المنظمة العربية للتربية والثقافة والعلوم

التلـــوث : المخاطر والحلول

تونـــس 2002

بسم ا   الرحمن الرحيم

الإهداء

أورد البخاري في صحيحه: الحديث 923 الباب 564 كتاب الأدب "**حدثنا آدم حدثنا شُعبةُ عن قتادةَ عن أنس بن مالك رضي ا   عنه قالَ قالَ النبي صلى ا ُ عليه وسلم لا يجد أحد حلاوةَ الإيمانِ حتى يحب المرء يحبه إلا ِ وحتى أن يقذَفَ في النار أحب إليه من أن يرجع إلى الكُفر بعد إذ أنقذه ا ُ وحتى يكون ا ُ ورسولُه أحب إليه مما سواهما**"

إلى أستاذي وأخي وصديقي

دكتور/ محمود الشريف عجبين

أهدي هذا الكتاب

"اللهم أكثر ماله وولده وبارك له فيما أعطيتَه"

المؤلف

محتويات الكتاب

الملاحق

تقديم

لكل أمةٍ مقومات تعبرعن كيانها وتحدد هويتها وتحافظ على استمرارها. واللغة من أهم هذه المقومات. وقد أدركت العديد من الشعوب ذلك فخططت وناضلت بشتى الطرق لصون لغاتها ونشرها وإفساح أكبر مساحة لها على خارطة العالم اللُغوية.

ولا شك في أن اللغة العربية بجمالها ودقة تعابيرها ووفرة مفرداتها كانت وما زالت من أهم أركان وجود هذه الأمة وأوثق روابط وحدتها. ولا اختلاف في ذلك، فهي اللغة التي اختارها ا جلت حكمته لينزل بها قرآنه وليؤكد ذلك أفضليتها على لغات العالم ويحفظها ويسخر لها سبل الاستمرارية. وقد كانت لقرونٍ طوال لغة العالم الأولى ولغة التواصل في أرجاء فسيحة من العالم. ولتمكين الأمة الناطقة بها – على الأقل – من سبر أغوار المعرفة العلمية الحديثة واستكناهها وإعادة إنتاجها.

ولقد أدركت المنظمة العربية للتربية والثقافة والعلوم منذ إنشائها أهمية نشر اللغة العربية وتعميم التعريب وتطوير الترجمة. وقد أصدرت في هذا النطاق العديد من الكتب والمعاجم والدراسات.

واستمراراً لهذا التوجه فقد جاءت خطة التطوير والتحديث لعمل المنظمة والتي أجازها المؤتمر العام في دورته الثانية عشرة (ديسمبر 1994)

وتنفيذاً لذلك، فقد شملت برامج الدورة المالية 1996/1995 للمنظمة مشروعاً يهدف إلى نشر بعض الكتب المؤلفة باللغة العربية والمترجمة إليها في مجالات العلوم التطبيقية وذلك تحت إشراف إدارة التعليم العالي والبحث العلمي بالمنظمة وبمتابعة فيما بعد من قبل إدارة العلوم والبحث العلمي.

ويمثل الكتاب الذي بين أيديكم (التلوث: المخاطر والحلول) أحد هذه الكتب، راجين أن يقدم إضافة جديدة إلى المكتبة العربية وأن يساهم في دفع عجلة تعريب العلوم في جامعاتنا إلى الأمام.

وا ولي التوفيق

إدارة برامج العلوم والبحث العلمي

أ. د. بهلول اليعقوبي

بسم ا   الرحمن الرحيم

شكر وعرفان

أولا وأخيرا الشكر والحمد   رب العالمين أن تكرم سبحانه وتعالى علينا بإتمام هذا الجهد الكبير.

ولقد أتتنا المساعدة والدعم من قبل العديد من الجهات والأفراد أثناء كتابة هذا الكتاب وطباعته وتنقيحه ومراجعته وتحقيقه. ونخص بالشكر الجزيل، وعظيم العرفان والإمتنان، كل أفراد أسرتنا الذين ساهموا، وشاركوا، وصبروا كثيرا، وأخلصوا لإنجاح مشروع الكتاب، وطباعة مسودته، وتجميع بعض أجزائه، ومراجعة وحداته وكلماته، ورسم بعض أشكاله على الحاسوب. وعليه فإننا نتوجه بكل آى الشكر للزوجة العظيمة المهندسة ليلى صالح محمود والأبناء الأحباب الأعزاء هشام ومحمد وتغريد وتسنيم.

ونخص بعظيم الشكر المنظمة العربية للتربية والثقافة والعلوم لتكرمها بالإعلان عن هذه المسابقة، ومن ثم إنبثاق فكرة وضع الكتاب وتخيل تصور مناسب له، ولتفضلها بتبني طباعة هذا الكتاب ونشره وتوزيعه. ونخص بجزيل الشكر الأخ الدكتور البهلول اليعقوبي مدير إدارة التعليم والبحث العلمي لصبره اللامحدود وتجرده المطلق وتفانيه الجلي فى العمل ومساعدته القيمة والمقدرة لنا عبر مراحل صناعة هذا السفر.

كما ونخص بالشكر الجزيل جامعة السلطان قابوس وعلى رأسها معالي وزير التربية يحيى بن محفوظ المنذري رئيس مجلس الجامعة لإتاحة المناخ العلمي الملائم لكتابة هذا الكتاب.

ونشكر كل الأخوة الذين ساعدوا بصورة أو بأخرى لإخراج هذا الكتاب ونخص منهم: الأخ الكريم الأستاذ الدكتور حامد أحمد الحاج اسماعيل عميد كلية العلوم الهندسية بجامعة أم درمان الإسلامية بالسودان. والأخ الدكتور الطاهر محمد الدرديرى من كلية التربية والعلوم الإسلامية، جامعة السلطان قابوس.

والشكر موصول للأخ ماجد سعود راشد الخنجرى (من مركز تكنولوجيا التعليم بجامعة السلطان قابوس، سلطنة عمان) لإعادته رسم شكل 2-5 وإخراجه فى إطار قشيب، والأخ تيسير مرهون الريامى (من كلية الهندسة - جامعة السلطان قابوس سلطنة عمان) لإعادته رسم شكل حل مثال 5-5.

والشكر موصول لكل الهيئات والمنظمات والمؤسسات والشركات والجمعيات والجهات العلمية المختلفة التي سمحت لنا بإعادة نشر واستخدام بعض منتجاتها العلمية والفكرية والتي زادت من رونق وبهاء هذا الكتاب وعملت على إكمال محتواه العلمي. ومن هذا المنبر نخص بالشكر مستر جان بويل مسؤول النشر من دار المطاط الكيميائي الأمريكية للنشر والتوزيع ودار لويس للنشر ببوكا راتون بأمريكا، والدكتور ب. أ. بتار رئيس مكتب النشر بالإنابة بمنظمة الصحة العالمية بجنيف بسويسرا، والأستاذ الدكتور دونالد ر. رو مدير شركة رو للخدمات الهندسية بباولنق قرين بكنتاكي بأمريكا، والأستاذ الدكتور يوسف أبو جديري مدير معهد الدراسات البيئية بجامعة الخرطوم بالسودان، والدكتور حامد ابراهيم حامد من شركة الحفر الوطنية بالعين بالأمارات العربية المتحدة،

والأستاذ الدكتور محمد فكري شلبي من جامعة القاهرة بجمهورية مصر العربية، والدكتور بشير محمد الحسن عميد كلية الصحة والدراسات البيئية بالخرطوم بالسودان، ومسؤول دار النشر بترورث هاينمان بالولايات المتحدة الأمريكية، ومستر روبرت بوس السكرتير المنفذ لمجموعة خبراء إدارة البيئة للتحكم فى النواقل لمنظمة الصحة العالمية ومنظمة الأغذية والزراعة (فاو) وبرنامج الأمم المتحدة الإنمائي (يونيب)، ومستر ثيموثي بيرجرد من دار نشر جون وايلي وأولاده بنيويورك بأمريكا، ومسؤول دار نشر جون وايلي وأولاده بشستر ببريطانيا، ومسز ماريا لوسيا ج. بوريا من المركز العالمي لإصحاح البيئة بلاهاي بهولندا، ودنكان اينرايت وراشيل لين من دار نشر بيرجامون الأمريكية، والأخ فضل ا محمود برهان مدير دار نشر جامعة الخرطوم بالإنابة بالخرطوم بالسودان، وبيير استينر مسؤول النشر وحقوقه بأكاديمية هاروود بفرنسا، ومسز آن بيكوك من مجموعة لونقمان المحدودة ببريطانيا، ومسز ماري هاك من البنك الدولي بواشنطن بأمريكا، وم. س. بيرخر من منظمة الصحة العالمية بجنيف بسويسرا، والفاضل صالح بن محمود بن صومار الزدجالي مدير المديرية العامة للمواصفات والمقاييس بالوكالة بوزارة التجارة والصناعة بسلطنة عمان، وبيرى كارترايت من دار نشر جامعة شيكاغو بأمريكا، ومسؤول نشر أفبيري للتقانة بهانتز ببريطانيا، وسعادة شبيب محمد المرزوقي الأمين العام لجامعة الأمارات العربية المتحدة بالعين، ومدير دار نشر إى أف أن اسبن من جابمان هول بلندن ببريطانيا، والفاضل محمد أحمد ابراهيم مدير دار نهضة مصر للطبع والنشر بالقاهرة، ومدير دار الجيل للنشر والتوزيع ببيروت بلبنان، والمهندس نبيل صادر مدير دار صادر للطباعة والنشر ببيروت بلبنان، والأستاذ الدكتور إ. م. ويلسون من جامعة سالفورد ببريطانيا، ومدير نشر بهامشير ببريطانيا، ومستر كن براون المحرر الفنى لجمعية المهندسين الميكانيكيين الأمريكية، ومسؤول النشر فى مشروع العرض القومى للمياه بمعهد المياه الريفية ومنظمة البيئة القومية بوكالة الإنماء العالمى بواشنطن بأمريكا، و مستر مارتن استراوس المسؤول الأول للبرنامج الصحى بالمعهد السويسرى الفدرالى لعلوم البيئة والتكنولوجيا بدوبندورف بسويسرا، والدكتور مهدى بن أحمد بن جعفر مدير عام العلاقات العامة والإرشاد والفاضل محمد بن عبدا المحرمى مدير دائرة البحوث والدراسات البيئية والدكتور عبد الحليم أحمد الشهاوى من دائرة البحوث والدراسات البيئية والدكتور صادق بن عبد الحسين المسقطى مدير عام شئون البيئة بوزارة البلديات الإقليمية والبيئة بسلطنة عمان.

"ربنا واتنا ماوعدتنا على رسلك ولا تُخزنَا يوم القيامة إنّك لا تخلفُ الميعاد" (194) سورة آل عمران. وسلام على المرسلين والحمد رب العالمين.

المؤلف

أ .د. عصام محمد عبد الماجد أحمد

مقدمة الكتاب

"**وقل رب أعوذُ بك من همزات الشياطين** (97) **وأعوذُ بك رب أن يحضرون**" (98) المؤمنون. "اللهم إنى أعوذ بك من العجز والكسل والجبن والبخل والهرم وعذاب القبر وفتنة الدجال، اللهم آت نفسي تقواها وزكها أنت خير من زكاها أنت وليها ومولاها، اللهم إنى أعوذ بك من علم لا ينفع ومن قلب لا يخشع ومن نفس لا تشبع ومن دعوة لا يستجاب لها" والسلام على أشرف المرسلين سيدنا ونبينا محمد صلى ا عليه وسلم وعلى آله وأصحابه وأزواجه وذريته ومن اتبع هديه إلى يوم الدين.

نبعت فكرة هذا الكتاب عندما اطلعت على إعلان للمنظمة العربية للتربية والثقافة والعلوم في نطاق برنامج تعميم التعريب وتطوير الترجمة في الوطن العربي للدورة المالية 96/95 عن تنفيذ مشروع يهدف إلى المساهمة في تعريب الأعمال العلمية المتميزة في مجالات الهندسة. وقد رأيت التقدم بهذا المؤلف في مضمار الهندسة البيئية لما لمسناه من حاجة ماسة لمثله للمساعدة في دراسة مساقات الهندسة البيئية والهندسة الصحية، ومصادر المياه وإمداداتها، وتنقية المياه، ومعالجة الفضلات والمخلفات السائلة، والصحة العامة في المشاريع الهندسية، والصحة العامة الهندسية، ومكافحة تلوث الهواء، ومكافحة الضوضاء والضجيج وغيرها من مفردات وأسماء المساقات الدراسية المختلفة باختلاف الجامعات والمعاهد العليا واهتماماتها البيئية. ويتوقع أن يساعد الكتاب في تخطيط محطات تنقية المياه ومعالجة الفضلات السائلة وتصميمها وتقويمها وتشغيلها. ومن المؤمل أن يستفيد من هذا الجهد المهندس المدني والصحي والبيئي والكيميائي بالإضافة إلى العاملين في طب المجتمع ومفتش الصحة العامة ومهندس التخطيط البيئي ورصيفه الزراعي وجمهور الدارسين والعاملين في حقل الهندسة الصحية، ولا غنى للباحث عنه. كما ووضع الكتاب متطرقاً لموضوعات علمية شتى تفيد الأستاذ المدرس والطالب الجامعي أثناء تحضيره لأيٍ من رسالة الدبلوم الأوسط أو البكالريوس أو الدبلوم العالي أوالماجستير.

ولقد سعدت كثيراً بإعلان المنظمة العربية للتربية والثقافة والعلوم وبعد نظرها وحدبها على اللغة العربية. ولقد لقي هذا النداء هوى في نفسى إذ كنت (ومافتئت) أنادى بالدراسة بلغة الضاد في صروح العلم لما فيها من فوائد جمة غفيرة احتوت بعضاً منها قصيدة اللغة العربية تنعى حظها بين أهليها لشاعر النيل حافظ ابراهيم إذ يقول على لسانها:

رجعتُ لنفسي فاتهمتُ حصاتي	وناديتُ قومي فاحتسبتُ حياتي
رموني بعقمٍ في الشبابِ وليتني	عقمتُ فلم أجزع لـ ـقـ ـول عداتي
ولدتُ ولّما لم أجـ ـد لـ ـعـ ـرائـ ـسي	رجالاً وأكفـ ـاء وأدتُ بناتـ ـي
وسعتُ كتاب اللّه لفظاً وغايـ ـةً	وما ضقتُ عن آيٍ به وعظات
فكيف أضيقُ اليوم عن وصف آلةٍ	وتنسيق أسماءٍ لمختر عـ ـات
أنا البحر في أحشائه الدر كامن	فهل سألوا الغواص عن صدفاتي
فيا ويحكم أبلى وتبلى محاسني	ومنكم وإن عز الدواء ُأساتي
فلا تكلوني للزمان فإنني	أخافُ عليكم أن تحين وفاتي

أرى لرجال الغربِ عزاً ومنعةً　　وكم عز أقوام بعز لغات

أتوا أهلهم بالمعجزات تفنناً　　فيا ليتكم تأتون بالكلمات

أيطربكم من جانبِ الغربِ ناعب　　ينادي بوأدي في ربيع حياتي

ولو تزجرون الطير يوماً علمتم　　بما تحته من عثرةٍ وشتات

سقى الّله في بطنِ الجزيرة أعظماً　　يعز عليها أن تلين قناتي

حفظن ودادي في البِلى وحفظتُه　　لهن بقلبٍ دائمِ الحسرات

وفاخرتُ أهلَ الغربِ والشرقُ مطرقٌ　　حياء بتلك الأعظمِ النّخرات

إلى أن يقول:

أيهجرني قومي - عفا الّله عنهم-　　إلى لغةٍ لم تتصلْ برواة

سرتْ لوثةُ الإفرنج فيها كما سرى　　لعاب الأفاعي في مسيل فرات

فجاءت كثوبٍ ضم سبعين رقعةً　　مشكّلةَ الألوانِ مختلفات

وينادي كما تنادي المنظمة العربية للتربية والثقافة والعلوم:

إلى معشرِ الكتّابِ والجمع حافلٌ　　بسطتُ رجائى بعد بسط شكاتى

فإما حياةٌ تبعثُ الميتَ في البلى　　وتنبتُ في تلك الرموسِ رفاتى

وإما مماتٌ لا قيامةَ بعده　　مماتٌ لعمرى لم يقس بممات

و　در الشاعر على الجارم حين أنشد قصيدته اللغة العربية:

ماذا طحا بك يا صناجةَ الأدبِ　　هلا شدوتَ بأمداحِ ابنة العربِ

أطار نومك أحداثٌ وجمتَ لها　　فبت تنفخُ بين الهم والوصبِ

واليعربيةُ أندى مابعثتَ به　　شجواً من الحزنِ أو شدواً من الطربِ

روح من الله أحيتْ كل نازعةٍ　　من البيانِ وآتتْ كل مطلبِ

ثم يقول:

ولم تزلْ من حمى الإسلامِ في كنفٍ　　سهلٍ ومن عزه في منزلٍ خصبِ

حتى رمتها الليالي في فرائدها　　وخر سلطانُها ينهار من صببِ

وعاثتْ العجمةُ الحمقاء ثائرةً　　على ابنة البيد في جيشٍ من الرهبِ

ثم يقول:

والترجماتُ تشن الحرب لاقحةً　　على الفصيحِ فيا للويل والحربِ

نطير للفظ نستجديه من بلدٍ　　ناءٍ وأمثالُه منا على كثَبِ

ثم يقول:

أنترك العربي السمح منطقُه　　إلى دخيلٍ من الألفاظ مغتربِ

وفى المعاجمِ كنز لا نفاد له　　لمن يميز بين الدر والسخُبِ

ويذكرعلى الجارم في قصيدته المجمع اللغوي والتي مطلعها:

ذكرياتٌ ردد الدهر صداها وعهود يحسد المسك شذاها

إذ يقول:

نزلَ القرآن بالضاد فلو لم يكن فيها سواه لكفاها

حسبها أن صورتْ من آيه معجزاتٍ عظُمتْ أن تتناهى

وعملنا في هذا السفرعلى تطوير أعمال ومجهودات وكتب منشورة قمنا بها في مجال التأليف بلغة الضاد في مشوارنا مع الدراسة بلغة القرآن، في محاولة لإثراء المكتبة العربية بكتب علمية متخصصة في مناحي العلوم البيئية. ودعم تحقيق فكرة الكتاب إفتقار المكتبة العربية إلى مرجع علمي شامل يغطي الأسس النظرية والتطبيقية، ويجد الطالب في ثناياه مبتغاه من مسائل وتمارين تساعده في فهم دروسه في مساقات الهندسة البيئية.

وتطرق الكتاب عبر أبوابه الأربع، وفصوله العشر، إلى العديد من الموضوعات العلمية الشيقة والممتعة المدرجة في: خواص وموارد وتنقية المياه، ومعالجة الفضلات والمخلفات السائلة والتخلص النهائي منها، ومكافحة تلوث الهواء، والتحكم في التلوث بالضوضاء والضجيج، والتشريعات والقوانين والخطوط التوجيهية.

احتوى الباب الأول على موارد وتقانة تنقية المياه عبر فصوله الخمس. إذ عرض الفصل الأول دورة الماء الطبيعية، ومصادر المياه ومواردها. كما وعالج هذا الفصل كمية المياه وتوزيعها على البسيطة بأقسامها الرئيسة من مياه سطحية وجوفية ومياه أمطار. كما وركز الفصل على أفضل السبل لاختيار المصدر الملائم للماء. وتعرض الفصل الثاني إلى خواص المياه والفضلات السائلة من طبيعية (فيزيائية) وكيميائية وحيوية (بيولوجية) وأثرها على الصحة العمومية. وشمل هذا الفصل العوامل الملوثة للمياه السطحية والجوفية، كما وضم بين جوانحه التلوث البحريى. وغطى الفصل الثالث الماء والصحة العامة، متطرقاً لعلاقة الماء والأمراض المتعلقة به ومسبباتها وطرق انتشارها وعلاقة المشاريع الهندسية بانتشارها، وكيفية القضاء عليها أو تلافي حدوثها، والتحكم في نواقل المرض إبتداءاً من فكرة المشروع مروراً بمرحلة التصاميم الهندسية، وعبوراً إلى مراحل التنفيذ والتشغيل والصيانة. أما الفصل الرابع فقد أبان أبجديات علم المياه ونواميسها (الهايدرولوجيا الهندسية) مع التركيز على المصادر السطحية والجوفية للماء، من حيث الكم والنوع والإستنباط والعوامل المؤثرة عليها. كما وغطى هذا الفصل إنسياب المياه الجوفية والسطحية. تناول الفصل الخامس تقانة تنقية المياه، والأنماط المستخدمة للحصول على مياه نقية تواكب الاستخدامات والإمداد المنوط بها طبقاً للمعايير والتشريعات الملائمة. وتعرض الفصل لعملية تنقية الماء في وحدات مختلفة من طبيعية (مثل المصافي والترسيب والطفو والترشيح والتهوية) وكيميائية (مثل الترويب والتلبد والتطهير والموازنة) ووحدات متقدمة (مثل الإمتزاز، وطرق تحلية المياه المتضمنة: التبادل الأيوني والديلزة والتقطير والتناضح العكسي) وطرق الاستخدام المثلى للماء، هذا بالإضافة للعرض المفصل لمعايير التصميم.

أما الباب الثاني فقد اختص بمعالجة الفضلات والمخلفات السائلة والتخلص النهائي منها عبر فصليه الإثنين. إذ ركز الفصل السادس على مصادر الفضلات السائلة والأهداف العامة لمعالجتها بالتركيز على الطرق الملائمة

لمعالجتها في محطات المعالجة الحضرية. وأسهب الفصل في إيضاح طرق المعالجة الأساسية أو الإبتدائية (مثل إزالة الرواسب غير العضوية والترسيب الإبتدائي)، وطرق المعالجة الثانوية أوالثلاثية التي تضم: طرق المعالجة بالنمو العالق (مثل الحمأة النشطة) وطرق المعالجة بالنمو المتصل (مثل مرشح النضيض والأقراص الدوارة الحيوية) وطرق المعالجة بالنمو العالق والنمو المتصل (مثل برك موازنة الأوساخ). وركز الفصل على أنماط التصميم والإنشاء والصيانة المستخدمة لكل وحدة على حدة. كما وتضمن هذا الفصل طرق معالجة الرواسب الناتجة من وحدات المعالجة (مثل الهضم الهوائي والهضم اللاهوائي) وطرق نزح الماء وتجفيف الحمأة (مثل التجفيف بالمفرش الرملي والتجفيف بكبس الحمأة والتجفيف بخلخلة الهواء والتجفيف بالطرد المركزي) ونظم التخاص من الحمأة (مثل الحرق والردم والاستخدام كسماد) ونظم التخاص من السائل النهائي (مثل التخفيف والتخاص في المسطحات المائية). وتناول الفصل الآثار الناجمة من التخاص من الحمأة. وتطرق الفصل التاسع إلى أنماط التخاص من الفضلات والمخلفات السائلة في المناطق الريفية من الدول النامية (مثل مرحاض الحفرة ومرحاض الفلاح ذو الحجرتين والمرحاض المائي والمرحاض المحسن المهواة وحوض التخزين اللاهوائي)، موضحاً المناقب والمثالب، ومبيناً أفضل مواصفات التصميم والتشغيل والصيانة لكل منها.

أما الباب الثالث فقد غطى الموضوعات المتعلقة بمكافحة تلوث الهواء والتحكم في التلوث بالضوضاء والضجيج عبر فصليه الإثنين. إذ أشارالفصل الثامن إلى أنواع الملوثات الهوائية وخصائصها وعوامل الإرصاد الجوي المؤثرة على انتشارها. وركز الفصل على الآثار والمخاطر والمضار التي قد تنجم من الملوثات الهوائية. وغطى هذا الفصل الأنماط والطرق العامة المتبعة والممكنة لمكافحة تلوث الهواء للمصادر الثابتة (مثل عمليات الإمتزاز وعمليات الإمتصاص والإحتراق أو الترميد والتكثيف) ونظم مكافحة تلوث الهواء بملوثات الجسيمات (من غرف الترسيب تحت الجاذبية والمجمعات الطاردة المركزية والفرازات المخروطية والمرسبات الديناميكية ومرشحات الكبس {مجمعات النسيج والحصيرة الليفية} والمجمعات الرطبة {مغسلة الغازات} والمرسبات الإلكتروستاتية) ونظم مكافحة تلوث الهواء للمصادر الهوائية المتحركة. وقام هذا الفصل بشرح الأطر الهندسية التصميمية المتبعة موضحا المحاسن والعيوب لكل وحدة معالجة. أما الفصل التاسع فقد شمل نظم التحكم في التلوث بالضوضاء والضجيج، مغطياً مصادر التلوث بالضوضاء والضجيج ومخاطره. وأوضح هذا الفصل الأنماط والطرق المستخدمة للحد من الملوثات بالضوضاء والضجيج وتقليلها. كما وأبان الطرق المتبعة للتخاص من مسببات الضوضاء والضجيج. مؤشراً إلى المحسنات التي يمكن إتباعها عند التصميم للجديد من مفرزات التقانة العلمية.

تفرد الباب الرابع بعرض التشريعات والقوانين والخطوط التوجيهية واللوائح المنظمة لإستعمال الماء للإنسان والحيوان والنبات والصناعة والترفيه وغيرها. وحوى هذا الباب الخطوط التوجيهية لمنظمة الصحة العالمية وتشريعات سلطنة عمان المتعلقة بمياه الشرب وإعادة إستعمال السائل النهائى المعالج الناتج من الفضلات السائلة. كما وغطى هذا الباب معايير مكافحة تلوث الهواء وتشريعات التحكم في التلوث بالضوضاء والضجيج.

واحتوى الكتاب على عدد من الرسومات الهندسية التصميمية والأشكال الإيضاحية ومجموعة كبيرة من الأمثلة المحلولة لكل فرع للتبيان، والكثير من مسائل التمارين النظرية والتطبيقية بغية إكساب المهارة والخبرة. وتنوعت

المصادر والمراجع المستفاد منها في متن الكتاب من خلال فصوله المختلفة لزيادة وإتمام الفائدة. كما وألحقت بالكتاب الملاحق العامة لبعض البيانات والجداول ذات الجدوى.

من الملاحظ كثرة المعاجم والقواميس الإنكليزية-العربية والتي تختلف باختلاف القطر العربي. ولتفادي الخلط وتعميم الفائدة ولإستفادة كل قراء العربية فقد قمنا بإستخدام القواميس والمعاجم العربية المجازة من المنظمات العالمية. فمثلاً عند ترجمة المفردات والمعاني والأسماء الحيوية والأحياء المجهرية والطبية وتعريبها استخدامنا المعجم الطبي الموحد (إنكليزى-عربي-فرنسي) لمجلس وزراء الصحة العرب ومنظمة الصحة العالمية وإتحاد الأطباء العرب والمنظمة العربية للتربية والثقافة والعلوم (الطبعة الثالثة، مزيدة ومنقحة، ميدليفانت، سويسرا، 1983).

ونأمل أن يكون قد وفقنا المولى عز وجل في هذه المحاولة وأن يرزقنا أجرها إنه نعم الإله السميع المجيب وا من وراء القصد.

تم الكتاب بعون ا سبحانه وتعالى وتوفيقه في اليوم الثامن عشر من شهر ربيع الأول 1416 من هجرة صاحب العز والشرف صلى ا عليه وسلم، الموافق الخامس عشر من أغسطس 1995 من ميلاد السيد المسيح عليه السلام، بقلم العبد الضعيف عفا المولى عز وجل عنه وعن والديه والمسلمين أجمعين.

المؤلف

د. عصام محمد عبد الماجد أحمد

الرموز والمصطلحات الواردة فى الكتاب

الرمز أو المصطلح	المعنى	التمييز
A'	مساحة سطح الطبقة الرملية	م^2
A	المساحة	م^2، فدان
A	الرقم الذرى	
A_i	مساحة المبادل الحرارى رقمi ، مساحة المضلع المحيط بالمحطة i الواقعة فى منتصفه	م^2
A_p	المساحة السطحية لكل حبيبة	م^2
A_{av}	متوسط مساحة كل الحبيبات	م^2
a	ثابت، ثابت دارسى ويسباش	
a	مساحة فتحات المصفاة المتسخة	م^2
a_o	مساحة فتحات المصفاة النظيفة	م^2
B	العرض، السمك	م
BOD_5^T	الحاجة الحيا-كيميائية للأكسجين لمدة 5 أيام ولدرجة حرارةT °م	ملجم/لتر
BOD_5^{20}	الحاجة الحيا-كيميائية للأكسجين لمدة 5 أيام ولدرجة حرارة 20°م	ملجم/لتر
BOD_S	الأكسجين الحيا-كيميائي لمدة 5 أيام وحرارة 20ه م للحمأة المثالية	ملجم/لتر
b	ثابت	
$[Ca^{++}]$	درجة تركيز أيون الكالسيوم	ملجم/لتر
C'	ذوبانية الغاز	ملجم/لتر
C	معامل الإنسياب وتعتمد على خواص المنطقة الجابية	
C	ثابت تجريبىي	
C	درجة التركيز	مللمكافئ/لتر، جم/م^3، ملجم/ لتر، مولارM
C	سرعة الصوت فى وسط معين	م/ث
C	درجة الحرارة	درجة مئوية
C_D	معامل الإعاقة الإحتكاكية (معامل السحب)، معامل الجذب	
C_e	درجة التركيز للخارج، تركيز الإتزان	ملجم/لتر
C_g	درجة تركيز الغاز فى حيز الغاز	ملجم/ لتر، جم/م^3
C_{MD}	ثابت الانتشار الجزيئي	م^3/ يوم
C_N	درجة تركيز الغاز في السائل النهائي الخارج من المسقط	ملجم/لتر
C_0	درجة التركيز للداخل، التركيز المبدئي	ملجم/لتر
C_r	درجة تركيز الملوث في النهر	كجم/م^3
C_S	درجة تركيز التشبع	جم/م^3
C_V	النسبة الحجمية	لابعدي
C_w	درجة التركيز	كجم/م^3

الرموز والمصطلحات الواردة فى الكتاب (تابع)		
الرمز أو المصطلح	المعنى	التمييز
c, c_1, c_1	ثوابت التكامل	
c_e	درجة تركيز المادة الإستشفافية عند التوازن	ملجم/لتر
c_t	درجة تركيز المادة الإستشفافية الداخلة للجدول	ملجم/لتر
D	ثابت الانتشار الجزيئي	م^2 /ث
D،d	القطر، المقاس، المسافة	م
DWF	إنسياب موسم الجفاف	لتر/ يوم
D_I	ثابت العزل	
D_w	معامل الانتشار	
d_{50}	قطر القطع 50 بالمائة	م
d'	القطر المتوسط الهندسd بين d أ مصفاتين	م
$\frac{dm}{dt}$	معدل تغير كتلة انتشار الغاز	كجم/ث
d_{max}	أقصى ارتفاع للدفق داخل الحوض	م
d_p	قطر الحبيبة، مقاس الحبيبة	م
$\frac{dv}{dy}$	معدل القص (ممال السرعة)	/ث
E_b	الطاقة الكلية المفقودة بالماء عبر تبادل الإشعاع طويل الموجة بين الجو والماء	
E_{20}	الكفاءة الكلية عند درجة الحرارة 20°م	%
E'	طاقة التنشيط	كالوري
E	ثابت كارمان-كوزني	
E	الطاقة الإشعاعية المنبعثة	جم×سم/ ثانية/ ايرغ
EC	الموصلية الكهربائية للمحاول	ميكروموهوز/سم
E، E_S، Eff،E_T	الكفاءة	%
ET،EV	التبخر الرشحي	سم
EV	معدل التبخر	لتر/ يوم
EV_a	التبخر من سطح الماء	ملم/يوم
EV_O	التبخر من سطح الماء أو ما يعادله من طاقة حرارية	
EW	الوزن المكافئ للعنصر	مكافئ
E_O	الزيادة فى الطاقة المخزونة في الماء	جول
E_r	الإشعاع الشمسي المنعكس	
E_s	الإشعاع الشمسي المسقط على سطح الماء	
E_v	الطاقة الكلية داخل الماء	جول

الرموز والمصطلحات الواردة فى الكتاب (تابع)		
الرمز أو المصطلح	**المعنى**	**التمييز**
E_v	المعيار الحجمي	نيوتن/م^2
e	ضغط البخار الحقيقي	ملم زئبق، مللبار
e	قاعدة الخوارزمات الطبيعية	
e	معامل المسامية	لا بعدي
e_a	ضغط بخار الهواء	مللبار
e_s	ضغط البخارالمتشبع	ملم زئبق، مللبار
e_w	ضغط بخار الماء عند التشبع، ضغط الغاز الجزئي لمقياس الحرارة الرطب	ملم زئبق
F_1	ثابت إعادة دوران المرشح وحيد المرحلة	لا بعدي
F_2	ثابت إعادة دوران المرشح للمرحلة الثانية	لا بعدي
F	التردد	دورة فى الثانية، هيرتز
F	التسرب الكلي	م/ث
F	درجة الحرارة	درجة فهرنهايت
F	قوة القص	نيوتن
F	الغذاء	كجم
Far	ثابت فرادي	أمبير×ساعة
Fr	رقم فرود	لا بعدي
f	معامل الإحتكاك	
f(u)	دالة لسرعة الرياح على ارتفاع قياس أعلى السطح	
G	ميل السرعة	/ث
g	عجلة الجاذبية الأرضية	م/ث^2
$[H^+]$	درجة تركيز أيون الهيدروجين	مول/لتر
H	فقد السمت لمصفاة نظيفة	م
H	مقدار الطاقة النهائية المتبقية على سطح الماء	جول
HL	معدل الحمل الهايدروليكي	م^3/م^2/يوم
Hard	عسر الماء	مللمكافئ، ملجم $CaCO_3$/لتر
H_o	فقد السمت لمصفاة متسخة	م
h، H	الاتفاع، العمق، الطول	م
h_l ، h_f	فقد السمت للمرشح	م
h	الرطوبة النسبية	%
h_t	الاتفاع الكلي لحوض الترسيب	م

الرموز والمصطلحات الواردة فى الكتاب (تابع)		
الرمز أو المصطلح	المعنى	التمييز
I	الدفق السطحي الداخل	$م^3$/ث
I_{orth}	التلبد المتحرك فينفس الإتجاه	
I_{pk}	معدل التلبد حول الحركي	
I_r	متوسط التسرب الداخل لماسورة التصريف	لتر/ يوم
I_t	قيمة الدليل المخفضة بعد t يوم	ملم
i	معامل النفاذية (التوصيلية الهايدروليكية)	م/يوم
i	شدة التيار	أمبير
i	معدل التسرب التصميمي	لتر/$م^3$/يوم
i	شدة الأمطار	ملم/ساعة
i_{max}	أقصى كثافة للتيار	أمبير×جم/$سم^3$
K	درجة الحرارة	كلفن
K ،k	ثابت	
K	كفاءة المسقط الصناعي	لابعدي
k_1	ثابت معدل التفاعل (للأساس 10)	/يوم
k'	ثابت معدل التفاعل (للأساسe) (أو ثابت الأكسجة، أو الموت)	/يوم
k''	ثابت اعادة التهوية (للأساسe)	/يوم
k	معامل النفاذية	م/ث
k_b	ثابت بنزن للإمتصاص	جم/لجول
k_D	معامل التوزيع	جم/لجول
k_H	ثابت هنرى	جم/$م^3$×باسكال، جم/لجول
k_n	ثابت معدل الإزالة لبركة الموازنة	/يوم
k_n	ثابت حركي	لابعدي
k_S	ثابت منتصف السرعة	ملجم/لتر
k_S	معامل نفاذية الغشاء للملح	
L	الحرارة الكامنة للتبخر	جول
L	التحميل العضوي	جم/لتر
L_{EP},d	مستوى التعرض اليومي الشخصي للصوت	ديسبل
$(L_{EP},d)_i$	مستوى التعرض اليومي الشخصي للصوت	dB (A)
L_{EP},w	المتوسط الأسبوعي لمستوى التعرض اليومي الشخصي للصوت	ديسبل dB (A)
L_m	أعلى إحتياج للأكسجين بواسطة المواد المترسبة	جم/ $م^3$
L_{max}	أقصى تحميل عضوي سموح به	جم/$م^3$/يوم
L_e	الحاجة الحيا-كيميائية للأكسجين الخارج	ملجم/لتر

الرموز والمصطلحات الواردة فى الكتاب (تابع)		
الرمز أو المصطلح	المعنى	التمييز
L_i	الحاجة الحيا-كيميائية للأكسجين الداخل	ملجم/لتر
L_o	حاجة الأكسجين الحيا-كيميائي النهائية	ملجم/لتر
L_t	حاجة الأكسجين الحيا-كيميائي المتبقية فى العينة عند الزمن t	ملجم/لتر
L، l	الطول، الارتفاع، العمق	م
$[Mg^{++}]$	درجة تركيز أيون المغنسيوم	ملجم/لتر
M	كتلة الأحياء المجهرية	جم
MLSS	تركيز المواد الصلبة العالقة فى السائل المختلط	ملجم/لتر
MW	الوزن الجزيئ للغاز	جم
m	الكتلة	مول، جم
n، N	عدد، ثابت	
N	السقيط السنوي العادي	ملم
N	التردد الحادث	
N_e	عدد البكتريا الخارجة من البركة	عدد/100 مللتر
N_i	عدد البكتريا الداخلة للبركة	عدد/100 مللتر
N_o	عدد الجراثيم الحية فى الزمن صفر	عدد/100 مللتر
n	معامل الإنسياب	
n/D	نسبة السحب	
n_e	المسامية الفعالة	لابعدي
n_g	مولات الغاز	
n_o	عدد النوى الموجودة في الزمن صفر	لابعدي
n_t	عدد النوى الموجودة في الزمنt	لابعدي
n_w	مولات الماء	
OX_t	كمية نقصان الأكسجين عند الزمن t	ملجم/ لتر
OX_o	كمية نقصان الأكسجين المبدئية	ملجم/ لتر
OX_c	نقصان الأكسجين المذاب الحرج	ملجم/ لتر
OL	الحمل العضوي	كجم/م^3/يوم
P'	ضغط الهواء الجاف	ملم زئبق
P	كمية الأمطار (منسوب الأمطار)، السقيط الكلي	ملم
P	عدد الأفراد	فرد
P	الضغط	جو، بار، (نيوتن/م^3) باسكال، ملم
PE	معيار المكافئ السكاني	لابعدي
P_A (t)	قيمة تتغير مع الزمن لضغط الصوت التراكمي اللحظي لمنحنى A	باسكال

الرموز والمصطلحات الواردة فى الكتاب (تابع)		
الرمز أو المصطلح	المعنى	التمييز
P_{av}	متوسط الأمطار الهاطلة	ملم
P_g	الضغط الجزيئ لغاز فى حيز الغاز	باسكال، أو نيوتن/م^2
P_{av}	متوسط الأمطار الهاطلة	ملم
P_g	الضغط الجزيئ لغاز فى حيز الغاز	باسكال، أو نيوتن/م^2
P_i	مقدار الأمطار الهاطلة فى المحطة i	ملم
P_{mean}	متوسط الأمطار الهاطلة فى المنطقة	ملم
P_o	ضغط بخار المذيب فى المحلول المخفف	جو، باسكال
P_{osm}	الضغط الحلولي	جو
P_{ref}	ضغط الموجة الصوتية القياسي	باسكال
P_x	السجل المفقود من محطةx	ملم
pH	الرقم الهيدروجيني	
pw	ضغط بخار الماء المتشبع عند درجة حرارة الماء	ملم
Q	معدل المواد المبتعثة أو الملوثات	جم/ث
Q	المتوسط اليومي لاتهلاك المياه	لتر/الفرد/اليوم
Q، q	معدل الدفق	م^3/ث، لتر/يوم
Q_a	التصرف في بداية الفترة	م^3/ث
Q_i	الحرارة المتبادلة فى وحدة التقطير رقمi	جول
Q_m	الدفق المختلط من السائل النهائى، دفق المورد المائى	م^3/ث
Q_{max}	أقصى دفق للفضلات السائلة	م^3/ث
Q_R	الدفق المعاد للمرشح	م^3/يوم
Q_r	دفق المجرى المائي، الدفق المعاد دورانه للمرشح	م^3/ث
Q_s	الدفق السطحي الخارج، معدل الدفق الملحي	م^3/ث
Q_t	التصرف عند نهاية الزمنt	م^3/ث
Q_u	دفق المياه الجوفية	م^3/ث
Q_w	دفق السائل النهائي، دفق الفضلات السائلة الى البحيرة، فيض الماء	م^3/ث
q^+	الشحنة فى الجسيم الغرواني	كولوم
q_t	معدل دفق المادة الإستشفافية للجدول	م^3/ث
q_w	دفق الحمأة الخارج	م^3/يوم
R، r	نسبة إعادة الدوران	لابعدي
R	نسبة بوين	

الرموز والمصطلحات الواردة فى الكتاب (تابع)		
الرمز أو المصطلح	المعنى	التمييز
R، R_u	ثابت الغاز العالمي لكل الغازات	لتر×جو/مول×كلفن، جول/ كلفن×مول
R_A	مقدار أنقوت للإشعاع الشمسي الواصل إلى الغلاف	
r_H، R_h	نصف القطر الهايدروليكي	م
Re	رقم رينولد	لابعدd
R_m	مقاومة طبقة الترشيح	/م
R_s	المقاومة النوعية للمحلول العالق	أوم×م
R_T	الإزالة الكلية للمتلبدات	%
r'	ثابت	
r	نصف القطر	م
r	معامل المقاومة النوعية للترشيح تحت الضغطP	م/كجم
r_D	معدل إعادة التهوية لأكسدة المواد العضوية	ملجم/لتر/يوم
r_r	معدل إعادة التهوية من الغلاف الجوي	ملجم/لتر/يوم
S^*	حد النمو لتركيز المواد فى المحلول	ملجم/لتر
S	المخزون (للمياه السطحية والجوفية) الفعال	$م^3$
SA	عمر الحمأة	يوم
SDI	معامل كثافة الحمأة	جرام/مللتر
SLR	معدل تحميل الحمأة	/يوم
SPL	مستوى ضغط الصوت	ديسبلdB
SS	تركيز المواد الصلبة العالقة فى الحمأة الخارج	ملجم/لتر
SWL	مستوى طاقة الصوت	ديسبل
SVI	معامل حجم الحمأة	مللتر/جم
s	معامل الإنضغاطية	لابعدي
s	الميلان	م/م
s.g.	الثقل النوعي، الكثافة النوعية	لابعدي
TDS	درجة تركيز المواد الصلبة	ملجم/لتر
T	درجة الحرارة	°م، °ف، كلفن
Ta	درجة حرارة الهواء	كلفن، °م
Tc	معامل تصحيح درجة الحرارة	لابعدي
T_e	فترة تعرض الأشخاص تعرضا شخصياً للصوت	يوم
T_i	درجة غليان الماء فى الوحدة رقمi	درجة
T_o	درجة الحرارة القياسية	كلفن
T_o	طول اليوم العملي	ساعة/يوم

الرموز والمصطلحات الواردة فى الكتاب (تابع)

الرمز أو المصطلح	المعنى	التمييز
T_s	درجة حرارة غاز المدخنة	كلفن
T_w	درجة حرارة سطح الماء	م°
T_w	متوسط الإنسياب التجاري للفضلات السائلة	لتر/اليوم
$t_{½}$	عمر النصف للعنصر المعين	ث
t	الزمن، زمن المكث، زمن الترسيب، فترة الهطول، زمن التلامس	ث
t	سمك الغشاء	م
t_c	الزمن الحرج	يوم
t_f	الزمن الكلي الذي تكون فيه شدة الأمطار أكبر منW	يوم
t_w	درجة حرارة مقياس الحرارة الرطب	م°
U	الرحلان الكهربي	متر/ ث×فولت×م
U_i	معامل إنتقال الحرارة للمبادل الحرارى رقمI	
u_2	سرعة الرياح على ارتفاع 2 متر	م/ث
u_6	سرعة الرياح على ارتفاع 6 متر أعلى السطح	م/ث
u	السرعة	م/ث
u_i	سرعة الغاز الداخل	م/ث
u_O	سرعة الرياح على الارتفاع z_O	م/ث
V_1	حجم مرشح النضيض وحيد المرحلة	م^3
V	الحجم	م^3، لتر
VOL	معدل التحميل الحجمي للمواد العضوية	كجم/م^3/يوم
VS	درجة تركيز المواد الصلبة الطيارة للفضلات الداخلة للهاضم	كجم/م^3
VS	المعدل اليومي لترسب المواد الطيارة	كجم/م^2
Vav	متوسط حجم كل الحبيبات	م^3
v_f	سرعة الترشيح	م/ث
Vg	معدل الإنتاج الحجمي للغاز	م^3 غاز/م^3 هاضم/يوم
Vp	الحجم الذى تأخذه كل حبيبة	ميم^3
Vs	حجم الحمأة المترسبة في لتر من أسطوانة مدرجة في 30 دقيقة	لتر
V_w	الحجم الجزيئي المولاري للماء في الغشاء	م^3
v'	سرعة الترسيب المعاق، السرعة الحقيقية	م/ ث
v	سرعة دوران الإناء، السلطانية (الطاسة)	رادين/ث
v	السرعة	م/ يوم، م^3/م^2/ث
v_a	سرعة الماء المقترب من حبيبات الرمل، سرعة الترشيح	م/ث
v_s	سرعة الدفق الأفقية (سرعة الجرف)، سرعة غاز المدخنة	م/ث

الرموز والمصطلحات الواردة فى الكتاب (تابع)

الرمز أو المصطلح	المعنى	التمييز
v_{sc}	سرعة جرف الحبيبات المترسبة	م/ ث
v_x	السرعة النسبية في إتجاهx	م/ث
W_1	معدل تحميل المواد الصلبة لجهاز الطرد المركزي الأول	كجم/ساعة
W_2	معدل تحميل المواد الصلبة لجهاز الطرد المركزي الثاني	كجم/ساعة
W	دليل دبليو	
W	طاقة الموجة الصوتية	وات
W	تحميل حاجة الحيا-كيميائية للأكسجين	كجم/يوم
Wc	تحميل الحاجة الحيا-كيميائية للأكسجين المستهلك	كجم/يوم
We	تحميل الحاجة الحيا-كيميائية للأكسجين للخارج	كجم/يوم
Wi	تحميل الحاجة الحيا-كيميائية للأكسجين للداخل	كجم/يوم
Wo	طاقة الصوت القياسية	وات
w	سرعة إنسياق الحبيبات المشحونة نحو قطب المجمع	م/ث
w	القدرة اللازمة لدفع البدال عبر المائع	جول/ث
wp	المحيط المبتل	م
X	الذرة الأم	
Xc	المسافة الحرجة	م
x	جزء وزن الحبيبات المحجوزة بين أى مصفاتين (غربالين)	
x	المسافة	م
x	مقدار كتلة العنصر، الملوث الممتز من المحلول	مول
xg	جزء مول الغاز	
(x,y)	إحداثيات المستقبل للملوثات الهوائية	
Y	الذرة الإبنة	
Yt	الإنتاج الأقصى للغاز	م^3 غاز/كجم مواد صلبة طيارة مضافة
y	المسافة، العرض	م
Z	رقم الكتلة	لابعدي
Z	ارتفاع الأوساخ فى السلطانية	م
Z	تكافؤ العنصر	
ZP	جهد زيتا	فولت
zo	الارتفاع الأقل	م
γ	الوزن النوعي	لابعدي
γ	ثابت جهاز قياس الرطوبة	
ρ	الكثافة	كجم/م^3

الرموز والمصطلحات الواردة فى الكتاب (تابع)

الرمز أو المصطلح	المعنى	التمييز
ρ_p	كثافة الجسيمات الملوثة، كثافة الحبيبة	كجم/م^3
ρ_g	كثافة الغاز	كجم/م^3
ρ_w	كثافة الماء	كجم/م^3
κ	الحجم النوعى	
τ	القص المقاوم	نيوتن/م^2
μ	معامل اللزوجة الديناميكية	نيوتن×ث/م^2
μ	معدل نمو الأحياء المجهرية	/يوم
μ max	أقصى معدل لنمو الأحياء المجهرية	/يوم
ν	درجة اللزوجة الكينماتية	م^2/ث
σ	قوة التوتر السطحى	نيوتن/م
Σ	معيار ينسب الى خواص جهاز الطرد المركزي	
σ_z	الإنحراف المعياري الرأسي لتركيز الريشة	م
σ_y	الإنحراف المعياري الأفقي لتركيز الريشة	م
λ	طول الموجة	م
λ	ثابت	
Δh	ارتفاع الريشة أعلى المدخنة	م
Δ	ميلان منحنى ضغط البخار لدرجة الحرارةt	
Δh_i	عمق نقطة أخذ العينة رقم i	م
ΔT_i	الفرق بين درجة حرارة الماء فى وحدة التقطير والبخار الداخل للمبادل	درجة
Δh	ارتفاع الريشة	م
Δv	الفرق بين سرعة دوران السلطانية والناقل	رادين/ث
ΔP	فقد الضغط عبر الفرازة المخروطية	متر
ΔP	فرق الضغط العامل عبر الغشاء	ملم زئبق
ΔP_{osm}	فرق الضغط الحلولي عبر الغشاء	جو
ΔC_s	فرق درجة تركيز المواد الذائبة عبر الغشاء	ملجم/لتر
$\partial c/\partial x$	ميل درجة التركيز	
β	قيمة تعتمد على زمن المكث بالبحيرة وثابت التفاعل	
β	دالة بيتا لجهاز الطرد المركز	
j	حد ثابت	
ϕ	معامل شكل الحبيبات	
ϕ	السمت الممكن	م
ϕ	زاوية التلامس بين الأنبوبة والمائع الأثقل	°
	الرموز والمصطلحات الواردة فى الكتاب (تابع)	

الرمز أو المصطلح	المعنى	التمييز
ϕ	ثابت تصحيح الحرارة	
ω	سرعة دوران الإناء	دورة فى الدقيقة، rpm
α	معامل حوض الماء الجوفي	
كلو	الكلورة	جم/كجم
ملو	درجة ملوحة العينة	جم/كجم

الباب الأول

موارد وتنقية وتوزيع المياه

1. الفصل الأول: موارد المياه
2. الفصل الثانى: خواص المياه والعوامل الملوثة للمياه
3. الفصل الثالث: الماء والصحة العامة
4. الفصل الرابع: مبادئ الهايدرولوجيا
5. الفصل الخامس: تقانة تنقية المياه

الفصل الأول
موارد المياه

1-1 مقدمة

إن الماء أحد أهم العناصر الأساسية للحياة بل ربما كان أهمها لاسيما لا تستمر الحياة بدونه طويلاً. كما ويحكم الماء تواجد الإنسان وسط مجتمعه ويؤثر سلباً أو إيجاباً على مناحي التقدم والنمو العمراني والحضري ومقومات واقتصاديات النشاط البشري على وجه المعمورة. ويؤثر على أوجه التنمية ويلعب دوراً أساسياً في كل مناحي حياة الفرد ومجتمعه. وقديماً مجد الفراعنة النيل وعبدوه بل أهدوه عروسة عذراء من بنات البشر وصفها أمير الشعراء أحمد شوقي فأجاد في قصيدته (النيل) والتي مطلعها {1}:

من أي عهدٍ في القرى تتدفقُ   وبأي كفٍ في المدائن تُغدقُ

فيقول:

ونجيبةٍ بين الطفولة والصبا   عـذراء تشربها القلوب وتلعـق
كان الزفافُ إليك غايةَ حظها   والحـظ إن بلغ النهايـةَ موبـق
لاقيتَ أعراساً ولاقتْ مأتماً   كالشـيخ ينعم بالفـتاة وتزهقُ
فـي كـل عامٍ درةٌ تُلقى بلا   ثمـنٍ إليـك وحـرة لا تُصدقُ
حـولٌ تُسـائِل فيه كـل نجيبةٍ   سـبقتْ إليـك متى يحول فتلحق
والمجـد عند الغانيات رغيبةٌ   يبغَى كما يبغَى الجمالُ ويعشق
إن زوجوك بهن فهى عقيدةٌ   ومـن العـقائد ما يلـب ويحمـق
ماأجملَ الإيمان لولا ضلّةٌ   في كـل ديـنٍ بالهـداية تُلـصق
زفّت إلى ملك الملوك يحثها   ديـن ويدفـعها هـوى وتشـوق
ولربما حسدت عليـك مكانَها   ترب تمسح بالعروس وتُحدق
مجلوة في الفُلك يحدو فُلكَها   بالشـاطئين مـزغـرد ومصفق
في مهرجانٍ هزت الدنيا به   أعطافَها واختـالَ فيه المشْـرِق
فرعون تحتَ لوائِه وبناتُه   يجري بهن على السفين الزورق
حتى إذا بلغتْ مواكبها المدى   وجـرى لغايته القـضاء الأسـبق
وكسا سماء المهرجان جلالةً   سـيفُ المـنية وهو صلْتٌ يبرق
وتلفتتْ في اليم كل سفينةٍ   وانثال بالوادي الجموع وحدقوا
ألقتْ إليك بنفسها ونفيسها   وأتـتـك شـيقـةً حـواهـا شـيـق
خلعتْ عليك حياءها وحياتها   أأعـز مـن هذيـن شـيء يـنْـفَـق

ولعب الماء دوراً كبيراً في الوصف وأشعار العرب فانظر إلى البحتري يمدح أبا ليلى الحارث بن عبد العزيز في قصيدته التي مطلعها {2}

يكاد يبدي لسعدي غيب ماأجد ... تحدر من دراك الدمع مطرد

واصفا إياه بالغيث فيقول:

كم وعدت وأنت الغيث نعرفه ... مذ حالف الجود يعطي فوق ما يعد

كما قال واصفاً الوزير عبيد ا (بن يحيى) بن خاقان {2}:

يا عارضاً متلفعاً ببروده ... يختال بين بروقه ورعوده

وقد أُستخدم في الوصف بياض البرد وعذوبة ماء المزن كما في قول جميل بن معمر {3}:

حلت بثينة من قلبي بمنزلة ... بين الجوانح لم ينزل بها أحد

صادت فؤادي بعينيها ومبتسم ... كأنه حـين أبدتـه لنا بـرد

عذب كأن ذكى المسك خالطه ... والزنجبيل وماء المزن والشهد

واستعار جميل بثينة في قصيدته التي مطلعها {3}:

لقد لامنى فيها أخ ذو قرابة ... حبيب إليه في نصيحته رشدي

استعار صفو غريض (ماء المطر) المزن (السحاب ذو الماء) عند مزجه بالعسل في وصف محبوبته فقال:

كأن عتيق الراح خالط ريقها ... وصفو غريض المزن صفق بالشهد

ولقد أبدع التجانى يوسف بشير في قصيدته (محراب النيل) فقال {4}:

أنت يا نيل يا سليل الفراديس ... نبـيلٌ موفـقٌ فـي مسـابك

ملء أوفاضك الجلال فمرحى ... بالجلال المفيض من أنسـابك

حضنتك الأملاك في جنة الخلد ... ورفـت عـلى وضئ سـحابك

وأمدت عليك أجنحة خضرا ... وأضفـت ثيـابـها في رحابـك

فتحدرت في الزمان وأفرغت ... على الشرق جنة من رضابك

بين أحضانك العراض وفي ... كفـيك تاريخـه وتحـت ثيـابـك

مخرتك القرون تشمرعن ساق ... بعـيد الخـطـى قـوي السـنابـك

يتوثبن في الضفاف خفافاً ... ثـم يركضن في مـمر شـعابـك

وحروف ريانة فـي اسـمك (النيل) ... ونـعمى موفـورة في جنابـك

أنت في مسلك الدماء وفي ... الأنفاس تجري مدوياً في إنسيابك

إن نسبنا في عزة الواثق ... راضيـن وفـرة عـن نـصابـك

أو نعمنا بك الزمان فلم نبل ... بلاء الجـدود في صون غابك

وقال الشريف الرضي يصف السحاب {5}:

سما كبطون الأتن ريعان عارضٍ ... تزجـيه لـوثاء النسـيم جـنوب

رغا بين دوح الواديين برعده رغـاء مـطـايـا مسـهن لُـغُوب
بصير يرمي القَطْرِ حتى كأنه على الرمل قاري السهامِ نجيب
تَدافَع، أما برقُه فصوارِم، جـلاء، وأمـا عـرضه فـكثـيـب
إذا ما أراق الماء أسفَر وجهه ويغدو يعبء الماء، وهو قطوب
سهرتُ له نابي الوسادة، برقُه يـحـوم عـلى أعـناقـه ويـَـلُـوب

وقال في سقوط الثلج ببغداد الذي لم ير مثله {5}:

أرى بغداد قد أختَى عليها، وصبـحـها يـغـارتـه الجـليـد
كأن ذُرى معالمها قلاص نَـواءٍ كُشّـطَتْ عـنها الجـلُود
كأن يه لُغَام العيسِ باتَتْ تُسـاقطُه عـجالُ الرجعِ قُـود
غَطَى قمم النّجاد، فكل وادٍ عـلـى نَـشَـزاتـه سـب جـديـد
كما تَعرى به الغيطان محلاً، وتَـغْـبـر الـتّـهـايـم والـنّـجـود
فمهما شئْتَ تَنظُر من رباها إلى يـيـضٍ عـواقـبهـن سـود
أقُولُ له، وقد أمسى مكباً على الأقطَارِ يضعفُ، أو يزِيد:
وراءك، فالخَواطر بارِداتٌ عـلى الإحسـانِ، والأيدى جمود
وإنّك لو تَروم مزيد بردٍ إلى بـردٍ، لأعـوزك المـزيـد

وقال أيضاً يشكر صديقاً له {5}:

لأي صنَائِعه أشْكُر، وفـي أي أخـلاقـه أنـظُـر
فتى طَابَ المجد في بيته، هو السيفُ والعارِض الممطر
فتى، كالحسامِ وصوبِ الغَمامِ، ذا يـسـتَـهـلّ، وذا يـمـطـر

وقال في صديق له {5}:

يا ذاكر النعماء إن نُسيتْ، ومجدد المعروف إن درسا
لِله بحر ما هتَفْتُ به حتى اسـتَهلّ على وانبجسا
أجممتُ جمتَه، ففاض بها يـطَـأُ الربـى ويبـلّلُ اليبسـا

وأنظر إلى تشبيهات المتنبي في قصيدته (كبرت حول ديارهم) التي يمدح فيها أبا المنتصر شجاع بن محمد بن أوس الأزدي {6}:

أمطر على سحاب جودك ثرةً وانظر إلي برحمةٍ لا أغرقُ

ويقول معروف عبد الغني الرصافي في قصيدته (نحن على منطاد) والتي مطلعها {7}:

نحن من أرضنا على منطاد جائلٍ في شواسع الأبعاد

يقول:

أيها الماء أين تجري ضياعاً وحواليـك قاحـلات البـوادي
فمتى تفطن النفوس فتحيا بـك سـقياً مـوات هذي البلاد

لو زرعنا بك البقاع حبوباً   لحصدنا النضار يوم الحصاد

أنت وا عسجد ولجين   لـو أتـيـنا الأمـور باسـتعـداد

فاجـرِ يامـاء ان جـريت   رويداً بأنـاةٍ ومـهـلةٍ واتـئـاد

عـلنا نسـتفيق من رقـدة   الفقر فنغنى بفيضك المزداد

وانظر إلى أمير الشعراء في مناجاته وهو بمنفاه بالأندلس حيث يقول {8}:

يا ساكني مصر إنا لا نزالُ على   عهد الوفاء - وإن غبنا - مقيمينا

هلا بعثتم لنا من ماء نهركم   شـيئـاً نبـل به أحـشـاء صاديـنا

كل المناهل بعد النيل آسنة   مـا أبعـد النيـلَ إلا عـن أمـانيـنا

وقال الحق تبارك وتعالى في محكم التنزيل "وهو الذي أنزلَ من السمآء مآء فأخرجنَا به نباتَ كل شيءٍ فأخرجنَا منه خضراً نُخرج منه حباً متراكباً ومن النخل من طلعها قنوان دانيةٌ وجناتٍ من أعنابٍ والزيتون والرمان مشْتَبِهاً وغَير متشابهٍ انظُروا إلى ثمره إذآ أثمر وينعه إن في ذلكُم لأياتٍ لقومٍ يؤمنون " (99) الأنعام. وقال أصدق القائلين "الله الذي خلقَ السموات والأرض وأنزلَ من السمآء مآء فأخرج به من الثمرات رزقاً لكُم وسخر لكُم الفُلك لتجري في البحرِ بأمره وسخر لكُم الأنهار " (32) إبراهيم. وقال سبحانه وتعالى "هو الذي أنزلَ من السمآء مآء لكُم منه شراب ومنه شجر فيه تُسيمون (10) ينبتُ لكُم به الزرع والزيتون والنخيلَ والأعناب ومن كل الثمرات إن في ذلك لأيةً لقومٍ يتفكرون " (11) النحل. وقال تبارك وتعالى "**أو لم ير الذين كفروا أن السموات والأرض كانتَا رتْقاً ففتقناهما وجعلنَا من المآء كل شيء حي أفلا يؤمنون**"(30) الأنبياء. وقال جل جلاله "والله خلقَ كل دآبةٍ من مآءٍ فمنهم من يمشي على بطنه ومنهم من يمشي على رجلينِ ومنهم من يمشي على أربعٍ يخلُقُ الله مايشآء إن الله على كل شيءٍ قدير " (45) النور.

