الذي يُقرأ عادة باستعمال المانومتر.

مقياس فنجوري(Venturi Meter)

يعُد أنبوب فنجوري أحد أهم التطبيقات العملية لمعادلة برنولي الذي يمكن بواساطته قياس سرعة مائع معين كثافته (ρ)، ينساب من خلال أنبوب أفقي مساحة مقطعه متغيرة، إذ يقاس فرق الضغط بين النقطتين (2,1) باستعمال المانومتر الزئبقي، لاحظ الشكل (3-6) ويمكن قياس سرعة المائع بمعرفة مقدار فرق الضغط بين النقطتين (2،1) والذي يمثله مقدار فرق الارتفاع (Z) وعندها نطبق المعادلة الآتية:

$$P_1 - P_2 = \rho \times g \times Z$$



الشكل 3-6 مقياس فنجوري

مثال 3-5

إذا كان فرق الارتفاع في فرعي المانومتر الزئبقي يساوي (2.5) سم، احسب فرق الضغط بين مقطعي مقياس فنجوري، مع العلم بأن كثافة الزئبق تساوي (13600) كغم/ م^3.

الجواب

$$P_1 - P_2 = \rho \times g \times Z$$

$$= (13600\ kg/m^3) \times (9.8\ N/kg) \times (0.025\ m)$$

$$P_1 - P_2 = 3332\ N/m^2 = 3.33\ kPa$$

أنبوب بيتوت (Pitot Tube)

يتكون أنبوب بيتوت من أنبوبة مصنوعة من الفولاذ المقاوم للصدأ (Stainless Steel) تشكل نهايتها زاوية قائمة، يتراوح قطرها من (2-4)ملم وفي بعض التطبيقات يكون قطرها أكبر من (5)ملم، وكما مبين في الشكل (3-7)، وتتكون أنبوبة بيتوت من أنبوبين متداخلين، الأنبوب الداخلي يحتوي على ثقب واحد في بدايته، يقوم بقياس الشحنة الكلية (الشحنتين الاستاتيكية والكينماتية)، أما الأنبوب الآخر المحيط بالأنبوب الداخلي فيحتوي على أربعة ثقوب موزعة بمسافات متساوية على محيط الأنبوب، يستفاد منها لقياس الشحنة الاستاتيكية في داخل مجرى المائع. والفرق بين الشحنتين الكلية والاستاتيكية هو الشحنة الكينماتية (شحنة سرعة المائع).

الشكل 3-7أنبوبة بيتوت

قوة رفع الطائرة

من أحد أهم التطبيقات العملية في موضوع تحويل الشحنة الكينماتية (شحنة سرعة المائع) إلى شحنة ضغط هو قوة رفع الطائرة، إذ أنّ لجناح الطائرة شكلاً انسيابياً يؤدي عند تحركها إلى الأمام إلى جريان تيار الهواء بنمطين مختلفين على سطحي جناح الطائرة، مما يجعل سرعته على السطح العلوي أعلى من سرعته على السطح السفلي. ولذلك يكون الضغط على السطح الأسفل أكبر من الضغط على السطح الأعلى فيؤدي ذلك إلى تولد فرق في الضغط بين سطحي جناح الطائرة ونشوء قوة في الاتجاه العمودي (**قوة الرفع**) تساعد على رفع الطائرة.

أسئلة الفصل الثالث

س1) عددأنواع الطاقة لمائع متحرك وإذكر رمز كل منهم.

س2) ماذا يقصد بشحنة الطاقة في نقطة معينة في مائع.؟

س3) اكتب معادلة برنولي وإذكر محددات استخدامها.

س4) قارن بين الطاقة وشحنة الطاقة.

س5) قارن بين الشحنة الإستاتيكية والشحنة الكينماتية.

س6) كيف يتم التمييز بين خط الانحدار الهيدروليكي وخط الطاقة.؟

س7) يجري مائع في أنبوبة أفقية كالتي مبينة في الشكل (3-4) ذات مقطعين نصف قطر المقطع الصغير (3.5) سم وبسرعة (4) م/ثا، ونصف قطر مقطعه الكبير (7) سم. احسب مقدار سرعة جريان المائع في الأنبوب الكبير.

ج/ (1 m/s)

س8) أنبوب طوله (400) م قطره في النهاية العليا (1.2) م وفي النهاية السفلى (0.6) م، إن ميل الأنبوب هو متر واحد لكل مئة متر، ينقل الأنبوب الماء بمعدل تدفق (1.25) $م^3$/ثا، إذا كان الضغط في النهاية العليا (75) كيلو باسكال، جِد الضغط في النهاية السفلى، إهمل الخسائر.

ج/ (105.1 kPa)

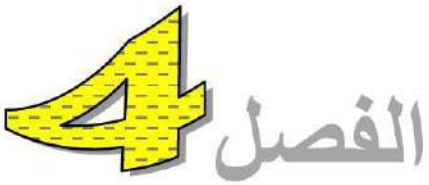
س9) أنبوب شاقولي طوله (150) م يتغير قطره من (150) ملم في أعلى الأنبوب إلى (75) ملم في أسفله، إذا كان معدل التدفق يساوي (25) لتر/ثا، جِد الفرق بالضغط بين أعلى وأسفل الأنبوب.

ج/ (0.3 kPa)

الفصل الرابع

الجريان وفواقد الطاقة

Flow& Energy Losses



محتويات

تعلم الموضوعات

- ❖ الجريان وأنواعه.
- ❖ معادلة الجريان.
- ❖ خواص أنواع الجريان المنتظم.
- ❖ حساب الضائعات الرئيسية والثانوية.
- ❖ ربط الأنابيب على التوالي والتوازي.

الجريان وفواقد الطاقة

1-4 مقدمة Introduction

يختص جزء مهم من ميكانيك الموائع بدراسة حالة جريان الموائع، المتمثلة في حركة الرياح، جريان الماء في الأنابيب، الدم في الأوعية والشرايين ولموائع في الأنابيب والمعدات الصناعية كافة ويُعد الجريان في الأنابيب جانباً أساسياً في دراسة المعامل وتصميمها ومحطات تصفية المياه ومعالجتها إذ يوجد في كل محطة شبكة من الأنابيب تنتقل فيها المياه بين المحطات الثانوية والرئيسية.

تمتاز الموائع بقدرتها على الجريان عندما تؤثر فيها القوى حتى وإن كانت صغيرة. تعتمد تحليلات الجريان على نوع المائع، ولكل حالة هنالك دراسة متخصصة تهدف إلى إيجاد علاقات رياضية يمكن من خلالها تحديد نوع الجريانوتخمين هبوط الضغط في القنوات والأنابيب وبالتالي امكانية حساب مساحة مقطع القنوات أو اقطار الأنابيب اللازمة لنقل مائع معين بمعدل جريان معين بحسب التصميم المطلوب.

2-4أنواع الجريان Flow Types

يندفع أي مائع في أنبوب معين أو قناة بتأثير الضغط، ثم يتخذ نمطاً معيناً نتيجة تأثير إجهادات القص وقوة الاستمرارية، يُعرف المائع الحقيقي بأنه المائع الذي لا يمكن اهمال لزوجته عند حسابات الجريان (مساحة المقاطع، معدل تدفق المائع، وغيرها). وعند جريان المائع الحقيقي فإن لزوجته تسبب احتكاكاً بين طبقات المائع من جهة وبين المائع والسطح الذي يجري فيه المائع من جهة أخرى. لتأمين استمرارية الجريان لا بد من توفير طاقة مناسبة لحدوث الجريان والسيطرة على نوع الجريان.علماً نأنَ جزء من الطاقة المجهزة سوف تتحول إلى طاقة حرارية (خسائر) قد تسبب زيادة قليلة في درجة حرارة المائع، وباقي الطاقة سوف يستهلك في أثناء الجريان بسبب الخسائر الرئيسة والثانوية والتي سيتم التطرق إليها في هذا الفصل.

ولوصف جريان مائع ما عند لحظة معينة من الزمن يجب معرفة كثافته وضغطه وسرعة جريانه.

وعليه يمكن تصنيف حالات الجريان كالآتي:

1. **الجريان المنتظم (Uniform Flow)** يُعد الجريان منتظماً عندما تكون سرعته ثابتة المقدار والاتجاه في جميع نقاط المائع في تلك اللحظة.
2. **الجريان غير المنتظم (Non-Uniform Flow)** يُعد الجريان غير منتظمٍ إذا تغيرت سرعته من نقطة إلى أخرى أو اتجاهه أو الاثنان معاً.

3. **الجريان المستقر (Steady Flow)** تطلق هذه التسمية إذا كان الجريان ثابت المقدار مع الزمن.

4. **الجريان غير المستقر (Un-Steady Flow)** وهو الجريان متغير المقدار مع الزمن.

أن الفرق بين حالتي الجريان الأولى والثانية (المنتظم وغير المنتظم) والحالتين الثالثة والرابعة (المستقر وغير المستقر) هو اعتماد الحالتين الأوليتين على الموقع (المكان) ولا علاقة لهم في الزمن كما في الحالتين الثالثة والرابعة.

ومثال توضيحي على حالتي الجريان المستقر وغير المستقر، عند فتح حنفية الماء الموضحة في الشكل (4-1) ادناه فإن جريان الماء من الحنفية يعدّ جرياناً غير مستقر طالما هنالك استمرارية في فتح صمام الحنفية لزيادة كمية تدفق الماء ويصبح الجريان مستقراً عند التوقف عن فتح أو غلق الصمام (تثبيت فتحة صمام الحنفية).

الشكل 4-1 حنفية ماء (إحدى حالات الجريان)

من الأولى بالملاحظة أنه من الممكن أن تجمع حالة الجريان بين أكثر من حالة من الحالات التي تم ذكرها، فقد يكون الجريان مثلاً منتظماً ومستقراً (Steady State Uniform Flow) كجريان الماء في أنبوب طويل دون تغير في مقطعه وبمعدل تدفق ثابت، أو جرياناً غير منتظم ومستقر (Steady State Non-Uniform Flow) كجريان الماء في انبوب ذي مساحة مقطع متغيرة وبمعدل تدفق ثابت، أو جريان منتظم وغير مستقر مثل جريان الماء في انبوب طويل وثابت المقطع مع تغير في معدل تدفقه (Un-Steady State Uniform Flow)، أو جريان غير منتظم وغير مستقر(Un-Steady State Non-Uniform Flow) مثل جريان الماء في أنبوب متغير المقطع وبمعدل تدفق متغير أيضاً.

ويقسم الجريان بصورة رئيسة إلى:

1. **الجريان الطباقي (Laminar Flow)** عندما يكون الجريان انسيابياً وهادئاً.
2. **الجريان الإضطرابي (Turbulent Flow)** عندما يكون الجريان مضطرباً (غير هادئ) لحد يثير الدّوامات.

3-4الجريان الطباقي Laminar Flow

يتحرك المائع في هذا النوع من الجريان بإذ تنزلق جسيماته بعضها فوق بعض من غير تداخل في مساراتها، فكأنها تتحرك بطبقات أو شرائح بعضها بإزاء بعض، ومن هنا جاءت تسمية هذا النوع، كما هو موضح في الشكل (4-2). وفي هذا النوع من الجريان تكون قوى اللزوجة أعلى نسبياً من قوى القصور الذاتي إذ يكون الفرق في القوى كبيراً ويمكن إهمال قوى القصور الذاتي لصغر قيمتها، وفيه لا يحدث امتزاج إلا على نطاق الجزئيات وهو امتزاج صغير جداً خلافاً لما يحدث في الجريان الإضطرابي إذ يصبح الامتزاج شديداً مكوناً الدوامات (Eddies). إن اللزوجة من خواص المائع أما نوع الجريان (طباقي أو اضطرابي) فذلك من خصائص الجريان وليس المائع، إذ يمكن مشاهدة جريان لمائع ما بنمط طباقي في وقت معين ويكون مضطرباً في وقت آخر للمائع نفسه.

ومن تطبيقات هذا النوع من الجريان حركة الدم في الأوعية الدموية وحركة المياه الجوفية بين دقائق التربة وحركة زيوت التشحيم (اللزجة) في المسارات الضيقة بين أجزاء المكائن وغيرها من التطبيقات العديدة.

الشكل 4-2 نمط لجريان طباقي

4-4الجريان الإضطرابي Turbulent Flow

وهو من أكثر أنواع جريان الموائع شيوعاً في التطبيقات الهندسية العملية، ففيه يحدث امتزاج شديد لجزيئات المائع بإن تحدث الدوامات(Eddies) التي تضم كل منها آلاف أو ملايين الجزيئات ولا تتبع نظاماً ثابتاً بل تتغير احجامها وسرعة دورانها وانتقالها بصورة عشوائية مستمرة، فهي تتكون وتنمو وتتحرك في الاتجاه العام للمجرى وعبر مقطعه وتفنى وتحل محلها دوامات أخرى، في عملية مستمرة معقدة بإن لا يمكن تقدير كل ذلك إلا بطرق إحصائية تقريبية. وفي هذا النوع من الجريان يزداد معدل تبديد (استهلاك) الطاقة كثيراً وبنسبة أعلى بكثير من الجريان الطباقي، ولا يخفى إن سبب زيادة خسائر الاحتكاك لحركة مائع معين يُعزى للتغير الكبير الحاصل في سُرع المائع (انحدار كبير في سرعة المائع) بمقطع معين بين مركز الأنبوب وجداره في الجريان الداخلي وسرعة المائع في قعر القناة وسطح المائع الخارجي في الجريان الخارجي، فضلاً عن تأثير قوى القصور الذاتي العالية نسبياً على قوى اللزوجة، وبسبب تولد لزوجة إضافية (تسمى اللزوجة الدوامية Eddy Viscosity) مسببة إجهاد قص إضافي ناتجة عن تكون الدوامات.

ومن أهم وأوسع المشاهدات لهذا النوع من الجريان حركة الدخان الخارج من المداخن وحركة الغيوم والرياح وحركة المياه في القنوات والأنهار والبحار والمحيطات وغيرها، لاحظ الشكل (4-3).

الشكل 4-3 جريان مضطرب

تذكر

تعتمد طبيعة الجريان في الأنابيب على:

- سرعة المائع.
- خواص المائع الفيزيائية.
- قطر الأنبوب في الجريان الداخلي.
- نوع الأنبوب أو نوع السطح الصلب في الجريان الخارجي.

5-4رقم رينولدز Reynolds Number

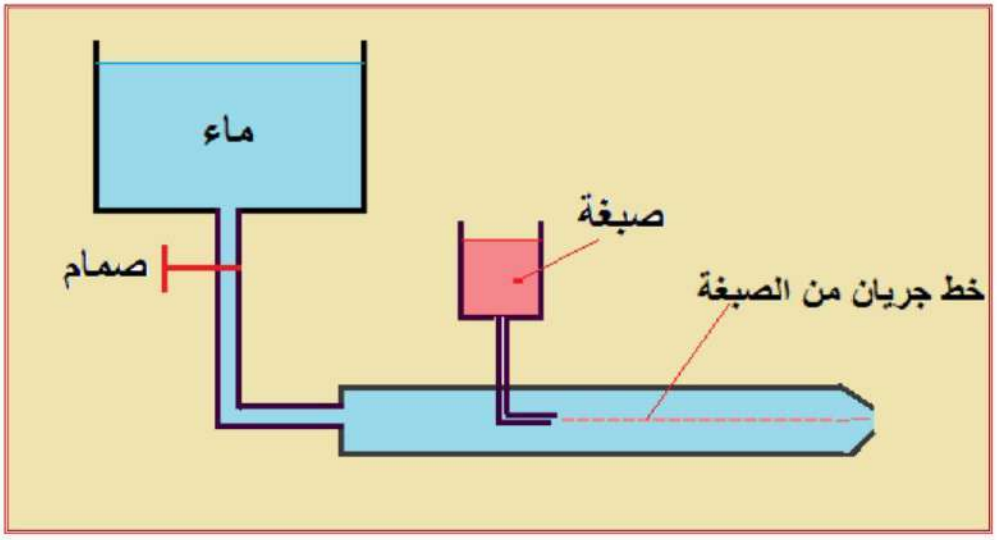
من الممكن مشاهدة حالتي الجريان الطباقي والمضطرب بإجراء التجربة التي قام بها العالم رينولدزوالمبينة في الشكل (4-4)، إذ يجهز الماء من خزان كبير إلى الأنبوب الزجاجي الذي يمكن التحكم بجريان الماء فيه بوساطة صمام مثبت في نهايته ويضاف إليه قليل من سائل ملون. فإذا كان الجريان بطيئاً سيلاحظ بقاء الصبغة على شكل خيط رفيع دون امتزاجها بالماء مما يدل على كون الجريان انسيابياً (طباقياً)، أما في حالة زيادة سرعة الجريان إلى حدٍ معين عن طريق التحكم بفتحة الصمام فسيتشتت الخيط الملون ويمتزج بالماء مشيراً إلى حدوث اضطراب في الجريان.

وتسمى السرعة التي يتغير عندها الجريان من جرياناً طباقياً إلى جرياناً اضطرابياً بالسرعة الحرجة (Critical Velocity). وقد تبين من خلال الدراسات والبحوث إن التحول في نمط الجريان يعتمد على مجموعة غير بعدية (بدون وحدات) تسمى رقم رينولدز (Reynolds Number)، يرمز له (**Re**)، وهو عبارة عن النسبة بين قوى القصور الذاتي إلقوى اللزوجة، أي أنها تجمع بين خواص المائع والسرعة وقطر الأنبوب وبالصيغة االآتية:

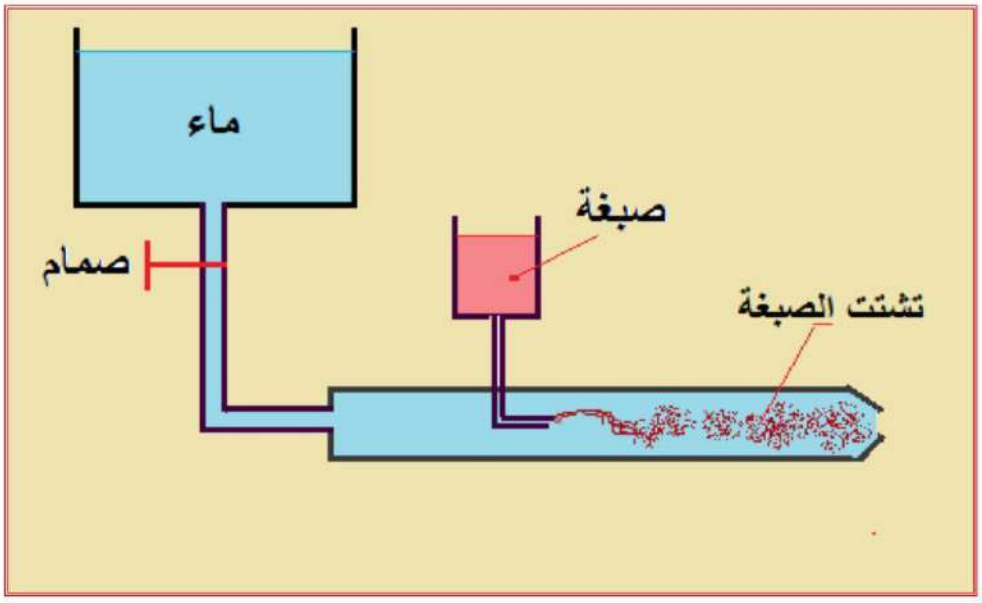
$$\mathbf{Re} = \frac{\rho \times D \times V}{\mu}$$

ويعدّ عدد رينولدز مقياس لتمييزطبيعة الجريان مثل الجريان الطباقي في أنبوب أو في الطبقة المتاخمة (الملامسة) في السطح الصلب أو حول الأجسام المغمورة، فإذا كانت قيمة عدد رينولدز أقل من (2000) يكون الجريان طباقياً وقيمته ما بين (2000-4000) يكون فيها الجريان في حالة تحول وإذا زادت القيمة عن (4000) يصبح الجريان اضطرابي وهذه المقادير تنطبق على الجريان الداخلي.

إن ميكانيكية الجريان في القنوات المفتوحة أكثر تعقيداً منها في القنوات المغلقة نتيجة لوجود السطح الحر، إذ ينطبق خط انحدار الطاقة على السطح الحر، ويمكن استعمال نفس قيم رقم رينولدز المستعملة في الجريان الداخلي لتمييز طبيعة الجريان في القنوات المفتوحة، إذ يتم استبدال القطر (D) بالمقدار (4R) إذ يمثل (R) نصف القطر الهيدروليكي والذي يعرف على أنه ناتج قسمة مساحة المقطع على المحيط المبلل للقناة، وسوف يتم شرح هذا الموضوع بصورة وافية في الفصل اللاحق.



أ



ب

الشكل 4-4 تجربة رينولدز (أ ـ جريان طباقي، ب ـ جريان اضطرابي)

مثال (4-1)

يجري الماء في أنبوب أملس قطره 10 سم بسرعة 0.1 م\ثا إذا علمت أن كثافة الماء ولزوجته تساوي 1000 كغم\ م^3 ، 0.001 باسكال ثانية. بيّن طبيعة الجريان في الأنبوب (طباقي أم مضطرب).

الجواب

$$\mathrm{Re} = \frac{\boldsymbol{\rho} \times \boldsymbol{D} \times \boldsymbol{V}}{\mu}$$

$$\mathrm{Re} = \frac{\mathbf{1000} \times \mathbf{0.1} \times \mathbf{0.1}}{\mathbf{0.001}}$$

$$\mathrm{Re} = 10\ 000$$

بما أن قيمة عدد رينولدز تساوي عشرة آلاف وهي أعلى من المقدار 4000 التي يعدّ الجريان عندها اضطرابي.

إذاً الجريان في هذا الأنبوب جرياناً اضطرابياً.

مثال (4- 2)

جد مقدار السرعة الحرجة ليبقى جريان الماء في أنبوب قطره 0.2 م جرياناً طباقياً.

الجواب

بما أن المطلوب هو السرعة الحرجة ليبقى الجريان طباقياً، إذن نعتمد قيمة عدد رينولدز تساوي 2000، وهذه القيمة تمثل أعلى مقدار للجريان الطباقي في الحالات الاعتيادية.

$$\mathrm{Re} = \frac{\boldsymbol{\rho} \times \boldsymbol{D} \times \boldsymbol{V}}{\mu}$$

$$2000 = \frac{\mathbf{1000} \times \mathbf{0.2} \times \mathbf{v}}{\mathbf{0.001}}$$

$$v = 0.01\ \mathrm{m/\ sec}$$

6-4 معادلة الطاقة Energy Equation

سبق وأن تم عرض معادلة برنولي في الفصل السابق والتي تمثل معادلة الطاقة لجريان الموائع المثالية بدون حساب الخسائر الناتجة عن احتكاك المائع الجاري في سطح الأنبوب الداخلي وغيرها من الخسائر، ولكن في الحقيقة عند حساب القدرة المطلوبة وتصميم مقاطع الأنابيب لا يمكن اهمال حد الخسائر من معادلة الطاقة الخاصة بجريان الموائع وخصوصاً عند المسافات الطويلة إذ يمكن أن تكون خسائر الاحتكاك (الطاقة المفقودة) أهم وأكبر حدود المعادلة، فضلاً عن الحاجة إلى توخي الدقة في التصميم.

إن مقادير الخسائر في جريان الموائع الحقيقية (Real Fluids) متعددة ومتنوعة مثل وجود صمامات واقفال وانحناءات أو تغير مفاجئ في مساحة مقطع الأنبوب ناهيك عن خشونة السطح الداخلي للأنابيب.

وبسبب وجودفواقد الطاقة التي تم ذكرها فلابد من وضع محطات إعادة ضخ المائع وبمواقع معينة محسوبة مسبقاً لتعويض فقدان الطاقة بسبب خسائر الاحتكاك والخسائر الأخرى.

لا تختلف معادلة الطاقة عن معادلة برنولي كما تم ذكره سوى بإضافة حد الخسائر الذي عادة ما يرمز له بالرمز (h_f) وهي كالتالي:

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 + h_f$$

7-4الضائعات الرئيسة والثانوية Major and Minor Losses

يندفع المائع في الأنبوب بسبب الضغط المسلط عليه، ولو تم وضع عدد من أجهزة قياس الضغط (مانومتر) على امتداد خط جريان المائع في الأنبوب سنجده يتناقص عند الابتعاد عن مصدر الضغط ويعود سبب التناقص هذا إلى أسباب عديدة ومتنوعة منها الضائعات الرئيسة والثانوية.

1-7-4الضائعات الرئيسة Major Losses

تتمثل الضائعات الرئيسة في الجريان الداخلي باحتكاك المائع بالسطح الداخلي لأنبوب الجريان، ويعتمد مقدار هذه الضائعات على مادة الأنبوب وطريقة تصنيعه اللتان تعتبران معياراً لمدى خشونة سطح الأنبوب الداخلي، ومن البديهي أنه كلما زادت الخشونة زادت خسائر الاحتكاك، وهنالك جداول ورسومات بيانية لغرض حساب معامل الاحتكاك (f)، وفي هذه المرحلة سيتم إعطائها جاهزة للطالب

وسيتم شرحها مفصلاً في المراحل اللاحقة إن شاء الله، ويوضح الجدول (4-1) قيم الخشونة لبعض المواد الانشائية، ومنه نستنتج بأن معامل الاحتكاك يصبح دالة لخشونة السطح (∈).

الجدول 4-1 قيم الخشونة (∈) لبعض المواد الانشائية (mm)

Drawn Tubing	**الأنابيب المسحوبة**	**0.0015**
Steel Pipes	الأنابيب المصنوعة من الصلب	**0.046**
Galvanized Iron	الحديد المغلون	**0.152**
Cast Iron	حديد الأهين	**0.12**
Wood Stave	الخشب	**0.18-0.91**
Concrete	الخرسانة	**0.3-3.0**

ولحساب مقدار هبوط الضغط بسبب الخسائر الرئيسة (h_f) سيتم الاعتماد على معامل الاحتكاك (f) وسرعة جريان المائع وقطر الأنبوب، أجرى العالمان دارسي وفايزباخ دراسات معمقة لمقاومة الأنابيب وكانت محصلة بحوثهما المعادلة االآتية التي سميت بإسميهما:

$$h_f = f \times \frac{L}{D} \times \frac{V^2}{2g}$$

ومن الجدير بالذكر إن وحدة قياس الخسائر الرئيسة (h_f) هي متر إذ أنها منسجمة مع باقي وحدات حدود معادلة الجريان لأن معامل الاحتكاك (f) مجرد من الوحدات. أن بقية حدود المعادلة (L, D, v, g) يسهل معرفتها أو حسابها ولكن الصعوبة هي إيجاد معامل الاحتكاك، هنالك العديد من محاولات العلماء والباحثين لإيجاد مقدار هذا المعامل توصلت إلى بعض المعادلات والجداول والرسوم البيانية لغرض الاستفادة منها في حساب الخسائر وحسب نمط الجريان منها:

- عند حساب معامل الاحتكاك لأنبوب أملس مع عدم تجاوز عدد رينولدز مئة ألف فإن قيمة معامل الاحتكاك (f)

$$f = \frac{0.316}{Re^{0.25}}$$

- في حالة الأنبوب ذو سطح خشن يمكن الاعتماد على رسم مودي البياني (Moody Chart) وهو عبارة عن رسم بياني لوغاريتمي فيه مجموعة من المنحنيات تمثل درجة خشونة سطح الانبوب وبالاعتماد على عدد رينولدز يمكن إيجاد قيمة معامل الاحتكاك.

لاحظ المخطط (4-1) في نهاية الفصل.

- في حالة كون الجريان طباقياً هنالك معادلة لحساب معامل الاحتكاك يمكن استعمالها دون نسبة خطأ كبيرة وضمن مديات معقولة من سرع جريان الموائع ، وهذه المعادلة هي:

$$f = \frac{64}{Re}$$

- وفي حالة عدم امكانية حساب معامل الاحتكاك من الحالات المذكورة أعلاه يلجأ الباحثون إلى التجارب العملية لغرض استنتاج هذا المعامل.

مثال (4-3)

بالاستعانة بمعلومات مثال (4-2)، احسب مقدار الهبوط بالطاقة (h_f) بوحدة المتر إذا كان الجريان طباقياً وطول الأنبوب يساوي (10) كم.

الجواب

بما أن الجريان طباقياً، إذن نعتمد قيمة عدد رينولدز تساوي 2000

$$f = \frac{64}{Re}$$

$$f = \frac{64}{2000} = 0.032$$

$$h_f = f \times \frac{L}{D} \times \frac{V^2}{2g} =$$

$$h_f = 0.032 \times \frac{10\,000}{0.2} \times \frac{0.01^2}{2 \times 9.81}$$

$$h_f = 8.16 \times 10^{-3} = 0.0081 \text{ m}$$

لاحظ

في المثال أعلاه ولكون الجريان طباقي وسرعة الجريان واطئة نلاحظ أن مقدار خسائر الطاقة واطئة جداً وهي تعتبر صغيرة جداً، لذا تهمل هذه الخسائر في مثل هذه الحالات دون استهلاك جهد غير مبرر في حسابها.

مثال (4-4)

إحسب خسائر الاحتكاك لكل واحد كيلو متر من أنبوب قطره 20 سم مصنوع من الآهين Cast Iron يستعمل بنقل الماء، إذا علمت معدل التدفق (0.05 م^3/ ثا).

الجواب

إيجاد عدد رينولدز

$$\mathrm{Re} = \frac{\rho \times D \times V}{\mu}$$

إيجاد سرعة الماء

$$V = \frac{Q}{A} \qquad = \frac{0.05}{(\pi \frac{0.2^2}{4})} = 1.6 \text{ m/s}$$

من مثال واحد اللزوجة تساوي 0.001 Pa .s

$$\mathrm{Re} = \frac{1000 \times 0.2 \times 1.6}{0.001} \approx 3.2 \times 10^5$$

إيجاد الخشونة (∈)من الجدول (4-1) لأنابيب الآهين0.12

لغرض الاستفادة من الرسم البياني للخسائر الرئيسة (مخطط 4-1) يتطلب إيجاد قيمة$\frac{\epsilon}{D}$

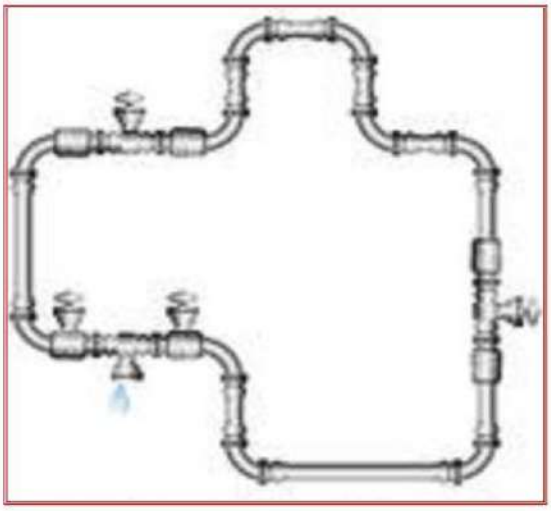
$$\frac{\epsilon}{D} = \frac{0.12}{200} = 0.0006$$

من المخطط (4-1) من تقاطع خطي $\frac{\epsilon}{D}$ مع عدد رينولدز نجد قيمة معامل الخسائر (f) وتساوي 0.019

$$h_f = f \times \frac{L}{D} \times \frac{V^2}{2g} = 0.019 \times \frac{1000}{0.2} \times \frac{1.6^2}{2 \times 9.81} = 12.2 \text{ m}$$

2-7-4الضائعات الثانوية Minor Losses

إن هذا النوع من الضائعات يحدث في خط الأنابيب نتيجة وجود الحنيات والوصلات والصمامات وغيرها، إن تسمية هذه الضائعات بالثانوية في الحقيقة هي تسمية خاطئة كونها في بعض الحالات تكون أكثر أهمية من الضائعات الرئيسة التي ذكرت في الفقرة السابقة، ولكنها تسمية تقليدية متعارف عليها، لاحظ الشكل (4-5)



الشكل 4-5 زيادة الضائعات الثانوية

في أكثر هذه الحالات تحدد قيمة هذه الضائعات عن طريق تجارب عملية، ولكن يمكن تحديد بعض منها عن طريق بعض المعادلات البسيطة وكما مبين أدناه:

1. التوسيعة المفاجئة في الأنبوب (Sudden Expansion)

إذا توسع مقطع الأنبوب تدريجياً فإن الخسائر للمائع الجاري ستزداد قليلاً عما لو كان المائع يجري في أنبوب ثابت المقطع، وفي كثير من الأحيان يمكن إهمال هذه الزيادة. أما إذا حدث توسع مفاجئ في الأنبوب فإن مقدار الطاقة الضائعة ستزداد زيادة ملموسة نتيجة نشوء الدوامات في التوسيعة. ويمكن حساب الضائعات في هذه الحالة عن طريق المعادلة الآتية:

$$h_e = K \times \frac{V^2}{2g}$$

$$K = [1 - (\frac{D1}{D2})^2]^2$$

إذ أن:

D_1،D_2هما قطر الأنبوب الأصلي وقطر الأنبوب بعد التوسيعية المفاجئة.

علماً أن هنالك رسوم بيانية يمكن من خلالها حساب قيمة (K) بسهولة لهذه الحالة.

2. التضييقة المفاجئة في مقطع الأنبوب

في هذه الحالة تكون خسائر الاحتكاك قليلة لعدم نشوء الدوامات بقدر ما يحدث في التوسيعة المفاجئة، بالإمكان الاستعانة بمعادلات خاصة لهذه الحالة واستخراج قيمة المعامل (K) مشابه لحالة التوسيعة المفاجئة.

3. ملحقات الأنابيب والصمامات

يوجد عدد كبير من ملحقات الأنابيب تستعمل لربط الأنابيب بعضها مع بعض في المصانع وشبكات المياه وغيرها، وتضم عادة شبكة أنابيب محطات تصفية ومعالجة المياه والمعامل والمصانع وغيرها تفرعات وتغيرات في الحجم عديدة مما يستوجب وضع الملحقات المتنوعة باحجام قياسية تلائم حجوم الأنابيب المختلفة، لاحظ الشكل (4-6)، وأحياناً يتم استعمال الصمامات والأقفال بأنواعها (الكروي، البوابي، والصمام غير المرجع) للتحكم بمعدل الجريان، لاحظ الشكل (4-7) .

إن وجود الصمام أو القفل أو ملحقات الأنابيب يعرقل جريان المائع في الأنبوب ويسبب خسائر إضافية، ففي أنبوب قصير محني بزاوية قائمة مثلاً قد تزيد الخسائر في الحنية أكثرمما هي عليه في الأنبوب المستقيم. ولحساب قيمة (K) في هذه الحالة، يوضح الجدول (4-2) قيمة معامل الضائعات الثانوية لملحقات الأنابيب والمستنتج من التجارب العملية، ومن ثم حساب الضائعات الثانوية فيها.

الجدول 4-2 معامل الضائعات الثانوية لملحقات أنابيب مختلفة (K)

K	الملحقات (Fittings)	
10	Globe Valve	صمام الكرة (مفتوح تماماً)
5	Angle Valve	صمام زاوية (مفتوح تماماً)
2.5	Swing Check Valve	صمام السيطرة الدوار (مفتوح تماماً)
0.19	Gate Valve	صمام بوابة (مفتوح تماماً)
2.2	Close Returned Valve	صمام القفل بالترجيع
1.8	Standard Tee	تقسيم قياسي على شكل حرف (T)
0.9	Standard Elbow	مرفق قياسي
0.75	Medium Sweep Elbow	مرفق متوسط ساحب
0.6	Long Sweep Elbow	مرفق طويل ساحب

الشكل 4-6 بعض أنواع الملحقات المستعملة لربط الأنابيب

الشكل 4-7 بعض أنواع الأقفال

علماً أن هنالك خسائر في مدخل ومخرج الأنبوب تكون عادةً قليلة وغالباً ما تهمل.