ويمكن تلخيص أهمية الماء في حياة الإنسان في النقاط التالية {9 – 25}:

1. يدخل الماء كمكون أساسي في مملكة النبات (الماء من أهم العوامل الأساسية الداخلة في عمليات التمثيل الضوئي)، كما وأن الماء مهم لتكاثر مملكة الحيوان
2. يشترك الماء في التفاعلات الحيوية (البيولوجية) المختلفة.
3. الماء يذيب الكثير من المواد العضوية وغيرالعضوية، ولهذا فقد سمى المذيب العالمي.
4. يعتبر الماء من أهم السوائل الأساسية بالجسم، فمثلاً يحتوي بروتوبلازم معظم الخلايا الحية على نسبة 80 بالمائة منه ونقصان هذه النسبة يضر بالجسم. كما وتحدث معظم التفاعلات الكيموحيوية في وجود الماء. وتحتوي البلازما في جسم الإنسان على نسبة من الماء تتراوح بين 65 إلى 70 بالمائة من وزن الجسم. كما وتختلف نسبة الماء بالجسم باختلاف الأعضاء والخلايا، فمثلاً توجد أعلى نسبة من الماء في خلايا الجهاز العصبي والمخ (قد تصل هذه النسبة إلى 82 أو 94 بالمائة) وأقل نسبة من الماء بالجسم تصل إلى 22 أو 34 بالمائة (تتواجد في العظام والخلايا الدهنية). ومن المعروف أن تواجد الماء داخل جسم الإنسان يتحكم في درجة حرارة الجسم وينظمها بتصبب العرق منه. ويتأثر العرق بدوره بدرجة

رطوبة الجو، ونوع العمل ومكانه ومدته، وصحة الفرد العامل وفترة التعرض للشمس. كما وتختلف نسبة الماء بجسم الإنسان طبقاً لعمره، إذ تقل بكبر السن، فمثلاً يذكر أن نسبة الماء بالجسم تصل إلى 97% من وزنه بعد ثلاثة أيام من الولادة، لتقل هذه النسبة إلى 81% بعد ثمانية أيام من الولادة، وتصل إلى ما بين 65 إلى 75% عند الهرم.

5. يتواجد الماء بكثرة في الأطعمة، فمثلاً تتراوح نسبة الماء في الفواكه بين 78 إلى 97 بالمائة، وتصل في الأسماك إلى 80 بالمائة، أما في اللحم فتصل النسبة إلى 72 بالمائة. وما تحتاجه النباتات من كربوهيدرات تتحصل عليه باستخدام ثاني أكسيد الكربون والماء المتواجد في النسغ العام عند وجود الطاقة اللازمة ومادة الكلوروفيل (اليخضور) وضوء الشمس، وتوضح المعادلة الكيميائية التالية صورة مبسطة لهذا التفاعل:

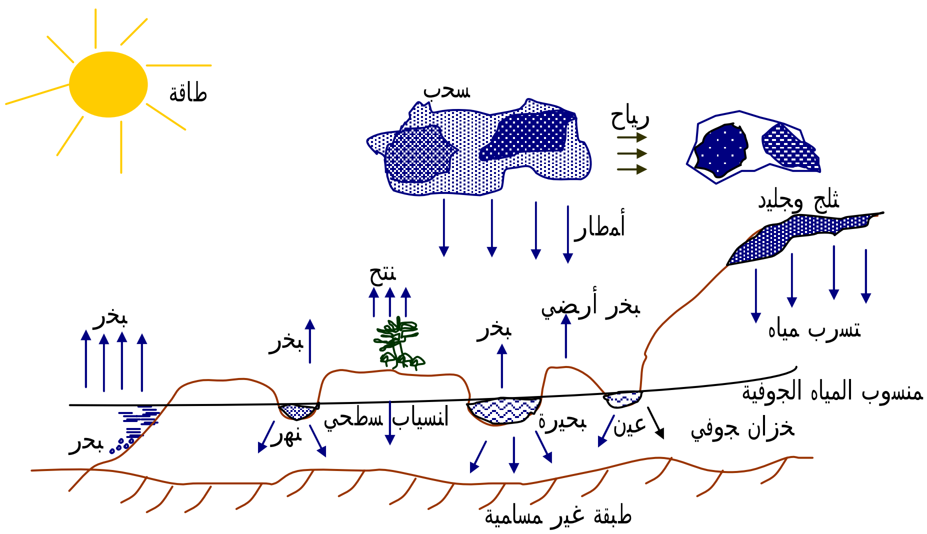
$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \longrightarrow 6CO_2 + 6H_2O + 688\ Kcal$$

6. يساعد الماء في إستصلاح الأراضي وقيام المشاريع الزراعية والصناعية حيث يستخدم الماء في العديد من المناحي مثل:
   أ. الري الزراعي وإنتاج المحاصيل والأطعمة.
   ب. إنتاج وتوليد الطاقة مثل الطاقة الهايدروليكية.
   ج. إنتاج المنتجات والبضائع وتصنيعها ومفرزات الصناعة.
   د. التبريد ونقل الحرارة وتحضير الحمامات للاستخدامات المتعددة مثل الطلاء الكهربائي Electroplating والرحلان الكهربائي Electrophoresis وغيرها من الاستخدامات.
   ه. التخاص من الغازات.
   و. عمليات ترطيب الجو وتبريد الهواء وعمليات التهوية.
   ز. المحافظة على الصحة العمومية والبيئية.
7. يستخدم الماء في أنماط الترفيه المختلفة مثل: السباحة والصيد والتجديف والسباق المائيى ولإستحداث واستمرارية المناظر الخلابة على الشواطئ والضفاف وغيرها.
8. يستخدم الماء في المواصلات ونقل المواد والملاحة البحرية.
9. يستخدم الماء في التخاص النهائي من الفضلات والمخلفات والحمأة.
10. يستخدم الماء في تربية الحيوانات، والنباتات المائية والبرمائية، مثل تربية الأسماك وتربية النباتات ذات القيمة الاقتصادية أو تلك المستخدمة للزينة.
11. الحصول على المعادن النفيسة والأحجار الكريمة والحلي النادرة وصيد الأصداف.

2-1 دورة الماء الطبيعية Hydrological cycle

إن المياه في حالة حركة دائمة كما يشار إليها بدورة المياه الطبيعية. وخلال هذه الدورة فإن المياه المتكثفة تهطل إلى سطح الأرض في شكل أمطار وجليد وصقيع وغيرها من أنواع السقوط المائي. أما المياه الهاطلة على سطح التربة فيشكل جزء منها الجريان السطحي المتمثل في البحيرات والبرك والبحار والأنهار والخيران، وينساب

جزء آخر من هذه المياه مترشحاً إلى باطن القشرة الأرضية ليكون خزانات المياه الجوفية والتي تجد طريقها عاجلاً أو آجلاً إلى سطح الأرض لتشكل الينابيع والعيون الطبيعية للمياه. تتبخر المياه من الغطاء النباتي ومن المسطحات المائية ومن نتح النباتات، لتجد طريقها إلى الغلاف الجوي. ويمثل هذا الموجز المختصر (في صورة مبسطة) ما يطلق عليه دورة المياه الطبيعية (أنظر شكل 1-1). غير أن هذه الدورة ربما اختلت وقُطعت في أي جزء من أجزائها كما ولا يوجد نظام موحد في الفترة الزمنية التي تأخذها هذه الدورة، كما وأن كثافة الدورة وفتراتها تعتمد على العوامل الجغرافية وعوامل المناخ ومؤثراته {26}.



شكل 1-1 رسم مبسط لدورة المياه الطبيعية

وتفكر في قول المولى عز وجل "الذي **جعلَ لكُم الأرض فراشاً والسماء بناء وأنزلَ من السمآء مآء فأخرج به من الثمرات رزقاً لكُم فلا تجعلوا للّه أنداداً وأنتم تعلمون** "(22)" **ثم قستْ قلوبكُم من بعد ذلك فهي كالحجارة أو أشد قسوة وإن من الحجارة لما يتفجر منه الأنهار وإن منها لما يشققُ فيخرج منه المآء وإن منها لما يهبطُ من خَشية الله ومااللهِ بغافلٍ عما تعملون**" (74) "**إن في خلق السموات والأرض واختلاف الليل والنهار والفلك التي تجرى في البحر بما ينفع الناس ومآ أنزلَ اللّه من السمآء من مآء فأحيا به الأرض بعد موتها وبث فيها من كل دآبة وتصريف الرياح والسحاب المسخر بين السمآء والأرض** لأياتٍ لقومٍ يعقلون" (164) البقرة. وقال تعالى "**ألم يروا كم أهلكنا من قبلهم من قرنٍ مكناهم في الأرض مالم نمكن لكم وأرسلنا السمآء عليهم مدراراً وجعلنا الأنهار تجري من تحتهم فأهلكناهم بذُنوبهم وأنشأنا من بعدهم قرناً آخرين**" (6) "**وهو الذي أنزلَ من السمآء مآء فأخرجنا به نباتَ كل شيءٍ فأخرجنا منه خَضراً نخرج منه حباً متراكباً ومن النخل من طلعها قنوان دانيةٌ وجنات من أعنابٍ والزيتون والرمان مشتَبِهاً وغير متشابه انظروا إلى ثمره إذآ أثمر وينعه إن في ذلكم لأيات لقومٍ يؤمنون** "(99) الأنعام. وقال سبحانه وتعالى "**وهو الذي يرسلُ الرياح بشراً بين يدى رحمته حتى إذآ أقلتْ سحاباً ثقالاً سقناه لبلد ميت فأنزلنا به المآء فأخرجنا به من كل الثمرات كذلك نخرج الموتى لعلكم تذكرون** "(57) الأعراف. وقال جل جلاله "**وياقوم استغفروا ربكم ثم توبوا إليه يرسل السمآء عليكم مدراراً ويزدكُم قوةً**

إلى قوتكم ولا تتولوا مجرمين "(52) هود. وقال المولى سبحانه وتعالى "**أنزلَ من السمآء مآء فسالتْ أوديةٌ بقدرها فاحتملَ السيلُ زبداً رابياً ومما يوقدون عليه في النار ابتغآء حلية أو متاعٍ زبد مثله كذلك يضرب الله الحق والباطلَ فأما الزبد فيذهب جفآء وأما ما ينفع الناس فيمكثُ في الأرض كذلك يضرب الله الأمثالَ** "(17) الرعد. وقال جل جلاله "**الله الذي خلقَ السموات والأرض وأنزلَ من السمآء مآء فأخرج به من الثمرات رزقاً لكم وسخر لكم الفُلك لتجري في البحر بأمره وسخر لكم الأنهار** "(32) إبراهيم. وقال سبحانه وتعالى "**وأرسلنا الرياح لواقح فأنزلنا من السمآء مآء فأسقيناكموه ومآأنتم له بخازنين** (22) " الحجر .وقال الحق تبارك وتعالى "**هو الذي أنزلَ من السمآء مآء لكم منه شراب ومنه شجر فيه تُسيمون" (10)" والله أنزلَ من السمآء مآء فأحيا به الأرض بعد موتهآ إن في ذلك لأيةً لقومٍ يسمعون** "(65) النحل. وقال المولى عز وجل "**الذي جعلَ لكم الأرض مهداً وسلك لكم فيها سبلاً وأنزلَ من السمآء مآء فأخرجنا به أزواجاً من نبات شتى** " (53) طه. وقال سبحانه وتعالى "**ألم تر أن الله أنزلَ من السمآء مآء فتصبح الأرض مخضرةً إن الله لطيفٌ خبير** "(63) الحج. وقال ا سبحانه وتعالى "**وأنزلنا من السمآء مآء بقدرٍ فأسكناه في الأرض وإنا على ذهابٍ به لقادرون** " (18) المؤمنون. وقال الحق جل شأنه "**ألم تر أن الله يزجي سحاباً ثم يؤلفُ بينه ثم يجعله ركاماً فترى الودقَ يخرج من خلاله وينزلُ من السمآء من جبالٍ فيها من برد فيصيب به من يشآء ويصرفه عن من يشآء يكاد سنا برقه يذهب بالأبصار** " (43) النور. وقال جل جلاله "**وهو الذي أرسلَ الرياح بشراً بين يدي رحمته وأنزلنا من السمآء مآء طهوراً** "(48) الفرقان. وقال جل شأنه "**أمن خلقَ السموات والأرض وأنزلَ لكم من السمآء مآء فأنبتنا به حدآئقَ ذاتَ بهجة ما كان لكم أن تنبتوا شجرها أءله مع الله بلْ هم قوم يعدلون** " (60) النمل. وقال الحق تبارك وتعالى "**ولئن سألتهم من نزلَ من السمآء مآء فأحيا به الأرض من بعد موتها ليقولن الله قل الحمد ـ بلْ أكثرهم لا يعقلون** " (63) العنكبوت. وقال تبارك وتعالى "**الله الذي يرسلُ الرياح فتثير سحاباً فيبسطه في السمآء كيفَ يشآء ويجعله كسفاً فترى الودقَ يخرج من خلاله فإذآ أصاب به من يشآء من عباده إذا هم يستبشرون** " (48) الروم. وقال الحق سبحانه وتعالى "**أو لم يروا أنا نسوقُ المآء إلى الأرض الجرز فنخرج به زرعاً تأكلُ منه أنعامهم وأنفُسهم أفلا يبصرون** " (27) السجدة. وقال جل شأنه "**والله الذي أرسلَ الرياح فتثير سحاباً فسقناه إلى بلد ميت فأحيينا به الأرض بعد موتها كذلك النشور**" (9" (**ألم تر أن الله أنزلَ من السمآء مآء فأخرجنا به ثمرات مختلفاً ألوانها ومن الجبال جدد بيض وحمر مختلفٌ ألوانها وغرابيب سود**" (27) فاطر. وقال المولى عز وجل "**ألم تر أن الله أنزلَ من السمآء مآء فسلكه ينابيع في الأرض ثم يخرج به زرعاً مختلفاً ألوانه ثم يهيج فتراه مصفراً ثم يجعله حطاماً إن في ذلك لذكرى لأولي الألباب**" (21) الزمر. وقال تعالى "**هو الذي يريكم اياته وينزلُ لكم من السمآء رزقاً وما يتذكر إلا من ينيب**" (13) غافر. وقال الحق جل وعلا "**والذي نزلَ من السمآء مآء بقدرٍ فأنشرنا به بلدةً ميتاً كذلك تُخرجون** " (11) الزخرف. وقال جل شأنه "**واختلاف الليل والنهار ومآ أنزلَ الله من السمآء من رزق فأحيا به الأرض بعد موتها وتصريف الرياح اياتٌ لقومٍ يعقلون**" (5) الجاثية. وقال المولى تبارك وتعالى "**ونزلنا من السمآء مآء مباركاً فأنبتنا به جنات وحب الحصيد** " (9) ق. وقال تعالى "**وفى السمآء رزقكم وماتوعدون**" (22) الذّاريات. وقال تعالى "**قلْ أرأيتم إن أصبح مآؤكم غوراً فمن يأتيكم بمآء معينٍ**" (30) الملك. وقال جل شأنه "**يرسل السمآء عليكم مدراراً**" (11) نوح. وقال

عز وجل "**وألو استقاموا على الطريقة لأسقيناهم مآء غدقاً**" (16) الجن. وقال المولى تعالى "**وأنزلنا من المعصرات مآء ثجاجاً**" (14) النبأ.

يبين الجدول رقم (1) تقديرات توزيع المياه في دورة المياه الطبيعية ونسبة المياه الكلية للغطاء المائي المتواجد في كل جزء من الدورة. وتقدر كمية كل المياه المتاحة الاستخدام الإنساني بنسبة 62, 0 بالمائة تتركز في بحيرات الماء العذبة والأنهار والمياه الجوفية، ونصف هذه الكمية من المياه العذبة يوجد في باطن الأرض على بعد 800 متراً {26}:

جدول (1-1) تقدير المياه في اللأرض {6}

الموقع	**الحجم (ألف كيلومتر مكعب (= 10^{12}م^3)**	**النسبة المئوية للمياه الكلية**
العذبة	125	
الأنهار	1.25	0.62
مياه التربة	65	
المياه الجوفية	8250	
البحيرات المالحة والبحار الداخلية	105	0.008
الغلاف الجوى	13	0.001
المياه المتجمدة القطبية والجليد	29200	2.1
البحار والمحيطات	1320000	97.25
المجموع	1360000 أو 1.36×10^{18} م^3	100

المصدر: المرجع 26، منشور بإذن.

1-3 موارد المياه

يمكن تقسيم الموارد المائية إلى ثلاثة أقسام رئيسة تضم:

أ) المياه السطحية Surface water: وهى المياه المتواجدة على سطح الأرض وتضم مياه البحيرات والبرك والبحار والأنهار والجداول الصغيرة والخيران والأودية وما ماثلها. وتعتمد كمية المياه السطحية التي يمكن الحصول عليها على عوامل عديدة متداخلة فيما بينها مثلاً: تقديرات الأمطار وشدتها وفترة هطولها بالمنطقة، وتضاريس المنطقة وطبوغرافيتها، والعوامل المؤثرة على الطقس من رياح وحرارة ورطوبة وتبخر...الخ.

ب) المياه الجوفية Groundwater: وهى تعني المياه المتواجدة داخل باطن الأرض، و يتكون هذا المصدر أصلاً من المياه السطحية المتسربة عبر التربة. أما كمية المياه في الخزان الجوفي فتعتمد على عوامل متداخلة مثل: كمية الأمطار ونسبة المياه المتسربة إلى التربة وطبوغرافية المنطقة وجيولوجيتها وأنواع

الطبقات الحاملة للمياه والعوامل المؤثرة على دفق المياه. وتوجد المياه الجوفية عادة في المسامات وفتحات بنيات الأرض وصدوعها من صخور رسوبية ومتفتتة وغيرها.

ج) مياه الأمطار Precipitation : ويمكن استخدام هذا المصدر من المياه بطرق مباشرة أو غير مباشرة. أما كمية المياه التي يمكن الحصول عليها من هذا المصدر فتعتمد على كمية الأمطار الهاطلة بالمنطقة وفترة الهطول وكثافة الأمطار، وعوامل المناخ من رياح ورطوبة وحرارة وتبخر، وطبغرافية المنطقة، والغلاف النباتي، ونفاذية الطبقات الأرضية، وخواص المنطقة الجابية لهذه الأمطار.

د) المياه المنقاة والمياه المعالجة Reclaimed wastewater & Treated water وهذه تنتج من مصادر غير مباشرة مثلاً من تحلية المياه المالحة (سطحية كانت أو جوفية) أو من إعادة استخدام مياه المجاري والصرف الصحي بعد خضوعها لوحدات المعالجة الملائمة.

4-1 اختيار مصدر المياه Water source selection

عند التفكر في اختيار مصدر الماء الاستخدام لابد من معرفة خصائصه، وكمية المياه به ونوعها، ومدى إمكانية إيفائه بالكميات المطلوبة من المياه، واستمراريته، وطاقته الإنتاجية، وقربه أو بعده من منطقة الاستهلاك، ورغبة جمهور المستهلكين في استخدام مائه.

وبالنسبة لمياه الأمطار يمكن استخدامها بطرق مباشرة أو غير مباشرة من قبل الجمهور المستهلك لها. وتعتمد كمية المياه التي يمكن الحصول عليها على شدة الأمطار وزمن هطولها وفترة الهطول، والعوامل المناخية المؤثرة على الأمطار، وطريقة تجميع المياه وحفظها، وسبل الاستخدام ومضاربها، ونوعية المياه المجمعة.

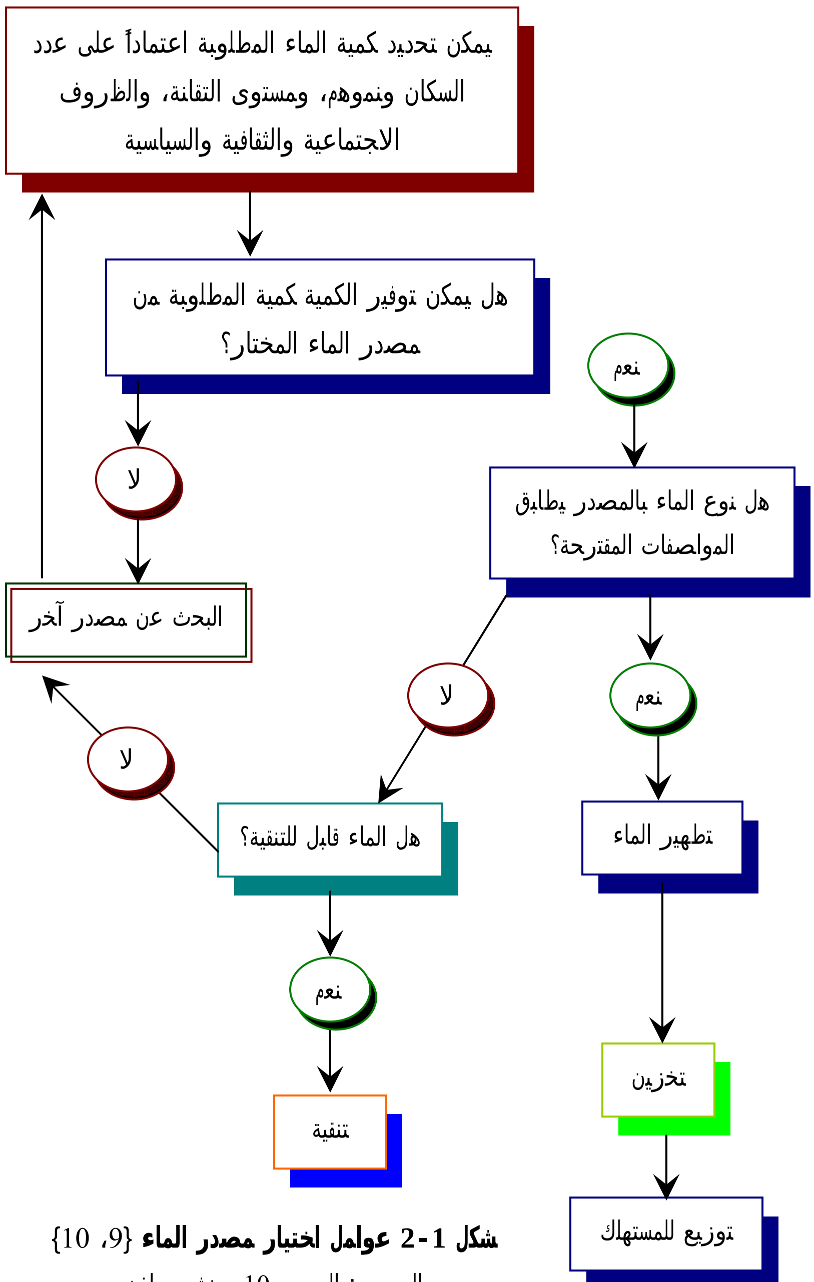
أما المياه السطحية فتشكل النسبة الكبرى من المياه المستخدمة وذلك نسبة لسهولة الحصول عليها. وتضم في مجملها الأنهار والبحيرات والبرك والأنهار الصغيرة والخيران الموسمية والدائمة والبحار والمحيطات. أما كمية المياه بالمصدر فتتفاوت طبقاً لنوع المصدر، وكمية الأمطار الهاطلة بالمنطقة، ومقدار الجريان السطحي، وطبغرافية المنطقة وجيولوجيتها وجغرافيتها، والظروف المناخية المحيطة، وخواص المنطقة الجابية. وعند مرور المياه السطحية بأكثر من منطقة أو قطر فعادة تحدد نسبة معينة مصرح باستغلالها من هذه المياه لكل دولة على حدة. وتحدد الإتفاقيات الثنائية أوالمشتركة كمية المياه التي يمكن أن تُستغل. وتحكم استخدام المياه السطحية عوامل متداخلة فيما بينها تضم: نوع المياه المتاحة وكميتها، ومدى التلوث الموجود، وإمكانية تنقية المياه بالموارد والإمكانيات المحلية المتاحة، ومدى مواكبة التنقية للتشريعات المنظمة للاستخدام. ولا بد من توخى الحذر وأخذ الحيطة عند استخدام المياه السطحية لتفادي مشاكل ومخاطر التلوث بها، ولعدم زيادة درجة التلوث أو الأتيان بملوثات أخرى تصعب إزالتها من المصدر. ولا بد من أخذ العوامل الصحية في الحسبان عند تصميم المشاريع التنموية المستخدمة للمياه السطحية وإجازتها وإنشائها.

أما المياه الجوفية فتُعتبر من أفضل المصادر المائية للاستهلاك نسبة لنوع المياه الجيد والجودة المواكبة لها عند المقارنة بالمياه السطحية خاصة عند غياب التلوث وعند وجود الكميات الكافية من المخزون الجوفي.

وتتم عملية اختيار المصدر المائي الملائم بالاعتماد على عدة عوامل مؤثرة ومتداخلة فيما بينها مثل: درجة القبول للمصدر من قبل الجمهور المستهلك، وكمية المياه بالمصدر ونوعها ، وسبل استخدام المصدر، وتكلفة الإنتاج

والتوزيع، وقرب المصدر من منطقة الاستهلاك، والطاقة المستهلكة، ووجود التقانة المحلية الملائمة وأساليب وأطر التدريب، ووجود العمالة ومتطلبات التشغيل والصيانة والترميم، وإمكانية التنمية والزيادة على المدى القصير والطويل طبقاً للخطة التنموية السارية والإستراتيجية القومية.

كما ويمكن استخدام أكثر من مصدر مياه للإيفاء بالإحتياجات والمتطلبات. وتعتمد النسبة المئوية لاستخدام كل مصدر على العوامل الاقتصادية والفنية والاجتماعية والبيئية وعوامل التقانة والإلمام بها. ويمكن اتباع المنهاج الموضح في شكل 1-2 لاختيار مصدر المياه الملائم. كما يبين شكل 1-3 نظام إفتراضي يمكن إتباعه لإنتقاء مصدر الماء لمجموعة من السكان



شكل 1-2 عوامل اختيار مصدر الماء {9، 10}

المصدر: المرجع 10، منشور بإذن

شكل 1-3 خطوط الاختيارات الأمثل لمصدر الماء، {9، 10، 27}

5-1 تمارين عامة

1) ما فوائد الماء؟
2) ما نسب الماء في كل مما يأتي: بروتوبلازم الخلايا الحية، بلازما جسم الإنسان، الطفل الحديث الولادة، الرضيع، الشيخ الكهل، خلايا الجهاز العصبى، الدماغ البشرى، العظام، والخلايا الدهنية؟
3) ما الفرق بين الطلاء الكهربى والرحلان الكهربائى؟
4) تحدث باسهاب عن دورة الماء الطبيعية. وماهو رأيك في هذا الموضوع على ضوء الكتاب والسنة؟
5) أين توجد أكبر كمية من المياه العذبة في ما يلى: المياه الجوفية، البحيرات أم الأنهار؟
6) ما الأقسام الرئيسة لمصادر المياه؟
7) أى المصادر يمكن أن يحتوى على مياه ذات جودة أعلى: المياه السطحية، مياه الأمطار أم المياه الجوفية؟ ولماذا؟
8) كيف يمكن المفاضلة بين المصادر المائية للشرب؟

6-1 المراجع والمصادر

1) أحمد محمد الحوفى "ديوان شوقى: توثيق وتبويب وشرح وتعقيب" الجزء الأول، دار نهضة مصر للطبع والنشر، الفجالة، القاهرة، 1977، ص 232-244.
2) حسن كامل الصيرفى "ديوان البحتري" سلسلة ذخائر العرب، المجلد الثانى، الطبعة الثالثة، دار المعارف، مصر، 1977، ص 693.
3) أميل بديع يعقوب "ديوان جميل بثينة" دار الكتاب العربى، بيروت، 1992، ص 75،58.
4) هنرى رياض "التجانى يوسف بشير شاعراً وناثراً"، دار الجيل، بيروت، 1982، ص 93.
5) "ديوان الشريف الرضى" دار صادر، بيروت، المجلد الأول، ص 187-188، 406، 468، 556.
6) "ديوان المتنبى" دار صادر، بيروت، ص 29.
7) مصطفى على "ديوان الرصافى" الجزء الأول، سلسلة ديوان الشعر العربى الحديث 17، وزارة الأعلام، مديرية الثقافة العامة، دار الحرية للطباعة، مطبعة الحكومة، بغداد، 1972، ص 66-73.
8) أحمد أمين وأحمد الزين وابراهيم الأبيارى "ديوان حافظ إبراهيم"، مطابع الهيئة المصرية العامة للكتاب،
9) 1978، ص 186.
10) عصام محمد عبد الماجد "الهندسة البيئية"، دار المستقبل للطباعة والنشر، عمان، الأردن، 1995.
11) عصام محمد عبد الماجد وبشير محمد الحسن"إمدادات المياه بالسودان"، دار جامعة الخرطوم للنشر، المجلس القومى للبحوث، الخرطوم، السودان، 1986.
12) عصام محمد عبد الماجد "تنقية المياه والهندسة الصحية"، دار جامعة الخرطوم للنشر، الخرطوم، السودان، 1986.
13) بشير محمد الحسن وعصام محمد عبد الماجد "الصناعة والبيئة: معالجة المخلفات الصناعية"، معهد الدراسات البيئية، جامعة الخرطوم، الخرطوم، السودان، 1986.

13) Rowe, D.R. and Abdel-Magid, I.M., "Handbook of Wastewater Reclamation and Reuse", CRC Press\Lewis Publishers, Boca Raton, 1995.
14) Hammer, M.J., "Water and wastewater technology", 2nd Ed., Wiley, New York 1986.
15) Husain, S.K.,"Textbook of water supply and sanitary engineering", 2nd Ed., Oxford and IBH Publications, New Delhi, 1981.
16) Lorch, W. edi.,"Handbook of water purification", 2nd Ed., McGraw-Hill Book Co., London 1981.
17) Merritt, F.S., "Standard handbook for civil engineers", McGraw-Hill Book Co., New York 1976.
18) Peavy, H.S.; Rowe,D.R.; and Tchobanoglous,G. "Environmental engineering", McGraw-Hill Book Co., New York, 1985.
19) Salvato, J.A., "Environmental engineering and sanitation", 3rd Ed., Wiley-Interscience, New York, 1982.
20) McGhee, T.J., and Steel, E.W. "Water supply and sewerage", 6th Ed., McGraw- Hill, New York 1991.

21) Tebbutt, T.H.Y., "Principles of water quality control", Pergamon Press, Oxford, New York, 1983.
22) Vesilind, P.A. and Peirce, J.J., "Environmental engineering", 2nd Ed., Butterworth-Heinemann, Boston, 1988.
23) Walker, R., "Water supply, treatment and distribution", Prentice-Hall Inc., New Jersey 1978.
24) Masters, G.M., Introduction to Environmental Engineering and Science, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersy, 1991.
25) Fair, G.M. Geyer, J.C., and Okun, D.A., Water and Wastewater Engineering, Volumes 1 and 2, John Wiely and Sons, Inc., New York, N.Y., 1968.
26) Wilson,E.M.,"Engineering Hydrology", 3rd Ed., Macmillan Education, Hong Kong, 1987.
27) Cairncross, S. and Feechem, R., “Small Water Supplies”, Ross Bulletin 10, London, 1978.

الفصل الثانى

خواص المياه والعوامل الملوثة للمياه

2-1 خواص المياه

إن الإلمام بخواص الماء ومعرفة خصائصه له أهمية قصوى لاسيما وتتحكم هذه الخواص في الكثير من جوانب استخدم الماء. وبالنسبة للمسلم تتدخل هذه الخواص في الطهارة والتي تتأتي باستعمال الماء المطلق وهو الباقي على أصل خلقته بحيث لم يخالطه شئ نجساً كان أم طاهراً مثل مياه الآبار والعيون والأودية والأنهار والثلوج الذائبة والبحار المالحة لقوله تعإلى "**وهو الذي أرسلَ الريح بشراً بين يدى رحمته وأنزلنا من السمآء ماء طهوراً** (48، الفرقان)، وقول الرسول صلى ا عليه وسلم "**الماء طهور إلا إن تَغَير ريحه أو طعمه أو لونُه بنجاسة تحدثُ فيه**" (البيهقي وهو ضعيف {1} ويقول الجزائري أن له أصل صحيح والعمل به عند عامة الأمة الاسلامية {1}). والطهارة واجبة بالكتاب والسنة {1،2}. وورد في صحيح مسلم {1} في كتاب الطهارة: "**حدثنا اسحقُ بن منْصور حدثَنَا حبان بن هلالٍ حدثَنَا أبان حدثنا يحيى أن زيداً حدثَه أن أبا سلام حدثَه عن أبِى مالِكٍ الأشْعرِى قالَ قالَ رسولُ الله صلى الله عليه وسلم الطهور شَطْر الإِيمان والْحمد لِله تَملأُ الْميزان وسبحان الله والْحمد لِله تَملآن أو تَملأُ ما بين السموات والأرض والصلاةُ نُور والصدقةُ برهان والصبر ضياء والقُرآن حجةٌ لك أو عليك كُل الناس يغْدو فَبائِع نَفْ**سه فَمعتقُها أو موبِقُها".

وتستخدم خواص المياه وخصائص الفضلات السائلة في عدة مجالات منها على سبيل المثال لا الحصر {3، 10}:

أ) تقدير درجة التلوث الحالية والمتوقعة.
ب) تحديد طبيعة العينات المأخوذة لإجراء الاختبارات.
ج) التحكم الجيد في معدل الدفق والتخلص النهائي.
د) سن المؤشرات والمعايير والتشريعات والقوانين والخطوط التوجيهية.
ه) إنشاء وتصميم وحدات التنقية والمعالجة الملائمة.
و) تقويم كفاءة عمل وحدات التنقية والمعالجة.
ز) وضع أنماط مناسبة للقياس والتحكم وضبط الجودة.

ويمكن تقسيم خواص الماء إلى ثلاثة أقسام رئيسة تضم الخواص الطبيعية والإشعاعية والخواص الكيميائية والخواص الحيوية (البيولوجية). وتبين الفقرات التالية موجز مختصر لأهم هذه الخواص.

2-2 الخواص الطبيعية (الفيزيائية) والإشعاعية

Physical and Radiological Characteristics

تنتج الخواص الطبيعية للسوائل بفضل قوى طبيعية، وعليه فإن معرفة وفهم الخواص الطبيعية للماء والفضلات السائلة هام لتحديد ملاءمة وكفاءة عمل وحدات التنقية والمعالجة وإمدادات المياه والتخلص النهائي من السوائل. كما وأن الخواص الطبيعية سهلة القياس والتحديد. ومن أهم هذه الخواص درجة تركيز المواد الصلبة والعكارة والطعم والرائحة واللون والحرارة والموصلية الكهربائية ودرجة الملوحة والكثافة والكثافة النوعية ودرجة اللزوجة ومحتوى النداوة والتوتر السطحي والخواص الإشعاعية. وفيما يلي سرد موجز لهذه الخواص.

المواد الصلبة Solids Content

يمكن تعريف المواد الصلبة بالمواد الكلية المتبقية عند تبخر وتجفيف عينة معينة عند درجة حرارة 103 إلى 105 درجة مئوية {6}. وتؤثر المواد الصلبة على درجة تقبل المستهلك لاستخدام الماء، كما وأنها تساعد من النمو الحيوي للأحياء المجهرية، ويمكنها امتزاز الملوثات العضوية والمعادن الثقيلة، ولها أثر ملين، وقد تؤثر سلبا على عملية التطهير. وتستخدم تقديرات المواد الصلبة لتقويم عمليات المعالجة والتنقية والتكهن بالنوعية. ويمكن تقسيم المواد الصلبة إلى أربعة أقسام رئيسة تضم: المواد الصلبة الذائبة والمواد الصلبة العالقة والمواد الصلبة الطيارة والثابتة والمواد المترسبة.

أ) **المواد الصلبة الذائبة Dissolved solids:** والتي تتكون من الأملاح غير العضوية (مثل: بعض المعادن والفلزات والغازات) وبعض تركيزات المواد العضوية (مثل: النباتات الميتة والمواد الكيميائية العضوية) المتواجدة في المياه الصالحة للاستخدام. تقل درجة قبول واستساغة المياه التي تحتوى على كميات عالية من المواد الصلبة الذائبة، كما وأنها (نفسياً) لا تُرضي المستهلك. وترفض العديد من الصناعات استخدام المياه التي تحتوي على نسبة عالية من المعادن. بعض من هذه المواد سام، كما وأن بعض منها مسرطن، وربما أثرت على استخدام الماء والتخلص من الفضلات السائلة.

ب) **المواد الصلبة العالقة Suspended solids:** بالنسبة للمياه تنقسم المواد الصلبة العالقة إلى: مواد غير عضوية (مثل: الطين والغرين والتربة)، ومواد عضوية (مثل ألياف نباتية ومواد حيوية من طحالب وبكتريا وغيرها)، وزيوت ودهون. وتعرف المواد الصلبة العالقة بتلك المواد الصلبة التي يمكن فصلها بالترشيح من خلال ورقة ترشيح معينة. والجدير بالذكر أن المياه الحاوية على مواد صلبة عالقة غير مرغوبة للإستحمام والنظافة الشخصية، كما وأن هذه المواد الصلبة تمثل مناطق إمتزاز للمواد الكيميائية والعناصر الحيوية. وربما استخدمت المواد الصلبة العالقة لتقدير التلوث.

ج) **المواد الصلبة الطيارة والثابتة Fixed and volatile solids:** ويتم استخدام المواد الصلبة الطيارة والثابتة كمقياس لكمية المواد العضوية الموجودة في العينة قيد الفحص. ويتم قياس هذه المواد بحرق المواد العضوية ومن ثم تحويلها إلى ثاني أوكسيد الكربون والماء عند درجة حرارة متحكم بها (تصل إلى 550 درجة مئوية) وذلك بغية منع تحلل وتطاير المواد غير العضوية.

د) **المواد المترسبة Settleable solids:** ويقصد بهذه المواد العالقة التي يمكن ترسيبها في حالة سكون تحت تأثير قوى الجاذبية الأرضية.

أما بالنسبة للفضلات السائلة فيمكن تقسيم المواد الصلبة على حسب مقاس الحبيبة إلى مواد مترسبة ومفرطة الغروية وذات غروية حقيقية ومواد ذائبة كما مبين في جدول 2-1.

جدول 2-1 أقسام المواد الصلبة المتواجدة في الفضلات السائلة {11،3، 12}

المواد الصلبة	مقاس الحبيبة (مايكرومتر)
المترسبة	أكبر من 100
المفرطة الغروية	1 إلى 100
الغروية الحقيقية	1..,. إلى 1
الذائبة	أقل من 1..,.

وفي جدول 2-1 قد تم استخدام أقل مقاس كوحدة ميكرومتر للمواد الصلبة الغروية الحقيقية لأنه يمثل المقاس الذي يبدأ من بعده التحكم في صفات معظم الحبيبات بواسطة مكوناتها الكيميائية أكثر من مقاسها ومساحتها السطحية.

أما قياس المواد الصلبة فيتم بواسطة اختبارات الوزن. وتقارن هذه الاختبارات كتلة المواد الصلبة المتبقية مع حجمها كما موضح في مثال 2-1.

مثال 2-1

أوجد درجة تركيز المواد الصلبة الكلية والطيارة والثابتة لعينة من الماء العكر مستخدماً البيانات الموضحة في الجدول أدناه:

المنشط	القيمة
وزن البوتقة الفارغة	68.6942 جم
وزن البوتقة الثابت مع وزن المواد الصلبة المجففة في درجة حرارة 104 درجة مئوية	68.7254 جم
وزن البوتقة والمواد المجففة لدرجة حرارة 550 درجة مئوية	68.7049 جم
حجم العينة الموضوعة في البوتقة والتي تم تبخيرها	100 مللتر

الحل:

1- المعطيات: البيانات المدرجة في الجدول.

2- أوجد كتلة المواد الصلبة الكلية:

كتلة البوتقة + المواد الصلبة = 68.7254 جم

كتلة البوتقة الفارغ = 68.6942 جم

كتلة المواد الصلبة = 0.0312 جرام = 31.2 ملجم

3- أوجد درجة تركيز المواد الصلبة الكلية = كتلة المواد الصلبة/حجم العينة

= 31.2×1000÷100 = 312 ملجم/لتر.

4- أوجد كتلة المواد الصلبة الثابتة:

كتلة البوتقة + المواد الصلبة الثابتة = 68.7049 جم

كتلة البوتقة = 68.6942 جم

كتلة المواد الصلبة الثابتة = 0.0107 جم = 10.7 ملجم/لتر

5- أوجد درجة تركيز المواد الصلبة الثابتة = 10.7×1000÷100 = 107 ملجم/لتر

6- أوجد درجة تركيز المواد الصلبة الطيارة = تركيز المواد الصلبة الكلية - تركيز المواد الصلبة الثابتة

= 310 – 107 = 203 ملجم/لتر.

العكارة Turbidity

تنتج العكارة في الماء من جراء وجود المواد العالقة مثل الطين والغرين والصخور المتكسرة والمواد الصغيرة العضوية وغير العضوية والمواد العضوية الذائبة الملوثة وأكسيد المعادن الترابية وألياف الخضروات والبلانكتون وغيرها من الأحياء المجهرية. وتحتوى الفضلات السائلة على مجموعة كبيرة من المواد المكونة للعكارة. تؤثر العكارة على عمليات التنقية والمعالجة (مثل الترشيح والتطهير)، كما وتعبر عن نوعية الماء. تمنع العكارة من تغلغل الضوء مما يؤدي إلى انخفاض نمو النباتات المنتجة للأكسجين، وربما أثرت سلباً على الأحياء المائية. وتؤثر العكارة على درجة استساغة وقبول الماء للاستهلاك للون والطعم والمظهر المواكب. وربما عملت العكارة كبؤرة لإمتزاز المواد الكيميائية.

تعرف العكارة على أنها مقياس للمواد العالقة المؤثرة على مسار حزمة ضوئية مسقطة عبر عينة الماء. وبذا فإن العوامل التي تؤثر على إنتشار الضوء تؤثر بدورها على قياس درجة العكارة (مثل عدد الحبيبات ووزنها ومظهرها ودليل إنكسارها، وطول موجة الضوء الساقطة من جهاز القياس، وخواص جهاز قياس العكارة ونوعه). وبما أن الحبيبات الغروية لها مقاسات أكبر من متوسط طول موجة الضوء الأبيض فإنها تؤثر على مسار الضوء. وبذا فإن الضوء المسقط على هذه الحبيبات ينكسر مما يسهل للمشاهد (الواقف في اتجاه عمودى على مسار حزمة الضوء) رؤية الحبيبة (ظاهرة تندال). تستخدم ظاهرة تندال لإثبات وجود الحبيبات الغروية نسبة لإنعدام هذه الظاهرة من كل من المحاليل الحقيقية والخشنة. كما وتستخدم ظاهرة تندال كأحد المعايير الأساسية لقياس درجات العكارة القليلة في المياه المرشحة، ويطلق عليها الطريقة النيفلوميترية Nephelometric turbidity method {3، 5، 13}.

تعبر العكارة عن الخواص الضوئية الناشرة والممتصة للضوء، ولا تعني توصيل الضوء في خطوط مستقيمة عبر العينة المراد قياس درجة عكارتها. وبذا يستخدم جهاز قياس العكارة لمقارنة توصيل الضوء عبر حبيبات المحاول مع توصيله للضوء عبر محلول قياسي. وفي مجال تنقية المياه تصمم أجهزة قياس العكارة ليتم تشتت الضوء عمودياً على مسار الضوء المسقط من مصدره. ولا يعطى قياس العكارة معلومات كاملة عن حجم الحبيبات وعددها وكتلتها ونوعها. فعلى سبيل المثال لا تقوم الحبيبات الصغيرة (أقل من 0 ,1 ميكرومتر) بنشر الضوء المرئي. وعليه فإن المياه الحاوية على ألياف الاسبتس والفيروسات والمواد الدبالية ربما حوت تراكيز عالية من هذه المواد رغم قلة درجة عكارتها. كما وأن الحبيبات الكبيرة (مثل الطين والبلانكتون ذات القطر المقارب لطول موجة الضوء المرئى) تقوم بنشر الضوء بكفاءة أكثر مما ينتج معه درجات كبيرة من العكارة.

يتم قياس العكارة بمقارنة العينة المطلوب قياس عكارتها مع محلول قياسي من السيليكا أو الكاولين أو الفورمازين المبلمر. ويسهل قياس العكارة لعينة ماء رائقة أو لعينة من الفضلات السائلة المعالجة، غير أنه ربما احتاج إلى تخفيف المحلول قبل قياس درجة العكارة للعينة ذات العكارة العالية.

الطعم Taste

من المفترض أن لا تحتوي مياه الشرب على أى طعم وذلك للإستساغة والقبول من الجمهور المستهلك والمستخدم لها. ويشير الطعم إلى احتمال وجود مواد عضوية أو غير عضوية. ومن أمثلة هذه المواد العضوية: الفينول، والفينول المكلور، والزيوت، والشحوم، والدهون، والمواد الكربونية غير المشبعة. ومن أمثلة المواد غير العضوية: الأملاح الذائبة، والحديد، والمنجنيز، والكلوريدات، والغازات الناتجة من تفسخ المواد العضوية مثل كبريتيد الهيدروجين (وتنتج هذه الغازات بفعل الأحياء المجهرية مثل الطحالب والفطريات والبروتوزوا والبكتريا). ومن الممكن أن ينتج الطعم والرائحة من جراء تفسخ النباتات المائية وأوراق الأشجار والأعشاب والحشائش والخضروات أو من النشاط الميكروبى ووجود المواد الكيميائية في الفضلات الصناعية والمنزلية.

نسبة لصعوبة قياس الطعم، فيتبع تقسيم مناطق الذوق في اللسان لتحديده: طعم حامض ولاذع ومر وحلو. ويمكن تحديده بسهولة بتذوق عينة من ماء الشرب لاسيما ويحجم المرء كثيراً عن تحديد الطعم للفضلات السائلة غير المعالجة.

الرائحة Odour

عادة يتوخى خلو المصدر الجيد للماء من الروائح الكريهة وغير المستحبة. ورائحة الماء هامة لاسيما ويحضنا ديننا الحنيف على الإستنشاق (جذب الماء بالأنف) والإستنثار (طرح الماء بنفس) لقوله صلى ا عليه وسلم "**وبالِغ في الإستنشاق إلا أن تكون صائماً**" (أحمد وأبو داود والترمذى) {1}. وإنبثاق الرائحة في الماء ربما كان بسبب أحد العوامل التالية أو وجودها مجتمعة:

- تفسخ المركبات النيتروجينية والفسفورية والكبريتية العضوية وغير العضوية.
- موت وتفتت الطحالب والأحياء المجهرية.
- إنتاج بعض الغازات أو المواد مثل: الأمونيا والكبريتيات والكلور والسيانيد وكبريتيد الهيدروجين.

يسهل اختبار الروائح ذات الصلة بمياه الشرب. وعادة تتعلق الروائح الكريهة بالفضلات السائلة، خاصة تلك التي انقضت عليها مدة طويلة في المجاري. وذلك نسبة لأن البيئة اللاهوائية داخل المجرور تعمل على تغير لون الحمأة إلى الأسود وإنتاج غاز كبريتيد الهايدروجين ذا رائحة البيض الفاسد.

ومن أهم المخاطر والآثار المتوقعة من فرز الروائح الكريهة واستمرارها: الإجهاد النفسى والصداع والإغماء والإستفراغ والإحباط النفسى والتعب وفقدان الشهية وصعوبة التنفس وتهيج العيون وعدم وضوح الرؤيا والأرق وقلة الإنتاج وإنخفاض كفاءة العمل وربما فقدان صفات معينة مثل الفخر والنخوة. كما وأن إنتشار الروائح الكريهة لمسافات أبعد من محطات معالجة الفضلات ربما ينتج عنه نقصان في عائدات السوق والضرائب والبيع في المنطقة المتأثرة بها، وبالتالي أثر سلبي على الاقتصاد القومي.

يركز قياس الروائح على الشدة والطبيعة والتحديد والمواءمة. ويبين جدول 2-2 أهم أنواع الروائح الكريهة.

جدول2-2 أهم أنواع الروائح البغيضة {3، 5}

نوع الرائحة	المواد المسؤولة عن الرائحة
أمونيية	غاز النوشادر، الأمونيا CH_3
بيض فاسد	كبريتيد الهايدروجين H_2S
برازية	مواد الأسكاتول $C_8H_5NHCH_3$
لحم متفسخ	الأمينات الثنائية $CH_2(CH_2)_4NH_2$, $NH_2(CH_2)_5NH_2$ والطحالب والبروتوزوا
ملفوف (كرنب) فاسد	الكبريتيدات العضوية $(CH_2)_2S$, CH_3SSCH_3
سمكية	الأمينات CH_3NH_2, $(CH_3)_3N$ ، الطحالب، البروتوزوا
عشبية	الطحالبAlgae
ظربان (حيوان)	مركبتان Mercaptans CH_3SH, $CH_3(CH_2)_3SH$

المصدر: المرجع 5، منشور بإذن.

تتغير قيمة المشرف للرائحة (Odour Threshold حد الرائحة الأقل للمادة) تغيراً كبيراً من شخص إلى آخر، غير أنه يمكن تحديدها بواسطة مجموعة من الأشخاص المدربين على ذلك. وتعرف قيمة المشرف بأنها أقل درجة تركيز يتعرف عليها نصف عدد المجموعة المدربة.

توجد عدة طرق تستغل لتقليل الروائح الكريهة والطعم البغيض منها على سبيل المثال لا الحصر ما يلي:

- للعمل على التحكم في الروائح في مناطق إنتاجها ومصادرها.
- التخلص من الروائح بالتهوية.
- الإمتزاز للروائح عبر الكربون النشط.
- العمل على تقليل الروائح بالتخثر (الترويب) والترشيح.
- إزالة الروائح باستخدام عمليات الأزونة أوالكلورة والأكسدة بمركبات الكلور (مثل الكلورامين وأكاسيد الكلور المختلفة).

اللون Colour

وجود اللون في الماء غير مستساق ولايجد قبولاً من الجمهور المستهلك له، كما وأن اللون ينتج بقعاً غير مرغوبة للغسيل والطعام وصناعة النسيج والورق وإنتاج المواد البلاستيكية. ويمكن أن تتحد المواد العضوية والكيميائية

الملونة مع الكلور، كما وتأتي بعض من المواد الملونة بطعم ورائحة (مثل اتحاد الفينول مع الكلور) وبعضها الآخر مسرطن.

تنتج الألوان في المياه من عدة مصادر من أهمها:

- المصادر الطبيعية: مثل مستخلصات نواتج تفسخ المواد العضوية كأوراق الأشجاروالخشب وفحم المستنقعات Peat.
- المصادر الصناعية: مثل فضلات المناجم وصناعة النسيج والورق والأصباغ.
- الحمأة المنزلية.

من المعلوم أن الماء المطلق لا لون له. غير أن اللون في المياه الطبيعية ينتج من عدة جزيئات عضوية كبيرة. ويتأتي اللون في الماء من وجود أيونات معادن طبيعية ذائبة مثل أكسيد الحديد (اللون الأحمر) وأكسيد المنجنيز (اللون البني أو الأسود) والدبال وفحم المستنقعات والبلانكتون والأعشاب والفضلات الصناعية (مثل صناعة النسيج) وأعمال الصباغة وإنتاج الورق والكيماويات وصناعة الأغذية وأعمال المناجم والتكرير والمسالخ، هذا بالإضافة إلى مواد الدباغة والدبال الناتج من تفسخ اللجنينlignin ، ومن بقايا وفضلات النباتات والحيوانات ومن المواد المتفتتة. وتعد أحماض الدبال من أكبر مصادر اللون النباتية. والأحماض الدبالية عبارة عن مواد ناتجة من النباتات وهي مركبات متبلمرة مع مجموعات كاربوكسيلية وفينولية وتوجد كجزيئات كبيرة أو كمواد غروية. وتنتج الأحماض الدبالية اللون الأصفر البني.

وينقسم اللون إلى قسمين رئيسين يضمان اللون الظاهري والحقيقي. ينسب اللون الظاهري إلى وجود مواد عضوية عالقة في المحلول. أما اللون الحقيقي فينسب إلى وجود مواد ذائبة ومستخلصات مواد عضوية غروية.

تزداد شدة اللون بإزدياد الرقم الهيدروجيني. ويمكن إيجاد اللون بعدة طرق منها على سبيل المثال:

- طريقة نيسلر :Nesseler وفي هذه الطريقة تتم مقارنة العينة نظرياً مع محاليل ذات درجات لون معروفة بواسطة أنابيب نيسلر، أو تتم مقارنتها مع أقراص اللون الزجاجية المدرجة والمخصصة لقياس اللون.
- طريقة المطياف الضوئي Spectrophotometer .
- باستخدام الجهاز الحقليField kit .

تعتمد وحدة اللون على محلول قياسي يحتوي على بلاتينات البوتاسيوم المكلورة وكلوريد الكوبالت المذابين في محلول حمض الهايدروكلور. ويستخدم المحلول الآتي لقياس اللون: تتم إذابة 500 مليجرام من بلاتينات البوتاسيوم المكلورة مع 250 مليجرام من كلوريد الكوبالت $CoCl_2$ في 100 مللتر من حمض الهيدروكلور المركز وتخفف إلى لتر. يمثل هذا المحلول 500 وحدة لون حقيقي (TCU) True ColourUnits أو ما يسمى بوحدة الهيزن Hazen.أما بالنسبة لمياه الشرب فلا تتجاوز أعلى قيمة للون 15 وحدة لون حقيقي، وتفضل 5 وحدات لون حقيقي. والكثير من الفضلات الصناعية ذات لون عالي وبعضها يحتوي على مواد ملونة تقاوم التفتت الحيوي، ومثال لهذا النوع من الفضلات تلك الناتجة من لب الخشب والمحتوية على مشتقات اللجنين. ومن المعروف أن الفضلات السائلة المنتجة حديثاً لها لون رمادي، لا يلبث أن يتغير إلى الأسود في حالة تفسخ المواد العضوية بفعل الأحياء المجهرية وعند نقصان الأكسجين{3، 4}.

درجة الحرارة Temperature

تعتبر درجة الحرارة إحدى الخواص الطبيعية التي توضح الكثير من المعلومات والبيانات عن مصدر الماء وحالته ونوعه. وربما نتج التغير في درجة الحرارة من جراء تغيرات موسمية أو تغيرات يومية، أو بسبب التخاص من المياه الحارة، أو نتيجة للتخاص من الحمأة والفضلات الصناعية، أو من المحطات الحرارية أو من محطات تحلية المياه أو غيرها من الوحدات المنتجة للمياه الساخنة أو الحارة، الشئ الذي يقود إلى استحداث تلوث حراري في المنطقة المحيطة. ومن أهم العوامل المؤثرة والتي تؤدي إلى إرتفاع درجة حرارة المياه ما يلي:

أ) وجود التفاعلات الكيميائية والزيادة في معدلاتها.
ب) نقصان درجة تركيز الأكسجين الذائب.
ج) نقصان درجة ذوبانية الغازات.
د) زيادة الحاجة الحيا-كيميائية للأكسجين.
ه) زيادة معدلات التآكل والتحات.
و) زيادة حساسية الكائنات المائية للمواد السمية الذائبة في بيئتها.
ز) زيادة الطعم والرائحة.
ح) تؤثر على الزمن اللازم لهضم المواد العضوية داخل الهاضم.

توجد عدة عوامل تؤثر على درجة الحرارة منها على سبيل المثال:

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

وتبين المعادلات (2-1، 2-2، 2-3) علاقة درجات الحرارة المقاسة بالتدرج المئوى (سنتغريد) والفهرنهايت والكلفن.

$$^{o}C = [5/9]*(F - 32) \qquad 2\text{-}1$$
$$^{o}F = [9/5*C] + 32 \qquad 2\text{-}2$$
$$K = {^{o}C} + 273.16 \qquad 2\text{-}3$$

حيث

C = درجة الحرارة مقاسة بالمئوي أو السنتغريد.
F = درجة الحرارة مقاسة بالفهرنهايت.
K = درجة الحرارة مقاسة بالكلفن.

مثال 2-2

ما درجات الحرارة المماثلة لدرجات 80 و 116 و - 19 درجة مئوية على تدرج فهرنهايت؟

الحل:

1- المعطيات: درجات الحرارة المئوية.

2- استخدم المعادلة رقم (2-2) لتقدير درجة الحرارة المئوية للحصول على ما يعادلها بتدرج فهرنهايت.

$^oF = [9/5*C] + 32$

3- أوجد درجة الحرارة المماثلة للدرجة 80 ^{o}م:

$F_{80} = [(9÷5)×80] + 32 = 176\ ^oF.$

4- أعد الخطوات 1 و2 أعلاه لإيجاد درجات الحرارة المطلوبة:

$F_{116} = [(9÷5)×116] + 32 = 240.8\ ^oF.$

$F_{-19} = [(9÷5)×(-19)] + 32 = - 2.2\ ^oF.$

الموصلية الكهربائية Conductivity

تشير الموصلية الكهربائية إلى وجود مواد صلبة ذائبة وعسر ماء. كما ويمكن أن تدل على مقدار التلوث. وهى عبارة عن إصطلاح عددي لقابلية المحلول المائي لحمل تيار كهربائى. وتعتمد هذه القابلية على عدة عوامل منها على سبيل المثال: نوع الأيونات ووجودها ، ودرجة التركيز الكلية للأيونات، وحركة الأيونات وتكافؤها ، ودرجة حرارة المحلول قيد الفحص. وعادة تكون لمعظم محاليل الأحماض غير العضوية والقواعد والأملاح موصلية كهربائية جيدة.

كما ويمكن تعريف وحدة الموصلية على أنها تلك الموصلية الكهربائية لموصل له وحدة طول ووحدة مساحة مقطع. وتميز الموصلية بالميكروموهوس على السنتيمتر. فمثلا تكون الموصلية لماء حديث التقطر بين 5,. إلى 2 ميكروموهوس/السم، ثم يزداد مقدار الموصلية إلى ما بين 2 إلى 4 ميكروموهوس/السم بعد بضع أسابيع من تخزينه. وتعزى هذه الزيادة لإمتصاص ثاني أكسيد الكربون من الجو وبنسبة أقل من إمتصاص الأمونيا.

ومن المعلوم أن الماء النقي موصل ردئ للكهرباء، غيرأن زيادة الشوائب والأملاح الذائبة فيه ترفع من مقدار الموصلية. ولهذا السبب تستخدم أحيانا الموصلية الكهربائية للماء لتبيان مدى نقائه أو تلوثه، نسبة لتناسب الموصلية مع درجة تركيز المواد الصلبة كما هو موضح في المعادلة 2-4.

$$TDS = a*EC \qquad 2\text{-}4$$

حيث:

TDS = درجة تركيز المواد الصلبة.

a = حد ثابت.

EC = الموصلية الكهربائية للمحلول.

مثال 2-3

أوضح الاختبار الذي أجري على عينة من الماء أن درجة تركيز المواد الصلبة = 2150 ملجم/لتر والموصلية الكهربائية للعينة = 2688 ميكروموهوس/سم. أوجد الموصلية الكهربائية لعينة أخرى تحتوي على 6400 ملجم/لتر من المواد الصلبة.

الحل:

1- استخدم المعادلة رقم 2-4 لإيجاد الحد الثابت:

$a = TDS/EC = 2150 \div 2688 = 8$

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

$EC_2 = TDS_2/a = 6400 \div 0.8 = 8000$ ميكروموهوس/سم

الملوحة Salinity

تؤثر الملوحة على الاستخدام المنزلي والزراعي والصناعي للمياه، كما وتزيد من أملاح التربة، وتؤثر على نمو النباتات وحصادها، وربما كانت الملوحة سامة لبعض النباتات، هذا بالإضافة لتأثيرها على السعة الأسموزية للتربة. تعرف الملوحة بالمواد الصلبة الذائبة في الماء بعد أن يتم تحويل كل الكربونات إلى أكاسيد وبعد تغيير كل البروميد واليوديد إلى كلوريد وبعد أكسدة كل المواد العضوية. ويمكن إيجاد الملوحة من المعادلة 2-5:

ملو = 0.03 + 1.805× كلو 2-5

(Salinity = 0.03 + 1.805*Chlorinity) 2-5

حيث:

ملو = درجة ملوحة العينة (جم/كلجم)

كلو = الكلورة (جم/كلجم)

وتنتج مصادر الكلوريد في المياه الطبيعية من نض الصخور والتربة الحاوية على الكلوريد، ومن الفضلات السائلة الزراعية والصناعية والمنزلية، ومن المياه المالحة (خاصة في المناطق الساحلية).

الكثافة Density

تعرف كثافة السائل بنسبة كتلة السائل إلى حجمه كما موضح في المعادلة 2-6.

$$\rho = m/V \qquad 2\text{-}6$$

حيث:

ρ = كثافة السائل (كجم/م^3).

m = كتلة السائل (كجم).

V = حجم السائل (م^3).

وتعادل كثافة الماء عند درجة حرارة 4°م وتحت ضغط جوي يبلغ 760 ملم زئبق 1000 كجم/م^3. ويسمى مقلوب الكثافة الحجم النوعي ويعرف على أنه حجم السائل الذي يحوي وحدة كثافته كما مبين في المعادلة 2-7

$$k = 1/\rho \qquad 2\text{-}7$$

حيث:

k = الحجم النوعي، (م^3/كجم)

ρ = كثافة السائل (كجم/م^3).

ويطلق على الوزن على وحدة الحجم الوزن النوعي، ويمكن إيجاده من المعادلة 2-8.

$$\gamma = \rho * g \qquad 2\text{-}8$$

حيث:

γ = الوزن النوعي، نيوتن/م^3

ρ =كثافة السائل، كجم/م^3

g = عجلة الجاذبية الأرضية، م/ث^2

أما نسبة كثافة المادة إلى كثافة حجم مماثل من الماء (في الظروف القياسية) فيسمى الثقل النوعي كما مبين في المعادلة 2-9.

$$s.g. = \rho / \rho_w \qquad (2\text{-}9)$$

حيث:

$s.g.$ = الثقل النوعي، لا بعدي

ρ = كثافة السائل، كجم/م^3

ρ_w = كثافة الماء، كجم/م^3

بما أن النشاط الجزيئي والمسافة بين الجزيئات تزداد بإزدياد درجة الحرارة فيوجد (في حجم من المائع) القليل من الجزيئات عند زيادة الحرارة. وبناءاً على هذا فإن الكثافة تقل بازدياد درجة الحرارة. كما وأن زيادة الضغط تؤدي إلى تداخل عدد كبير من الجزيئات إلى داخل الحجم المعين مما يؤدي إلى زيادة الكثافة.

المعاير الحجمي Bulk modulus أو معامل المرونة الحجمي Bulk modulus of elasticity

يمكن إيجاد المعاير الحجمي من المعادلة 2-10

$$E_V = - dP/(dV/V) = -dP/(\rho/d\rho) \qquad (2\text{-}10)$$

حيث:

E_V = المعاير الحجمي، نيوتن/م^2

dP = التغير التفاضلي في الضغط، باسكال

dV = التغير التفاضلي في الحجم، م^3

V = الحجم، م^3

ρ = كثافة المائع، كجم/م^3

وعلامة السلب في المعادلة 2-10 تعني أن زيادة الضغط تؤدي إلى إنخفاض في الحجم. كما وأن القيم العالية للمعاير الحجمي تعني أن المائع غير إنضغاطي نوعا ما، أى بمعنى أنه يحتاج إلى تغيرعإلى في الضغط لإنتاج تغير طفيف في الحجم.

الخواص الإنسيابية للموائع (درجة اللزوجة(Rheological Properties for Fluids (Viscosity))

يستخدم جهاز قياس درجة اللزوجة لدراسة خاصية إنسياب الموائع والتغير فيها. ودرجة اللزوجة من إحدى الخواص الطبيعية التي يسهل قياسها ودراستها. ولقد أوضح اسحق نيوتن أن القص المقاوم يتناسب طرديا مع معدل القص للماء والسوائل الأخرى عندما تعمل عليها قوة قص معينة كما مشار اليه بالمعادلة 2-11.

$$F = \tau * A = -\mu * A * dv/dy \qquad 2\text{-}11$$

حيث:

F = قوة القص، نيوتن

τ = القص المقاوم، نيوتن/م^2

A = المساحة المعرضة لقوى القص، م^2

dv/dy = معدل القص = ممال السرعة، ث

μ = ثابت التناسب = معامل لزوجة المائع، نيوتن×ث/م^2

وعليه يعرف معامل اللزوجة الديناميكي بقوة القص العاملة على وحدة المساحة المطلوبة لسحب طبقة واحدة من المائع بوحدة سرعة عبر طبقة أخرى خلال وحدة مسافة في المائع. كما ويعرف معامل اللزوجة الكينماتية بنسبة اللزوجة الديناميكية إلى الكثافة طبقاً للمعادلة 2-12.

$$\nu = \mu / \rho \qquad 2\text{-}12$$

حيث:

ν = درجة اللزوجة الكينماتية، م^2 /ث

μ = درجة اللزوجة الديناميكية، نيوتن×ث/م^2

ρ = كثافة المائع، كجم/م^3

وتوجد عدة عوامل تؤثرعلى درجة اللزوجة من أهمها: التغير في درجة الحرارة، ومعدل تغير إجهاد القص، وحالة الإنسياب والدفق للمائع، وخواص المائع. أما بالنسبة لدرجة الحرارة فتقل لزوجة السوائل بإزدياد درجة الحرارة، غير أن لزوجة الغازات تزداد بإزدياد درجة الحرارة. ومن المعلوم أن درجة اللزوجة لسائل معين على درجة حرارة ثابتة من الخواص الطبيعية للسائل. غير أن علاقة الإجهاد ومعدل القص للعديد من السوائل ليست نسبة

بسيطة. ويطلق على هذه السوائل مصطلح سوائل غير نيوتونية ومن أمثلتها الحمأة المنبثقة بعد معالجة الفضلات السائلة المنزلية.

ويمكن تقسيم الموائع بناءا على معدل إنسيابها ودرجة لزوجتها إلى موائع نيوتونية وموائع غير نيوتونية. وتنقسم الموائع غير النيوتونية إلى موائع لا تعتمد على الزمن وأخرى تعتمد عليه (أنظر شكل 2-1):

أ) الموائع النيوتونية :Newtonian fluids لا تظهر هذه الموائع أى بنية داخلية مترابطة، مما يجعل القص يبدأ مباشرة مع عمل الإجهاد، كما ولا تعتمد اللزوجة على معدل القص.

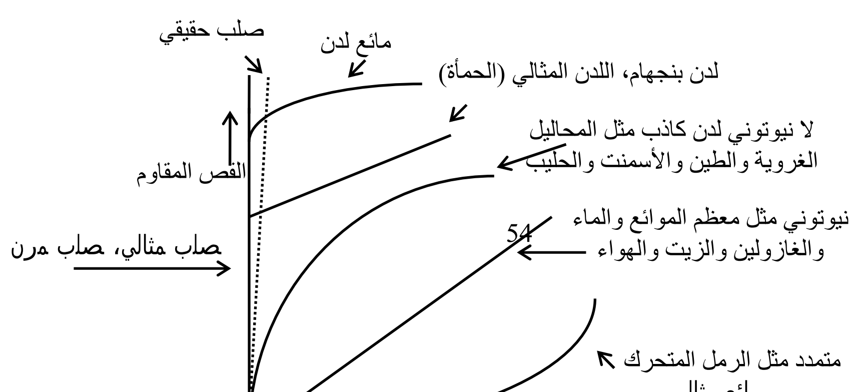
ب) موائع لا تعتمد على الزمن: ويمكن تقسيم هذه الموائع إلى عدة أقسام تحوي اللدائن الكاذبة واللدائن اللزجة:

- اللدائن الكاذبة Pseudoplastic أو ترقيق القص: وهذه الموائع تصبح أقل لزوجة بإزدياد معدل القص.
- الموائع المتمددة Dilatant أو تغليظ القص: وهذه الموائع معاكسة للدائن الكاذبة. وهذه الظاهرة غير شائعة كما ولها علاقة بالعوالق ذات الجسيمات المتنافرة.
- اللدائن اللزجة Viscoplastic أو لدائن بنجهام :Bingham وفي هذه الموائع لا بد من الإجهاد ليبدأ المائع في الإنسياب عند وجود طور صلب للعوالق وبدرجة تركيز مناسبة لتكوين بنية مستمرة وغير موجهة.

ج) موائع تعتمد على الزمن: يظهر هذا النوع من الموائع آثار إنسياب معتمدة على الزمن. وهذه الآثار ربما كانت عكسية آنيا أو غير عكسية. كما ويمكن تقسيم هذا النوع من الموائع إلى موائع تكسوتروبية وموائع غير تكسوتروبية.

- موائع تكسوتروبية :Thixotropic fluids وهذه الموائع تحتوي على بنية يسهل كسرها مع الزمن وذلك عند قصها بمعدل معين حتى بلوغ الإتزان. إن القوى الداخلية (التي تعمل على إعادة بناء البنية) تساوي القوى العاملة عند حدوث الإتزان. يظهر في هذا النوع من الموائع تخلف أنشوطى hysterisis عند زيادة معدل القص، إلى أن يصل أقصاه عندها يبدأ في التناقص مع الزمن إلى أن يصل إلى أقل قيمة.
- الموائع غير التكسوتروبية Anti-thixotropy أو الموائع المتلبنة :Rheopexy وهذه الموائع تعمل في إتجاه معاكس للموائع التكسوتروبية.

أما بالنسبة للحمأة المهضومة الناتجة من عمليات معالجة الفضلات السائلة المنزلية فقد وجد أنها تنساب كسائل غير نيوتوني له سلوك وخواص اللدائن الكاذبة ولدائن بنجهام مع وجود سلوك تكستوتروبي بسيط {3،14،15،16}. ويبين شكل 2-1 تغير القص المقاوم مع معدل القص (ممال السرعة) معطياً أمثلة عملية لكل نوع من الموائع المدرجة به.



مثال 2-4

درجة اللزوجة الكينامية والثقل النوعي لسائل تساوي 4.5×10^{-4} م^2/ث و0.86 على التتالي. أوجد درجة اللزوجة الديناميكية للسائل.

الحل:

1- المعطيات:

$\nu = 4.5\times10^{-4}$ م^2/ث، s.g. = 0.86

2- أوجد كثافة السائل بفرض أن كثافة الماء تساوى 1000 كجم/م^3 .

$\rho = 0.86\times1000 = 860$ كجم/م^3.

3- أوجد درجة اللزوجة الديناميكية للسائل باستخدام المعادلة 2-12.

$\mu= \rho *\nu = 4.5\times10^{-4}\times860 = 0.387$ نيوتن×ث/م^2.

محتوى نداوة الحمأة Moisture content :

يؤثر محتوى النداوة على الخصائص الإنسيابية للماء والفضلات السائلة، كما وتؤثر على معدلات التفاعل. تحوي الحمأة وماء المجاري القليل من المواد الصلبة، وقلما تزيد درجة تركيز المواد الصلبة للحمأة الخام عن 6 بالمائة، وفي معظم محطات المعالجة الإبتدائية فإن درجة تركيز المواد الصلبة في الحمأة لا تزيد عن 1 بالمائة {14}، وعليه فإن التكاليف المالية المتعلقة بنقل الحمأة غالباً ما تعزى إلى محتوى نداوتها العالي {17}. ويمكن إيجاد محتوى النداوة من المعادلة 2-13.

محتوى النداوة = (وزن الماء÷ وزن الحمأة الرطبة)×100   13-2

التوتر السطحي:

التوتر السطحيخاصية من خواص السوائل تسمح بجذب الجزئيات لتكون طبقة تخيلية تمكنها من مقاومة الشد على السطح الرقيق بين سائلين غير ممتزجين Immiscible liquids أو على السطح بين سائل وغاز. ويبين شكل 2-2 أثر التوتر السطحd داخل أنابيب شعرية. ومن شكل 2-2 نجد أن:

مركبة القوة الرأسية الناتجة من التوتر السطحي = $2\pi*r*\sigma*\cos\phi$

حيث:

r = نصف قطر الأنبوب الداخلي، م

σ = قوة التوتر السطحي، نيوتن/م

ϕ = زواية التلامس بين الأنبوبة والمائع الأثقل (ولمعظم السوائل العضوية والماء (مع الزجاج) = صفر متى ما ابتل الزجاج برقاقة من السائل. كما وأن زاوية التلامس تساوى 140ه للزئبق مع الزجاج)

وزن السائل = $g*\pi*r^2*h(\rho_1-\rho_2)$

حيث:

ρ_1 = كثافة السائل، كجم/م^3

ρ_2 = كثافة الغاز (أو السائل الأخف وزناً)، كجم/م^3

g = عجلة الجاذبية الأرضية المحلية، م/ث^2

h = الارتفاع (أو الإنخفاض الشعرى) للسائل عبر الأنبوب، م)

وعند الإتزان تتساوى القوتان المذكورتان أعلاه ومنها تنتج المعادلة 2-14.

$$h = 2*\sigma*\cos\phi /((\rho_1- \rho_2)*g*r) = 4*\sigma*\cos\phi /((\rho_1- \rho_2)*g*D) \qquad (2-14)$$

حيث:

D = قطر الأنبوب، م

مثال 2-5

أوجد قطر الأنبوب الزجاجي الشعري النظيف المطلوب ليصل الإرتفاع الماء داخل الأنبوب بفضل الجاذبية الشعرية إلى أقل من 1.5 ملمتر علماً بأن الماء على درجة حرارة 20 درجة مئوية.

الحل:

1- المعطيات: $h = 1.5$ ملم، $T = 20$ °م.

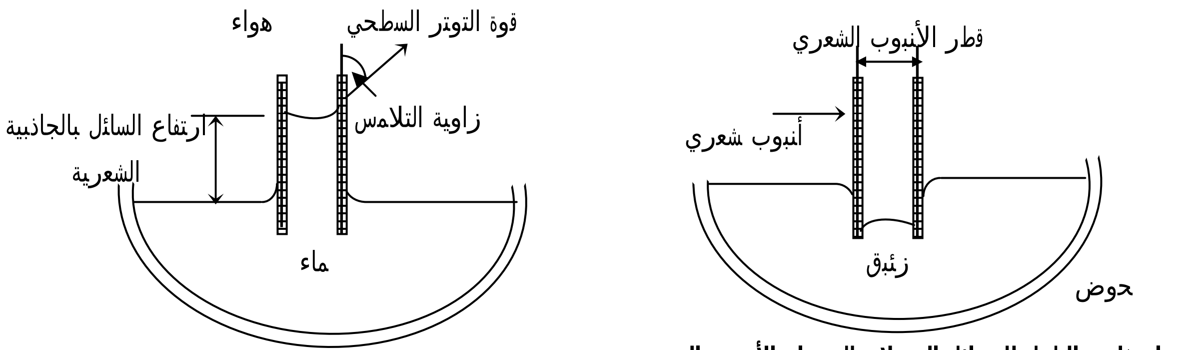
2- أوجد من جدول (ج-1) في الملاحق قيم التوتر لسطحي والوزن النوعي للماء على درجة حرارة 20°:

$\sigma = 7.87 \times 10^{-2}$ نيوتن/م، $\gamma = 9.789 \times 10^{(3)}$ نيوتن/م^3

3- بافتراض أن كثافة الهواء قليلة مقارنة بكثافة الماء، أوجد قطر الأنبوب المطلوب من المعادلة 2-19 :

$D = 4\times\sigma\times\cos\phi / h*g$

$D = [4 \times 7.87 \times 10^{-2} \times$ جتا (صفر)$] \div (9.789 \times 10^{3)} \times 1.5 \times 10^{-3} = 19.8$ ملم



أ- انخفاض الطول للسوائل التي لا تبلل جدار الأنبوب الشعري

ب-ارتفاع الطول للسوائل التي تبلل جدار الأنبوب الشعري

شكل 2-2 رسم تخطيطي للتوتر السطحي والجاذبية الشعرية داخل أنبوب شعري

الخواص الإشعاعية Radiation properties

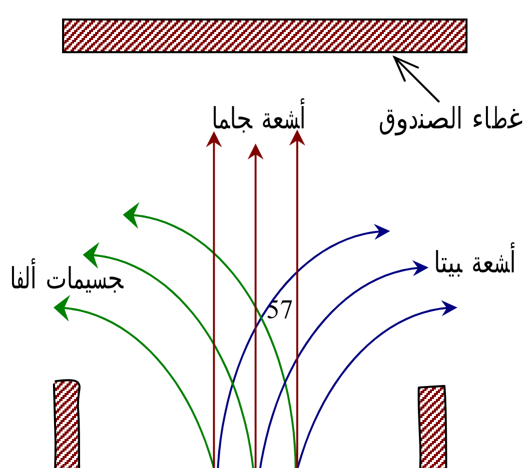
الإشعاعية خاصية تتفرد بها ذرات موجودة في نوى مواد معينة تشع منها جسيمات وتصدر عنها إشعاعات تتبع ظاهرة الحصول على إلكترون من مدار ذرة معينة أو عند خضوع ذرة ما للإنشطار اللحظي. ويمكن تقسيم الإشعاعية إلى إشعاعية مصنعة وإشعاعية مستحثة وإشعاعية طبيعية {10،9،7،4،،3}.

أ) إشعاعية مصنعة: وهذا النوع من الإشعاعية من صنع الإنسان، وينتج بواسطة قصف ذرة بجسيم أو عند التشعيع الكهرومغنطيسى.

ب) إشعاعية مستحثة: وتتولد هذه الإشعاعية في مادة معينة بعد قصفها بنيترون جسيمات أخرى. ويتولد من جراء هذا النشاط إشعاعية طبيعية إذا تمت عبر تفاعلات ذرية طبيعية، أو إشعاعية مستحثة إذا كانت هذه التفاعلات مسببة بواسطة الإنسان.

ج) إشعاعية طبيعية: وهذه الخاصية الإشعاعية تحدث من قبل أكثر من 50 مادة مشعة{18}. ويقال أن ذراتها في حالة غير مستقرة عندما تكون نسبة البروتونات والنيترونات في النواة مختلفة من النسب المعرفة للنوى المستقرة. وهذه النوى غير المستقرة تنتهج إعادة تنظيم ذري لحظي منتجة ومحررة لطاقة على شكل جسيمات أو إشعاع كهرومغنطيسى .

يحتوي الإشعاع الجسيمى على جسيمات ألفا وبيتا. أما الإشعاع الكهرومغنطيسى فيضم إنبعاث طاقة يطلق عليها إنبعاثات جاما أنظر شكل 2-3



أما إنبعاثات ألفا فهى عبارة عن جسيمات بطيئة الحركة وتقل بها نسبة الشحنة الكهربائية إلى الكتلة. وتُمثل إنبعاثات ألفا بذرات هليوم فقدت إثنين من إلكتروناتها المدارية، وبذا فإنها تحمل شحنة كهربائية موجبة. وتقذف هذه الجسيمات من المادة المشعة بنفس السرعة تقريباً (تعادل 10 بالمائة من سرعة الضوء). ويبلغ مدى إنبعاثات ألفا بضع سنتميترات في الهواء، ويمكن إيقاف معظمها في الهواء أو باستخدام صفيحة رقيقة من رقائق الألمونيوم أو بواسطة ورقة عادية. ولهذه الإنبعاثات قوة تأين عالية في حيز مداها.

ولجسيمات بيتا سرعة كبيرة تقدر بين 30 إلى 99 بالمائة من سرعة الضوء، كما وأنها عالية في نسبة الشحنة الكهربائية إلى الكتلة. وجسيمات بيتا عبارة عن سريان من الإلكترونات ذات الطاقة العالية المنبعثة من مصدر إشعاعي، وتسير بسرعات متباينة تقارب سرعة الضوء (3×10^{8} م/ث). أما تلك الجسيمات الأكثر طاقة فقادرة على اختراق طبقة من الألمونيوم سمكها بضع ملليمترات. غير أن طبيعة تأين جسيمات بيتا تقل كثيراً عن جسيمات ألفا.

عندما ينبثق من ذرة مشعة جسيم ألفا أو بيتا فإن طبيعتها الكيميائية تتغير. فمثلاً عندما ينبثق جسيم ألفا من ذرة ما فإن رقم كتلة الذرة يقل بمقدار 4، كما ويقل الرقم الذري بمقدار 2 كما مبين بالمعادلة 2-15.

$$X^{z}_{A} \text{ ---------- } Y^{z-4}_{A-2} + He^{4}_{2} \qquad 15-2$$

حيث:

X =الذرة الأم

Y = الذرة الإبنة

Z = رقم الكتلة = مجموع عدد البروتونات والنيوترونات في نواة الذرة

A = الرقم الذري = عدد البروتونات أو عدد الإلكترونات في الذرة

He = جسيم ألفا (هيليوم)

مثال لهذا النوع من الإشعاع يوجد عند فقدان جسيم ألفا من عنصر الراديوم ليتحول إلى عنصر الرادون.

ولا يتبع فقدان جسيم بيتا تغير في رقم الكتلة للذرة المشعة، غير أن الرقم الذري يزيد بمقدار الوحدة كما موضح في المعادلة 2-16.

$$X^{z}_{A} \text{ ---------- } Y^{z-4}_{A+2} + e^{o}_{-1} \qquad 16\text{-}2$$

حيث:

e = جسيم بيتا (إلكترون)

ويعطي تحول نظير اليورانيوم إلى نبتونيوم مثال لإشعاع بيتا، وذلك عندما تقصف نواة ذرة بجسيم{مثل: ألفا (He^{4}_{2})أو بيتا (e^{0}_{-1}) أو نيترون (n_{0}^{1}) أو بروتون (H_{1}^{1}) أو ديوتيروم{($D1^{2}$) ، فتقوم النواة بإمساك الجسيم المقذوف. وكنتيجة لهذا فإن الذرة تتحول إلى عنصر جديد أو نظير للعنصر الأصلى. ويمكن أن يتبع عملية القبض هذه قذف جسيمات من نواة الذرة {3، 4، 27}

أما جسيمات جاما فهى إشعاعات كهرومغنطيسية تتحرك بسرعة الضوء. وتحتل هذه الأشعة حزمة بين الأشعة السينية بموجة قصيرة الطول، وعليه فإن لها قدرة كبيرة للإختراق. وأشعة جاما الحاوية على أكبر قدر من الطاقة، لها قدرة فائقة للتغلغل والإختراق مما يحتاج معه إلى عدة سنتمترات من الرصاص لتعمل كدرع لصدها. أما كمية الطاقة الإشعاعية المنبعثة فيمكن تقديرها من صيغة إينشتاين للطاقة والكتلة كما موضح في المعادلة 2-17.

$$E = mv^{2} \qquad 2\text{-}17$$

حيث:

E = الطاقة الإشعاعية المنبعثة، جم×سم/ ثانية/ ايرغ

m = كتلة الجسيم، جم

v = سرعة الضوء = 3×10 ^{8} م/ ثانية

وتقاس الفترة الإشعاعية لكل عنصر إشعاعي بفترة يطلق عليها عمر النصف. ويعرف عمر النصف بالزمن اللازم لاضمحلال نصف كتلة الذرات في أي عينة من العنصر. ويبين جدول 2-3 عمر النصف لعدد من الذرات المشعة.

جدول 2-3 بعض الأمثلة لنظائر عناصر مشعة {3،4}

العنصر	رمز	عمر النصف	الجسيم المنبعث
استرونسيوم	Sr^{90}	28.1 سنة	بيتا
بوتاسيوم	K^{40}	1.28×10^{9} سنة	بيتا
بولونيوم	$Po^{3.05}$	218 دقيقة	ألفا
بروم	Br^{78}	4, 6 دقيقة	بيتا وجاما
هيدروجين	H^{3}	123 سنة	بيتا
يورانيوم	U^{234}	2.48×10^{5} سنة	ألفا
يورانيوم	U^{238}	4.51×10^{9} سنة	ألفا
كوبالت	Co^{60}	5.3 سنة	بيتا وجاما
كربون	C^{14}	5730 سنة	بيتا
سيزيوم	Cs^{371}	30 سنة	بيتا
فلور	F^{13}	8 يوم	بيتا وجاما
فسفور	P^{32}	14.3 يوم	بيتا
صوديوم	Na^{24}	15 ساعة	بيتا وجاما
راديوم	Ra^{226}	1600 سنة	ألفا
رصاص	Pb^{214}	26.8 دقيقة	بيتا
ثوريوم	Th^{234}	24.1 يوم	بيتا

المصدر: المرجع 4، منشور بإذن.

للمواد المشعة آثار وخيمة ومضار لحظية وربما أخرى دائمة على الإنسان وممتلكاته وما ذال له المولى عز وجل من أنعام. ومن ثم يجب التعامل الحذر المدروس والممنهج عند استخدام المواد المشعة خاصة عند التفكر في استعمال التفاعلات النووية لأى أعمال كانت سلمية أم غيرها. وما حادثة تشرنوبيل في أبريل من عام 1986 ببعيد، وما أدت اليه من هلاك وأضرار على العاملين والقائمين على أمر المفاعل وأهل المنطقة المجاورة والمحيطة في نطاق منطقة قطرها أكثر من 30 كيلومتر، وبفعل عوامل الطقس والأحوال الجوية والخصائص المتباينة للإشعاع تم انتقال المخاطر والأضرار إلى عدة بلدان أخرى. وما فتئت مشاكل قنبلة هيروشيما وناجازاكى قائمة لمن خشى الرحمن وجاء بقلب منيب

تُسمى الوحدة الإشعاعية كورى، وتُعرف بأنها عبارة عن عدد التلاشي الحادث في الثانية لجرام واحد من الراديوم النقي. ومعدل التلاشي للنواة يمكن تمثيله كما موضح في المعادلة 2-18.

$$\text{Log } n_t/n_o = -k^*t/2.303$$

حيث:

n_o = عدد النوى الموجودة في الزمن صفر

n_t = عدد النوى الموجودة في الزمن t

k = ثابت التلاشي لتفاعل محدد (يمكن إيجاده من المعادلة 2-19)

$k = 0.693/t_{1/2}$

$t_{1/2}$ =عمر النصف للعنصر المعين.

مثال 2-6

وزن عنصر مشع 2 كيلوجرام وعمر النصف له يقدر بحوالي 25 يوم. أوجد الكمية المتبقية من العنصر بعد مضي 75 يوم و110 يوم. كم مدة من الزمن يحتاج إليها لفقد 1.24 كيلوجرام من هذا العنصر؟

الحل:

1- المعطيات: n_o =2 كجم، $t_{1/2}$ =25 يوم .

2- استخدم المعادلة 2-19 لإيجاد قيمة ثابت التلاشي لتفاعل محدد $k = 0.693 \div 25 = 0.02772$:

3- استخدم المعادلة 2-18 لإيجاد القيمة المتبقية من العنصر:

$\text{Log } n_t/n_o = -kt/2.303$ أو $\text{Ln } n_t/n_o = -kt$

وعليه

$n_{75} = n_o \times e^{-kt \div 2.303} = 2 \times 10^{-0.02772 \times 75 \div 2.303} = 0.25$ كجم

$n_{110} = n_o \times 10^{-kt \div 2.303} = 2 \times 10^{-0.02772 \times 110 \div 2.303} = 0.095$ كجم

4- أوجد المدة الزمنية المطلوبة لفقد 1.24 كجم من العنصر :

عدد النوى الموجودة في الزمن المطلوب =

$= n_t = 2 - 1.24 = 0.76$

$t = -(\text{Log } n_t/n_o) \times 2.303 \div k = -(\text{Log } 0.7912)*2.303/0.02772 = 34.91 \text{ day}$

2-3 الخواص الكيميائية

ومن أهم الخواص الكيميائية في مجال المياه الرقم الهيدروجيني والحامضية والقلوية والكلوريد وعسر الماء والأكسجين الذائب وحاجة الأكسجين الحيا-كيميائي وحاجة الأكسجين الكيميائي والغازات الذائبة والنتروجين ومواد التغذية والبروتينات والكربوهيدرات والشحوم والزيوت والفينول والفلور والعناصر القليلة السامة.

الرقم الهيدروجيني(pH value)

إن الرقم الهيدروجيني من الخواص المهمة والمعبرة عن حمضية أو قلوية المحلول. ويؤثر الرقم الهيدروجيني على مياه الشرب ومياه المجاري. كما ويؤثر الرقم الهيدروجيني على قلوية التربة، وعلى معدلات النحر والتحات وذوبانية المعادن. ويؤثر الرقم الهيدروجيني على حياة معظم الأحياء المجهرية وتكاثرها لاسيما وتعيش هذه الكائنات في مدى رقم هيدروجيني ضيق وحرج. ويلعب الرقم الهيدروجيني دوراً هاماً في بعض تقانات المعالجة والتنقية (مثل: التطهير وإزالة العسر والترويب)، كما وتصعب معالجة مياه المجاري بالطرق الحيوية إذا كان الرقم

الهيدروجيني غير مناسب لمعيشة البكتريا وتكاثرها ، وإذا لم يتم تغيير درجات التركيز قبل الصرف فإن ماء الصرف قد يغير الرقم الهيدروجيني في المياه الطبيعية {3،5}. يعتبر الرقم الهيدروجيني من أنسب الطرق للتحكم في النمو الحيوي لاسيما ومعظم الأحياء المجهرية لا تعيش في رقم هيدروجيني أقل من 4، غير أن القليل من البكتريا المؤكسدة للكبريتات يمكن وجودها في رقم هيدروجيني يساوي الوحدة. وهنالك عدد قليل جداً من الكائنات المجهرية يمكنها العيش في رقم هيدروجيني أعلى من 11، وذلك لأن زيادة الرقم الهيدروجيني عن 5.9 تساعد أيون الهيدروكسيل على استحداث تأثيرات سامة {4}. ويمكن معادلة الرقم الهيدروجيني بإضافة حامض أو قلوي ذى جدوى (مثل: حمض الكبريت وحمض الهايدروكلور HCl وثاني أكسيد الكربون وهايدروكسيد الكالسيوم وكربونات الصوديوم وهايدروكسيد الصوديوم)

ويمكن إيجاد الرقم الهيدروجيني باستخدام المعادلة 2-20.

$$pH = -\log[H^+] = \log(1/[H^+]) \qquad 2\text{-}20$$

حيث:

pH = الرقم الهيدروجيني

$[H^+]$ =درجة تركيز أيون الهيدروجين.

يتراوح الرقم الهيدروجيني في مدى بين صفر و 14، حيث يمثل فيه العدد 7 درجة التعادل وما ينقص عن 7 فهو حامض، أما مايزيد على 7 فهو قلوي.

مثال 2-7

أي من هذه المحاليل أكثر حامضية :

أ) محلول رقمه الهايدروجيني 5.09

ب) محلول يحتوي على 0.076 ملجم أيون هايدروجين في اللتر

ج) محلول رقمه الهيدروكسيلي 10.8

الحل

1- الرقم الهايدروجيني للمحلول الأول: 5.09

2- أوجد الرقم الهايدروجيني للرقم الثاني:

$$pH = -\log[H^+] = \log(0.076 + 1000) = 4.12$$

3- أوجد الرقم الهيدروجيني للمحلول الثالث من المعادلة

:$pH = 14 - pOH$

وبما أن $pOH = 10.8$، فعليه:

$$pH = 14 - 10.8 = 3.2$$

4- بما أن الرقم الهايدروجيني للمحلول الثالث أقل من المحلولين السابقين، فعليه يمكن القول أن المحلول الثالث أكثر حامضية.

الحامضية (Acidity)

تُعرف حامضية أى عينة بتلك التي يقل رقمها الهيدروجيني عن 7. وتنتج الحامضية في حالة المياه الملوثة من ثاني أكسيد الكربون الذائب أو من الأحماض العضوية المنبثقة من التربة. أما المياه الحامضية فتتكون من جراء تلوث الهواء، وتسبب هذه المياه الحمضية تفتيت وتآكل الحديد والخرسانة.

القلوية (Alkalinity)

تعني القلوية كمية الأيونات في الماء التي تتفاعل لتعادل أيونات الهيدروجين. تؤخذ القلوية لتعبر كمقياس لسعة المحلول المنظم Buffering capacity ، وقدرة الماء لتعادل الأحماض، ودرجة الإستساغة للماء. وتنتج القلوية بسبب مركبات المواد الكيميائية الذائبة من الصخور والتربة. أما أهم الأيونات المسببة للقلوية فهى أيونات الهيدروكسيل والكربونات والبيكربونات والسليكات والفوسفات والأمونيا. وعادة تتكون هذه المركبات من كربونات وبيكربونات الصوديوم والبوتاسيوم والماغنسيوم والكالسيوم. كما وقد تساهم في القلوية بدرجات تركيز أقل أيونات أخرى مثل أيونات الفوسفات والسليكات والكبريتيد.

وفي الحياة العملية نجد القلوية في مياه المجاري. ونجدها أيضاً في عملية الهضم اللاهوائي إذ لابد من وجود قلوية كافية لتفادي هبوط الرقم الهيدروجيني إلى أقل من 6.2 لاسيما وأن بكتريا الميثان لا تعمل في رقم أقل من هذا الرقم. وعندما تكون عملية الهضم مقبولة فإن القلوية عادة تتراوح بين 1000 إلى 5000 ملجم/لتر $CaCO_3$.

وتؤثر القلوية على الطعم والمذاق وقد تتفاعل المكونات القلوية مع الشوارد الموجبة في الماء مما ينجم عنه انبثاق الروائح في الأنابيب والأجهزة والمعدات وغيرها.

الكلوريد (Chloride):

يوجد الكلوريد طبيعياً في صور معينة ومن أهم مصادره في المياه الطبيعية ما يلي {3}:

- نض الكلوريد من الصخور والتربة الحاوية له.
- زحف المياه المالحة على المياه الجوفية خاصة في المناطق الساحلية.
- تسرب المياه الجوفية المالحة لأنابيب المياه الأرضية وشبكات المجاري.
- تصريف الفضلات السائلة الزراعية والصناعية والمنزلية.

ويعتبر أيون الكلوريد Cl^- أحد أهم الأيونات غير العضوية الموجودة في الماء ومياه المجاري. يتغير طعم المالح للكلوريد في المياه الصالحة للإستعمال طبقاً لخواص الماء الكيمائية. فمثلاً يتضح الطعم المالح لبعض المياه التي تحتوي على 250 ملجم/لتر أيون كلوريد خاصة عندما يكون شارده الموجب هو الصوديوم. غير أن هذا الطعم المالح يضمحل في مياه تحوي درجات تركيز تصل إلى 1000 ملجم/لتر من أيون الكلوريد إذا كانت الكاتيونات الموجودة هى الكالسيوم أوالماغنسيوم{3،6}

ومما يجدر ذكره أن درجة تركيز الكلوريد تزيد في مياه المجاري عنها في الماء الخام، وذلك نسبة لأن كلوريد الصوديوم يمثل جزء أساسي واعتيادي في الوجبة الغذائية العادية في طعام الفرد السوي، كما وأنه يمر داخل

الجهاز الهضمي دون حدوث أى تغير له. وتضر درجات تركيز الكلوريد العالية بالمواسير المعدنية والإنشاءات والنباتات. وتفاقم الكلوريد من مشاكل الشيخوخة المبكرة للمنشآت الخرسانية المسلحة خاصة في المناخ الدافئ الرطب. وعند استخدام ثنائي أكسيد الكلور في كلورة الماء (كجزء من التنقية والمعالجة) يتكون أيون الكلوريت كناتج ثانوي ومن المعلوم أن هذا الأيون يسبب مرض زرقة الأطفال.Methemoglobinemia

عسر الماء (Hardness)

عسر الماء يعنى عدم مقدرة الماء على تكوين رغوة مع الصابون. وتسبب عسر الماء أيونات المعادن الموجبة ثنائية التكافؤ، مثل أيونات الكالسيوم والمغنسيوم والإسترونسيوم والحديد والمنجنيز (أنظر جدول 2-4)

جدول 2-4 أهم الشوارد (الأيونات) الموجبة والسالبة المسببة لعسر الماء {3، 4، 19}

الشوارد الموجبة	الشوارد السالبة
كالسيوم Ca^{++}	بيكربونات HCO_3^-
حديد Fe^{++}	نترات NO_3^-
ماغنسيوم Mg^{++}	كبريتات (سلفات) SO_4^{--}
منجنيز Mn^{++}	كلوريد Cl^-
استرنسيم Sr^{++}	سليكات SiO_3^-

ويمكن تقسيم عسر الماء إلى عسر مؤقت وعسر دائم. ويحتوي العسر المؤقت (العسر الكربوني) على بيكربونات الكالسيوم وكربونات وبيكربونات المغنيسيوم. أما العسر الدائم (العسر غير الكربونى) فيحتوي على كبريتات وكلوريد كل من الكالسيوم والمغنيسيوم.

وعندما تكون القيمة العددية لعسر الماء أكبر من مجموع الكربونات والبيكربونات القلوية يسمى عسر الماء الذي يعادل القلوية الكلية بعسر الكربونات، أما العسر الأكثر من هذا فيطلق عليه العسر غير الكربوني. وعندما يساوي العسر أو يكون أقل من القلوية الكلية، فإن كل العسر هو عسر كربونات، وينعدم حينها العسر غير الكربوني {3، 4، 6، 7، 8، 9، 10}

يوجد عسر الماء {6} من المعادلة 2-21.

$$Hard = 2.497*[Ca^{++}] + 4.118*[Mg^{++}]$$

حيث:

Hard = عسر الماء (مللمكافئ من كربونات الكالسيوم/لتر)

$[Ca^{++}]$ = درجة تركيز أيون الكالسيوم (ملجم/لتر)

$[Mg^{++}]$ = درجة تركيز أيون المغنسيوم (ملجم/لتر)

ويوضح جدول 2-5 التقسيم المتبع لتحديد درجات عسر الماء طبقاً لمعايير قياسه، مقدرة بالمليجرام كربونات كالسيوم على اللتر.

جدول2-5 درجة عسر الماء {3، 4، 10، 13}

عسر الماء	ملجم/ لتر $CaCO_3$
صفر - 75	يسر
76 - 150	معتدل اليسر
151 - 175	معتدل العسر
176 - 300	عسر
أكثر من 300	شديد العسر

ولتقدير عسر الماء الكلd لعينة ما يتم إجراء التحاليل العيارية المناسبة طبقاً للطرق القياسية العالمية المتبعة والمدونة{6}. ويمكن التحكم في عسر الماء بطرق عديدة أهمها الترسيب سواء بالغليان بالنسبة للعسر المؤقت أو بالطرق الكيميائية عن طريق إضافة الجير والصودا الكاوية بالنسبة للعسر المؤقت والدائم.

وللماء العسر محاسن تتمثل في النقاط التالية:

- o يساعد الماء العسر في نمو وتكلس الأسنان والعظام.
- o يقلل عسر الماء من سمية أكسيد الرصاص (في المواسير المصنعة من الرصاص) وذلك بترسيب كربونات الرصاص (ظاهرة ذوبانية السباكة.((Plumbosolvancy
- o يشتبه في أن الماء اليسر له علاقة بأمراض القلب والشرايين.Cardiovascular diseases

أما الآثار الضارة لعسر الماء فيمكن إجمالها في النقاط التالية:

- ▪ إزدياد استهلاك الصابون (مضار إقتصادية)
- ▪ تكوين مترسبات في أجهزة وتوصيلات المياه الساخنة والغلايات والمراجل والمعدات المنزلية وأحواض المطبخ وغسالات الصحون وأحواض غسيل الأيدي وماشاكلها.
- ▪ تكوين ترسبات كلسية في محطات توليد الكهرباء الحرارية.
- ▪ يتسبب عسر الماء في صبغ الملابس والصحون وغيرها من الأوعية والمعدات المنزلية.
- ▪ يمكن أن تمكث بقايا مترسبات العسر والصابون في فتحات الأحواض مما يكسبها الملمس الخشن
- ▪ غير المرغوب فيه.
- ▪ يعمل الماء العسر كملين ومسهل للمستهلكين الجدد خاصة عند وجود كبريتات المغنسيوم.
- ▪ يسبب عسر الماء إصابات معوية وجلدية في بعض الحالات.
- ▪ يؤثر على نسبة امتزاز الصوديوم.(Sodium adsorption ratio, SAR)

ومما يجدر ذكره أن عملية إزالة عسر الماء تساعد في قتل الجراثيم وذلك نسبة لعلو الرقم الهيدروجيني المواكب لهذه العملية، كما وتساعد في إزالة الحديد، وينتج منها شبه إزالة للمركبات العضوية، وتساعد في إنخفاض درجة تركيز العناصر السامة (مثل الزئبق والرصاص والخارصين)

مثال 2-8

تم الحصول على النتائج الموضحة في الجدول أدناه عند تحليل عينة من الماء.

الشوارد الموجبة	درجة التركيز(ملجم/لتر)	الشوارد السالبة	درجة التركيز(ملجم/لتر)
Ca^{++}	40	SO_4^{--}	57.6
Mg^{++}	24.3	HCO_3^-	152.5
Na^+	11.5	Cl^-	؟
Sr^{++}	17.52	NO_3^-	12.4

أ) أوجد درجات التركيز المعطاة مقدرة بالمللمكافئ/لتر.

ب) أوجد قيمة العسر الكلى والكربونى وغير الكربونى للعينة.

ج) إذا أفترض عدم وجود أى خطأ في التجارب المخبرية التي أجريت على عينة الماء، ما هى قيمة درجة تركيز أيون الكلوريد؟

هـ) ارسم مخطط خطى Bar diagram لهذه العينة من الماء.

و) بين الإتحادات الكيميائية المحتملة للأيونات الموجبة والسالبة لهذه العينة.

الحل:

1- المعطيات: درجات تركيز الشوارد الموجبة والسالبة للعينة.

2- أوجد درجات تركيز العناصر مقدرة بالمللمكافئ على اللتر وذلك باستخدام المعادلة 2-22.

$$C = C_0/EW$$

حيث:

C = درجة تركيز العنصر، مللمكافئ/لتر

C_0 = درجة تركيز العنصر المعطاةK ملجم/لتر

EW = الوزن المكافئ للعنصر والذي يمكن إيجاده من المعادلة 2-23.

$$EW = MW/Z \qquad 2\text{-}23$$

حيث:

MW = الوزن الجزيئى للعنصر (يمكن إيجاده من شكل ش-1 في الملاحق)

Z = تكافؤ العنصر

3- حول درجات التركيز المقدرة بالمللمكافئ/لتر المحسوبة في الخطوة 2 أعلاه إلى ملجم/لتر $CaCO_3$ ، وذلك بضرب درجات التركيز في الوزن المكافئ لكربونات الكالسيوم على حسب ما موضح في المعادلة 2-24.

الوزن المكافئ لكربونات الكالسيوم = الوزن الجزيئى/التكافؤ (2-24)

الوزن المكافئ لكربونات الكالسيوم = (40 + 12 +16×3) ÷ 2 =50

ويبين الجدول أدناه هذه التقديرات.

الأيونات الموجبة (كاتيون)	الوزن المكافئ	الوزن	مليمكافئ/لتر	ملجم/لتر $CaCO_3$
Ca^{++}	20	40	2	100
Mg^{++}	12.15	24.3	2	100
Sr^{++}	43.8	17.52	0.4	20
Na^{+}	23	11.5	0.5	25
المجموع				
الأيونات السالبة (أنيون)				
HCO_3^-	61	152.5	2.5	125
SO_4^{--}	48	57.6	1.2	60
Cl^-	35.5	35.5	1	50
NO_3^-	62	12.4	0.2	10

4- أوجد قيمة عسر الماء من المعادلة 2-25.