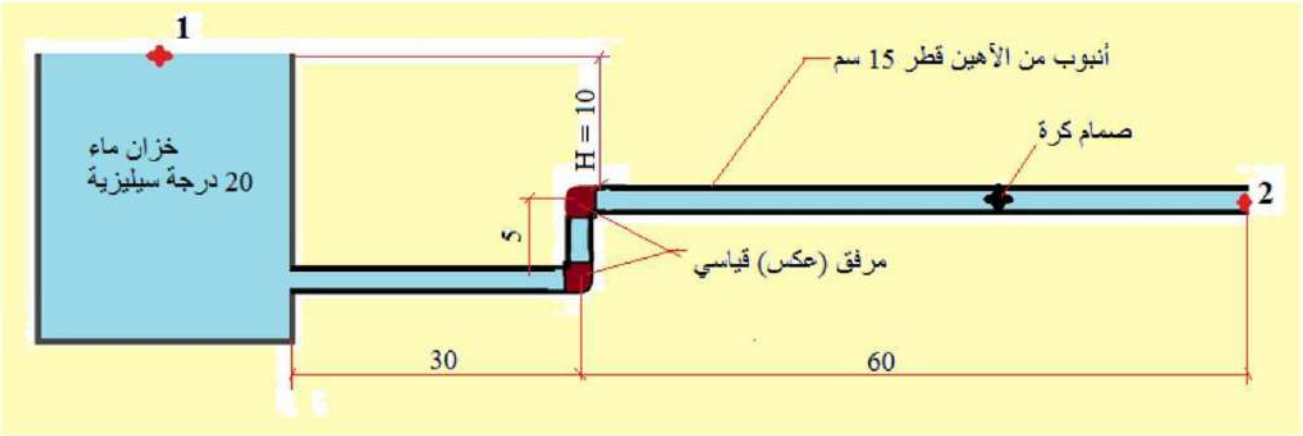
الشكل (4-8) يمثل الأنواع الشائعة الاستعمال من ملحقات أنابيب الفولاذ المغلون التي تستعمل فيربطالأنابيبمع جدول بمسمياتها الدارجة، ذكرت هذه الملحقات في هذا الجزء من الفصل لغرض اطلاع وإفادة الطالب في اختصاص شبكات ومحطات معالجة المياه فقط.

رقم	اسم الوصلة	الاسم الدارج	رقم	اسم الوصلة	الاسم الدارج
1	تقسيم رباعي	تقسيم رباعي	7	وصلة تجميع	يونين
2	وصلة ربط سن داخلي	بوشة	8	وصلة تصغير سن داخلي	بوشة تصغير
3	صمام غلق سن خارجي	بلك	9	زاوية 90 درجة	عكس 90قائم
4	صمام غلق سن داخلي	بلك	10	تقسيم حرف T	تقسيم
5	زاوية 45	عكس 45	11	زاوية قائمة سن داخلي	سبيل
6	وصلة تصغير سن	بوشة	12	وصلة ربط سن خارجي	مقاوج

الشكل (4-8) أنواع وصلات الربط في الأنابيب الحديدية مع جدول بالمسميات

مثال (4-5)

إحسب مقدار التصريف بوحدة قياس (لتر\ثا) خلال خط الأنابيب الموضح بالشكل (4-9) أدناه.



الشكل 4-9 خط أنابيب مثال (4-5)

الجواب

في مثل هذه المسائل يتم استعمال معادلة الطاقة بجميع حدودها ومن ضمنها جميع الضائعات ويتم تعيين نقطتين بإذ تشمل الشبكة بالكامل.

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 + h_f$$

بما أن النقطتين (1) و (2) معرضتان إلى الجو مباشرة فيكون الضغط في نقطة (1) ونقطة (2) متساوي لكونه معرض للضغط الجوي، عليه تصبح المعادلة كالتالي:

$$\frac{V_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 + h_f$$

بما أن النقطة (1) تقع على سطح خزان ماء كبير يعدّ المائع (الماء) ساكناً فيها أي أن $v_1 = 0$ فتصبح المعادلة كالآتي:

$$Z_1 = \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 + h_f$$

تعتبر النقطة (2) مستوى الاسناد أي أن $Z_2 = 0$ ، فتصبح المعادلة كالتالي:

$$Z_1 = \frac{V_2^2}{2g} + h_f \quad \Longrightarrow \quad 10 = \frac{V_2^2}{2g} + h_f$$

بعد هذه الخطوة يتم حساب الضائعات الرئيسة والثانوية وهي كل من:

1- الضائعات في الأنابيب الثلاث، بالرجوع للرسم البياني (Moody Chart) يتم استخراج معامل الاحتكاك (f) ولكون الأنبوب مصنوع من الآهين يكون المقدار (0.022)، في هذه المرحلة من الدراسة سيتم اعطاء مقادير معامل الاحتكاك للطالب مباشرة.

$$h_f = f \times \frac{L}{D} \times \frac{V^2}{2g}$$

$$h_f = 0.022 \times \frac{95}{0.15} \times \frac{V^2}{2g} = 13.93 \frac{V^2}{2g}$$

2- الضائعات الثانوية وتشمل مدخل الأنبوب وهذا المقدار يهمل على فرض أن المدخل ذو حافة دائرية، مقدار معامل (K) للمرفقات (العكوس) عدد (2) بالرجوع للجدول (2-4) K = 0.9 ، أما صمام ذو كرة قيمة المعامل K = 10

عليه تصبح مقادير الضائعات الثانوية كالتالي:

$$h_f = K \times \frac{V^2}{2g} = 2 \times 0.9 \times \frac{V^2}{2g} + 10 \times \frac{V^2}{2g} = 11.8 \frac{V^2}{2g}$$

مجموع الضائعات الكلية تساوي

$$h_f = 13.93 \frac{V^2}{2g} + 11.8 \frac{V^2}{2g} = 25.73 \frac{V^2}{2g}$$

بعد هذه الخطوة يتم تعويض مقدار الضائعات في معادلة الطاقة وتصبح كالتالي:

$$10 = \frac{V^2}{2g} + 25.73 \frac{V^2}{2g} = 26.73 \frac{V^2}{2g}$$

يتم تعويض مقدار التعجيل الأرضي الذي يساوي (9.81)

$$10 = 1.362\, v_2^2 \quad \Longrightarrow \quad v_2^2 = 7.342$$

$$v_2 = 2.71 \text{ m/s}$$

لإيجاد مقدار التصريف فإن $Q = v \times A$

$$Q = 2.71 \times \pi \times \frac{0.15^2}{4} = 0.047\ m^3/s$$

$$m^3 = 1000\ l$$

$$Q = 0.047 \times 1000 = 47.8\ l/s$$

ملاحظة

المثال المذكور يعدّ مثال شامل لتطبيق معادلة الطاقة والضائعات الرئيسة والثانوية، على الطالب أن يتمرن على مثل هذه الأسئلة لأهميتها في هذه المرحلة والمراحل القادمة.

4-8 ربط الأنابيب على التوالي والتوازي

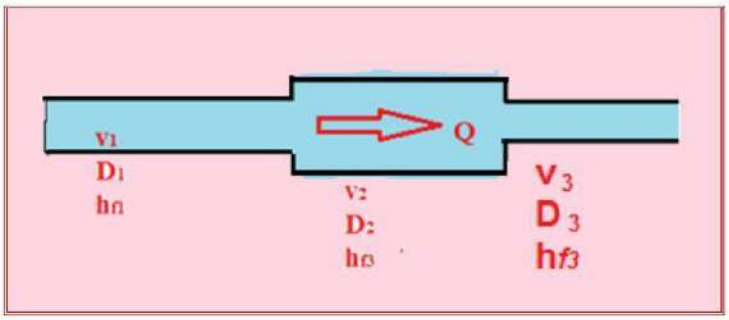
تتطلب اعمال ربط أنابيب الشبكات ومحطات تصفية ومعالجة المياه والمعامل والمصانع وغيرها ربط الأنابيب بصورة فنية صحيحة تؤدي الغرض الذي صممت من أجله، وهنالك طريقتان معتمدتان في أعمال الربط، الأولى ربط الأنابيب على التوالي والثانية ربطها على التوازي. وفي بعض الاحيان نستعمل الطريقتين معاً ولكل طريقة اسلوب ربط خاص وميزات معينة يمكن الاستفادة منها لتحقيق أفضل إنتاجية بأقل خسائر ممكنة.

4-8-1 ربط الأنابيب على التوالي

عند ربط أنبوبين أو أكثر ذوي أقطار مختلفة بإذ يتصل أحدهما بالآخر من جهة واحدة فقط بإذ يجري المائع من احدهما ومن ثم في الآخر، وكما موضح في الشكل (4-10) يصبح هذا النوع من ربط الأنابيب ربطاً على التوالي، وفي هذه الحالة يكون معدل التدفق ثابت لخط الشبكة أجمع بينما مقدار الضائعات الكلية يساوي حاصل جمع الضائعات في كل أنبوب وكما موضح أدناه:

$$Q_T = Q_1 = Q_2 = Q_3$$

$$h_{fT} = h_{f1} + h_{f2} + h_{f3}$$



الشكل 4-10 ربط الأنابيب على التوالي

4-8-2 ربط الأنابيب على التوازي

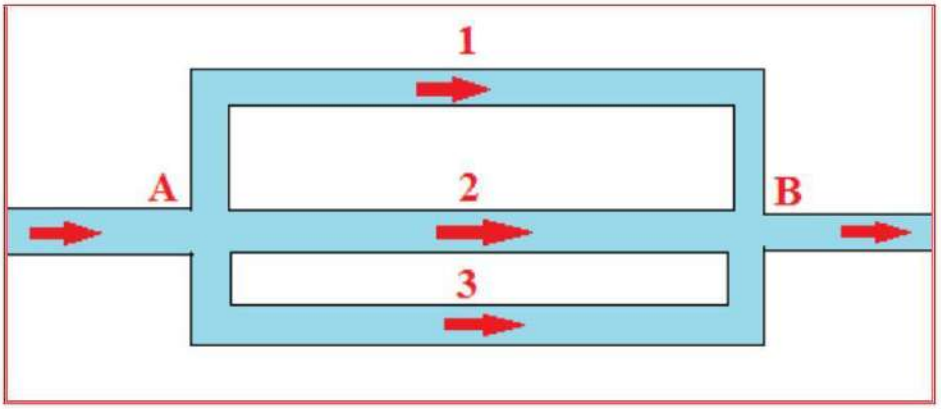
في هذه الحالة تربط مجموعة الأنابيب كما في الشكل (4-11)، بإذ يُقسم معدل تدفق الجريان بين الأنابيب ويكون مقدار الضائعات متساوي في جميع خطوط الشبكة، مع إضافة الضائعات الثانوية إلى أطوال كل أنبوبة في الشبكة بصفتها أطوالاً مكافئة، وكما مبين أدناه:

$$Q_T = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

$$h_{f1} = h_{f2} = h_{f3} = \frac{\rho_A}{\gamma} + Z_A - \left(\frac{\rho_B}{\gamma} + Z_B\right)$$

إذ أن:

Z_A، Z_B هما مناسيب النقاط A وB على التوالي.



الشكل 4-11ربط الأنابيب على التوازي

أسئلة الفصل الرابع

س1) املأ الفراغات االآتية بما يناسبها:

1. لتمييز نوع الجريان لمائع معين، يتطلب معرفة:
   1.....2.....3.....
2. تعتمد حالتي الجريان المستقر وغير المستقر على عامل .....
3. عندما يكون الجريان هادئاً وانسيابياً يسمى.....
4. تعرف السرعة الحرجة على أنها.....

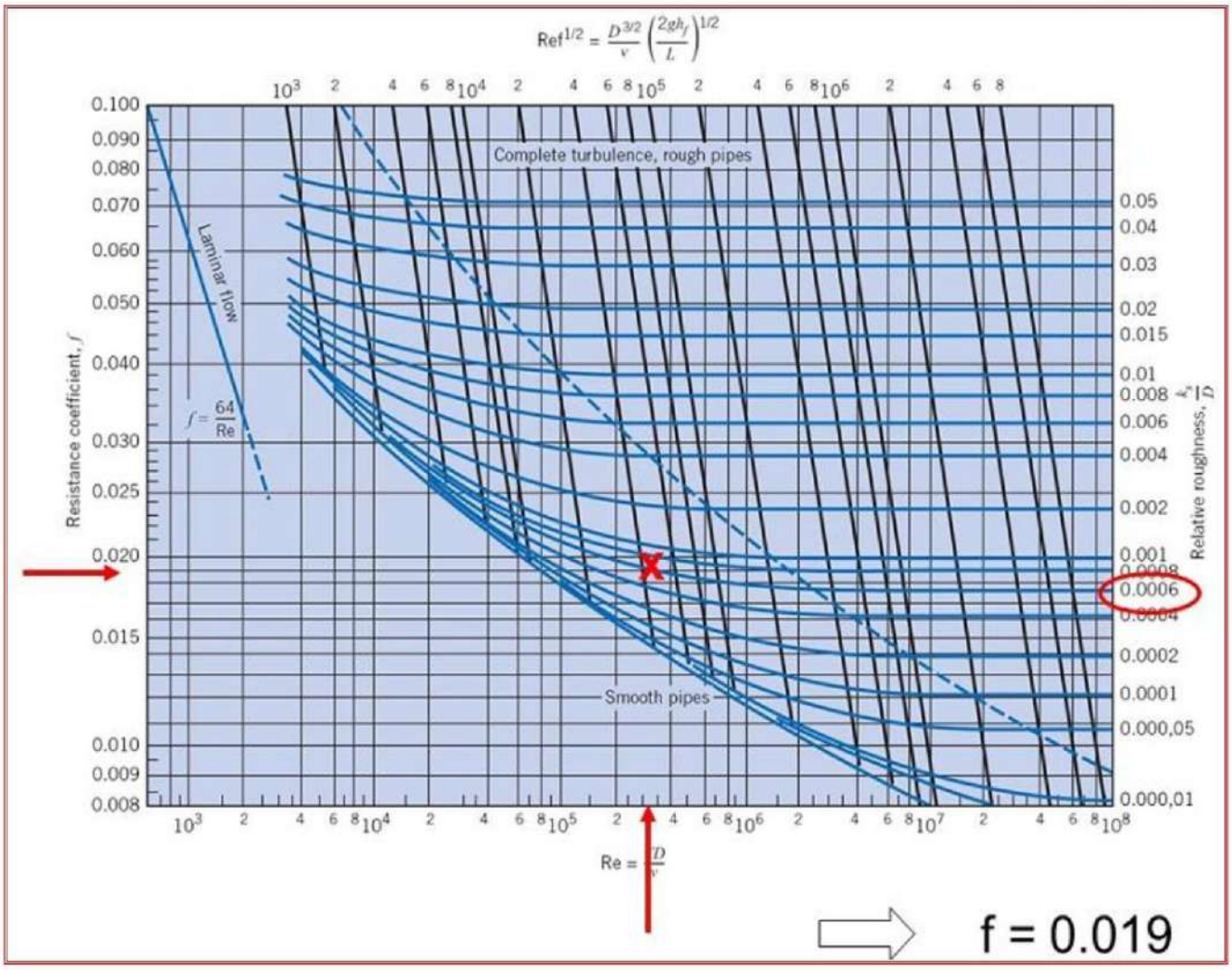
س2)علل ما يأتي:

1. لماذا تستعمل أنابيب ذات سطح أملس بدلاً من أنابيب خشنة السطح.
2. يفضل الجريان الطباقي على الجريان الإضطرابي.
3. استعمال عدد أقل من ملحقات الأنابيب قدر المستطاع.
4. استعمال نوع الصمام المناسب مثل صمام كروي بدلاً من الصمام البوابي عند الحاجة.

س3) يجري ماء لزوجته الكينماتية ($\nu = 1.15 \times 10^{-6} m^2/s$) في أنبوب قطره (30 mm)، أوجد معدل تدفق الماء بوحدة (l/min) الذي يجعل الجريان في الأنبوب يبقى جرياناً طباقياً. ج/ 3.2 l/min

س4) يجري سائل في أنبوب أفقي مصنوع من مادة الصلب بسرعة (4.5 m/sec)، إذا علمت أن لزوجة السائل تساوي ($\mu = 4.46 \times 10^{-3} Pa.sec$) وكثافته تبلغ ($801\ Kg/m^3$)، وكان قطر الأنبوب (52 mm)، احسب خسائر الاحتكاك لجزء من الأنبوب طوله (36 m) إذا علمت أن معامل الاحتكاك يساوي (0.006). ج/ 4.3 m

س5) معدل تدفق أنبوب رئيسي بشبكة تجهيز ماء المدينة يساوي (43) لتر/ثا، يتفرع منه فرعين ثم يرتبطان سوية بعد ذلك، إذا كان قطر أحد الفروع هو (15) سم وطوله (300) م بينما الفرع الآخر قطره (20) سم وطوله (600) م، جِد التصريف في كل فرع وخسائر الشحنة إذا علمت أن ($f = 0.04$).
ج/ (18 l/s, 25 l/s, 4 m)



المخطط 4-1 الرسم البياني لحساب الخسائر الرئيسية Moody Chart

الفصل الخامس

القنوات المفتوحة

OPEN CHANNELS

محتويات الفصل 5

القنوات المفتوحة

- أنواع الجريان في القنوات المفتوحة
- الإنحدار الهيدروليكي
- معادلات الجريان المنتظم
- قياس التصريف

5- مقدمة Introduction

تُعرف القنوات المفتوحة على إنها القنوات التي يكون لها سطح حر معرض للضغط الجوي ولا يحدث الجريان في مثل هذه القنوات بسبب تأثير فرق الضغط الخارجي، ولكن بوساطة مركبة الجاذبية على طول ميل القنوات. وهي تشمل الأنهار، القنوات الصناعية، قنوات الصرف الصحي، الأنفاق، وخطوط الأنابيب غير الممتلئة بالكامل (مثل أنابيب نقل المياه الثقيلة).

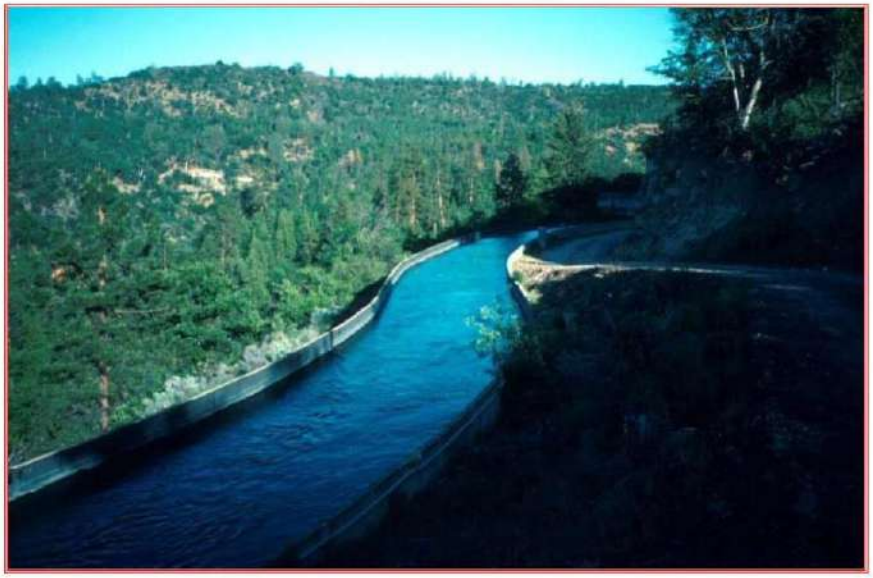
يمكن بناء القنوات المفتوحة الصناعية لنقل المياه لأغراض استغلال الطاقة الهيدروليكية، الري، شبكات مياه الشرب للمدن والصرف الصحي، أو قنوات التحكم بالسيول والعديد من الأغراض الأخرى.المعادلات الرياضية (الموديل الرياضي) التي تخص الجريان في القنوات المفتوحة أصعب بكثير من مثيلاتها في حالة القنوات المغلقة. عملياً جميع القنوات المغلقة تكون دائرية الشكل ولكن مقاطع القنوات المفتوحة يمكن أن تكون ذات أي شكل منتظم أو غير منتظم، الأشكال الهندسية المألوفة مثل الشكل الدائري، المستطيل، شبه المنحرف أو مثلث المقطع وغيرها. كذلك فإن درجة خشونة السطح في القنوات المفتوحة تقريباً تناظر درجة خشونة الأسطح في القنوات المغلقة.

ان انواع القنوات المفتوحة تتمثل في الانهار و القنوات الصناعية (مستطيلة، مثلثة، شبه منحرف)،مجاري مياه الصرف الصحي و الانفاق و خطوط الانابيب غير الممتلئة بالكامل .

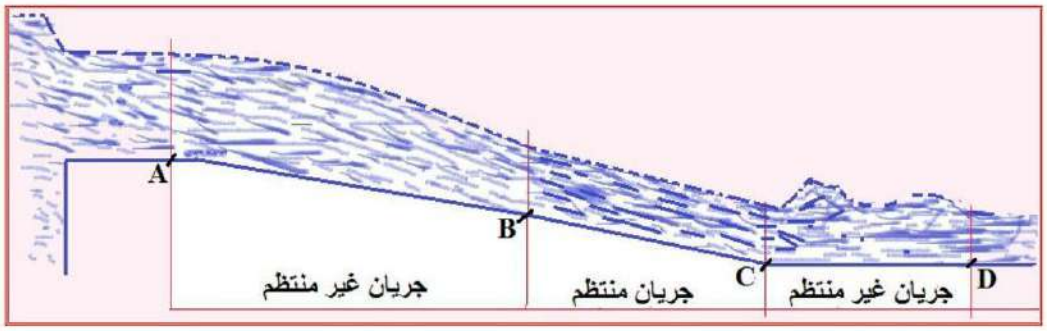
5-2أنواع الجريان في القنوات المفتوحةTypes of Flow in Open Channels

مثلما تمّت الإشارة إليه في الفصل الرابع في موضوع أنواع الجريان في القنوات المغلقة، فإن حالات أنواع الجريان في القنوات المفتوحة هي نفسها في القنوات المغلقة (الأنابيب)، ففي حالةالجريان المنتظم يبقى مقطع الماء وعمقه ثابتين على مدى طول القناة، لاحظ الشكل (5-1)،وهذا يعني أن الإنخفاض في طاقة الموضع ($Z_2 - Z_1$)يساوي ضائعات أو فواقد الإحتكاك الناتجة من احتكاك المائع بالجدران والإضطراب.لأي قناة مفتوحة خشونة معينة، مقطع معين، وميل معين، ستمتلك تصريفاً معيناً (Q) وعمق معين فيكون عنده الجريان منتظماً، الشكل (5-2) يوضح حالتي الجريان المنتظم وغير المنتظم . يكون الجريان منتظماً من (B) إلى (C)، ويعاني من تباطؤ نتيجة تغير الميل بين النقطتين (C و D)، وأخيراً يقترب من عمق جديد لجريان منتظم لما بعد (D).

أما في حالة الجريان غير المنتظم من (A) إلى (B) وكذلك من (C) إلى (D) فإن عمق الجريان سيكون متغيراً تبعاً إلى تغير المقطع أو الميل أو سوءة الجريان أو خشونة السطح وغيرها من الأسباب. وكما مبين في الشكل (5-3).



الشكل 5-1 جريان ماء منتظم في قناة مفتوحة



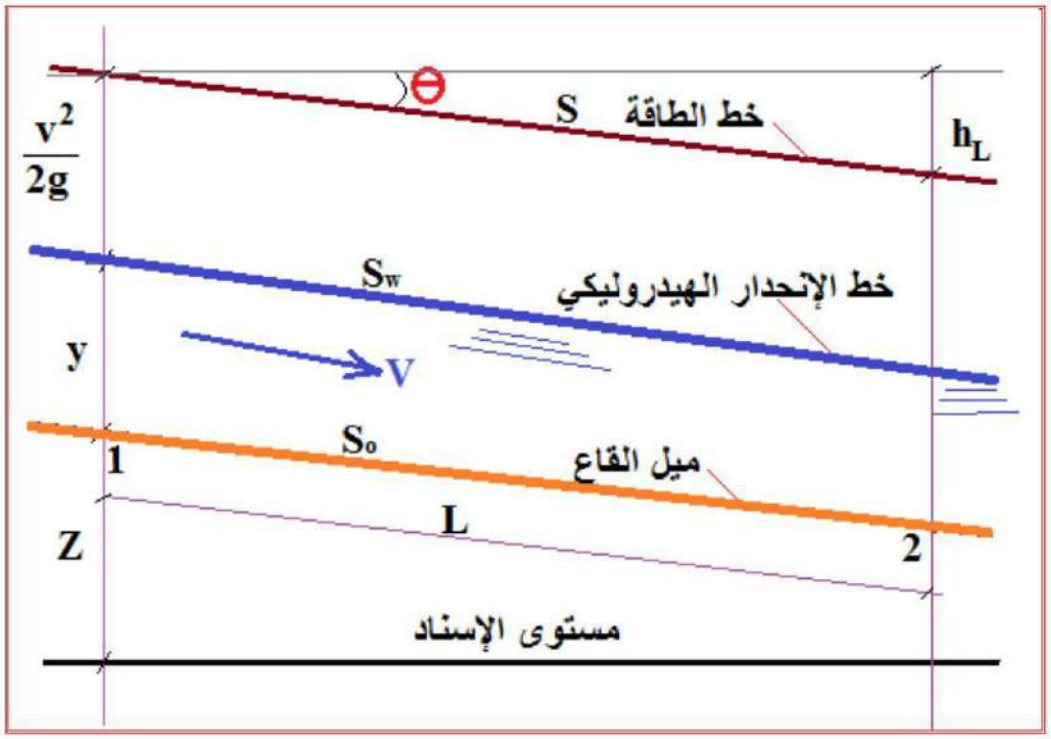
الشكل 5-2 الجريان المنتظم وغير المنتظم

الشكل 5-3 جريان ماء غير منتظم

3-5 الإنحدار الهيدروليكي Hydraulic Grade

في جريان القنوات المفتوحة يرمز لميل قاع القناة بالرمز (S_o)، وميل سطح الماء بالرمز (S_w) وخط الطاقة (فوق سطح الماء) بالرمز (S)، وكما موضح في الشكل (5-4)، ففي حالة الجريان المنتظم في قناة مفتوحة فإن خط الإنحدار الهيدروليكي (HGL) ينطبق على سطح الماء وستكون مساحة مقطع القناة ثابتة على طول القناة وبالمثل تكون السرعة ثابتة وبالتالي فإن خط قاع القناة وسطح الماء وخط الطاقةتصبح جميعها موازية لبعضها لبعض، إذإن الزاوية (θ) هي الزاوية المحصورة بين قاع القناة أوسطح الماء مع الأفق، و(h_L) هي ضائعات وفواقد الطاقة، و (L) يمثل طول القناة، وعليه فإن:

$$\sin(\theta) = \frac{h_L}{L}$$



الشكل 5-4 خط الإنحدار الهيدروليكي

4-5 معادلات الجريان المنتظم Uniform Flow Equations

تم في الفصل السابق استنتاج المعادلة العامة لفواقد الإحتكاك (h_L) في القنوات المغلقة وبالإمكان تطبيق نفس المفهوم على الجريان المنتظم في القنوات المفتوحة، إذ توصل العالم (تشيزي) إلى أن السرعة في القنوات المفتوحة تتغير مع الجذر التربيعي لحاصل ضرب كل من نصف القطر الهيدروليكي (R_h) وميل خط الطاقة (S) والذي يساوي (S_o وS_w) لأن الجريان منتظم، أي أن:

$$v = c\sqrt{R_h \times S}$$

ويمكن حساب نصف القطر الهيدروليكي ووحداته المتر (m) من قسمة مساحة المقطع العرضي للقناة (A) على المحيط المبتل (P) وهو الجزء من محيط مساحة المقطع إذ يوجد فيه تلامس بين المائع وحدود الجسم الصلب، أي:

$$R_h = \frac{A}{P}$$

أما (c) في المعادلة فهو معامل الإحتكاك المناظر لمعامل الإحتكاك (f) بالجريان في القنوات المغلقة، ووحداته هو جذر وحدة الطول على الثانية، أي أنه يساوي:

$$c = \sqrt{\frac{8g}{f}}$$

ثاني أهم المعادلات التي تستخدم في حسابات جريان القنوات المفتوحة هي معادلة (مانينك):

$$v = \frac{1}{n} \times R_h^{2/3} \times S^{1/2}$$

إذ إنّ (n) هو معامل الخشونة.

مثال 5-1

قناة مفتوحة مستطيلة المقطع عرضها (5) م وعمق الماء فيها (2) م، أُنشأت بميل واحد لكل خمسة الآف، جد سرعة الجريان والتصريف على فرض أن ثابت تشيزي يساوي (60).

الجواب

$$A = b \times d = 5 \times 2 = 10\ m^2$$

$$P = b + 2d = 5 + 2 \times 2 = 9\ m$$

$$R_h = \frac{A}{P} = \frac{10}{9}\ m$$

$$v = c\sqrt{R_h \times S}$$

$$v = 60\sqrt{\frac{10}{9} \times \frac{1}{5000}} = 0.89\ m/s$$

$$Q = A \times v = 10 \times 0.89 = 8.9\ m^3/s$$

مثال 5-2

أوجد عمق قناة مفتوحة مستطيلة المقطع الموضحة في الشكل (5-5) لنقل ماء بجريان منتظم وبسرعة مقدارها (0.5) م/ثا، إذا علمت أن ميل قاع القناة هو (0.0001) وقيمة معامل مانينك هي (0.014) وعرض القناة (1.5) م، ثم جد مقدار التصريف.

الجواب

$$v = \frac{1}{n} \times R_h^{2/3} \times S^{1/2}$$

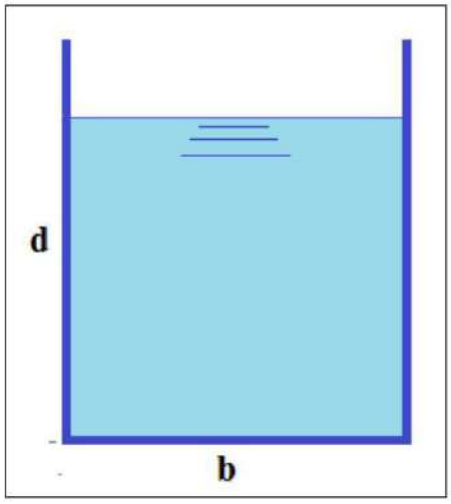
$$0.5 = \frac{1}{0.014} \times R_h^{2/3} \times 0.0001^{1/2}$$

$$R_h = 0.585\ m$$

$$R_h = \frac{A}{P} = \frac{b \times d}{2d + b}$$

$$0.585 = \frac{1.5d}{2d + 1.5} \longrightarrow d = 2.66\ m$$

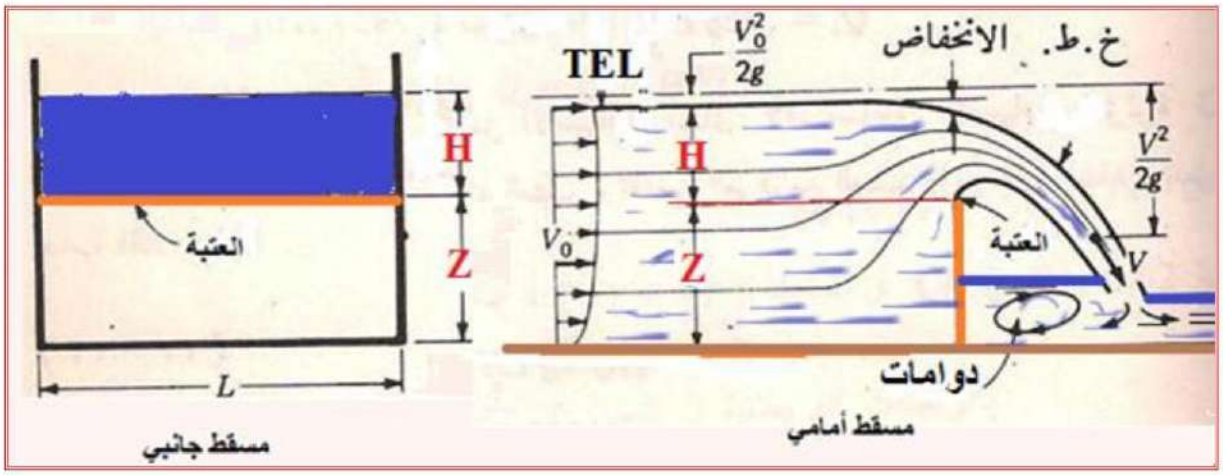
$$Q = \frac{v}{A} = \frac{0.5}{2.66 \times 1.5} = 0.125\ m^3/s$$



الشكل (5-5) مثال (5-2)

5-5 قياس التصريف Discharge Measurement

يتم قياس التصريف (Q) في القنوات المفتوحة بطرائق عدة، منها الهدارات (Weirs)، بوابة التحكم(Gates). بارشال فلوم (Parshall flume). النفث المغمور(Jets). ان احدى أهم هذه الطرائق هي استعمال الهدارات (Weirs) المستطيلة والمثلثة، والهدار عبارة عن بناء مشابة للسد، إذ يعين معدل التصريف بوساطة قياس أرتفاع الماء (H) فوق قمة العتبة وعلى مسافة معينة منها بإتجاة مقدمة القناة وكما موضح في الشكل (5-6).



الشكل 5-6 جريان فوق هدار حاد العتبة

إن معادلة التصريف لهدار مستطيل طوله (L) هي:

$$Q = C_d \times \frac{2}{3} \times \sqrt{2g} \times L \times H^{3/2}$$

وإذ أن (C_d) معامل التصريف ويستعمل بقيمة (0.62) وبذلك تصبح المعادلة في أعلاه:

$$Q = 1.84 \times L \times H^{3/2}$$

فعند معرفة طول الهدار وارتفاع الماء فوق العتبة يمكن حساب التصريف.

مثال 5-3

قناة مفتوحة مستطيلة المقطع عرضها (1.5) م، وعمق الماء فيها (1) م تمرر تصريفاً مقداره (0.9) م^3\اثا، أقترح بناء هدار مستطيل عبر القناة لقياس التصريف، جد إرتفاع عتبة الهدار من قاع القناة بإذ لا يطفو الماء على جوانب القناة على فرض أن ($C_d = 0.6$).

الجواب

$$Q = C_d \times \frac{2}{3} \times \sqrt{2g} \times L \times H^{3/2}$$

$$0.9 = 0.6 \times \frac{2}{3} \times \sqrt{2 \times 9.81} \times 1.5 \times H^{3/2}$$

$$H = 0.485 \text{ m}$$

نفرض أن إرتفاع العتبة للهدار هو (**Z**)

$$Z + H = 1$$

$$Z + 0.485 = 1 \longrightarrow Z = 0.575 \text{ m}$$

مثال 5-4

قناة ماء على شكل شبه منحرف عرض قاعدتها (4) م وميل جوانب القناة (1 إلى 3) وارتفاع الماء فيها (2) م فإذا كان ميل خط إنحدار القناة (10000/1) ومعامل مانينك يساوي (0.025)، جد مقدار التصريف لجريان منتظم.

$$\frac{1}{3} = \frac{2}{x} \longrightarrow x = 6 \text{ m}$$

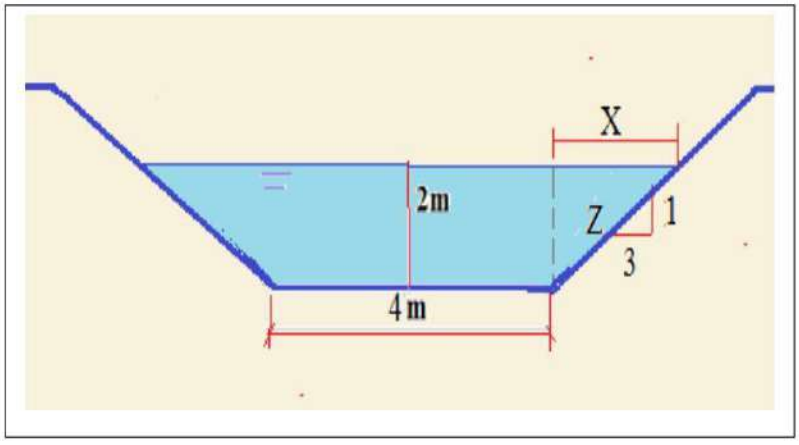
$$Z = \sqrt{6^2 + 2^2} = 6.3 \text{ m}$$

$$A = \frac{16+4}{2} \times 2 = 20 \text{ m}^2$$

$$P = 2 \times 6.3 + 4 = 16.6 \text{ m}$$

$$R_h = \frac{A}{P} = \frac{20}{16.6} = 1.2 \text{ m}$$

$$v = \frac{1}{n} \times R_h^{2/3} \times S^{1/2}$$



الشكل 5-7 مثال (4-5)

$$v = \frac{1}{0.025} \times 1.2^{2/3} \times 0.0001^{1/2} = 0.45 \text{ m/s}$$

$$Q = A \times v = 20 \times 0.45 = 9 \text{ m}^3/\text{s}$$

أسئلة الفصل الخامس

س1) ماهي القنوات المفتوحة؟ وماهي أنواعها؟

س2) ما الذي يسبب جريان الموائع في القنوات المفتوحة؟

س3) قارن بين الجريان المنتظم وغير المنتظم في القنوات المفتوحة.

س4) عرف كلاً من المحيط المبتل ونصف القطر الهيدروليكي مع الرسم.

س5) إذكر معادلتي تشيزي ومانينك وعرف كل رمز فيهما.

س6) احسب التصريف المار في قناة مستطيلة الشكل، عمق الماء فيها (2) م، وعرضها (4) م، وميل قاع القناة (1)لكل (2500)، على فرض أن (C = 60). ج/ ($9.6\ m^3/s$)

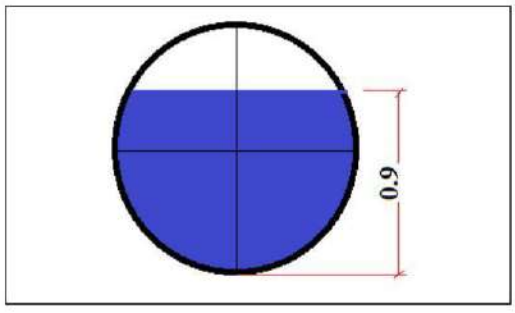
س7) ماء يجري بعمق منتظم مقداره (2) م في قناة منحرفة المقطع والمبينة في الشكل (5-8)، عرض القاع يساوي (6) م، وميل جوانب القناة (2:1) (2 أفقي و1 عمودي) والتصريف المار بها هو(65)م^3\ثا، إحسب ميل قاع القناةعلى فرض أن (n = 0.025).

ج/ (1لكل 222)

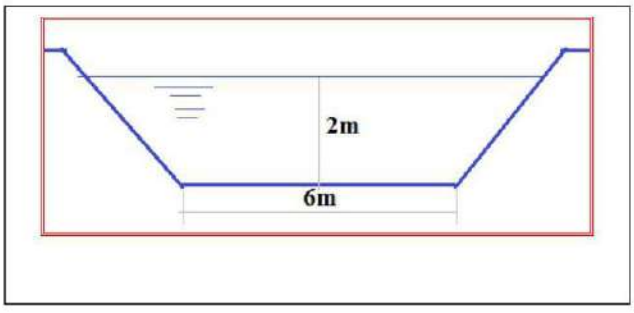
س8) إحسب تصريف الماء المار بأنبوب صرف صحي قطره (1.2) م، وعمق الماء في الأنبوب يساوي (0.9) م، وتم مد الأنبوب بميل (1 لكل 1000)،على فرض أن (C = 58).

ج/ ($1.5\ m^3/s$)

س9) سجل الأمطار اليومي فوق مساحة معينة هو (222×10^6) لتر، إذا كان (70%) من المطر يصل الخزان وبعدها يمر فوق هدار مستطيل. جد طول الهدار إذا كان عمق الماء فوق عتبة الهدار (60) سم وأن ($C_d = 0.6$). ج/ 2.2 m



الشكل 5-8 السؤال السابع



الشكل 5-9 السؤال الثامن

الفصل السادس

المضخات

PUMPS

الفصل 6

محتويات

تعلم الموضوعات

- أنواع المضخات.
- هيدروليكية المضخات.
- طرق ربط المضخات.
- حساب تصريف المضخات وقدرتها وشحنتها وكفائتها.
- استعمال الغاز المضغوط لضخ السوائل.

المضخات

1-6 مقدمة Introduction

تستعمل المضخات عادةً لدفع السوائل في الأنابيب من مكان إلى آخر، والمضخة هي جهاز ميكانيكي يجهز السائل بالطاقة اللازمة للتغلب على قوى الاحتكاك في الأنبوب فضلاً عن منح السائل الضغط المطلوب في نقطة استلامه. وتُعد المضخات بأنواعها مثل مضخات الطرد المركزي (Centrifugal Pumps) ومضخات الازاحة الموجبة (Positive Displacement Pumps) من أهم أجهزة الضخ شائعة الاستعمال بينما يوجد عدد من المضخات تستعمل لأغراض متخصصة مثل المضخة الرافعة بالهواء (Air Lift Pump)، يعتمد اختيار المضخة على معدل الجريان والضغط المطلوب في نهاية المنظومة مع العرض أن الشركات المصنعة عادة ما تذكر في مواصفات المضخات مقدار الضغط المولد من قبل المضخة على شكل ارتفاع عمود السائل وهذا مفيد عملياً في حل مسائل تطبيقات معادلة الجريان فعلى سبيل المثال لا الحصر 30 م.

في بعض الاحيان تستعمل أكثر من مضخة واحدة في الشبكة الواحدة بعد أن يتم اختيار موقع المضخات في الشبكة من خلال تحليل الشبكة بصورة علمية، وقد يتم ربط هذه المضخات على التوالي أو على التوازي أو الربطين معاً، وبحسب متطلبات عمل الشبكة وكما سيتم عرضها في هذا الفصل، ويُشاربهذا الصدد إلى أهمية استعمال مضخة إضافية اضطرارية ليتم تناوب تشغيل المضخات وتوفير إمكانية إدامة إحداهما وتصليحها مع استمرار عمل المنظومة.

استعملت المضخات منذ فترات زمنية بعيدة لغرض رفع الماء إلى مناسيب أعلى قبل اختراع محركات الاحتراق واكتشاف مصادر الطاقة الكهربائية وذلك من خلال استعمال الطاقات المتاحة في حينها مثل طاقة جريان الماء كما في النواعير أو الطاقة البشرية مثل المضخة اليدوية، كما هو مبين في الشكل (6-1).

الشكل 6-1 مضخة يدوية

2-6أنواع المضخات Pumps Types

1-2-6 مضخات الطرد المركزيCentrifugal Pumps

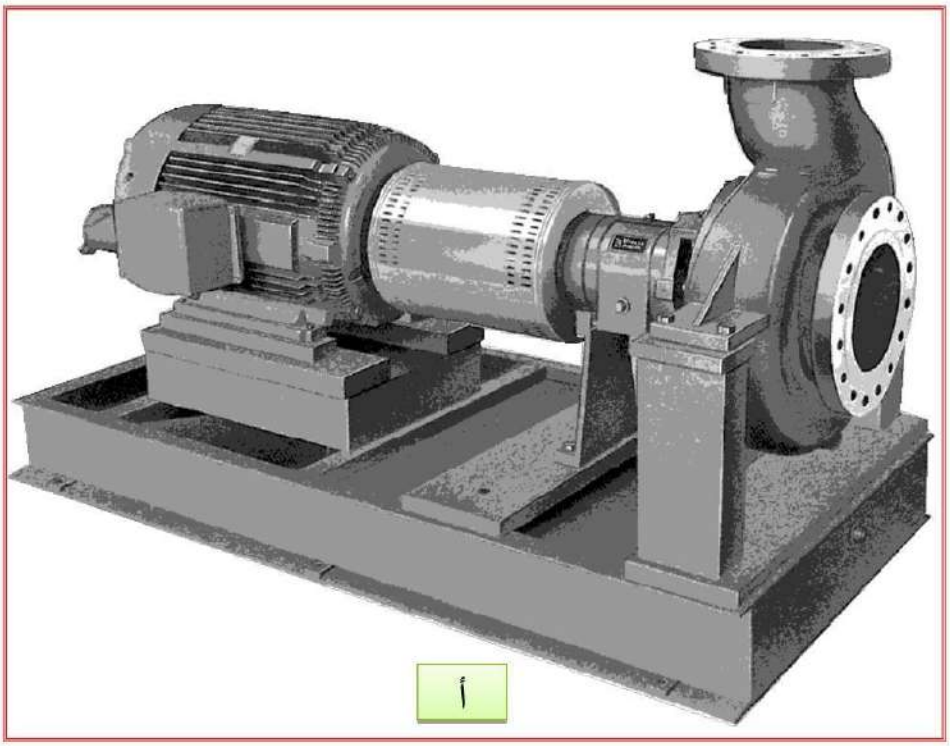
تكمن أهمية هذه المضخات في تعدد استعمالاتها، إذ تستعمل لضخ المياه والسوائل الكيمياوية والنفطية والسوائل التي تسبب الصدأ والتآكل، لاحظ الشكل (2-6).كما ويمكن استعمالها لضخ مزيج السائل بالمواد الصلبة مثل خلائط الخرسانة بالماء. تستعمل هذه المضخات عند الحاجة إلى معدل تدفق عالي للسائل ولضخه بارتفاعات معتدلة.

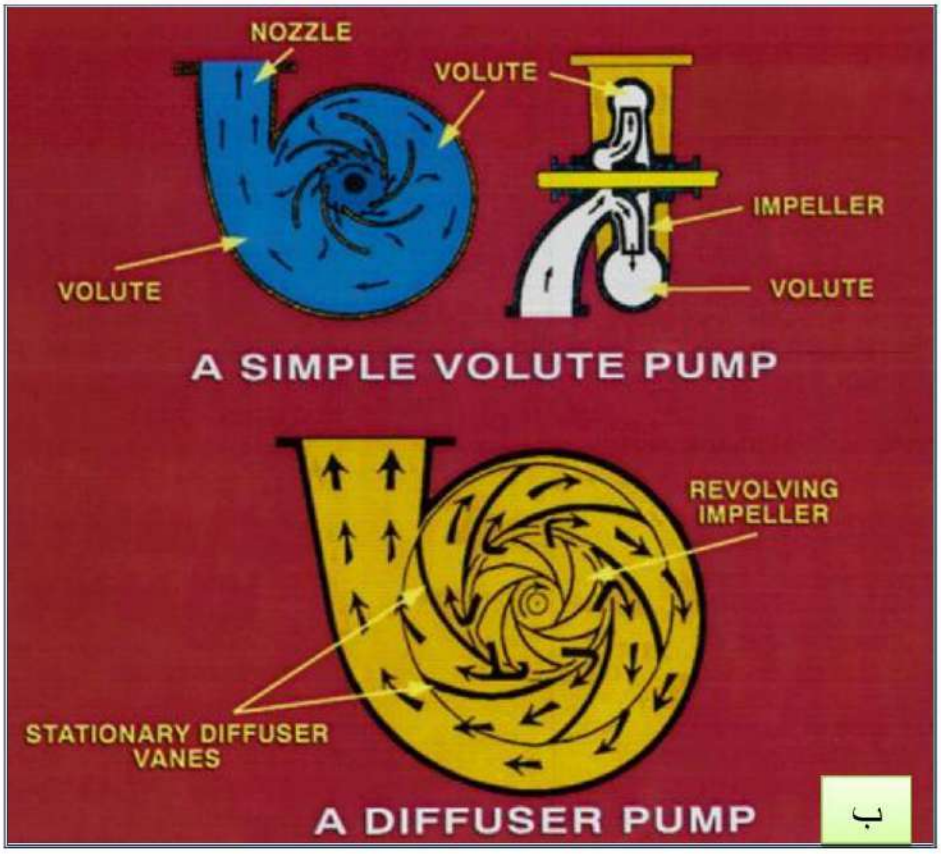
ميّزات مضخات الطرد المركزي

1. تركيب غير معقد لذا يمكن صنعها من مواد مختلفة مثل الصلب واللدائن وغيرها.
2. سرعة دورانها العالية لذا يمكن ربطها بمحرك كهربائي.
3. ضخ معدل تدفق ثابت خالٍ من التذبذبات.
4. كلفة صيانة منخفضة بالقياس إلى المضخات الأخرى.
5. لا تتأثر كثيراً حين يحصل انسداد في أنبوب التصريف.
6. حجمها الصغيربالقياس إلى المضخات الأخرى التي تعطي التصريف نفسه.
7. إمكانية استعمالها لضخ سوائل تحوي مواد صلبة عالقة.

مساوئ مضخات الطرد المركزي

1. انخفاض الضغط فالمضخة الواحدة لا تولد ضغطاً عالياً، لذا تصنع مضخات متعددة المراحل وبهذا تصبح الكلفة عالية في مرحلة الإنشاء زيادة على مرحلة التشغيل.
2. ضرورة ملء غلاف المضخة وأنبوب السحب بأكمله بالسائل قبل التشغيل ويطلق على هذه العملية (السقي).
3. ضرورة نصب صمام اتجاه واحد في أنبوب التصريف لمنع رجوع السائل عبر المضخة بعد إيقافها.
4. عدم إمكانيتها لضخ السوائل عالية اللزوجة.





الشكل 6-2 مضخة الطرد المركزي

(أ- صورة للمضخة - ب - آلية عمل نوعين من المضخات)

2-2-6مضخات الإزاحة الموجبةPositive Displacement Pumps

الشكل (6-3) يوضح مقاطع تفصيلية لبعض من مضخات الإزاحة الموجبة والتي تصنف كالآتي:

1. **المضخات الترددية (Reciprocating)** وهذه بدورها تقسم على:

- **المضخات ذات المكبس (Piston Pumps)** تتألف من مكبس يتحرك حركة ترددية في داخل أسطوانة تحتوي على أربع فتحات صماميه، وتولد هذه المضخة ضغطاً عالياً، بينما يكون التصريف متذبذباً بسبب الحركة الترددية للمكبس، ومن مساوئها وجود الصمامات المعرضة للعطل وكبر حجمها بالمقارنة بمضخة الطرد المركزي. ويمكن استعمال محرك بخاري أو محرك احتراق داخلي أو محرك كهربائي لتشغيل المضخة.

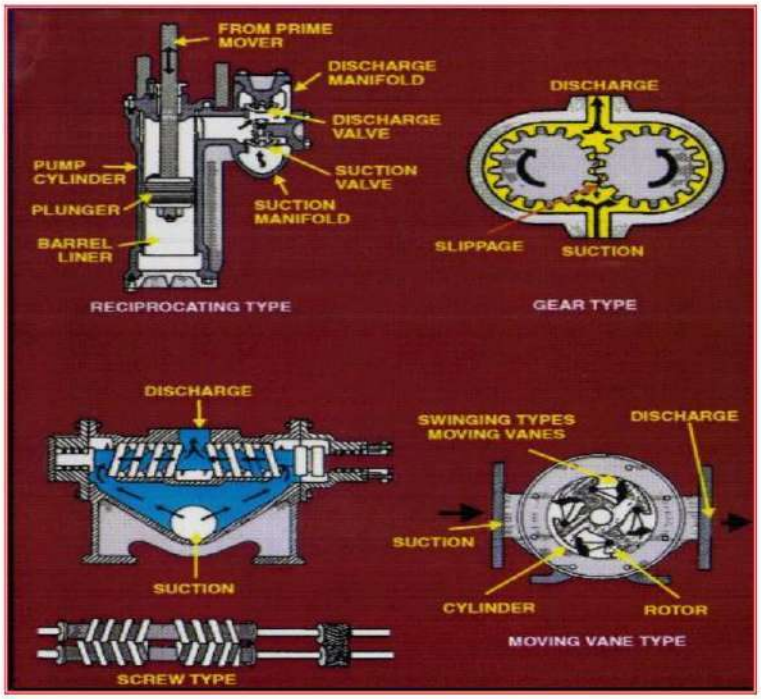
- **مضخات المعايرة (Metering Pumps)** وهي مضخات مكبسيه صغيرة الحجم تشتغل بمحرك كهربائي بسرعة ثابتة، وتستعمل لضخ كميات صغيرة من السائل بضغط عالٍ وبمعدل جريان ثابت، مثل حقن كميات محسوبة من المواد الكيميائية في منظومة الجريان.

- **المضخات ذات الرق (Diaphragm)**تتألف من رق مصنوع من مادة مطاطية يفصل بين جزئي المضخة إذ يتحرك مكبس في اسطوانة على أحد جانبي الرق فيحركه حركة ترددية، أما مباشرة أو بوساطة سائل، ثم تنتقل الحركة إلى الجزء الثاني الذي يسحب السائل وضخة'.تستعمل هذه المضخة لضخ السوائل التي تسبب الصدأ والتآكل.

2. **المضخات الدوارة (Rotary Pumps)**وهذه بدورها تقسم على :

- **المضخات ذات المسننات (Gear Pumps)**تولد هذه المضخات ضغوطاً عالية وتستعمل لضخ السوائل عالية اللزوجة، وهي تعطي تصريفاً منتظماً كما يمكن ربطها بمحرك كهربائي مباشرة ولا تحتاج إلى الملء قبل التشغيل وتستعمل غالباً في الصناعات النفطية لضخ المواد اللزجة الناتجة من التقطير، لاحظ الشكل (6-4).

- **مضخات مونو (Mono Pumps)**تتألف من جزء لولبي الشكل يدور في داخل الجزء الثابت المصنوع من المطاط أو مواد مماثلة، ويندفع السائل في الحيز بين الجزئين. تستعمل هذه المضخة لضخ مزيج السائل والصلب إلى أجهزة الترشيح ويجب عدم تشغيلها وهي جافة في أي حال.



الشكل 6-3مقاطع تفصيلية لمضخات الإزاحة الموجبة

الشكل 6-4 مضخة ذات المسننات

3-6هيدروليكية عمل المضخات

لغرض الحصول على تشغيل للمضخات بشكل صحيح وبكفاءة عالية فضلاً عن عمر تشغيلي أطول ، يتوجب تثبيت المضخات على قاعدة خرسانية لمنع نشوء الاهتزازات الضارة، ويقتضي الأمر نصب المضخة ومحركها على استقامة واحدة، كذلك نصب عدد من الصمامات في منظومة الضخ للتحكم بالضغط والجريان، ولا بد من وجود مصفات (Strainer) في أنبوب السحب لمنع دخول المواد العالقة، وفي بعض المحطات والمعامل تشمل منظومة الضخ على عدد من أدوات القياس مثل مقاييس الضغط ودرجة الحرارة وغيرها.

وتجدر الاشارة هنا إلى ضرورة وضع المضخة بنفس منسوب السائل المُراد ضخه أو على الأقل بفرق منسوب قليل بينهما وإلى حدٍ مُعيَن تجنباً لتولد الفقاعات التي تؤثر سلباً على عمل المضخة بوصفها أحد أسباب حدوث ظاهرة التكهف (Cavitation). إذ عندما يكون هنالك فرق بالارتفاع كبير نسبياًبين المضخة والسائل المسحوب يؤدي ذلك إلى انخفاض ضغط السائل في خط السحب قد يصل انخفاض هذا الضغط إلى الضغط البخاري للسائل فيبدأ بالغليان وتتولد الفقاعات من الأبخرة، ويحمل السائل معه فقاعات الأبخرة حتى يصل إلى منطقة ذات ضغط عال في داخل المضخة فتنفجر هذه الفقاعات فجأة، وهذا ما يسمى بالتكهف.

إذا كانت فقاعات البخار عند انفجارها قريبة أو ملامسة لجسم صلب فإن القوى المؤثرة الناتجة من السائل المندفع إلى مناطق تواجد الفقاعات تولد ضغوطاً عالية جداً تسبب تشقق السطح الصلب والتي تكون مصحوبة بضوضاء واهتزازات عالية تؤثر سلباً على عمل المضخة فضلاً عن قصر العمر التشغيلي لها.ويجب أن تبدأ الوقاية من التكهف عند التصميم الهيدروليكي للمجموعة وذلك من خلال وضع المضخة بمنسوب موازٍ أو بالقرب من منسوب السائل المسحوب تجنباًلضغوط المنخفضة إذا كان ذلك عملياً، واستخدام مواد خاصة تقاوم التكهف، وكذلك التأكد من عدم احتواء الماء على الهواء الذي يزيد بدوره من حدوث هذه الظاهرة.

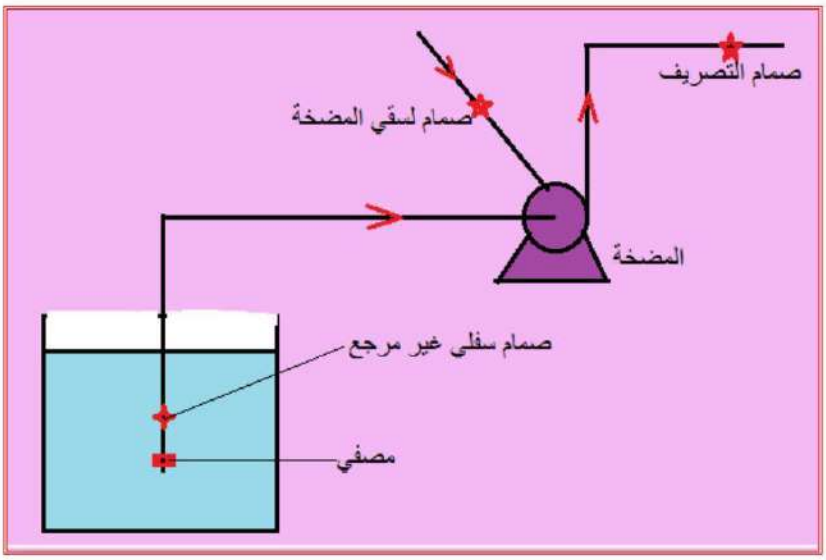
وتخضع الشبكات في حالة نصب المضخات إلى معادلة الطاقة لتكون في هذه الحالة:

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{{v_1}^2}{2g} + Z_1 + h_p = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{{v_2}^2}{2g} + Z_2 + h_L$$

إذ إنّ:

h_pضغط المضخة، h_Lالخسائر الرئيسة والثانوية.

وفي حالة المضخات المستعملة لسحب السائل من موقع منخفض، مثل سحب الماء من الآبار فيتطلب ذلك نصب مصفاة وصمام غير مرجع في بداية أنبوب السحب يسمى الصمام السفلي (Foot Valve)، وكما هو مبين في الشكل (6-6).



الشكل 6-6 مضخة لسحب السائل من منسوب منخفض

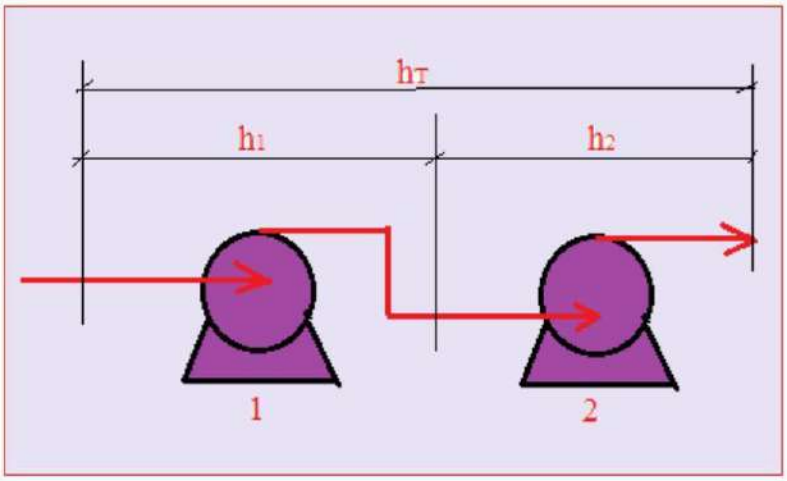
4-6طرق ربط المضخات Pumps Connection Methods

يتطلب ضخ السوائل أحياناً استعمال اكثر من مضخة واحدة، ويمكن ربط المضخات اما على التوالي أو على التوازي، أو قد تتطلب الحاجة أحياناً إلى الطريقتين مع بعض بحسب متطلبات عمل الشبكة.

في ربط التوالي للمضخات يستعمل لغرض زيادة ضغط المائع (زيادة منسوب الارتفاع)، وكما هو موضح في الشكل (6-7) إذ يتصل أنبوب الدفع للمضخة الأولى بأنبوب السحب للمضخة الثانية فيصبح العمود الكلي الناتج من المضختين (h_T) الذي يساوي مجموع العمودين (h_1) و (h_2)، بينما يبقى التصريف ثابتاً،وكما في أدناه:

$$h_T = h_1 + h_2$$

$$Q_T = Q_1 = Q_2$$

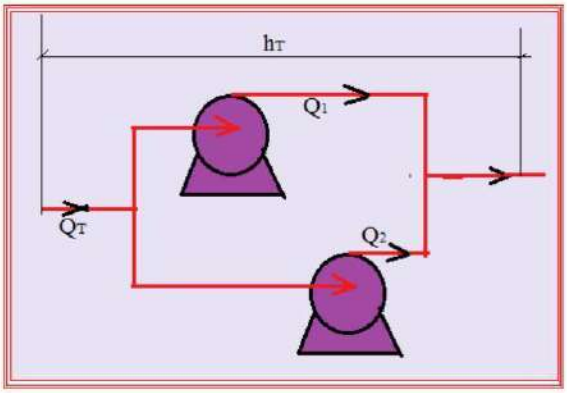


الشكل 6-7 ربط مضختين على التوالي

أما ربط التوازي فيستعمل لغرض زيادة كمية التصريف في الشبكة ولا تكون هنالك زيادة في الضغط (ارتفاع المنسوب) فسوف يصبح العمود الكلي ثابتاً، بينما يصبح التصريف مساوياً لما تدفعه المضختان، كما هو مبين في الشكل (6-8). يكون مقدار كمية التصريف والضغط كالآتي:

$$h_T = h_1 = h_2$$

$$Q_T = Q_1 + Q_2$$



الشكل 6-8 ربط مضختين على التوازي

في بعض الشبكات الكبيرة والمعقدة يتطلب الأمر نصب مجموعة من المضخات يربط جزء منها على التوالي والآخر على التوازي لزيادة الضغط والتصريف ويسمى هذا النوع من الربط بالربط المختلط.

5-6 قدرة وكفاءة المضخات Power & Efficiency of Pumps

تُعرف القدرة (Power) على أنها الطاقة المبذولة في وحدة الزمن، ووحداتها هي (J/sec) أو (واط W)، تجهز المضخة عادة بمقدار معين من الطاقة سواء كانت طاقة كهربائية أم طاقة مستمدة من الوقود فتقوم بتحويلها ميكانيكياً إلى الشغل الذي يصرف على دفع السائل في المنظومة. علماً بأنّ القوة التي يكتسبها المائع من المضخة تساوي الشغل مضروباً في معدل الجريان وكالآتي:

$$P = \gamma \times Q \times h_P$$

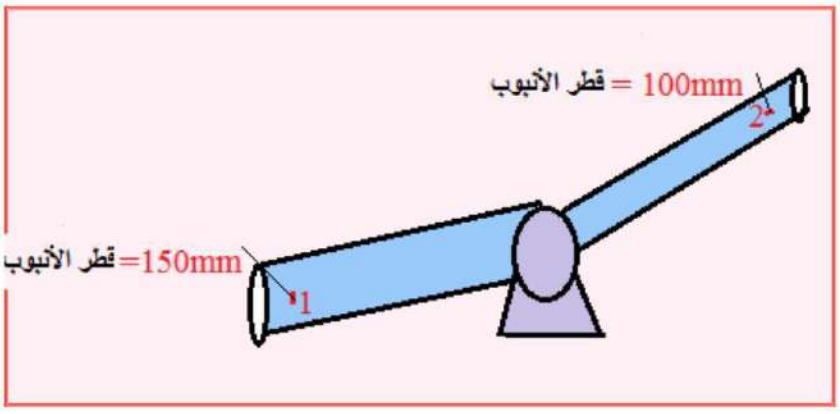
أما الكفاءة (Efficiency) فتعرف بأنها مقدار الطاقة الخارجة من الجهاز التي يُستفاد منها مقسوماً على الطاقة المجهزة للجهاز، إذ يتبدد جزء من الطاقة في المضخة في أثناء تحويلها من شكل إلى آخر بسبب الاحتكاك أو تسرب الطاقة الحرارية منها مباشرةً إن وجدت، وفي حالة استعمال محرك كهربائي لتشغيل المضخة هنالك خسائر تتعلق بقدرة المحرك الكهربائي وبحسب الكفاءة الكهربائية للمحرك، فضلاً عن ضياع الطاقة بسبب الاحتكاك، ويرمز للكفاءة بالرمز (η).

$$\eta = \frac{\text{Output Power}}{\text{Input Power}}$$

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}}$$

مثال(6-1)

في الشكل (6-9) الموضح قي أدناه، احسب قدرة المضخة إذن علمت بأن معدل الجريان يساوي (28لتر\ثا) وقراءة المانومتر بين النقطتين تساوي 30 م، ثم جد مقدار القدرة الداخلة للمضخة إذا كانت كفاءتها تساوي (85%).



الشكل 6-9 مخطط المثال (6-1)

الجواب

المتر المكعب يساوي 1000 لتر، إذن28 لتر / ثا = 0.028 م^3/ثا

$$v_1 = \frac{Q}{A_1} = \frac{4 \times 0.028}{\pi \times 0.15^2} = 1.6 \text{ m/sec}$$

$$v_2 = \frac{Q}{A_2} = \frac{4 \times 0.028}{\pi \times 0.1^2} = 3.6 \text{ m/sec}$$

نطبق معادلة حفظ الطاقة بين النقطتين (1،2)

$$(v_1^2/2g) + (P_1/\gamma) + (Z_1) + h_p = (v_2^2/2g) + (P_2/\gamma) + (Z_2) + h_L$$

بما أنه أعطى في منطوق السؤال فرق المانومتر بين النقطتين وذلك يعني أن الحاصل الجبري لحدود الضغط والمنسوب يكون لصالح الطرف الأيمن (بعد المضخة).

كذلك لم يذكر في السؤال إن الأنابيب خشنة، لذا تهمل خسائر الاحتكاك الرئيسة، ومن الشكل ولعدم وجود ملحقات أو صمامات لذا تعّد هنالك خسائر ثانوية، أي بعّد المقدار (h_L) يساوياً للصفر.

تصبح معادلة الطاقة كالآتي:

$$\frac{1.6^2}{2 \times 9.81} + h_p = \frac{3.6^2}{2 \times 9.81} + 30$$

$$h_p = 30.5 \text{ m}$$

$$P_{out} = \gamma \times Q \times h_p$$

$$P_{out} = 9810 \times 0.028 \times 30.5 = 8377.7 \text{ W} \approx 8.4 \text{ kW}$$

$$\eta = P_{out} / P_{in}$$

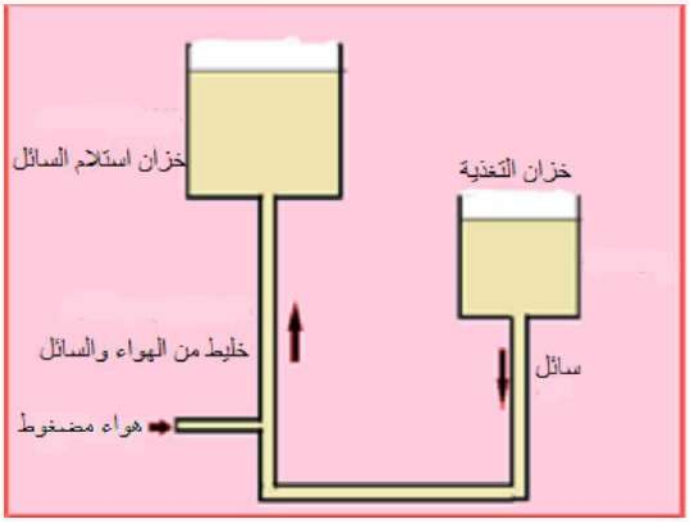
$$0.85 = \frac{8.4}{P_{in}} \quad \Longrightarrow \quad P_{in} = 9.8 \text{ kW}$$

تذكر

عند تطبيق معادلة الطاقة بين نقطتين إحداهما قبل المضخة والأخرى بعدها فيتم زيادة قدرة المضخة للنقطة التي قبل المضخة، بينما تزداد خسائر الاحتكاك للنقطة التي تلي المضخة.

6-6 استعمال الغاز المضغوط لضخ السوائل

يستعمل الهواء المضغوط لنقل المواد الكيميائية من موقع إلى آخر في الوحدات الصناعية، كما يستعمل لتفريغ الأوعية من السوائل المسببة للتآكل والصدأ، وتُعد المضخة الرافعة بالهواء أهم وسائل الضخ التي تستعمل الهواء المضغوط، وتتألف هذه المضخة من ذراعين أحدهما قصير متصل بخزان تغذية السائل، والآخر متصل بالخزان المراد ضخ السائل إليه.ويحقن الهواء المضغوط في أسفل الذراع الطويل فيسحب السائل معه ويندفع مزيج السائل والهواء إلى الأعلى، لاحظ الشكل (6-10). ورغم أن كفاءة المضخة منخفضة مقارنة بمضخة الطرد المركزي إلا أنها تستعمل بكثرة لضخ النفط الخام من الآبار.



الشكل 6-10 المضخة الرافعة بالهواء

أسئلة الفصل السادس

س1) عرف المضخة، واذكر أهم العوامل التي تؤخذ بعين الاعتبار عند اختيار نوعها، وأهم الملاحظات اللازمة عند نصب المضخات.

س2) ماهي ظاهرة التكهف، اذكر أسبابها، وطرق الوقاية منها.

س3) علل ما يأتي:

1. كلفة شبكة تستعمل مضخة الطرد المركزي أعلى بكثير من غيرها من أنواع المضخات.
2. تستعمل المضخات ذات المسننات في ضخ المواد اللزجة الناتجة من التقطير في الصناعات النفطية.
3. استعمال مصفاة في أنبوب السحب في المضخة عند نصب المضخات.

س4) عرف الربط المختلط، ومتى يُلجأ إليه، اذكر أسباب ذلك.

س5) عرف الصمام السفلي (Foot Valve).

س6) مضخة تستعمل لرفع الماء من الطابق الأرضي إلى سطح البناية من خلال أنابيب قطرها (100 ملم) وبسرعة ضخ مقدارها (15 م\ثا)، فإذا كان ضغط المضخة يساوي (30 م) وكفاءتها (90%) احسب القدرة الخارجة منها.

ج/ (31.5 kW)

س7) مضخة بقدرة (7.5 كيلو واط) وكفاءة قدرها (70%)، تم توصيلها بخط أنابيب بتصريف مقداره (0.1 $م^3$\ ثا) وكان قطر خط السحب (15 سم) وقطر خط الدفع (12 سم)، فإذا كانت المضخة تقع على ارتفاع (1 م) من الخزان السفلي للماء وكان ضغط خط السحب (70 كيلو نيوتن\ $م^2$)، احسب الضغط عند حافة الضخ بوحدات المتر.

ملاحظة: استخدم معادلة الطاقة بين نقطتي السحب والضخ بعد استخراج السرع.