العسر الكلى = مجموع(أيونات الكالسيوم + أيونات المغنسيوم + أيونات الإسترونسيوم)   2-25

= 2 + 2 + 0.4 = 4.4 مللمكافئ/لتر = 4.4×50 = 220 ملجم/لتر$CaCO_3$

العسر الكربونى = مجموع أيونات الكربونات والبيكربونات

= 2.5 مللمكافئ/لتر = 2.5×50 = 125 ملجم/لتر$CaCO_3$

العسر غير الكربونى = العسر الكلى - عسر الكربونات = 220 - 125 = 95 ملجم/لتر$CaCO_3$

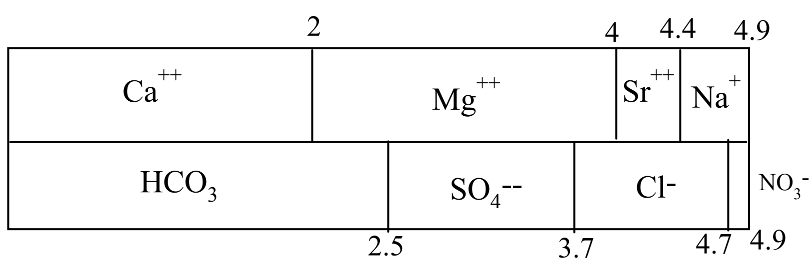
5- بافتراض عدم وجود أى خطأ في التجربة فإن: مجموع الكاتيونات = مجموع الأنيونات

$4.9 = 3.9 + Cl^-$

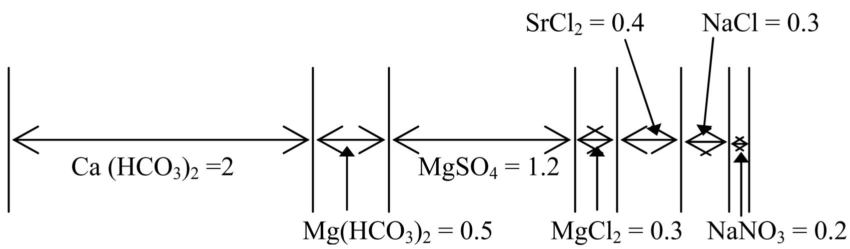
وعليه فتكون درجة تركيز أيون الكلوريد = 1 مللمكافئ/لتر

35.5 × 1 = 35.5 ملجم Cl^- /لتر= 1×50 = 50 ملجم/لتر$CaCO_3$

6- أرسم المخطط الخطى للماء كما هو مبين في شكل مثال 2-8.



7- أوجد الإتحادات الكيميائية المحتملة للعينة كما موضح في شكل مثال 2-8.



من شكل مثال 2-8 يمكن تحديد الإتحادات الكيميائية المحتملة لعينة الماء على النحو التالى:

بيكربونات الكالسيوم = 2 مللمكافئ/لتر = 100 ملجم/لتر $CaCO_3$

بيكربونات المغنسيوم = ,5.. مللمكافئ/لتر= 25 ملجم/لتر$CaCO_3$

كبريتات المغنسيوم =1.2 مللمكافئ/لتر = 60 ملجم/لتر$CaCO_3$

كلوريد المغنسيوم = 0.3 مللمكافئ/لتر = 15 ملجم/لتر$CaCO_3$

كلوريد الإسترونسيوم = 0.4 مللمكافئ/لتر = 20 ملجم/لتر$CaCO_3$

كلوريد الصوديوم = 0.3 مللمكافئ/لتر= 15 ملجم/لتر$CaCO_3$

نترات الصوديوم = 0.2 مللمكافئ/لتر= 10 ملجم/لتر$CaCO_3$

الأكسجين الذائب (Dissolved oxygen)

لا غنى للأحياء المائية عن الأكسجين الذائب في الفضلات السائلة أو في المياه، غير أن درجة ذوبانية غاز الأكسجين في الماء قليلة. وتعتمد كمية الأكسجين الذائب في الماء على عوامل مختلفة متداخلة فيما بينها وتضم: ذوبانية الغاز والضغط الجزيئي للغاز في الحيز الهوائي ودرجة الحرارة ونقاء الماء وكمية ما به من شوائب.

ومن المعلوم أن الماء المشبع بالأكسجين له طعم طيب ومذاق جيد، غير أن الماء الخالي من الأكسجين له طعم غير مستحب. ويؤثر الأكسجين المذاب على معدلات التفاعلات الحيوية والأحياء المائية، كما ويؤثر على عمليات النحر والتحات.

أما درجة تركيز الغاز فيمكن إيجادها من المعادلة 2-26.

$$C_g = P_g*MW/Ru*T \qquad (2-26)$$

حيث:

C_g = درجة تركيز الغاز في حيز الغاز (جم/م^3)

P_g = الضغط الجزيئى للغاز في حيز الغاز (باسكال، أو نيوتن/م^2)

$$P_g = x_g * k_H \qquad (2-27)$$

x_g = جزء مول الغاز

$$x_g = n_g /(n_g + n_w) \qquad (2-28)$$

k_H = ثابت هنرى

n_g = مولات الغاز

n_w = مولات الماء

R_u = الثابت العالمي للغاز = 3143, 8 جول/كيلفن×مول

T = درجة الحرارة المطلقة، كيلفن

ويمكن إيجاد درجة تركيز الغاز عند التشبع من المعادلة 2-29.

$$C_s = k_D*C_g \qquad (2-29)$$

حيث:

C_s = درجة تركيز التشبع للغاز (جم/م^3)

k_D = معامل التوزيع.

ويمكن حساب درجة تركيز الغاز عندما يتغير الضغط باستخدام المعادلة 2-30.

$$C' = C_s *(P - p_w)/(760 - p_w) \qquad (2-30)$$

حيث:

C'= ذوبانية الغاز عند الضغط P ودرجة الحرارة المعطاة (ملجم/لتر)

C_s = درجة تركيز الغاز عند التشبع (ملجم/لتر)

P = الضغط القياسى (البارومترى) (ملم)

p_w = ضغط بخار الماء المتشبع عند درجة حرارة الماء (ملم)، يمكن إيجادها من جدول 2-6.

جدول 2-6 ضغط بخار الماء {3، 20، 21}

درجة الحرارة، °م	ضغط البخار	
	كيلو باسكال	ملم زئبق
صفر	0.611	4.58
5	0.0872	6.54
10	1.23	9.21
15	1.71	12.8
20	2.33	17.5
25	3.17	23.8
30	4.24	31.8

مثال 2-9

أوجد درجة تركيز التشبع لغاز الأكسجين المذاب في عينة من الماء غير المالح عند درجة حرارة 25°م وضغط جوى يعادل 620 ملم زئبق، علماً بأن درجة تركيز الأكسجين 6.8 ملجم/لتر.

الحل:

1- المعطيات: $T = 25$ ْ م، $P = 620$ ملم، $C' = 6.8$ ملجم/لتر.

2- من جدول 2-6 ولدرجة حرارة = 25°م أوجد ضغط بخار الماء المتشبع = 23.8 ملم زئبق.

3- استخدم المعادلة 2-30 لإيجاد درجة تركيز الغاز عند التشبع:

$$C_S*(620 - 23.8)/(760 - 23.8) = 6.8 \text{ ملجم/لتر}$$

وعليه: $C_S = 8.4$

الحاجة للأكسجين (OD) Oxygen Demand :

يقصد بالحاجة للأكسجين كمية الأكسجين المطلوبة لموازنة المواد العضوية. ويمكن تقدير إحتياجات الأكسجين بإحدى الطرق الآتية:

أ) الحاجة الحيا-كيمائية للأكسجين Biological Oxygen Demand وهو عبارة عن قياس لدرجة التلوث بالمواد العضوية الموجودة في الماء. ويعرف بأنه كمية الأكسجين التي تحتاج إليها الأحياء المجهرية لأكسدة الملوثات العضوية.

ب) قيمة البيرمنجنات Permanganate Value وتعبر عن الأكسدة الكيمائية لعينة ما باستخدام محاول بيرمنجنات البوتاسيوم.

ج) الحاجة الكيمائية للأكسجين Chemical Oxygen Demand وتعني الأكسدة الكيمائية لعينة من الماء باستخدام حمض الكبريت H_2SO_4 (VI) وثنائي كرومات البوتاسيوم.

اختبار حاجة الأكسجين الحيا-كيميائي (BOD) Biological Oxygen Demand

يستخدم هذا المعيار لقياس كمية الأكسجين المستهلكة بواسطة الأحياء المجهرية عند أكسدتها هوائياً للمواد العضوية. ومن أهم ضروب استخدام هذا المعيار ما يلي {3، 4، 5، 7، 8، 9، 10}:

- تحديد كمية الأكسجين التقريبية المطلوبة للتفتيت الحيوي لما يوجد من مواد عضوية.
- تصميم وحدات المعالجة بمحطات المعالجة.
- قياس كفاءة وتقويم عمل طرق ووحدات المعالجة المختلفة.
- تقدير التلوث العضوى.

من المعلوم أن الأكسدة الحيوية للمواد العضوية طريقة بطيئة، وتتطلب (نظرياً) زمن لانهائي لتبلغ مداها الختم. غير أن إجراء الاختبار يتم عادة عند درجة حرارة 20°م ولمدة 5 أيام. وقد أختيرت درجة الحرارة هذه لأنها تمثل متوسط درجة حرارة الأنهار ذات السرعة البطيئة في المناخ المعتدل، كما ويسهل مماثلتها في جهاز الحضانة بالمخبر. وغالباً تصل الأكسدة إلى 95 أو 99 بالمائة في مدة 20 يوماً. وتتراوح الأكسدة بين 60 إلى 70 بالمائة

في مدة الخمس أيام المعمول بها في الاختبار. أما نتائج الاختبار فتختلف بإختلاف درجة الحرارة، نسبة لإعتماد معدلات التفاعلات الحيوية على درجة الحرارة. كما ويحتاج (عند إجراء الاختبار) إلى عزل الضؤ أثناء فترة الحضانة بغية منع الطحالب الموجودة في العينة من إنتاج الأكسجين {4، 19}.

وقد أُفترض (لأغراض عملية) أن حاجة الأكسجين الحيا-كيميائي تتبع تفاعل من الدرجة الأولى. وفي مثل هذه التفاعلات يتناسب معدل الأكسدة تناسباً طردياً مع درجة تركيز المواد العضوية المتبقية والقابلة للتحلل عند وجود النوع الأمثل من الأحياء المجهرية المطلوبة لإتمام الأكسدة. وتحكم كمية المواد العضوية الموجودة هذا التفاعل. ويمكن تمثيل هذا النوع من التفاعل بالمعادلة 2-31.

$$dL/dt = - k'L \qquad (2\text{-}31)$$

حيث:

L = كمية المواد العضوية المتبقية في العينة.

t = الزمن.

k' =ثابت التفاعل.

وبتكامل المعادلة 2-31 تنتج المعادلة 2-32.

$$L_t/L_o = e^{-k't} = 10^{-k1t} \qquad (2\text{-}32)$$

حيث:

L_t = حاجة الأكسجين الحيا-كيميائي المتبقية في العينة عند الزمن.t

L_o = حاجة الأكسجين الحيا-كيميائي المتبقية عند الزمن صفر

= الكمية النهائية أو الكلية لحاجة الأكسجين الحيا-كيميائي.

k' = ثابت تفاعل الدرجة الأولى = ثابت معدل التفاعل، ويمكن إيجاده من المعادلة 2-33.

$$k_1 = 0.4343*k' \qquad (2\text{-}33)$$

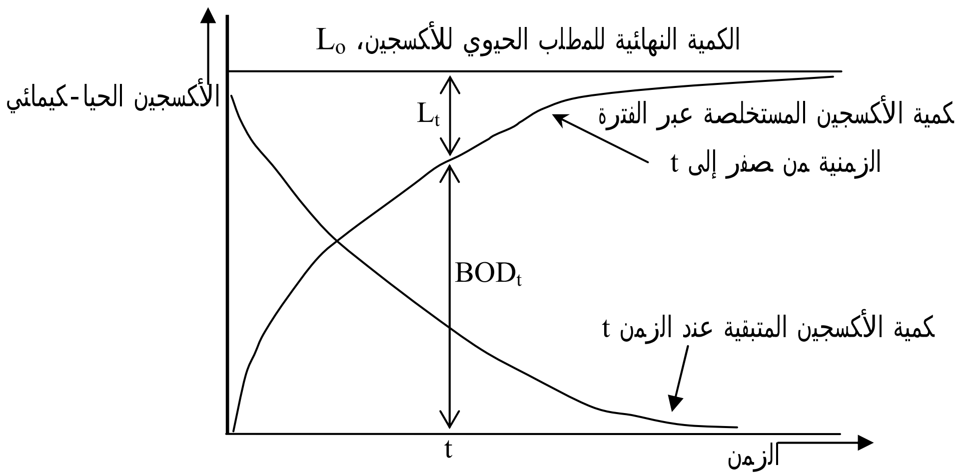
أما كمية الأكسجين المأخوذة فتعادل القيمة الموضحة في المعادلة 2-34.

$$BOD_t = L_o - L_t = L_o (1 - 10^{-k_1 t}) \qquad (2\text{-}34)$$

ويمكن إيجاد حاجة الأكسجين الحيا-كيميائي في مدة خمس أيام من المعادلة 2-35.

$$BOD_5^{20} = L_o (1 - 10^{-5\,k_1})$$

ويمثل الشكل 2-4 طريقة استخدام هذه المعادلات لتكوين منحنى حاجة الأكسجين الحيا-كيميائي للتفاعل من الدرجة الأولى.



شكل 2-4 منحنى حاجة الأكسجين الحيا-كيميائي

مثال 2-10

وجد أن حاجة الأكسجين الحيا-كيميائي لعينة ما بعد مضي 5 أيام بلغت 450 ملجم/لتر عند درجة حرارة 20°م، علماً بأن ثابت معدل التفاعل 0.11 على اليوم (للأساس 10). أحسب حاجة الأكسجين الحيا-كيميائي القصوى للعينة .

الحل:

1- المعطيات: $t = 5$ يوم، $k_1 = 0.11$ / يوم، $BOD_5^{20} = 450$ ملجم/لتر.

2- استخدم معادلة الدرجة الأولى لمعدل التفاعل:

$$BOD_5^{20} = L_o (1 - 10^{-5k_1})$$

$$450 = L_o *(1 - 10^{-5\times 0.11})$$

وعليه:

$L_o = 626.6$ ملجم/لتر.

أما قيمتي كل من (L_o) و (k') فيمكن إيجادها بعمل مجموعة من الاختبارات لحاجة الأكسجين الحيا-كيميائي، ثم يتم استخدام طريقة توماس عند تقدير الحسابات. وتعتمد طريقة توماس على توافق دالتين، إذ يتم تحليل دالة ($1-e)^{-k't}$ ودالة $(k't(1 + k't/6)^{-3}$ ، مما أتاح لتوماس الإتيان بالطريقة التقريبية المبينة في معادلة 2-36.

$$BOD = L_o k't(1 + k't/6)^{-3} \qquad (2\text{-}36)$$

ويمكن وضع المعادلة 2-36 بالصورة الخطية التقريبية الموضحة في المعادلة 2-37.

$$(t/BOD)^{1/3} = (k'L_o)^{-1/3} + ([k'^{2/3}]t/[6L_o^{1/3}]) \qquad (2\text{-}37)$$

حيث:

BOD = حاجة الأكسجين الحيا-كيميائي التي بذلت في الزمن t.

t = الزمن.

k' =ثابت معدل التفاعل (للأساسe)

Lo = حاجة الأكسجين الحيا-كيميائي النهائية.

تمثل المعادلة 2-37 خطاً مستقيماً معادلته تتوافق مع الصورة العامة المبينة في المعادلة 2-38.

$$y = a + bx \qquad (2\text{-}38)$$

بحيث أن:

$$y = (t/BOD)^{1/3} \qquad (2\text{-}39)$$

$$a = (k'L_O)^{-1/3} \qquad (2\text{-}40)$$

$$b = k'^{2/3}/6L_O^{1/3} \qquad (2\text{-}41)$$

وبذا يمكن رسم y كدالة فيx ، ومن الرسم تمثل b ميل الخط المستقيم، ويمثل a مقطع المحور الصادى. ومن ثم يمكن إيجاد قيمة k' وقيمة Lo. كما موضح في المعادلات2-42 و 2-43.

$$k' = 6b/a \qquad (2\text{-}42)$$

$$L_O = 1/k'a^3 \qquad (2\text{-}43)$$

كما ويمكن كتابة المعادلة 2-37 كما مبين في المعادلة 2-44.

$$(t/BOD)^{1/3} = (2.3k_1L_O)^{-1/3} + [k_1^{2/3}]*t/[3.43L_O^{1/3}] \qquad (2\text{-}44)$$

حيث:

$$k_1 = 2.61b/a \qquad (2\text{-}45)$$

k_1 = ثابت معدل التفاعل (للأساس 10)

$$L_O = 1/(2.3k_1a^3) \qquad (2\text{-}46)$$

ومن السرد الموضح أعلاه نجد أنه كلما زادت كمية الملوثات في الفضلات السائلة، كلما زادت شدة التلوث فيها، وبالتالي تزداد قيمة حاجة الأكسجين الحيا-كيميائي أو حاجة الأكسجين الكيميائي كما مبين في الجدول رقم 2-7.

جدول 2-7 شدة درجة تلوث الفضلات السائلة على حسب حاجة الأكسجين {3، 4، 5، 22، 23}

الشدة	حاجة الأكسجين الحيا-كيميائي، ملجم/لترBOD_5	حاجة الأكسجين الكيميائي، ملجم/لترCOD	المواد الصلبة العالقة، ملجم/لترSS
ضعيف	أقل من 200	أقل من 400	أقل من 200
متوسط	200 - 350	400 - 700	200 - 300
قوى	351 - 500	701 - 1000	300 - 1000

قوى جداً	أكبر من 750	أكبر من 1000	أكبر من 1000

أما المحددات المتوقعة عند إجراء اختبار حاجة الأكسجين الحيا-كيميائي يمكن إجمالها في ما يلي {3، 4}:

- يحتاج الاختبار إلى أعداد مناسبة من الأحياء المجهرية النشطة.
- اخضاع الفضلات السامة إلى معالجة أولية.
- تقليل أثر بكتريا النترتة.
- يقيس الاختبار فقط المواد العضوية القابلة للتفسخ.
- لا يأتي الاختبار بدقة متكافئة بعد استخدام المواد العضوية المذابة في المحلول.
- يحتاج إلى زمن أطول لعمل الاختبارات والحصول على النتائج.
- فترة الخمس أيام قد تطابق وقد لا تطابق النقطة التي تقل فيها المواد العضوية الذائبة والموجودة في المحلول.

مثال 2-11

في قياس حاجة الأكسجين الحيا-كيميائي لعينة مخففة من الفضلات السائلة تم الحصول على البيانات المدرجة في الجدول أدناه:

الزمن، يوم	حاجة الأكسجين الحيا-كيميائي، ملجم/لتر
1	82
2	126
3	151
4	164
5	172
6	175
7	178

أ) أرسم منحنى حاجة الأكسجين الحيا-كيميائي مع الزمن.

ب) أوجد ثابت معدل التفاعل وقيمة حاجة الأكسجين الحيا-كيميائي النهائية مستخدماً طريقة توماس.

ج) أوجد قيمة ثابت معدل التفاعل للأساس 10.

الحل:

1. المعطيات: نتائج اختبار تغير حاجة الأكسجين الحيا-كيميائي لعينة مخففة من الفضلات السائلة.
2. أرسم منحنى حاجة الأكسجين الحيا-كيميائي مع الزمن للقيم المبينة في الجدول.
3. أوجد قيمة $(t/BOD)^{1/3}$ في معادلة توماس كما موضح في الجدول أدناه.

الزمن، يوم	حاجة الأكسجين الحيا-كيميائي، ملجم/لتر
1	82
2	126
3	151
4	164
5	172
6	175
7	178

4. أرسم الخط المستقيم للدالة $(t/BOD)^{1/3}$ مع الزمن t
   من الرسم أوجد ميل الخط المستقيم (b = 0.018888)
   ومقطعه مع المحور الصادي(a = 0.213004)
5. استخدم المعادلة 2-42 لإيجاد قيمة الثابت k’:

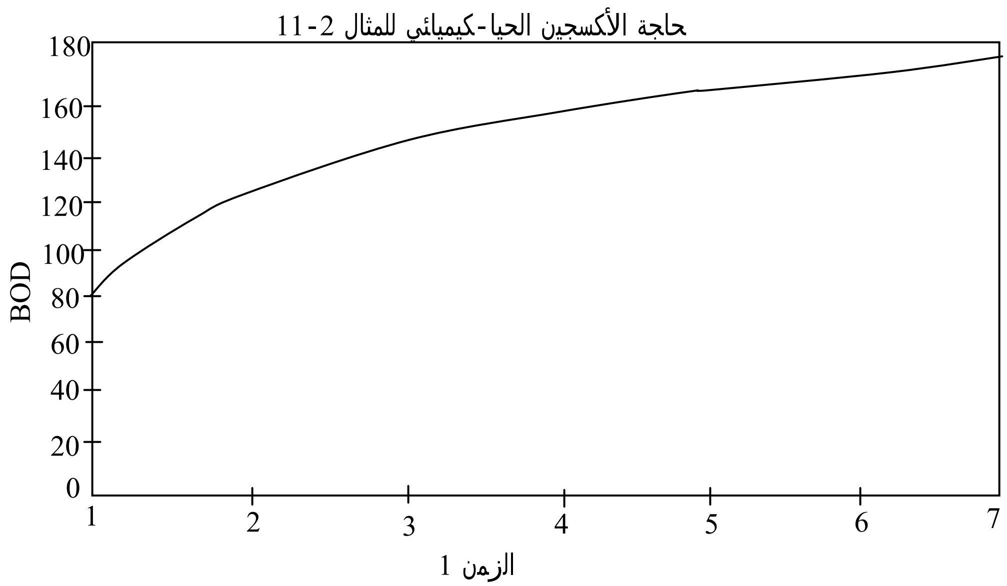
$$k' = 6b/a$$

وعليه: k' = 0.532 (على اليوم للأساسe)

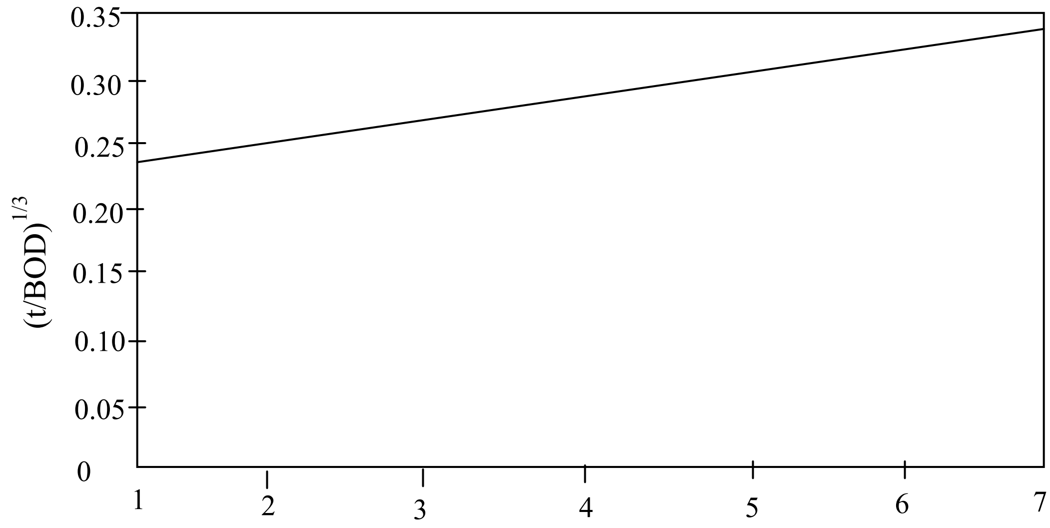
6. استخدم المعادلة 2-43 لإيجاد قيمة الحاجة الحيا-كيميائية القصوى للأكسجين L_O :

$$L_O = 1/k'a^3$$

   وعليه: L_O = 194.5 ملجم/لتر
7. استخدم المعادلة $k_1 = 0.434\ k'$ ،
   وعليه: $k_1 = 0.231$ (على اليوم للأساس 10)



طريقة توماس للمثال 2-11



حاجة الأكسجين الكيميائي Chemical Oxygen Demand

يعتمد اختبار حاجة الأكسجين الكيميائي على الأكسدة بالحمض وإضافة مقدار محسوب من ثنائي كرومات البوتاسيوم. ثم تُغلى العينة المحمضة لمدة ساعتين ثم تبرد ومن ثم يتم تقدير كمية ثنائي الكرومات المتبقية بالمعايرة مع 25,. محاول عياري من كبريتات حديد (III) الأمونيوم باستخدام دليل الفيروين لتحديد النقطة النهائية للمعايرة. والجدير بالذكر أن نتائج حاجة الأكسجين الكيميائي أكبر من حاجة الأكسجين الحيا-كيميائي، لاسيما ويقوم الاختبار الأخير أيضاً بأكسدة المواد بطيئة التحال الحيوي (مثل الشحوم واللجنين) {3، 24}

الغازات الذائبة (Dissolved gases)

تتفاوت درجات تراكيز الغازات الذائبة التي توجد في المياه الطبيعية طبقاً لذوبانية كل غاز في الماء. فمثلاً يتواجد غاز الأمونيا وكبريتيد الهيدروجين وغاز الميثان عندما تكون بيئة الماء لاهوائية وعند وجود نشاط ميكروبي. وتؤثر الغازات الذائبة على معدلات النحر والتحات، كما وتفاقم من مشاكل الروائح ومخاطر السمية.

النتروجين (Nitrogen)

النتروجين هام لتقانات المعالجة الحيوية، كما ويعتبر من المواد الغذائية الرئيسة، غير أن وجوده يفاقم من مشاكل تلوث المياه الجوفية. ويتواجد النتروجين في الماء والفضلات السائلة في أربع صور تضم: النتروجين العضوى، والأمونيا، والنتريت، والنترات {3، 4، 7، 8، 10}

أ) النتروجين العضوي: يشمل النتروجين العضوي مركبات عضوية مثل: الأحماض الأمينية والبروتينات واليوريا والببتيد والحمض النووي بالإضافة إلى العديد من المواد العضوية المصنعة.

ب) الأمونيا أو النشادر: يوجد النشادر طبيعياً على سطح الفضلات السائلة. كما ويوجد بدرجات قليلة في المياه الجوفية، لأنه يمتز حبيبات التربة والطين ولا ينض بسهولة من التربة. وتنتج الأمونيا بصورة كبيرة من عملية أكسدة المركبات العضوية النتروجينية وتميؤ اليوريا.

ج) النتريت (نترات III) وهذه مرحلة أكسدة متوسطة للنتروجين. ويمكن أن تدخل إلى إمدادات المياه عبر استخدام مثبطات التآكل في المجالات الصناعية. والنتريت يمكنه تكوين حمض النتروجين (I) Nitrous acid في بيئة حمضية. وهذا الحمض يمكن أن يتفاعل مع الأمينات لتكوين مركبات معظمها تعد من المواد المسرطنة.

د) النترات (V): تنتج النترات من أكسدة الأمونيا. ومن المعروف أن كميات النترات العالية في الماء (أكثر من 10 ملجم/لتر نترات-نتروجين) يمكن أن تسبب مرض زرقة الأطفال عند الأطفال الذين يقل عمرهم عن 6 أشهر. وعادة توجد النترات بكميات بسيطة في المياه السطحية، غير أنها قد توجد بكميات كبيرة في المياه الجوفية.

مواد التغذية أو المواد الحيوية المنبهةBiostrmulants

يعد النتروجين والفسفور من أهم المواد الغذائية في النشاط الحيوي، هذا بالإضافة إلى بعض العناصر التي يحتاج إليها بكميات قليلة جداً مثل: الحديد والبوتاسيوم والمغنيسيوم والكالسيوم والكوبالت والنحاس والكبريت والخارصين. ولمعالجة الفضلات السائلة من الأنسب إيجاد التوازن الغذائي الملائم للكائنات الحية لتتمكن من القيام بمهامها في تفتيت المواد العضوية على الوجه الأكمل.

البروتين (Protein)

يتحكم البروتين في الخواص الكيميائية والطبيعية للجسيمات، كما ويؤثر على خواص الجسيمات وحبها للماء، ويأتي البروتين بمشاكل الروائح. والبروتينات عبارة عن عناصر عضوية أزوتية (نتروجينية)، لها أوزان جزيئية عالية. وعادة توجد البروتينات في المملكة الحيوانية كما وتوجد بدرجة أقل في المملكة النباتية. يتغير تركيز البروتينات الموجودة من نسب مئوية بسيطة في الخضروات الحاوية للماء (مثل الطماطم)، والخلايا الدهنية (في اللحوم)، إلى نسب عالية جداً في الفول واللحوم الهزيلة. يتكون البروتين من مجموعات ضخمة من الأحماض الأمينية، متحدة مع روابط ببتيد. وتضم الكربون والهيدروجين والأكسجين والنتروجين والكبريت وأحياناً الفسفور. والبروتينات معقدة في تكوينها الكيميائي، وغير ثابتة، وبعضها قابل للذوبان في الماء، وبعضها غير قابل للذوبان فيه. ويتراوح الوزن الجزيئي منها ما بين 20 ألف إلى 20 مليون. ويتم تحلل البروتينات بفضل البكتريا، مما ينتج عنه روائح كريهة {3، 4، 7، 8، 9}. فمثلا عند معالجة الحمأة فإن البروتينات يمكن حلمأتها Hydrolysis إلى

بولي ببتيد، ومن ثم إلى أحماض أمينية، والتي لا تلبث أن تتفتت إلى أمونيا وكبريتيد الهيدروجين ومركبات عضوية بسيطة {4}. وقد وجد أن المواد المحتوية على البروتين تمثل جزءاً كبيراً من الحمأة والمخلفات السائلة. كما وأن حبيبات الحمأة (إذا لم تكن مكونة من بروتين) تكون مغطاة بطبقة من البروتين تحكم سلوكها الطبيعى والكيميائي. ويتراوح تركيز البروتين ما بين 15 إلى 30 بالمائة من المواد العضوية الموجودة في الحمأة المهضومة Digested Sludge ، و28 إلى 50 بالمائة في حالة الحمأة النشطة Activated Sludge {15،26،25}.

الكربوهيدرات (Carbohydrates)

الكربوهيدرات مواد عضوية تجمع المواد النشوية والسيليولوزية والسكر. وتتركب من الكربون والهيدروجين والأكسجين. وتوجد بكثرة في الطبيعة في ممالك الحيوان والنبات. بعض الكربوهيدرات يذوب في الماء مثل السكر، والآخر غير قابل للذوبان فيه كالنشا مثلا. ويمكن تصنيف الكربوهيدرات لسكر بسيط (أحادى السكر) وسكر معقد (ثنائي السكر أومتعدد السكر). وتعمل الكربوهيدرات في الحيوانات العليا كمصدر للطاقة لاسيما وتستهلك البكتريا المواد الكربوهيدراتية لتخليق الشحوم والبروتينات والطاقة. وبما أن معظم الكربوهيدرات تتواجد في الفضلات السائلة في شكل جزيئات كبيرة الحجم (مما يعوق تغلغلها إلى غشاء خلية الأحياء المجهرية)، فإن البكتريا تقوم بتفكك هذه الجزيئات الكبيرة إلى أجزاء سهلة الإنتشار داخل الخلية، وبذا يسهل تحللها. وتقوم البكتريا بحلمأة الكربوهيدرات إلى سكر سهل الذوبان وبروتينات وأحماض أمينية وشحوم. وبإطراد التحلل الهوائى يتكون ثانى أكسيد الكربون والماء. أما في حالة عدم وجود الأكسجين تتكون أحماض عضوية وكحول وغازات (مثل ثانى أكسيد الكربون والميثان وكبريتيد الهيدروجين) كنانتج ثانوى لعملية تحلل الكربوهيدرات بالبكتريا. والجدير بالذكر أن تكوين الأحماض العضوية بنسب كبيرة يؤثر سلبا على النشاط والنمو الحيوي في الفضلات السائلة وذلك نسبة لإنخفاض الرقم الهيدروجيني.

الشحوم والزيوت (Oil and grease)

من المعروف أن الزيوت والشحوم مركبات لا تذوب في الماء، غير أنها تذوب في مذيبات عضوية مثل البترول والكلوروفورم والإيثر. وهى مركبات استر الكحول أو الجليسرول والأحماض الدهنية، وتتكون من الكربون والهيدروجين والأكسجين بنسب مختلفة. والشحوم والزيوت أكثر ثباتاً ضد التحلل البكتيرى من بقية المركبات العضوية، غير أنه يسهل تحطيمها بالأحماض المعدنية مما يساعد على تكوين الجلسرين والأحماض الدهنية.

تعوق الزيوت والشحوم عمليات المعالجة الحيوية، كما وأنها تكون مناظر غير مستحبة عندما يتم التخلص منها على ضفاف الأنهار وسواحل البحار والمسطحات المائية. وعند تواجد الشحوم بكميات كبيرة - عند تنقية المياه - فإنها تسد المرشحات والفتحات ومسام المادة المرشحة، كما وأنها تغطى حوائط أحواض الترسيب، وتتفكك لتزيد من كمية الزبد والغثاء. وتتأثر سلباً مرشحات النضيض وأحواض الحمأة النشطة بالزيوت والشحوم وذلك لأنها تحد من النشاط والنمو الحيوي مما يحول دون إنتقال الأكسجين من السائل إلى داخل الخلية الحية، وعليه فمن الواجب إستخلاصها قبل البدء في مرحلة المعالجة الحيوية {3، 27}

الفينول (Phenols)

الفينول مجموعة من المركبات الأروماتية، تتكون من واحد أو أكثر من مجموعة الهيدروكسيل متصلة بحلقة بنزين. يمكن الحصول على الفينول من قطران الفحم، ويلجأ للتصنيع للحصول على كميات كبيرة منه. ووجود الفينول في الفضلات السائلة ربما نتج من مصادر صناعية مثل الفحم والغازات، أو من صناعة البترول. يغير الفينول من طعم الماء عند تواجده فيه خاصة عند تواجد الكلور ولو بتركيز بسيط جداً (001,. ملجم/لتر) وذلك نسبة لتكوين الكلوروفينول المسرطن.

العناصر القليلة (Trace elements)

تتفاوت درجة السمية للمعادن طبقاً لمؤثرات عديدة مثل: درجة تركيز المادة وفترة التعرض ودرجة الحرارة ونوع المعدن. ومن المعادن ذات السمية: الرصاص والنحاس والفضة والكروم والزرنيخ والبورون. ولابد من معرفة كمية هذه المعادن خاصة عند استخدام طرق المعالجة الحيوية في محطات المعالجة وذلك لآثارها السلبية عليها. كما وتوجد معادن أخرى تؤثر بسميتها مثل: النيكل والمنجنيز والزئبق. وهذه العناصر سامة للنبات والحيوان، كما ويمكنها التراكم في البيئة. ومن هذه العناصر مواد تؤثر على عمليات التنقية والمعالجة، وقد تحد من إعادة استخدام ودوران المياه، وبعض من هذه العناصر يؤثر سلباً على الأعصاب.

الفلور (Flouride)

يمكن أن يتواجد الفلور في المياه الجوفية من إذابة الصخور الرسوبية. والفلور سام للإنسان والحيوان عند استخدام كميات كبيرة من الماء، كما ويغير لون الإنسان ويؤثر على العظام مما ينتج عنه تشوهات الهيكل العظمي. غير أن الفلور مهم لمنع تسوس الأسنان خاصة لدى الأطفال، إذ يتفاعل مع مينا الأسنان ليكون أسنان قوية أكثر مقاومة للتسوس خاصة عند مرحلة تكون الأسنان الدائمة.

4-2 الخواص الحيوية والبكتيريولوجية :Biological & Bacteriological Characteristics

تنقسم الأحياء المجهرية إلى ثلاثة ممالك تضم مملكة النبات Plantae ومملكة الحيوان Animalia ومملكة الأحياء المجهرية .Protista وهذه المملكة الأخيرة تضم الكائنات وحيدة الخلية والخلايا البسيطة والكائنات متعددة الخلايا. ويلعب علم الميكروبيولوجي دوراً أساسياً في التقانة والحياة العامة وصحة الإنسان وطعامه، كما ولها دور بارز في العديد من الصناعات والمناشط الزراعية والطبية وعلى سبيل المثال لا الحصر يستخدم علم الميكروبيولوجى في الآتى {3، 4، 9}:

- صناعة الطعام مثل تخمير العجين لعمل الخبز بواسطة الفطرية السكرية الجعوية Saccharomyces cerevisiae وتحضير الخل بمساعدة بكتريا الحمض الخلي، وصناعة الجبن والزبد بمساعدة باكتريا الحمض اللبني والعصيات الملبنة (عصيات اللاكتوز.Lactobacilli)
- الصناعات الكيميائية كما في إنتاج الأسيتون والبيتانول بواسطة المطثية اسيتوبوتيليكم-Colstridium aceto butylicum وصناعة بعض الأحماض العضوية كحمض الليمون Citric acid والحمض الجلوكوني

التي تنتج بواسطة الرشاشية السوداء Aspergillus niger Gluconic acid ، وإنتاج بعض الإنزيمات مثل إنتاج إنزيم ستربتوكيناز Streptokinase بواسطة العقدية الحالة للدم Streptococcus hemolyticus وإنزيم انفيرتاس Invertas والذي تنتجه الفطريات مثل الفطرية السكرية الجعوية Saccharomyces cervisiae.

- معالجة الأمراض المعدية وغيرها من تلك الأمراض التي تصيب الإنسان والحيوان والنبات، مثل المعالجة بالمواد الكيميائية كالهرمونات والمضادات الحيوية. وأيضاً إنتاج البنسلين بواسطة مصنفات المكنسية Penicillium spp. وتحضير الاستربتوميسين Streptomycin بواسطة الاستربتوميسين ايروفاسينس والاستربتوميسين رايموسس.S. aureofaciens, S. rimousus
- معالجة الفضلات وتنقية المياه بالطرق الحيوية.
- إنتاج مواد التغذية المساعدة لاستخدامها كغذاء للطيور والحيوانات.
- المدخلات الزراعية لتثبيت النتروجين في التربة والبذور والتحكم الحيوي في الحشرات والأعشاب وغيرها.
- موازنة الفضلات والمخلفات.
- إنتاج الأسمدة والوقود وغاز الميثان.
- تصنيع الغذاء والعلاف.
- التنقية الذاتية للأنهار ومجاري المياه السطحية خاصة تلك المستقبلة لفضلات سائلة ملوثة.

ومن أهم العوامل المؤثرة على زمن تكاثر الأحياء المجهرية: مواد التغذية، والعوامل البيئية المحيطة (مثل: درجة الحرارة ووجود مواد سامة ووجود كائنات أخرى منافسة ووجود غازات ذائبة والرقم الهيدروجيني ومحتوى النداوة والضغط الحاولي والإشعاع والضغط الهيدروستاتيكي ونوع الكائن المجهري)، ونوع الماء ودرجة نقاوته وعذوبته، والموسم الفصلي، والزمن مذ افراز الكائن المجهري، وبيئة التكاثر (مثل: الماء والهواء والتربة والنبات والمحصول). ومن أهم أنواع الأحياء المجهرية المؤثرة في مجالات المياه والفضلات السائلة: البكتريا والحمات والطحالب والفطريات والحيوانات الأوإلى والديدان.

ولتحديد أفضل المعايير لسلامة وصلاحية المياه للاستعمال تجرى التجارب والقياسات البكترولوجية للماء. وهنالك أنواع من الأحياء المجهرية يعزى إليها الطعم البغيض في الماء والروائح الكريهة، وأنواع أخرى تساعد في تآكل الخرسانة والمعادن المصنع منها المنشآت، كما ويؤدي تكاثر الأحياء المجهرية إلى تغير في نوع الماء وتلوث البيئة المائية. وتوجد أنواع أخرى من الأحياء المجهرية تسبب الأمراض. وعليه لا بد من تحديد نوع الميكروبات في الماء وكميتها للتمكن من إزالتها والقضاء عليها. غير أن هنالك أسباب عملية وعلمية يصعب معها عمل التحاليل المتكاملة لتحديد وجود كل كائن حي على حدة. ولذا فقد اصطلح عالمياً على تحديد استخدام مؤشر، عند وجوده تزيد إحتمالات وجود أحياء مجهرية أخرى ضارة. ومن خواص الكائن المؤشر المثالي: أنه يتواجد طبيعياً وبدرجات تركيز أعلى من الجراثيم والممرضات، كما وأنه يظهر في كل أنواع المياه، ويتواجد عند تواجد الجراثيم، ويسهل اكتشافه وتعداده، ويتعايش مع الجراثيم والممرضات دونما أن يجلب المرض. ومن أهم الكائنات المستخدمة في هذا السياق: الإشريكية القولونية Escherichia coli من عائلة البكتريا القولونية،

والتي توجد عادة في جهاز هضم الحيوانات ذات الدم الحار. ومن المعروف أن الإشريكية القولونية والإستربتوكوكاي البرازية Fecal streptococci (enterococci) تعيش في جهاز أمعاء الإنسان والحيوانات ذات الدم الحار وفي التربة، وتفرز بكميات كبيرة جداً في البراز (50×10^6 مستعمرة لكل جرام من البراز). ومن الأنسب البحث عن الإستربتوكوكاي البرازية خاصة نوع *Streptococcus faecalis* لتأكيد التلوث البرازي. وإذا ظهر في الاختبار الحيوي وجود هذه البكتريا يمكن الإفتراض أن هذه المياه ملوثة بفضلات بشرية، الشيء الذي يستدعي تنقية الماء قبل شربه. وقد تستدعي الضرورة أحياناً إجراء تحاليل أخرى لنوع معين من البكتريا أو الفيروسات أو غيرها من مسببات المرض. ولابد من ذكر أن كائنات القولون غير كافية لوحدها لتعكس وجود أو إعطاء تقدير لدرجات تركيز الممرضات والجراثيم الفيروسية (الحمات) أو الحيوانات الأوالي.

2-5 تلوث المياه الجوفية

من المتوقع أن تكون المياه الجوفية ذات نوعية جيدة نسبة لخضوعها للترشيح الذي تقوم به طبيعياً طبقات التربة أثناء تغلغل المياه ونفاذها خلال مسامها. وتعتمد المسافة التي يمكن أن يقطعها الملوث على: نوع الملوث وكميته ، وطبغرافية المنطقة، وهايدرولوجية الخزان الجوفي وخواص الماء به. فمثلاً تقوم الطبقات الرملية الناعمة بإزالة المواد الصلبة العالقة والبكتريا من المياه عبر مسافات قصيرة، غير أن الطبقات المكونة من الحصى أو الصخور المكسرة تسمح بمرور نفس الملوثات عبر مسافات أطول. كما ولا تتأثر الملوثات الذائبة بعملية الترشيح داخل التربة مثل تأثرها بعوامل أخرى مثل قوى الإمتزاز. ومما يفاقم من مخاطر الملوثات السرعة البطيئة التي تنساب بها المياه الجوفية عبر طبقات التربة، ففي المتوسط تنساب المياه الجوفية بسرعة تقدر بحوإلى 30 متر على السنة {3، 28} اعتماداً على نفاذية الخزان الجوفي. وعليه فإن الخزان الملوث يستمر على درجة تلوثه لمئات السنين. عادة تحوي كل المياه الجوفية أملاح ذائبة تتفاوت في مقدارها ونوعها طبقاً: للبيئة المحلية، ومصدر المياه، ومساحة الخزان الجوفي، ونوع وتكوين الطبقات ومحتواها الكيميائي، ونوع ودرجة ذوبانية المعادن، وزمن التلامس، وسرعة دفق المياه الجوفية. ومن المعروف أن الصخور الرسوبية ذات ذوبانية أكثر من الصخور النارية. وعادة تزداد الملوحة بزيادة العمق داخل الأرض. ويقود تلوث المياه الجوفية إلى الحد من استخدام المياه وربما أتى بمخاطر صحية من جراء التسمم أو عن طريق إنتشار الأمراض. ويمكن إجمال مصادر وأنواع الملوثات التي قد تجد طريقها لخزان المياه الجوفي في الآتي {3، 4، 27، 28، 30، 31}

<u>المواد العضوية المصنعة:</u> توجد عدة مواد عضوية مصنعة معظمها سام، وبعضها مسرطن، أو ربما أثر سلباً على الصحة العامة حتى عند وجوده على درجات تركيز قليلة، ومن أمثلتها مجموعات الهايدروكربونات المكلورة (مثل ثلاثي كلور الإيثلين Trichloroethylene ورباعي كلوريد الكربون Carbon tetrachloride) ولتفادي مشاكل هذه المواد ينصح بهجر الآبار الملوثة وحفر أخرى بديلة، أو اللجوء إلى مورد مائي آخر، وربما اقتضى الحال العمل على تنقية المياه الجوفية باستخدام وحدات مناسبة مثل وحدات التهوئة والكربون النشط لإزالة الملوثات متى توفرت الخبرة والتقانة والأموال لاسيما و ترفع تنقية المياه الجوفية من تكاليف الإنشاء والتشغيل والصيانة.

المعادن الذائبة: تنجم المعادن الذائبة من ذوبان المعادن الموجودة بالتربة والصخور الحاوية لها، وذلك بعد ملامسة المعادن للمياه بعد مضى فترة زمنية مناسبة. وتزيد هذه المعادن من عسر الماء الجوفي مقارنة بالماء السطحي، غير أنها لا تؤثر سلبا على نوعية المياه في الغالب الأعم مما لا يجعل تواجدها يشكل أى مخاطر صحية.

الفضلات السائلة البشرية: ربما تسربت الملوثات بفعل الطرق المستخدمة للتخاص من الفضلات السائلة البشرية للمياه الجوفية في المناطق الريفية والمناطق الحضرية المنعزلة وضواحي المدن أو حيثما لا يوجد نظام صرف صحي. فمثلاً قد يتسرب السائل الناتج من وحدة التحليل اللاهوائي (خزان التحليل) إلى المياه الجوفية طبقاً لأسلوب التخاص النهائي المعمول به. وقد تتلوث المياه الجوفية أحياء مجهرية برازية وحمات. وفي بعض الأحوال تتلوث المياه بمواد عضوية مثل ثلاثي كلور الإيثلين المسرطن عند استخدام المنظفات الحاوية له لنظافة أحواض التحليل اللاهوائي. ومن الملوثات الأخرى المحتملة: المنظفات والنترات والكلوريدات. وتزداد المخاطر الصحية وتتغير بناءاً على نوع المنشأة الصحية المستخدمة وأنماط التصميم والإنشاء والتشغيل والإصلاح.

المخلفات السائلة والنفاية والفضلات الصلبة الصناعية والخطرة: ربما وجدت المخلفات الصناعية والخطرة المتخاص منها في المسطحات المائية (مثل: البرك والبحيرات والبحار، والآبار) طريقها للمياه الجوفية، لاسيما وقد وجدت في المياه الجوفية مركبات عضوية مثل ثنائي الفينول متعدد الكلورة Polychlorinated biphenol (PCB)، والبنزين، وثلاثي كلورإيثلين Trichloroethylene المستخدم في إذابة وإزالة الدهون والشحوم. وقد تحتوي المياه الجوفية على معادن أخرى مثل السيلونيوم والزرنيخ والسيانيد بدرجات تركيز متفاوتة. وربما أدى التخاص من المياه المستخدمة في التبريد إلى زيادة أملاح ورفع درجة حرارة المياه الجوفية.

الفضلات الحيوانية: تزداد الفضلات الحيوانية من روث الحيوانات المحصورة في مناطق الإنتاج الحيواني (مثل مناطق صناعة الألبان واللحوم). وبإزداد أعداد الحيوانات تزداد فضلاتها مما يؤدي إلى أن تفقد التربة المحيطة قدرتها على الإمتصاص والتمثيل وتتشبع بسوائل ومواد الروث. ثم تقوم مياه الأمطار بحمل الملوثات وربما أوصلتها للمياه الجوفية. ومن هذه الملوثات الأملاح والأحمال العضوية ومركبات النتروجين والبكتريا.

النفاية المنزلية الصلبة: ويقصد بها تلك النفاية التي يتم التخاص منها بالدفن بطرق عشوائية وغير صحية. إذ ينساب السائل الناتج من ضغط وعصر النفاية leachate للخزان الجوفي عندما يتم الدفن في مناطق منخفضة، أوعندما يكون منسوب المياه الجوفية عالياً، أو عندما تكون التربة ذات مسامية عالية (مثلما يوجد في طبقات الرمل والحصى). ويلوث هذا السائل الخزان الجوفي لإحتوائه على درجة عالية من الأكسجين الحيا-كيميائي، والأكسجين الكيميائي، والمواد الصلبة، والكلوريد، والنترات، والحديد، والمنجنيز، والمواد العضوية، والمعادن الثقيلة وغيرها من الملوثات. ومن المصادر المتوقعة لزيادة المياه الملوثة الصادرة من المدفن: الأمطار، وتسرب المياه السطحية، والمياه المتسربة من المناطق المحيطة بمنطقة دفن النفاية، والمياه الجوفية الملامسة للنفاية ذات المنسوب المرتفع. ومن الغازات الملوثة المتواجدة بالمدفن: الميثان وثاني أكسيد الكربون والأمونيا وكبريتيد الهيدروجين. ويمكن الحد من أثر هذه الملوثات - بغية تلافي تلوث المياه الجوفية والتخاص الأمثل لسائل المدفن - بإتباع أسلوب الدفن الصحي Sanitary landfill والذي يعتمد لحسن أدائه على الاختيار الجيد لموقع الدفن والتصميم الهندسي الجيد والتشغيل المناسب له.

مناطق استخراج النفط: يتبع استخراج النفط صرف كميات كبيرة من المياه في شكل محلول ملحي قد يحتوى على صوديوم وكالسيوم وأمونيا وبورون وكلوريد وكبريتات وقليل من المعادن بالإضافة إلى نسب عالية من المواد الصلبة الذائبة والجازولين وزيت المحرك. ويتم التخلص من هذا المحلول في بعض المناطق في برك التبخر أو بالإلقاء في المسطحات المائية. وقد عملت العديد من الدول على منع استخدام هذه الطرق للحد من تلوث المياه الجوفية. غير أنه يمكن التخلص من المحلول المالح باستخدام الآبار العميقة في مناطق تحتوى طبغرافيتها على طبقات معزولة من خزانات المياه الجوفية، كما ويجب مراعاة أساليب وأنماط التصميم الجيد عند حفر وغلق آبار التخلص لتلافي أى تلوث ثانوي. وفي بعض المناطق ربما اقتضى الحال ضخ المياه الجوفية لفصل الزيت عنها ثم إعادتها للخزان الجوفي مرة أخرى. وفي هذا المنحي تشكل التكاليف وحجم التلوث وتقانة الأداء معياراً أساسياً وهاماً للاختيار والمفاضلة والتطبيق.

التسرب من الخزانات الأرضية: قد يؤدي تخزين الموائع والمواد الكيميائية في الكثير من المنشآت الصناعية والتجارية إلى تلوث الخزان الجوفي المجاور عندما تنهار الخزانات أوالأنابيب الموصلة إليها أو تتدنى كفاءتها لأي سبب. ومن أكثر أنواع التسرب حدوثاً تسرب الزيت والجازولين من الخزانات الحديدية الصديئة مثلاً من محطات خدمة البترول. ونسبة لقلة إمتزاج الزيت بالماء فإنه يتسرب إلى داخل التربة متحركاً إلى الأسفل عبر طبقة التربة المسامية إلى أن يصل إلى الخزان الجوفي. ثم ينتشر الزيت في الخزان الجوفي مكوناً طبقة فوق منسوب المياه، ومن ثم يتحرك عرضياً مع إتجاه المياه الجوفية ودفقها. ومن أساليب الوقاية المتبعة في هذا المنحي استخدام أحواض الألياف الزجاجية Fibreglass بدلاً من خزانات الحديد.

مناجم التعدين: تنتج مناجم التعدين عدة ملوثات تتفاوت في درجة تلوثها طبقاً لنوع المادة المستخرجة من المنجم وطريقة التعدين المتبعة. وتعتبر مناجم الفحم والفوسفات واليورانيوم والحديد والنحاس والخارصين والرصاص من أكبر مصادر التلوث. وربما اقتضى الحال نزح المياه للخارج عند حفر المناجم. وربما زادت نسب المعادن (مثل الحديد والألمونيوم والكبريتات) بالمياه المستخرجة مما يقلل من رقمها الهيدروجيني ويجعلها حمضية، الشيء الذي يفاقم من مقدار تلوث المياه الجوفية. وعادة تقرن مترسبات الفحم بمادة البايرايت Pyrite (FeS_2) والتي تتأكسد منتجة كبريتات الحديد وحمض الكبريت. وتلوث المياه الجوفية بهذه المواد يقود إلى نقصان الرقم الهيدروجيني وزيادة درجة تركيز الحديد والكبريتات. كما وقد تحتوى المياه السطحية المتدفقة بالقرب من المنجم على معادن ذائبة وغيرها من المواد الصلبة والمواد الحمضية، كما وربما احتوت على مواد مشعة. وتقوم كل هذه المواد بتلويث المياه الجوفية عند تسربها لداخل المناجم المفتوحة أو عبر الدهاليز والممرات.

الحوادث والكوارث البيئية: تؤدي حوادث القطارات والخزانات والأنابيب الطويلة والشاحنات المحملة بمود نفطية أو خطرة أو قابلة للإشتعال إلى تلوث المياه الجوفية بالزيت والجازولين. وتقود هذه الملوثات إلى تغيرطعم ورائحة الماء حتى عند درجات التركيز القليلة. كما وأن الجازولين يحتوي على مواد مسرطنة مثل ثاني بروم الإيثلين Ethylene dibromide والبنزين. كما ويؤدي التخلص من السوائل في سطح التربة بصورة غير محكمة إلى تلوث المياه الجوفية. ومن الأمثلة في هذا المجال التلوث الصناعي في المنطقة المحيطة عند فقدان السوائل وهدرها أثناء الترحيل والتسرب من الأنابيب والمحابس.

الزراعة: تعتبر النترات من أهم ملوثات المياه الجوفية الناتجة من عمليات الري والإستصلاح الزراعي بالأسمدة والمبيدات الحشرية. وذلك لعلاقة النترات بمرض زرقة الأطفال خاصة في التربة الرملية التي تسمح نفاذيتها بتسرب النترات إلى داخل الخزان الجوفي. وتعتمد درجة التلوث على: نوع الملوثات وكميتها ، وطبغرافية المنطقة، ونوع المياه المستخدمة للزراعة وكميتها ، وأسلوب الري المتبع. إن الأسمدة عادة تتكون من النتروجين والفسفور والبوتاسيوم، وتقوم حبيبات التربة بسهولة بإمتزاز الفسفور والبوتاسيوم، غير أن استخدام النتروجين يتم جزئياً في التربة وبوساطة النبات، الشيء الذي يزيد من مخاطره. وتستخدم محسنات التربة مثل الجير والجبص والكبريت للأراضى المروية لتغير من الخصائص الطبيعية والكيميائية للتربة، وربما وجدت الكثير من هذه المواد طريقها للمياه الجوفية. ويعتمد التلوث بالمبيدات على كمية المبيد المستغلة والمتبقية، والظروف المناخية بالمنطقة، ومعدل الري، وخواص التربة ونوع المبيد والجرعة المستخدمة. وعامة فإن المبيدات غير قابلة للذوبان في الماء، وبعضها يتم إمتزازه بسهولة بوساطة حبيبات التربة، وبعضها الآخر يخضع للتفتيت الحيوى طبقاً لمكوناتها. وتعتبر العديد من المبيدات مواد مسرطنة.

تسرب المياه المالحة: تتمركز مخاطر تسرب المياه المالحة في المناطق الساحلية عند زيادة استهلاك المياه الجوفية للإستصلاح الزراعي، ونمو المدن وتزيينها ، وإزدياد الرقعة السكنية، وإزدهار الصناعة وغيرها من ضروب الإستثمار والتنمية. وينقص معدل تغذية المياه الجوفية في هذه المناطق من جراء التوسع في إنشاء الطرق ومواقف السيارات، ورصف العديد من المناطق مما يقود إلى هبوط منسوب المياه الجوفية. وربما أدى الوضع إلى تسرب المياه المالحة مما يحد كثيراً من استخدام الآبار. وبما أن المياه العذبة أخف من المياه المالحة (الكثافة النوعية للماء المالح حوإلى 1.025) فإنها تطفو على طبقة من المياه المالحة، ويتغير الإتزان الأصلي عندما يتم ضخ الخزان الجوفي وبذا تحل المياه المالحة محل المياه العذبة. ومن الطرق المتبعة لإصلاح الحال هجر الآبار المالحة، وترشيد استخدام المياه، والتغذية المصطنعة للمياه الجوفية من مورد ماء نقى أو ماء معالج.

تسرب مياه المجاري: يحدث التسرب من المجاري القديمة أو المعطوبة أو من جراء الكسر والتهشم بفعل الحوادث أو جذور الأشجار أو الأحمال الثقيلة أو الإنزلاقات الأرضية أو الزلازل أو فقدان دعامة الأساس أو كنتيجة لقوى القص في حالة الهبوط المتفاوت لنقاط التفتيش أو غيرها من العوامل المؤثرة. وربما أدى التسرب من المجاري إلى رفع نسبة الأكسجين الحيا-كيميائي والأكسجين الكيميائي والنترات والمواد العضوية وربما زاد من أعداد البكتريا في المياه الجوفية. وفي المناطق المتكدسة بالصناعات ربما رفع التسرب (النابع من شبكات المجاري) من درجات تركيز المعادن الثقيلة (مثل الزرنيخ والكادميوم والكروم والكوبالت والنحاس والحديد والمانجنيز والرصاص والزئبق) طبقاً لنوع الصناعات السائدة بالمنطقة ومقدار التسرب.

ومما يجدر ذكره أن عوامل التنقية الطبيعية (المتطلبة لتخفيف درجات تركيز الملوثات الكيميائية الموجودة بالمياه الجوفية) تحتاج إلى عشرات بله مئات السنين لتقوم بالتنظيف والتنقية اللازمة. كما وأن أساليب التنظيف والتنقية باهظة الثمن وغير عملية. وعليه فمن الأجدر العمل على منع التلوث بعمل الآتي {3، 19، 28، 30، 31}:

1. سن القوانين واللوائح والتشريعات الملائمة والرادعة واستنباطها وتطبيقها ومراجعتها وتقويمها للتخلص من الفضلات والمخلفات والنفاية.

2. سن التشريعات الملزمة للاختيار الأمثل لتحديد منطقة أنظمة التحليل اللاهوائي المنتقاة للتخلص من الفضلات السائلة ووضعها وتصميمها وتشييدها وعملها وترميمها
3. وضع آبار للمراقبة الدورية والدائمة والمستمرة.
4. الإدارة الجيدة من قبل جهات الإختصاص لاستخدام الأراضي واستصلاحها والحد من استغلال أراضي تغذية الخزان الجوفي.
5. ترشيد ومراقبة استخدام المبيدات والأسمدة واختبار صلاحيتها في المناطق الزراعية.
6. إتباع أساليب مناسبة للرقابة، وأخذ العينات، وتحليل المياه الجوفية، ومتابعة ارتفاع منسوب المياه الجوفية وهبوطه ، وسرعة الدفق واتجاهه ، وتحديد محتوى النداوة، وعمل المسوحات الجيولوجية، وعمل التصوير الجوي، وتحديد الملوثات، واستخدامات المياه الجوفية.
7. زيادة الوعي البيئي للجمهور والعامة والخاصة.

تحتاج إزالة المواد الملوثة من المياه الجوفية إلى فترة طويلة من الزمن عبر إنسياب المياه وقطعها لمسافات شاسعة. ومن العوامل المؤثرة في عملية الإزالة للمواد الملوثة: الترشيح، والإمتصاص والإمتزاز، والتفاعلات الكيميائية والكيموحيوية، والتخفيف. وتعتمد الإزالة على: نوع الملوث ودرجة تركيزه، والخواص الهايدرولوجية والجيولوجية للمنطقة المعنية. يعمل الترشيح للتخلص من المواد الصلبة العالقة والحديد والمنجنيز. أما قوى الإمتصاص والإمتزاز فتعتمد على نوع الملوث والخواص الكيميائية والطبيعية للمحاول والمياه الجوفية وطبقات التربة. ويقوم الطين وأكاسيد وهيدروكسيل المعادن والمواد العضوية بدور المواد الممتصة والممتزة. ويتم إمتزاز وإمتصاص العديد من الملوثات تحت ظروف معينة بإستثناء الكلوريد والنترات والكبريتات. أما التفاعلات الكيميائية فتعمل على التخلص من عدة ملوثات عند تواجد أيوناتها بنسب مناسبة. ونسبة لأن معظم الأحياء المجهرية لا تتكاثر في التربة فتضمحل أعدادها طبقا لنوعها والظروف البيئية المحيطة. كما وأن البكتريا والفيروسات تتحرك ببطء عبر مسامات التربة مقارنة بتحركها عبر الماء. وقد أشارت بعض الأبحاث {28} إلى إستخلاص هذه الجراثيم بصورة كبيرة عبر التربة لعمق متر بإفتراض وجود كميات كبيرة من الطين والغرين أو الطمى بالمنطقة.

2-6 تلوث البيئة البحرية: {4، 29، 32-40}

إن البيئة البحرية هى مصدر خير ورزق للعديد من الدول لا سيما تلك المطلة عليها والمجاورة لها. وقال المولى عز وجل في محكم التنزيل "**إن في خلق السموات والأرض واختلاف الليل والنهار والفُلك التي تجري في البحر بما ينفع الناس ومآ أنزلّ الله من السماء من مآء فأحيا به الأرض بعد موتها وبث فيها من كل دآبة وتصريف الرياح والسحاب المسخر بين السمآء والأرض لأيات لقوم يعقلون**" البقرة 164. وقال جل من قال "**أحل لكم صيد البحر وطعامه متاعاً لكم وللسيارة وحرم عليكم صيد البر مادمتم حرماً واتقوا الله الذي إليه تحشرون**" المائدة 96. وقال جل جلاله "**الله الذي خلقَ السموات والأرض وأنزلّ من السمآء مآء فأخرج به من الثمرات رزقاً لكم وسخر لكم الفُلك لتجرى في البحر بأمره وسخر لكم الأنهار**" ابراهيم 32. وقال تبارك وتعإلى "**وهو الذي سخر البحر لتأكلوا منه لحماً طرياً وتستخرجوا منه حليةً تلبسونها وترى الفلك مواخر فيه ولتبتغوا من**

فضله لعلكم تشكرون" النحل 14. وقال الحق جل شأنه "ألم تر أن الله سخر لكم مافي الأرض والفلك تجرى في البحر بأمره ويمسك السمآء أن تقع على الأرض إلا بإذنه إن الله بالناس لرءوفٌ رحيم" الحج 65. وقال المولى عز وجل "**وهو الذي مرج البحرين هذا عذب فراتٌ وهذا ملح أجاج وجعلَ بينهما برزخاً وحجراً محجوراً**" الفرقان 53. وقال جل شأنه "**ظهر الفساد في البر والبحر بما كسبتْ أيدى الناس ليذيقهم بعض الذي عملوا لعلهم يرجعونَ**" الروم 41. وقال سبحانه وتعإلى "**ألم تر أن الفلك تجرى في البحر بنعمت الله ليريكم من اياته إن في ذلك لأيات لكل صبار شكور**" لقمان 31. وقال جل القائل "**ومايستوى البحران هذا عذب فراتٌ سآئغٌ شرابه وهذا ملح أجاج ومن كلٍ تأكلون لحماً طرياً وتستخرجون حلية تلبسونها وترى الفلك فيه مواخر لتبتغوا من فضله ولعلكم تشكرون" فاطر 12. وقال تبارك وتعإلى "ومن اياته الجوار في البحر كالأعلام**" الشورى 32. وقال جل جلاله "**الله الذي سخر لكم البحر لتجرى الفلك فيه بأمره ولتبتغوا من فضله ولعلكم تشكرون**" الجاثية 12.

و يمكن تلخيص أهمية البحار والمسطحات المائية فيما يلي:

أ) مصدر حيوي هام للثروة الغذائية للحصول على البروتين اللازم لبناء الجسم.

ب) تفي باحتياجات المناطق المجاورة بمتطلباتها من الماء بعد إجراء عمليات التحلية والتنقية الملائمة.

ج) تُستخدم كمناطق ترفيه وإستجمام وسياحة.

د) تُعتبر من أهم مصادر الموارد الطبيعية (مثل: إنتاج الماغنيسيوم والبوتاسيوم)

ه) تقوم بجانبها الصناعات الإنتاجية المستفيدة من وجود الموانئ (بغية التصدير والإستيراد للمواد الخام والمواد الإنتاجية)، كما وأنها قد تستخدم مياه البحر للتبريد أو لإستقبال مخلفاتها المعالجة.

و) تقوم بجانبها الصناعات الغذائية التجارية المحتاجة لمساحة لإنتاج أو تربية الكائنات البحرية.

ز) تمثل أسلوب مناسب وقليل التكاليف للنقل والمواصلات.

غير أن البحار والمسطحات المائية قد أعتبرت (ولسنوات غير بعيدة) مستودعات لانهائية للتخلص من الفضلات والمخلفات بجميع صورها. وقد تغير واقع هذا المعتقد في الوقت الراهن بفضل التقدم العلمي والذي أشار إلى أن البيئة البحرية يسهل التأثير عليها ومن ثم تدهورها. إن أى خارطة مبسطة للمسطحات المائية الضخمة تشير إلى وجود منطقتين كبيرتين يعرفان بالجناح القاري (Continental shelf) والمياه العميقة (Deep ocean) وتعتبر المنطقة الأولى من أغنى المناطق وأكثرها إنتاجاً لمصادر الغذاء، غير أنها تتعرض لأكبر قدر من التلوث، الشيء الذي قد يعرضها للقفل تجاه نشاط الصيد وربما حد من الاستخدام الأمثل لها. كما يمكن أيضاً تقسيم المحيط إلى قسمين رئيسين يضمان: منطقة الساحل (Coastal ocean) والمياه المكشوفة (Open ocean). تمثل المنطقة الأولى ما يقارب العشرة بالمائة من المساحة الكلية للمحيط بما فيها من خلجان و بحيرات ودلتا الأنهار. وتتأثر خصائص هذه المنطقة بما حولها من يابسة وقعر البحر. غير أن هذه المنطقة تستقبل الملوثات مباشرة من مصادر التلوث المتعددة، الشيء الذي يجعل من هذه المشارب مناطق نمو وتفاعلات حيوية ثرة: من إنتاج للمواد العضوية، عبوراً للتمثيل الضوئي للنباتات والتي تمثل أسباب وأسس السلسلة الغذائية

المنتهية بالأسماك والطيور والثديات البحرية. أما المياه المكشوفة فتمثل صحارى المسطحات المائية في الغالب الأعم عدا الشواذ منها مثل المسطحات المائية الإنتاجية بالمناطق الإستوائية.

تلوث المسطحات المائية:

يمكن تعريف التلوث البحري بأنه إدخال مواد أو طاقة في البيئة البحرية بوساطة الإنسان، بطرق مباشرة أو غير مباشرة، الشيء الذي ينجم عنه آثار ضارة للموارد الحية أو مخاطر لصحة الإنسان وحيواناته أو تقليل للنشاطات البحرية (بما فيها من صيد) وتدهور نوعية مياه البحار والحيلولة دونما الاستخدام الأمثل لها.

أما أهم طرق ترحيل وجلب المواد الملوثة من اليابسة إلى البحار فيمكن تقسيمها إلى طرق طبيعية وأخرى مصنعة. ومصدر الطرق الطبيعية الأنهار والرياح وجرف الجليد. أما الطرق المصطنعة فهى من فعل الإنسان ومن أهمها مصبات الفضلات المنزلية والصناعية والزراعية والتلوث بوساطة السفن.

أما المناطق التي قد تتأثر أكثر من غيرها بالملوثات فتتمثل في المناطق الساحلية والجزر، وذلك نسبة لصغر المساحة مقارنة بالمسطح المائي المحاصر لها. ومن هنا فإن التلوث البحري يؤثر أولاً على مثل هذه الأجزاء من اليابسة مما يجعلها أكثر عرضة لمخاطره ، كما حدث في حالة اليابان عندما ظهرت بها أمراض التلوث مثل: مرض خليج ميناماتا من جراء التلوث بميثيل الزئبق ، ومرض يوشو (Yusho) بالتسمم بمواد البوليفينيل المكلورة (Polychlorinated biphenyls, PCB) ، ومرض آيتي-آيتي (*Itai-Itai*) من جراء التسمم بالكادميوم. أو كما حدث في سواحل ومرافئ دول الخليج العربي أثناء حرب الخليج وتدفق النفط من الآبار الكويتية وما نتج من جرائه من دمار للبيئة البحرية والساحلية ومخاطر لقاطنيها من كائنات بحرية وحيوانات وطيور وغيرها من العوامل المنظورة والمستترة الضارة بالإنسان.

أنواع و مخاطر التلوث البحري:

إن أي تلوث يجد طريقه للمسطح المائي قد يفسد المياه فيه ، ومن ثم يؤدي إلى تدهور الصحة العامة للإنسان الشيء الذي يؤثر سلباً على نمو الشعوب واقتصادها. ويمكن إيجاز أنواع ومخاطر التلوث في الآتي {3، 29، 32-40}

<u>التلوث الحيوي:</u> يؤدي هذا التلوث إلى تدهور الصحة العامة والعجز والضعف وربما فقدان الحياة بفعل البكتيريا الضارة بالصحة والفيروسات وغيرها من الجراثيم والكائنات الحية الدقيقة المسببة للأمراض والتي قد تجد طريقها من جراء شرب الماء، أو أكل الطعام، أو إستنشاق الهواء، أو بكل هذه العوامل مجتمعة.

<u>التلوث الكيميائي:</u> قد يؤدي هذا التلوث إلى إزدياد عوامل التفتيت والتحات للمنشآت الاقتصادية والتنموية، وقتل الحياة البحرية، والدخول في السلسلة الغذائية. ومثال لذلك موضوع خليج ميناماتا باليابان ودخول الزئبق في السلسلة الغذائية عند استهلاك الأهالي للأسماك والأصداف الملوثة بميثيل الزئبق(Methyl mercury) ، والتي بدأت في أواخر عام 1930م عندما بدأت شركة شيسو (Chisso) الكيميائية بإنتاج كلوريد الفينيل (Vinylchloride) والفورمالدهيد (Formaldehyde) في مصانعها بالخليج قيد الذكر. وقد كانت الشركة تتخلص من الفضلات الناتجة منها والحاوية على الزئبق إلى الخليج المجاور. وبدأت الأسماك والأصداف بتركيز

الزئبق في شكل كلوريد ميثيل الزئبق .(Methyl mercury chloride) وعندما أكل الصيادون وأسرهم والأهالي أسماك المنطقة برز وباء تسمم وأمراض الأعصاب .(Neurological poisoning) وظهرت أولى الحالات في عام 1956 أي بعد ما يربو على خمسة وعشرين عاماً من بداية دخول الفضلات والأوساخ الملوثة للمياه .

و يوضح الجدول 2-8 سمية بعض المركبات الكيمائية للأسماك وغذائها . والمعروف بصفة عامة أن الأسماك والأحياء المائية تنتعش عندما تتراوح قيمة الرقم الهيدروجيني (pH) بين 6.5 إلى 8.4 ، وإذا قلت قيمته عن 5 أو زادت عن 9 تسبب هذا في قتل الأسماك ، وأن أي تغيير في قيمة الرقم الهيدروجيني عن القيمة في المتوسط الذي اعتادت الأسماك العيش فيه، قد يتسبب في فناء الأسماك، كما وأن تركيب الجهاز التنفسى للأسماك كثير الحساسية للأحماض. وتوجد عوامل أخرى في البيئة التي تعيش فيها الأسماك تزيد من حساسيتها للأحماض . فمثلاً إذا زادت درجة الحرارة أو قل محتوى الماء من الأكسجين المذاب تصبح الأسماك أكثر تعرضاً للهلاك بتأثير حموضة الماء. كذلك المياه القلوية التي تزيد فيها قيمة الرقم الهيدروجيني (pH) عن 9 تتلف الجهاز التنفسي للأسماك. وعلى ذلك ينبغي عدم صرف تلك المخلفات بدون معالجة لضبط قيمة الرقم الهيدروجيني بحيث تتناسب مع الوسط الذي تعيش فيه الأسماك.

جدول 2-8: **سمية بعض المركبات الكيميائية للأسماك،** {3، 29}

إسم المادة	درجة تركيزالمادة (جزء في المليون)	الكائن الحي الذي أجري عليه الاختبار	التأثير
حمض الكروميك	0.3 كروم	Daphnia magma	ســـــــــام
حمض الهيدروكلور	HCl 62	Daphnia magma	ســـــــــام
حمض النتريك	HNO3 107	Daphnia magma	ســـــــــام
حمض الكبريتيك	H_2SO_4 88	Daphnia magma	ســـــــــام
الأحماض القلوية	الرقم الهايدروجينى أقل من 5	سمك مختلف	ســـــــــام
كلوريد الكادميوم	0.1 كادميوم	سمك ذهبيGold fish	يقتل خلال 8-18 ساعة
كبريتات الكادميوم	513 كادميوم	المنوة (سمك أوروبي صغير) Minnows	قتل خلال ثلاث ساعات
كبريتات النحاس	0.8 نحاس	سمك ذهبي Gold fish	يقتل خلال 24-96 ساعة
كبريتات النحاس	0.04 نحاس	Daphnia magma	ســـــــــام
كرومات الصوديوم	0.01 كروم	Daphnia magma	ســـــــــام
كرومات (أيون)	0.01 كروم	نبيت صغير Microflora	ســـــــــام
كلوريد الحديديك	34حديد	سمك ذهبي Gold fish	يقتل خلال 1-1.5 ساعة
كبريتات الخارصين	25 خارصين	التروتة (سمك السلمون المرقط Trout)	يقتل خلال 133 ساعة
سيانيد البوتاسيوم	0.04-0.12 سيانيد	سمك ذهبيGold fish	يقتل خلال فترة 3 - 4 أيام
أمونيا	2 - 7 NH_3	سمك مختلف	قـــاتـــــل
كبريتيد الهيدروجين	10 H_2S	سمك ذهبيGold fish	يقتل خلال 99 ساعة
أيون الكبريتيد	3 كبريت	التروتةTrout	يقتل خلال 5 دقائق
هيدروكسيد الصوديوم	156 NaOH	Daphnia magma	ســـــــــام
ثلاثي فوسفات الصوديوم	52 Na_3PO_4	Daphnia magma	ســـــــــام
فينول	0.005 فينول	سمك مختلف	ســـــــــام

المصدر: المرجع 29، منشور بإذن.

تحدد الحياة البحرية مستقبل المواد التي تأتي إليها من اليابسة. وبعض الكائنات لها مقدرة فائقة لتركيز المواد المذابة في مياه البحر حتى ولو كانت درجة تركيز هذه المواد صغيرة جداً. مثلاً تقوم الزقيات - (Tunicates) طائفة من الحيوانات البحرية - بتركيز عنصر الفاناديوم في دمائها. كما وأن بعض الأسماك لها المقدرة على تركيز مادة د.د.ت (DDT) .ومشتقاتها في أجزاء جسمها. وعليه فإن الكائنات البحرية تعمل أحيانا لإسترجاع ملوثات الإنسان إليه عبر السلسلة الغذائية. وهنالك أيضاً التلوث بوساطة المعادن الثقيلة من جراء الصناعة أو عبر الأنهار والتخلص من الفضلات السائلة والصلبة. أما الفلزات الثقيلة (مثل الزئبق والرصاص والكادميوم

والخارصين) فتوجد في ثلاثة صور في البحار: وهى إما ذائبة، أو غروانية، أو في شكل حبيبات ودقائق. وتوجد العديد من العوامل التي تؤثر على سمية الفلزات والمعادن الثقيلة في المحلول، منها على سبيل المثال لا الحصر: حالة المعدن في الماء والتي يمكن تقسيمها إلى قسمين للمواد العضوية وغير العضوية، وهما: الحالة الذائبة (أيون، أيون مركب، وأيون كلابي أو جزئي)، والحالة الأخرى تتعلق بالحالة الصلبة (ما إذا كانت عالقة أو مترسبة أو ممتزة)

- وجود معادن أو سموم أخرى وكيفية عملها (ماإذا كان متحداً أو متداخلاً أو متنافراً)
- العوامل المؤثرة في فسيولوجية الكائن الحي مقارنة مع شكل المعدن في الماء، وتتأثر هذه بعوامل متداخلة منها: درجة الحرارة، والرقم الهيدروجيني، وكمية الأكسجين المذاب، والضوء، ودرجة الملوحة.
- حالة الكائن الحي والتي تتأثر بعدة عوامل منها: وضع الكائن في الحقبة التاريخية المعينة من حياته (بيض، يرقة)؛ والتغير في دورة الحياة (طرح الشعر أو الريش أو الاهاب والتوالد والتكاثر)؛ والعمر؛ وحجم الكائن الحي، ونوعه، ونشاطه، ومقدرته على التعايش في حالات المجاعة أو البيئة العدائية؛ ومدى إحتياجه لحماية إضافية (قوقعة مثلاً)؛ و ملاءمة الكائن للتعايش والتعود على المعدن قيد البحث.
- التجاوب السلوكي والتصرف والتغيرات السلوكية للكائن الحي.

ولتحديد أثر الملوثات على المسطحات المائية توجد بعض الخصائص اللازم تحديدها مثل {3، 29، 32-40}

- درجة تركيز الملوثات.
- مثابرة الملوث للثبات في البيئة.
- مصادر إنتاج الملوثات (الكم الإنتاجي والكيف والاستهلاك)
- قابلية الملوث للتجمع والتركيز في بعض النظم أو الأحياء المائية.
- درجة السمية وقابلية الملوث للتحول من مركب كيميائي إلى آخر ربما إزدادت به درجة السمية، مما يفاقم من المشاكل والتعقيدات في مجال التلوث الكيميائي.

إن الأثر الناجم عن التخلص من العديد من المخلفات والمركبات يصعب تحديده، كما وأن هنالك قصور في المعلومة العلمية عن الأثر الناجم من جراء التفاعلات الحادثة للملوثات مع بعضها البعض. مثلاً قد تكون المعلومة موجودة لأثر ثلاث عناصر كيميائية كل على حدة. غير أن الأثر والمخاطر الناجمة من تأثير إثنين أو ثلاثة عناصر مع بعضهما البعض وبنسب مختلفة لا يوجد، كما وأنه يستعصي تقويم وتحديد مثل هذا التصور ومن ثم العمل على تفاديه وتلافيه في المدى المستقبل.

<u>التلوث الناتج من جراء استخدام المبيدات الحشرية في مقاومة الآفات الزراعية وغيرها:</u>

يحدث التلوث بالمواد الكيمائية السامة الموجودة في المبيدات الحشرية وخاصة الهايدروكربونات المكلورة في المناطق التي تم رشها أو عند معالجة بذور النبات بالمبيدات. وقد يؤدي هذا التلوث إلى قتل الطيور وبعض الأحياء المائية. وخطر الطيور يتمثل في إحتمال انتشار الملوثات بواسطتها إلى مناطق أخرى عبر إلتفاف

الملوثات بأجسامها أو عندما يتم إصطيادها بآكلات الطيور أو تلك التي تعيش على بيضها. ومثل هذه المخاطر تتفاقم نسبة لثبات المواد الكيميائية ومناعتها، لا سيما وقد صنعت هذه المواد أساساً كأداة دمار وتسمم وقتل.

<u>التلوث الحراري:</u>

يحدث التلوث الحراري من جراء صرف سوائل ساخنة من المصانع ومحطات توليد الكهرباء والطاقة وما ماثلها من منشآت، الشيء الذي يقود إلى ازدياد التآكل والتحات، والتفاعلات الكيموحيوية والحيوية، ونقصان كمية الأكسجين اللازمة لحياة الكائنات البحرية ومن ثم القضاء على الأسماك والأحياء المائية الأخرى وبروز روائح نتنة ومياه عكرة وهلم جرا.

<u>التلوث الإشعاعي:</u>

يحدث هذا التلوث بفعل المواد والعناصر المشعة التي تؤثر على الحياة سلباً وتولد العديد من المخاطر عبر حقبة زمنية من خلال سلسلة التفاعلات المطردة الناجمة من مثل هذا النوع من التلوث. والمخاطر الصحية المتأتية عبر هذا النوع من التلوث تعتمد على عوامل عديدة منها: حجم وكمية المادة الممتصة، ونوع الإشعاع، وقوة الإشعاع ومقدرته للتغلغل داخل الخلايا، وحساسية الخلايا والأعضاء المستقبلة للإشعاع، ومعدل الجرعة الصادرة من المادة المشعة، ونسبة الخلايا والأعضاء وجسم الإنسان المعرض للإشعاع.

<u>التلوث الهوائي:</u>

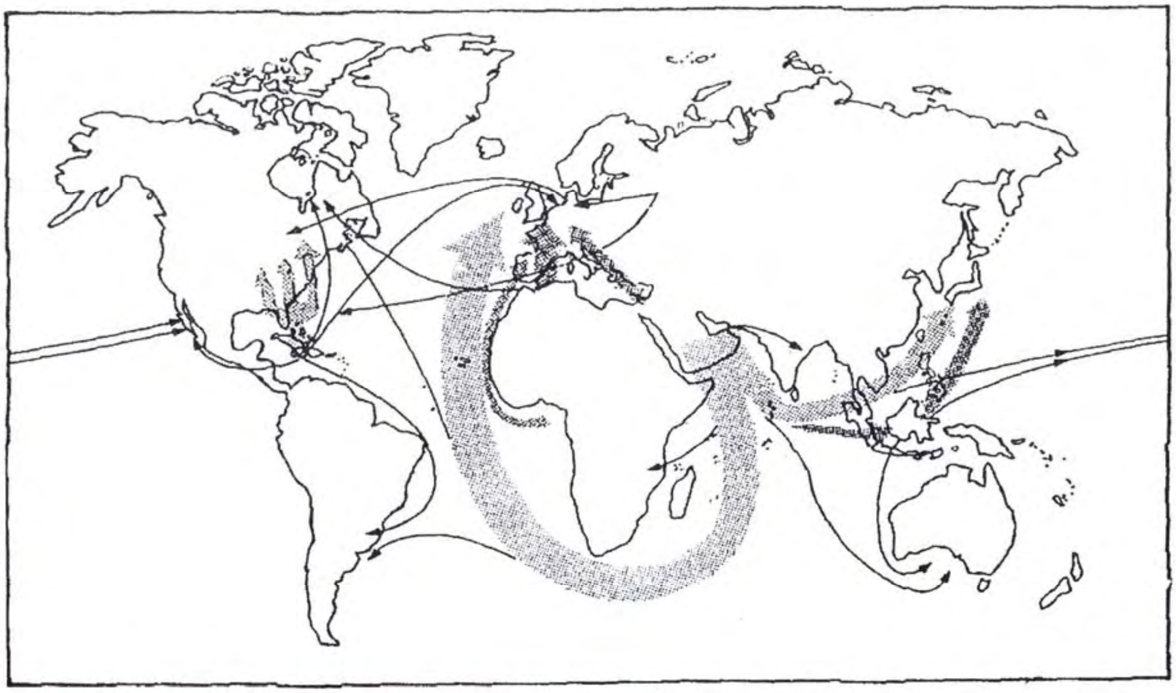
يحدث هذا التلوث بطرق غير مباشرة وتنتقل الملوثات الهوائية وتتأثر بالرياح والأمطار مما يرفع من درجة تلوث البحار، فمثلاً ثبت علمياً أن مادة د.د.ت. تجد طريقها للبحار عبر الغلاف الجوى نسبة للصغر الكبير لضغط بخار هذه المادة، كما وأن الغازات الحمضية المتصاعدة من المصانع تكثف الأمطار التي تهطل على المسطحات المائية و تسبب تلوثها. وربما آن الوقت للعاملين في جهات الأرصاد الجوي لإدخال مقاييس الملوثات الهوائية في حساباتهم ومناطق رصدهم والمحطات التي تقوم بجمع المعلومات على المستويين العام والخاص.

<u>التلوث الزيتي أو النفطي:</u>

من أهم طرق دخول النفط للبحار هو نظافة حاملات النفط والبضائع، والتسرب من آبار النفط البحرية ، وصرف المخلفات السائلة لمصافي تكرير البترول، وحوادث السفن وحاملات النفط الخام، والهيدروكربونات البترولية، بالإضافة إلى التخلص من الفضلات السائلة في الأحوال العادية وغياب عوامل الحرب والكوارث البيئية الطبيعية والمصطنعة. ومن المعلوم أنه عند ملامسة الزيت للمسطح المائي تطفو بقع الزيت وتنتشر به طبقا لنوع النفط، والرياح السائدة ، والتيار المائي بالمنطقة ، ومن ثم تحدث تغيرات طبيعية وكيميائية وحيوية معتمدة على ما إذا كان الزيت في صورة حبيبية أو غروانية أو ذائبة.

يختلف الزيت الخام من مصادره المختلفة في خصائصه ومكوناته الكيميائية ، كما وأن سمية الأجزاء المختلفة من الزيت الخام تختلف فيما بينها. و يسود الإعتقاد بأن درجة السمية تزداد في سلسلة من البارفين ثم النفثالين والأوليفين ثم المواد الأروماتية. وفي أى مجموعة من الهيدروكربونات تزداد السمية بصغر حجم الجزيئات، مثلاً

الأوكتين والديكين أكثر سمية من غيرها، كما و أن الدودكين والبرفينات العليا تنعدم فيها السمية لأن الوزن الجزيئى يؤثر على درجة الغليان ودرجة اللزوجة للزيت الخام.



شكل 2–5 أهم طرق الـنـقـل البحري للنفط

المصدر : مرجع 29 منشورة بإذن

لقد تسبب مثل هذا التلوث في خلق مناظر غير مستحبة على السواحل والكورنيش والبلاجات الشيء الذي يضر كثيراً بالسياحة ويقلل من استخدامها للترفيه والإستجمام، كما ويولد بيئة ينعدم أو يقل بها الأكسجين اللازم للحياة الحيوانية والنباتية والبحرية، كما ويغير من العوامل والمؤثرات الطبيعية للبيئة المائية. فمثلاً من المعروف أن سمك السالمون يتعرف على موطنه في الأنهار بوساطة خاصة الشم وتذوق الماء بفعل الهايدروكربونات الموجودة في الماء لحد كبير. وإذا زادت هذه المركبات (من جراء التلوث الزيتي مثلاً) فيربك هذا الوضع أسماك السالمون مما يجعلها ترفض العودة إلى مواطنها أو يصعب عليها التعرف على هذه الأوطان.

يقود التلوث الزيتي إلى قتل الطيور التي تعتمد في غذائها على الأحياء البحرية أو الطيور التي تعيش في البحار أو تهاجر إليها في أحد فصول السنة، مثال لذلك الطيور الغطاسة Pelagic diving birds والتي تعتمد في غذائها على الغوص والصيد، وعندما تغوص عبر بقعة زيتية تتشرب بالزيت، الذي ربما تسبب جزئياً في فنائها أو إلحاق أضرار بريشها. كما حدث في كارثة توري كانيون (Torrey Canyon) في عام 1967م عندما تحطمت ناقلة النفط الخام عبر الصخور المغطاة في الحيد المرجاني على القنال الإنجليزي، ومن ثم تمخض عن

ذاك تلوث أكثر على الساحلين الفرنسي والإنجليزي . وكما حدث من تلوث مياه الخليج العربي أثناء حرب ناقلات النفط بين العراق وإيران. يوضح شكل 2-5 أهم تحركات النفط والبترول عبر البحار.

تتجنب الأسماك المخاطر الناجمة من البقعة الزيتية بمغادرة المنطقة الملوثة، وغيرها من الأحياء البحرية تحمل في جسمها كميات كبيرة من الهايدروكربونات المنتشرة من جراء التلوث الزيتي. ويتسبب تلوث منطقة ما بالنفط والبقع الزيتية في مخاطر اقتصادية لصائدي الأسماك لاسيما ولا يرغب المستهلك في أكل الأسماك والكائنات البحرية المغطاة بالزيت نسبة للمنظر غير المستحب أو الطعم البغيض، وربما كان الحل في أخذ الصيد إلى منطقة أخرى وتركه لينظف لمدة تتراوح إلى عدة أشهر . إن كرات الزيت تؤثر على الثروة البحرية على المدى البعيد أو القريب لا سيما وأنها تقوم بقتل اليرقات التي تتغذى عليها الأسماك والأحياء البحرية الدقيقة، وذلك لأن الهيدروكربونات المذابة في الماء تقتل مباشرة الحيوانات اللاصقة في القعر.

هذا و ربما كانت هناك أضرار ومخاطر لمستهلك الأسماك والأصداف الملوثة بالبترول حتى في حدود التركيز الصغيرة . والأثر ينبثق من جراء استهلاك بعض المركبات السرطانية خاصة الهايدروكربونات الأروماتية متعددة الحلقات (Polycyclic Aromatic hydrocarbons) الموجودة بالبترول.

إن تحديد مخاطر التلوث الزيتي تصعب لأسباب عديدة منها المشاكل القياسية ، وذلك نسبة لإحتواء الزيت الخام على العديد من المركبات والتي تختلف فيما بينها في مكوناتها بإختلاف طرق إنتاجها.

يبين الجدول 2-9 أهم المركبات والملوثات البحرية ويحدد مدى احتياجها إلى قياس لتوضيح أسباب منع أو تحديد أو تقليل صرفها إلى البحار.

جدول 2-9: أهم الملوثات البحرية، {3، 29}

الملوث	الخطر على أسباب الحياة ومنبعها	الخطر على صحة الإنسان	إعاقة النشاطات البحرية	تقليق والمتعة أسباب الراحة
الفضلات المنزلية	++++	++++	++	++++
المواد الصلبة	++	_	+	+++
المواد الصلبة الخاملة و نفاية الحفر	+++	_	+	+++
الأوساخ التجارية غير العضوية	++ (معظمه)	++	_	++
الأوساخ التجارية العضوية	+++	_	++	+++/++++
المنظفات	+	_	++++	++++
المواد العضوية الكيميائية	متغيرة جداً	+++ (بعضها)	++/_	متغيرة
العناصر المشعة	_	+++	_	_
الفضلات العسكرية و الحربية	+	+	_	_
المبيدات	++++	+++	_	_
التلوث الحرارى	+++	_	_	_
البترول و النفط	+++	+	+++	++++

المفتاح:

الرمز	الدرجة	المعنى
++++	*مهم*	يحتاج إلى مقياس تحديد أو منع
+++	مؤثر	من الأفضل تقويمه للتحديد أو المنع
++	بسيط	من الواجب الحذر والإحتياط كما وأنه يحتاج إلى دراسة مقارنة.
+	مشكوك فيه	يمثل حالة خاصة لاتحتاج إلى تحديد أو منع
_	ضعيف	لايحتاج إلى تحديد أو منع

المصدر: المرجع 29، منشور بإذن.

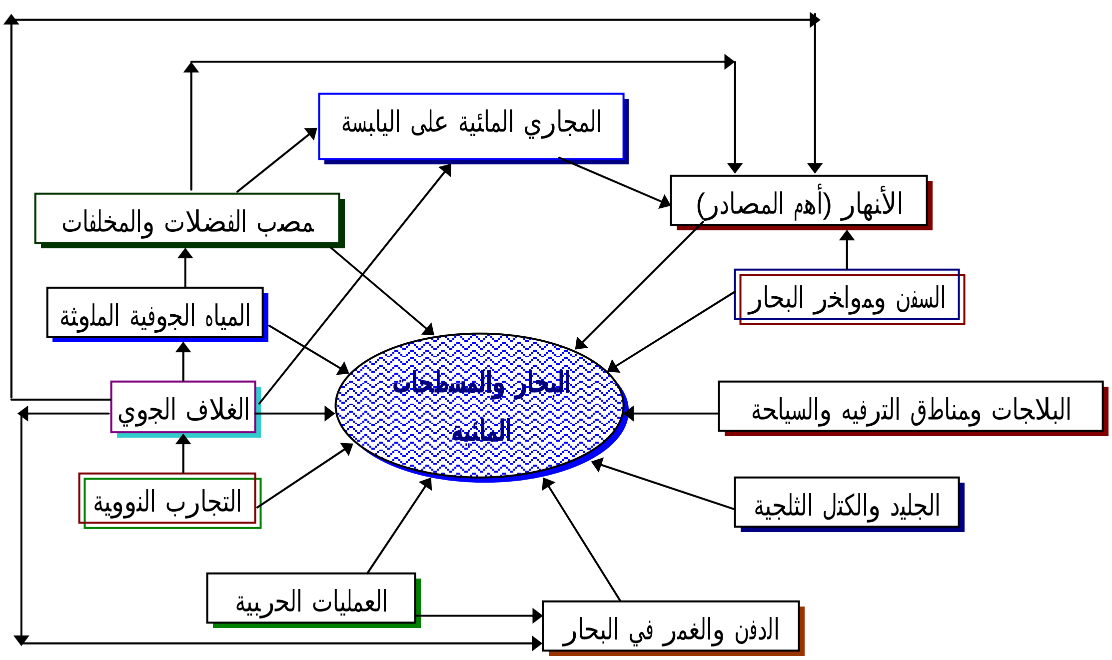
أساليب حماية البيئة البحرية من التلوث {3، 29}:

عند وضع برامج مكافحة تلوث البحار والمسطحات المائية أو تقليله هنالك صعاب وحجار عثرة تتمثل في:

- تحديد مصادر تلوث المسطحات المائية والعلاقة فيما بينهما والتداخل المنظور والمستتر.
- نظم وأساليب استخدام البحار.

- طرق جمع المعلومات.
- اختيار نقاط تجميع المعلومات وتوزيعها طبقا لجغرافية المنطقة وسهولة أخذ العينة وربما المدى والمسافة من مصدر التلوث.
- النواحي الإقتصادية المتعلقة بجمع وترحيل وتوزيع العينات المتطلب إجراء اختبارات عليها.
- المعلومات المرصودة والمتعلقة بالتلوث الكلى للبحار في العالم.
- نوع البرامج ومكان استخدامها على مستوى المياه المحلية والإقليمية والدولية.
- طبيعة مشكلة تلوث البحار وأثرها المحلى والإقليمى والقارى والدولى.
- حجب المعلومات والحقائق العلمية والتجارب لإسباب إقتصادية أو عسكرية أو لضمان عدم تفشى أسرار المهنة أو الإحتكار أو غيره من عوامل تعرض البيئة لمخاطر عديدة غير منظورة إلا بعد حدوث الكوارث وفقدان حياة العديد من الأشخاص المعرضين للتلوث في الحيد البحري المجاور.

يبين شكل 2-6 أهم الطرق التي تتخذها الملوثات للوصول للبحار والمسطحات المائية.



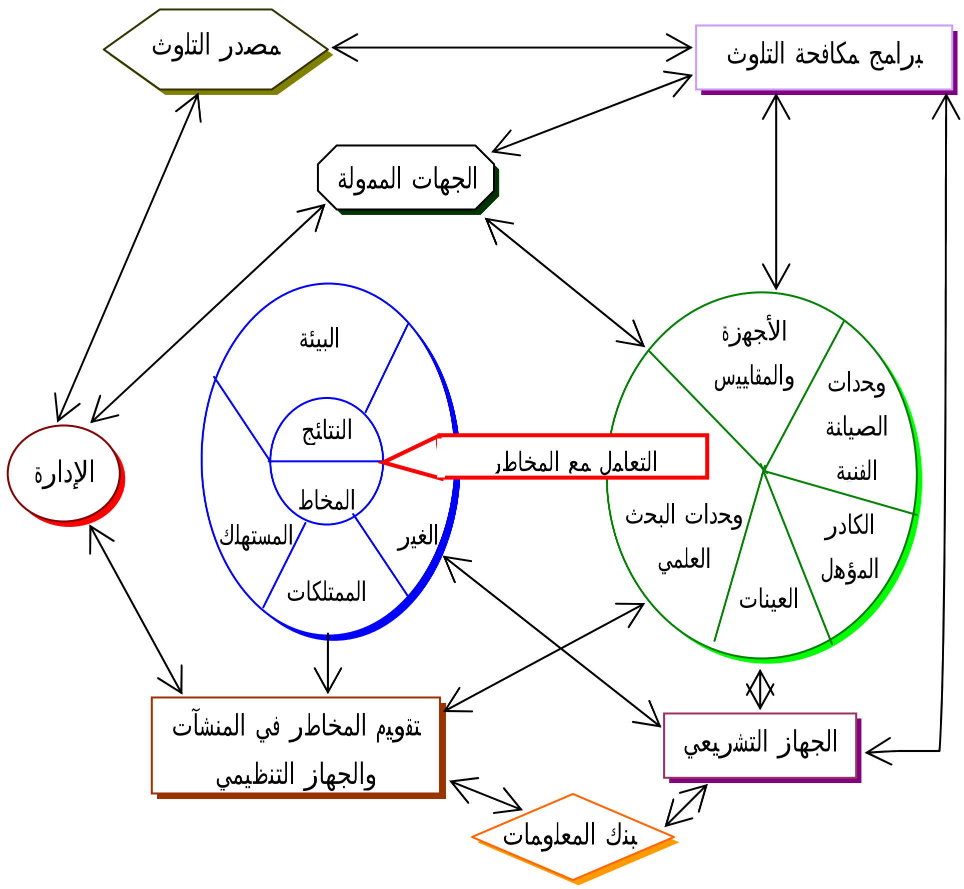
شكل 2-6 أهم الطرق التي تتخذها الملوثات للوصول للبيئة المائية

المصدر: مرجع 29، منشور بإذن

إن التلوث بين العديد من الدول المجاورة للبحار والمسطحات المائية، أو عبور التلوث لمنطقة أخرى، ربما أدى إلى تفاقم المخاطر والكوارث الناجمة وربما أدى إلى حدوث أمراض لم تعرف من قبل. ومعالجة مثل هذه المخاطر تأخذ من الحيز الزمني الشيء الكثير وذلك لمعرفة مصدر التلوث، وإيجاد علاقة بين العنصر الملوث الجالب للمرض أو الكارثة، ثم الأثر في المدى البعيد ، ومحاسبة الملوث والمصدر المنتج للتلوث. وهذا الأخير يحاول جهد المستطاع حجب المعلومة وإبعاد الشبهة أو الجنحة عنه، أوتأخير صدور الحكم لمدة طويلة تتفاوت

والتقدم العلمي بالمنطقة ووجود التكنولوجيا (التقانة) الملائمة والعنصر البشري ذي الكفاءة والقدرة العلمية لمواكبة المشكلة قيد البحث.

يبين شكل 2-7 أدناه العلاقة المطردة في البرامج المعدة لمكافحة التلوث وتداخلها مع النظم والأجهزة الإدارية والتشريعية من أجل خدمة المستهلك.



شكل 2-7 تداخل برامج مكافحة التلوث مع مؤثراتها

المصدر: مرجع 29، منشور بإذن

2-7 تمارين عامة

2-7-1 تمارين نظرية:

1. ما فائدة الإلمام بخواص الماء؟
2. أذكر أهم الخواص الطبيعية للمياه الصالحة للشرب.
3. أذكر أهم الخواص الكيميائية المهمة للإدارة الجيدة للمياه الصالحة للاستعمال.
4. أذكر أهم الخواص الواجب معرفتها لاستخدام الماء للشرب.

5. أكتب بإيجاز عن مصادر الطعم والرائحة في المياه وآثارها. وأذكر أهم طرق إزالتها.
6. أذكر أهم المركبات المسببة للون في الماء
7. كيف يتم قياس اللون؟ وماهى الوحدات المستخدمة في قياسه؟
8. كيف يمكن إزالة أو تقليل اللون من الماء الصالح للشرب؟
9. ما المخاطر التي يمكن حدوثها عند وجود كل من الملوثات التالية (بتراكيز عالية) في مياه الشرب: الفينول، المواد الصلبة، الفلور، اليود، الكلوريد، الكبريتات، عسر الماء؟
10. أذكر أهم الإنبعاثات الصادرة من مادة مشعة.
11. أذكر أفضل الطرق التي يمكن إتباعها للتخلص من النفاية المشعة. هل تنصح باستخدام هذه الطرق في الدول النامية؟
12. أذكر العوامل المؤثرة على الرقم الهيدروجيني.
13. كيف يمكن التفريق بين الأحماض والقلويات من منظور الرقم الهيدروجيني؟
14. عرف عسر الماء، وأذكر فوائه ومضاره.
15. ما العناصر الجالبة لعسر الماء؟
16. أذكر أهم الطرق المتبعة لإزالة عسر الماء. أى من هذه الطرق تفضل استخدامها لدولة نامية؟ ولماذا؟
17. أذكر العوامل المؤثرة على ذوبانية الغازات في السوائل.
18. لماذا لا تقوم عمليات المعالجة البيولوجية بتفتيت كل المواد العضوية الموجودة في الفضلات السائلة إلى ثاني أكسيد كربون وماء؟
19. أذكر محددات اختبار حاجة الأكسجين الحيا-كيميائي؟ وما فوائد هذا الاختبار؟
20. لماذا تؤخذ فترة الحضانة والترخيم لمدة خمسة أيام وتحت درجة حرارة 20°م عند إجراء اختبار حاجة الأكسجين الحيا-كيميائي؟
21. ما فوائد علم الميكروبيولوجي؟
22. مافائدة بكتريا القولونيات في الحياة العملية؟
23. كيف يمكن تحديد صلاحية الماء للشرب من وجهة النظر البيولوجية والميكروبيولوجية؟
24. أذكر أهم المخاطر المترتبة على تلوث المياه الجوفية
25. أذكر أهم الطرق التي قد تؤدي إلى تلوث المياه الجوفية.
26. كيف يمكن الحد من أو منع تلوث المياه الجوفية؟ أذكر أهم معوقات ومحددات كل طريقة.
27. أذكر أنسب الطرق التي يمكن استخدامها لتنقية المياه الجوفية الملوثة بنفط خام.
28. بين أهمية البحار وفوائدها على ضوء الكتاب والسنة.
29. عرف مايلى: الجناح القاري، منطقة المياه العميقة في البحار، المياه المكشوفة، مرض آيتي-آيتي.
30. أذكر أهم طرق ترحيل وجلب المواد الملوثة للبحار.
31. أذكر أهم المشاكل والمخاطر الناجمة من تلوث البيئة البحرية.
32. ما آثار الرقم الهيدروجيني على الحياة السمكية؟

33. أذكر العوامل المؤثرة على سمية الفلزات والمعادن الثقيلة في مياه البحار.
34. كيف يتعرف سمك السلمون على موطنه الأصلى؟
35. ما مخاطر تلوث المياه الإقليمية لمنطقة ما بالنفط؟
36. عدد الأساليب المتبعة لحماية البيئة البحرية بمنطقتك. ماهى أوجه القصور في هذه الأساليب؟ وكيف يمكن تطويرها للأحسن؟
37. وضح أهم الطرق التي تتخذها الملوثات للوصول إلى البحار والمسطحات المائية.

2-7-2 تمارين عملية

1. حول درجات الحرارة المقاسة بالفهرنهايت إلى ما يعادلها على التدرج المئوي وتدرج كلفن: -58، 40.1، 78، 105، 514.4. (الإجابة: 50، 4.5، 25.6، 40.6، 268°م: 223.2، 277.7، 298.8، 313.8، 541.2 كلفن)
2. ضغط سائل حجمه 876 سم^3 على ضغط 1.5×10^6 نيوتن/م^2 في أسطوانة حجمها لتر. أوجد معامل المرونة الحجمى للسائل (الإجابة: 12.1×10^6 نيوتن/م^2)
3. كثافة سائل معين 794 كجم/م3. أوجد ثقله النوعى ووزنه النوعى (الإجابة: 0.794، 7789.1 نيوتن/م^3)
4. حدد نوع إنسياب المواد التالية طبقاً للبيانات المدرجة أدناه لدرجة حرارة ثابتة:

المادة الأولى:

ميل (rad/s زاوية نقية/ث، dv/dy) السرعة	القص، τ، (كيلو باسكال)
0	0
2	4
3	5.5
4	6.8
5	8
6	8.8

المادة الثانية:

5. (rad/s زاوية نقية/ث، dv/dy) ميل السرعة	6. القص، τ، (كيلو باسكال)
7. 0	8. 0
9. 0.5	10. 4
11. 0.8	12. 7
13. 1.1	14. 11
15. 1.5	16. 19

(الإجابة: سائل لانيوتونى لدن كاذب، سائل متمدد)

5. غمر أنبوب زجاجى نظيف مفتوح قطره 5 مليمترات داخل حوض زئبق على درجة حرارة 20ْم. أوجد طول إنخفاض الزئبق داخل الأنبوب (قوة التوتر السطحي للزئبق على درجة الحرارة المذكورة تعادل 0.466 نيوتن/م وكثافته = 13600 كجم/م^3 ووزنه النوعى = 133 كيلونيوتن/م^3 ودرجة لزوجته الكينامتيكية = 1.15×10^{-7} م^2/ث (الإجابة: 2.1 ملم)

6. تم الحصول على البيانات التالية لعينة ما:

تركيز المواد الصلبة الكلية = 475 ملجم/لتر.

تركيز المواد الصلبة العالقة = 525 ملجم/لتر.

تركيز المواد الصلبة العالقة المتطايرة = 175 ملجم/لتر.

تركيز المواد الصلبة العالقة الثابتة = 75 ملجم/لتر.

أى من هذه البيانات مشكوك فيها؟ (الإجابة: تركيز المواد الصلبة العالقة)

7. تزن مادة مشعة 16 كيلوجرام. إذا علم أن نصف العمر للنواة المشعة يساوى 14.3 يوم. أوجد المدة اللازمة لتخزين العينة ليصل وزنها 1.8 كيلوجرام. كم من الزمن يلزم للتخلص من 98 بالمائة من هذه العينة؟ ثم أوجد المتبقى من العينة بعد مرور عام من تخزينها. (الإجابة: 45.1، 80.7 يوم، 334 ميكروجرام)

8. يتفاعل العنصران "أ" و"ب" طبقا للمعادلة الموضحة أدناه:

2أ + 2ب = جـ + د

أوجد مقدار كل من العنصرين "أ" و"ب" عند إتزان التفاعل علما بأن درجة تركيز العنصرين "أ" و"ب" عند بداية التفاعل تساوى 4 و 1 مول/لتر على الترتيب، وأن ثابت التفاعل يساوى السدس. (الإجابة: 3.28، 0.28 مول/لتر)

9. أوجد الوزن الجزيئي والوزن المكافئ لكل من هذه المركبات: حمض الهايبوكلور وكلوريد المغنيسيوم وبيكربونات الكالسيوم وأيون الكبريتات. (الإجابة:52.5، 52.5: 95.3، 47.65: 162،81: 96،48)

10. أوجد درجة تركيز أيون الهايدروكسيل، مقدرة بالمليجرام على اللتر، لعينة معينة علماً بأن رقمها الهيدروجيني يساوي 10.45. (الإجابة: 4.8 ملجم/لتر)

11. يبين الجدول أدناه نتائج الاختبار الذي أجري على عينة من الماء (التركيزات مقدرة بالمللجرام على اللتر)

الشوارد الموجبة	درجة التركيز	الشوارد السالبة	درجة التركيز
Na^+	27.6	Cl^-	26.6
K^+	42.9	HCO_3^-	207.4
Ca^{++}	38	SO_4^{--}	100.8
Mg^{++}	34	NO_3^-	62
Sr^{++}	17.5		

أوجد:

أ) عسر الماء الكلى وعسر الكربونات والعسر الدائم.

ب) أرسم المخطط الخطى للعينة.

ج) أوجد مقدار الخطأ في التجربة بإفتراض أن الخطأ المقبول يجب ألا يتجاوز 10 بالمائة.

د) أذكر الإتحادات المحتملة للشوارد الموجبة والسالبة للعينة. (الإجابة: 225، 170، 85 ملجم/لتر $CaCO_3$، 2%)

12. أوجد قيمة درجة تركيز الأكسجين المذاب في ماء يحتوي على 10000 ملجم/لتر من أيون الكلوريد عند درجة حرارة 30°م وتحت ضغط جوي يعادل 69 سم زئبق. (الإجابة: 6.2 ملجم/لتر)

13. أوضح اختبار حاجة الأكسجين الحيا-كيميائي لعينة ما النتائج التالية:

حاجة الأكسجين الحيا-كيميائي (ملجم/لتر)	الزمن (يوم)
1	82
3	205

14. أوجد قيمة ثابت التفاعل وحاجة الأكسجين الحيا-كيميائي بعد مضى 5 أيام مستخدماً معادلة التفاعل من الدرجة الأولى. (الإجابة: 0.192 /يوم، 469.4 ملجم/لتر)

15. أوجد قيمة حاجة الأكسجين الحيا-كيميائي (BOD_3) على درجة حرارة 30°م علماً بأن قيمة حاجة الأكسجين الحيا-كيميائي في فترة حضانة 5 أيام وعند درجة حرارة 20° م تعادل 378 ملجم/لتر وأن قيمة ثابت التفاعل (للأساس e) يساوى 0.3 على اليوم (الإجابة: 288.7 ملجم/لتر)

16. في قياس حاجة الأكسجين الحيا-كيميائي لعينة مخففة من الفضلات السائلة تم الحصول على النتائج أدناه:

الزمن (يوم)	حاجة الأكسجين الحيا-كيميائي (ملجم/لتر)
1	13
2	20.5
3	25
4	27
5	28
6	28.7
7	28.8

أ) أرسم منحنى حاجة الأكسجين الحيا-كيميائي مع الزمن.

ب) أوجد ثابت معدل التفاعل وقيمة حاجة الأكسجين الحيا-كيميائي النهائية مستخدماً طريقة توماس.