ج/ (9.2 m)

الباب الثاني

الخصائص الكيميائية والفيزيائية للماء

Chemical and physical Characteristics of Water

الأهداف

الهدف العام:

يهدف هذا الباب إلى التعرف على مبادئ علم الهيدروليك وخصائص الموائع والمعادلات الأساسية التي لها علاقة بالموضوع.

الأهداف الخاصة:

نتوقع أن يكون الطالب قادراً على أن:

1. يتعرف على آلية جمع العينات.
2. يتعرف على المحاليل القياسية.
3. يتعرف على نوعية الماء وجودته.
4. يتعرف على متطلبات الماء الصالح للشرب.
5. يتعرف على الخصائص الفيزيائية للماء.
6. يتعرف على المواد العالقة والذائبة والراسبة.
7. يتعرف على الخصائص الكيميائية للماء.
8. يتعرف على طرق التبادل الأيوني.
9. يتعرف على ضرورة التبادل الأيوني.
10. المواد المستعملة في التبادل الأيوني.

الفصل السابع

نوعية المياه

WaterQuality

تعلم المواضيع

- العوامل المؤثرة على نوعية المياه.
- تأثير نوعية المياه على صحة الإنسان.
- مظهر الماء.
- رائحة الماء.
- فحوصات الماء.
- جمع العينات.
- متطلبات الماء الصالح للشرب.
- الآثار الصحية لبعض المواد الموجودة في المياه.
- المواصفات العالمية لمياه الشرب.

نوعية المياه

نوعية المياه

Water Quality

7-1مقدمة Introduction

يختلف مفهوم نوعية المياه من شخص لآخر، استناداً إلى الطريقة أو التطورات التي يقترب فيها أولئك الأشخاص من هذا المفهوم. وعموماً فإن نوعية المياه تمني جميع الخصائص جيدةً كانت أم سيئة، والمتعلقة بقبول تلك المياه من جانب الغرض من استعمالها، ومن الناحية الفنية فإن هذه الخصائص يمكن أن تكون فيزيائية وكيميائية وبيولوجية والتي يستدل من خلالها على نوعية المياه المطلوب استعمالها .

ومند تفسير مقادير خصائص المياه تظهر تغيرات واضحة في مفهومها وصلاحيتها لاستعمال تلك المياه لغرض ما، بسبب اختلاف وجهات نظر المشتغلين بها. فالصناعي مثلاً يفهم نوعية المياه باتجاه معين، في حين يفسرها صياد السمك من وجهة نظر أخرى مختلفةً تماماً من الاتجاه الأول، كما إن محبي الطبيعة يفسرون نوعية المياه من خلال جماليتها واستخداماتها المفيدة في السياحة وأنواع الرياضة المختلفة، ليأتي بعد ذلك مختصو البيئة ليفسروها تفسيراً يختلف من كل المفاهيم المذكورة في أعلاه وهكذا.

لعل هذه الاختلافات في تفسير نوعية المياه هي التي أدت إلى وجود التفاوت الواضح في وجهات نظر المشتغلين بهذا الحقل، مما يحدد أهمية البيانات المتحصلة وكفائتها حول نوعية المياه لأن تصلح لغرض معين، أم يجب أن تُتخذ بعض الإجراءات أو تعد البيانات كي تكون نوعية المياه مستوفية الشروط المطلوبة لذلك الغرض من الاستعمال.

سيتم في هذا الفصل مناقشة هذه الأفكار وتقديم بعض المعايير المهمة التي يكثر استخدامها لغرض تحديد نوعية المياه.

7-2 العوامل المؤثرة على نوعية المياه

Factors Affecting the Water Quality

إن تدني نوعية المياه وتدهورها يحدث مندما يتم تحميل البُنى التحتية الخاصة بمعالجة مياه الصرف الصحي المنزلية والمياه الصناعية فوق طاقتها التصميمية، أو في حالة عدم وجود هذه البُنى التحتية أصلاً، أو بسبب قدمها وتصريف النفايات الملوثة السائلة والصلبة بشكل مباشر إلى البيئة المحيطة، ثم إلى المياه السطحية أو الجوفية. وقد يكون تحسين وتوسيع البُنى التحتية مكلفاً للغاية ولهذا فإنه لايساير التطورات السريعة بشكل عام.ولذلك تظهر إدارة المياه الملوثة كنوع من التحدي

العالمي الكبير. وفضلاً من هذا، فإن الإنتاج الزراعي والصناعي يؤدي إلى نشوء مشاكل تلوث جديدة، التي بدورها أصبحت من بين أكبر التحديات التي تواجه موارد المياه في أنحاء كثيرة من العالم.

إن نوعية المياه تتأثر كذلك بكميات المـواد العضوية الموجودة في مياه الصرف الصحـي، وبالعوامل الممرضة ومن بينها الفيروسات الموجودة في ضمن التدفقات السائلة الناتجة من المخلفات المنزلية، من طريق الجريان . المطر يعبرالأراضي الزراعية التي تؤدي إلى استنزاف الأوكسجين ونشوء ظاهرة النمو الطُحلبي ضمن المتسلمات المائية، ومن تملح التربة الناتج من الري ومن عمليات تحويل اتجاه المياه، وبالمعادن الثقيلة، وبالتلوث النفطي،وبالتلوث الحراري بسبب عمليات التبريد الصناعي وعمليات التخزين.

كما يؤثر تغيرالمناخ ، وخاصة ارتفاع درجات الحرارة والتغيرات في الأنماط الهيدرولوجية ،مثل حالات الجفاف والفيضانات،في نوعيةالمياه ويزيد من تلوثها بالرواسب والمغذيات والكربون العضوي المنحل، والمبيدات الحشرية والأملاح، وكذلك التلوث الحراري .فضلاً من ذلك،فمن المتوقع أن يؤدي ارتفاع منسوب مياه البحرإلى توسيع المناطق التي تزداد فيهاملوحةالمياه الجوفيةومصبات الأنهاروبالتالي يؤثرذلك على وفرةالمياه العذبة للبشروللنظم البيئية في المناطق الساحلية.

3-7 تأثير نوعية المياه في صحة الإنسان Water Quality Effect On Human Health

تُعد النوعية الكافية للمياه أساسية لضمان وجود بيئة سليمة لضمان صحة الإنسان. إن الاحتياجات الأساسية لأغراض الشرب والمرافق الصحية للشخص الواحد في اليوم تتراوح بين (20– 200)لترمن المياه الخالية من الملوثات الضارة والعوامل المُمرضة، ويرتفع هذا الرقم إلى (300) لتر اعتمادا على الجانب الحضاري وتطور المجتمع.

لكن في بعض البلدان ،لا يتم توفير كمية المياه اللازمة يومياً للشرب والمرافق الصحية بالنوعية المطلوبة.فالبلدان النامية التي تشهد توسعاً عمرانيا سريعاً تعاني من نقص مرافق معالجة مياه الصرف الصحي وهو ما يؤدي إلى تلوث مياه الشرب،وبذلك يصبح سببا رئيساً للمرض والموت.

واستناداً إلى منظمة الصحة العالمية،تحدث 4مليارات حالة من الإسهال كل عام فضلاً من ملايين الحالات الأخرى من المرض التي ترتبط بنقص الحصول على المياه الآمنة للاستهلاك البشري. ويموت كل عام1,7مليون شخص بسبب الإسهال، معظمهم من الأطفال دون سن الخامسة. وتتأثر صحة الإنسان بصورة خطيرة بسبب الأمراض المتعلقة بالمياه (مثل الكوليراوالتيفوئيد).

وعلى الرغم من التحسن التدريجي في توفير خدمات الصرف الصحي منذ عام 1990،فإن توفيرالمياه الصحية والصرف الصحي لقطاعات كبيرة من السكان مايزال يمثل تحدياً كبيراً،مايزال هناك

1,1 مليارمن السكان في جميع أنحاء العالم لايستطيعون الحصول على إمدادات مياه سليمة ومحسنة ، وهناك أكثر من 2,6 مليار من السكان لايستطيعون الحصول على خدمات صحية محسنة. وتوجد الثغرات الأكبر في أفريقيا بجنوب الصحراء الكبرى، ثم في غرب آسيا وآسيا الأوروبية بدرجة أقل.

4-7 مظهر الماء Water Appearance

يُعَّد مظهر الماء على الأغلب هو المؤشر الواضح لنوعية المياه الذي يقوم الناس بملاحظته، ولكنه لا يُعَّد مؤشراً دقيقاً لصحة المجرى المائي ويتم أخذه بعين الاعتبار بشكل أفضل مندما يتم ربطه ببيانات أخرى سوف نقوم بجمعها،أما المجاري المائية الكبيرة فتتفاوت في المدى ومن الصافية إلى البنية،بينما تُعد المجاري المائية الصغيرة في الأغلب صافية بلورية، كما في الشكل (7-1).

الشكل 7-1 جمالية الماء ونقاوتُهُ

إما ألوان المجرى المائي المألوفة ومسبباتها المحتملة فهي كالآتي:

أ - البنيّ: ينتج على الأغلب من تحلل المواد العضوية في المجرى المائي، وغالباً ما تكوّن المجاري المائية التي يتم تصريفها إلى الأراضي الرطبة بقعة بنيّة قاتمة جداً.

ب - الصافي: ترتبط هذه الصفة مع المياه ذات الحجم الكبير، ولكن ربما يتم تلوث المياه الصافية بمواد عديمة اللون. وتشير المياه الصافية جداً من عدم وجود أية كائنات حية إلى مشكلة تلوث خطيرة.

ج - الزبد: ينتج من الطحالب العائمة أو تحلل المواد النباتية.

د ـ اللمعان المتعدد الألوان: اللمعان الكثيف يشير إلى زيوت طافية من عمليات التخلص من النفايات أو الجريان من المجاري، والطرق ومناطق وقوف السيارات. وينتج اللمعان الخفيف من التحلل الطبيعي للنمو الخضري.

هـ ـ الرغوة: إذا كانت الرغوة رقيقة إلى حد ما بارتفاع أقل من (15)سم فوق سطح الماء، ورمادية فأنها ناتجة من زيوت طبيعية، وحبيبات تربة وحبوب اللقاح. أما الرغوة السميكة (أكبر من 15 سم فوق سطح الماء) فإنها ناتجة من مواد تنظيف أو جريان فضلات حيوانية.

و ـ الحليبي: يشير هذا اللون إلى تصريف لب الخشب أو صناعة الورق، وعمليات صناعة الألبان أو ترسبات طبيعية.

ر ـ العكارة: تنتج من الكميات العالية من الترسّبات وكذلك يُعَّد مؤشراً على الانجراف في أعلى المجرى المائي، آخذين بعين الاعتبار نوع المجرى المائي وموقعه، وكمية الترسبات، والعواصف الجديدة، أو الحوادث الموسمية مثل ذوبان الثلوج.

ز ـ البرتقالي/الأحمر: يشير إلى جريان من المناجم أو آبار البترول، وربما ينتج بشكل طبيعي من الصرف من خلال التربة الغنية بالحديد أو التنيك (حامض التنيك).

ح ـ الأخضر: الماء المخضر قليلاً ينتج من وجود نباتات صغيرة جداً أو طحالب وفي العادة يشير إلى ظروف صحية (غير ملوثة). وينتج الأخضر الداكن من الوفرة الزائدة للطحالب (العوالق النباتية)، أحمال المغذيات المركزة من الأسمدة، والفضلات الحيوانية، وكذلك سوء معالجة مياه الفضلات غالباً ما تشجع على تركز كميات كبيرة من الطحالب.

5-7 رائحة الماء Water Odor

تُعد الرائحة من الوسائل المفيدة الى جانب معايير اخرى التي يمكن بواسطتها تحديد مديات تلوث الماء من عدمه وهي على النحو الاتي :-

أ- رائحة البيض المتعفن:- وهي رائحة كبريتية غالباً ما تشير الى تلوث الماء بفعل فضلات المجاري او الحيوانات وعملية التحلل اللاهوائي (من دون اوكسجين) بالإضافة الى المعادن التي تُطلق من ينابيع الكبريت تتسبب ايضا بهذه الرائحة.

ب- رائحة الكلور:- هذه الرائحة تنتج من الكلورة المتركزة لمياه الصرف الصحي المُعالجة

6-7 الخلفية التاريخية Historical Background

يُعد توافر المياه بكمية كافية وأمينة ضرورياً لحياة الإنسان وبقائه، وقد انتبه القدماء إلى أهمية توافر المياه بالكم الكافي وقامت الحضارات العريقة حول الأجسام المائية التي كانت تجهز الماء الكافي لأغراض الزراعة والنقل فضلاً من الشرب.

أما تطور مفهوم الإنسان لنوعية المياه فقد تطور ببطء إذ كان الاعتقاد السائد لوقت طويل إن مفهوم نوعية المياه تمني وجود الطعم والرائحة واللون ولاشيء غيرها، ومع بداية منتصف القرن التاسع عشر استدل الدكتور جون سنو John Snow على العلاقة بين مياه الفضلات التي تطرح من طريق مختلف الأنشطة البشرية إلى الأجسام المائية وبين الأمراض المختلفة،إذ وجد إن هنالك ارتباطاً وثيقاً بين حالات الإصابة بالكوليرا من الماء المجهز من طريق الآبار الملوثة. ومحاولة منه لمنع تفشي هذا المرض قام الدكتور سنو برفع المضخات المنصوبة على مثل هذه الآبار.

جاء بعدها العالم باستور وآخرون في نهاية القرن التاسع عشر الذين أكدوا نظرية الأمراض المنتقلة بالمياه Diseases Waterborne. ونتيجة لذلك بدأت علوم كيمياء المياه والبيولوجيا بالتطور إذ أمكن بعدئذٍ معرفة العديد من المواد الكيميائية الموجودة في المياه نتيجة الاستخدامات الزراعية والصناعية.

ومع تطور العلوم وتطور فكر الإنسان تمكن من تصنيع العديد من الأجهزة والمعدات التي يمكن أن تستخدم في فحوصات المياه، وتم بوساطتها اكتشاف العديد من المواد الكيميائية التي كانت غير معروفة في السابق فضلا من اكتشاف المناصر الاستدلالية Trace Element التي تستعمل في الاستدلال على وجود الملوثات .

7-7 فحوصات الماء Water Tests

من الضروري أن يمتلك الماء المستعمل لغرض معين بعض الخصائص المعينة التي تتطابق مع المواصفات الموضوعة لهذا الاستخدام، فعلى سبيل المثال يجب أن يكون الماء المجهز لأغراض الشرب سائغاً وخالياً من الشوائب غير المرغوبة. كما إن الماء المستخدم في صناعة معينة يجب إن يكون خالياً من المواد التي تؤثرفي تلك الصناعة، وهكذا. ولغرض التأكد من صلاحية الماء المجهز لشتى الأغراض تُجرى عليه العديد من الفحوصات المختلفة للتأكد من مطابقة خصائص الماء المجهز وطبيعة تلك الأغراض.

تساعد هذه الفحوصات في الأمور الآتية:-

أ- يمكن تعيين أو تحديد الخط العام لعمليات التنفيذ المطلوبة استناداً إلى نتائج هذه الفحوصات.

ب- يمكن اعتماد هذه الفحوصات في التشغيل اليومي لمحطات تصفية المياه.

ج- التأكد من نوعية الماء الخام المُجهز ومحتواه من الشوائب.

د- التأكد من مطابقة الماء المُعالج الذي سيتم توزيعه للمستهلك مع المواصفات الموضوعة.

7-7 جمع العّينات Samples Collection

يجري عادة أخذ عدة عينات من المياه ومن عدة مواقع لغرض جعل هذه العينات تمثل مصدر الماء المُجهز، ويُراعى مند أخذ العينات الملاحظات الأتية:-

1. إذا كان مصدر الماء صنبور(حنفية) فيجب أن تفتح الحنفية لبرهة من الزمن لتنساب من خلالها كمية كافية من الماء قبل أخذ العينة، منعاً للتلوث الذي قد يحدث في الماء.
2. إذا كان مصدر الماء نهراً أو بحيرةً أو جدولاً فيجب أخذ العينة من عمق(40 -50)سم تحت سطح الماء وعلى مسافة تبعد (2-3)م من حافة النهر، لتجنب جمع الشوائب المتراكمة على سطح الماء كأوراق الأشجار والزيوت وغيرها.
3. إذا كان مصدر الماء بئراً طبيعية أو محفورة فيجري ضخ كمية مناسبة من الماء قبل أخذ العينة.

وعادة تستعمل قنانٍ بلاستيكية نظيفة لأغراض الفحوصات الفيزيائية، أما إذا كانت الفحوصات كيميائية فيجري أخذ العينات بوساطة قناني زجاجية نظيفة ومعقمة سعتها لترين فأكثر. وتجرى الفحوصات البكتريولوجية بكثير من الحذر إذ يتوجب في الشخص الممني بأخذ العينات أن يكون معافى من الأمراض، فضلاً من ضرورة غسل القناني بحامض الكبريتيك ودايكرومات البوتاسيوم ومن ثم غمرها بالماء المقطر وتعقيمها، وبعد أخذ العينات تُغلف هذه القناني بإحكام وتغطى بقماش لمنع تراكم الغبار عليها وتلوثها. يُفضل في كل الأحوال إجراء الفحوصات على عينات الماء بأسرع وقت ممكن.

8-7 القواعد العامة لجمع عيّنات المياه

General Rule of Water Samples Collecting

يجب مند جمع عينات مياه الشرب مراعاة الآتي:

- اتخاذ الاحتياطات اللازمة لحماية العّينات، ومصادرها وأوعية جمع العينات من أي تلوث غير مقصود.
- أن يكون حجم العيّنات كافٍ لإجراء الاختبارات المطلوبة، وأن تُجمع العينات على فترات متقاربة لتسمح بإجراء الاختبارات الضرورية بدقة.
- أن تُجمع العينات وتُعبأ وتُنقل بطريقة تحمي المكونات أو الخصائص التي يُراد اختبارها من التغير.
- أن تكون الأوعية المستعملة لجمع العينات للاختبارات الكيميائية مصنوعة من الزجاج أومن اللدائن وحسب نوع التحليل المطلوب.
- أن تكون سدادات أوعية العينات المخصصة للاختبارات الكيميائية والطبيعية من الزجاج أواللدائن وحسب نوع التحليل المطلوب وتكون نظيفة ومغسولة جيداً.
- أن تُجمع العينات بمناية جيدة، والتأكد من أن العينة تمثل المصدر المراد فحصه، مع تجنب التلوث غير المقصود للعينة في أثناء الجمع.
- عدم ملء أوعية العينات حتى نهايتها مند جمع العينات.
- في حالة عدم تحليل العينات بشكل مباشر تُحفظ العينات مند درجة حرارة 4 ْس لمنع التبخرأو التحلل البيولوجي للمكونات المُراد تحليلها قبل الاختبارات التي تجرى للعينة.
- يزداد حامض النتريك النقي مباشرة بعد عملية الترشيح حتى يصبح الرقم الهيدروجيني(2)، وذلك لمنع ترسب الكاتيونات على جدران العبوة في حال تحليل الكاتيونات.
- زيادة 0.1 مل من محلول ثيوكبريتات الصوديوم لزجاجة جمع العينات قبل تعقيمهاإذا كانت المياه تحتوي على الكلور أو الكلورامين أو الأوزون لنزعها مند إجراء الفحص البيولوجي.

يمكن تلخيص القواعد التي يمكن استخدامها في جمع وحفظ العينات للفحوصات المختلفة من خلال جدول (7-1).

الجدول7-1 قواعد جمع العينات وحفظها

الفحص المطلوب	نوع العبوة	أقل حجم للعينة (مل)	طريقة الحفظ	الفترة الزمنية كحد أقصى للحفظ
درجة الحرارة	لدائن أو زجاج	100	يجرى الفحص مباشرة	15 دقيقة
الكلور المتبقي	لدائن أو زجاج	500	يجرى الفحص مباشرة	-
اللون والطعم	لدائن أو زجاج	500	التبريد مند 4 ْس	48 ساعة
التوصيل الكهربائي	لدائن أو زجاج	500	التبريد مند 4 ْس	-
العُسرة الكلية	لدائن أو زجاج	100	يزداد حامض النتريك والكبريتيك حتى يصل الـ pHإلىأقل من 2	6 أشهر
القاعدية	لدائن أو زجاج	125	التبريد مند 4 ْس	24 ساعة
النترات NO_3	لدائن أو زجاج	125	يجرى الفحص في نفس اليوم والتبريد مند 4 ْس	48 ساعة
الرقم الهيدروجيني	لدائن أو زجاج	500	يجرى الفحص مباشرة	15 دقيقة
الأمونيا	لدائن أو زجاج	125	يجرى الفحص في نفس اليوم و التبريد مند 4 ْس	7 أيام
العكارة	لدائن أو زجاج	500	يجرى الفحص في نفس اليوم أو الحفظ في	48-24 ساعة
الكلوريدات	لدائن أو زجاج	50	التبريد مند 4 ْس	28 يوم
الكبريتات	لدائن أو زجاج	100	التبريد مند 4 ْس	28 يوم
الأملاح الذائبة الكلية	لدائن أو زجاج	500	التبريد مند 4 ْس	-

7- 9 متطلبات الماء الصالح للشرب Potable Water Requirements

7-9-1 معايير وجودة مياه الشرب

الهدف من معايير وجودة مياه الشرب هو حماية الإنسان من الأمراض والمواد السامة التي تنتشر من طريق المياه والتي قد تؤدى إلى أمراض مزمنة أو سرطانية على المدى القريب أو البعيد طيلة حياة الإنسان، وتبدأ سلامة مياه الشرب وصلاحيتها للاستخدامات البشرية مند التأكد من:-

1. **حماية مصادر المياه من التلوث.**
2. **كفاءة طرق التنقية وخطواتها واستخدام مواد مطابقة للمواصفات القياسية في معالجة المياه.**
3. **الالتزام بالمعايير والمواصفات المُعتمدة.**

4. **الرقابة الصحية على مصادر التنقية وخطواتها والمياه المعالجة بالشبكات.**
5. **اكتشاف أي خطر يهدد سلامة المياه وصحة الإنسان واتخاذ الإجراءات اللازمة لمعالجته.**

وبحسب تقارير منظمة الصحة العالميةفإن نحو 80% من الأمراضفي دول العالم الثالث يرجع سببها الى المياه، وهنالك أربعةأنواع من الأمراض يدخل الماء كسبباً رئيساً لها مثل:-

1.شرب المياه الملوثة يسبب أمراض الكوليرا والتيفوئيدوالتهاب الكبد.

2 عدم توافر الماء النظيف للنظافة الجسدية يسبب أمراض الالتهابات الجلدية، التراكوما وحالات الإسهال المائي.

3 وجود طور ناقل للأمراض بالمياه مثل مرض الملاريا، داء الفيل والحُمى الصفراء.

4 دخول نواقل للأمراض مند تماس الماء بالجسد مثل مرض البلهارزيا.

7-9-2 مواصفات المياه

1.عدم تواجد المواد الضارة بالصحة وإن وُجدت يجب أن لاتتعدى حدوداً معينةفي المواصفة مثل:-

أ.المبيدات.

ب.الأسمدة.

ج.المعادن الثقيلة كالرصاص.

ح.المواد السامة مثل السيانيد.

هـ.الميكروبات المُمرِضة مثل بكتريا القولون ،البكتريا السبحية البرازية ، البرتوزوا.

2. مواد ليس لها آثار صحية ضارة ولكن غير مرغوب في وجودها مثل:

أ.اللون ب.العكارةج.الرائحة

3. مواد يجب توافرها في الماء لحاجة الجسم لها وهي المعادن الأساسية بجسم الإنسان مثل:

أ ـ الكالسيوم ب ـ المغنيسيوم ج ـ البوتاسيوم د ـ اليود

7-9-3 تحاليل المياه

تخضع المياه لعدة تحاليل منها:

1-تحليل ميكروبي: لتقويم المحتوى البكتيري للمياه.

2- تحليل فيزيائي: لتحديد المعايير الخاصة بالصفات الطبيعية لمياه الشرب وتشمل الرقم الهيدروجيني (PH)،الطعم والرائحة، العكارة،الأملاح الكلية الذاتية، والموصلية.

3- تحليل كيميائي: لتحديد المواد غير العضوية وتشمل العسرة الكلية ، الحديد، النترات، المنغنيز، الزنك، الكبريتات،الفلوريد، الصوديوم، الكالسيوم،الكروم،الرصاص،النحاس، الكلوريدات،الكربونات والبيكربونات.

7-9-4 شهادة الجودة

تُقارن النتائج بالمواصفات القياسية المُعتمدة ومن ثم تصدر شهادة جودة أو عدم جودة المياه.

7- 10الآثار الصحية لبعض المواد الموجودة في المياه

1- **النترات والنتريت:** إن الزيادة في نسب النترات والنتريت من المعدل المسموح به تؤدى إلى زرقة الأطفال. وفي البيئة اللاهوائية مثل المعدة يتحول النتريت إلى مركب النيتروزامين الذى يسبب سرطان المعدة.

2- **الرصاص:** هو منصر سام تراكمي داخل جسم الإنسان ويؤثر بشدة على الأطفال حتى عمر (6)سنوات وعلى الجنين والحوامل وتأثيره عاده ما يكون على الجهاز العصبي المركزي.

3-**الكروم:** هو منصر يسبب التسمم ويؤثر علي الجينات الوراثية ويسبب السرطان خاصة (Cr^{+6}) مند وجوده في الماء.

4-**الكبريتات:** تسبب تآكل أنابيب شبكات المياه.

5-**الصوديوم:** لايسبب تسمماً حاداً بسبب إفراز الكلى للصوديوم ولكن إذا كانت الكلى غير كاملة النمو فإنه يسبب قيئاً وتشنجات، كما يسبب ارتفاع ضغط الدم.

6-**الحديد:**له طعم مُر قابض مندما يكون تركيزه عالي ويساعد على نمو بكتريا الحديد كما يؤدي إلى تبقع الملابس والأدوات المعدنية والصحية.

7-**المنغنيز:**وهو أقل المعادن سُمية ويسبب طعماً ورائحةً وعكارةً في المياه مند زيادته من الحد المحدد له، كما قد يؤدي إلى أضرار صحية إذا انخفضت نسبته في جسم الإنسان مما يسبب ضعف النمو وعيوب العظام والجهاز التناسلي.

8-**الكلوريدات:** لاتسبب أعراضاً مرضية أو تسمماً إلافي حالات هبوط القلب.

9-**العكارة:** تقلل من فاعلية الكلور في تعقيم المياه. وهناك علاقة بينها وبين المحتوى البكتيري إذ

تلتصق المواد الغذائية على سطح الجزيئات المسببة للعكارة ممايساعد على نمو البكتريا وتكاثرها.

10-**الرقم الهيدروجيني(PH):**يجب أن تستخدم مياه ذات رقم هيدروجيني متعادل.

11-**المواد الأخرى:** التي قد تتواجد في الماء يُعَّد مواد سامة وخطرة في حالة ازدياد مقاديرها من الحدود المسموح بها المذكورة في الجدول (7-2)

11-7 المواصفات العالمية لمياه الشرب International Standards of Potable Water

■ يبين الجدول (7-2) الحد الأقصى المسموح به للشوائب المختلفة بوحدات (ملغم\لتر). وكذلك يبين المواصفات العالمية لمياه الصالحة للشرب

الشوائب	مواصفات منظمة الصحة العالمية	مواصفات الاتحاد الأوربي	المواصفات الأمريكية	المواصفات العراقية
اللون TCU	15	20	15	10
المواد الصلبة الذائبة	1000	-	500	1000
العكارة	5	4	5-1	5
الرقم الهيدروجيني	8.5-6.5	8.5-6.5	8.5-6.5	8.5-5.5
العُسرة	500	500	500	500
الأمونيوم	-	0.5	-	0.2
النترات	-	0.5	-	-
النتريت	-	0.1	-	-
الفوسفور	-	5	-	-
الصوديوم	200	170-150	-	200
الكلوريد	250	25	250	250
الكبريتات	400	25	250	400
الفلوريدات	1.5	1.5-0.7	2	-
البورون	-	1	-	-
السيانيد	0.1	-	-	-
الألمنيوم	0.2	0.2	-	0.2
الزرنيخ	0.05	0.05	0.05	-
الباريوم	-	0.1	1	-
الكادميوم	0.005	0.005	0.001	-
الكروميوم	0.05	0.005	0.05	-
النحاس	1	1	1	1
الحديد	0.3	0.3	0.3	0.3
المنغنيز	0.1	0.05	0.05	0.1
الزئبق	0.001	0.001	0.002	0.001
النيكل	-	0.05	-	-
السلينيوم	-	0.01	0.01	-
الزنك	5	-	5	3

أسئلة الفصل السابع

س1)اذكر العوامل التي تؤثر في نوعية المياه.

س2)ماهي الأمراض التي تسببها المياه؟

س3) اذكر ألوان المجرى المائي المألوفة مع مسبباتها.

س4) ماهي أنواع الروائح التي تصدر من المياه الملوثة؟

س5) لماذا يتم فحص المياه المجهزة من محطات التصفية؟

س6) اذكر معايير المياه الصالحة للشرب.

س7) ماهي الآثار الصحية المترتبة من وجود المواد الآتية في المياه:

المنغنيز الحديد الكبريتات الرصاص النترات والنتريت.

الفصل الثامن

الخصائص الفيزيائية للمياه

Physical Characteristics of Water

الفصل 8

محتويات

تعلم الموضوعات

- الشوائب الموجودة في الماء.
- المواد الصلبة.
- العكارة والكدرة.
- اللون.
- الطعم والرائحة.
- درجة الحرارة.

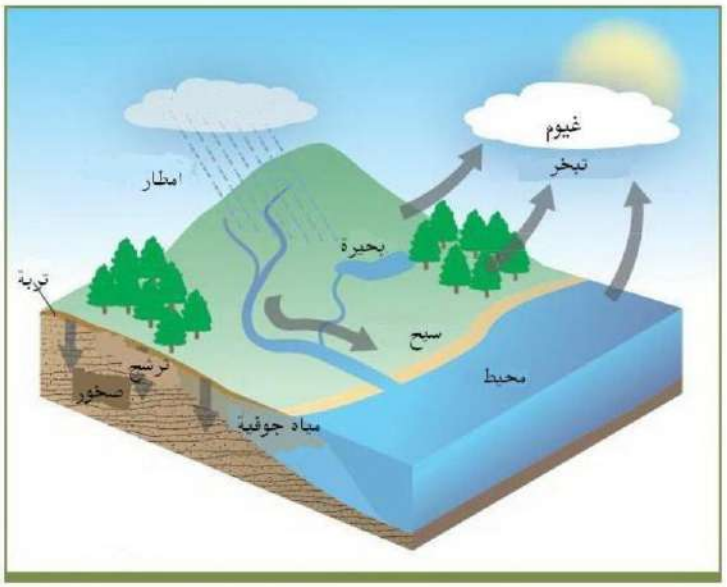
الخصائص الفيزيائية للمياه

الخصائص الفيزيائية للمياه

Physical Properties of Water

8-1 الشوائب الموجودة في الماءImpurities Existing in Water

إن فكرة الماء المطلق النقاوة لاوجود لها بتاتاً. فهذا الماء يحتوي على ذرتين من الهيدروجين وذرة واحدة من الاوكسجين ولاشيء سواهما. أما الماء المتواجد في الطبيعة فإنه يحتوي على عدد من الشوائب بمقادير مختلفة، حتى إن ماء المطر الذي يُعد نقياً نسبياً إلا أنه يمتص في أثناء سقوطه بعض الغازات والغبار وعند جريان المياه على سطح الأرض فإنها تجرف معها الغرين، والطين، وغيرها من الشوائب العضوية واللاعضوية لتصب في الأخير في الأنهار أو الجداول، كما مبين في الشكل (8-1).



الشكل 8-1 دورة الماء في الطبيعة

إن لمعرفة الخصائص الفيزيائية للمياه وفهمها أهمية بالغة وذلك لمعرفة مدى صلاحية المياه للاستهلاك البشري، ولتحديد مدى ملائمة عمل وحدات التنقية والمعالجة وكفاءتها وشبكات المياه، ومن أهم هذه الخصائص ما يأتي:

8-2 المواد الصلبةSolid Materials

تعرف المواد الصلبة بأنها تلك المواد الكلية المتبقية عند التبخر والتجفيف عند درجة حرارة 103إلى 105 درجة سيليزية. وتقسم المواد الصلبة على:

1-2-8 المواد الصلبة الذائبة

تتكون من الأملاح غير العضوية وبعض التراكيز للمواد العضوية في المياه الصالحة للاستعمال. إن المياه التي تحتوي على كميات عالية من المواد الصلبة الذائبة لها قبول واستساغة أقل ولاترضي المستهلك نفسياً،أما المياه المحتوية على نسبة عالية من المعادن فهي غير مقبولة للعديد من الصناعات.تنشأ المواد الذائبة نتيجة فعل الإذابة الذي يسببّه الماء عند تماسه بالمواد الصلبة والسائلة والغازية وهذه المواد قد تكون عضوية أو لا عضوية، تؤثر المواد الذائبة الكلية في نوعية المياه وكما يأتي:

1 - تقوم بإفراز الروائح وتكسب الماء لوناً مما يؤثر على جماليته، وتساعد في خلق ظروف لا صحية.

2 - تكون بعض هذه المواد سامة في طبيعتها أو سرطانية فتؤثر بذلك في الصحةالعامة.

3 -عند اتحاد عنصرين ذائبين مع بعضهما فإنهما يكونان مركباً يختلف في خصائصه عن الطبيعة الأصلية لكل من العنصرين المتحدين.

4 - هنالك حقيقة أولى بالاهتمام والملاحظة هي أن المواد الذائبة ليست جميعهاغير مرغوب بها فالماء غيرالمشبع قد يذيب المواد التي يتماس معها.

قياس المواد الذائبة

يمكن قياس المواد الذائبة الكلية بصورة مباشرة بتبخير عينة من الماء المرشح لإزالة المواد العالقة إذ توزن الرواسب المتبقية التي تمثل المواد الذائبة الكلية وعادة ما يعبر عنها بوحدات ملغم\ لتر.

مجموع المواد الذائبة (Total Dissolved Solids(TDS:

هي مجموع المواد الصلبة الذائبة في الماء ذوباناً حقيقياً بإذ تبقى مع الماء بعد عمليات الترشيح . وهي قياس لنسبة ملوحة الماء. وتقاس إما بالنسبة المئوية (%) إذا كانت كميتها كبيرة مثل مياه البحر التي تحوي في المعدل 3.5 % مواد صلبة مذابة. أي 3.5 غم / 100 مل ماء أو يُقال 35 غم لكل لتر. وتُقاس أيضاًبأجزاء المليون (ppm) إذا كانت كميتها ضئيلة، كأن تقول إن المياه تحوي على خمسة أجزاء من المليون من الرصاص، ويمكن أن نحول كلا النسبتين إذا علمنا أن (1% =100000) فتكون ملوحة مياه البحر تساوي 35000 جزء من المليون بينما تكون نسبة الرصاص المئوية في المثال السابق تساوي 0.0005 %.

تختلف المياه في نسبة الأملاح الذائبة بها، فمثلاً تصنف مياه الأمطار على انها الاقل ملوحة خاصة عندما يكون الجو نظيفاً غير ملوث بإذ تذيب بعض المواد. مما يؤدي إلى زيادة المواد الذائبة في مياه الأنهار. وتكون المواد الذائبة في المياه الجوفية أعلى من الأنهار بسبب مكوثها الطويل بين الصخور. إما البحيرات فتختلف ملوحتها تبعاً للموقع من الأرض وعملية التبخر وكمية المياه ومصادرها التي تمرعليها. وبشكل عام كلما كان مجموع المواد الذائبة أقل كانت أفضل للشرب والاستخدام. ويمكن قياس مجموع المواد الذائبة بعدة طرائق، فمثلاً يمكن أن يؤخذ حجم محدد بدقة من الماء في كأس ثم يسخينّ حتى يتبخر الماء جميعه فتكون المواد المتبقية في الكأس هي المواد الذائبة التي يُراد التعرف على نسبتها يتم وزنها وتُحسب نسبة وزنها إلى حجم الماء.