ج) أوجد قيمة ثابت معدل التفاعل للأساس 10. (الإجابة: 0.51/يوم، 32.28 ملجم/لتر، 0.22 /يوم)

8-2 المراجع والمصادر

1. أبوبكر جابر الجزائري "منهاج المسلم: كتاب عقائد وآداب وأخلاق وعبادات ومعاملات"، دار السلام للطباعة والنشر والتوزيع والترجمة، القاهرة، 1994.
2. "صحيح مسلم بشرح النووي" الدار الثقافية العربية، بيروت، الطبعة الأولى، 1929.
3. عصام محمد عبد الماجد "الهندسة البيئية"، دار المستقبل للنشر والتوزيع عمان، الأردن، 1995.
4. Rowe, D.R. and Abdel-Magid, I.M., "Handbook of Wastewater Reclamation and Reuse", CRC Press\Lewis Publishers, Boca Raton, 1995.
5. Metcalf and Eddy Inc., "Wastewater engineering: treatment disposal reuse", 3rd Ed., McGraw-Hill Inc., New York, 1991.
6. APHA, AWWA, WEF, "Standard methods for the examination of water and wastewater" 19th Ed., Edited by A. D. Eaton, L. S. Clesceri and A. E. Greenberg, American Public Health Association, Washington, D.C., 1995.
7. عصام محمد عبد الماجد "تنقية المياه والهندسة الصحية"، دار جامعة الخرطوم للنشر، الخرطوم، 1986.
8. عصام محمد عبد الماجد وبشير محمد الحسن "إمدادات المياه بالسودان"، دار جامعة الخرطوم للنشر، الهيئة القومية للمياه، هيئة مياه المدن، والمجلس القومي للبحوث، الخرطوم، 1986.
9. بشير محمد الحسن وعصام محمد عبد الماجد "الصناعة والبيئة: معالجة المخلفات الصناعية"، معهد الدراسات البيئية، جامعة الخرطوم، الخرطوم، 1986.
10. Abdel-Magid, I.M., Hago, A., and Rowe, D.R., "Modeling Methods for Environmental Engineers", CRC Press\Lewis Publishers, Boca Raton, FL, 1997.
11. Mills, E.V., "Studies on the nature and amount of the colloids present in sewage: I: A historical survey. II: The physical and chemical analysis of sewage", J. Soci., Chem. Indus., 51. 1932, 255T, 349T.
12. Rudolfs, W. and Palmat, J.I, "Colloids in sewage I: Separation of sewage colloids with aid of the electron microscope", Sew and Indus. Wastes 24 (3) 1952, 247-56.
13. Berger, B.B., Edi., ontrol of Organic Substances in Water and Wastewater, Noyes Data Co., New Jersey, 1987
14. Nebiker, J.H., "Dewatering of sewage sludge on granular materials", Envir. Engng. Report N EVE-8-68-3, 1968.
15. Coackley, P."Development in our knowledge of sludge dewatering behaviour", 8th Pub.Health Engng.Conf.held in the Dept.of Civil Engng., Loughborough Univ.of Techno., 1975,5.
16. Abdel-Magid, I.M., "The influence of additives on the reheological properties of sewage sludges", Sudan Engng. Soci. J., 26, 1984, 31.
17. Yaylor, G., "Some humus ludge conditioning experiments", J. Proc. Inst. Sew. Puri., 1957, 242.
18. Radiological Health, "U.S. Department Health Education and Welfare, U.S. Printing Office, Washington, D.C., 1970, 413-441.
19. Nathanson, J.A., Basic Environmental Technology: Water Supply, Waste Disposal and Pollution Control, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersy, 1986.

20. Popel, H. J., "Aeration and Gas Transfer", Delft University of Technology, Herdruk, 1979.
21. Vennard, J.K., and Street, R., "Elementary Fluid Mechanics", John Wiley and Sons, New York, 5th Edi., 1976.
22. Abdel-Magid, I.M., Selected Problems in Wastewater Engineering, Khartoum University Press, Nationnal Research Council, Khartoum 1986
23. Mara, D., "Sewage treatment in hot climates", Wiley and Sons, Chichester 1980
24. Adams,V.D., "Water and Wasrewater Examination Manual", Lewis Publishers, Chelsea, MI, 1990, 54-56, 75, 79
25. Coackley, P. and Allos, R., "The drying characteristics of some sewage sludges", J. Proc. Inst. Sew. Purif., 6, 1962, 557.
26. Coackley, P. "The theory and practice of sludge dewatering", J. Inst. Pub. Health Engrs., 64(1), 1965, 34.
27. Sawyer, C. N. and Mc Carty, P. L., "Chemistry for Environmental Engineering", McGraw-Hill Pub. Co., 3rd, New York, 1978.
28. Todd, D. K., "Groundwater Hydrology", 2nd Edi., John Wiley and Sons, New York, 1980.
29. عصام محمد عبد الماجد وحامد إبراهيم حامد ومحمد فكري شلبي "تلوث البيئة البحرية - أسبابها ومخاطرها وتشريعات الحماية منها" ورقة علمية عرضت في مؤتمر حماية البيئة البحرية الذي أقامته كلية الشريعة والقانون بجامعة الأمارات العربية المتحدة، 26 إلى 27 أبريل/نيسان 1989م، العين، الأمارات العربية المتحدة.
30. Wiessman, W., Lewis G. L. and Knapp, J. W., "Introduction to Hydrology" 3rd Edi., Harper and Row, Publishers, New York, 1989.
31. Wiessman, W. and Hammer, M.J., Water Supply and Pollution Control, 4th Edi., Harper and Row Publishers, New York, 1985.
32. Goldberg, E. D., The Health of the Oceans, The UNESCO Press, Paris, 1976.
33. Nisebt, I. C. T., and Sarofim, A. F., Rate and Routes of Transport of PCB's in the Environment, Environmental Health Perspectives, Vol., 1, 1972, 21-28.
34. Peirson, D. H.; Gawse, P. A.; Salmon, L.; and Cambray, R. S., Trace Elements in the Atmosphere Environment, Nature, Vol. 241, 1973, 252-256.
35. Albone, E. S., Eglinton, G., Evans, N. C., Hunter, J. M., and Rhead, M. M., Fate of DDT in Severn Sediments, J. Environ. Sci. Technolo., Vol. 6, 1972, 914-919.
36. Llod-Jones, C. P., The Evaporation of DDT, Nature, Vol. 229, 1971, 65-66.
37. Blamer, M. and Sass, J., Oil Pollution: Persistence and Degradation of Spilled Fuel Oil, Science, Vol. 167, 1972, 1120-1122.
38. Johnson, R. Edi., Marine Pollution, Academic Press, London, 1976.
39. Shumway, D. L., and Palensky, J. R., Impairment of the Flavour of Fish by Water Pollutants, E. P. A. R3-73-010, Feb., 1973.
40. Bridgewater, A. V., and Mumford, C. J., Waste Recycling and Pollution Control Handbook, George Godwin Ltd., London, 1979

الفصل الثالث

الماء والصحة العامة

3-1 مقدمة

تعرف منظمة الصحة العالمية الصحة على أنها حالة من المعافاة الكاملة الطبيعية والعقلية والاجتماعية وليس فقط عدم وجود المرض أو العجز أو الإعاقة. وغياب الصحة يضر كثيراً بالفرد ومجموعته. ولا يخفي على أحد الألم المبرح المواكب للمرض، وقد أبدع أبو الطيب المتنبي {1} عندما وصف الحمى في قصيدته "من الحمام إلى الحمام" والتي مطلعها:

ملومكما يجل عن الملام ... ووقع فَعاله فوقَ الكلامِ

فيمضي قائلاً:

أقمتُ بأرضِ مصر فلا ورائي ... تخُب بي الركاب ولا أمامي
وملّني الفراشُ وكان جنب ... يملّ لقاءه في كلّ عام
قليلٌ عائدى سقم فُؤادى ... كثير حاسدى صعب مرامى
عليلُ الجسمِ ممتنع القيامِ ... شديد السكْرِ من غيرِ المدامِ
وزائرتى كأن بها حياء ... فليس تزور إلا في الظّلامِ
بذَلتُ لها المطَارفَ والحشايا ... فعافتها وباتتْ في عظامى
يضيقُ الجِلد عن نفسى ... وعنها فتُوسعه بأنواعِ السقَامِ
كأن الصبح يطردها فتجري ... مدامعها بأربعةٍ سجامِ
أُراقب وقتَها من غيرِ شوقٍ ... مراقبةَ المشُوق المستهامِ
ويصدقُ وعدها والصدقُ شر ... إذا ألقاك في الكُربِ العظامِ
أبنتَ الدهرِ عندى كُل بنتٍ ... فكيفَ وصلت أنت من الزحامِ
جرحت مجرحاً لم يبقَ فيه ... مكان للسيوف ولا السهامِ

وأنظر إلى الشاعر على الجارم {2} في قصيدته "الوباء" إذ يقول عند انتشار وباء الهيضة (الكوليرا):(

أي هذا (المكْروب) مهلاً قليلا ... قد تجأوزتَ في سراك السبيلا!
لستَ كالوأو أنتَ كالمنجل ... الحصاد إن أحسنوا لك التمثيلا
ماغلبتَ النفوس بالعزمِ لكن ... هكذا يغلب الكثير القليلا
أنتَ في الهند في مكانٍ خصيبٍ ... فلماذا رضيتَ هذا المحولا
أنتَ كالشيبِ إن دهمتَ ابن أُنثى ... لم تُزايلْ جنبيه حتى يزولا

حتى يقول:

ياثقيلَ الظلال آذيتَ بالمال	وبـالنّـفـس فـالرحـيلَ الرحـيلا
من بيتْ عنده الهزبر نزيلاً	كـان مـن قـبـل زاده مـأكـولا
رب طفلٍ تركتَ من غير ثديٍ	يضرب الأرض ضجةً وعويلا!
وفتاةٍ طرقْتَها ليلةَ العرسِ	وقـبـلَ الحـليل كـنـتَ الحـليلا
كحلُوا جفنيها فكحلتَ فيها	كل جفـنٍ أسـى وسـهداً طويلا
خضبتها يد المواشط صبحاً	فـمـحـاه المـطهـرون أصيـلا

وقد ورد في صحيح البخاري{3} الحديث 620 كتاب الطب "**حدثنى يحيى بن سليمان حدثنى ابن وهبٍ قال حدثنى مالك عن نافع عن ابن عمر رضى الله عنه عن النبى صلى الله عليه وسلم قال الحمى من فيح جهنم فأطْفئوها بالماء.**"

وقد ورد في صحيح البخاري {3} الحديث 582 كتاب المرضى والطب "**حدثنا إسماعيلُ حدثنى مالك عن هشام بن عروةَ عن أبيه عن عائشةَ رضى الله عنها قالت لما قدم رسولُ الله صلى الله عليه وسلم وعك أبوبكر وبلالٌ قالت فدخَلتُ عليهما فقُلتُ ياأبت كيفَ تَجِدك ويابلالُ كيفَ تجدك قالتْ وكان أبوبكر إذا أخذته الحمى يقولُ**

كل امرئٍ مصبح في أهله   والموت أدنى من شراك نعله

وكان بلالٌ إذا أُقلع عنه يرفع عقيرته فيقول

ألا ليتَ شعري هلْ أبيتن ليلةً   بواد وحولى إذْخر وجليلُ

وهلْ أردن يوماً مياه مجنة   وهلْ تَبدون لى شَامةٌ وطَفيلُ

قال قالت عائشةُ فجئتُ رسولَ الله صلى الله عليه وسلم فأخبرته فقال اللهم حبب إلينا المدينةَ كحبنا مكةَ أو أشد وصححها وبارك لنا في صاعها ومدها وانْقُلْ حماها فاجعلها بالجحفة."

2-3 الماء والصحة العامة

ان استخدام الماء وإعادة استخدام الفضلات السائلة في مجتمع معين لابد ان يفي بعض الشروط للحفاظ على الصحة العمومية للأفراد. ومن أهم هذه الشروط: وجود الكميات المناسبة من المياه المغطية للاحتياجات العامة والتي تفي بالفرض المقنع، واستمرارية المصدر لما أختير له. والجدير بالذكر أن 80 بالمائة من كل الأمراض المعروفة يعتقد أن لها علاقة باستخدام المياه غير المأمونة. وبالطبع درهم وقاية خير من قنطار علاج. أما علاقة الماء والأمراض والصحة العمومية فترجع إلى زمن غابر وتاريخ قديم فعلى سبيل المثال أشار أبو قراط Hippocrates إلى علاقة الحميات بمناطق المستنقعات. وفي عام 1675م أشار أنتوني فان ليفن هوك Antony Van Leeuwen Hoek إلى علاقة البكتريا والحيوانات الأوالي (البروتوزوا) مع الأمراض. أما د. جون سنو John Snow فقد وصف في عام 1854 العلاقة بين الهيضة (الكوليرا) واستهلاك المياه من بئر في شارع بوند بلندن. وقد أتى بعد سنو بد Budd والذي أبان أن انتشار التيفويد يرجع إلى استهلاك الماء الملوث.

وفي عام 1877م أتى مانسون Manson وأشار إلى علاقة الماء ومرض الفلاريا .Filariasis اما العالمان لويس باستير وروبرت كوخ فقد قاما بالثورة الصحية وتكوين نظرية الميكروبات Germ Theory وانتشار الأمراض المعدية ذات الصلة بالمياه.

وكما تتأثر صحة الإنسان بالجراثيم فانها تتأثر أيضاً بنوع وخواص المياه الكيميائية. فعلى سبيل المثال فإن استهلاك الماء الجوفي الذي يحتوى على درجات تركيز عالية من الفلور يؤثر سلبا على نمو العظام. غير أن المخاطر الصحية الناجمة من المواد الكيميائية ليست أسوأ من المخاطر الصحية التي تتأتى من جراء التلوث الميكروبى للمياه في بعض المناطق.

وعامة يمكن تقسيم الأمراض ذات الصلة بالمياه وإعادة استخدام الفضلات السائلة إلى خمس أقسام رئيسة تضم الأمراض المحمولة بالمياه والأمراض المتمركزة في المياه والأمراض ذات الصلة بنواقل الجراثيم والأمراض الناتجة أصلاً من القصور في نظم الإصحاح البيئي {4، 5}

أ) الأمراض المحمولة بالمياه Water-borne diseases تحوي الأمراض المحمولة بالمياه تلك الأمراض والأوبئة التي يمكن أن تنتشر عبر نظام إمداد المياه. وتنجم هذه الأمراض من وجود جرثومة المرض بالماء. وتعمل المياه بصورة قاطعة كعامل خامل لميكروب المرض. ومعظم هذه الجراثيم تصل إلى الماء نتيجة التلوث بالفضلات البشرية والحيوانية بطرق مباشرة أو غير مباشرة. ومن أمثلة هذه الأمراض حمى التيفود والكوليرا (الهيضه) وإلتهاب الكبد المعدي (اليرقان) والدسنتاريا (الزحار) والقارديا وإصابات الإسهال وداء البريميات *Leptospirosis* والحمى الباراتيفودية وبعض فيروسات الحمات المعوية *Enterviruses*.

ب) الأمراض الناتجة من عدم الغسل الجيد بالماء أو عدم وجود الماء Water-washed Diseases وهذه الأمراض تضم تلك التي تتأي من جراء شح المياه للنظافة الشخصية وعدم استخدام الكميات المناسبة والمطلوبة. ومن المجموعة الرئيسة لهذه الأمراض تلك التي تؤثر على الأجزاء الخارجية من الجسم والعيون والجلد. ومن أمثلة هذه الأمراض: الدسنتاريا (الزحار) الباسيلية، وأمراض الجلد وتقرحاته، والرمد الصديدى والتراكوما، والجرب والسعفَة Tinea والحمى القملية والإسهالات والدسنتاريا الأميبية والباراتيفويد والأنكلستوما وداء الصفَر (الأسكاريا .Ascariasis)

ج) الأمراض المتركزة بالمياه Water-based diseases وهذا النوع من الأمراض ينتشرعبر إيصاله بوساطة مضيف مائي لافقاري (عادة يكون حيوان). وجزء من حياة الميكروب وناقل المرض يأخذ مجراه في حيوان مائي لحين ملامسته لجلد الإنسان أو لوجهه من خلال العين والأنف والأذن وفتحات المخارج إلى المصاب. ومن أمثلة هذه الأمراض البلهارسيا Schistosomiasis ودودة غينيا Guinea worm والتُنَينَة Dracunculiasis، داء الخيطيات (داء الفلاريا) Filariasis والفرنديت.Guinea worm

د) الأمراض ذات الصلة بنواقل المرض Water-related insect vector وهذه الأمراض يتم نقلها بنواقل للجراثيم مثل بعض الحشرات والحيوانات أو غيرها من النواقل والتي تعتمد في حياتها على نظام مائي أو

تعيش بقربه. وعادة تكون هذه النواقل متحركة وعدائية بالقرب من نظام مائي مفتوح وساكن. ويقوم ناقل المرض بعض أو مص دم المصاب، كما وتقوم القواقع بلفظ يرقات تسبح بحرية في الماء، ثم تخترق الجلد عند الملامسة بطرق مباشرة وغير مباشرة. ومن أمثلة هذه الأمراض داء المثْقَبيات (مرض النوم Trypanosomiasis) الذي تنقله ذبابة التسي تسي، والحمى الصفراء Yellow fever التي تنقلها بعوضة الزاعجة المصرية *Aedes aegypti* ، وداء كُلاّبية الذنَب (عمى الجور Onchocerciasis الذي تنقله ذبابة الذّلْفاء (Simulium) والبرداء (الملاريMalaria) التي تنقلها أنثى بعوض الإنفيل Anopheles.

ه) الأمراض الناتجة من قصور الإصحاح Infections primarily of devective sanitation وهذه الأمراض تنتشر داخل المجتمع بسبب قصور أو إنعدام النظم الجيدة للإصحاح. ومن أمثلة هذه الأمراض الدودة الشصية (الملقُوة (Ankylostoma) Hookworm) والصفَر.(Ascaris (Roundworm

ويبين الجدول 3-1 أنواع الأمراض ذات الصلة بالمياه، مبينا بعض الأمثلة لكل مرض، والجرثومة الناقلة له، وفترة الحضانة المتوقعة، والتحسن الملائم في المياه، والنسبة المتوقعة لإنخفاض المرض بفضل التحسن الملائم في المياه المتبع في المنطقة.

ومن الأهمية بمكان إعطاء المستهلك ماء مأمون وصحى، إذ من المعلوم ان ما يقارب 80 بالمائة من كل الأمراض المعروفة له علاقة باستخدام ماء غير صحي وغير مأمون. وهذه العلاقة بين الماء والأمراض قد توجد في صور مختلفة ومتنوعة.

3-3 العوامل المؤثرة على حياة الجراثيم

يمكن أن تعيش الجراثيم التي تنقل الأمراض المعوية Enteric pathogens لفترة زمنية طويلة في المياه والمزروعات أو في التربة عندما تجد المناخ المناسب والظروف الملائمة. وتؤثر العديد من العوامل في نمو الجراثيم وتكاثرها وحياتها ونشاطها ، كما وتتحكم في عملها. ومن هذه العوامل: عدد الجراثيم ونوعها ، والظروف المؤثرة على معدل تكاثر الأحياء المجهرية مثل: درجة الحرارة والرطوبة والمواد المغذية والرقم الهيدروجيني، وتركيز المواد العضوية بالتربة، وفترة هطول السقيط وكميتها وشدتها ، وضوء الشمس، والحماية التي تأتى بها نباتات الزينةFoliage ، ووجود كائنات مجهرية أخري منافسة. ويبين جدول 3-2 أهم العوامل البيئية التي تؤثر على تكاثر الجراثيم وفناءها. كما يوضح جدول 3-3 العمر المتوقع للجراثيم طبقاً لدرجة حرارة تتراوح بين 20 إلى 30°م.

3-4 طرق إنتقال الأمراض وانتشارها

هنالك عدة طرق تنقل بها جراثيم الأمراض من إنسان للآخر. ومن أمثلة هذه الطرق التلامس المباشر بين شخص وآخر، أو بالبلع، أو عن طريق التعرض لأشياء ملوثة، أو عن طريق نواقل الجراثيم اللافقارية، أو بوساطة الحيوانات والطيور التي تستضيف بعض من جراثيم الأمراض، أو بالشرب أو الأكل، أو باستخدام أو الدخول في مصدر مياه ملوثة، أو بإستنشاق جراثيم معدية عند إعادة استخدام الفضلات السائلة أو من الهواء مثلاً.

جدول 3-1 أقسام الأمراض ذات الصلة بالمياه

القسم	أمثلة الأمراض	الجرثومة المسببة للمرض	فترة الحضانة	التحسن الملائم لإمداد الماء	نسبة انخفاض المرض بسبب تحسن إمداد الماء
الأمراض المحمولة بالمياه					
كلاسيكية	حمى التيفويد	بكتريا السلمونيلة التيفية	7إلى12يوم، 14 متوسط	تعقيم ميكروبي	80
	الهيضة	بكتريا الضمة الهيضية	بضع ساعات إلى 7 يوم، 3 يوم متوسط	تعقيم ميكروبي	90
غير كلاسيكية	التهاب الكبد	جراثيم غير معروفة	10 إلى 50 يوم، 30 إلى 35 متوسط	تعقيم ميكروبي	10؟
الأمراض الناتجة من عدم الغسل الجيد بالماء					
أمراض الجلد والعيون	الجرب	متعددة		استخدام كمية أكبر من الماء	80
	التراكوما أو حثر	جرثومة مثل الفيروس	عدة أيام إلى أسابيع	استخدام كمية أكبر من الماء	60
إسهالات	الزحار الباسيلي أو الشيغيلة	الشيغيلة	1إلى 7 يوم، عادة أقل من 4 يوم	استخدام كمية أكبر من الماء	50
الأمراض المتمركزة في الماء					
متغلغلة في الجلد	داء المنشقات	المنشقة	4 إلى 6 أسابيع أو أكثر	حماية مصدر الماء	60
مبتلعة إلى الجوف	التنينة	التنينة المدينية وبعض القشريات	حوالي 12 شهراً	حماية مصدر الماء	100
الأمراض ذات الصلة بنواقل الجراثيم					
عض بالقرب من الماء	داء المثقبيات	المثقبية المغمبية	2 إلى 3 أسابيع	ضخ الماء من المصدر	80
تتوالد في المياه	الحمى الصفراء	فيروس الحمى الصفراء	3 إلى 6 أيام	ضخ الماء من المصدر	10؟
الأمراض الناتجة منقصور الإصحاح	الدودة الشصية	الصفر الخراطيني	حوالي شهرين	التخلص من البراز	؟
	الصفر	الجرثومة المسببة للمرض	حوالي شهرين	التحسن الملائم لإمداد الماء	

جدول 3-2 أهم العوامل المؤثرة على حياة الجراثيم وموتها، {7، 8}

العامل البيئي	أثر العامل البيئي على حياة الجرثومة وموتها
درجة الحرارة	يزداد معدل موت الجرثومة بزيادة درجة الحرارة، وتعيش الجرثومة لمدة أطول على درجات الحرارة القليلة
الرطوبة – معدل النداوة	عادة تعيش الجرثومة لمدة أطول في البيئة الرطبة وتحت ظروف وطقس رطب وتموت بدرجة أكبر تحت تحت الظروف الجافة
المواد المغذية	يزداد موت الجراثيم عندما تق وتنعدم مواد التغذية الأساسية
المنافسة من جراثيم أخري	يزداد عمر الجرثومة ومعدل نموهافي البيئة التي تقل فيها أو تخلة منها الجراثيم المنافسة على المواد الغذائية المناسبة أو عند انعدام الجراثيم الآكلة والتي تتغذى على النوع المطلوب تكاثره
ضوء الشمس والأشعة فوق البنفسجية	يزداد موت الجرثومة بتعرضها للشمس
الرقم الهيدروجيني	يزداد تكاثر البكتريا وبقاؤها في المحاليل المتعادلة والقلوية كما وأن البيئة الحمضية تساعد على نمو الفيروسات وحياتها. الرقم الهيدروجيني الذي يقل عن أو يساوي 9 يزيد من موت البكتريا، أما الرقم الهيدروجيني الذي يزيد عن أو يعادل 11 فيزيد من موت الفيروسات، كما وأن الرقم الهيدروجيني الحمضي يزيد من حياة الفيروسات
وجود الجسيمات الناعمة (الغروانية أو المترسبة)	تزيد من حياة الجراثيم نسبة لمتزاز الفيروسات (الحمات) على المواد الناعمة

جدول 3-3 حياة الجراثيم الخارجة من الإنسان- على درجة حرارة 20 إلى 30 درجة مئوية

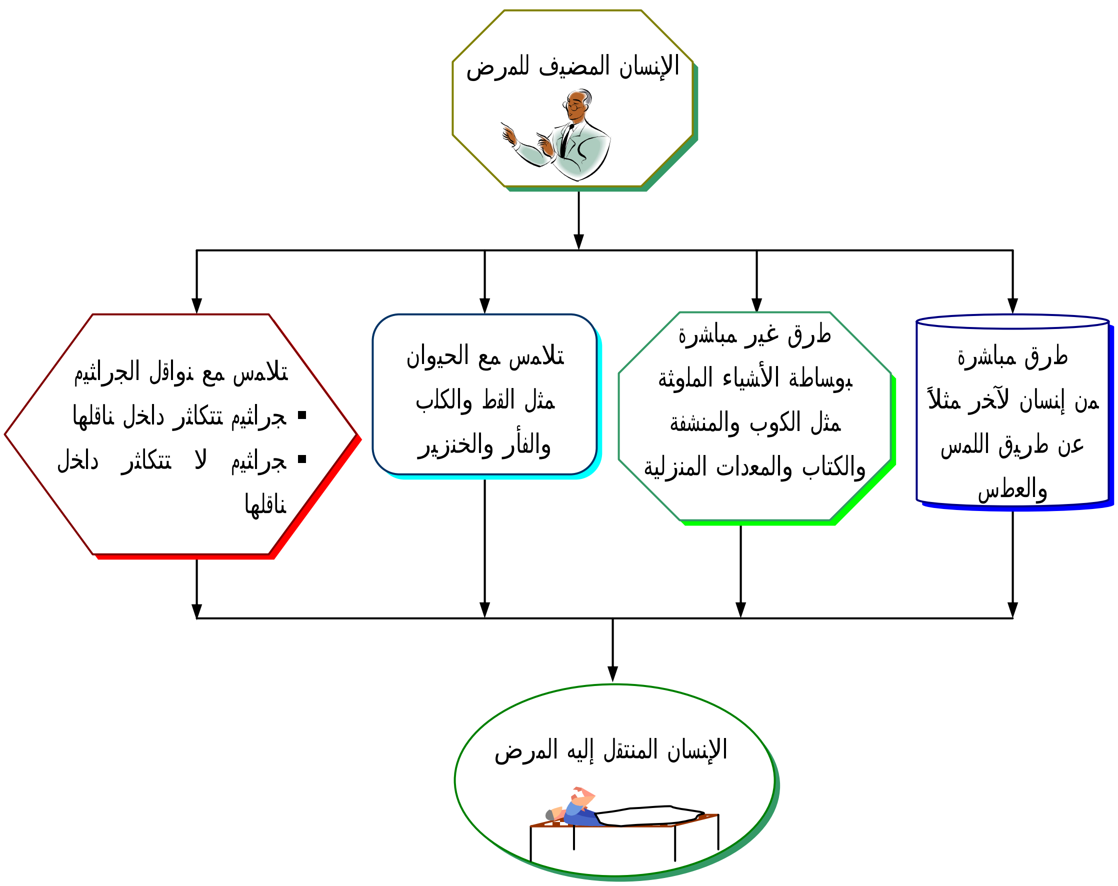
	زمن البقاء والعيش، يوم			
نوع الجرثومة	**في البراز والأوساخ**	**في المياه العذبة والفضلات السائلة**	**في التربة**	**على المحاصيل**
حمات معوية	أقل من 100 (أقل من 20)	أقل من 150 (أقل من 50)	أقل من 100 (أقل من 20)	أقل من 60 (أقل من 15)
البكتريا				
القولونيات البرازية	أقل من 90 (أقل من 50)	أقل من 30 (أقل من 15)	أقل من 20 (أقل من 10)	أقل من 30 (أقل من 15)
السلمونيلة	أقل من 60 (أقل من 30)	أقل من 60 (أقل من 30)	أقل من 70 (أقل من 20)	أقل من 30 (أقل من 15)
الشيغلة	أقل من 30 (أقل من 10)	أقل من 30 (أقل من 10)		أقل من 10 (أقل من 5)
	أقل من 30 (أقل من 5)	أقل من 30 (أقل من 10)	أقل من 20 (أقل من 10)	أقل من 5 (أقل من 2)
الحيوانات الأوالي-بروتوزوا				
المتحولة الحالة للنسج	أقل من 30 (أقل من 15)	أقل من 30 (أقل من 15)	أقل من 20 (أقل من 10)	أقل من 10 (أقل من 2)
ديدان				
بيض الصفر الخراطيني	عدة أشهر	عدة أشهر	عدة أشهر	أقل من 60 (أقل من 30)

ويوضح جدول 3-4 أهم الطرق الموجودة لإنتقال وانتشار بعض الأمراض مثل الهيضة (الكوليرا) والتيفود والدسنتاريا وإلتهاب الكبد المعدي والإسهالات. ويبين شكل 3-1 وشكل 3-2 الطرق المختلفة لإنتقال جراثيم الأمراض. ويمكن تلخيص سبل إنتقال الأمراض في ثلاثة محاور رئيسة:

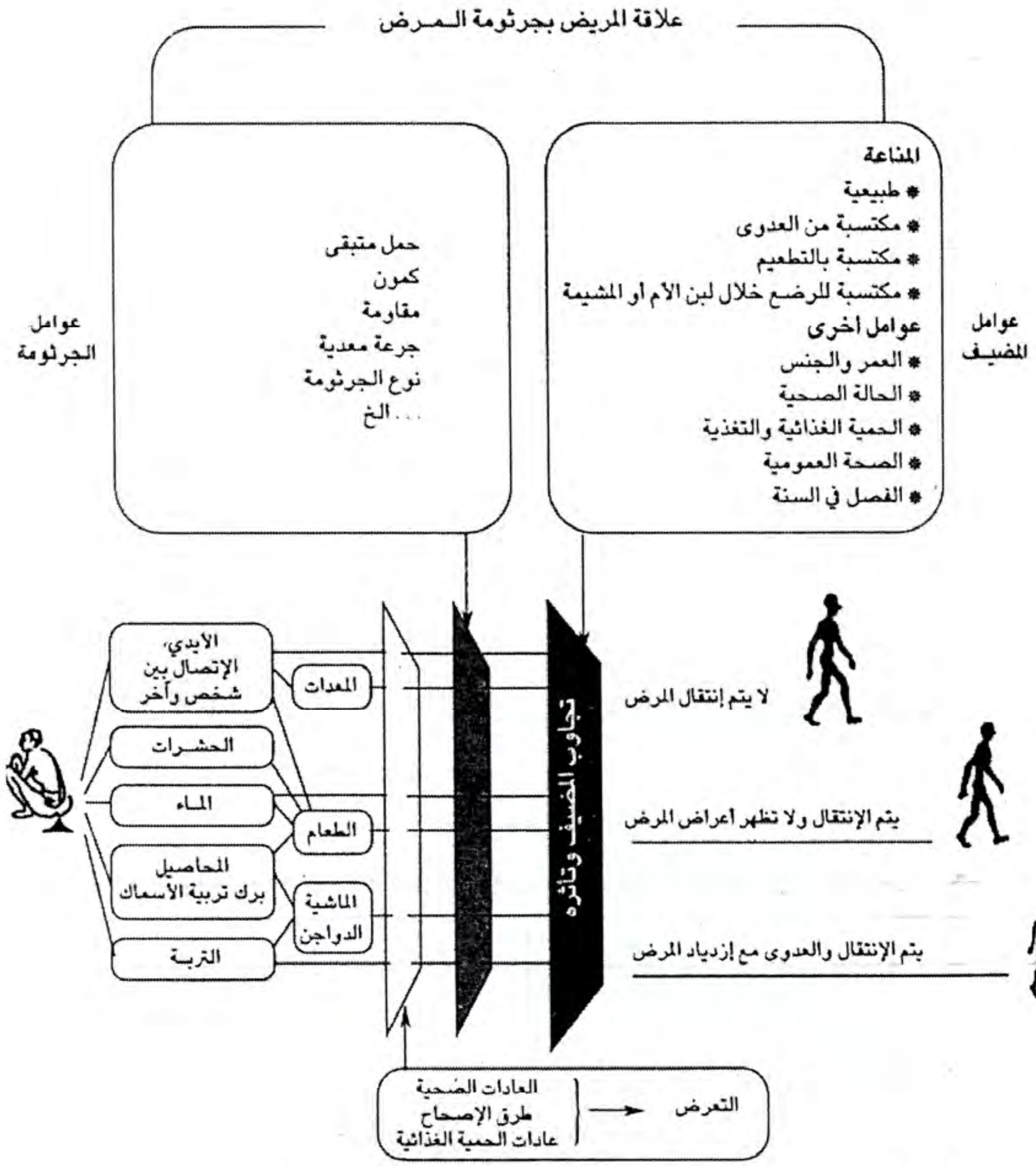
1. طرق ميكانيكية: مثل الأقدام والأيدي والجلد و الجهاز المعدي المعوي Gastrointenstinal tract ومن أمثلة الأمراض التي قد تنتقل بهذا السبيل: التراكوما والرمد الصديدى.
2. طرق حيوية (بيولوجية): وتنتقل الأمراض بهذا الطريق بوساطة نواقل الجراثيم الماصة للدم. ومثال لهذه الأمراض: داء المثقبيات (مرض النوم) والبرداء (الملاريا) والحمى الصفراء.
3. طرق حيوانية: وفيها تقوم بعض الحيوانات بنقل جراثيم المرض. ومن أمثال هذه الأمراض: الطاعون والحمى التيفوسية.Typhus

جدول 3-4 أمثلة لأهم طرق انتشار الأمراض وانتقالها

المرض	الجرثومة المسببة	طرق انتشار المرض وانتقاله
الهيضة	الضمة الهيضية	إنسان _ براز _ ماء _ طعام _ إنسان
حمى التيفود	السلمونيلة التيفية	إنسان _ براز _ ماء _ طعام _ إنسان
حمى الباراتيفود	السلمونيلة نظيرة التيفية	إنسان _ براز _ ماء _ طعام _ إنسان
الزحار الباسيلي	الشيغلة	إنسان _ براز _ ماء _ طعام _ إنسان
الزحار الأميبي	المتحولة الحالة للنسج	إنسان _ براز _ ماء _ طعام _ إنسان
التهاب الكبد	فيروز التهاب الكبد A	إنسان _ براز _ ماء _ طعام _ إنسان
الإسهالات	الإشريكية القولونية الطفيليات	إنسان _ براز _ ماء _ طعام _ إنسان



شكل 3-1 الطرق المحتملة لانتقال جراثيم المرض



شكـل 3-2 العلاقة بين جرثومة المرض والمريض وبعض الطرق المتوقعة لإنتقال الأمراض ذات الصلة بالبراز

المصدر : المرجع 10، منشور بإذن

* IRCWD News December 1995.
* Strauss, M. Health (Pathogen) considerations regarding the use of human waste in aquaculture. Paper presented at the 2nd Inter. Conf. on ecological engineering for wastewater treatment. Waedenswil, Switzeland, 18-22 Sept. 1995.
* Strauss, M., Health implications of excreta & wastewater use, Hubei Environmental Sanitation Study, 2nd workshop, Wuhan, March 3-4, 1944.

وهنالك بعض العوامل والمتطلبات الهامة لكي يصاب الإنسان بمرض معين منها:

- وجود كائن حي دقيق معدي.
- عدم تأثر جرثومة المرض بالعلاج.
- تعرض الشخص لجرثومة المرض.
- تواجد جرثومة المرض بأعداد تؤهلها لنقل المرض وإصابة الفرد المعني.

ويمكن أن تأتي بعض المواد الكيميائية بأمراض معينة عند دخولها بتراكيز كبيرة لجسم الإنسان خلال استعمال الماء أو إعادة استخدام الفضلات السائلة. وقد توجد المواد الكيميائية منفردة أو متحدة مع مواد أخري. وإذا لم يتم تقليل تركيز المادة الكيميائية إلى المستوى المقبول، فإنها قد تصل إلى الإنسان عبر السلسلة الغذائية وتؤثر سلباً على صحته.

أما سمية المادة الكيميائية (أو مجموعة مواد كيميائية) فتعتمد على عوامل متداخلة فيما بينها وتضم:

- خواص المادة الكيميائية.
- الجرعة المميتة.Lethal dose
- الجرعة اليومية المأخوذة من المادة الكيميائية.
- مقدرة المادة الكيميائية للتغلغل إلى داخل الأنسجة.
- طرق التعرض للمواد الكيميائية.
- الأهداف التي تتعرض للمادة السامة.

ويبين جدول 3-5 أمثلة لبعض المواد الكيميائية الملوثة والتي قد تتواجد في الفضلات السائلة مع علاقتها بالأمراض.

جدول 3-5 أمثلة لمواد كيميائية ملوثة تتواجد في الفضلات السائلة والأمراض المتعلقة بها

المادة	المرض
الرصاص	التسمم الرصاصي
النترات	زرقة الأطفال (وجود الميتيموغلوبين في الدم Methemoglobinemia خضاب متبدل)
الهالوجينات العضوية	سرطان
الهايدروكربونات الأروماتية متعددة النُوى	سرطان

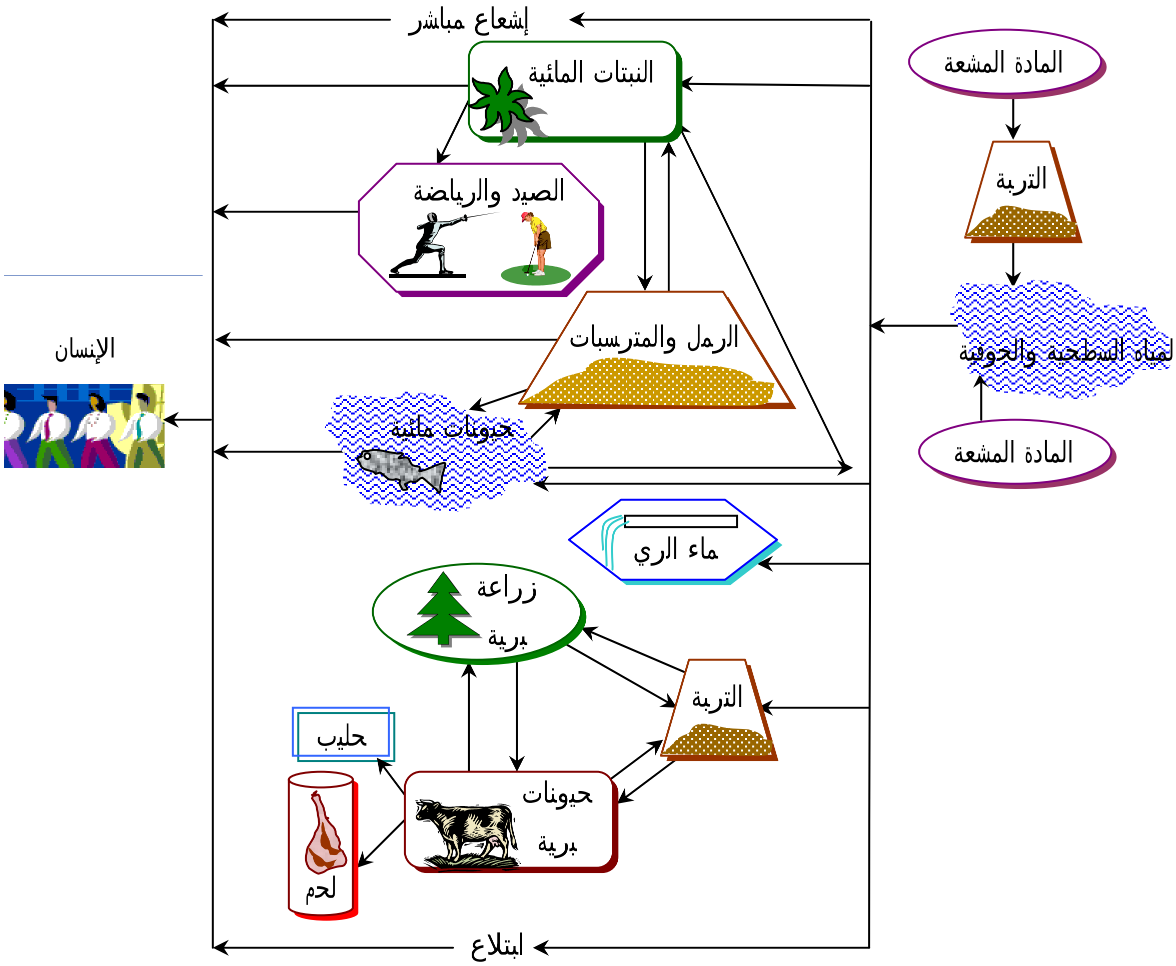
والعوامل الجزيئية التي تأتي بالآثار السامة يعتقد أنها تحدث نتيجة لتفاعل المعدن مع بعض المكونات الحساسة أو الفعالة للخلايا مما يؤدي إلى هدم الخلايا أو الحد من عملها. ويبين جدول 3-6 أهم المخاطر والآثار المترتبة عند التعرض لبعض المواد الكيميائية.

جدول 3-6 أثر بعض المواد الكيميائية على الإنسان، {7، 11}

المادة الكيميائية	الأثر والمخاطر الصحية
الزرنيخ	له صلة بسرطان الجلد ومرض إسوداد الأرجل، وأقر بأنه مسرطن.
الباريوم	مهيج للعضلات وسام للقلب وأوعية الدم والجهاز العصبى.
البورون	سام للنباتات الحساسة له عند درجات تركيز أكبر من 1 ملجم/لتر،كما وأن درجات التركيز العالية من مركباته قد تحدث الغثيان والمعص Cramps والإختلاجات والسبات (الغيبوبة (وأعراض الضائقة.Distress
الكادميوم	يحدث الغيبوبة والغثيان ويتراكم في الكلى والكبد، وأقر بأنه مسرطن.
الكلوريد	يأتى بطعم عند درجات التركيز التي تربو على 400 ملجم/لتر، ولا تعرف له آثار صحية وخيمة.
الكروم	الغيبوبة، وقرحة بعد التعرض لفترات طويلة، غير أن ثنائى التكافؤ منه غير ضار.
النحاس	له طعم بغيض عند درجات تركيز تربو على 1 ملجم/لتر وعليه فمن غير المتوقع ابتلاعه.
السيانيد	غاز سام ينتج على رقم هيدروجيني أقل من 6، يؤثر على الجهاز العصبى عند درجات التركيز العالية.
الفلور	يقلل من تسوس الأسنان على درجات تركيز 1 ملجم/لتر خاصة عند الأطفال، يحدث تبقع للأسنان عند درجات تركيز 4 ملجم/لتر، ويحدث تسمم بالفلور (دغموس (Fluorosis عند درجات تركيز أعلى من 15 إلى 20 ملجم/لتر.
الحديد	تأتى درجات التركيز العالية بالطعم واللون غير المرغوب فيه، ولا تعرف له آثار صحية وخيمة.
الرصاص	يتراكم في العظام، إمساك، فقدان الشهية وفقر الدم وآلام في البطن والشلل.
المانجنيز	طعم بغيض، يغير لون الغسيل، لا يعتقد بأنه ضار للصحة عند وجوده في الماء نسبة للطعم البغيض المواكب له.
الزئبق	سام جداً للإنسان، إلتهاب اللثة، إلتهاب الفمStomatitis ، الرعاش، آلام الصدر، السعال.
النترات	درجات التركيز العالية لها علاقة بوجود الميتيوغلوبين في الدم والإسهالات.
السيلنيوم	يعتقد بأن له أعراض مماثلة للتسمم بالزرنيخ، له علاقة بسرطانات الأسنان.
الفضة	سام على درجات تركيز عالية ويغير لون الجلد إلى الأسود عند درجات التركيز القليلة.

الخارصين	طعم شديد على درجات تركيز تربو على 5 ملجم/لتر، و درجات التركيز العالية تأتى باللون اللبنى (لون الحليب) كما وتكون طبقة دهنية عند الغلى، درجات التركيز العالية جداً لها علاقة بالغثيان والإغماء.

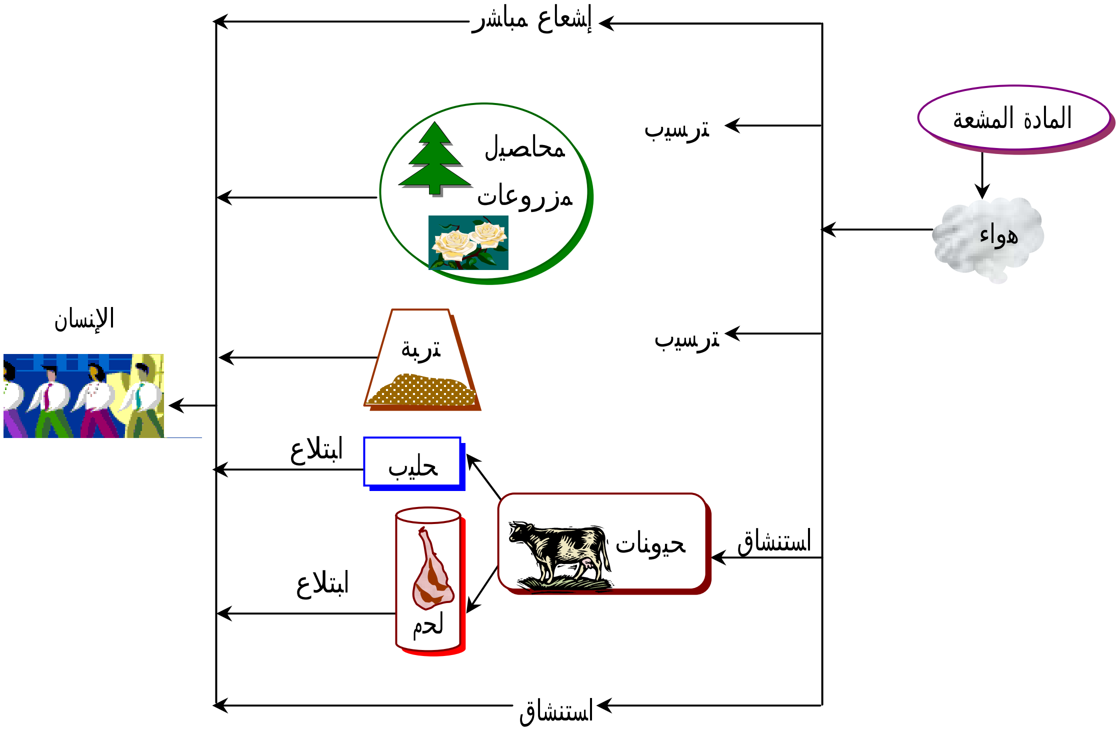
وبالإضافة إلى المواد الكيميائية هنالك المواد المشعة والتي قد تجد طريقها للإنسان عبر حركة المواد المشعة خلال المحيط الحيوى Biosphere. وتبين هذه الحركة أثر المواد المشعة على الإنسان. وتأخذ هذه الحركة أحد مسارين يضمان: المسار عبر السوائل، والمسار عبر الغازات والبر. ويشمل مسار المواد المشعة عبر السوائل نقل ودخول المواد المشعة إلى السلسلة الغذائية عن طريق الماء كما موضح على شكل 3-3. أما مسار المواد المشعة عبر البر والغازات فيشمل تقدمها إلى المحيط الحيوى عبر الغلاف الغازى كما موضح على شكل 3-4.



شكل 3-3 مسار المواد المشعة عبر السوائل إلى الإنسان

المصدر: المرجع 13، منشور بإذن

Source: Kathren, R. L., Radioactivity in the Environment: Sources, Distribution & Surveillance, Harwood Academic Publishers, GmbH, 3rd Printing 1991. Reprinted by courtesy of the publisher, Harwood Academic Publishers, GmbH



شكل 3-4 مسار المواد المشعة عبر الغلاف الغازي إلى الإنسان

المصدر: المرجع 12، منشور بإذن

Source: Kathren, R. L., Radioactivity in the Environment: Sources, Distribution & Surveillance, Harwood Academic Publishers, GmbH, 3rd Printing 1991. Reprinted by courtesy of the publisher, Harwood Academic Publishers, GmbH

أما الآثار الصحية الضارة والنابعة من المواد المشعة فتعتمد على عدة عوامل منها: مصدر الإشعاع وعلاقته بالجسم المتأثر، ونوع الإشعاعات، والإنبعاثات الصادرة من المواد المشعة ، والجرعات الإشعاعية الممتصة، وفترة التعرض للإشعاع، والطاقة الممتصة بالجسم، ونوع ناتج الإشعاع.

وعندما يتعرض الجسم إلى جرعة كبيرة من الإشعاع تظهر عليه أعراض الضرر بالمواد المشعة بعد بضع ساعات من التعرض لها. والأعراض التي تظهر على المصاب قد تضم الغثيان والإجهاد والتعب وفقدان الشهية وتساقط الشعر وإلتهاب الحنجرة والنزف Hemorrhage والإسهال وأضرار للأعضاء المكونة للدم وضرر للجهاز

المعدي المعوي ودمار للجهاز العصبي الرئيس وغيرها من الأعراض والمخاطر. وعندما يتعرض الجسم لجرعات كبيرة من الإشعاع أو لجرعات صغيرة متكررة عبر حقبة زمنية طويلة فقد يتأخر ظهور مضار الإشعاع عليه إلا بعد فترات زمنية بعيدة. ويمكن تقسيم الآثار الضارة للإشعاع إلى قسمين رئيسين هما مضار جسدية Somatic effects ومضار وراثية Hereditary effects. أما المضار الجسدية فتظهر في الإنسان المتعرض للمادة المشعة. ومن أمثلة المضار الجسدية سرطان العظام وابيضاض الدم Leukemia وسرطان الرئة والسادّ(Cataract ضعف البصر) وسرطان الغدة الدرقية، وقد يقلل هذا النوع من الإشعاع من عمر الإنسان إذا شاء ا سبحانه وتعالى. أما المضار الوراثية فقد تظهر في أحفاد الإنسان المتعرض للإشعاع وهى ناتجة من تغيرات منقولة بعوامل وراثية.

تقوم المواد المشعة الداخلة في الجسم بتشعيعه وتشعيع أنسجته إلى ان تلفظ خارج الجسم أو تتحطم بالتحول الإشعاعى العادي Radioactive transformation. عادة نجد أن إنبعاثات ألفا من المواد المشعة (مثل تلك الصادرة من الراديوم واليورانيوم) إشعاعات من مصادر طبيعية، وربما وجدت في المياه الجوفية في مناطق التعدين الملائمة. أما معظم إنبعاثات بيتا فهى من صنع الإنسان (عدا تلك الصادرة من الراديوم Ra 228)

ومن الطرق التي يمكن إتباعها لتقليل مشاكل الإشعاع: إستعمال الجير أو الجير والصودا في عمليات التخلص من الماء، أو باستخدام تبادل الكاتيونات، أو بالتناضح العكسي، كما وقد استخدامت الانيونات لإزالة اليورانيوم. وربما أفادت التهوية في تقليل الرادون. ولابد من مراعاة اختيار سبل التخلص المناسبة للمواد المشعة المزالة، وضمان مواكبة هذه السبل للتشريعات والقوانين المائية وتلك المتعلقة بالفضلات والحمأة.

5-3 نواقل (منتجات) الجراثيم Vectors

ناقل الجراثيم عبارة عن كائن حي بمقدرته نقل جرثومة المرض، وتضم في مجموعها النواقل الحقيقية والحيوانات التي تعمل كمستودع للجراثيم. ويطلق مصطلح النواقل الحقيقية على الحشرات اللاسعة أو اللادغة. والحيوانات التي تعمل كمستودع للجراثيم تضم الديدان التي تعيش في بعض النظم البيئية. ويوضح شكل 3-5 التداخل بين الإنسان ونواقل المرض والجراثيم والمياه.

ومن أهم العوامل البيئية المؤثرة على حياة نواقل الجراثيم وتكاثرها وانتقالها: حركة الماء ومعدل دفقها وعمقها واستمراريتها. كما وتؤثر أيضاً خواص الماء (مثل الملوحة) والتلوث العضوي ودرجات تركيز الأكسجين وضوء الشمس ودرجة الحرارة ووجود النباتات المائية الملائمة.

ويبين جدول 3-7 علاقة نواقل الجراثيم بالمياه. ويحتوي الجدول أيضاً على أهم نواقل الحشرات مثل بعوض برغش Culicine mosquito وبعوض الإنفيل Anopheline mosquito والذبابة السوداء (الذلفاء Simulium blackfly) وذبابة الحصان وذبابة النعرة اللاسعة Tabanid والذبابة الرملية (الفاصدة Phlebotomine sandfly وذبابة تسى تسى Tse tes fly أو اللّاسنَة Glossina fly والديدان مثل الجوادف cyclops وديدان المحار الملتوى.Bulinus snails

جدول 3-7 علاقة نواقل الجراثيم مع المياه

النواقل الحشرية

الموضع	بعوض برغش	بعوض الإنفيل	ذبابة الذلفاء	ذبابة النعرة	الذبابة اللاسنة	ذبابة تسي تسي
تتوالد في الماء	*	*	*	127		
تتوالد في الأرض المبتلة				*	*	
تتوالد في الأرض الرطبة						*
تعيش بالقرب من الماء	*	*	*		*	*
تعيش في مناطق أخرى						*

النواقل الوسيطة

الموقع	الجوادف	ديدان **Oncomelania**	ديدان **Biomphalaria**	ديدان المحار الملتوي
توجد في ماء الشرب	*			
تعيش في أنواع مختلفة من الماء		*	*	*

المصدر:مرجع 15، منشور بإذن

Source: Birley, M.H., Guidelines for forecasting the rector-borne disease implications in the development of a water resource project. Translated & reprinted by courtesy of WHO/FAO/UNEP/UNICHS Panel of Experts on Environmental Management for vector control (PEE).

جدول 3-8 معلومات بيولوجية عن بعض نواقل الجراثيم

المرض	ناقل الجرثومة أو الحيوان	إمكانية التكاثر				السلوك المفضل			
		كمية البيض	دورة البيض	عدد المفقوسات	العمر أسبوع	زمن التغذية	منطقة الراحة	مصدر الدم	* مدى الطيران
البرداء- الملاريا	بعوض الإنفيل	200	10 إلى 14 يوم	6 إلى 10	20	ليلاً	داخل أو خارج المنزل	إنسان وحيوان	1.5 كلم
داء الخيطيات	بعوض برغش وبعوض الزاعجة	200	8 إلى 10 يوم	6 إلى 10	20	ليلاً ونهاراً	داخل أو خارج المنزل	إنسان وحيوان	0.1 إلى 8 كلم
داء كلابية الذنب	الذبابة السوداء- الذلفاء	400	2 إلى 3 اسبوع	3 إلى 4	1 إلى 2	نهاراً	خارج المنزل	إنسان وحيوان	4 إلى 8 كلم
إسهالات الأطفال	الذبابة المنزلية	150	7 إلى 14 يوم	2 إلى 3	3	نهاراً	داخل أو خارج المنزل		4 كلم
داء المثقبيات- البلهارسيا	ديدان مائية- حلزون	45	30 يوم	10 إلى 12	3		خارج المنزل		10 إلى 30 كلم
داء المثقبيات- مرض النوم	ذبابة تسي تسي	خادرة واحدة	60 يوم	10	3 إلى 12	نهاراً	خارج المنزل	إنسان وحيوان	2 إلى 4 كلم
داء شاشاس- مرض النوم الأمريكي	بق	200	52 أسبوع	1 إلى 2	50	ليلاً	خارج المنزل	إنسان	10 إلى 20 م
داء الليشمانيات	الفاصدة- الذبابة الرملية	50	6 إلى 8 أسابيع	2	12	ليلاً	خارج المنزل	إنسان وحيوان	50 متر
الطاعون	الفأر	8/لتر	12 أسبوع	4	32	ليلاً ونهاراً	داخل أو خارج المنزل		50 إلى 80 متر
	برغوث	12	8 أسابيع	10	15	ليلاً ونهاراً	داخل أو خارج المنزل	إنسان أو حيوان	

ملحوظة: تعطي الأرقام مؤشراً وتبين أهم العوامل المؤثرة للانتقال وتختلف كثيراً من نوع لآخر في بيئات مختلفة

* تحت ظروف طبيعية ساكنة

المصدر: مرجع 16، منشور بإذن

Reproduced by permission of WHO from: Environmental management for vector control.
Fourth report of the WHO Expert Committee for Biology Control. Control: Geneva,WHO, 1980 (WHO TRS. No. 649)

3-6 بيئة نواقل الجراثيم وموطنها

عادة تتوزع نواقل الجراثيم وجراثيم الأمراض بغير انتظام عبر منطقة جغرافية معينة. وعليه فإن نواقل الجراثيم يمكن أن تكثر في مناطق مختلفة دونما وجود أي صلة بين بعضها البعض. ووجود نواقل الجراثيم واستحداث مناطق توالدها وتكاثرها ونموها تؤثر عليها عدة عوامل منها: موطن ناقل المرض، ونمو وتطور الناقل، وطرق وأنماط إعادة استخدام المياه وغيرها من المناحي الهايدروليكية والهندسية، وإمدادات ونظم المياه، والمشاريع الإنمائية والتنموية ذات الصلة بالمياه. كما وقد تساعد المشاريع الهندسية ذات الصلة بالمياه على استحداث موطن ملائم لناقل معين لم يعرف له وجود بالمنطقة قبلاً. ويبين جدول 3-8 بعض البيانات والمعلومات الهامة لبعض نواقل الجراثيم والأمراض ذات الصلة بها. كما ويوضح جدول 3-9 أهم الحيوانات التي تستضيف جراثيم لأمراض ذات صلة بنواقلها. وكل نوع من أنواع نواقل الجراثيم (أو مجموعة منها) لها موطن محدد تفضله على غيره وتختاره دون سواه. ومن أهم الفروق بين مواطن نواقل الجراثيم المختلفة: موضع المنطقة، ومنطقة وزمن الاتصال بين ناقل الجراثيم والمصاب بها، ومرحلة إنتقال المرض، وأسلوب راحة الناقل، والفروق الموسمية، ودم الإنسان، والحيوانات الأليفة. ولكل نوع من نواقل الجراثيم موطن لايبدله بغيره، مثلاً توجد نواقل تفضل نوع معين من مياه الأنهار أو البحارأو البحيرات بخواص معينة من درجة الحرارة، وسرعة اندفاق المياه، ووجود الظل. كما وهنالك أنواع أخري من نواقل الجراثيم تفضل المياه العذبة وأخري تفضل الفضلات السائلة وغيرها. ولايوجد تداخل بين الموطن المفضل لأي نوع من النواقل مع غيره.

ويبين جدول 3-10 أهم الأمراض ذات الصلة بالمياه وعلاقتها مع موطن نواقل الجراثيم. ومن الأمراض المدرجة في جدول 3-10 الحمات *Arboviruses* والتي تضم حمى الضنك Dengue والحمى الصفراء، كما وتضم التنينة Dracunculiasis وداء الخيطيات وداء الليشمانية Leishmaniasis والذي يضم داء الليشمانيات الحشوي Visceral L. وداء الليشمانيات الجلدى.Cutaneous L، بالإضافة إلى البرداء Malaria وداء المنشقات Schistosomiasis بأقسامه المنشقة المنسونية *S. mansoni* والمنشقة الدموية *S. haematobium* والمنشقة اليابانية *S. Japonicum* بالإضافة إلى داء المثقبيات الأفريقي.Tryanosomiasis

جدول 3-9 أهم الحيوانات المضيفة لبعض نواقل الجراثيم

المجموعة	المرض	الخنازير	الطيور	القوارض	القردة	العواشب الكبيرة آكلة العشب	اللواحم آكلة اللحم	الإنسان كمضيف أساسي
الحمات	الضنك				*			*
	الحمى الصفراء				*	*		
	أخرى	*	*	*	*			
التنينة					*			*
داء الخيطيات	باكرافت							*
	بروجيات				*			*
	اللوا				*			*
	داء كلابية الذنب							*
داء الليشمانيات	داء الليشمانيات الجلادي							
	داء الليشمانيات الحشوي							
البرداء								*
داء المنشقات	المنشقة المنسونية				*			*
	المنشقة الدموية					*		*
	المنشقة اليابانية	*				*		
داء المثقبيات	المثقبية الروديسية	*						
	المثقبية الغمبية							*

المصدر مرجع 15، منشور بإذن

Source: Birley, M.H., Guidelines for forecasting the rector-borne disease implications in the development of a water resource project. Translated & reprinted by courtesy of WHO/FAO/UNEP/UNICHS Panel of Experts on Environmental Management for vector control (PEE)

جدول 3-10 الأمراض الرئيسة ذات الصلة بالماء والمتعلقة بأهم مواطن ناقل المرض

المجموعة	الأمراض الرئيسة	أرض جافة وشبه جافة	غابات مطرية	نباتات نهرية	غابات السافانا	أرض مرتفعة	جداول وقنوات ري	بحيرات وبرك	سهول الأرز المبتلة	أنهار وخلجان	مستوطنات بشرية	أرض سافانا عشبية	سهو ساحلية
الحمات	الضنك										*		
	الحمى الصفراء		*								*		
التنينة									*				
داء الخيطيات	باكرافت		*								*		*
	بروجيات		*				*				*		*
	اللوا		*										
	داء كلابية الذنب						*						
داء الليشمانيات	داء الليشمانيات الجلدي	*	*										
	داء الليشمانيات الحشوي	*	*								*		
البرداء			*	*			*	*	*	*	*		*
داء المنشقات	المنشقة المنسونية						*	*	*	*	*		
	المنشقة الدموية						*	*	*	*	*		
	المنشقة اليابانية						*	*	*	*			
داء المثقبيات	الأفريقي			*	*								

المصدر مرجع 15، منشور بإذن

Source: Birley, M.H., Guidelines for forecasting the rector-borne disease implications in the development of a water resource project. Translated & reprinted by courtesy of WHO/FAO/UNEP/UNICHS Panel of Experts on Environmental Management for vector control (PEE)

3-7 التحكم بنواقل الجراثيم

التحكم بنواقل الجراثيم والسيطرة عليها لمنع انتشار الأمراض وسط المجموعة السكانية من الأهمية بمكان. ويستخدم التحكم بنواقل الجراثيم للحد من تكاثر نواقل معينة مثل: البعوض والذباب والبرغوث Flea والقمل والصرصور والفأر والحلزون وغيرها. ويتم التحكم في نواقل الجراثيم بغية تحقيق أهداف معينة منها:

منع حدوث الأمراض ذات الصلة بنواقل الجراثيم وانتشارها.

- التحكم في الأمراض المستوطنة Endemic diseases في منطقة معينة.
- تقليل تفشي الأمراض والأوبئة أو منعها.
- تقليل احتمال العض بنواقل الجراثيم (مثل الحشرات والفئران) وبذا يقل الإزعاج الناتج من الألم.
- تقليل الخسارة الاقتصادية التي تنشأ من نواقل الجراثيم التي تتغذى على المحاصيل أو تفسد الأطعمة أو تلك النواقل التي تلحق الأضرار بالمنشآت والمباني أو تلك النواقل التي تجعل مناطق الترفيه والاستحمام لاتطاق ولاتحتمل.

أما طرق التحكم في نواقل الجراثيم والإدارة المثلى لها فتضم :

1. التحكم في مناطق التكاثر والتفقيس: ويتم ذلك بعدة سبل منها تصميم وإنشاء نظم التصريف المناسبة والجيدة، والعمل على منع مناطق تكاثر نواقل الجراثيم وغيرها.
2. التحكم بالمواد الكيميائية: ويمكن استخدام هذه الطريقة للتحكم في نظم نواقل الجراثيم. وفي هذه الطرق يتم استخدام المواد الكيميائية لقتل الحشرات أو شرانقها أو يرقاتها أو نواقل الجراثيم.
3. التحكم البيولوجي أو الحيوي: ويتم استخدام هذا السبيل للحفاظ على البيئة والتحكم المتقن في نواقل الجراثيم. ومثال لهذه الطريقة استخدام الأسماك الآكلة لليرقات Larvivorous fish لتقليل أعداد يرقات نواقل الجراثيم في مواطنها.
4. الحماية الفردية: ويتم استخدام هذه الطريقة لحماية الفرد من انتقال الأمراض إليه عبر نواقل الجراثيم. ومن أمثلة هذه الطريقة: استخدام الشريط المنخلي Screen واستخدام طوارد نواقل الجراثيم Vector repellents.
5. تثقيف المجتمع والتعاون الشعبي: وهذان العاملان من العوامل الأساسية والمهمة لتحفيز الناس وضمان مشاركتهم الفعالة والفاعلة في المشاريع، وللإدارة المثلى، وللتحكم في نواقل الجراثيم.

وعادة قد تُستخدم أكثر من طريقة من الطرق المبينة أعلاه للقضاء على نواقل الجراثيم أو التقليل من وجودها. وتجمل الطرق المذكورة أعلاه في الطرق الكيميائية والحيوية والوراثية كما مبين أدناه:

1- الطرق الكيميائية للتحكم في نواقل الجراثيم

تستخدم المواد الكيميائية في مناطق راحة نواقل الجراثيم أو مواطن تكاثرها وتفقسها. وتضاف المواد الكيميائية في المناطق المختارة بطريقة مثلى، وبجرعات ملائمة، ولمدة زمنية محددة، للقضاء على ناقل الجراثيم المعين. ويتم استخدام المادة الكيميائية بوساطة شخص مدرب جيدا على طرق الاستخدام والإضافة وكيفية منع حدوث أي عواقب وخيمة. ويمكن إجمال محاسن استخدام المواد الكيميائية للقضاء على نواقل الجراثيم في النقاط التالية:

المواد الكيميائية مؤهلة للقضاء على نواقل الجراثيم خاصة عند وجود أوبئة.
تتمكن المواد الكيميائية من التحكم في نواقل الجراثيم بطريقة مثلى وسريعة.
تأتي المواد الكيميائية بعائد جيد وذلك عند أخذ نسبة التكاليف والفوائد في الحسبان.

أما مساوئ استخدام المواد الكيميائية في التحكم في نواقل الجراثيم فتشمل مايلي:

أ) مساوئ النواقل:

- تتمكن النواقل من اكتساب مناعة للمادة الكيميائية المستخدمة.
- إنتاج نواقل لها سلوك مقاوم للمواد الكيميائية ولاتؤثر فيه المعالجة الطبيعية.

ب) مساوئ بيئية:

- استحداث مشاكل تلوث بيئي.
- عدم إتفاق البيئيين على استخدام المواد الكيميائية.
- وجود بعض أعراض بيئية ثانوية على كائنات أخري غير مسببة لمشاكل (مثل بعض أنواع النمل المفيد)

ج) مساوئ للإنسان.

- مشاكل صحية وأمنية.
- زيادة سعر المواد الكيميائية البديلة.
- نقصان وتدهور في الإدارة ونظم الرش وطرقه.
- زيادة في الجرعات المميتة للمواد الكيميائية والمبيدات المختلفة.
- زيادة الأجور والرواتب للعاملين.
- عدم وجود العمالة الماهرة المدربة في مجال التحكم في نواقل الجراثيم وعلم الحشرات الطبي.
- تلوث بيئي بعيد المدى.

ويمكن تعريف المبيد الحشري على أنه مادة أو خليط من مواد أو مركبات كيميائية تستخدم للقضاء على الحشرة أو النبتة أو الجرثومة أو الحيوان المزعج أو التحكم فيها والذي يأتي بدمار أو إزعاج للإنسان أو حيواناته أو محاصيله الزراعية أو ممتلكاته.

وتعمل المبيدات الحشرية كسموم للبطن أو عن طريق اللمس. ويمكن تقسيم المبيدات الحشرية إلى الأقسام التالية:

أ) بايرثرين :Pyrethrin

وهذه المواد الكيميائية من أوائل المبيدات الحشرية المستخدمة من أصل نباتي. ومثال لها مادة بايرثروم Pyrethrumالمستخرجة من زهرة الأقحوان (زهرة الذهبChrysanthemum) ويتكون هذا المبيد من البايرثرين والسينارين. وهو فعال ضد مجموعة كبيرة من الحشرات ولا يضر بالإنسان والحيوانات الثديية. غير أن المتبقي منه قليل، وتتحطم المكونات الفعالة منه تحت ضوء الشمس. وهذا المبيد غالى الثمن لاستخدامه نوع معين من الزهور المتواجدة في مناطق محددة من العالم.

ب) الكلور العضوي (الهايدروكربونات المكلورة) Organochlorine compounds (Chlorinated hydrocarbons)

ومن أمثلة هذه المواد الأكثر شيوعاً في السابق مادة د.د.ت DDT .أو ثنائي كلور ثنائي فينيل ثلاثي كلور الإيثان Dichlorodiphenyltrichloroethane ولندين Lindane أو مايسمى HCH وكلوردين. ويمكن ان تستخدم هذه المركبات في حالة محلول أو غروي أو عالق بعد أخذها كبدرة في الحقل. وتتم إذابة المادة في الحقل مباشرة قبيل الاستخدام. وللهيدروكربونات المكلورة المتبقية تظل على الأسطح والجدران. ولهذه المواد الكيميائية كفاءة عالية لقتل الحشرات غير أن درجة سميتها للإنسان والثديات عالية، وقد تستمر هذه السمية لفترة أشهر أو ربما سنوات. وربما يسمح هذا الوضع بدخول المادة الكيميائية إلى السلسلة الغذائية مما حدا بعدم استعمالها إلا في حالات نادرة.

ج) المركبات العضوية الفسفورية Organophosphate compounds

وهذه مواد مصنعة من مواد كربونية يمكن استخدامها كمواد سامة للتلامس الموضعي أو شاملة لكل الجسم. ولمعظم المركبات العضوية الفسفورية فترة تبقي قليلة، وذلك لسهولة تفسخها الحيوي إلى مواد غير ضارة، وهذه الخاصية جيدة للحد من سميتها خاصة للأغذية والمحاصيل، غير أنها لاتروق جهات التخصص عند تفكيرهم في الحماية طويلة الأجل. وقد قاد الاستخدام المكثف للمبيدات الحشرية إلى استحداث المناعة في نواقل الجراثيم للهايدروكربونات المكلورة مما حدا بتكثيف استخدام المركبات العضوية الفسفورية والكربامات لتحل محلها. ومن الخصائص العامة للمركبات العضوية الفسفورية: الثمن الغالى، وسميتها للإنسان، وقلة فترة فعالية المتبقي لها مقارنة بالمواد العضوية المكلورة. وهذه الخواص تزيد من تكاليف ومعدل استخدامها وفترة تكراره ، كما وتزيد من أحجام الفضلات المتبقية، وتتطلب استخدام آليات وأجهزة باهظة الثمن، كما وتحتاج إلى مقاييس وأجهزة أمان وضبط ذات تكلفة عالية. ومن أمثلة هذه المواد المالاثيون Malathion وفنتروتين.Fenitrothion

د) مركبات الكرباماتCarbamate Compounds

ومركبات الكربامات مواد عضوية تحتوي على كربون وهيدروجين ونتروجين وكبريت. وتتقارب هذه المواد في عملها الحيوي وتكوين متبقي للمركبات العضوية الفسفورية. ومن أمثلة هذه المواد بروبوكسور Propoxur وألديكارب.ALdicarb

ه) مركبات البيرثريود Pyrethroids compounds

وهذه مركبات مصنعة تماثل البيرثرين. والأجزاء الفعالة في المبيد تحتوي على عدة مركبات تصلح للقضاء على مجموعة كبيرة من الحشرات ونواقل الجراثيم.

أما مبيدات الهوام Pesticides فهى مواد كيميائية أو طبيعية تصلح للقضاء على الهوام. وتستخدم مبيدات الهوام للنباتات والمحاصيل والغابات والحشائش والرياض والحدائق والتربة والمنازل والهوام والأخشاب والحشرات والطحالب والمفصليات والممسودات (المدوراتNematodes) والبكتريا والفطريات والعشبيات والقوارض والطيور والأسماك وبعض الحيوانات الكبيرة.

ويوضح جدول 3-11 أمثلة لبعض مبيدات الهوام، والآثار الضارة التي قد تنجم من الاستخدام المكثف وغير المتقن لها.

جدول 3-11 أمثلة لبعض مبيدات الهوام ومخاطرها

المبيد	الأثر والمخاطر
اندرين	مخاطر للجهاز العصبى الرئيس للإنسان والحيوانات العليا
لندين	يعتقد بأنه مادة مسرطنة
ميثوكسكلور	له سمية قليلة على الثدييات
4/2- د و 2، 4، 5-ت	مسرطن وماسخ حتى في درجات التركيز القليلة جداً

وتعتمد المخاطر التي قد تنجم من استخدام مبيدات الهوام على عدة عوامل منها: الجرعة المستخدمة، ومعدل التعرض، ونوع المبيد، ودرجة الإمتزاز للمادة الكيميائية، وإمكانية تحلل وتفسخ المبيد حيوياً، ومعدل تراكم المبيد في الجسم، وصحة الفرد المتعرض للمبيد. ويمكن إجمال المخاطر السلبية الناجمة من استخدام المبيد في النقاط التالية:

دخول وبقاء المبيد في بعض البيئات مثل السلسلة الغذائية.

- ❖ تعرض الإنسان للمبيد أثناء عمليات الرش خاصة تلك العمليات غير الحكيمة والهوجاء من قبل أشخاص غير متدربين جيداً.
- ❖ مشاكل الصحة المهنية مثل استخدام المواد الكيميائية التي لها أثر حيوي فعال.
- ❖ إكتساب نواقل الجراثيم مناعة من المواد الكيميائية.
- ❖ قد تأتي المبيدات بمخاطر بيئية خاصة خلال الترحيل أو النقل أو التخزين أو الاستعمال أو التخاص النهائي من المبيدات المنتهية الصلاحية أو الحوايا.
- ❖ مخاطر بيئية عند سوء الاستخدام أو سوء إدارة المبيدات والفضلات الناتجة عنها.
- ❖ مخاطر وآثار بيئية أخري.

2- الطرق الطبيعية (الحيوية) للتحكم في نواقل الجراثيم Naturalistic (Biological) vector control methods :

وفي هذه الطرق يمكن استخدام الكائنات المفترسة الطبيعية، أو بالخمج Infection لنواقل الجراثيم، فمثلاً تستخدم عناصر بكتيرية أو طفيليات اليرقات، وقد تم أيضاً استخدام الأسماك وأسماك المنوة (Minnows سمك أوربى صغير) لأكل البعوض، واستخدم القط وابن مقْرِض (Ferret حيوان شبيه بابن عرس يستخدم خاصة لصيد القوارض) لصيد وقتل الفئران أو غير ذلك من المفترسة والكائنات المجهرية الجرثومية.

ومن العوامل المؤثرة في التحكم الجيد لنواقل الجراثيم: عمر الناقل، وتردد عض الإنسان والحيوانات الأليفة، وكثافة الناقل بالمنطقة وغيرها من الخواص المواكبة له.

ومن الطرق الحيوية المستخدمة للقضاء على نواقل الجراثيم الأعداء الطبيعيين والمواد الحيوية السامة. والأعداء الطبيعيون لنواقل الجراثيم يضمون مفترسات من النباتات ومن الحيوانات اللافقارية، والمبيدات الحشرية الطبيعية، والحيوانات الأوالي (البروتوزوا) والفطريات، والحيوانات الفقارية.

3- الطرق الوراثية للتحكم في نواقل الجراثيم Genetic vector control methods :

وتُستخدم هذه الطرق سلوك الذكور للتزاوج. وتعتمد الطريقة أساساً على نوع الناقل. واستخدام هذه الطريقة يضمن عدم تأثر الأنواع الأخري من النواقل غير الضارة والتي ربما انقرضت من استخدام الطرق الأخري. وهنالك العديد من السبل التي يجري البحث فيها ووضعها موضع الاختبار، فعلى سبيل المثال لا الحصر يمكن استخدام الذكور المعقمين، واستخدام التضارب الهيولى Cytoplasmic incompatibility وذلك لإيجاد أنواع متشععة أو جراثيم كائنات حية مؤثرة عليها.

4- طرق الإدارة البيئية للتحكم في نواقل الجراثيم

تعتمد طرق الإدارة البيئية للتحكم في نواقل الجراثيم على التخطيط والتنظيم والمراقبة الجيدة لتطوير أو تعديل المكونات البيئية أو ملحقاتها بغرض منع أو تقليل زيادة أعداد نواقل الجراثيم وتقليل اتصال الإنسان بها. ومن فوائد استخدام هذه الطرق ما يلي:

- التخلص من مواطن تكاثر نواقل الجراثيم أو تقليل اتصال الإنسان بها.
- عدم إحتياج الطريقة إلى إحتياطات أمنية أكثر من الإحتياطات الطبيعية.
- ذات تكلفة قليلة خاصة على المدى الطويل.
- تساعد على منع والتحكم في عدة نواقل للجراثيم، بالإضافة إلى الحد من انتشار الكثير من الأمراض ذات الصلة بالمياه.
- تستخدم الطريقة المصادر الطبيعية بصورة أفضل.
- تأتي الطريقة بالعديد من المنافع منها: التنمية الإجتماعية، والزيادة في مستوى الحياه المعيشية، وتجويد مناحي الترفيه والاستجمام والسياحة، وتنظيم المناحي المنزلية بطريقة أفضل.
- لاتأتي هذه الطريقة بمخاطر بيئية سلبية كبيرة.

ومن مساوئ هذه الطريقة:

- o التكلفة العالية المبدئية.
- o الفترة الزمنية الطويلة المطلوبة لإتمام المشروع.
- o التعقيدات المواكبة لبعض الأعمال الرئيسة.

ويمكن تقسيم طرق الإدارة البيئية للتحكم في نواقل الجراثيم إلى ثلاثة أقسام رئيسة تضم طرق التحكم في نواقل الجراثيم الدائمة، وطرق التحكم في نواقل الجراثيم المؤقتة، وطرق التحكم في نواقل الجراثيم التكاملية، وطرق التحكم في مواطن الإستيطان السكاني.

أ) الطرق الدائمة للتحكم في نواقل الجراثيم

وتقوم الطرق الدائمة للتحكم في نواقل الجراثيم بتغيير الخواص الطبيعية للبيئة المحيطة بغية تقليل تكاثر وبقاء نواقل الجراثيم الضارة. ويتم التغيير المواكب بصورة دائمة وثابتة على المدى الطويل. وهذا التغيير قد يتم في الأرض أو الماء أو النباتات دونما إحداث أي تغير بيئي ضار. ومن أمثلة هذه الطرق إنشاء

المصارف الصحية المناسبة في المشاريع الزراعية، وردم الأرض، وتعديل وتغيير الأرض، والتغير في حدود الخزانات والسدود. ورغم عن أن التغير الحادث دائم، غير أنه لابد من إجراء الإصلاحات والصيانة اللازمة من فترة لأخري لضمان فعالية وكفاءة الطرق المستخدمة.

ب) الطرق المؤقتة للتحكم في نواقل الجراثيم

ويتم عبر هذه الطرق الحد من والقضاء على نواقل الجراثيم والهوام. وتقوم هذه الطرق باستحداث ظروف مؤقتة تمنع تكاثر نواقل الجراثيم في مواطنها. ومن الأهداف العامة لهذه الطرق تقليل أو إزالة نواقل الجراثيم في منطقة معينة. وتفيد مثل هذه الطرق في أوقات معينة مثلاً عند التفكر في التحكم في الأوبئة أو الإنفجارات أو الثورات عندما يري السكان أو يتخيلوا وجود خطر حقيقى أو مفترض. ومثال لهذه الطرق التغير في ملوحة الماء، ونظافة المسالك المائية، وتنظيم منسوب المياه في الخزانات، ونزح الماء أو غمر للمستنقعات والسدود، أو قطع النباتات أو تظليل المنطقة أو تعرضها لضؤ الشمس وغيرها. ومن أكثر الطرق استخداما: إدارة المياه، والتحكم في النباتات. إذ تساعد إدارة المياه في استحداث توازن بيولوجى يساعد على إزالة نواقل الجراثيم غير المرغوب فيها. وإدارة المياه في الخزانات والسدود وغيرها يمكن الإتيان بها بعدة طرق منها: التغير في مستوى منسوب المياه، وإقامة السدود وبوابات التحكم وصمامات الدفق، والغسيل والنظافة الدورية لتغيير حالة الدفق المستقر، والتحكم في النباتات.

ج) طرق التحكم وتطوير موطن الإنسان أو سلوكه حيال نواقل الجراثيم

وتهدف هذه الطرق لتقليل الاتصال بين نواقل الجراثيم والإنسان. ومن أمثلة هذه الطرق:

- وضع المستوطنات البشرية بعيداً عن موطن نواقل الجراثيم.
- صد البعوض عن المنازل.
- الحماية الشخصية.
- وضع ضوابط صحية ضد نواقل الجراثيم.
- وضع أنظمة معينة مثل الموانع، والأسوار حول المنشآت ومحطات المعالجة، إمدادات المياه والصرف الصحي، نظم التخلص من الفضلات البشرية، الغسيل، الاستحمام، الترفيه والاستجمام وغيرها. وهذه النظم تعمل على منع أو تقليل الاتصال بين الإنسان وناقل الجراثيم والمصادر الملوثة.
- وضع ضوابط ومحددات لاستخدام الأرض مثل إعادة الإستيطان البشري، وترحيل السكان عن مناطق معينة، واستحداث مستوطنات جديدة.
- حماية للمنزل وللشخص مثل ان يكون المنزل محمى من إرتياد نواقل الجراثيم وهذه هامة جداً في حالة النواقل التي تتغذى أثناء الليل ومن أمثلة هذه الأنماط:
- استخدام شباك ومناخل البعوض.
- قفل الثقوب والحفر والجحور والشقوق وما شابهها.
- إنشاء الجسور والمعابر والقناطر الملائمة.
- استخدام المواد المنفرة والطاردة للحشرات.

- استخدام الحيوانات البرية أو الأليفة لجذب إنتباه نواقل الجراثيم إليها (خاصة تلك النواقل الماصة للدماء) بدلاً من لجوئها إلى الإنسان.

ويبين جدول 3-12. أهمية استخدام المياه الصحية والنظيفة لتقليل الأمراض ذات الصلة بها، ويبين جدول 3-13 بعض الخصائص المهمة للمناطق الريفية والحضرية، وعلاقة بعض العوامل المؤثرة على إمدادات المياه والإصحاح في المناطق النائية وتضم هذه العوامل: الخواص السياسية والاجتماعية والمالية والتقنية

د) <u>الطرق المتكاملة للتحكم في نواقل الجراثيم</u>

تضم هذه الطرق في مجملها الطرق الملائمة تقنيا والجيدة إداريا لتصميم النظم الكفيلة بالقضاء على نواقل الجراثيم بأحسن السبل إقتصاديا. وعادة يتم في هذه الطرق استخدام أكثر من وسيلة للتحكم في نواقل الجراثيم، كما ويحبذ استخدام السبل التي تدعم بعضها البعض. وكمثال لهذه الطرق: استخدام مبيد مختار دونما حدوث أي نتائج ضارة عند استخدامه على الحياه البيولوجية الأخري المفيدة والموجودة بالمنطقة. وقد استخدمت هذه الطريقة للتحكم في ذبابة تسى تسى وبعوض الإنفيل وبعوض الزاعجة المصرية وبعض أنواع البق.

كما وقد أُستخدمت الطرق التكاملية في التحكم في داء المنشقات (البلهارسيا) في المشاريع المروية. ويبين جدول 3-14 الآثار المترتبة على تغيير بعض الخواص على حياة كل من الحازون والمنشقة.

جدول 3-12 تقديرات عن إنخفاض الأمراض ذات الصلة بالمياه عند مد المستهلك بمياه صحية وجيدة، {17}

المرض	النسبة المئوية لانخفاضه
دودة الفرنديت Guinea worm	100
التيفية Typhoid	
80	
داء المنشقات (البلهارسيا Schistosomiasis)	80
داء المثقبيات الغمبية (مرض النوم Trypanosomiasis)	80
الجرب Scabies	80
الداء العليقي (يوز Yaws)	70
إلتهاب العيون	70
حثر (تراكوما Trachoma	50
الزحار العصوى (الدسنتاريا)	50
داء الأميبات Amebiasis	50
الزحار (غير محددDysentery)	50
سعفة (دودة شريطية Tinea)	50
إلتهاب المعدة والأمعاء Gastroenteritis)	50
الإلتهابات الجلدية وتحت الجلدية	50
نظيرة التيفية Paratyphoid والسلمونيلة الأخري	40
الصفر	40
الحمى الراجعة القملية	40

المصدر: المرجع 17، منشور بإذن.

جدول 3-13 بعض خصائص المناطق الريفية والحضرية وعلاقتها بالعوامل المؤثرة على الماء والإصحاح في المناطق النامية

العوامل المؤثرة على إمداد الماء والإصحاح	المناطق الريفية		المناطق الحضرية		
	مناطق سكنية مبعثرة	مناطق سكنية محددة	أحياء عشوائية	أحياء فقيرة	مناطق تنمية وعمران
الضغط السياسي	قليل جداً	قليل	متوسط إلى قليل	متوسط إلى عالي	عالي
التوعية الشعبية	قليل جداً	متوسط	متوسط إلى قليل	متوسط	عالية
وجود القوة البشرية					
هيئة ذات كفاءة عالية	بعيدة الاحتمال	محدودة جداً	محدودة	محدودة	متواجدة - محدودة
هيئة ذات كفاءة متوسطة	بعيدة الاحتمال	محدودة جداً	محدودة	محدودة	محدودة - متواجدة
عمالة تطوعية	يحتمل وجودها	غالباً موجودة	غالباً غير حرة	غالباً غير حرة	غير حرة
تنظيم الصيانة					
مهارة الصيانة	مستوى متدني	متوسط إلى متدني	مستوى متوسط	متوسط إلى عالي	متوسط إلى عالي
قطع الغيار		غالباً لا توجد		متواجدة أحياناً	متواجدة أحياناً
العدم والمساندة	لا توجد	محدودة جداً		متواجدة أحياناً	متواجدة أحياناً
الدخل					
إمكانية جمع الريع والدخل	قليل جداً	صعب غير أنه متواجد	قليل وصعب	محتمل	متواجد وعادة يطبق
الخيارات غير الحكومية المتواجدة					
لإمداد المياه	خزانات سطحية غير محمية وآبار سطحية	خزانات سطحية غير محمية وآبار سطحية	بائع الماء	بائع الماء	بائع الماء وىلآبار العامة
للإصحاح	العراء والسيح والمناطق المكشوفة	العراء والسيح والمناطق المكشوفة	العراء	محدودة العراء	محدودة
استخدام الأراضي العامة للمصانع					
التواجد	متواجدة	عادة متواجدة	غير متواجدة	محدودة جداً	محدودة
النوع			متدني		
الاحتياج لمشاركة المستخدم لأخذ القرار والتطبيق	عالي	عالي	عالي	متوسط	محدودة
الدعم الحكومي المطلوب	المساندة والدعم والاستشارة	المساندة والدعم والاستشارة والتنسيق	المساندة والدعم والاستشارة والتنسيق	التنظيم والتنسيق	التنسيق
إمدادات الطاقة	غير متواجدة	محدودة التواجد	محدودة التواجد	عادة متواجدة	عادة متواجدة
الطرق والاتصالات	صعبة	ممكنة مع ضياع الزمن	ممكنة بصعوبة	نسبية التدبير	سهلة نوعاً ما
التشريع والتحكم والتطبيق	صعب جداً	صعب	صعب جداً	صعب	ممكن
التنمية الصناعية	لا توجد	محدودة جداً	محدودة جداً	كثيرة	تعمر بها المنطقة
مستوى التعليم	متدني	متدني	متدني	متدني	متوسط إلى عالي

وتعتمد الطرق المتكاملة للتحكم في نواقل الجراثيم على عدة عوامل ومؤثرات منها: نوع الناقل قيد البحث، وخطورة المرض، والظروف المكانية، ونوع الخدمات الصحية ومستواها ، وجغرافية المكان، ووجود مشاريع تنموية أخري بالمنطقة.

ومن محاسن استخدام الطرق المتكاملة: التحكم في نواقل الجراثيم، والاستخدام الأمثل للماء والأرض لإنتاج محصول أوفر.

وعادة لابد من المفاضلة بين الطرق المختلفة التي يمكن استخدامها للقضاء على نواقل الجراثيم. ولإتمام هذه المفاضلة لابد من أخذ عدة عوامل في الحسبان منها على سبيل المثال:

- المتطلبات الصحية الملحة.
- الأسبقيات والأولويات الخاصة بالمجتمع المحلي.
- الموارد المتاحة من قوة بشرية ومواد خام.
- الموارد المالية.
- التقانة المتاحة والملائمة.
- سهولة الطرق المستخدمة وكفاءتها.
- النواحي الأمنية.
- نوع الفوائد ووضوحها.
- القبول الشعبي.
- التعليم والتثقيف الشعبي.
- المشاركة الشعبية.

جدول 3-14 الآثار البيئية على الحازون والمنشقة

العنصر	مناسبة للحازون	ضارة بالحازون	مناسبة للمنشقة	ضارة بالمنشقة
درجة الحرارة، مئوية	22 إلى 26	أقل من 0 وأكبر من 40	30 إلى 35	أقل من 20 وأكبر من 35
الضوء	شمس متوسطة، ينمو النبت المجهري	ظلام	ذات انتحاء أو توجه ضوئي نشطة نهاراً	ظلام
الفصل السنوي	ممطر للتكاثر والنمو والانتقال إلى مستعمرات جديدة	جاف	ممطر لنقل البراز والتلامس مع الحازون	جاف لحياة البيض والتفقيس
حركة الماء	تيار بطئ وأمواج هادئة	سريع وعنيف		
العكارة	قليلة – متوسطة، تغذية بالمعادن العضوية	عالية ويوجد طمي وغرين		
الملوحة	يمكنها احتمال الزيادة التدريجية	أكثر من 1000 إلى 2500 للمحار الملتوي		لا يوجد تفقيس على تركيز أعلى من 5000 ملجم/لتر
الأكسجين الذائب	مهم		مهمأقل من 6.5 ملجم/لتر	
الرقم الهيدروجيني	6 إلى 8	أقل من 5 أكثر من 10	5 إلى 8	أقل من 5 وأعلى من 8

المصدر: المرجع 18، منشور بإذن

يوضح الجدولان 3-15 و3-16 طرق الإدارة البيئية للتحكم في نواقل الجراثيم، والمداخل المصممة لكفاءة التحكم لكل نوع من هذه النواقل. كما ويوضح شكل 3-6 ملخص لأهم الطرق التي يمكن إتباعها كطرق تكاملية للتحكم في البعوض.

جدول 3-15 طرق الإدارة البيئية للتحكم في نواقل الجراثيملآ، {6}

الناقل أو المضيف الوسيط	المرض المنتقل	الطرق الدائمة						الطرق المؤقتة						تطوير موطن الإنسان				
		مصارف	ردم أرضي كامل	حفر وردم	تسوية الأرض	تغير في سرعة الدفق	السدود والخزانات	قطع النباتات وحرقها	التعرض إلى الوقوف تحت الشمس	التغير في مستوى الماء	التحكم في الدفق والنطافة	التحكم في النباتات المائية	تنظيم الملوحة	إمدادات المياه والإصحاح	المصافي والشباك	جمع الفضلات الصلبة والتخلص منها	تحديد استخدامات الأرض	تحسن الحياة المنزلية
بعوض	البرداء	××	××	××	××	×	*	×	×	×	×	×	××	×	×	×	×	×
الإنفيل	داء المنشقة	×	×	××	×	×	*	*	*	×	×	×	×	××	*	*	×	*
الحلزون		××	×	×	×	×	*	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
المائي																		
البعوض أو		*	*	*	*	×	××	*	*	*	×	*	*	×	*	*	×	*
الزاعجة																		
المصرية	إسهال	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	××	×	××	*	×
الذلفاء –	الأطفال	*	*	*	*	*	*	××	*	*	*	*	*	*	*	*	×	*
الذبابة	داء المثقبية																	
السوداء	الأفريقي	*	*	*	*	*	*	×	*	*	*	*	*	*	×	*	*	××
الذبابة	داء شاغس	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	××	*	××
المنزلية	الطاعون	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	××	*	*	*	*
ذبابة تسيتسي	التنينة																	
بق																		
برغوث الفأر																		
الحوادف																		

المفتاح: المصدر: المرجع 18، منشور بإذن

* أثر قليل أو غير مباشر أو غير مجدي

× فعال جزئياً لبعض النواقل

×× فعال ابتدائياً لمعظم الأنواع

أ أثر سلبي على الخزانات الصغيرة وأثر جيد على الخزانات الكبيرة

Reproduced by permission of WHO, from: Environmental management for vector control. Forth report of the WHO expert committee for Biology & Control, Geneva< WHO, 1980 (WHO TRS, No 649)

جدول 3-16 أمثلة لبعض المداخل المصممة للتحكمفي نواقل الجراثيم ومجموعات النواقل المتأثرة بها

طرق التحكم في نواقل المرض		بعوض الإنفيل	بعوض برغش	الذلفاء - الذبابة السوداء	ذبابة الحصان - النعرة	القاصدة – الذبابة الرملية	تسي تسي - اللاسنة	الجوادف	الحلزون المائي
الطرق البيئية الدائمة	مصارف	**	**		**				*
	ردم الأرض	**	*		**				*
	التعميق والردم	**	*			**			**
	تسوية الأرض	**	*						*
	تغير في سرعة الدفق	*	*	*					*
	خزانات صغيرة			*					
	خزانات كبيرة			**					
الطرق البيئية المؤقتة	قطع النباتات البرية وحرقها	*	*				**		
	الظل أو التعرض للشمس	*	*						
	التغير في منسوب الماء	*	*						*
	التحكم في الدفق والنظافة	*	*						*
	قطع النباتات المائية	*	*						*
	تنظيم الملوحة	**	*						*
تطوير المستوطنات السكانية	امدادات المياه والإصحاح	*	**	*					**
	الشريط المنخلي	*	*		**			**	
	جمع النفاية الصلبة	*	**						
	التوزيع إلى مناطق	**	*	*		**	**		**
	تحسين المنزل	**	*						

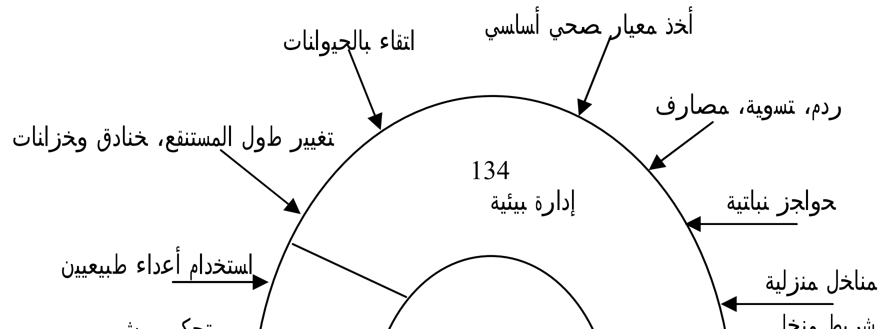
المصدر: المرجع 15، منشور بإذن

المفتاح:

* ضار

** فعال ابتداءاً

Source: Birley, M.H., Guidelines for forecasting the rector-borne disease implications in the development of a water resource project.
Translated & reprinted by courtesy of WHO/FAO/UNEP/NICHS Panel of experts on Environmental Management for vector control (PEEM)



3-8 الإدراك والتوعية الشعبية بالآثار الصحية في المشاريع الهندسية

يمكن تعريف المشاركة الشعبية في طرق التحكم لنواقل الجراثيم، على أنها طريقة مستمرة ذات إتجاهين، يتم فيها مشاركة الأفراد والأسر والجماعات منذ بداية المشروع وفي مراحل التخطيط وتطبيق طرق التحكم في نواقل الجراثيم، بغية ضمان تحقيق المشروع للإيفاء بالإحتياجات المحلية والأسبقيات المطروحة، وليعي الناس أهمية المشروع ووضعه تحت أعينهم، وبذا يتحقق الاعتماد على الشعب لتحقيق التنمية الإقليمية.

ومن أهم أهداف المشاركة الشعبية هي تحفيز الإنتاج والاستخدام الأمثل للموارد المتاحة وتحفيز الإدراك البيئي وأخذ القرار المناسب عند الحاجة. وعليه يمكن إجمال أهداف المشاركة الشعبية في النقاط التالية:

- الإعلام والتعليم والإرتباط والاتصال.
- تحديد المشاكل والإحتياجات والقيم المهمة.
- الإتيان بالأفكار الجيدة والحلول المناسبة.
- التفاعل والاسترجاع للمقترحات.
- تقويم البدائل.

- حل أوجه الاختلاف بالحوار والإتفاق.

ومن المقترح إتباع الخطوات التالية لتشجيع تفاعل ومشاركة المجتمع في مشاريع التحكم في نواقل الجراثيم:

- o أخذ الإحتياطات الأولية ومراقبة المجتمع.
- o وضع الخطة التخصصية.
- o تحديد الميزانية العامة للمشروع.
- o تعليم المجتمع وتثقيفه في النواحي ذات الصلة بالمشروع.
- o المتابعة والتقويم.

ومن المحددات والقيود التي قد تواجه الفرد فيما يختص بمشاركة المجتمع في برامج التحكم في نواقل الجراثيم مايلي:

- ✓ عدم الخبرة من قبل أفراد المجتمع.
- ✓ إحتمال الخاط للمواضيع الهامة من قبل المجتمع.
- ✓ عدم وضوح الأهداف العامة ومواصفات وطرق تنفيذ المشروع.
- ✓ الإعتماد على معلومات خاطئة نسبة لجهل المجتمع.
- ✓ عدم التحريك الجيد المجتمع.
- ✓ عدم الإهتمام بالمشروع.
- ✓ الميزانية الموضوعة لتنفيذ المشروع وعلاقتها بأوجه الصرف الحقيقية.
- ✓ إحتمال تأخير المشروع بسبب إجتماعى أو سياسى.
- ✓ إحتمال فقدان أعضاء المجتمع الإهتمام بالمشروع مما يؤثر على إستمراريته.
- ✓ عدم تحقيق النتائج الخاصة بتعليم المجتمع.

ومن المتوقع ألا تتحقق الأهداف العامة لمشاركة المجتمع (المشاركة الشعبية) بدون استخدام نظم تحليل النتائج عبر تقويم الأثر البيئي Environomental Impact assessment. وتقويم الأثر البيئي عبارة عن دراسة تعمل لتحديد الآثار البيئية المتوقعة من المشروع التنموي، مثلاً عند عمل المشاريع الزراعية أو تنفيذ خزان لسد الطاقة الهايدروليكية. وقد استخدمت مناحي التأثير البيئي لأخذ الاعتبارات البيئية في الإعتبار في كل مراحل التخطيط، وذلك بهدف أخذ القرارات السليمة والتي تعمل على الحفاظ على الموارد التقنية والاجتماعية والصحية والمالية للمجتمع.

وعادة يحوى مشروع تقويم الأثر البيئي المناشط التالية:

- ❖ تحديد الآثار البيئية وتقويمها
- ❖ توضيح أهمية الآثار البيئية.
- ❖ عرض النتائج الخاصة بتقويم الآثار.
- ❖ اختيار إستراتيجية ملائمة للمراقبة.

❖ نقل المعلومات المتجمعة للمستفيدين ولقيادة المجتمع وأفراده.

ومن المتوقع أن تكون الآثار البيئية إما مفيدة أو ضارة. ومشروع تقويم الأثر البيئي يركز أيضاً على الصعاب ونقاط الاختلاف وقيود الموارد الطبيعية التي قد تؤثر على ملاءمة المشروع ومعقوليته. كما ويتكهن التقويم باحتمالات تطوير العيوب والمضار والمخاطر التي تؤثر على المجتمع والأسر ومستوى معيشة الفرد. وتساعد عملية التقويم المستمرة على أخذ الإحتياطات الملائمة بغية تقليل المشاكل المتوقعة وتحديد السبل الكفيلة بإصلاح المشروع ليحقق أهدافه المفيدة للبيئة.

3-9 الصحة العمومية في سدود التخزين

عادة تعمل السدود والخزانات لتخزين المياه أثناء فترة الخريف أو لتخزين مياه الفيضان للإستفادة منها في منشآت أدنى النهر. كما وتستخدم المياه المخزنة في زمن التحاريق لإنتاج الطاقة ولإمدادات المياه وفي المشاريع المروية وغيرها من الاستخدامات المفيدة. ومن الممكن بناء السد أو الخزان بصورة تقلل من وجود نواقل الجراثيم عبر سواحله وأجزائه المختلفة. فمثلاً من المعروف أن تخزين المياه خلف الخزان قد يفاقم من مشاكل توالد البعوض. وعليه فلا بد من ردم أو غمر كل المناطق المبعثرة والتي يمكن أن تصبح مواطن توالد لنواقل الجراثيم. وإنشاء الخزان يساعد على غمر منطقة كبيرة خلفه مما يسهل معه تطبيق برامج التحكم في البعوض. إذ أن مناطق توالد البعوض تكون كثيرة ومبعثرة قبل قيام الخزان مما يحد من معالجتها بمبيدات الحشرات، وبعد قيام الخزان فإن هذه المناطق العديدة والمعقدة تتحول إلى منطقة واحدة كبيرة مما يسهل معه التعامل معها.

ومن المعروف أن البعوض قد يتوالد في الخلجان المحمية والمنعطفات وفي الفجوات والتجاويف عبر ضفاف الخزان وعلى طولها. وهذا نسبة لوجود مياه ضحلة ونباتات مائية ومواد طافية. وفي هذه المناطق تجد يرقات البعوض الحماية المطلوبة من العوامل العدائية مثل: التيار المائي والرياح والأمواج وغيرها، كما وأن اليرقات تتحصل بسهولة على الغذاء والحماية من الأعداء الطبيعيين.

والمناطق التي لا يستخدمها البعوض كمناطق توالد في الخزانات والسدود تضم: المياه العميقة، والمناطق البعيدة من الحدود، والمناطق التي تنعدم فيها النباتات، وعبر الضفاف الشديدة الإنحدار والمعرضة للأمواج وغيرها. وعادة نجد أن حجم مشاكل البعوض في الخزانات يتناسب بصورة غير مباشرة مع طول المستنقع عبر الشاطئ.

3-10 الصحة العمومية في المشاريع المروية

يقصد بالري استخدام المياه أو إعادة استخدام المياه للتربة بغية رفع محتوى النداوة الذي يساعد نمو النباتات وقد يأتي بمحصول وفير وعائد جيد.

ومن طرق نقل وتوزيع المياه في المشاريع المروية استخدام القنوات المفتوحة.

ومن المعروف أن القناة تتطلب موازنة مناسبة للحفاظ على شكلها، وللحفاظ على قدرة حمل المياه داخلها، وأيضاً لمنع ترسب المترسبات أو نحر الحبيبات التي ترسبت في قاع القناة. ومن محاسن القنوات المفتوحة لنقل المياه وتوزيعها:

- التكاليف القليلة المبدئية.

- سهولة الإنشاء والتنفيذ.
- الإستفادة من أعداد كبيرة من العمال غير المهرة لحفر وإنشاء القنوات.

أما أهم مساوئ القنوات المفتوحة فيمكن إجمالها في التالي:

- o وجود نمو زائد للنباتات والأعشاب المائية عبر القنوات أو على طول سدودها وقناطرها. ومن مشاكل نمو النباتات والأعشاب: نقصان معدل الدفق، وزيادة تكاليف الصيانة.
- o الإحتياج إلى مسافة أكبر لمثل هذا النظام خاصة عند استخدام سرعات دفق قليلة.
- o زيادة هدر المياه عن طريق الترسب والتبخر.
- o إنهيار الجسور والسدود بعدة عوامل مثل: علو المياه عليها، والتعرية، والحيوانات، والاستخدام السيئ.
- o الإحتياج إلى قناطر وجسور للمساعدة في العبور وإنسياب الحركة ومنع تحطيم القنوات.

وهذه العيوب أو المساوئ يمكن تقليلها كثيراً بتبطين القنوات.

وقد تملي مواصفات الصحة العمومية زيادة سرعة الدفق في القنوات والمصارف في المشاريع المروية. وهذا الشرط ذو أهمية، وذلك لأثره الكبير على ترسيب الحلزونات وتكاثرها وتوالد البعوض.
والجدير بالذكر أن استخدام أنواع معينة من طرق الري وتبنيها قد يفاقم من نوع معين من الأمراض التي لم تكن متواجدة قبلاً بالمنطقة، ومثال لذلك زيادة معدلات داء المنشقات Schistosomiasis والبرداء .Malaria ومن الملاحظ أن أكثر مناطق توالد نواقل الجراثيم في المشاريع المروية توجد في قنوات التوزيع الثانوية Minor Canals أو في مناطق الدفق القليل عبر مقاطع القنوات غير المنتظمة. وهذه الأوضاع تنجم خاصة عند تراكم المياه لفترة زمنية طويلة. كما وأن مشاكل نواقل الجراثيم تظهر في مناطق التعرية والنحر والتآكل في القنوات، أو قد تظهر في مناطق إزدياد النباتات وتكاثرها خاصة عندما تنعدم أو تقل الصيانة الدورية. وعامة تزداد احتمالات تكاثر نواقل الجراثيم في القنوات الصغيرة: وكمثال لذلك توالد البعوض أو حلزون داء المنشقات. وهذا الحال يقود إلى التفكر في زيادة سرعة الدفق في القنوات للحد من وجود هذه النواقل وتكاثرها. ويمكن أن تزاد السرعة إما بزيادة الميل الهايدروليكي أو تقليل معامل الخشونة أو زيادة القطر الهايدروليكي. وبما أن ميل القناة الهايدروليكي يعتمد على طبغرافية منطقة القناة، فيحدد هذا الوضع استغلال ميل القناة للتحكم في سرعة الدفق بطريقة عملية. ومن المحددات التي قد تظهر إستواء الأرض في مشروع مروي كبير. أما بالنسبة للميل الهايدروليكي فمن المعلوم أن زيادة الميل إلى الضعف لا يزيد سرعة الدفق بمقدار أكثر من 41 بالمائة، وعليه فإنه من ناحية عملية يمكن زيادة السرعة بتقليل خشونة سطح القناة، والتي يمكن إتمامها بسهولة بتبطين القناة. والفوائد التي تتأتى من تبطين القناة يمكن إيجازها في الآتي:

1. يوفر التبطين المياه وذلك بنقصان معدل تسرب المياه ومن خلال نقصان فاقد التوزيع.
2. يأتي التبطين بحماية للمنشأة ضد التشوهات والتلف خاصة في حواجز القناة الترابية وأرضها والميل الجانبي
3. يقلل التبطين من تكاليف الصيانة نسبة لإنخفاض معدل نحر القناة ومنع ترسيب الطمي والغرين والتحكم في نمو الأعشاب وغيرها.

4. يوفر التبطين الأرض، وذلك نسبة لاستغلال جزء بسيط من الأرض للقنوات الثانوية ولإنشاء مصارف ضيقة.
5. يوفر التبطين الأموال وذلك نسبة لنقصان أحجام القنوات والمنشآت الثانوية الأخرى.
6. يزيد التبطين من عائد المحاصيل وذلك لأنه يمنع تسرب المياه للتربة وبالتالي الحد من زيادة تراكيز الأملاح بها.
7. يمنع التبطين نشوء مناطق توالد البعوض وذلك لأنه يحد من وجود مياه راكدة يحبها البعوض.
8. يمنع التبطين (والصيانة الدورية) نمو النباتات ذات الجذور والأعشاب الطافية والنباتات المائية. وبذا فإن بيض ويرقات البعوض لاتجد المنطقة الآمنة المحمية للتكاثر.

ويمكن أن يتم تبطين القناة باستخدام أسطح قوية أو مرصوفة مثل الخرسانة المسلحة أو الطوب (الطابوق) أو الأسمنت البورتلاندي أو الحجارة. ويمكن استخدام الأغشية مثل صفائح بيوتيل المطاط Butyl rubber sheeting أو اللجنين Lignin (الخشبين: مادة عضوية تشكل مع السليلوز قوام النسيج الخشبى) أو البوليمرات (المكوثرات) أو متعدد الأتيلين (بولى ايثلين Polyethylene (أو الفينيل المتعدد Polyvinyl أو باستخدام التربة الطينية الرملية أو باستخدام الراتنجات.

وتشير بعض الدراسات إلى أن سرعة اندفاق الماء عبر القناة في حدود 0.65 م/ث تزيح حلزونات داء المنشقات من أسطح قناة معنقة. ويمكن ليرقات الذلفاء (الذبابة السوداء - الناقل لجرثومة داء كلابية الذنب (Onchocerciasis العيش في مياه تتغير سرعة الدفق فيها بين 0.5 إلى 2 متر على الثانية في أحسن ظروف فيها رسو وغذاء وتهوية. وعادة فيمكنها تحمل سرعات بين 0.7 إلى 1.2 متر/ث.
وبما أن الحلزون يحيا وينمو عادة في بيئة هادئة ومياه تنساب ببطء، وأن يرقات ذبابة الذلفاء تحتاج إلى تيار قوي لتصل مرحلة النضوج، فإن زيادة سرعة دفق الماء تزيح الحلزون ونقصان السرعة يمنع يرقات ذبابة الذلفاء من النضوج وبذا تقل أعدادها. وعليه فإن مثل هذا الإجراء لايصلح عند وجود الناقلين في نفس المنطقة.

ومن النظم الهندسية التي يمكن تبنيها لمنع أو التحكم في توالد نواقل الجراثيم (مثل توالد البعوض) في المشاريع المروية مايلي:

- استخدام مواسير مغلقة أو تبطين القنوات المفتوحة لنقل المياه.
- استخدام نظم أفضل للري مثل: الري بالرذاذ أو الرش، أو الري بالتنقيط أو الري بالنضيض.
- استحداث تصميم أفضل للقنوات يأخذ في الحسبان نواحي الصحة العمومية وقد يتم ذلك مثلاً:

➢ باستخدام قنوات لها ميل هايدروليكي ملائم يضمن اندفاق الماء بسرعة ملائمة تتحكم في نواقل الجراثيم.
➢ استحداث نظم جيدة لمحازاة القنوات ومنع وجود الإنحناءات والمنعطفات الحادة والمنحنيات عند تصميمها.
➢ الاستخدام الأمثل للأرض والقيام بالتسوية وعمل التدريج الملائم.
➢ إضافة نظام تصريف جيد في المشاريع المروية.