غير أن طريقة التوصيل الكهربائي Electrical Conductivityأسهل من الطريقة السابقة وأكثر سرعة إذ أن فكرتها الأساسية هي إنه كلما زادت المواد الذائبة في الماء كلما سهل مرور التيار الكهربائي، فالمياه المالحة أسهل توصيلاً للكهرباء من المياه العذبة وبالتالي تعطي قراءات أعلى من المياه العذبة. وبعبارة أخرى تكون المياه أكثر ملوحة كلما ارتفعت قيمة التوصيل الكهربائي. ويمكن استعمال العلاقة التقريبية الآتية لتحويل التوصيل الكهربائي إلى مجموع المواد الذائبة على درجة حرارة 25°س بوحدات (ملغرام\لتر):

$$TDS = EC \times 0.64$$

إذ إنّ ميكروسيمنز / سم هي وحدة قياس التوصيل الكهربائي التي يقرأها الجهاز.

والطريقة الأكثر دقة في تحديد مجموع المواد الذائبة هي تحليل الأملاح الذائبة في المياه والتي تمثل الأيونات الرئيسة الموجبة والسالبة مثلا لكالسيوم والمغنيسيوم والصوديوم والبوتاسيوم والكلوريد والكبريات والبيكربونات والنترات ومجموع هذه الأملاح يُقاس بالجزء من المليون أو الملغرام / لتر يمثل مجموع المواد الذائبة، إما فيما يتعلق بما تحويه المياه من مواد ذائبةأ خرى فتراكيزها قليلة بحيث لاتؤثر على المجموع الكلي للأملاح، وبشكل عام فإن نوعية الأيونات المذابة في المياه تقوم بدور مهم في تحديد استعمالات المياه ومن أهم هذه الأيونات:

1- الحديد Fe: يؤثر وجود أيون الحديد المذاب في المياه تأثيراً كبيراً على إمكانية استعمال المياه ويُعدُ وجود الحديد الذائب بتركيز أكبر من 0.3 جزء من المليون غير مرغوب في كثيرمن الصناعات والاستعمالات المنزلية لأنه يؤثر على الملابس وأدوات وأجهزة المطابخ فضلاً عن إعطاء المياه رائحة غير محببة، ويوجد الحديد عادة على شكل الحديد الثنائي Fe^{+2} الحديدوز والحديد الثلاثي Fe^{+3}(الحديديك ويتحول الحديدوز)بسهولة عند تعرضه للهواء الحاوي على الأوكسجين إلى حديديك، والحديديك قليل الذوبان إذ يترسب على شكل هيدروكسيد الحديديك $Fe(OH)_3$وهذا يشجع بكتريا الحديد التي تنمو في

مجموعات غروية مع أكاسيد الحديديك مما يؤدي إلى إغلاق مسام مصافي الآبار ويقلل من نفاذيتها وإنتاجية الآبار.

2- المنغنيز Mn: يشبه المنغنيز إلى حدٍ كبير أيون الحديد إذ تتحول بيكربونات المنغنيز إلى هيدروكسيد المنغنيز القليل الذوبان مما يشجع تواجد بعض أنواع البكتريا اللزجة والتي تعمل على إغلاق مسامات مصافي الآبار. ويمكن معالجة مشكلة مصافي الآبار بزيادة محلول هكسا-ميتافوسفات الصوديوم Sodium Hexa – Meta phosphate الذي يذيب مكونات الحديد والمنغنيز ويمنع ترسبهما.

3- الصوديوم Na: عنصر الصوديوم من الفلزات الشائعة في الماء. ويؤثر الصوديوم سلباً على استخدامات الماء في الزراعة إذ يكسب التربة خصائص قلوية ويقلل من نفاذيتها. ولا توجد مخاطر صحية للصوديوم في مياه الشرب إذ يعبر عنه بصفة مستساغ.

4- الكلوريدات Cl^-: يتفاوت تركيز الكلوريدات في المياه من منطقة لأخرى اعتماداً على الوضع الجيولوجي والهيدرولوجي للخزان الجوفي والصخور التي تجري فوقها المياه السطحية والتراكيز المرتفعة للكلوريدات (ما بين 250 و 350 جزء من المليون)التي تجعل المياه غير مستساغة للاستعمال المنزلي والصناعي.

5- الكبريتات $SO_4^=$: مصدر الكبريتات في المياه الجوفية أو السطحية ذوبان طبقات الجبس من مرور المياه من خلال أو فوق الطبقات الصخرية الحاوية على الجبس أو تأكسد الكبريتيدات مثل (كبريتيد الحديد).

وإذا ما احتوت المياه على أملاح كبريتات المغنيسيوم والصوديوم فإنها تميل إلى المرارة في الطعم وإذا تركز الصوديوم في التربة أثر سلباً على بعض النباتات فضلاً عن تأثيره على نفاذية التربة.

2-2-8 المواد الصلبة العالقةTotal Suspended Solids

تكون هذه المواد إما غيرعضوية مثل الطين والغرين أو تكون عضوية مثل ألياف النبات والمواد الصلبة الحيوية كالطحالب والبكتريا. وتعرف المواد الصلبة العالقة بأنها تلك المواد التي يمكن فصلها بالترشيح من خلال ورقة الترشيح . والمياه الحاوية على مواد صلبة عالقة غير مرغوبة للاستحمام،كما إنها تمثل مناطق امتزاز للمواد الكيميائية والحيوية. تتألف المواد العالقة في الماء من جسيمات عضوية أو لاعضوية.فالنوع الأول يضم على سبيل المثال أنسجة النباتات وخلايا الطحالب والبكتريا. الخ. في حين يتمثل النوع الثاني بجسيمات الغرين والطين ومكونات التربة الأخرى.

تصل المواد العالقة إلى الماء نتيجة التعرية والرياح،كما تتولد هذه المواد نتيجة مختلف الأنشطة البشرية. فمياه الفضلات المنزلية تحتوي على كميات كبيرة من هذه المواد والتي يغلب على طبيعتها العضوية .كما إنّ الاستخدام الصناعي يزيد مواداً عالقة بكميات كبيرة فضلاً عن أنّ تلوث الماء ببقع الزيت والدهون يمثل هو الآخر أحد مصادر المواد العالقة في الماء.

إن تأثير المواد العالقة على المياه يأخذ عدة وجوه، أهمها مايأتي:

1. تشويه الخاصية الجمالية للماء من خلال تسببها في زيادة تركيز العكارة في الماء.
2. تمنع وصول الشمس والهواء إلى الأعماق فتؤثر بذلك على عملية التركيب الضوئي على أنشطة الحياة المائية.
3. لما كانت هذه المواد عضوية في طبيعتها، فإنها تتحلل وتتفسخ مستنفدة بذلك الأوكسجين المذاب الموجود في الماء وبذلك تؤثر على حياة الكائنات المائية وبخاصة الأسماك، كما إن نقصان الأوكسجين المذاب في الماء يعمل على ظهور الطعم والرائحة فيه ويخلق بذلك ظروفاً لا صحية.
4. إن تحلل المواد العالقة قد يفرز موأّد سامة تؤثرفي استخدام الماء في الجوانب الصحية فضلاً عن التأثير الذي تلحقه عند استخدام الماء للأغراض المختلفة.
5. تعمل المواد العالقة عند ترسبها في القعر على تقليل السعة الخزنية للجسم المائي وبخاصة الخزانات، كما قد يتولد عنها قنوات (Channels) تعيق الملاحة وتعيق استخدام الجسم المائي في الجوانب السياحية والترفيهية.

قياس المواد العالقة

يوجد العديد من الفحوصات لقياس المواد العالقة معظمها يعتمد الجانب الوزني (Gravimetric)، ويتضمن فحص المواد العالقة في الماء سواء كانت عالقة أم مذابة، عضوية أم لا عضوية. وتتلخص الطريقة بتجفيف العينة بدرجة حرارة (104 ْس) ووزن المواد المتبقية، وعادةً ما يعبر عن الكمية الكلية بوحدة ملغم\ لتر أو جزء بالمليون.

الطريقة الأخرى هي ترشيح عينة الماء وبعد تجفيف الراسب المتبقي بدرجة حرارة(104°C) يمكن تعيين الكتلة المتبقية على المرشح والتي تمثل المواد العالقة. أما المواد الذائبة فتمثل الفرق بين المواد العالقة الكلية والمواد العالقة المتبقية على الراشح.وتجب الإشارة هنا إلى أن ترشيح عينة الماء لا يعطي مقدار المواد العالقة بصورة دقيقة إذ إن بعض الغرويات(التي هي مواد عالقة) قد تنفذ من خلال الترشيح وتحسب في ضمن المواد الذائبة ، كما إنَّ بعض المواد المذابة قد تمتص على ورقة الترشيح وتحسب ضمن المواد العالقة.

مثال8-1

جرى ترشيح عينة من الماء،احسب تركيز المواد العالقة في عينة الماء. إذا كانت النتائج كما يأتي:

1- وزن البودقة وورقة الترشيح بعد إجراءعملية الترشيح = 54,352غم

2- حجم الماء المترشح = 250مليلتر

3- وزن البودقة وورقة الترشيح بعد تجفيفها بدرجة 104 ْس = 54,398 غم

الحل

وزن المواد العالقة = 54,398 –54,352 = 0,046 غم = 46 ملغم

تركيز المواد العالقة = (وزن المواد العالقة 1000×مل/لتر) / حجم العينة (مل)

$$= \frac{1000\times46}{250} = 184$$ ملغم/ لتر

8-2-3 المواد الصلبة الطيارة والثابتةVolatile and Fixed Solids

وهذه المواد تعطي مقياساً لكمية المواد العضوية الموجودة في العينة ويتم هذا الاختبار بحرق المواد العضوية ومن ثم تحويلها إلى ثاني أوكسيد الكربون والماء عند درجة حرارة متحكم بها وتصل إلى 550 درجة سيليزية،وذلك بغية منع تحلل المواد غير العضوية وتطايرها.

8-2-4 المواد المترسبة

وهذه يقصد بها المواد العالقة التي يمكن ترسيبها في حالة سكون تحت تأثير قوى الجاذبية الأرضية.

أما بالنسبة لمياه المجاري فان المواد الصلبة تقسم على الأنماط المبينة في جدول (8-1)

الجدول 8-1 تقسيم المواد الصلبة

المواد الصلبة	مقاس الحبيبة $\times10^{-6}$ متر
المترسبة	أكبر من 100
المفرطة الغروية	100 -1
الغروية الحقيقية	1 -0.001
الذائبة	أقل من 0.001

أما بالنسبة لطرق قياس المواد الصلبة فمعظمها يتم بوساطة اختبارات الوزن والتي تقارن كتلة المواد الصلبة المتبقية مع حجمها.

مثال8-2

أوجد درجة تركيز المواد الصلبة الكلية والطيارة والثابتة لعينة ما مستخدماً المعطيات الآتية:

وزن البودقة الفارغة = 44.9432 غم

حجم العينة الموضوعة في البودقة والتي تم تبخيرها =100 مليلتر

وزن البودقة الثابت مع وزن المواد الصلبة المجففة في درجة حرارة 104°C = 44.9642 غم

وزن البودقة والمواد المجففة لدرجة حرارة 550°C = 44.9442 غم

الحل

لإيجاد كتلة المواد الصلبة الكلية:

كتلة البودقة + المواد الصلبة = 44.9642 غم

كتلة البودقة الفارغة= 44.9342 غم

تصبح كتلة المواد الصلبة مساويةً إلى 0.03 غم = 30 ملغم

كتلة المواد الصلبة الكلية = كتلة المواد الصلبة\حجم العينة

= 30×(100/1000) =300 ملغم\التر

لإيجاد كتلة المواد الصلبة الثابتة:

كتلة البودقة + المواد الصلبة الثابتة = 44.9442 غم

كتلة البودقة = 44.9342 غم

تصبح كتلة المواد الصلبة الثابتة مساويه إلى 0.01غم = 10 ملغم\التر

درجة تركيز المواد الصلبة الثابتة = 10×(100/1000) = 100 ملغم\التر

تركيز المواد الصلبة الطيارة = تركيز المواد الصلبة الكلية – تركيز المواد الصلبة الثابتة

= 300 - 100 = 200 ملغم\التر

8-2-5 استعمال فحص المواد العالقة

تستعمل المواد العالقة معياراً مهماً لمياه الفضلات فهي تحدد نوعية مياه الفضلات الخارجة من محطة التصفية وتساعد في مراقبة عدة وحدات في محطات المعالجة، وتحدد وكالة حماية البيئة الأمريكية (EPA)الحد الأقصى للمواد العالقة المسموح بطرحها في الماء بما مقداره (30 ملغم\ لتر).

8-3 العكارة أو الكدرة Turbidity

لا يجري قياس المواد العالقة للعينات المأخوذة من المياه المجهزة للشرب إذ أنّ طبيعة هذه المواد وتأثيراتها الثانوية أكثر أهمية من مقدارها الكمي في الماء، لذلك يتم إجراء فحص العكارة أو الكدرة لمثل هذه الحالات.والعكارة هي مقياس للمدى الذي يمتص فيه الضوء أو ينتشر عند وجود المواد العالقة في الماء. ولما كانت خاصيتا الامتصاص والانتشار تتأثران بحجم المواد العالقة وخصائصها لذلك تُعدّ العكارة مقياساً كمياً مباشراً للمواد العالقة.

تنشأ العكارة في المياه السطحية من جراء تعرية المواد الغروية كالطين والغرين وقطع الصخور وأكاسيد المعادن زيادة على الأنسجة النباتية والأحياء المجهرية المختلفة وتسهم مياه الفضلات المنزلية

التي تحتوي على مواد مولدة للعكارة كذلك الصوابين والمنظفات وغيرها في زيادة قيمتها في المياه السطحية.إن العكارة في المياه تكون بسبب المواد العالقة مثل الطين والأتربة والصخور المتكسرة والمواد الصغيرة، وللعكارة أهمية كبيرة في تحديد مدى صلاحية المياه للشرب وللاستعمالات المنزلية، إذ أن المياه الخالية من المواد العالقة تكون أكثر قبولاً للمستهلك، وفي حالة تعقيم المياه ذات العكارة المرتفعة بالكلور فإنها تستهلك كميةزائدة من الكلور في أثناء عملية التعقيم.

تُعبر العكارة بشكل عام عن قياس درجة الصفاء لعينة الماء لتقدير مدى خلوهامن المواد العالقة التي تؤثر في مسار حزمة الضوء عبر الماء، ويعتمد قياس العكارة على طول مسار الضوء خلال عينة الماء ووحدة قياسها هيNephelometric Turbidity Unit (NTU).وقد أجمعت معظم مواصفات مياه الشرب المحلية والعالمية على إنه في حالة وصول عكارة المياه إلى خمس وحدات NTU فإنه لا يسمح باستخدامها للشرب ويجب معالجتها للتخلص من العكارة.

8-3-1 تأثير العكارة

تؤثر العكارة على نوعية المياه بعدة وجوه من أهمها:

1- تشوه الخاصّية الجمالية للماء.

2- تعتمد كمية المادة المعقمة المزيدة للماء في عمليات التنقية على مقدار العكارة فيه،إذ أنَّ الأخيرة تُعدَ دالة على وجود الأحياء المجهرية.

3- تعرقل العكارة نفاذ الضوء والهواء إلى الأعماق فتؤثر في الحياة المائية والفعاليات الضوئية.

4- تراكم العكارة (الجسيمات) في قاع النهر أو الجدول من جراء الترسيب يؤثر في الحياة القعرية.

8-3-2 قياس العكارة

تُقاس العكارة بوساطة جهاز قياس العكارة Turbidimeter الذي يعتمد على كمية الهواء الممتص.وسابقاً كان يُعبر عن العكارة بوحداتJackson Turbidity Unites(JTU) التي تكافئ مقدار العكارة التي ينتجها(1ملغم) من أوكسيد السليكون(SiO_2) فيلتر واحد من الماء المقطر. كما كانت العكارة تُقاس سابقاً بوساطة شريط العكارة (Turbidity Rod) أو بمقياس جاكسون للعكارة (Jackson Turbidimeter) أو بجهاز بايلز (Baylis Turbidimeter)،إما في الوقت الحاضر فيعتمد جهاز العكارة على تشتيت الضوء في عمله لذلك فإن وحدات العكارة في هذه الحالة هي(NTU) التي تكافئ الوحدة السابقة.

تتراوح عكارة المياه السطحية بين عدة وحدات إلى مئات بل آلاف الوحدات. وتوصي مؤسسة حماية البيئة الأمريكية بعدم تجاوز العكارة في مياه الشرب وحدة واحدة. في حين تشيرمواصفات الوكالة الأمريكية لمياه الشرب(AWWA) بعدم تجاوز العكارة في مياه الشرب (2) وحدة. أما مواصفات مياه الشرب بحسب منظمة الصحة العالمية والتي يطبقها العراق فتشيرإلى عدم تجاوز هذه المواصفات (5) وحدات.

8-3-3 وصف العكارة أو الكدرة

إن كمية المواد العالقة في الماء، والكائنات الحية، والملوثات الأخرى تؤثر في العمق الذي يمكن أن يخترقه الضوء. ونطلق على تلك المادة المواد الصلبة العالقة. فكلما زاد تركيز المواد الصلبةالعالقة فإن الضوء لا يستطيع أن يخترق المياه لكامل عمقه. والدرجة التي فيها يمنع الضوء من الاختراق بوساطة المواد الصلبة العالقة يطلق عليها العكارة.

من العكارة يمكن استنتاج مقدار المادة العالقة الموجودة في الماء. والأنواع المعروفة من المواد الصلبة العالقة تشتمل على أجزاء صغيرة من التربة، ومواد نباتية، ومخلفات صناعية، وكائنات حية مجهرية. وأية عملية طبيعية أو اصطناعية تلقي موادها العالقة في الماء تسبب العكارة.

8-3-4 التأثيرات الطبيعية المؤثرة في عكارة المجرى المائي

- أنواع المواد التي تشكل قناة المجرى المائي: إذا جرت قناة مجرى مائي من خلال طبقة صخرية صلبة، فإن الانجراف سيكون أقـــل منه إذا كانت القناة تتألف بشكل رئيسي من تربة مفككة.
- أشكال الطقس الموسمية سوف تغير العكارة، وكل من ذوبان الثلوج في الربيع والأمطار تعملان على زيادة الجريان، الذي يعمل عموماً على زيادة العكارة.
- المجاري المائية الأصغر والتي لها سرعات عالية تحمل الرواسب التي انجرفت من المناطق المحيطة، وكذلك من جوانب المجاري المائية وقيمتها، والأنهر الكبيرة، التي عموماً تكون أعرض، وأبطأ وأكثر عرضة للشمس، ربما تحتوي على الكثير من النباتات الميكروسكوبية الصغيرة التي تزيد من العكارة ايضاً.
- جذور النباتات في كل من المناطق النهرية وعلى طول المستجمع المائي تساعد على المحافظة على التربة في خارج المجرى المائي مما يؤدي إلى تقليل العكارة، والأحداث الطبيعية المفاجئة والمثيرة مثل حرائق الغابات والفيضانات وعواصف الرياح ربما تعمل على تدمير النباتات مما يؤدي إلى الانجراف.

8-3-5التأثيرات الإنسانية المؤثرة في عكارة المجرى المائي

- استقرار جوانب المجرى المائي يساعد على تقليل الانجراف والعكارة. وبإمكاننا أن نحسّن استقرار الجوانب بوساطة المحافظة على نمو نباتي نهري كثيف وصحي أو وضع تعزيزات مثل أسلاك لف أو حجارة.
- في البرك وكذلك الأنهار الكبيرة ذات الحركة البطيئة فإن النشاطات التي تعمل على إدخال المغذيات (غذاء النبات) إلى المجرى المائي سوف تزيد من إنتاج الطحالب الميكروسكوبية وكذلك تزيد العكارة.
- أي نشاط يزيد من الانجراف في المجرى المائي سوف يزيد العكارة مثل بناء الطرق، والتطوير، والرعي الجائر في المناطق النهرية، وكذلك الصيد بشباك الجرأو زيادة أعماق القنوات.

8-3-6 مضار العكارة

إذا ما زادت عكارة المجرى المائي وتعدت المستويات الطبيعية، فإنها تفقد قابليتها على دعم الحياه المائية التي كانت قد تكيفت معها لتلك المستويات ومن خلال النقاط الآتية:

- المواد الصلبة العالقة تمنع أشعة الشمس من الوصول إلى النباتات المائية التي تنمو على قاع المجرى المائي، ومن عدم وجود ضوء فإن عملية التمثيل الضوئي لا يمكن أن تحدث مما يقلل ربما من تركيز الأوكسجين المذاب في الماء الذي يُعد ضرورياً من أجل بقاء الأسماك وكذلك الأحياء المائية الأخرى.
- العكارة تجعل من الصعوبة بالنسبة للأسماك أن ترى فريستها. والأحمال الثقيلة من المواد الصلبة العالقة يمكن أيضاً أن تعمل على انسداد خياشيم الأسماك وكذلك أجهزة التغذية المفلترة للافقاريات الكبيرة المائية.
- عندما تترسب المواد الصلبة فإنها ربما تغطي النباتات وتضرّها وكذلك والحيوانات الموجودة في القاع وكذلك أرضيات تفريخ الأسماك، والأسماك مثل السلمون المرقط (التراوت) الذي يضع بيوضه في أعشاش تفريخ تَّعدّ بشكل خاص معرضة للواسب في المجرى المائي.
- جميع المجاري المائية لها مستوى طبيعي من العكارة، بينما بعض أشكال الحياة المائية تحتاج إلى مياه صافية من أجل البقاء، وأنواع مائية أخرى تكيفت وتنمو بقوة في العكارة العالية.

4-8 اللون Color

تكون المياه النقية عادة عديمة اللون لكنها تتلون من جراء وجود مواد غريبة فيها. ويطلق مصطلح اللون الظاهريApparent Color عندما تكون المواد العالقة هي سبب اللون في حين يطلق اصطلاح اللون الحقيقي True Colorإذا كان سبب اللون وجود المواد المذابة.يتولد اللون في الماء بعد تماس الماء مع الأعشاب والأوراق والخشب وغيرها. فمثلاً وجود أكاسيد الحديد يعطي الماء اللون الأحمر وتعطي أكاسيد المنغنيز اللون القهوائي وهكذا،وبصورة عامة فإن الألوان تتكون في المياه من المصادر الآتية:

1- مصادر طبيعية مثل مستخلصات حطام المواد العضوية مثل أوراق الأشجار والخشب وفحم المستنقعاتPeat.

2- مصادر صناعية مثل فضلات المناجم وصناعة النسيج والورق والأصباغ.

3 - الحمأة المنزلية.

إن اللون في المياه الطبيعية ينتج من العديد من الجزئيات العضوية الكبيرة، والماء المطلق لا لون له. واللون في الماء يأتي من وجود أيونات معادن طبيعية مثل أوكسيد الحديد(اللون الأحمر) وأوكسيد المنغنيز (اللون البني أو الأسود) وفحم المستنقعات والأعشاب والفضلات الصناعية مثل صناعة النسيج وأعمال الدباغة وإنتاج الورق والكيمياويات وصناعة الأغذية وأعمال المناجم والتكرير.

ينقسم اللون على مايأتي:

1- اللون الظاهري: نسبة إلى وجود مواد في المحل ولفضلاً عن وجود مواد عالقة.

2- اللون الحقيقي: نسبة إلى وجود الخضراوات ومستخلصات المواد العضوية الغروية.وعادة ما ينتج اللون الحقيقي بفضل مواد موجودة في المحلول.

1-4-8 تأثير اللون

تتأثر نوعية المياه من جراء اللون من عدة وجوه:

1 - الخاصية الجمالية، فكلما كان الماء ملوناً كلما رفضه الذوق العام.

2 - في حالة وجود الماء ملوناً فان ذلك يؤثرعلى كثير من الاستخدامات مثل الكوي والصبغ وصناعة الورق وغيرها من الصناعات.

3 - يؤثر الماء الملون في الاستخدامات البشرية والمنزلية.

8-4-2 قياس اللون

يمكن قياس اللون بوساطة إحدى الطرائق الآتية:

1- طريقة المقارنة النظرية للعينة مع محاليل ذات درجات لون معروفة بوساطة أنابيب نيسلر Nesseler Tubes أو بالمقارنة مع أقراص زجاجية مدرجة ومخصصة لقياس اللون.

2- طريقة المطياف الضوئي Spectrophotometer.

3- الجهاز الحقلي Field kit.

إن الشائع من الطرائق في أعلاه هي طريقة المقارنة إذ تؤخذ عدة أنابيب تحوي ألواناً قياسية وتقارن مع عينات الماء المأخوذة ويعبرعن اللون بوحدات اللون الحقيقي إذ تكون كل وحدة مكافئة للون الذي يسببه (1) ملغم\لتر من مادة البلاتينيوم.

8-5 الطعم والرائحة Taste and Odor

يغلب في العادة استخدام هذين المصطلحين أحدهما في مكان الآخر بالنظر إلى أن المواد التي تصدر رائحة يصحبها في الغالب إعطاء طعم ولكن هنا يجب التفريق بين هذين المصطلحين أو ليس شرطاً أن تنتج المواد ذوات الطعم رائحة

ينشأ الطعم والرائحة في الماء عند تماس الماء مع العديد من المواد التي قد تكون موجودة بحالة طبيعية في الماء أو تتولد من جراء الأنشطة البشرية المختلفة. ومن هذه المواد المعادن والأملاح ونواتج التفاعلات البيولوجية ومكونات مياه الفضلات وغيرها. فضلاً عن ذلك فإن التفسخ والتحلل البيولوجي للمواد العضوية يصحبهما تكوين طعم ورائحة في الماء.

يؤثر الطعم والرائحة في الخاصية الجمالية للماء وعلى الذوق العام. فالإنسان يرفض الماء ذا الطعم والرائحة. كما تنعدم أو تنخفض الحياة المائية في مثل هذه الظروف، كذلك فإن الطعم والرائحة يؤثران في الصحة العامة وقد تفرز بعض المواد ذوات الطعم والرائحة عناصر سامة أو سرطانية مضرة بالصحة.إذ أنّ من المفترض أن لا تحتوي مياه الشرب على طعم ولا رائحة للاستساغة بوساطة المستهلك، إن الطعم والرائحة من الخواص التي يصعب قياسها، ووجود الطعم ربما يكون بسبب الشوائب المذابة التي غالباً ما تكون من أصل عضوي مثل الفينول والفينول المكلور والدهون والمواد الكربونية غير المشبعة، كما إن هناك مواد غير عضوية مؤثرة مثل الحديد،والمنغنيز،والكلوريدات، والغازات الناتجة من تحلل المواد العضوية مثل كبريتيد الهيدروجين.

دائماً يكون المصدر الجيد للماء خالٍ من الرائحة، ووجود الرائحة في الماء ربما يكون بأحد الأسباب الآتية:

1- تحلل مركبات النتروجين والفسفور والكبريت العضوية وغير العضوية.

2- تحلل الطحالب والكائنات الحية الدقيقة.

3- إنتاج مواد مثل الأمونيا والكبريتات والسيانيد وكبريتات الهيدروجين والكلور.

وتوجد العديد من الطرائق المستخدمة لإزالة الروائح الكريهة والطعم غير المقبول منها:

1- الامتزاج بالكربون المنشط.

2- التهوية.

3- الترويب والترشيح.

4- الأوزنة (استخدام الأوزون) أو الكلورة.

5- الأكسدة بمركبات الكلور مثل (الكلورامين وأكاسيد الكلور)

1-5-8 قياس الطعم والرائحة

يمكن إجراء تحاليل وقياس الطعم والرائحة للمواد العضوية باستخدام جهاز الطيف الغازي. ولما كان هذا الفحص يتطلب وجود أجهزة حديثة ومكلفة فضلاً عن أنهَ يستغرق وقتاً طويلاً لذلك يتم اللجوء إلى إجراء هذه الفحوصات بطريقة رقم العتبة (Threshold Number).

إن مواصفات منظمة الصحة العامة الأمريكية تبين أن قيمة (3) يمكن عدَّها مقياساً لتلوث الماء بالطعم والرائحة وتسمى وحدة القياس بـ TON.

إن من أهم الآثار الناجمة من الروائح الكريهة هو الإجهاد النفسي، والصداع والإغماء والاستفراغ والإحباط الذهني، والتعب، وفقدان الشهية، وصعوبة التنفس، وتهيج العيون والأرق، وقلة الإنتاج، وانخفاض كفاءة العمل. كما وإن انتشار الروائح الكريهة لمسافات أبعد من محطات معالجة الفضلات ربما ينتج عنه نقصان في عائدات السوق والضرائب والبيع في المنطقة المتأثرة.

ويبين الجدول (8-2) أهم أنواع الروائح الكريهة.

الجدول 8-2 أهم أنواع الروائح الكريهة

نوع الرائحة	المواد المسؤولة عن الرائحة
أمونيا لحم متفسخ	غاز الأمونياوالأمينات الثنائية والطحالب والبروتوزوا
برازيه	مواد الاسكاتولC8H5NH CH3
سمكية	الأمينات، الطحالب،البروتوزوا
عشبية	الطحالب
بيض فاسد	كبريتيد الهيدروجين
ملفوف(كرنب) فاسد	الكبريتيدات العضوية
ضربان (حيوان)	مركبتان Mercaptans

6-8 درجة الحرارة Temperature

تُعد درجة الحرارة واحدة من أهم خصائص المياه السطحية فهي تحدد إلى مدى كبير الأنواع البيولوجية ومعدلات نموها كما إنها تؤثرفي التفاعلات الكيميائية الجارية في هذه المنظومات فضلاً عن تأثيرها الواضح على ذوبان الغازات في المياه.

تتأثر المياه السطحية بدرجة الحرارة من عدة مصادر منها درجة حرارة الجو المحيط ، كما تؤّدي المطروحات الناتجة من الأنشطة الصناعية دوراً مهماً في رفع درجة حرارة الجسم المائي فتؤثر بذلك كثيراً في خصائصه ومحتواه من الأحياء المختلفة. يزاد على هذه المصادر ما ينجم عن إزالة الغابات وعن مياه الري الراجعة والتي تعمل على زيادة درجة حرارة الجسم المائي المستلم، تؤدّي درجة الحرارة دوراً مهماً في الحياة البيولوجية، إذ يقل معدل النشاط البيولوجي تبعاً لانخفاض درجة الحرارة وتزداد بازديادها، وقد وجد إن زيادة درجة الحرارة بمقدار (10 درجات سيليزية) يضاعف الفعالية البيولوجية خصوصاً عند توافر الظروف المناسبة، وبارتفاع درجة الحرارة تزدهر بعض أنواع الأحياء المجهرية وتنمو في حين تضمحل أنواع أخرى وتتلاشى .

8-6-1 :أهم مؤثرات ازدياد درجة الحرارة في المياه

1- زيادة التفاعلات الكيميائية ومعدلاتها، إذ إن زيادة درجة الحرارة تضاعف من معدلات تفاعلات الكائنات الحية الدقيقة لكل 10 درجات سيليزية.

2- نقصان درجة تركيز الأوكسجين الذائب.

3- نقصان درجة ذوبانية الغازات.

4- زيادة حاجة الأوكسجين الكيمياحيوية.

5- زيادة معدلات التآكل.

6- زيادة حساسية الكائنات المائية للمواد السُمية الذائبة في البيئة المائية.فمثلاً الزيادة في فضلات ساخنة، كما وإن درجة الحرارة العالية يمكن أن تساعد في نمو النباتات المائية غير المرغوبة وطفيليات مياه المجاري.

2-6-8 أهم العوامل التي تؤثر في درجة الحرارة

- التغير في دوائر العرض.
- الغطاء المائي والنباتي والتربة.
- الارتفاع عن سطح البحر إذ تقل درجة الحرارة مع الارتفاع.
- تأثير المدن: إن كمية الحرارة السنوية الناتجة في المدن الكبيرة تعادل بالتقريب ثلث الإشعاع الشمسي الواصل إلى منطقة مماثلة.

أسئلة الفصل الثامن

س1)أذكر أنواع المواد الصلبة في المياه.

س2) كيف تؤثر المواد الذائبة الكلية على نوعية المياه.؟

س3) ما المقصود بمجموع المواد الذائبة الكلية؟ وكيف يتم قياسها؟

س4) ماهي مصادر الكبريتات في المياه؟

س5) كيف تؤثر المواد العالقة في المياه.؟

س6) ما المقصود بالكدرة أو العكارة، وماهو تأثيرها في نوعية المياه.؟

س7) اذكر التأثيرات التي تغير كدرة المجرى المائي.

س8) ماهي مسببات تلون المياه، وكيف يتم قياس اللون فيها؟

س9) أذكر أهم مؤثرات ازدياد درجة الحرارة في المياه.

س10) جرى ترشيح عينة من الماء حجمها (100) لتر، وتم وزن ورقة الترشيح بعد ترشيح المياه وكان (32,392)غم وبعد تجفيفها في الفرن (32.363) غم، احسب تركيز المواد العالقة في عينة الماء.

الفصل التاسع

الخصائص الكيميائية للمياه

Chemical Characteristics of Water

محتويات الفصل 9

تعلمتاموضوعات

- القاعدية.
- الكبريتات.
- الكلوريدات.
- العسرة.
- الأيون الهيدروجيني.
- الفلوريدات.
- الحديد.
- التوصيل الكهربائي.
- أنّواع المخثرات.
- مساعدات التخثير.

الخصائص الكيميائية للمياه

الخصائص الكيميائية للمياه

Chemical Properties of Water

1-9 القاعديةAlkalinity

هي عبارة من كمية الأيونات الموجودة في الماء التي تتفاعل لمعادلة أيونات الهيدروجين، أي أنّ القاعدية هي مقياس لقدرة الماء على معادلة الحوامض. تنشأ القاعدية من جراء ذوبأنّ العديد من المواد في التربة أوالجو. كما أنّ بعض الأيونات مثل الفوسفات تنتج من جراء استخدام المنظفات والأسمدةوالمبيدات.

تُعد أيونات الكربونات والبيكربونات والهيدروكسيد من أهم مكونات القاعدية في الماء،فضلاً من أصلها المعدني فأنّ هذه المواد تتولد أيضاً من ثنائي أوكسيد الكربون، كما في المعادلات في أدناه:

$$CO_2 + H_2O \longrightarrow H_2CO_3$$

$$H_2CO_3 \longrightarrow H^+ + HCO_3^-$$

$$CO_3^- + H_2O \longrightarrow HCO_3 + OH^-$$

1-1-9 تأثيرالقاعدية

مند تواجد القاعدية بكميات كبيرة فأنّها تصبح مصدر الطعم المر في الماء، كما أنّ القاعدية في الماء تتفاعل مع بعض الأيونات الأخرى مكونة بذلك راسباً قد يتلف الأنّابيب والملحقات الأخرى.

2-1-9 قياس القاعدية

تُعين القاعدية من طريق التسحيح مع أحد الحوامض ومن ثم تحديد مكافئ الهيدروجين. يعبر من القاعدية بوحدات ملغم\لتر من كربونات الكالسيوم$CaCo_3$. فعلى سبيل المثال إذا استخدم حامض الكبريتيك ذو عيارية(0,02) في عملية التسحيح فأنّ (1مليلتر) من الحامض سيعادل (1ملغم) من القاعدة بشكل كربونات الكالسيوم.

مثال9-1

احسب القاعدة الكلية لعينة ماء حجمها 200مليلتر وتركيز أيون الهيدروجين فيها (10)، جرى تسحيحها باستخدام (30)مليلتر من حامض الكبريتيك عيارية (0,02)إلى أنّ أصبح تركيز أيون الهيدروجين (4,5).

الحل

لما كأنّ كل 1مليلتر من الحامض المذكور يكافئ30 ملغم من القاعدة في عينة الماء.

إذأنّ يوجد 30 ملغم من القاعدة في عينة الماء. وبناءً عليه فأنّ تركيز القاعدة يصبح:

(1000×30)/200 = 150 ملغرام \ لتر

2-9 الكبريتات Sulfate

يُعد أيون الكبريتات واحداً من الأيونات السالبة المهمة في المياه الطبيعية. ويستمد أهميته في إمدادات مياه الشرب وصفه يسبب الإسهال مند وجوده بتراكيز عالية،لذلك توصي المنظمات الممنية بالمياه على ضرورة عدم تجاوز تركيز هذا الأيون أكثر من 250 ملغم\التر. كما تأتي أهمية هذا الأيون بوصفة أحدى العوامل التي تؤدي إلى تكوين القشرة في المراجل والمبادلات الأيونية لأنّه أحد أملاح العسرة.

كذلك فأنّ الكبريتات مسؤولة – بشكل غير مباشر - من حصول مشكلتين تتعلقأنّ بالتعامل مع مياه الفضلات. هاتأنّ المشكلتأنّ هما الرائحة وتآكل المجاري من جراء اختزال الكبريتات إلى كبريتيد الهيدروجين مند الظروف اللاهوائية.

أنّ من أكثر الأشكال التي يتواجد بها الكبريت في المياه الطبيعية هو أيون الكبريتات متحداً مع الأيونات الموجبة الموجودة في تلك المياه. وتنتشر الكبريتات بشكل واضح في معظم المياه الطبيعية ويتراوح تركيزها بين بضع ملي غرام في اللتر إلى ألف ملي غرام في اللتر.

وعادة ما تكون الكبريتات ذات إذابة محدودة في المياه السطحية لذلك تتواجد بتراكيز قليلة في هذه المياه. وعلى النقيض من هذا تتواجد الكبريتات بتراكيز عالية في المياه الجوفية.

1-2-9 مصادر الكبريتات في المياه

من الأمور المهمة الخاصة بالكبريتات هو أنّها تُعد عاملاً مهماً في تحديد صلاحية المياه لأغراض الري والزراعة كما أنّ الكبريتات تؤثر بشكل مباشر على جودة الأعمال الخرسأنّية. تنتج الكبريتات من:

1- فعل الإذابة للمياه لمركبات الكبريت المنتشرة في القشرة الأرضية.

2- إذابة أكاسيد الكبريت المنطلقة جراء الحرق بوساطة مياه الأمطار.

3- طرح الفضلات السائلة الحاوية على هذا الأيون وبخاصة مطروحات معامل الأسمدة والورق وتكرير النفط.

3-9 الكلوريدات Chlorides

ينشأ الكلوريد في مياه الشرب من المصادر الطبيعية أوالمجاري أو السيح الحاوي على المحاليل الملحية. ويستمد الكلوريد أسمه من اسم منصر الكلور إذ أنّ الكلور Cl_2 لا يوجد في الطبيعة كمنصر بل يوجد كغاز، إلا أنّ الكلوريد هو عبارة من أيون الكلور في صورته السالبة Cl^-،أي أنّه أيون سالب إذ يكون بإمكانّه الاتحاد مع الأيونات الموجبة (الفلزات) مكوناً أملاحه التي توجد في صورة أملاح معدنيةMetallic Slate،يُعدّ الكلوريد منأكبرالمكونات اللاعضوية الموجودة في المياه الصالحة للشرب Potable Waterومياهالصرف أو المجاريSewage Water. كما يتوزع على نطاقواسع في الطبيعة على شكلأملاح الصوديوم والبوتاسيوم والكالسيوم،إذيشكل 0,05% من اليابسة إلا أنّ النسبةالكبرمنهتكونفيالمحيطات.

9-3-1أسباب وجودالكلوريدات في الطبيعة

1 - أنّحلال رواسب الملح.

1- التلوث الناتج من تمليح الطرقات لمكافحة الثلج والجليد.

2- نفايات الصناعات الكيميائية.

3-عمليات آبار النفط.

4- المطروحات إلى المجاري.

5- التلوث من مرشحات النفايات.

6- تسرب مياه البحر في المناطق الساحلية.

ويمكن القول أنّ السبب في كل هذا الأنتشار أنّ أيون الكلوريد شديد الحركة. وبما كأنّ الكلورموجوداً في جميع إمدادات المياه الصالحة وغيرالصالحة للشرب، فمندما تحتوي مياه الشرب على الصوديوم فأنّ زيادة الكلوريدات من 250ملغم /لتر يعطي المياه الطعم المالحSalty Taste، إذاً ملوحة الطعم التي تظهر في المياه تعتمد في المقام الأول على تركيز أيونات الكلوريد في المياه زيادة على المكونات الكيميائية الأخرى،وبما أنّ نسبة المناصرالرئيسة بعضها لبعض في مياه البحار تقريباً ثابتة، لذا

عادة ما يتم تحديد ملوحة مياه البحر بوساطة تقدير نسبة الكلوريد في المياه (إذ تحتوي منه مياه البحر حوالي 20000 ملغم\التر، وبعد معرفة تركيز الكلوريد بالمليغرام\التر تقدر الملوحة بوساطة المعادلة الآتية:

$$Salinity(s)=1.80655\times mgCl^{-}/l$$

أما مندما تسودأيونات الكالسيومCa^{+2} أو المغنيسيومMg^{+2} في المياه، فأنّ الطعم المالح يظهر مند تركيز أعلى من 1000ملغم/لتر. وإذ أنّ النظام الغذائي للأنّسأنّ تكوّن فيه الكلوريدات مكون أساسي من مكوناته، فتمر عبر الجهاز الهضمي من غير أنّ يحدث لها أي تغيرات وبهذه الطريقة يصبح واحدا من أهم مكونات مياه الصرف . وهذا هو السبب الرئيس في أنّ مياه الصرف الصحي ومياه المعالجات الصناعية (الصرف الصناعي) اعلى تركيزاًللكلوريدات من المياه الخام.كما أنّ الاستعمال الواسع لكرات الزيوليت Zeoliteالمستخدمة في عملية التبادل الأيوني تساهم بقدر كبير في زيادة كمية الكلوريدات في مياه الصرف الصحي.

لا يعرف للتراكيز العالية للكلوريدات في المياه أي اثر سام بالنسبة للأنّسأنّ أوالحيوأنّ، إلا أنّها تتفاعل مع معدن الأنّابيب محدثة فيها تآكلا مما تؤدي إلى أضرار بالغة بالنسبة للقطاع الصناعي، وتشير أغلب المواصفات القياسية إلى أنّ الحد المسموح به من الكلوريدات في مياه الشرب هو 250 ملغم\التر وذلك لتجنب ظهور الطعم المالح في المياه زيادة على الوقاية من أي خطروخاصة المخاطر الفيزيائية.

4-9 العسرة Hardness

هي عبارة من تراكيز الأيونات المعدنية الموجبة المتعددة التكافؤ في المحلول التي تتفاعل مع الأيونات السالبة مكونة راسباً صلباً.تكون العسرة على نوعين كربونية وغير كربونية. فالعسرة الكربونيةسببها وجود كربونات وبيكربونات الكالسيوم والمغنيسيوم في حبن توجد العسرة غير الكربونية بسبب وجود أملاح الكبريتات والكلوريدات والنتريت لهذه المناصر. ويطلق على مجموع هذين النوعين من العسرة بالعسرة الكلية.

يمكن إزالة العسرة الكربونية بسهولة بوساطة الغليأنّ وكما في المعادلات الآتية:

$$Ca(HCO_3)_2 \longrightarrow CaCO_3 + CO_2 + H_2O$$

$$Mg(HCO_3)_2 \longrightarrow Mg(OH)_2 + 2CO_2$$

1-4-9 مصادر العسرة

تُعد أيونات الكالسيوم والمغنيسيوم الموجبة من أكثر الأيونات توافراً في المياه الطبيعية، وهناك أيونات أخرى مثل الحديد والمنغنيز والألمنيوم وغيرها، هذه الأيونات بمجموعها تسبب العسرة في المياه. ومن الواجهة العملية يمكن القول أنّ سبب العسرة هو وجو د أيونات الكالسيوم والمغنيسيوم.

2-4-9الآثار السلبية للمياه العسرة

الماءالعسر ليس ضاراً بالصحة ولكنه مزعج في استخدامه ومن تأثيراته:

1- يؤثر على كمية الكالسيوم والمغنسيوم في الطعام.

2- يشكل بقعاً على الأطباق والأكواب بعد جفافها وذلك لترسب ما به من أملاح على مختلف الأدوات.

3- يؤثر على الشعر وعلى طبيعته وحيويته.

4- ترسب الأملاح الموجودة في الماء العسرفي داخل أنّابيب المياه يؤدي إلى عدم أنّسياب المياه بالكميةالمطلوبة وبالتالي يصعب استخدامها في الحياة العادية والعملية.

5- الاستحمام بالمياه العسرة يؤدي إلى وجود طبقة من الصابون اللزج على الجلد ممايساعدعلى ترسب الأوساخ والغبار والبكتيريا الضارة على الجلد ومن الصعب إزالتها، وتؤدي هذه الطبقة إلى فقدأنّ حيوية الجلد ولمعأنّه وتؤدي إلى تهيج الجلد والتهابه.

6- استخدام المياه العسرة في الغسيل تُعد مزعجة جداً وذلك لأنّه لا يساعد في تكوين رغوةمع الصابون أو المنظفات مما يؤدي إلى زيادة استعمالها في عملية التنظيف، واستخدام الماء العسر في الغسيل يؤدي إلى عدم نظافة الغسيل وخاصة الأبيض منه وتحوله إلى اللون الرمادي مع فقدأنّ بياضه ونظافته، لعدم إزالة الأوساخ جيداً كما يؤدي إلى إتلاف الملابس وعدم تحملها عمليات الغسيل فيما بعد، وبالتالي فهي غير صالحة في عمليات الغسيل أو النظافة العامة أو الاستحمام كما أنّها تؤثرفي نوعية الملابس وسلامتها.

إماعلى صعيد الاستعمال الصناعي للمياه فأنّ الأضرار الناتجة من استعمال الماء العسر في بنوعيه: المؤقت والدائم في المراجل والأنّابيب يؤدي إلى ترسيب أملاح الكالسيوم والمغنسيوم بالحرارة وزيادة تركيزها، ويؤدي وجود تلك الطبقات المترسبة إلى أضرار كثيرة منها:

1- تقليل التوصيل الحراري في مختلف الأوعيةالحرارية.

2-صعوبة أوعدم وصول الحرارة إلى السائل المسخن، وبالتالي فقدأنّ الوقود واستهلاكه

3-يؤدي وجود تلك الطبقات المترسبة إلى تكون طبقة عازلة ممايؤدي إلى عدم تبريدالأجزاء الملامسة للهب تبريداً نسبياً، وبالتالي إلى ارتفاع درجة حرارة تلك الأجزاء بشكل خطير قد يؤدي إلى أنّفجار المراجل.

4-قد يؤدي الترسب المتزايد إلى أنّسداد أنّابيب المراجل وأنّفجارها.

9-4-3 قياس العسرة

تُقاس العسرة بوساطة تقنيات الطيف أو بوساطة التسحيح الكيميائي لمعرفة مقادير أيونات الكالسيوم والمغنيسيوم في العينة. كما يمكن قياسها مباشرة بوساطة التسحيح بمادة EDTA التي تعمل بوصفها كاشفاً إذ يتغير لون المحلول، ويمثل كل مليلتر من الكاشف ما يكافئ (1 ملغم) من العسرة بدلالة كربونات الكالسيوم.

تجرى تحاليل العسرة على المياه الطبيعية ومياه الشرب على وجه الخصوص، كما تُقاس في حالات استخدام المياه للأغراض الصناعية. تتراوح العسرة بين صفر إلى بضع مئات بل قد تصل إلى بضعة آلاف جزء بالمليون، وقد وضعت العديد من المعايير التي تصف العسرة لعل أكثرها شيوعا ما موضح في الجدول (9-1).عادة ما يعبر من العسرة بوحدات ملغم\ لتر بدلالة كربونات الكالسيوم، لذلك يجب تحويل تراكيز الأيونات والمركبات المنفردة الموجودة في الماء العسر على هذا الأساس وكما يأتي:

تركيز المنصر\المركب (ملغم\لتر) من كربونات الكالسيوم = تركيز ذلك المنصر\المركب × الوزن المكافئ لكربونات الكالسيوم\الوزن المكافئ للأيون أو المركب.

الجدول9-1 تصنيف المياه بالنسبة للعسرة

وصف العسرة	مقدار العسرة (ملغم\لتر) بدلالة كربونات الكالسيوم

ماء يسر	أقل من 50
ماء معتدل العسرة	بين 50-150
ماء عسر	من 150-300
ماء عسر جدا	أكثر من 300

تنص معايير الصحة العامة الأمريكيةعلى أنّ مقدار العسرة الأقصى في مياه الشرب يحب أنّ لا يتجاوز 500 ملغم\لتر. ويتم اعتماد هذه القيمة في العراق.

مثال9-2

عينة ماء لها التحليل الآتي (التراكيز بوحدة ملغم/لتر):

الكالسيوم Ca = 40، المغنيسيوم Mg = 24، الصوديوم Na = 9.2، البيكربونات HCO_3 =183 الكبريتات SO_4=57.5، الكلوريدات Cl= 7، احسب تراكيز هذه الأيونات والمركبات بدلالة كربونات الكالسيوم.

الحل

الوزن المكافئ للمناصر والمركبات = الوزن الجزيئي \عدد التكافؤ

ومند تطبيق هذه المعادلة تكون النتائج كما يأتي:

$$Ca = \frac{40.08}{2} = 20.04$$

$$Mg = \frac{24.32}{2} = 12.16$$

$$HCO_3 = \frac{61}{1} = 61$$

$$Na = \frac{23}{1} = 23$$

$$SO_4 = \frac{96}{2} = 48$$

$$Cl = \frac{71}{2} = 35.5$$

الكالسيوم (ملغم\التركربونات الكالسيوم)$99.8 = \frac{50 \times 40}{20.04}$المغنيسيوم (ملغم \التر كربونات الكالسيوم)$98.6 = \frac{50 \times 24}{12.16}$

الصوديوم (ملغم \التر كربونات الكالسيوم)$20 = \frac{50 \times 9.2}{23}$

البيكربونات(ملغم \التر كربونات الكالسيوم)$150 = \frac{50 \times 183}{61}$

الكبريتات (ملغم \التر كربونات الكالسيوم)$59 = \frac{50 \times 57}{48}$

الكلوريدات (ملغم \التر كربونات الكالسيوم)$9.85 = \frac{50 \times 7}{35.5}$

9-4-4 طرائق إزالة العسرة

يمكن إزالة عسرة الماء بعدة طرائق، تبعاً لنوع الأملاح المسببة للعسرة. ففي حالة العسرة المسببة بأملاح بيكربونات الكالسيوم،فيمكن الاكتفاء بغلي الماء للتخلص من هذه العسرة، إذ تتحول البيكربونات إلى كربونات تترسب في داخل أنّاء التسخين أو الغلي. أما النوع الثأنّي فهو ناتج من كبريتات وكلوريدات المغنسيوم أو الكالسيوم،ولا يمكن التخلص منه بالحرارة، وكما أنّ الماء العسر غير مناسب للاستعمال العام،فأنّ الماء شديد اليسر غير مناسب أيضاً للاستعمال العام، لأنّ طعمه غير مناسب،لخلوه من ثأنّي أوكسيد الكربون. وكذلك يذيب الماء اليسر الرصاص في الأنّابيب المصنوعة من هذا المعدن، لأنّه يؤدي إلى تكوين هيدروكسيد الرصاص، وهي مادة قابلة للذوبأنّ في الماء، مما يؤدي إلى التسمم بالرصاص، نتيجة الاستعمال المستمر لهذا الماء المحتوي على الرصاص.

توجد ثلاث طرائق رئيسة لإزالة عسرة المياه هي:

أولاً: زيادة الجير(هيدروكسيد الكالسيوم) والصودا(كربونات الصوديوم) إلى المياه المطلوب معالجتها،إذ تعمل هذه المواد على تغيير طبيعة مركبات العسرة وجعلها غير قابلة للذوبأنّ في الماء ومن ثم ترسيبها. ويبين الجدول(9-2) العمليات التي تجري لإزالة العسرة بهذه الطريقة.

الجدول9-2 عمليات إزالة العسرة باستخدام الجير ورماد الصودا

1. لغرض إزالة ثنائي أوكسيد الكربون في الماء يتم زيادة الجير وكما في المعادلة (هذا التفاعل لايدخل ضمن تفاعلات إزالة العسرة/تيسير المياه) .

$H_2CO_3 + Ca(OH)_2 \rightarrow CaCO_3 + 2H_2O$

2- غرض إزالة عسرة الكالسيوم الكربونية (المؤقتة) يزاد الجير كما في المعادلة

$Ca(HCO_3) + Ca(OH)_2 \rightarrow 2CaCO_3 + H_2O$

3 – لغرض إزالة عسرة الكالسيوم الدائمة يتم زيادة رماد الصودا كما موضح في المعادلة

$CaSO_4 + Na_2CO_3 \rightarrow CaCO_3 + Na_2SO_4$

$CaCl_2 + Na_2CO_3 \rightarrow CaCO_3 + 2NaCl$

4- لغرض إزالة عسرة المغنسيوم الكربونية(المؤقتة) يزاد الجير وحسب المراحل

$Mg(HCO_3)_2 + Ca(OH)_2 \rightarrow MgCO_3 + CaCO_3 + 2H_2O$

إذ تترسب كربونات الكالسيوم بخلاف كربونات المغنيسيوم التي لا تترسب، لذلك يتم زيادة كمية من الجير كما في المعادلة:

$MgCO_3 + Ca(OH)_2 \rightarrow Mg(OH)_2 + CaCO_3$

إذ تترسب كربونات الكالسيوم وهيدروكسيد المغنيسيوم

5- لغرض إزالة عسرة المغنيسيوم الدائمة يزاد الجير ورماد الصودا كما في المعادلة

$MgCl_2 + Ca(OH)_2 \rightarrow Mg(OH)_2 + CaCO_3 + CaCl_2$

$MgSO_4 + Ca(OH)_2 \rightarrow Mg(OH)_2 + CaCO_3 + CaSO_4$

أنّ زيادة رماد الصودا يعمل على تحويل كلوريد الكالسيوم وكبريتات الكالسيوم إلى كربونات الكالسيوم كما في الخطوة (3)في أعلاه.

مميزات طريقة استخدام الجير- صودا

1. تُعد هذه الطريقة مناسبة جداً للمياه ذات المحتوى العالي من العكارة أو المياه الحامضية إذ لا يمكن استخدام طريقة التبادل الأيوني مند هذه الظروف.
2. يكون محتوى المياه المعالجة(اليسرة) من المواد الصلبة الكلية أقل نسبياً مما ينتج في طريقة التبادل الأيوني.
3. يكون تأثير البكتريا فعالاً في هذه الطريقة.

4. يمكن التعامل مع مياه عسرة جداً وخاصة عسرة المغنيسيوم.
5. لا يوجد فقدانّ أو تدهور في نوعية المواد المستخدمة في المعالجة.
6. سهولة التحكم بالصدأ المحتمل حصوله.
7. تُعد طريقة سهلة وخالية من التعقيدات ويمكن تشغيلها ونصبها في محطات تصفية المياه بسهولة.

ثانياً: الطريقة الثانية إمرار المياه المطلوب معالجتها على فرش(Bed) للتبادل الأيوني إذ تجعل مركبات العسرة لا تتفاعل مع الصابون ويصبح الماء مندها يسراً. وهذه الطريقة سيتم التطرق لها بشيء من التفصيل في الفصل التالي.

ثالثاً: استخدام طرق متقدمة لتحلية المياه كالأغشية والتناضح العكسي والتقطير ..الخ.

5-9 تركيز الأيون الهيدروجيني(الرقم الهيدروجيني)

أيون الهيدروجين عبارة من مقياس لمستوى الحامضية أو القاعدية في الماء. وتتراوح قيمته بين صفرإلى 0.14 وكماهو معلوم فأنّ جزيئة الماء الصافي تتفكك إلى أيون الهيدروجين وأيون الهيدروكسيد كما في المعادلة الآتية:

$$H_2O \longrightarrow H^+ + OH^-$$

ومع بقاء الماء نقياً فأنّ عدد أيونات الهيدروكسيد تساوي عدد أيونات الهيدروجين. ولكن مندما يزاد حامض ما إلى الماء فأنّ عدد أيونات الهيدروجين تزداد بسبب احتواء الحامض على أيونات الهيدروجين وعلى النقيض من ذلك فأنّه يزداد عدد أيونات الهيدروكسيد مند زيادة قاعدة ما إلى الماء، وبغض النظرعن حامضية المحلول او قاعديته فلا بد من وجود أيونات الهدروجين والهيدروكسيد إذ أنّ حاصل ضرب الأيونين يبقى ثابتاً لذلك فأنّ أي تغيير في أحدهما يسبب تغييراً عكسياً في الآخر.

تُعد قيمة الرقم الهيدروجيني pH ذات أهمية كبيرة في كيمياء المياه إذ يعتمدعليها أي إجراء لمعاملة مياه الشرب أو مياه الصرف مثل إزالة عسرة الماء – الترسيب– التعقيم وإلى غير ذلك من المعاملات.أنّ الرقم الهيدروجيني يمثل نشاط أيونات الهيدروجين في المحاليل يُعدّ معياراً للتعرف على مستوى حامضية المحاليل او قاعديته ،وتتراوح قيمته من (0–14)، كما مبين في الشكل (9-1).

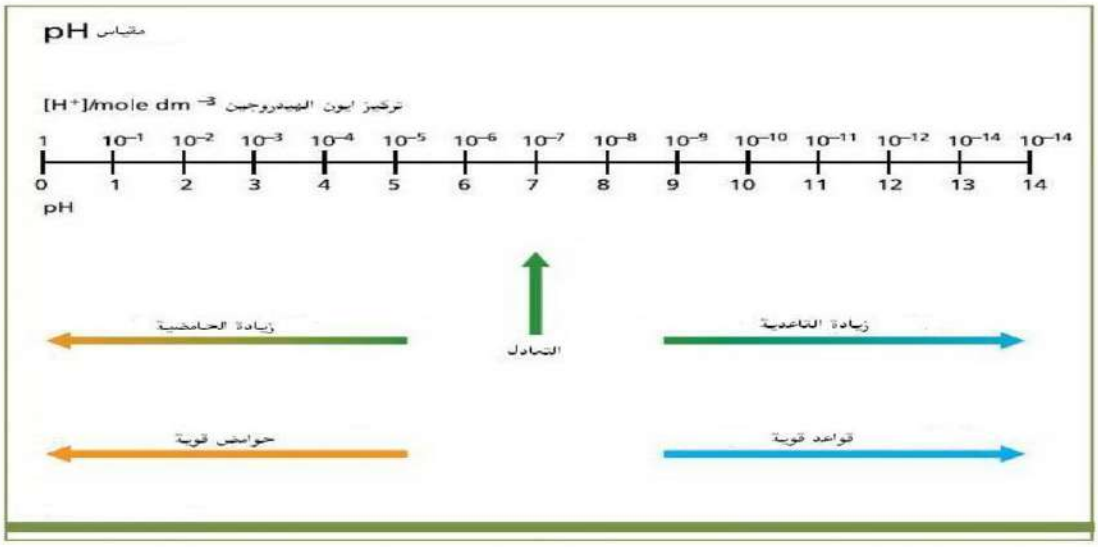
ويمكن إيجاد الرقم الهيدروجيني باستخدام المعادلة الآتية:

$$PH = - Log [H^+]$$

وتنتج القلوية في المياه بسبب مركبات المواد الكيميائية الذائبة من الصخور والتربة،ومن أهم الأيونات المسببة للقلوية أيونات الهيدروكسيد والكربونات والبيكربونات، وعادة تتكون هذه المركبات من كربونات وبيكربونات الصوديوم والبوتاسيوم والمغنيسيوم والكالسيوم.

أنّ الكثيراً من المواد تذوب في الماء ومندذوبأنّها، فأنّها تعطي جزيئات مشحونة يطلق عليها الأيونات. والمياه الحامضية تحتوي على أيونات هيدروجين زائدة (H^+) ولها قيمة درجةحموضة ما بين (صفر و 7)، إذ أنّ مع الصفر تكون الأكثر حامضية.

إما المياه القاعدية، أوالقلوية فهي التي تحتوي على أيونات الهيدروكسيد (OH^-) ولها قيم درجة حامضية ما بين (7 و 14)، ومند قيمة (14) تكون الأكثر قاعدية. وقد تتوقع أنّ تكون مياه الأمطار متعادلة. ولكن في الواقع، أنّها إلى حد ما حامضية بدرجه تتراوح من 5إلى6. وهذا نتيجة لتكوين حامض الكربونيك الناتج من تفاعل المطر مع ثأنّي أوكسيد الكربون.



الشكل 9-1 مقياس الأيون الهيدروجيني

يلاحظ من الجدول (9-3) قيمة الرقم الهيدروجيني لعدد من المواد،أنّ المواد التي تُعدُّ حامضيةً لدرجة عالية أو قاعدية، مثل حامض البطارية والمحاليل القلوية،تُعدُّ سامة بالنسبة لمعظم الكائنات الحية.

الجدول9-3 قيمة الرقم الهيدروجيني لعدد من المواد

المنصر	الرقم الهيدروجيني
حموضة المعدة	1
عصير الليمون	2
الخل	3
المشروبات الخفيفة	4
الجزر	5
المطر الطبيعي	6
الحليب	7
بياض البيض	8
صودا الخبز	9
الأمونيا	11
المحاليل القاعدية	13

9-5-1التأثيرات الطبيعية المؤثرة على الأيون الهيدروجيني للماء

1- التأثيرات الموسمية

- مندما يسقط المطر من خلال الهواء، فأنّه يعمل على إذابة الغازات مثل غاز ثأنّي أوكسيد الكربون، ويكوّن حامضاً ضعيفاً. المطر الطبيعي وغير الملوث والثلوج تُعدُّ حامضية إلى حد ما ولها درجة حامضية ما بين 5 و 6، ومندما تذوب الثلوج بسرعة فربما لا تتسرب من خلال التربة قبل أنّ تصل إلى المجرى المائي، وأنّ معادن التربة لا تستطيع أنّ تُنَظّمها. ومند تلك الأوقات، فأنّ مياه المجرى المائي ربما أيضاً تكون حامضية خفيفة.
- في خلال فصل الخريف، فأنّ الأوراق المتحللة والأشجار الإبرية في المجرى المائي ربما تزيد من حامضية الماء.

2 - التأثيرات اليومية

- مندما تقوم النباتات المائية بتحويل أشعة الشمس إلى طاقة من خلال عملية التمثيل الضوئي، فأنّها تزيل ثأنّي أوكسيد الكربون من الماء. وهذا يمكنه أنّ يرفع درجة الحامضية في المجرى المائي. وطالما أنّ نشاط التمثيل الضوئي الذي يحدث تحت أشعة الشمس و يتوقع أنّ تحدث أعلى درجة حامضية في المجرى المائي في بداية فترة مابعد الظهر. ومستويات درجة الحامضية الأقل سوف تحدث مباشرة قبل شروق الشمس.

9-5-2التأثيرات الأنّسأنّيةالمؤثرة على الأيون الهيدروجيني للماء

- الأمطار الملوّثَة، وأيضاً تعرف "بالأمطار الحامضية" تعمل على زيادة حموضة المياه بالقرب من كثير من المناطق الصناعية أو المدنية الكبرى. والمُسهم الرئيسي في الأمطار الحامضية هو

حامض الكبريتيك (يتم أنتاجه بوساطة صناعات حرق الفحم) وحامض النتريك (يتم أنتاجه بوساطة محركات السيارات).

- طرح الملوثات الصناعية بشكل مباشر في المياه التي يمكن أنّ يكون لها تأثيرات كثيفة ومباشرة.
- التعدين الذي يمكن أنّ يعرض الصخور لمياه المطر ومن ثم تنتج جريأنّاً حامضياً،وتصريف التعدين يمكن بالتالي أنّ يعمل على إدخال الأحماض إلى المجاري المائية، وإذا كأنّ عزل المجرى المائي رديئاً فأنّ درجة الحامضية ربما تصل إلى مستويات سامة.

9-5-3أهمية الأيون الهيدروجيني

1- يستفاد من معرفة الرقم الهيدروجيني أو تركيز أيون الهيدروجين في تهيئة الماء للمعالجة المطلوبة،إذ يمكن إجراء التعديلات المناسبة على نوعية المعالجة.

2 - يفيد معيار أيون الهيدروجين في تحديد صلاحية النهر أوالجدول لنمو الحياة السمكية وتكاثرها.

3 - تتأثر معظم المواد بتغير تركيز هذا المعيار وتشير الدراسات إلى حصول تسمم في هذه المواد مند حصول هذا التغيير.

4- تعمل قيمة تركيز أيون الهيدروجين على السيطرة على وحدات التخثير والتلبيد في محطات تصفية المياه وفي وحدات هضم الحمأة في وحدات معالجة مياه الفضلات.

9-5-4 قياس الأيون الهيدروجيني الـ (PH)

توجد طريقتأنّ لقياس تركيز أيون الهيدروجين هما، طريقة الصبغات والطريقة الكهربائية. ففي الطريقة الأولى يزاد كاشف إلى الماء وتجري مقارنة اللون في المحلول مع عدة ألوأنّ قياسية معروفة التركيز. كما يتم استخدام شرائط المؤشر الملونة التي يتم غمسها في الماء. والألوأنّ على الشرائط تتفاعل مع الماء وتتغير،يتم مقارنة تغير اللون مع مخطط من أجل تحديد درجة حامضية الماء.أنّ هذا الفحص يأخذ من 5إلى10 دقائق، وإذا لم يتم غمس الشريط في الماء بشكل آمن، فيمكن أنّ يجمع الماء بوساطة دلو معلق من جسر أو رصيف ومن ثم يتم أخذ العينة. أنّ درجة حامضية المياه المجمّعة ربما تتغير، لذلك ينبغي أخذ العينة مباشرة.

إما في الطريقة الثأنّية فيستخدم جهاز قياس تركيز هذا الأيون ويتألف الجهاز من قطبين يغمرأنّ في الماء ويمرر تيار كهربائي خلال الدائرة الكهربائية، تقرأ نتيجة تركيز هذا الأيون على قرص مثبت في الجهاز.

9-5-5استخدامات تركيز الأيون الهيدروجيني

تشير معايير وكالة حماية البيئة الأمريكية إلى ضرورة أنّ تكون مقادير تركيز أيون الهيدروجين بين (6.5-9) للحياةالمائية في المياه العذبة، بينما تقع قيمته بين (6.5- 8.6)للحياة في المياه المالحة، وتقع قيمته بين (5-9) للمياه التي تستخدم للأغراض المنزلية.

فضلاًعن استخدام قيم تركيز هذا الأيون في إجراء التحويرات المناسبة في محطات تصفية المياه، فأنّ معرفة قيمة هذا الأيون تفيد في عمليات إزالة الحديد والمنغنيز، وفي السيطرة على الطعم وعلى عمليات التآكل والصدأ في الأنّابيب ووحدات التصفية.

9-6 الفلوريداتFluoride

تُعد الفلوريدات سامة للحياة البشرية والحيوانّية إنّ تواجدت في المياه بتراكيز عالية، ولكن إذا كانّت ذات تركيز قليل (1 ملغم\لتر) فأنّه يفيد في منع تسوس الأسنانّ مند الأطفال، وقد جرت العادة في محطات تصفية المياه في الدول الغربية أنّ يزاد هذا المنصر بالكميات المطلوبة إلى الماء ليحقق الغرض المطلوب خاصة مند عدم توفّره بالكمية الكافية.

تشير معايير منظمة الصحة العالمية إلى أنّ أقصى تركيز للفلوريدات في الماء يجب أنّ لا يتجاوز 1.5 ملغم\لتر.

9-7 الحديد Iron

يسبب الحديد طعماً مراً في المياه ويتواجد عادةً على شكل بيكربونات أو كبريتات. كذلك يكثر الحديد في المياه الجوفية، يذوب الحديد في المياه الحاوية على حامض الكربونيك ومند تماسه مع الأوكسجين فأنّ الحديد المذاب يترسب على شكل لبادات من هيدروكسيد الحديد. يفضل عدم استخدام المياه الحاوية على الحديد في معظم العمليات الصناعية ومحلات الغسل والكَيّ.

9-8 التوصيل الكهربائي Electrical Conductivity

يُعرف التوصيل الكهربائي بأنه اصطلاح عددي لقابلية محلول مائي لحمل تيار كهربائي، وتعتمد هذه القابلية على عدة عوامل منها:

- نوع الأيونات ووجودها.
- درجة التركيز الكلية للأيونات.
- حركة الأيونات وتكافؤها ودرجات تركيزها.
- درجة حرارة المحلول.

توصيل المياه النقية الخالية من الأملاح للتيار الكهربائي يكون رديئاً، وعند وجود الأملاح والقواعد والحوامض فإن ذلك يزيد من التوصيل الكهربائي في الماء.

يُعبر عن وحدة هذا المصطلح بمقلوب أومmhosأو (موز) وقد يجري استخدام أجزاء هذه الوحدة كالملي موز أو المايكروموز.

يستخدم التوصيل الكهربائي لتحديد نقاوة الماء المقطر أو لبيان التغاير في تراكيز الأملاح المذابة في المياه الخام، وقد يستخدم للتعبير عن تركيز الأملاح الذائبة في المياه بوحدة ملغم\لتر، وتوجد العديد من الصيغ الرياضية التي تصف العلاقة بين الأملاح الذائبة والتوصيل الكهربائي من أشهرها

تركيز الأملاح الذائبة (ملغم\لتر) = 0.64 ×قيمة التوصيل الكهربائي(بوحدة مايكروموز\سم)

إن معظم محاليل الأحماض غير العضوية والقواعد والأملاح عامة تكون لها موصلية كهربائية جيدة. فمثلا تكون الموصلية لماء حديث التقطر ما بين 0,5إلى 2 ميكروموز\سم، ويزداد مقدار الموصلية إلى ما بين 2 إلى 4 ميكروموز\سم بعد بضعة أسابيع من تخزينها. وتُعزى هذه الزيادة والى امتصاص ثاني أوكسيد الكربون من الجو ولامتصاص الأمونيا بنسبة اقل.

إن الماء النقي موصل للكهرباء كما وإن زيادة الشوائب والأملاح الذائبة في الماء ترفع من مقدار الموصلية وتتناسب مع درجة تركيز المواد الصلبة، كما موضح في المعادلة الأتية:

$$TDS = EC \times a$$

إذ أن:a: حد ثابت، EC: الموصلية الكهربائية للمحلول (ميكروموز\ سم)، TDS: درجة تركيز المواد الصلبة (ملغرام\لتر)

مثال8-3

درجة تركيز المواد الصلبة لعينة من الماء تساوي 1400ملغم/لتر، والموصلية الكهربائية لها تعادل 2000 ميكروموز\سم .أوجد الموصلية الكهربائية لعينة أخرى تحتوي على 5950 ملغم\لتر من المواد الصلبة.

الحل

1- باستخدام المعادلة في أعلاه لإيجاد الحد الثابت:

$$a = TDS/EC = \frac{1400}{2000} = 0.7$$

2- إيجاد الموصلية الكهربائية للعينة الأخرى، باستخدام القانون المدرج في الخطوة 1 في أعلاه:

$$EC_2 = TDS_{2/}{}^{a}$$

$$\text{Micro mhos/cm} \frac{5950}{0.7} = 8500$$

9-9 أنواع المخثرات Coagulants types

تصنف المخثرات الكيميائية إلى نوعين رئيسين هما المخثرات الرئيسة ومساعدات التخثير. فالنوع الأول يعمل على معادلة الشحنات الكيميائية في الماء والتي تسبب التصاق الجسيمات مع بعضها. ومن الخاصية الكيميائية فأنّ المخثرات تكون إما أملاحاً معدنية مثل (الشب)،أوعلى شكل بوليمرات. وهذه الأخيرة هي مركبات مصنعة تتألف من سلسلة طويلة من الجزئيات الصغيرة. فضلاً من ذلك فأنّ البوليمرات تصنف إلى نوعين أيضاً البوليمرات موجبة الشحنة والبوليمرات سالبة الشحنة.

وعموماً فأنّ المخثرات الكيميائية تُدرج في ضمن الأنواع الآتية:

1- كبريتات الألمنيوم (الشب).
2- كبريتات الحديدوز (الزاج).
3- كبريتات الحديديك.

وهناك أنّواع أخرى تستخدم في مختلف بلدأن العالم ،إلا أنّ الأنّواع المذكورة تُعد الأوسع انتشارا واستخداماً في مختلف الدول ومنها العراق.

1- الشب (كبريتات الألمنيوم)

يُعد الشب أقدم وأوسع المخثرات أوسعها استخداماً، رمزه الكيميائي ($Al_2(SO_4)18H_2O_2$)، والشب حامضي ويميل لونه إلى اللون الرمادي ويتوافر على شكل كتلا أو أكوام وعلى شكل مسحوق. تبلغ كثافة الشب (1000- 1100) كغم\م^3 ووزنه النوعي(1.25-1.36).

يمكن استخدام الشب بشكل جاف أو على شكل سائل وهو سريع الذوبان في الماء. وعند اضافته الى الماء فأنّ الشب يتفاعل معه وينتج أيونات موجبة الشحنة والتي تجعل من هذه المادة الكيميائية مخثراً فعالاً جداً .

مزايا الشب

1- قابلية سريعة للذوبان في الماء.
2- لا يسبب بقعاً حمراء أو قهوائية اللون على الأرضيات أو جدران المُعدات كما هو الحال مع كبريتات الحديديك.
3- القدرة على أنّتاج مياه عالية النقاوة.
4- تكوين لبادات جيدة.

5- فرصة الترسيب أكبر.

6- خفض اللون والطعم.

7- رخيص نسبياً.

مساوئ الشب

1- يكون فعال جدا فقط عند مدى معين من الرقم الهيدروجيني.

2- قد تتعرقل عملية التلبيد في بعض أنّواع المياه مند استخدام الشب.

3- تكوين أو زيادة عسرة الماء.

4-زيادة إذابة ثنائي أوكسيد الكربون.

2- الزاج (كبريتات الحديدوز)

هو مركب حامضي حبيبي ذو لون أخضر يميل إلى القهوائي والأصفر ويتوافر على شكل حبيبات أو بلورات أو على شكل أكوام. عادة ما يستخدم على شكل محلول تركيزه 4-8% ويصلح للتعامل مع مياه ذات قلوية ورقم هيدروجيني ضعيف أو منخفض ويعمل على تكوين لبادات هيدروكسيد الحديديك.

من الضروري زيادة الجير لتأمين حصول التخثير في هذه المياه. ولهذا السبب فأنّ الزاج أو كبريتات الحديدوز لا تستعمل في تخثير المياه ذات الألوان الشديدة والتي يكون التخثير فيها على احسنه مندما تكون قيمة الرقم الهيدروجيني أقل من (6) .

تبلغ جرعة الجير المزيدة بحدود (0.27) ملغم/لتر لتتفاعل مع (1) ملغم\لتر من الزاج. وعموماً فأنّ اللبادات المتكونة من جراء تفاعل الزاج مع الجير تكون هشة وقابلة للتكسر وذات وزن نوعي عالٍ

3- كبريتات الحديديك

تتوافر هذه المادة تجارياً على شكل مادة لا مائية يجري نقلها وخزنها في براميل خشبية وهذه المادة قابلة للذوبان في كمية محددة من الماء الفاتر لذلك يجب استخدام محلول خاص للتعامل مع هذه المغذيات الكيميائية وهذا المحلول يتكون من جزء واحد من كبريتات الحديديك يُذاب في جزئين من الماء لغرض تكوين محلول تركيزه (40 %)

مميزات كبريتات الحديديك

1-يتكون هذا المركب مند رقم هيدروجيني منخفض أقل من (9).

2-هيدروكسيد الحديديك غير قابل للذوبأنّ في الماء مند رقم هيدروجيني متباين بشكل واسع وهو بذلك عكس هيدروكسيد الألمنيوم الذي يعمل مند مدى رقم هيدروجيني بين(7- 8.5).

3-اللبادات المتكونة مع المخثرات الحديدية أكثر من نظيرتها المتكونة باستخدام الشب.

4-هيدروكسيد الحديديك لا يعود للذوبان مند قيمة رقم هيدروجيني عالٍ.

5-المخثرات الحديدية قد تستخدم لإزالة اللون مند رقم هيدروجيني عالي كما هو الحال مع محطات تصفية المياه.

الشكل 9-2 جهاز تحديد كمية المخثرات المطلوب زيادتها لمعالجة عكارة المياه

9-9 مساعدات التخثير Coagulants Aids

هي مواد لا عضوية يجري استخدامها مع المخثرات الرئيسة لتحسين وتسريع عملية التخثير والتلبيد وذلك بعد تكوين لبادات كثيفة وسريعة الترسّب. وعند زيادة مساعدات التخثير هذه إلى المياه فأنّها تزيد من كثافة اللبادات البطيئة الترسّب وتزيد من متانتها وصلابتها كي لا تنكسر خلال عملية المزج والترسيب.

عادة ما تستخدم المخثرات الرئيسة في عمليتي التخثير والتلبيد في حين تستخدم مساعدات التخثير لتقليل فترة التلبيد. ومندما تكون عكارة المياه واطئة جدا تحمل جسيمات مساعدات التخثير شحنات سالبة مما يجعلها معرضة للجذب باتجاه أيونات الألمنيوم الموجبة الشحنة. وهذه الصفة مهمة جداً في المياه واطئة العكارة والتي لا تستجيب للتخثير بسهولة في الحالات الاعتيادية.

تُعد مساعدات التخثير عالية الكلفة لذلك ينبغي استخدامها بعناية وحذر وبالقدر المطلوب ،ومن الأنّواع الشائعة الاستخدام لمساعدات التخثير المستخدمة في محطات التصفية الآتي:

1- طين البنتونايت.

2- كربونات الكالسيوم.

3- سليكات الصوديوم.

4- البوليمرات سالبة الشحنة.

4- البوليمرات اللا أيونية.

أسئلة الفصل التاسع

س1)ما المقصود بالقاعدية، وما هو تأثيرها في الماء.؟

س2) عرف العسرة مبيناً أنّواعها ومصادرها وطرق إزالتها.

س3) اذكر النقاط السلبية للمياه العسرة.

س4) ماهي الأضرار التي يسببها استخدام الماء العسر في المراجل والأنّابيب.؟

س5) وضح كيفية قياس العسرة.

س6) اذكر الطرائق الرئيسة لإزالة العسرة معززاً إجابتك بالمعادلات الكيمياوية.

س7) ماذا نقصد بالرقم الهيدروجيني كيف يتم قياسه وماهي تأثيراته.؟

س8) عرف التوصيل الكهربائي مبيناً العوامل التي تؤثر في قيمته.

س9) عينة ماء حجمها (0.5)لتر وتركيز أيون الهيدروجين فيها (11). جرى تسحيحها باستخدام ما مقداره (50) مليلترمن حامض الكبريتيك ذي العيارية (0.02) لحين وصول تركيز الأيون الهيدروجيني إلى (5). احسب القاعدة الكلية.

الفصل العاشر

التبادل الأيوني

Ion-Exchanger

محتويات الفصل10

تعلم الموضوعات

- ضرورة التبادل الأيوني
- تاريخ عملية التبادل الأيوني
- سعة التبادل الأيوني
- نظرية المبادلات الأيونية
- مواد التبادل الأيوني
- أنواع راتنجات التبادل الأيوني
- أنواع منظومات التبادل الأيوني
- ميزات استعمال عملية التبادل الأيوني
- محددات استعمال التبادل الأيوني
- تطبيقات المبادلات الأيونية
- عملية إزالة الأيونات
- الشحوم والزيوت

التبادل الأيونيIon-Exchanger

1-10 ضرورة التبادل الأيوني

تحتوي كل المياه الطبيعية على تراكيز مختلفة من الأملاح الذائبة التي عند تفككها أو تحللها تعمل على تكوين أيونات مشحونة. فالأيونات الموجبة الشحنة تسمى الكاتيون أو الأيونات الموجبة، في حين يطلق على الأيونات سالبة الشحنة بالأنيون أو الأيونات السالبة. تؤثر هذه الأيونات أو الشوائب بشكل عام على كفاءة منظومات التطبيقات الصناعية كالمراجل أو غيرها بشكل أو بآخر.

تعمل الشوائب على تكوين القشرة في المراجل وعسرة المياه وبالآتي فإن الإفراط في تسخينها يترتب عليه فشل ذريع في أداء هذه المنظومات وأخطار كارثية مكلفة من جراء وجود القشرة والشوائب الأخرى،على هذا الأساس يتوجب إزالة عسرة المياه من إمدادات المياه قبل استعمالها في مياه التغذية للمراجل. ويتطلب هذا الأمر في حال استعمال مراجل عالية الضغط إزالة كل أنواع الأيونات بما في ذلك ثنائي أوكسيد الكربون والسليكا. ولهذا الغرض تم استنباط منظومة التبادل الأيوني لتعمل على إزالة الأيونات الذائبة بشكل فعال من المياه.

تقوم فكرة هذه المبادلات على استبدال أحد الأيونات بآخر والعمل على الاحتفاظ به مؤقتاً لحين إطلاقهاإلى محلول التنشيط. ففي منظومة التبادل الأيوني تستبدل الأيونات غيرالمرغوبة كالكالسيوم والمغنيسيوم المسببة للعسرة والقشرة في المراجل بأيونات الصوديوم.

2-10 تاريخ عملية التبادل الأيوني

عرف الزيولايت وتطبيقاته في التبادل الأيوني منذ القدم، إنّ لم يُعرف تركيبه في وقته وآلية التبادل الأيوني التي تتم عليه، فمثلاً يروى أنه قبل ثلاثة آلاف عام تمكن أرسطو من تحويل ماء البحر إلى ماء صالح للشرب باستعمال حجر كان يأخذه معه في أسفاره البحرية. وفي عام 1756 أطلق العالم السويدي Cronstedtاسم الزيوليت على صخور طبيعية(وهي سليكات الصوديوم والألمنيوم). وفي العام 1850 عرف أنه يمكن إبقاء مكونات التسميد في التربة بالقرب من جذور النباتات. في العام 1901 تم مختبرياً تحضير أول زيولايت صناعي وبذلك فتحت حقبة جديدة في تاريخ الزيولايت لتأخذ الزيوليتات المصنعة مكاناً مهما في التطبيق الصناعي وذلك لتمتعها ببنية موحدة وبالآتي انتقائية عالية، وفي عام 1940 استخدمت تقنية التحليل بالأشعة تحت الحمراء للتحليل البنيوي. وأخيرا في العام 1956 تم الإنتاج الصناعي لزيولايت محدد البنية تماماً بمئات آلاف الأطنان(تم التأكد من بنيته بمساعدةأشعة (X) وصيغتها تقترب من الرمز الآتي Na_2O .R_2O_3. $xSiO_3nH_2O$ إذ كل

R_2O_3 يحتوي على أكاسيد مستردةAmphoteric(مثل أوكسيد الألمنيوم والحديد) وبعد ذلك توالى إنتاج أنواع جديدة من الزيوليتات ودرست هذه الزيوليتات وتوسعت تطبيقاتها لتشمل مجالات واسعة(معالجة المياه والامتزاز، مناخل جزيئية ، وساطة في الصناعة البتروكيميائية). استخدمت الزيوليتات الصناعية بوصفها مبادلات أيونية في معالجة المياه وخاصة نزع الأيونات الموجبة واستمر ذلك حتى العام 1955 تاريخ اصطناع المبادلات الأيونية البوليميرية المصنعة (الراتنجات) التي تتمتع ببنية محددة ودقيقة، إذ وجدت لها حيزاً واسعاً للاستعمال بوصفها مبادلات أيونية، وقد دفع النجاح الذي أبدته هذه المواد في معالجة المياه للحلول جزئياً مكان الزيوليتات وإلى التوسع في دراستها للتوصل إلى اصطناع وإنتاج أنواع مختلفة من هذه المواد(عشرات المواد) لكل منها تركيب خاص وبالآتي تطبيق خاص.بعد ذلك جرى استبدال مادة الزيولايت المصنعة بمادة الرمل الأخضر وهي مادة طبيعية لها سعة تبادل أيوني أقل من المادة المصنعة ،إلا إن لها ثبات فيزيائياً أكبراً مما يجعلها أكثر ملائمة للاستعمالات الصناعية.

3-10 سعة التبادل الأيوني

تعرف سعة التبادل بأنها مقدار الأيونات التي يتم استبدالها بوحدة واحدة من مادة الراتنجات في المحلول. يعبر عن السعة التبادلية بوحدات كغم لكل قدم مكعب من كربونات الكالسيوم.

تقاس سعة المبادلات الأيونية للراتنجات بوساطة عدد الشحنات التي يمكن استبدالها لكل وحدة حجم، وعملياً يتم باستعمال عمود صغير يحتوي على حجم معلوم من الوسط الناقل.

كمية المبادلات الأيونية الكلية تتناسب مع عدد شحنات الوسط الناقل المستهلكة أو المستنفدة Exhausted وشحنات الوسط الناقل. إذ تكون سعة راتنجات المبادلات الأيونية المستخدمة لإزالة العسرة من الماء عادةً مابين 100 – 1500.

استمرت التطويرات والتحسينات على أنظمة التبادل الأيوني وجاء استعمال الزيولايت الكربوني ليساعد في توسيع استعمال المبادلات الأيونية بعملية دورة الهيدروجين، وهذه العملية الأخيرة تساعد في خفض القلوية أو القاعدية فضلاً عن العسرة.

4-10 نظرية المبـــادلات الأيونـــية Ion-Exchange Theory

تعتمد تقنيات معالجة المياه على كثيرمن الخواص والظواهرالكيميائية، والفيزيائية واعتمدت هذه التقنية في كثير من مجالات الصناعة،ويتطرق لها هذا الفصل بوصفها إحدى التقنيات المهمة جداً في عملية معالجة المياه.

تعرف المبادلات الأيونية بأنها عبارةعن عملية تعتمد على الامتزاز Adsorption،وتستخدم للتبادل العكسي Reversible Interchangeللأيونات ذات الشحنات المتشابهة بين كل من مواد منظومة التبادل الأيوني ويطلق عليها مصطلح الراتنجات وبين المحلول المراد امتزاز الأيونات منه.

ا ن اول استخدام لهذه التقنية كان لعلاج عسرة الماء، وذلك بإبدال أيونات الكالسيوم Ca^{+2}والمغنسيوم Mg^{+2} بأيونات الصوديوم، وإذ أن Na_2R تمثل مواد منظومة التبادل الأيوني والـ Rتمثل شق البوليمر Polymerالسالب الشحنة.

$$Ca^{+2} + 2NaR \text{ ---------- } CaR_2 + 2Na^{+2}$$

$$Mg^{+2} + 2NaR \text{ ---------- } MgR_2 + 2Na^{+2}$$

عندما يتم استعمال أو استهلاك كل المبادلات Exchange فإنه يمكن تجديد نشاطها وفعاليتها Regeneratedبوساطة غسلها Flushing بمحلول ملحي من كلوريد الصوديوم NaCl تركيزه 5% – 10%.

$$CaR_2 + 2Na^{+} \text{ ---------- } Ca^{+2} + 2NaR$$

$$MgR_2 + 2Na^{+} \text{ ---------- } Mg^{+2} + 2NaR$$

الأيونات المستخدمة لإزالة العسرة من الماء Softening تعتمد تفاعلاتها على Down Flow Fixed Bed Reactor، توضع حبيبات الراتنجات Granular Resin محصورة في حوض من الحديد Enclosed Metal Tankنوعاً ما يكون شبيهاً لمنظمات سرعة الغاز Pressurized Rapid في مخططات الفلاتر الرملية Sand Filter إذ يكون عمق الطبقة Depth of the Bed ما بين (2-8)م،وذلك لتجنب الدورات الصغيرة للمياه Short-Circuiting Water عند معدل جريان للماء أقل (3 م/ دقيقة) للوسط،وما إن يحدث تدنٍ لفعالية أو كفـــــاءة Once Performance Fall طبقات

الراتنجات فإن الأمر يحتاج لغسيل عكسي أو رجعي Back-Washed بماء نظيف خالٍ من أيونات العسرة لإزالة الأجسام الصلبة Solid ومن ثم يتم القيام بعمليةRegenerated.

يجب أن تكون المياه المستخدمة لعملية إزالة العسرة Softening ذات عكارة منخفضة وخالية تماماً من أي عضويات لأنها سوف تتحول إلى أجسام ممتزة Adsorbedفي الوسط أو البيئة. تصنع معظم أوساط المبادلات من حبيبات أو راتنجات البوليمرعلى الرغم من أنها توجد في الطبيعة على هيئة الزيولايت Zeolites الذي يكون عبارة عن ألومينا وسليكات الصوديوم. فالمبادلات الراتنجية متوافرة لإزالة مدى كبيرمن الكاتيونات (الأيونات الموجبة الشحنة) والأنيونات (الأيونات السالبة الشحنة). إذ أن الكاتيونات عادة ماتتحول إلى أيونات +Na أو +H بينما يتحول الأنيون إلى أيوناتOH^- كما موضح في العمليات الكيميائية في أدناه:

$$2HR + Ca^{+2} \rightarrow R_2SO_4 + 2OH^-$$

إذ تتجدد بوساطة زيادة حامض الكبريتيك ذو تركيز مقداره (2-10%) وكما يأتي:

$$CaR_2 + 2H^+ \rightarrow 2HR + Ca^{+2}$$

كما يتبادل أيون الهيدروكسيد مع أيون الكبريتات وكما يأتي:

$$2ROH + SO_4^{-2} \rightarrow R_2SO_4 + 2OH^-$$

ويُعاد تجديدها بزيادة هيدروكسيد الصوديوم بتركيز مقداره (5-10%) وكما يأتي:

$$R_2SO_4 + 2OH^- \rightarrow 2ROH + SO_4^{-2}$$

ويتم تطبيق هذه العملية أيضاً لإزالة بعض الكاتيونات مثل الكروميوم، الباريوم، الإسترانيوم والراديوم.وكذلك بعض الأنيونات مثل النترات،الفلورايد، السيانيد والهيومايد.

الراتنجات المختلفة لها ضروب مختلفة من التشابهAffinity (قوة تحمل ذرات الأجسام المختلفة في طبيعتها على الاتحاد لتشكل مركباً ما)ويكون هذاالتشابه ذا صلة بتراكيز الأيونات.

5-10 مواد التبادل الأيوني

يُعد الزيولايت واحداً من أهم مواد التبادل الأيوني.وتجد هذه المادة تطبيقاً واسعاً في المبادلات الأيونية التي تستخدم في المعامل والمصانع في العراق وخاصة معامل السكر والنسيج.

يشكل الزيولايت معدناً مسامياً يصل فيه حجم الفراغات المسامية إلى نسبة 50% من حجمه الكلي. ويُعدَّ الزيولايت المعدن الأقل كثافة بين جميع معادن السيليكات الرباعية التركيب، ويضم مجموعة

من معادن الألومينو سيليكات القلوية والكلسية التي تحتوي شبكتها البلورية على ذرات من الماء سهلة الانفصال والالتحام بالنظام البلوري من غير تأثير فيه، وبالآتي يمكن أن يستعاض عنها بأيونات أخرى متنوعة. وينشأ الزيولايت الطبيعي نتيجة التفاعل بين الماء المسامي) المتواجد في الشبكة البلورية) وبين الزجاج البركاني أو معادن السمكتايت والفلسباروالبلاجي وكليزوالنيفلين أو السليكا. ويتحقق التبلور عند وجود نسبة عالية من المغنيسيوم والهيدروجين إلى نسبة الصوديوم - البوتاسيوم - الكالسيوم ، بحيث يتوقف نوع الزيولايت المتشكل على طبيعة الصخور التي انحدر منهاودرجة حرارة الماء وضغط النشاط الأيوني.

أما أنواع الزيولايت الأكثر شيوعاً فهي:**الأنالسيموالشابازايت والكلينوبتيلولايت والأيريونايت والهارموتوم والهولانداية واللومونتايتوالميزولايت والموردينايت والناترولايت والفيليبسايت**.

1-5-10 تركيبة وعمل الزيولايت

الزيولايت المعدني هو الدايلكايت غير الذائب للصوديوم أو البوتاسيوم مع الألمنيوم أو الحديد وماء الإماهة Water of Hydration ويكون رمزه كما يأتي:

$((H_2O)n،SiO_2)x،AlO_3،Na_2O$). يكون الصوديوم والبوتاسيوم قابلين للتبادل بصورة متجددة مع مجموعة القلويات الترابية Sr،Mg،Ca،(Fe) والأمونيا وبعض الفلزات الثنائية التكافؤ مثل الحديد والمنغنيز وكما مبين في أدناه:

$$Na_2 Z + Ca^{+2} \rightarrow CaZ + 2Na$$

$$Na_2Z + Mg^{+2} \rightarrow MgZ + 2Na$$

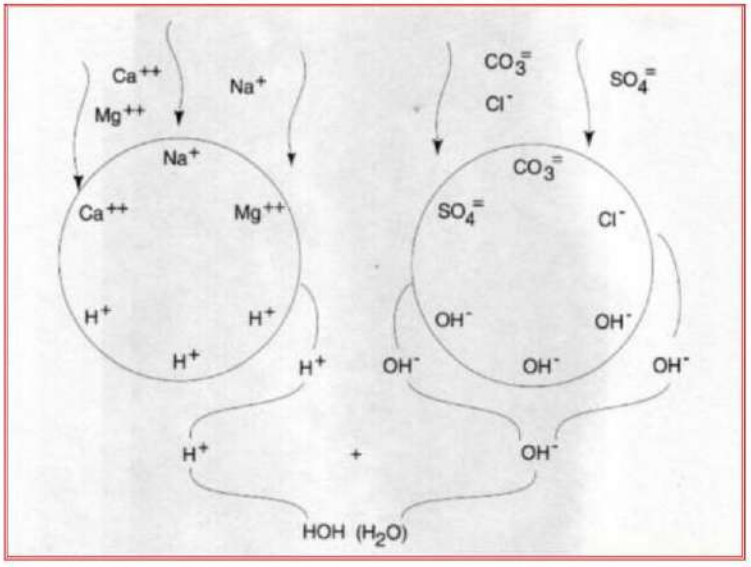
تشير المعادلتان في أعلاه إلى تكوين MgZ و CaZ، ولكن عند التراكيز العالية للصوديوم فإن التفاعل يكون عكسياً. يستعمل محلول الملح لإعادة شحن الزيولايت وبعملية الزيولايت يمكن إنتاج ماء ذي عسرة تساوي الصفر تقريباً (1-5 ملغم\ لتر).

إن الرمل الأخضر أو الزيولايت الطبيعي ينتج بالمعاملة مع الحرارة وهيدروكسيد الصوديوم. والرمل الأخضر له سعة تبادلية تبلغ 5700-6900غرام\متر مكعب.

إما الزيولايت الصناعي فينتج من خلط محاليل عديدة مثل الومينات الصوديوم وسليكات الصوديوم والتي تكون هلاماً. تبلغ كثافة الزيولايت الصناعي نصف كثافة الرمل الأخضر أي بحدود 800 كغم/ مترمكعب. إما سعة التبادل فتصل إلى 14000-17000 غرام/متر مكعب والشكل (10-1) يوضح نموذج من هذا المبادل الأيوني.

يحتاج الرمل الأخضر الطبيعي لإعادة الشحن إلى 3.5- 7 غرام من الملح لكل غرام من العسرة المُزالة ويحتاج إلى فترة تتراوح بين 20-30 دقيقة لإعادة الشحن. إما الزيولايت الصناعي فيحتاج إلى 2.5-3.5غرام لكل غرام من العسرة المزالة مع فترة شحن بحدود نصف ساعة أو اكثر. ويكون الزيولايت الصناعي أقل ديمومة من الزيولايت الطبيعي مع العلم بأنَّ باستطاعة غاز ثنائي أوكسيد الكربون بتركيز أكبر من 15 ملغم/لتر تحليل الزيولايت الصناعي. والشكل (10-2) يوضح عملية التبادل الأيوني .

الشكل10-1 راتنج التبادل الأيوني



الشكل 10-2 عملية التبادل الأيوني

10-5-2 الاستعمالات

يستخدم الزيولايت تبعاً لبنيته الخاصة، في عمليات الامتزاز الذري والتبادل الأيوني. ويتوقف سعر الزيولايت الطبيعي على ندرته وقدرته على إتمام التبادل الأيوني.وقد بدأ استعمال الزيولايت في الصناعة بشكله المُصنَّع (وليس الطبيعي) . وما يزال الزيولايت المصنع يستخدم في العديد من أوجه الاستعمال المهمة (المنظفات الصناعية، والمحفزات الكيميائية والتجفيف - الامتزاز) إذ تكون الجودة أكثر تجانساً ،والبلورات أصغر حجما والمسامات أكثر انتظاماً من الزيولايت الطبيعي. وبالنظر للارتباط الضعيف لبعض الأيونات بالبنية التركيبية الرباعية للزيولايت، وبالآتي سهولة تبادلها مع أيونات أخرى، فإن خاصية التبادل الأيوني في الزيولايت يمكن أن تستخدم في جانبين هما:

1- في الصناعات المرتبطة بالنفايات إذ يستخدم الزيولايت لإزالة الأيونات الضارة من النفايات المشعة وإزالة الأمونيا من مياه الصرف الصحي والنفايات الزراعية.

2- في الزراعة وذلك بتعزيز تحرير الأمونيا بصورة بطيئة من الأسمدة وذلك بزيادة الغذاء عبر زيادة عامل التحول الغذائي والقيام بدور الحامل للأعشاب والفطريات والحشرات الضارة.

10-5-3 محاسن الزيولايت

من محاسن التيسير الزيولايتي هو صغر حجم المنظومة وبساطة تشغيلها وقد يكون التشغيل ذاتياً. أم المساوئ التي تؤخذ على الزيولايت فهي محدودية استعماله في حال العكارة العالية أو احتواء المياه على كبريتيد الهيدروجين. كما لا يمكن استعماله لمياه ذات عسرة عالية تبلغ (800 ملغم/لتر فأكثر) وكذلك يتحدد الاستعمال للمياه الحاوية على تراكيز عالية من الصوديوم.

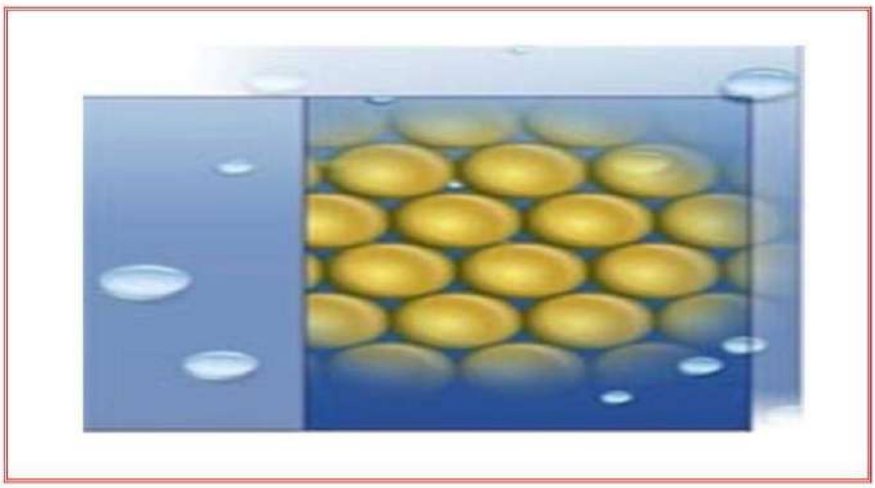
10-6 أنواع راتنجات التبادل الأيوني

الراتنجات هي مواد حبيبية لا تنحل بالماء تحوي أيونات قابلة للتبادل مع الأيونات الموجودة في الماء، ولها أنواع كثيرة أهمها:

1- راتنجات تبادل كاتيونية حامضية قوية تقوم باستبدال الأيونات الموجبة (الكاتيونات) لجميع الأملاح بأيون الهيدروجين أو الصوديوم الموجودة في الراتنجات ، ومنها الراتنجات الكاتيونية المستخدمة في أجهزة تيسير المياه.

2- راتنجات تبادل كاتيونية حامضية ضعيفة تقوم باستبدال أيون الهيدروجين H^+ بكاتيونات أملاح الحوامض الضعيفة فقط كملح بيكربونات الكالسيوم وليس كبريتات الكالسيوم.

3-راتنجات تبادل أنيونية قلوية قوية،هذه الراتنجات قادرة على استبدال أيون الهيدروكسيل OH^- بأنيونات الحوامض جميعاً لذلك تتميز بالقدرة على إزالة السليكا المنحلة،أما تركيبها الكيميائي فهو بولي ستيرين (H_2SiO_3) يحتوي على مجموعة أمونيوم رباعية. والشكل (10-3) يوضح نموذجاً من هذا النوع.



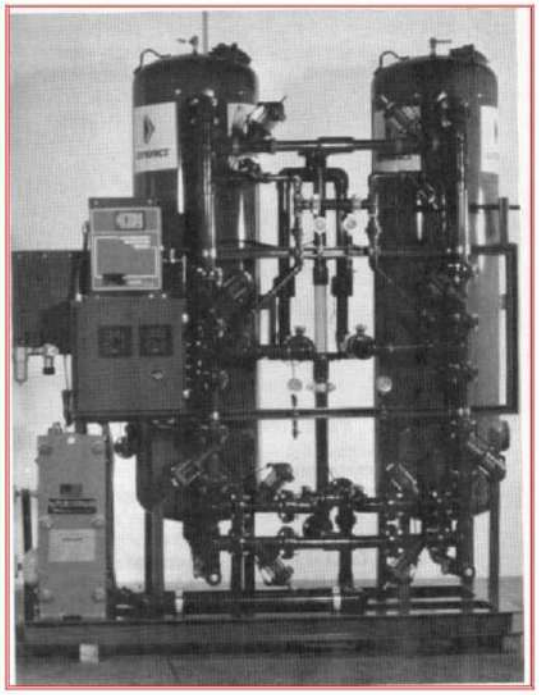
الشكل 10-3 راتنجات تبادل أيوني قلويةقوية

4- راتنجات تبادل أنيونية قلوية ضعيفة تستطيع التخلص من الحوامض القوية فقط مثل (HCL،H2SO4،HNO3) ولكنها غير قادرة على إزالة حامض الكربون أو حامض السليسيوم، والشكل (10-4)يوضح نموذجاً من هذا النوع.

الشكل 10-4 راتنجات تبادلأنيونية قلوية ضعيفة

7-10 أنواع منظومات التبادل الأيوني

تتألف ميسرات المياه من خزانات تعمل بالجاذبية أو الضغط تشبه إلى حد كبير منظومات الرمل أو الكربون المنشط. يبلغ سمك المواد في الزيولايت الطبيعي (76-200) سم وذات حجم فعال (0.25-0.3) ملم. أما في حالة الزيولايت الصناعي فيبلغ سمك الحجم الفعال (0.42) ملم، ويكون اتجاه الجريان باتجاه الأعلى أو باتجاه الأسفل وبمعدل يقترب من(0.16- 0.32)م^3/م^{2}دقيقة. والشكل (10-5) يوضح مخطط لمنظومة تبادل أيوني.



الشكل 10-5 منظومة التبادل الأيوني

تقسم المبادلات الأيونية بحسب طبيعة الأيون المستبدل على:

أولاً:راتنج تبادل موجب Cat Ion Exchange Resinويشمل نوعين من المبادلات:

- المبادل الأيوني الحامضي الموجب الضعيفWeak Cation
- المبادل الأيوني الحامضي الموجب القويCation Strong

ثانياً: راتنج تبادل سالب (An Ion Exchange Resin) ويشمل نوعين من المبادلات:

- المبادل الأيوني القاعدي السالب الضعيفWeak Anion
- المبادل الأيوني القاعدي السالب القويStrong Anion

1-المبادل الأيوني الحامضي الموجب الضعيف

يحتوي على مجموعة كربوكسيلية (+COO-H).إن هذا المبادل له القابلية على إزالة الأيونات الموجبة المرتبطة مع البيكربونات((Hco_3^-)) والكربونات($Co_3^=$) والهيدروكسيدات (OH^-)أي أنّهُ يزيل العسرة الكربونية فقط(بيكربونات الكالسيوم والمغنسيوم) و يتم إعادة الحيوية باستعمال حامض (H_2SO_4)بتركيز قليل، إما في حاله ازدياد التركيز فإن الرزن سوف يتلف.

2-المبادل الأيوني الحامضي الموجب القوي

يحتوي على مجموعة السلفونات (SO^{-3})،إن هذا المبادل له القابلية على إزالة جميع الأيونات الموجبة في الماء(يزيل العسرة الدائمة (كلوريدات و الكبريتات) فضلاً عن إزالة العسرة المؤقتة. ويتم إعادة الحيوية باستعمال حامض(H_2SO_4).

3-المبادل الأيوني القاعدي السالب الضعيف

يحتوي على الثلاثية^2(R-N) (CH^3) في هذا النوع يتم إزالة جميع الأيونات السالبة الموجودة في الحوامض القوية فقط وهي NaOH،HCL،H_2SO_4وإزالة الحامضية تزداد بسبب وجود OHو يتم إعادة الحيوية بوساطةHNO_3.

4-المبادل الأيوني القاعدي السالب القوي

يحتوي على مجموعة أمونيوم رباعي العناصر $\{N(CH_3)_2CH_2CH_2OH\}$،إن هذا المبادل له القابلية على إزالة الأيونات السالبة الموجودة في الحوامض القوية والضعيفة وهي HCL،H_2SO_4،HNO_3،H_2SiO_2،H_2CO_3ويتم كذلك إزالة السليكا.

تكون انتقائية الرزين Resinالموجب (الأيونات الموجبة) بحسب عدد التكافؤ الأعلى ثم الأقل،إما في حالة تساوي عدد التكافؤ فتكون الانتقائية اعتماداً على الوزن الأيوني الأعلى، ثم الأقل ((Ca>Mg>K>Na))وتنطبق نفس الخاصية على الرزن السالب لكنه في حالة تساوي عدد التكافؤ يكون الانتقاء على الوزن الأيوني الأقل ثم الأعلى(SO_4> CL> HCO_3>Sio_2).

8-10 ميّزات استعمال عملية التبادل الأيوني

1- لا يحدث ترسبات في العملية وبذلك يتم تجنب مشاكل الحمأة.

2- الكلفة الابتدائية وكلفة التشغيل قليلة.

3- يمكن التعامل بسهولة مع المواد الكيميائية المستخدمة.

4- يمكن إنتاج مياه خالية من العسرة تماماً أو مع أي مستوى مطلوب منها بالمقارنة بطريقة الجير- صودا.

5- تتطلب مساحات صغيرة نسبياً.

6- تكون طريقة التشغيل ذاتية وأوتوماتيكية مسيطر عليها.

7- الكلفة الأولية وكلفة التشغيل منخفضة واقتصادية.

10-9محددات استعمال التبادل الأيوني

1- قلة الكفاءة عند التعامل مع مياه شديدة العكارة لانسداد المسامات.

2- لا يمكن استعمالها مع مياه تحوي تراكيز من الحديد والمنغنيز.

3- تحتاج إلى خبرة وممارسة.

مثال 10-1

احسب كمية الزيولايت المطلوبة لتيسير مياه محطة طاقتها 2.27 مليون لتر/اليوم. علماً بأن المياه ذات

عسرة تتراوح بين 572-286 ملغرام/لتر، كما تبلغ الفترة بين إعادة شحن الزيولايت 3 ساعات

وسعة التبادل تساوي $27,46\times10^6$ ملغم /م^3.

الحل

طاقة المحطة\ الساعة =(2.27×10^6)\ 24 = 94583.3 لتر

كمية الزيولايت المطلوبة = 94583.3 × 3 =283750 لتر

مقدار الانخفاض في العسرة = 572- 286 = 286 ملغم/ لتر

إذاً مقدار العسرة المنخفضة = $283750\times286=81\times10^6$ ملغم

لما كانت سعة التبادل تساوي 27.46×10^6ملغم لكل متر مكعب

إذاً كمية الزيولايت المطلوب=$\frac{81\times10^6}{27.46\times10^6}$ = 2.96 م^3

10-10 تطبيقات المبادلات الأيونية

للريزين استعمالات كثيرة في مجال معالجة المياه ومعالجة مياه الصرف الصناعي، ومن هذه الاستعمالات:

1- تيسير المياه وإزالة العسرة (إزالة الكلس)بالتبادل الأيوني:تجري هذه العملية بوساطة جهاز إزالة العسرة Softener الذي يحوي فرشة ريزين كاتيوني قوي مشحون بأيون الصوديوم، عندما يصبح الريزين مشبعاً بأيونات الكالسيوم والمغنسيوم القاسية عندها يقوم جهاز Softener بعملية تنشيط الريزين بالمحلول الملحي) .Regeneration بتمرير محلول(5-10%)من كلوريد الصوديوم. إن وظيفة المحلول الملحي NaCl هي إعادة شحن الريزين بأيون الصوديوم Na وذلك بأخذ أيونات الكالسيوم والمغنسيوم من الريزين وإعطاء الريزين أيون الصوديوم ويمكن بهذه الطريقة أن تنخفض درجة عسرة الماء إلى ما يقرب من (0.04 -0.06) درجة.

2- إزالة القلوية:إن الهدف الرئيس من خفض قلوية ماء المرجل هو تقليل كمية ثاني أوكسيد الكربون في البخار الذي يشكل السبب الأساسي لتآكل أنابيب التكاثف، وينطلق ثاني أوكسيد الكربون في المرجل نتيجة تحلل القلوية الكربوناتية والبيكربوناتية، يستخدم هنا ريزين سالب (أيوني قلوي قوي Strong Basic Anionic Resin)لإزالة البيكربونات من الماء.

3- إزالة الأيونات الموجبة والسالبة،وتتم عملية التنشيط للمبادل الأنيوني بالمحلول الملحي، تتطلب كثير من الصناعات ماءً عالي النقاوة و خالياً من الأيونات الموجبة والسالبة، إن الأيونات الموجبة (الكاتيونات) والأيونات السالبة (الآنيونات) هي سبب الموصلية الكهربائية للماء لذلك يمكن استعمال الناقلية بوصفها مقياس لنقاوة الماء

4- إزالة النترات.

5- إزالة المعادن الثقيلة.

6- استعمالات كثيرة متعددة: صناعة السكر والكلوكوز، الصناعات الصيدلانية ، الصناعات الغذائية ، الصناعات الكيميائية ، الاستعمالات المخبرية، يستخدم كمواد محفزة للصناعات الإلكترونية ، الاستعمالات النووية.

11-10 عملية إزالة الأيونات

تتم عملية إزالة الأيونات على مرحلتين:

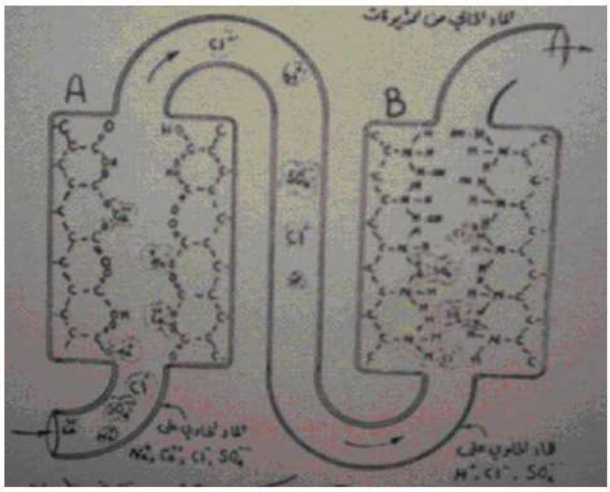
1- إزالة الأيونات الموجبة: باستعمال الراتنجات الكاتيونية القوية التي تستبدل الأيونات الموجبة بأيونات الهدروجين، ويتم تنشيط الراتنجات الكاتيونية بالحوامض القوية كحامض الكبريت، كما موضح في الشكل (10-6).

2- إزالة الأيونات السالبة: باستعمال الراتنجات الأنيونية القوية التي تستبدل الأيونات السالبة بأيونات الهيدروكسي OH، وإن أيونات الهيدروكسيل تقوم بتعديل الحموضة الناتجة من استعمال الريزين الكاتيوني القوي ونحصل على ماء خالٍ من الأيونات.

ويتم تنشيط الراتنجات الأنيونية بالمحاليل القلوية كالصودا الكاوية (NaOH) . مردودية المبادل الكاتيوني والأيوني مهما كانت كبيرة لا تصل إلى 100% في إزالة الأيونات وبالآتي من المفضل وضع مبادل يسمى المبادل المختلط الذي يحوي راتنجات كاتيونية وأيونية لإزالة ما تبقى من أيونات موجبة و سالبة هاربة موجودة في الماء و خصوصاً في المياه الصناعية.

الشكل 10-6صورة لمبادل كاتيوني في محطة حرارية

الشكل (10-7) يوضح تبادل الأيونات الموجبة في الوعاء A والأيونات السالبة في الوعاء B إذ الوعاء الأول يحوي على مادة تنتهي جزيئاتها الطويلة بالوظائف الحامضية R-COOH والوعاء الثاني يحتوي حبيبات تنتهي جزيئاتها الطويلة بالوظائف القاعدية $NH_3^+OH^-$



الشكل 10-7 عملية التبادل الأيوني بين الوعائين

12-10 الشحوم والزيوت Oils

الشحوم والزيوت مركبات لا تذوب في الما ء، لكنها تذوب في مذيبات عضوية مثل البترول والكلوروفورم والأيثرEther، وهي مركبات استرالكحول أوالجليسيرول والأحماض الدهنية، وتتكون من الكربون والهيدروجين والأوكسجين بنسب مختلفة، والشحوم والزيوت أكثر ثباتا ضد التحلل البكتيري من بقية المركبات العضوية، غير إنه يسهل تحطيمها بالأحماض المعدنية، الشيء الذي يتكون معه الجلسرين والأحماض الدهنية.

تعيق الزيوت والشحوم المعالجة الحيوية، كما وإنها تكوّن مناظر غير مستحبة عندما يتم التخلص منها على ضفاف الأنهار والسواحل، وعندما توجد الشحوم بكميات كبيرة(عند تنقية المياه) فإنها تسد المرشحات والفتحات ومسام المادة المرشحة، كما وإنها تغطي جدران أحواض الترسيب وتتفكك لتزيد من كمية الزبد والغثاء وتتأثر سلباً مرشحات النضيض وأحواض الحمأة النشطة وذلك لأن الشحوم تحد من النشاط والنمو الحيوي مما يحول بين انتقال الأوكسجين من السائل إلى داخل الخلية الحية، وعليه فمن الواجب استخلاصها قبل البدء في مرحلة المعالجة الحيوية.

أسئلة الفصل العاشر

س1) أين تكمن ضرورة التبادل الأيوني؟

س2) عرف سعة التبادل الأيوني، مبيناً كيفية قياسه.

س3) عرف المبادلات الأيونية، مبيناً كيفية استعمالها في إزالة العسرة، معززاً إجابتك بالمعادلات الكيمياوية.

س4) ماهو الزيولايت؟ وأين يستخدم؟ وماهي تركيبته ووظيفته ومحاسنه؟

س5) اذكر أنواع الراتنجات المستخدمة في عملية التبادل الأيوني.

س6) بين أنواع منظومات التبادل الأيوني.

س7) كيف تقسم المبادلات الأيونية بالنسبة إلى طبيعة الأيون المستبدل.

س8) اذكر مَيزات استعمال طريقة التبادل الأيوني.

س9) اذكر تطبيقات المبادلات الأيونية.

س10) اذكر المراحل التي تتم فيها عملية إزالة الأيونات.

الباب الثالث

الأحياء المجهرية

Microorganisms

الأهداف

الهدف العام

يهدف هذا الباب إلى التعرف على أهمية الأحياء المجهرية وطرق السيطرة عليها.

الأهداف الخاصة

نتوقع أن يكون الطالب قادراً على أن:

1. يتعرف على أهمية الأحياء المجهرية.
2. طرق السيطرة على الأحياء المجهرية.
3. أهم الأمراض التي تسببها الأحياء المجهرية في المياه.
4. أهم مسببات الأمراض.
5. تأثير المعالجات المختلفة للمياه على الأحياء المجهرية.
6. يتعرف على طرق أخذ العينات.
7. يتعرف على المواصفات القياسية المايكروبيولوجية لمياه الشرب.

الفصل الحادي عشر

مدخل إلى الأحياء المجهرية

Introduction to the Microorganisms

محتويات الفصل 11

تعلم الموضوعات

- مدخل إلى الأحياء المجهرية.
- أهمية الأحياء المجهرية.

مدخل إلى الأحياء المجهرية

Introduction to the Microorganisms

1-11 مقدمة Introduction

لا شك في أنَّ مسألة توافر المياه السطحية العذبة - بنوعية جيدة وكمية كافية – هي واحدة من أهم القضايا التي تهم الجنس البشري، بل هي الاخطر على الإطلاق، لأن المشاكل المرتبطة بهذه القضية ذات مساس مباشر بحياة مئات الملايين من بني البشر والكائنات الحية الأخرى، إذ كما هو معلوم يتمتع الماء من بين جميع الموارد المتجددة بصفات فريدة تجعل منه مورداً لا يمكن الاستغناء عنه أو تعويضه. على النقيض من هذا فإن الإنسان لم يعبأ باحتياجاته من الماء العذب للإيفاء بمتطلباته المختلفة، بل أخذ يمعن في تعريض الوسط المائي كله إلى شتى أنواع التلوث ومصادره بفعل أنشطته المتعددة، وكان من جراء هذه الممارسات أن ظهرت أعراض التدهور أو التلوث وتردي النوعية في معظم المسطحات المائية مما يؤثر في استخدام مياهها لمختلف الأغراض.

2-11 أهمية الأحياء المجهرية في الماء
Significance of Micro-Organisms in Water

يُعد موضوع تلوث المياه والأمراض المرتبطة به من أكثر الموضوعات التي اهتم بها العلماء والباحثون. وليس من الغريب أن تكون أعداد البحوث والدراسات التي تناولت هذا الموضوع يفوق نظيراتها من الدراسات الأخرى التي تناولت جوانب أخرى في ذات المجال، ويعود هذا لسببين رئيسين هما:

1. **أهمية الماء وضرورته** إذ لا يمكن لأي كائن حي مهما كان حجمه وشكله ونوعه أن يعيش من دونه وهو(أي الماء) يدخل في كل العمليات الحيوية والبيولوجية والصناعية وغيرها، كما يدخل في كل التفاعلات الكيميائية والتحولات التي تحصل في داخل جسم أي كائن حي.
2. **يشغل الماء أكبر حيز في الغلاف الحيوي** وهو أكثر المواد انتشاراً وتوزيعاً، إذ يشكل70,8 % من مساحة الكرة الأرضية ويبلغ حجم الماء الموجود على ظهر هذه الكرة بحدود 1400 مليون كيلومتر مكعب مما حدا بالعلماء إلى إطلاق تسمية الكرة المائية أو اللؤلؤة الزرقاء على كوكب الأرض. من جهة أخرى يشكل الماء60 %- 70 % من أجسام الأحياء الراقية وفوق نسبة 90% من أجسام الأحياء الدنيا وتلوث الماء من هذا المنطلق يؤدي إلى أضرار بليغة على الجوانب الصحية.

تحتل العلاقة بين نوعية الماء وبين الصحة أهمية خاصة في اهتمام مختلف شرائح المجتمع، وهناك اعتقاد قوي في أن مشاكل تلوث المياه لها علاقة وثيقة بالتأثيرات على الصحة البشرية. ويشير (هيبوقراط) والمعروف لدى الأطباء بأنه (أبو الطب) بأن من أراد أن يعرف الطب بشكل صحيح ينبغي عليه أن يأخذ بالحسبان تأثير الفصول/المناخ والرياح والماء في تشخيصه للمرض.

وعموماً تقسم هذه العلاقة إلى أربعة فئات هي:

- يؤدي الماء دوراً مهما بوصفه وسطاً ناقلاً للأحياء المجهرية المسببة للأمراض.
- يؤدي الماء دوراً غير مباشر بوصفه موطناً للبعوض والحشرات الضارة الأخرى التي تنقل مسببات المرض
- الماء وسطاً مهماً لنقلاً العديد من المواد الكيميائية السامة.
- للماء تأثيرات نفعية مهمة إما عن طريق استخدامه في الإصحاح العام أو من جراء وجود بعض المكونات الكيميائية الضرورية فيه.

تؤثر نوعية الماء بشكل أساس على الصحة العامة سواء كانت تلك النوعية كيميائية، أم فيزيائية، أم بيولوجية. وتساعد معرفة الجانب البيولوجية على وجه الخصوص في منع حصول الأمراض، إذ أن من المحتمل حصول الأوبئة والأمراض جراء رداءة النوعية البيولوجية للماء. صحيح إن للنوعية الكيميائية أثراً مهاً في هذا المضمار، إلا إنها أقل أهمية من الجانب البيولوجية فضلاً عن أن الآثار التي تسببها النوعية الكيميائية ذات طبيعة مزمنة وتوافر الوقت كفيل باتخاذ الإجراءات الضرورية والوقائية لمعالجتها.

الشكل 11-1 طرح مياه الفضلات من غير معالجة إلى الموارد المائية

تشير دراسات منظمة الصحة العالمية إلى إن ما يربو عن 80% من كل الأمراض وأكثر من 30% من الوفيات في الدول النامية لها علاقة وثيقة بتلوث المياه، وإن الإنسان على هذا الكوكب يفقد 10% من سني عمره بإصابته بالأمراض ذات الصلة بالماء. وتؤكد هذه الدراسات إن أكثر الفئات العمرية تأثراً بالأمراض هم الأطفال تحت الخامسة من العمر.

أسئلة الفصل الحادي عشر

س1) ماهي أهمية الأحياء المجهرية في الماء.؟

س2) كيف تقسم العلاقة بين نوعية الماء والصحة العامة.؟

س3) ما المقصود بتلوث المياه، وماهي أنواعه؟

الفصل الثانى عشر

الصحة العامة

General Health

الفصل 12

محتويات

تعلم الموضوعات

- الأمراض ذات الصلة بتلوث المياه
- مسببات الأمراض
- المؤشرات البكتريولوجية لتلوث المياه
- الاختبارات البيولوجية لتلوث المياه
- أنواع الأمراض وأعراضها
- الاحتماء من الأمراض

الصحة العامة

General Health

1-12 الأمراض ذات الصلة بتلوث المياه

تلحق الأمراض المتعلقة بالماء ضرراً فظيعاً بصحة الإنسان، وهذه الأمراض توجد بأنواع كثيرة،ولكنها جميعاً لها علاقة مباشرة بالحاجة إلى مياه نظيفة. وينشأ العديد من تلك الأمراض باختصار بسبب عدم توفر مياه للشرب وتنظيف الأطعمة، بينما يتفشى غيرها بسبب عدم توفر منشآت ملائمة لتوفير الصحة العامة الوقائية والممارسات غير السليمة للنظافة الصحية الشخصية التي لها علاقة مباشرة بعدم وجود مياه نظيفة.

والأمراض المتعلقة بالماء هي واحدة من أبرز المشاكل الصحية في العالم التي يمكن الوقاية منها إلى حد كبير. فالكوليرا وغيرها من أمراض الإسهال مسؤولة وحدها عن وفاة 8,1مليون إنسان كل سنة. وأكثر أولئك إصابة هم فقراء الدول النامية، ولا سيما الأطفال فالأمراض المتعلقة بالماء تحصر الملايين في دورة من الفقر والجهل وضعف الصحة وكثيرا ما تجعلهم عاجزين عن العمل أو الذهاب إلى المدرسة.

ومن بين أشهر الأنواع التي يسببها تلوث المياه ما يأتي:

- أمراض محمولة بالماء تنتشر في الماء الذي يحتوي على بول وبراز بشري أو حيواني،إما عند شربه مباشرة أو تناول طعام غُسل به. وتتضمن هذه الأمراض: الكوليرا وغيرها من أمراض الإسهال، حمى التيفوئيد، شلل الأطفال، الدودة الشريطية، الدودة الدائرية. وتتسبب أمراض الإسهال بـ17% (17 من بين كل مئة) من وفيات الأطفال في العالم.
- أمراض ناجمة عن نقص الغسل بالماء تنتشر بسبب عدم النظافة وملامسة الجلد أو العين للماء القذر. وتُسمّى (مغسولة بالماء) لأن سببها انعدام الصرف الصحي والنظافة، ولأن التنظيف بالماء يحمي من الإصابة بها. وتتضمن هذه الأمراض: التراخوما (الذي قد يسبب العمى لاحقاً في الحياة)، القمل، الجرب، حمّى التيفوس .

- أمراض أساسها الماء تنتشر في المياه الملوّثة بالطفيليات (الديدان) إما عند شربها أو إذا اخترق الجلد (من خلال جرح مفتوح عادة). وتتضمن: البلهارزيا التي قد تبطئ النمو والتطور، داء الحيبات الذي يسبب التشوهات والإعاقات.
- أمراض ذات الصلة بالماء، أمراض تنقلها الحشرات متعلقة بالماء تنتشر من خلال الحشرات التي تتكاثر (تعيش (في الماء القذر أو بالقرب منه. ففي المناطق الريفية، يتعرّض الناس إلى لسع تلك الحشرات عند مصادر الماء. وتتضمن هذه الأمراض: الملاريا، فيروس التهاب الدماغ الياباني، مرض النوم، عمى النهر، الحمى الصفراء، حمى تكسير العظام (الضنك).

شكل 12-1 زيادة تركيز المغذيات يضر بالموارد المائية

تنتقل كثير من الأمراض بوساطة الماء الملوث، ومن تلك الأمراض حمى التيفوئيد، وداء البلهارزيا والدوسنتاريا، لذا يجب الحذر الشديد والابتعاد عن الماء الملوث، فالوقاية خير من العلاج. كثيرة هي الأمراض التي تنتقل عبر الماء الملوث، ولا سيما تلك التي تسببها بعض الجراثيم أو الطفيليات التي يحتوي عليها براز الإنسان المريض أو بوله، وفي مقدمتها حمى التيفوئيد وداء البلهارزيا، وداء الديدان الانكيلوستوما، وسائر الديدان. أما حمى التيفوئيد فتستقر جراثيمها في أمعاء الإنسان ودمه وبوله، فاتصال بول المصاب بها أو اتصال برازه بالماء، يمكن أن يؤدي إلى نقل جراثيمها إن كانت فيه ولقد كان الماء من أهم وسائل نقل هذا المرض وانتشاره في الناس قبل اتخاذ الوسائل الحديثة لتطهيره ومراقبته في البلدان الراقية، ولكنه ما زال عاملاً مهماً في نقلها في البلدان المتخلفة. وأما مرض البلهارزيا فهو مرض يتصف بالتهاب في المثانة (تبول الدم) أو التهاب في القولون (الديزنتري).

ينطرح بيض الطفيلي مع البول في النوع الأول، ومع البراز في النوع الثاني، حتى إذا ما بلغت الماء ولا سيما الماء الراكد قليل الحركة فانهما تفقسان يرقة صغيرة، لا تلبث أن تدخل أحد أنواع الحلزون أو في ذوات القواقع تتحول إلى يرقة ذات ذنب، وهذه الأذناب تسبح في الماء، حتى تصادف إنساناً يغتسل في الماء، أو يسبح فيه، أو يغسل فيه ثيابه، أو يشرب منه، أو يخوض في ماء الري، إذّ تخترق الجراثيم بشرة الجلد، بأن تدس نهايتها الأمامية في الجلد وتستغني عن ذيلها، وفي غضون أربع وعشرين ساعة، تصل إلى الدم، فتجول في الدورة الدموية، ثم ينتهي بها المطاف إلى داخل الكبد، إذّ تكبر وتتزاوج، ثم تهاجر إلى جدران المثانة أو الأمعاء لتبيض. وأما ديدان الانكيلوستوما فهي ديدان تكون في الأمعاء، وتتسبب عند الشخص المصاب ّالام في منطقة البطن، وبعد مدة يظهر فقر الدم الشديد، وتصبح الأغشية المخاطية كلها شاحبة جداً، وينتفخ الوجه وتتورم الرجلان، وقد يظهر على المريض استسقاء، أي تراكم السوائل في أنسجته وجوف البطن، وإذا لم يعالج المرض، فيعم الاستسقاء جميع الأطراف، أو ينحل المريض ويهزل جداً حتى تبدو عظامه، ولكنه على كل حال يبقى منتفخ البطن بالسوائل، حتى يموت. وبيض هذه الديدان التي تطرح مع البراز تفقس عن يرقاتها إذا ما وجدت تربة رطبة، كأرض الحقول أو المزارع أو المناجم، فإذا لامسها إنسان نفذت من جلده مباشرة، وتابعت مسيرتها فيه حتى تبلغ الدم، ثم تصل بالدوران إلى الكبد ثم الرئة ثم الأمعاء. وأكثر من يتعرض لعدواها الزراع وعمال المناجم، ولكنها كذلك تهاجم الأطفال الذين يخوضون في الوحل الموبوء بها حفاة فيصابون بها. وواضح إن الوقاية منها تقوم على الحيلولة دون وصول شيء من الغائط إلى سطح الأرض ولا سيما في الظل، إذ يحافظ الظل على الرطوبة اللازمة لحياة اليرقات ويحفظها من التأثير المطهر الذي تتصف به أشعة الشمس.

يتبين مما تقدم إن وقاية الماء من التلوث ونقل عدوى الأمراض الآنفة الذكر تتلخص في أمرين اثنين هما:

(1) منع وصول جراثيم هذه الأمراض وطفيلياتها إلى الماء أو التربة الرطبة.

(2)عدم تعريض الإنسان نفسه إلى عدواها بنزوله في الماء الذي يحتمل أن يحتوي عليها، وخاصة الماء الراكد القليل الحركة، ويبين الجدول (12-1) عدداً من الأمراض التي يسببها تلوث المياه. ويبين الجدول 12-1 الأمراض التي تصيب الجنس البشري بسبب تلوث المياه.

جدول 12-1 يبين الامراض التي تصيب الجنس البشري نتيجة لتلوث المياه

المرض		عدد الإصابات سنوياً ×1000	عدد الوفيات سنوياً ×1000
أمراض ينقلها الماء	الأميبا	400000	30
	الإسهال	5-3 مليون	10000-5000
	شلل الأطفال	80000	20-10
	التيفوئيد	1000000	25
أمراض ناجمة عن عدم الغسل بالماء	ديدان الإسكارس	1000-800	20
	البرص	12000	قليل جداً
	الدودة السوطية	500000	قليل
أمراض مستوطنة بالماء	البلهارزيا	20000	1000-500
أمراض وثيقة الصلة بالماء	مرض النوم	1000	5
	الملاريا	800000	1200
	العمى النهري	30000	50-30
أمراض ينقلها البراز	دودة الانكيلوستوما	9000-7000	60-50

12- 2 مسببات الامراض

يؤدى تلوث المجاري المائية بالمخلفات البشرية إلى تواجد مسببات الأمراض. من أهم هذه المسببات ما يأتي:

1-البكتريا: مثل ضامات الكوليرا – السالمونيلا – الشيجيلا وغيرها.

2-الفيروسات: فيروس الالتهاب الكبدي الوبائي (أ)، وفيروس الالتهاب الكبدي (ب)، وفيروس شلل الأطفال، وفيروسات للإسهال والنزلات المعوية.

3-الطفيليات: مثل البلهارزيا، الدوسنتاريا الأميبية، الدودة الكبدية، والهيتروفيس.

وبالرغم من وجود إمكانيات للكشف عن هذه المسببات للأمراض إلا أن هناك صعوبات معملية للكشف عنها بصفة دورية وروتينية، وقد تم الاتفاق عالمياً على استخدام أنواع أخرى من البكتريا التي تتواجد بأعداد كثيرة في الأمعاء الغليظة للإنسان وتقاوم البيئة الخارجية أكثر من مسببات الأمراض – بوصفها مؤشراً في لاحتمال وجود مسببات الأمراض في هذه المياه.

3-12 أهم المؤشرات البكتريولوجية لتلوث الموارد المائية

إن من أهم المؤشرات البكتريولوجية لتلوث المياه هي الميكروبات التي إذا وجدت بالماء فإنها تعتبر دالة على تلوث الماء بمياه المجاري أو كائنات أخرى ملوثة. وهي دالة على وجود الميكروبات الممرضة.

أهم مميزاتها:

1-وجودها فقط في المياه الملوثة.

2-تلازم وجودها الميكروبات الممرضة.

3-العلاقة النسبية بين أعدادها والتلوث المائي بالميكروبات.

4-تتميز بقدرتها على العيش مدة أطول من الممرضة في الماء.

5-غير ضارة للإنسان.

6-سهولة الكشف عنها معملياً لوجودها بأعداد كبيرة بالمقارنة بالمكروبات الممرضة.

من أنواعها:

أولاً: – المجموعة القولونية:

وتتواجد في التربة وروث الحيوانات وبراز الإنسان وفى استطاعتها التكاثر في المعمل عند درجة حرارة 35، 37 درجة سيليزية وينتج من تكاثرها غاز وحامض ما بين 24 - 48 ساعة.

ثانياً: – باسيل القولون النموذجي:

يتواجد في الأمعاء الغليظة للإنسان وتواجده في المياه يعنى تلوثها من مصدر أمنى بمعنى أن المياه تحتوى على مسببات الأمراض، وهو أحد فصائل المجموعة القولونية ويتميز عنها بأنه قادر على النمو معملياً في درجات أعلى بين 44 –44.5 درجة سيليزية وينتج من تكاثره غاز وحامض أيضاً.

ثالثاً:- المكورات السبحية البرازية:

وتتواجد في الأمعاء الغليظة للإنسان وتواجدها دلالة على تلوث المياه بسبب الإنسان، وبالنظر الىً أن مخلفات بعض الحيوانات تحتوى على نفس المكورات السبحية البرازية أكثر من 3:1 فإن مصدر التلوث يكون آدمياً، أما إذا كانت نفس النسبة أقل من 1:0.7 فإن مصدر التلوث هو الحيوانات.

12-4الاختبارات البايولوجية للكشف عن المياه وصلاحيتها للشرب

1-طريقة عد الأطباق.

2-اختبار مجموعة القولون:

أ- الاختبار الاحتمالي.
ب- الاختبار التحقيقي.

ج- الاختبار التكميلي.

3-الكشف عن الميكروبات الأخرى.

12- 5 أنواع الأمراض وأعراضها

عادة ما يصاب المريض عند حصول المرض بارتفاع في درجة الحرارة يدوم عدة أيام، ويشكو في خلالها

من الصداع والوهن وألم البطن والإسهال الدامي وفقدان الشهية ومن أهم طرائق الوقاية لمنع انتشار المرض هي التركيز على التحكم في نظافة الماء والغذاء وصحتهما، والصحة الفردية والنظافة الشخصية ولا زال يدعى مرض الأيدي القذرة.

ينتقل المرض مباشرة باستعمال حاجات المريض الشخصية الملوثة، أو عن طريق تناول الأطعمة المكشوفة، والفواكه والخضار غير المغسولة جيداً، التي قد تكون ملوثة بالجراثيم.

ومن أهم الأمراض التي يكون الماء سبباً في الإصابة بها ما يأتي:

1-الزحار العصوي:وهو مرض ينتقل من الإنسان إلى الإنسان، تسببه جراثيم عديدة تنتقل عن طريق الماء والطعام، ويصيب الأمعاء و ينتج عنه اسهال دموي وصديد ومخاط (الزحير) عند الخروج كما إن مرض الزحار ينتشر بسرعة ويصيب مجموعات كبيرة من الناس في وقت واحد كالتجمعات

المدرسية، إذّ يكون الطعام والشراب المشترك بين هذه الفئات مصدراً جماعياً للعدوى.

2-الكوليرا:ويتسبب في هذا المرض جراثيم خاصة تسمى ضمات الكوليرا وتلوث الماء بهذه الجراثيم لا يحدث إلا من خلال أشخاص مصابين بالمرض، لكن سرعان ما تزول هذه الضمات من الماء الملوث من خلال أيام قليلة عند منع التلوث تبقى جراثيم الكوليرا حية في الماء لمدة 7 إلى 13 يوماً، بينما لاتبقى في المياه المحتوية على عدد كبير من الجراثيم سوى يوما واحد الى يومين. ويبدأ المرض عادة بإسهال عادي، ثم يصبح سائلاً أبيض، وتقيؤ شديد، وتشنجات عضلية مؤلمة، وشحوب اللون وجحوظ العينين، و جفاف الجلد وفي هذه المرحلة تحدث الوفاة، يجب أن يتصل المريض في الساعات الأولى من الإصابة بأقرب مركز صحي قبل أن تبلغ الإصابة مرحلة متقدمة.

3-التهابات الكبد الفيروسي: لهذا المرض عدة أنواع من بينها التهابات بالحمىHepatitis A،ينتشر مرض التهابات الكبد الفيروسي بالحمى(أ)على شكل جائحات فصلية في الخريف والشتاء في البيئة التي تنعدم فيها الشروط الصحية، وتهمل فيها النظافة الفردية عن طريق الماء والطعام الملوثين

ببراز المصابين أو حاملي المرض تعتمد مكافحة هذا المرض على مراقبة نظافة الماء والغذاء وصحتهما، اتباع سبل النظافة الفردية.

4-الجذام الجلدي: هذا المرض المعدي قد ينتشر بشكل عدوى يسببه ميكروب صغير جداً، أعراض المرض ارتفاع في درجة الحرارة، آلام في الرأس، دقات قلب سريعة وظهور طفح وردي اللون بعدها يبدأ الدم يخرج من هذه البقع، بعد عدة أيام يفقد المريض الوعي، يتسبب هذا المرض عن طريق القمل، إذ أنّ القملة تحمل الجراثيم وتنتقل إلى الجلد عن طريق الحك ثم تصل إلى داخل الجسم. ويتفشى هذا المرض في المناطق التي لا يحافظ فيها السكان على نظافة الجسم والبيوت.

5-مرض الخناق "الدفتيريا": مرض خطير يصيب الأطفال عادة، يسبب هذا المرض ميكروبات تسمى ميكروبات لوفر نسبة إلى الباحث الذي اكتشفها، تدخل هذه الميكروبات إلى الجسم عن طريق الفم أو الأنف أو نتيجة شرب الحليب غير المعقم أو غير المسخن، من أعراض هذا المرض ارتفاع درجة الحرارة، احتقان في الأنف والبلعوم، رشح من الأنف مع سعال خفيف ثم يبدأ المريض يشعر بصعوبة التنفس. يحصل هذا المرض على هيئة حالات انفرادية تظهر بين فترة وأخرى.

6- مرض الكزاز: مرض الكزاز مرض خطير سببه جرثومة التيفوئيد، هذه الجرثومة فعالة في داخل الجسم وغير فعالة خارجه وتأثيرها يقع في أماكن كثيرة وعندما تدخل إلى الجسم عن طريق الجروح والخدوش تبدأ فاعليتها وهي إفراز مواد سامة في داخل الجسم، هذه المواد تدخل الى الخلايا العصبية وتسبب خللاً في جهازي الأعصاب وعضلات القلب وجهاز التنفس يسبب موت المصاب لذا يجب تطهير الجروح وعدم تركها مكشوفة.

7- **مرض التدرّن (السل)**: وهو مرض معدٍ تسببه جراثيم دقيقة عضوية اكتشفها الباحث (**كوك**)،يصيب السل الإنسان والحيوان ينتقل هذا المرض من إنسان مصاب إلى آخر سليم بوساطة اللمس واستعمال أدوات يستعملها المصاب كذلك إذا أكل الإنسان لحوم حيوانات مصابة أو شرب حليب بقر مصاباً بالمرض. عندما يسعل المريض تتطاير الجراثيم في الهواء وهذا يسهل أيضاً الإصابة. تدخل الجراثيم الجسم، تدور مع الدورة الدموية وتصل إلى الكليتين، الكبد والرئتين، إذّ تبقى مدة ثم تبدأ أعراض المرض وهي فقدان الشهية، الضعف، الشعور بالإجهاد الشديد، ارتفاع درجة الحرارة ثم السعال الشديد يرافقه خروج الدم مع البصاق.

8- شلل الأطفال: شلل الأطفال من الأمراض التي تصيب الأطفال حتى سن العاشرة، قد يصيب الكبار أيضاً، يسبب هذا المرض فيروس يعيش في الأنف والبلعوم في بادئ الأمر، يبدأ المرض بارتفاع في درجة الحرارة، وصداع شديد، وأوجاع في مفاصل الأطراف، وفي الأطراف نفسها، بعد أيام يصاب أحد الأطراف بشلل، تنتقل العدوى بالسعال والتنفس وذلك لأن الفيروس موجود بكميات كبيرة في الإفرازات الأنفية والفمية للمريض، لذا وجب الابتعاد عن المريض، وللوقاية من هذا المرض يعطى للأطفال الذين تتراوح أعمارهم بين سنة واحدة وخمس سنوات مصل خاص بشلل الأطفال.

6-12 الوقاية من الأمراض

كثير من الامراض التي يصاب بها الانسان، تسببها الجراثيم والفيروسات والديدان ، لذا يتوجب على الإنسان إبعاد هذه الأمراض وذلك بمحاولة القضاء على مسبباتها سواء كانت جراثيم أو فيروسات أو ديداناً، كذلك يعطي الإنسان لجسمه المناعة والقوة والحصانة لمقاومة هذه الأمراض بوساطة التطعيم بمضادات الأمراض، فالتطعيم يكسب الجسم مناعة وحصانة وتجعله يقاوم المرض. المواد التي تعطى للجسم تنتج أجساماً مضادة للجراثيم والفيروسات وتقاومها وهذا ما يجعل الجسم قادر اعلى مقاومة الأمراض المعدية والخطيرة.

أسئلة الفصل الثاني عشر

س1)ماهي أنواع الأمراض التي يسببها تلوث الماء.؟

س2) كيف تسهم المياه في نقل الأمراض إلى الإنسان.؟

س3) اذكراهم أنواع الأحياء المجهرية المسببة للأمراض.؟

س4) اذكر أهم الميكروبات التي تتواجد في المياه الملوثة، مبينا أنواعها.

س5) ماهي الاختبارات البيولوجية للمياه.؟

س6) ماهي أنواع الأمراض التي تسببها المياه الملوثة، وما هي أعراض كل نوع منها.؟