- استخدام نظام ملائم لصيانة القنوات وإصلاح الردميات والتحكم في نمو الأعشاب ونظافة القنوات وغيرها.
- تطبيق برامج تعليمية للمزارع لمناحي الري والتحكم في نواقل الجراثيم وغيرها مما يفيد في نجاح المشروع.

ويبين جدول 3-17 أهم الطرق الهندسية التي يمكن استخدامها للتحكم في نواقل الجراثيم عند تصميم قنوات الري في المشاريع المروية. كما ويبين شكل 3-7 المخاطر المتوقعة في الخزانات والسدود.

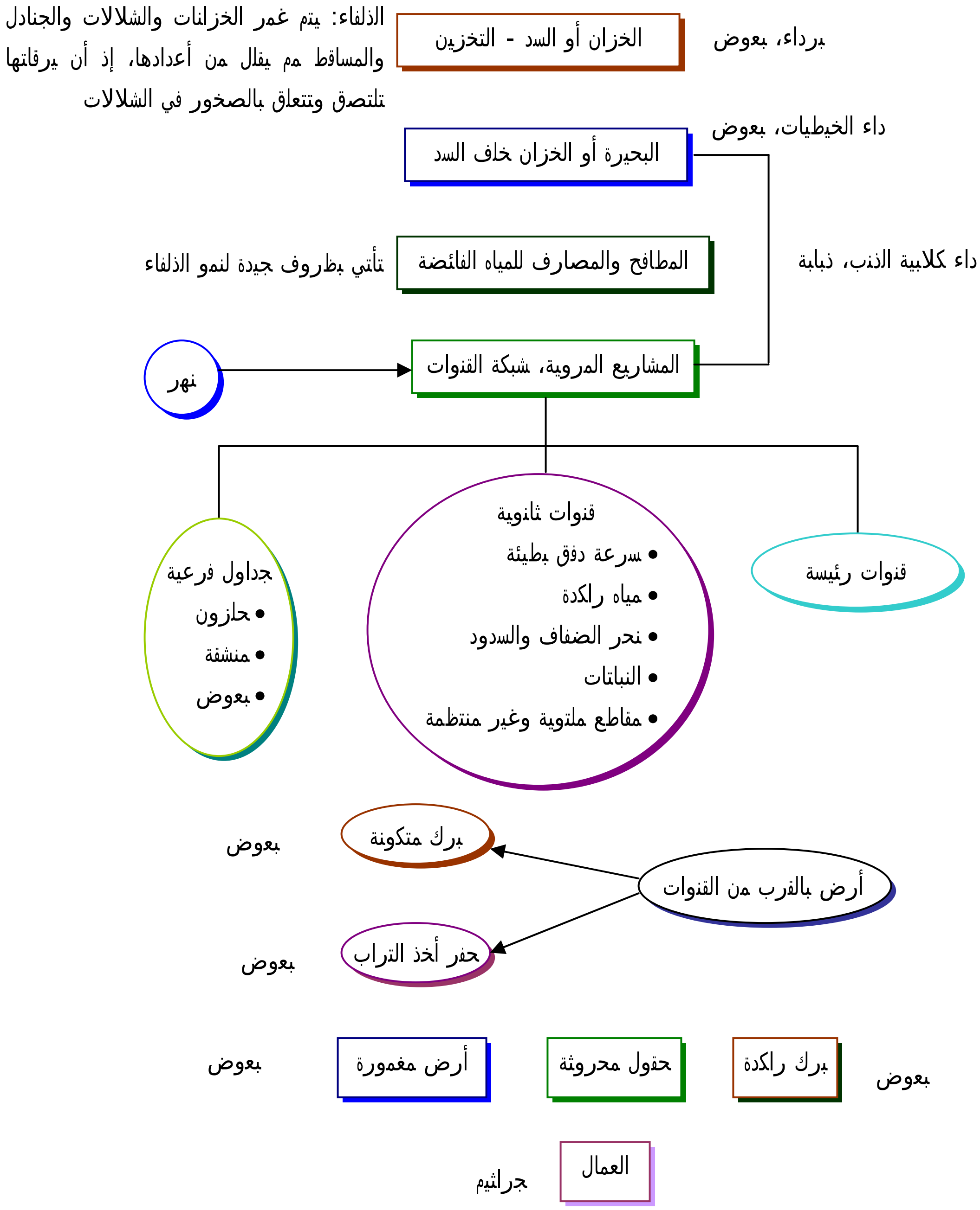
جدول 3-17 قائمة بأهم الطرق الهندسية للتحكم في نواقل الجراثيم عند تصميم القنوات، المصدر: المرجع 19، منشور بإذن

1. **تصميم القناة:**
   - قناة مستقيمة لمنع البرك الراكدة.
   - التصفية الميكانيكية لمناطق أخذ المياه ضد الحازونات.
   - إقامة جسور وقناطر عند نقاط العبور.
   - وضع صيدلية وعيادة طبية (أو شفخانة) عند نقاط إستراتيجية.
   - قطع النباتات وتنظيف المنطقة منها.
   - التحكم في التسرب.
2. **تصميم الخزان أو السد:**
   - تقليل استخدام نظام التخزين الليلى.
   - أخذ الماء دوريا.
   - قطع النباتات.
   - وضع مطافح.
   - غمر مواطن التوالد.
   - عمل ضفاف منتظمة ومنحدرة.
3. **تصميم نظام الري والتصريف**
   - زيادة سرعة الماء (للحد من البعوض) ومنع النحر.
   - منع الترسيب وتنظيف النباتات لمنع دفق الماء البطئ لمنع الغذاء من الحازونات.
   - التصريف الجيد للحقل.
   - صيانة مصارف الحقل.
   - تبطين النقاط الأساسية للتلامس مع الماء.
   - استخدام نظام الري بالرش إذا أمكن.
   - ردم مناطق ركود المياه السطحية.
   - الري المتقطع.
4. **تصميم المناطق السكنية:**
   - الإختيار الأمثل لمواقع القري.

- إمداد المياه بالأنابيب.
- التصميم الجيد واختيار المكان المناسب للمراحيض لضمان فعالية الاستخدام ولمنع دخول الأوساخ
- إلى النظم المائية.
- التسوير والتمنطق.
- إنشاء أحواض سباحة للأطفال وغيرها من مناطق الترفيه والتسلية والإستجمام.
- المغاسل الجماعية.
- التخاص من الأوساخ والفضلات.
- إختيار المناسب من مواد بناء المنازل والتصميم الجيد لها.
- عمل الممرات والقناطر والسدود والمعابر.
- عمل حظائر الحيوانات الأليفة.

5. الأعمال الترابية

- الحواجز والسدود والأرصفة.
- التصريف.
- التدرج والردم.



شكل 3-7 الخزانات والسدود والبيئة {7}

Rowe, D.R. & Abdel-Magid, Handbook Wastewater Reclamation & Reuse, CRC Press/Lewis Publishers, Boca Raton, FL, 1995

11-3 الصحة العمومية في نظم الترفيه والاستجمام:

عند استخدام المياه أو إعادة استخدامها في مناطق الترفيه لابد من وضع معايير معينة لحماية المستخدم وتحديد درجة التلوث المسموح بالتعرض لها.

فمثلاً في مناطق الاستجمام نجد أن التلوث الثانوي يمكن أن يأتي بعدة طرق منها:

- الإفرازات الجسدية مثل: مخاط الأنف واللعاب والعرق وبعض الأجزاء البرازية والبول والجلد الميت وغيرها.
- ملوثات هوائية مثل الغبار والذرات العالقة.
- أتربة الأرصفة والطرق ومناطق العمل المتراكمة على الجلد.
- مختلف المستحضرات الطبية مثل: الكريم والزيوت والغسول والمراهم.
- الاستخدام الكثير للمواد الكيميائية وغياب التحكم في الرقم الهيدروجيني.
- أوساخ وفضلات منزلية وصناعية وتجارية وغيرها.
- مصادر الحقول والمزارع.
- الحيوانات.

وعليه فمن الأنسب وضع المعايير اللازمة للحد من دخول الملوثات جسم الإنسان. وبالنسبة لمناطق الترفيه يمكن تقسيم الخطوط التوجيهية والمعايير إلى ثلاث أقسام تضم مياه الترفيه مبدئية التلامس للجسم، ومياه الترفيه ثانوية التلامس للجسم، ومياه الترفيه غير الملامسة للجسم.

أما مياه الترفيه مبدئية التلامس للجسم فيقصد بها وجود تلامس لفترة طويلة بين المياه وبين جسم الفرد، مما يزيد من احتمال دخول كميات كبيرة من الملوثات له. ومثال لذلك إبتلاع السباحين وغير السباحين كميات من المياه في حدود 10 إلى 15 مللتر عند كل استحمام، وعليه ربما ابتلع السباح فيروسات وجراثيم ميكروبية إذا ما احتوتها المياه، مما قد يأتي له بأمراض معينة مثل: إلتهابات العيون وإلتهابات الجيوب وإلتهابات الأذن وبعض إلتهابات الأمعاء وبعض أنواع الإلتهابات الجلدية (مثل إكزيمة Eczemas) وحبيبوم (ورم حبيبىGranuloma)(والفطور البشرويةEpidermophytosis) والحمى التيفية والزحار وإلتهاب الكبد وغيرها من الأمراض التي ربما أصابت السباح.

أما مياه الترفيه ثانوية التلامس للجلد فتعني المياه المستخدمة مثلاً للتجديف والصيد ووضع المخيمات بالقرب من المياه والري وتزيين المناظر الطبيعية ولعب الغولف والحدائق والمراعي. وعادة تكون نوعية المياه المطلوبة لهذا النوع من الاستخدام أقل درجة من المياه مبدئية التلامس. أما المياه غير الملامسة للجسم فتستخدم في المناحي التي لايوجد فيها تلامس بين الجسم والماء، وتضم استخدام المياه في النوافير والنمو المائي وغيرها من الاستخدامات.

وأهم الخواص والمعايير التي يجب مراعاتها وإضافتها لنوعية المياه المستخدمة في هذا النوع من الاستخدام تضم:

- إضافة خواص المياه الطبيعية الهامة مثل: درجة الحرارة (لإستمرار الحياة المائية) والأكسجين المذاب.

- تحديد خواص المياه الكيميائية الهامة مثل: تراكيز المعادن النادرة وحمضية الماء ودرجة القلوية والرقم الهيدروجيني ومبيدات الهوام ومبيدات الحشرات والمواد السامة والمواد المشعة.
- منع مواد التغذية لتلافي حدوث حالات تخمة في المياه المستقبلة لها.
- تحديد نوع المياه من الناحية الحيوية وتحديد أعداد الأحياء المجهرية.

3-12 الصحة العمومية في نظم الفضلات السائلة

هناك العديد من الكائنات المجهرية الجرثومية يمكن أن تتواجد في الفضلات السائلة، ومن أمثلتها: فيروسات (مثل الفيروس الجالب لمرض إلتهاب سنْجابية النخاع Poliomyelitis وفيروس الكبد (أ) الجالب لمرض إلتهاب الكبدHepatitis) وبكتريا (مثل الأشريكية القَولُونية *Escherichia coli* الجالبة للإسهالات، والسلْمونيلة Salmonellaالجالبة للإسهالات، والشيغلة Shigella التي تأتى بالإسهالات والحمى التيفية، والضمة الهيضية الجالبة للضمة -الكوليرا) والحيوانات الأوالي (البروتوزوا) (مثل المتحولة الحالة للنسج *Entamoeba histolytica*الجالبة لمرض المتحولة - دسنتاريا، والجياردية اللمبلية *Giardia Lamblia* الجالبة لمرض الجياردية Giardia) بالإضافة إلى الديدان (مثل الدودة الممسودة (مدورة Nematode الجالبة لمرض الصفَر الخَراطينى*Ascaris lumbricoides* ، والدودة السوطية الجالبة لمرض المسلكة الشعرية الرأس *Trichuris trichiura* والدودة الشصية (الملْقُوةHookworm) والتي تأتى بمرض الملقوة Ancylostoma ومرض الدودة الفتاكة Necator ودودة المنشقة التي تأتى بداء المنشقات والقليدية Cestode مثل الشريطية .Taenia spp والتي تأتى بأمراض الشريطية.Tapeworm

وتختلف وحدات معالجة الفضلات السائلة في كفاءة إزالتها للجراثيم طبقاً لنوع المعالجة وخواص الفضلات السائلة ونظم إعادة استخدام المياه وتركيز الكائن المسبب للمرض ونوعه وغيرها من العوامل المؤثرة. وتوضح الجداول 3-18 و3-19 و 3-20 كفاءة بعض النظم للتخلص من بعض الجراثيم. كما ويبين الشكل 3-8 خطوات تقويم المخاطر الصحية الناجمة من التلوث.

جدول 3-18 إزالة الأحياء المجهرية في بعض وحدات معالجة الفضلات السائلة {7، 9}

نوع الكائن المجهري	**نسبة الإزالة المئوية**	
	معالجة أولية	معالجة حيوية
السلمونيلةSalmonella	15	96 إلى 99.999
المتفطرة Mycobacterium	48 إلى 57	قليل إلى 99.9
كيسة أميبية Amoebic cyst	إزالة محددة	0 إلى 99.9
بيوض الديدان Helminth ova	72 إلى 98	0 إلى 76
حمات (فيروسات)	3 إلى شاملة	0 إلى 84

المصدر: المرجع 9، منشور بإذن.

جدول 3-19 كفاءة بعض وحدات معالجة الفضلات السائلة لإزالة الجراثيم المعوية {20}

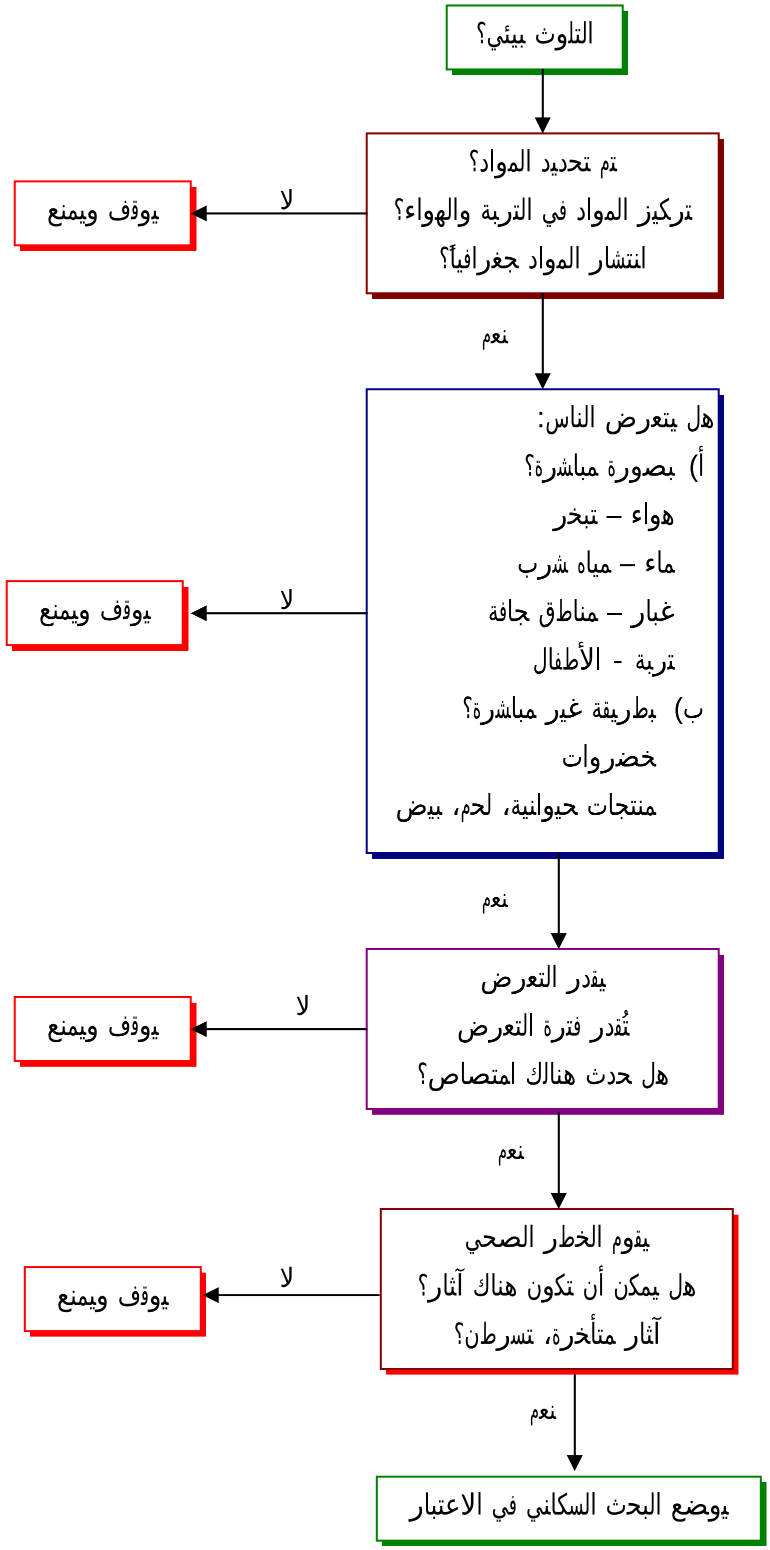
(وحدات نسبة لإزالة لو 10، مثلاً 4 = 10^4 = 99.99% إزالة)

وحدة المعالجة	حمات	بكتريا	حيوانات أوالي	ديدان
ترسيب أولي	0 إلى 1	0 إلى 1	0 إلى 1	0 إلى 1
خزان تحليل – سبتك تانك	0 إلى 1	1 إلى 2	1 إلى 2	1 إلى 2
مرشح نضيض	0 إلى 1	0 إلى 1	0 إلى 1	0 إلى 1
حمأة نشطة	1 إلى 2	2 إلى3	1 إلى 2	1 إلى 2
برك موازنة، (20 يوم، 4 خلايا)	2 إلى 4	4 إلى 6	4 إلى 6	4 إلى 6

جدول 3-20 وحدات المعالجة وكفاءتها لإزالة الجراثيم {7}

وحدة المعالجة	الجراثيم المزالة
طرق تقليدية: أولية وثانوية	* غير مجدية لإزالة الجراثيم المخرجة * غير مجدية لإزالة المعادن الثقيلة والملوحة * غير مجدية لإزالة بيوض الديدان
ثانوية + ثالثة (تطهير+مرشح رملي) برك موازنة أوساخ	• تزيل الجراثيم • تزيل الكيسة الأميبية وبيوض الديدان • تقلل من تراكيز البكتريا والحمات المخرجة
ثانوية + ثالثة (جير+مرشح رملي سريع)	o تقتل البكتريا والحمات o ترسب المعادن الثقيلة في المحلول

المصدر: المرجع 7، منشور بإذن.



شكل 3-8 تقويم المخاطر الصحية الناتجة من التلوث

المصدر: المرجع 21، منشور بإذن

Source: Health and the Environment. Copenhagen, WHO Regional Office for Europe, 1986, (EURO) Reports and Studies, No 100. Reprinted courtesy of the publisher WHO

وقد ورد في السنة النبوية الشريفة في صحيح البخاري {3} الحديث 616 كتاب الطب "**حدثنا عبد العزيز بن عبد الله حدثنا إبراهيم بن سعد عن صالح عن ابن شهابٍ قال أخبرني أبو سلمةَ بن عبد الرحمن وغيره أن أبا هريرةَ رضى الله عنه قال إن رسولَ اللّه صلى الله عليه وسلم قال لا عدوى ولا صفَر ولا هامةَ فقال أعرابى يا رسولَ الله فما بالُ إبلى تكُون في الرمل كأنها الظباء فيأتى البعير الأجرب فيدخُلُ بينها فيجربها، فقال فمن أعدى الأولَ."**

وقد ورد أيضاً في صحيح البخاري {3} الحديث 674 كتاب الطب" **حدثنا قُتيبةُ حدثنا إسماعيلُ بن جعفر عن عتبةَ بن مسلم مولى بنى تميم عن عبيد بن حنين مولى بنى زريق عن أبي هريرةَ رضى الله عنه أن رسولَ اللّه صلى الله عليه وسلم قال إذا وقع الذباب في إناء أحدكُم فليغْمسه كُله ثُم ليطْرحه فإن في إحدى جناحيه شفاء وفي الآخَر داء."**

وقد ورد في صحيح البخاري {3} الحديث 546 كتاب المرضى والطب "**حدثنى عبد الله بن محمد حدثنا عبد الملك بن عمرو حدثنا زهير بن محمد عن محمد بن عمرو بن حلْحلة عن عطاء بن يسار عن أبى سعيد الخُدري. وعن أبي هريرةَ عن النبي صلى الله عليه وسلم قال ما يصيب المسلم من نَصبٍ ولا وصبٍ ولا هم ولا حزنٍ ولا أذى ولا غَم حتى الشوكة يشاكُها إلا كفر الله بها من خطاياه."**

وقد ورد أيضاً في صحيح البخاري {3} الحديث 549 كتاب المرضى والطب "**حدثنا عبد الله بن يوسفَ أخبرنا مالك عن محمد بن عبد الله بن عبد الرحمن بن أبى صعصعةَ أنه قال سمعتُ سعيد بن يسار أبا الحباب يقولُ سمعتُ أبا هريرةَ يقولُ قال رسولُ اللّه صلى الله عليه وسلم من يرد الله به خيراً يصب منه."**

"اللهم رب الناس مذهب البأس اشف أنتَ الشافي لا شافي إلا أنتَ شفاء لا يغادر سقماً" "بسم الله تُربةُ أرضنا وريقَةُ بعضنا يشْفي سقيمنا بإذْن ربنا."

3-13 تمارين عامة

1. ما الصحة؟ وما الفرق بين الإنسان الصحيح والإنسان العليل؟
2. ما العلاقة بين الماء والصحة العمومية؟
3. كيف تؤثر المواد الكيميائية سلباً على صحة الفرد؟ وضح إجابتك بالأمثلة العملية.
4. ما أقسام الأمراض من منظور الهندسة البيئية؟ معطياً أمثلة لكل قسم.
5. ما الفرق بين الأمراض المحمولة بالمياه الكلاسيكية ونظيراتها غير الكلاسيكية؟
6. ما الجرثومة الجالبة لكل من الأمراض التالية: الصفر، المنشقة، التراكوما، الجرب، الهيضة، الزحار الباسيلي، التنينة، والحمى الصفراء.
7. أذكر أهم العوامل المؤثرة على حياة الجراثيم ونموها وتكاثرها.
8. كيف تنتشر الأمراض من فرد إلى الآخر، ومن منطقة للأخرى؟
9. ما العوامل المؤثرة للإصابة بمرض معين له صلة بالمياه؟

10. ما العوامل المؤثرة على زيادة سمية المادة الكيميائية أو نقصانها ؟
11. أذكر أثر درجة الحرارة على نمو بكتريا السلمونيلة وحياتها في كل من البراز والمياه العذبة والتربة والغلال.
12. كيف تنتقل كل من الأمراض التالية من إنسان إلى الآخر: الزحار الباسيلي، الهيضة، وإلتهاب الكبد المعدي؟
13. أذكر المرض المتعلق بكل من الآتي: الزئبق، الرصاص، الشيغلة، المتحولة الحالة للنسج، النترات، الدودة الشصية، الهالوجينات العضوية، الفلور، الإشريكية القولونية، البورون، الضمة الهيضية، لندين، الدودة الممسودة، اندرين، المثقبية الغمبية، المنشقة، السلمونيلة التيفية، التنينة المدينية، والجاردية اللمبلية.
14. ما العلاقة بين الأمراض البرازية والمريض وطرق إنتقالها (وضح إجابتك بالرسم)؟
15. كيف تتحرك المواد المشعة خلال المحيط الحيوي؟
16. ما العوامل المؤثرة على درجة خطورة المواد المشعة؟
17. ما الفرق بين المضار الجسدية والمضار الوراثية الصادرة من المواد المشعة؟
18. أذكر بعض الطرق التي يمكن إتباعها لتقليل مشاكل الإشعاع.
19. عرف ما يلي: نواقل المرض الحقيقية، نواقل المرض الحيوانية، مضار الإشعاع الجسدية، مضار الإشعاع الوراثية، المبيد الحشري، ومبيد الهوام.
20. ما المرض الذي تقوم الكائنات الآتية بنقله من إنسان لآخر: بعوض برغش، بعوض الإنفيل، ذبابة الذلفاء، الذبابة المنزلية، ذبابة النعرة اللاسعة، الذبابة الفاصدة، ذبابة تسى تسى، الجوادف، الفأر، القمل، الزاعجة المصرية، القليدية، والحلزون؟
21. ما أهم العوامل البيئية المؤثرة على حياة وتكاثر وإنتقال نواقل الجراثيم؟
22. أذكر أهم الفروق بين مواطن نواقل الجراثيم المختلفة.
23. ما فوائد التحكم في نواقل الجراثيم؟
24. ما أهم طرق التحكم في نواقل الجراثيم؟ موضحاً محاسن ومخاطر كل طريقة.
25. ما الفرق بين الطرق الدائمة والطرق المؤقتة للتحكم في نواقل الجراثيم؟
26. ما مساوئ استخدام المواد الكيميائية وفوائده للتحكم في نواقل الجراثيم؟
27. أذكر أهم أنواع المبيدات الحشرية؟ وعدد مساوئ ومحاسن كل نوع.
28. أي أنواع نواقل الجراثيم المبينة أدناه تفضل التوالد في الأرض الرطبة: بعوض برغش أم بعوض الإنفيل أم الذلفاء أم الذبابة اللاسنة؟
29. كيف تتم المفاضلة بين الطرق المختلفة للتحكم في نواقل الجراثيم؟
30. ما أثر العوامل الآتية على إمدادات المياه والإصحاح: الضغط السياسي، وجود القوة البشرية، الصيانة الدورية، الدخل القومي، المشاركة الشعبية والتثقيف الصحي، إمدادات الطاقة، التنمية المحلية، ومستوى التعليم.
31. وضح كيف يمكن تحفيز المجتمع للمشاركة في مشاريع التحكم في نواقل الجراثيم؟
32. ما المقصود من تقويم الأثر البيئي؟ وما هى الفوائد التي يمكن أن تجنى منه؟

33. ما الآثار البيئية المتوقعة من خواص الماء المدرجة أدناه على الحلزون والمنشقة: درجة الحرارة، درجة العكارة، درجة الملوحة، الأكسجين الذائب، والرقم الهيدروجيني؟
34. ما مدى فعالية الطرق البيئية التالية في التحكم في الذبابة السوداء (الذلفاء): وضع المصارف، تسوية الأرض، عمل السدود والخزانات، التعرض لضؤ الشمس، التحكم في دفق الماء، إمداد المواطن بمياه نظيفة، التخلص الأمثل من الفضلات الصلبة؟
35. استخدم الرسم المناسب لتوضيح الطرق التكاملية للتحكم في البعوض
36. ما فوائد المشاركة الشعبية في مشاريع التحكم في نواقل الجراثيم؟
37. ماذا تقترح لتقليل البعوض في الخزانات؟
38. عدد محاسن القنوات المفتوحة وعيوبها في المشاريع المروية.
39. ما فائدة زيادة سرعة دفق الماء في القنوات في المشاريع المروية؟
40. ما محاسن تبطين القنوات المفتوحة في المشاريع الزراعية؟ وما أفضل المواد لعمل هذا التبطين؟
41. كيف تدخل الملوثات إلى أحواض السباحة؟ وما الحلول المناسبة لتقليلها؟
42. أي من وحدات المعالجة التالية تفضل لإزالة الديدان: الترسيب المبدئي أم مرشح النضيض أم الحمأة النشطة أم برك موازنة الأوساخ؟

14-3 المراجع والمصادر

1. "ديوان المتنبي" دار صادر، بيروت، ص 482-485.
2. "ديوان علي الجارم"، الجزء الأول، دار الشروق، القاهرة، الطبعة الثانية، 1990، ص 496-497.
3. الشيخ قاسم الشماعي الرفاعي "صحيح البخاري"، دار القلم، بيروت، لبنان، الطبعة الأولى 1987.
4. عصام محمد عبد الماجد "الهندسة البيئية"، دار المستقبل للطباعة والنشر، عمان، الأردن، 1995.
5. عصام محمد عبد الماجد "تنقية المياه والهندسة الصحية"، دار جامعة الخرطوم للنشر، الخرطوم، السودان، 1986.
6. Who Expert Committee on Vector Biology and Control, Environmental Management for Vector Control, 4th Report, WHO, Technical Paper series 649, Geneva, 1980
7. Rowe, D.R., Abdel-Magid, I. M., Handbook of Wastewater Reclamation and Reuse, CRC Press, Boca Raton, Fl., 1995.
8. Strauss, M., Survival of Excreted Pathogens in Excrete and Faecal Sludges, Part II, International Reference Centre for Waste Disposal, WHO Collaboration Centre for Waste Disposal, Switzerland IRCWD News Number 23, Dec. 1985, 4-9.
9. Feacham, R. G., Bradley, D. J., Garelick, H., and Mara, D. D., Sanitation and disease: Health aspects of excreta and wastewater management, Published for the World Bank by John Wiley and Sons, Chichester, 1983.
10. IRCWD, Health Aspects of Nightsoil and Sludge Use in Agriculture and Aquaculture, International Reference Centre for Waste Disposal, WHO Collaboration Centre for Waste Disposal, Switzerland IRCWD News Number 23, Dec. 1985, 1-2.

11. Tate, C. H., and Trussel, R. R., Developing Drinking Water Standards, J. American Water Works Association, 69, 1977, 486.
12. Eisenbud, M., Environmental Radioactivity: From Naturlan, Industrial and Military Sources, Academic Press, Inc. Harcourt Brace Jovanovich, Publishers,Orlando<, Florida 1987.
13. Kathren, R. L., Radioactivity in the Environment: Sources, Distribution and Surveillance, Harwood Academic Publishers GmbH, 3rd Printing, 1991.
14. WHO, Manual on Environmental Management for Mosquito Control with special emphasis on malaria vectors, WHO offset Publication number 66, WHO, Geneva, 1982.
15. WHO/FAO/UNEP, Panel of Experts on Environmental Management for Vector Control, Guidelines for Forcasting the Vector-borne Disease Implications in Development of a Water Resource Project, VBC/86.3, Geneva, 1987.
16. WHO Study Group, Technology for Water Supply and Sanitation in Developing Countries, Technical Report series 742, Geneva, 1987.
17. White, G. F., Bradley, D. J. and White, A. W., Drawers of Water, Domestic Water Use in East Africa Univerity Chicago Press, Chicago, 1972.
18. Chanlettt, E. T., Environmental Protection, McGraw-Hill Book Co., New York, 1979.
19. WHO Scientific Group, Vector Control in Primary Health Care, WHO, Technical Report series 755, Geneva, 1987.
20. Shuval, H. I., Adin, A., Fattal, B., Rawitz, E., and Yekutiel, P., Integrated Resource Recovery: Wastewater Irrigation in Developing Countries: Health Effects and Technical Solutions, World Bank Technical Papers Series Number 51, UNDP Project Management Report Number 6, World Bank, Washington, 1986.
21. WHO Report On a WHO Meeting, Health and The Environment, EURO Reports and Studies 100, WHO, Vienna, 12-16 Dec. 1983.

الفصل الرابع

مبادئ الهايدرولوجيا

4-1 مقدمة

أُشتقت كلمة الهايدرولوجيا من الكلمات الأغريقية هايدرو hydro والتي تعني الماء ولوغوس logos والتي تعني العلم {1}. وتُعرِب الهايدرولوجيا على أنها علم خصائص المياه ونواميسها، وهو فرع من أفرع علم الجغرافيا الطبيعية. ويختص هذا الفرع من العلوم بالماء على الأرض مركزاً على وجوده وتوزيعه ودورانه وخواصه (من طبيعية وكيميائية وحيوية)، كما وتهتم الهيدرولوجيا بالآثار البيئية ذات الصلة بالماء على كل الأحياء والجمادات. ومن اهتمامات علم الهايدرولوجيا {2، 3}

- o قياس أهم البيانات الأساسية وتسجيلها ونشرها.
- o تحليل البيانات النظريات الأساسية واستنباط وتطويرها.
- o تطبيق النظريات المستنبطة والبيانات على عدة محاور عملية.

يلعب الماء دوراً رئيساً في كل أوجه ومناحي الحياة والتي لا تقوم بدونه. ومن ثم فلا بد من إيجاد الإدارة المثلى للماء خاصة عند مواسم شحه (مواسم الجفاف) أو زيادته (مواسم الفيضانات) لما يسببه من كوارث يصعب معالجتها لحظات حدوثها. كما ولا بد من تطوير مناحي إدارة الماء لتواكب المشاكل المنظورة والمرتقبة داخل الدولة ومع رصيفاتها المشاركة لها في المنابع والمصادر المائية. ولتحقيق الإدارة المثلى للماء لا بد من النظر في دورة الماء الطبيعية (أنظر فصل 1 -2 من هذا الكتاب) وسبر مقوماتها وتحديد كميات الماء وتوزيعها في المنطقة المحلية من خلالها. وتعتمد الخواص الهايدرولوجية لمنطقة معينة على: العوامل المؤثرة على المناخ والطقس، وأثر الرياح ودرجة الحرارة والرطوبة على البخر والنتح، والجيولوجيا المحلية، وكمية وتوزيع السقيط ..الخ.

4-2 العوامل المؤثرة على المناخ

درجة الحرارة :Temperature

درجة الحرارة من العوامل المهمة التي تؤثر على المناخ ودورة الماء وانتقاله وتحوله من صورة إلى الأخرى وتفاعلاته المختلفة. وقد أشار الفصل 2-1 إلى أهمية قياس درجة الحرارة. و من العوامل المؤثرة على درجة الحرارة: دوائر العرض، والمسطحات المائية، وغطاء التربة والنبات، والارتفاع عن سطح البحر، وأثر المدن. تكون درجة حرارة الهواء بالقرب من سطح الأرض أقل منها في المنطقة الواقعة مباشرة أعلى الأشجار وذلك أثناء النهار، أما ليلا فتعمل الأشجار كأسطح مشعة مما يحجب التربة تحتها من الفاقد الكبير للحرارة، كما ويعمل ظل الأشجار على التخفيض النوعي لأقصى درجة حرارة يومية. ومن المعروف أن درجة الحرارة تقل مع

الارتفاع. أما أثر المدن فيتمثل في أن كمية الحرارة المنتجة يومياً من المدن الكبيرة يعادل ثلث الطاقة الشمسية المشعة التي يمكن أن تصل منطقة مماثلة {2}

الرياح :Wind

نسبة للإختلافات في الضغط الجوي تنتج الرياح والتي تعمل على التحرك الأفقي للهواء. وتتحرك الرياح من مناطق الضغط المرتفع في إتجاه مناطق الضغط المنخفض وذلك عند غياب العوامل المؤثرة عليها. وتتأثر سرعة الرياح بأى تغيرات تطرأ على الضغط.

ولمعرفة مناطق الضغط يمكن استخدام قانون بز بالوت .Buys Ballot وينص القانون على أنه "منطقة الضغط المنخفض في الجزء الشمالي من الكرة الأرضية تقع شمال المشاهد الواقف مولياً ظهره للرياح، وتقع على يمينه في الجزء الجنوبي من الكرة الأرضية، وذلك نتيجة لتأثير دوران الأرض" {2}

أما قياس الرياح وشدتها فيتم باستخدام مقياس الرياح .Anemometer ويحدد إتجاه الرياح باستخدام دوارة الرياح Wind Vane (أنظر شكل 4-1). ولا بد من تحديد الارتفاع عن سطح البحر عند عمل أى قياس للرياح وذلك نسبة لعوامل الإحتكاك الأرضية والمسطحات المائية التي تهب عبرها الرياح. أما العلاقة بين السرعة والارتفاع فيمكن إيجادها من المعادلة 4-1.

$$u/u_o = (z/z_o)^a \qquad 4\text{-}1$$

حيث:

u = سرعة الرياح على المنطقة الأكثر ارتفاعاً(z م/ث)

u_o = سرعة الرياح على الارتفاع (z_oم/ث)

z_o = الارتفاع الأقل (م)

a = مقدار يتغير مع تغير خشونة السطح واتزان الغلاف الجوي، ويقع في حدود ,1. إلى ,6. والقيمة الغالبة 1÷7.

مثال 4-1

تم قياس سرعة الرياح لارتفاعين 3 و7 متر ووجدت القيم الآتية 4.2 و 4.62 متر/ثانية على الترتيب. أوجد سرعة الرياح لارتفاع مترين.

الحل:

1- المعطيات:

$u_o = 4.2 \quad z_o = 3$، $u = 4.62 \quad z = 7$:

2- أوجد مقدار a من المعادلة 4-1

$$u/u_o = (z/z_o)^a$$

$$4.62 \div 4.2 = (7 \div 3)^a$$

ومنها يمكن إيجاد مقدار a = 0.11

أوجد سرعة الرياح لإرتفاع مترين من المعادلة

$u/u_o = (z/z_o)a$
$4.2 \div u_o = (3 \div 2)^{0.11}$

ومنها u_o =4.02 م/ث .

الرطوبة والرطوبة النسبية والندى :

إن كل غاز يبذل ضغط غاز جزئي من غير أن يتأثر بالغازات الأخرى في أى خليط من الغازات . وبالنسبة للماء يطلق على هذا الضغط الجزئي المبذول بوساطة بخار الماء "ضغط بخار الماء" أو ضغط البخار. وإذا تم نزح كل الماء من هواء رطب بداخل وعاء مغلق، يصبح ضغط الهواء الجاف أقل من الضغط الكلي للهواء الرطب كما مبين في المعادلة 4-2.

$$e = P - P' \qquad 4\text{-}2$$

حيث:

e = ضغط البخار

P = الضغط الكلي للهواء الرطب

P' = ضغط الهواء الجاف

غير أن اقصى قيمة لبخار الماء (الذي يمكن أن يوجد على أي حيز) تعتمد على درجة الحرارة، ولا تعتمد (عملياً) على وجود الغازات الأخرى. وبذا فإنه عندما يتم حجز أقصى كمية من بخار الماء (على درجة حرارة معلومة) في حيز معين فيصبح هذا الحيز مشبعاً به. ويطلق على هذا الضغط المبذول بالبخار في الحيز المشبع "ضغط البخار المتشبع". وتعرف نسبة ضغط البخار الحقيقي إلى ضغط البخار المتشبع بالرطوبة النسبية Relative humidity. وعليه فإنها عبارة عن نسبة محتوى الندى في حيز ما إلى محتوى الندى الذي يمكن أن يحتويه الحيز عند التشبع {3}. وتبين المعادلة 4-3 طريقة تقدير الرطوبة النسبية

$$h = 100*e/e_s \qquad 4\text{-}3$$

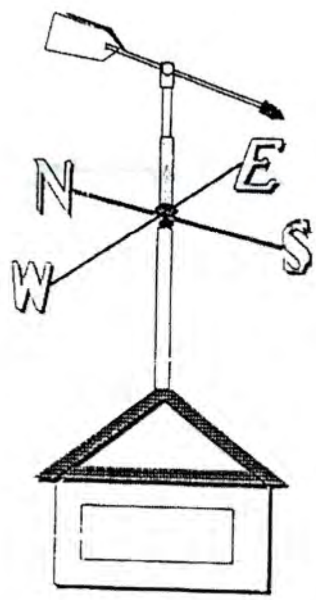
حيث:

h = الرطوبة النسبية(%)

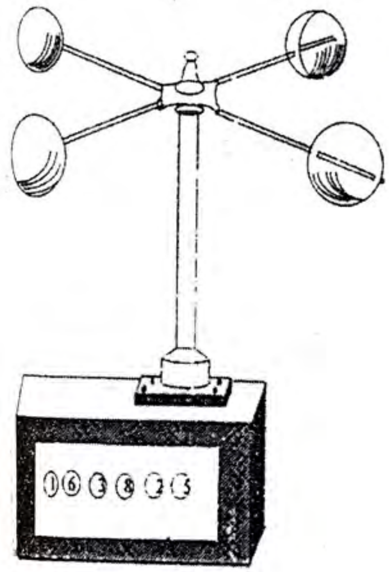
e = ضغط البخار الحقيقي

e_s = ضغط البخار المتشبع. ويمكن إيجاد قيمة e_s العددية من جدول ج - 3 في الملاحق.

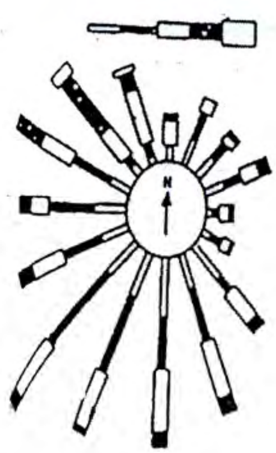
أما درجة الحرارة التي يتشبع عندها الحيز عندما يتم تبريد الهواء تحت ضغط ثابت وضغط بخار ثابت فيطلق عليها نقطة الندى .Dew point وتعرف نقطة الندى أيضاً على أنها درجة الحرارة التي يتساوى عندها ضغط البخار المتشبع وضغط البخار الحقيقي {3}



شكل 4–1 أ جهاز دوارة الرياح
(جهاز تعيين إتجاه الرياح)



شكل 4–1 ب الأنيمومتر
(مقياس سرعة الرياح)



شكل 4–1 جـ مقياس سرعة الرياح
منشور بإذن من المصدر أدناه

Source : Vesilind, P.A., Peirce, V.J. & Weiner, R.F., Environmental Pollution & Control, Butterworth-Heinemann Pub., Boston, 1988. Translated & reprinted by courtesy of the publisher Butterworth-Heinemann Pub.

قياس الرطوبة:

يستخدم مقياس الرطوبة Psychrometer لتحديد قيمها. ويتكون مقياس الرطوبة من مقياسي درجة حرارة، أحدهما ذو مستودع مغطى بنسيج نظيف ومشبع بالماء. ثم يتم وضع مقياس درجة الحرارة في منطقة جيدة التهوية. ومن المتوقع أن تقل قراءة التيرمومتر الرطب المغطى عن قراءة التيرمومتر الجاف بسبب البخر. وهذا الفرق في القراءتين يعرف بالانخفاض في البصيلة الرطبة .Wet-bulb depression وبالمقارنة مع جداول مناسبة يمكن تقدير نقطة الندى والرطوبة النسبية وضغط البخار{2، 3}. ويمكن قياس الرطوبة بإحدى الطرق التالية {4،3}:

1. طريقة وزن البخار: ويتم في هذه الطريقة نزع بخار الماء من حجم معين من الهواء ثم وزنه، وذلك بتمرير هواء رطب عبر مجفف حبيبي .desicant والزيادة الناتجة في وزن المادة المجففة هى عبارة عن وزن البخار الموجود في الهواء.
2. طريقة نقطة الندى: يتكون جهاز قياس نقطة الندى من كوب مصقول يحوي سائل طيار (مثل الإيثرEther) ويتم تبريد سطح الكوب بتمرير تيار من الهواء عبر السائل، ليقوم بدوره بتبريد بخار الماء الملامس للكوب. وعند تكوين نقطة الندى يتكثف الماء في الكوب. وتسجل درجة الحرارة المقابلة بغمر تيرمومتر في السائل. وتؤخذ نقطة الندى على أنها درجة الحرارة المتوسطة بين تلك التي يظهر فيها التكثيف خلال التبريد ودرجة الحرارة التي يختفي فيها التكثيف عندما يتم تدفئة السائل مرة أخرى.
3. استخدام جهاز قياس الرطوبة :Psychrometer ويتيح الجهاز التحكم في طريقة تهوية مقاس درجة الحرارة.

أما قيمة بخار الماء عند درجة حرارة معينة فيمكن إيجادها من المعادلة 4-4.

$$e_W - e = g\,(t - t_W) \qquad 4\text{-}4$$

حيث:

e_W = ضغط الغاز الجزئي لمقياس الحرارة الرطب

e = ضغط الهواء

t_W = درجة حرارة مقياس الحرارة الرطب

g = ثابت جهاز قياس الرطوبة

وبافتراض أن سرعة الهواء عبر بصيلة مقياس الحرارة تزيد عن 3 م/ث وأن درجة الحرارة مقدرة بالتدرج المئوى ولقيمة e المقدرة بالمللبار فإن $g = 0.66$، وبالنسبة لقيمة e المقدرة بالمللمتر زئبق فإن قيمة $g = 0.584$ {5}.

مثال 4-2

كتلة من الهواء درجة حرارتها 24^{o}م ورطوبتها النسبية 94%. أوجد ما يلي:

أ) ضغط البخارالمتشبع

ب) ضغط البخار الحقيقي

ج) العجز في التشبع
د) نقطة الندى.

الحل:

1- المعطيات: T = 24 °م، h = 94%

2- أوجد من جدول ج - 3 قيمة ضغط البخار المتشبع لدرجة حرارة 24°م:

قيمة ضغط البخار المتشبع = e_s = 22.27 ملم زئبق

3- بتعويض المعطيات في $h = 100*e/e_s$ أوجد ضغط البخار الحقيقي.

$94 = 100\times e \div 22.27$

ضغط البخار الحقيقي = e = 20.93 ملم زئبق.

4- أوجد العجز في التشبع كما يلي:

العجز في التشبع = $e_s - e = 22.27 - 20.93 = 1.34$ ملم زئبق.

5- أوجد نقطة الندى على أنها درجة الحرارة التي يتساوى عندها قيم كل من e_s و e.

وبما أن $e_s = 20.93$ ملم زئبق: فعليه يمكن إيجاد درجة الحرارة، وبذا يمكن إيجاد نقطة الندى من جدول ج - 3 ولقيمة. $e_s = 20.93$

نقطة الندى = 22.9 °م.

الإشعاع :Radiation

إشعاع الطاقة الحرارية من الشمس هو المصدر الأول للطاقة اللازمة لإستمرار دورة المياه الطبيعية {3،1}. وهذه الطاقة لا يمكن تخزينها لكن يسهل امتصاص بعضها في شكل طاقة حرارية عبر الغلاف الجوي للأرض. ويعتمد هذا الإمتصاص للطاقة الحرارية بوساطة الغلاف الجوي على عدة عوامل منها: طول موجة أشعة الطاقة، ومكونات الغلاف الجوي، ودرجة الحرارة، والإنعكاسات من وإلى الجزئيات والحبيبات المنتشرة. ويمكن قياس الإشعاع بأجهزة قياسه المختلفة (Actinometer and Radiometer) والتي يمكن تصنيفها كما يلي:

- أجهزة قياس الإشعاع المباشرة :Pyrheliometer وتقوم هذه الأجهزة بقياس شدة الإشعاع الشمسي المباشر.
- أجهزة قياس الإشعاع القصير :Pyranometer وتقوم هذه الأجهزة بقياس الإشعاع الشمسي ذي الموجات القصيرة.
- أجهزة قياس الإشعاع الطويل :Pyrgeometer وتقوم هذه الأجهزة بقياس الإشعاع الشمسي ذي الموجات الطويلة.
- أجهزة قياس الإشعاع الكلي :Pyrradiometer وتقوم هذه الأجهزة بقياس كل موجات الإشعاع الشمسي.
- أجهزة قياس الإشعاع الإجمالي :Net Pyrradiometer وتقوم هذه الأجهزة بقياس موجات الإشعاع الشمسي الإجمالية.

التكثيف:Condensation

يقود تكثيف بخار الماء في الغلاف الجوي إلى تكوين السحب في غالب الأحيان. وربما أدت هذه السحب إلى هطول الأمطار. أهم الأسباب التي تؤدي إلى تكثيف البخر يمكن إدراجها فيما يلي{3،4}:

- التبريد الديناميكي أو التبريد الأديباتي: Dynamic or adiabatic cooling وفي هذا النوع من التبريد لا يتم إضافة حرارة من مصادر خارجية.
- التبريد بإختلاط الكتل الهوائية: وهنا يحدث خلط لكتلتين من الهواء على درجات حرارة مختلفة.
- التبريد بالتلامس.
- التبريد بالإشعاع.

ويؤدي التبريد بالتلامس والتبريد بالإشعاع إلى حدوث الندى والجليد والثلج والضباب.

أقسام السقط Types of precipitation :

عادة يتم تقسيم أنواع السقيط طبقاً للعوامل المؤثرة على تصاعد البخار وتضم السقيط التقليدي والسقيط الميكانيكي والسقيط الإعصاري بقسميه: السقيط الأمامي والسقيط غير الأمامي، كما مبينة في النقاط التالية:

أ) السقيط التقليدي Coventional precipitation ويطلق عليه أيضاً سقيط الحمل Convective precipitation: ويسبب هذا النوع من السقيط صعود الهواء الخفيف الساخن إلى طبقات باردة أكثر كثافة. ثم يتمدد هذا الهواء الساخن مسبباً إنخفاض في الوزن. وفي هذا الأثناء تصعد كميات كبيرة من بخار الماء مما يجعل الهواء الساخن الرطب غير متزن. وينتج هذا الوضع تيارات رأسية، ثم يحدث تبريد ديناميكي يسبب التكثيف والسقيط. وهذا النوع من السقيط موضعي وتتفاوت شدته من زخات أمطار خفيفة إلى عواصف رعدية مدمرة.

ب) السقيط الميكانيكي :Orographic precipitation وينتج هذا النوع من السقيط من الصعود الميكانيكي للهواء الرطب فوق قمم الجبال والمرتفعات الطبيعية. ومعظم الأمطار الساقطة تكون في الميل المواجه للرياح. ومن العوامل المؤثرة فيه: ارتفاعات المنطقة وميل الأرض والبعد من مصادر النداوة والماء.

ج) السقيط الإعصاري : Cyclonic precipitation وينتج من صعود الهواء واتجاهه منطقة ضغط مرتفع إلى منطقة ضغط منخفض أو أعاصير. وينتج الإختلاف في الضغط من جراء التسخين غير المتساوي لسطح الأرض. وينقسم هذا النوع من السقيط إلى:

1. السقيط الأمامي : Frontal وينتج من صعود الهواء الساخن على جانب سطح أمامي فوق هواء بارد وأكثر كثافة في الجانب الآخر من السطح. وإذا سارت الكتل الهوائية بحيث أن الهواء الساخن يزيح الهواء البارد يسمى السقيط سقيط أمامي ساخن .Warm front أما إذا أزاح الهواء البارد الهواء الساخن فيطلق عليه سقيط أمامي باردCold front. {7}.
2. السقيط غير الأمامي Non-frontal أيضاً يسمى السقيط الثابت :(Stationary front وفيه فإن الهواء الرطب الساخن يظل ساكناً ريثما يلتقى بالهواء البارد المتحرك.

وفي الحياة العملية تتداخل الصور المختلفة للسقيط مع بعضها البعض لتكون السقيط الهاطل بالمنطقة {6}. ويبين جدول 4-1 تقدير شدة السقيط من خفيفة ومتوسطة وغزيرة.

جدول 4-1 شدة السقيط {3،6}

شدة السقيط	معدل الهطول (ملم/ساعة)
خفيف	2.5
متوسط	7.6 – 2.8
غزير	أكثر من 7.6

يعتمد قياس السقيط على الارتفاع العمودي للماء المتجمع في سطح مستو، وذلك عند استمرار تواجد السقيط بمنطقة سقوطه. ويتم القياس باستخدام مقياس المطر Rain Gauge أنظر شكل 4-2. ويتكون مقياس المطر من إناء نحاسي به أسطوانة نحاسية قطرها في حدود 5 بوصات وذات حافة مشطوفة. تقوم هذه الأسطوانة بتجميع السقيط وتسمح بانسيابه عبر قمع إلى إناء معدني أو زجاجي يسهل تحريكه وتفريغ ما به من ماء في أسطوانة مدرجة. وتوجد أنواع عدة من مقياس المطر ويمكن لبعضها تسجيل المعلومات عددياً أو بيانياً أو إرسالها إلى أجهزة كمبيوتر.

أما مصادر الخطأ في تسجيل القراءات بمقياس المطر يمكن إجمالها كما يلي:

- أخطاء قراءة تدريج مقياس السقيط.
- هدر بعض الماء وتدفقه أثناء جمعه وتسجيل القراءة.
- فقدان بعض الماء لاستخدامه لبلل القمع وداخل سطح الجهاز.
- تغير في منطقة استقبال السقيط.
- عطب في الأجهزة بسبب الرياح أو غياب الصيانة الدورية.
- ميلان جهاز قياس المطر.

متوسط الأمطار:

توجد عدة طرق تستخدم لتقدير عمق هطول الأمطار في منطقة معينة ومن هذه الطرق: طريقة المتوسط الحسابي وطريقة مضلع ثايسن و طريقة خطوط الأمطار المتساوية وغيرها من الطرق. وفيما يلي موجز لأهم هذه الطرق:

1) <u>طريقة المتوسط الحسابي</u>: <u>Arithmetic mean</u> وفي هذه الطريقة يوجد المتوسط الحسابي للأمطار الهاطلة من عدة محطات قياس. ويمكن استخدام المعادلة 4-5 لحساب المتوسط الحسابي لمياه الأمطار.

$$P_{av} = \Sigma(P_i/n) \qquad (4-5)$$

حيث:

P_{av} = متوسط الأمطار الهاطلة (ملم)

P_i = مقدار الأمطار الهاطلة في المحطة i (ملم)

n = عدد المحطات

مثال 4-3

أوجد متوسط الأمطار بمنطقة معينة على حسب بيانات الأمطار المقدرة في أربعة محطات قياس هيدرولوجية والمدرجة في الجدول التالي:

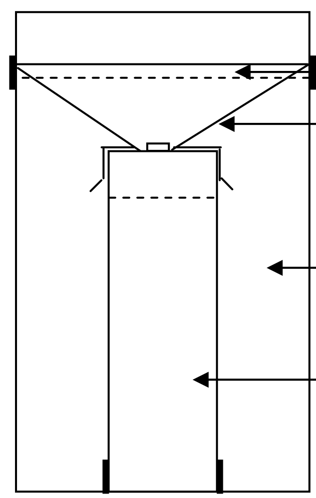
المحطة	كمية الأمطار (ملم)
أ	231
ب	340
ج	332
د	225

الحل:

1- المعطيات: تقديرات الأمطار في المحطات.

2- أوجد متوسط الأمطار الهاطلة بالمنطقة باستخدام طريقة المتوسط الحسابd من المعادلة $P_{av} = \Sigma\ (P_i/n)$:

$P_{av} = (231 + 340 + 332 + 225) \div 4 = 282$ ملم.



شكل 4-2 مقياس مطر بسيط

2) طريقة مضلع ثايسن : Thiessen Polygon method وفي هذه الطريقة يتم تقسيم المنطقة إلى مناطق مضلعة تستخدم مقاييس الأمطار كمراكز لها. ويفترض أن كمية الأمطار في أى محطة رصد هيدرولوجية يمكن تواجدها لمنتصف المسافة للمحطة الثانية الواقعة في أي إتجاه منها. ويتم التطبيق بعمل شبكة مضلع ثايسن، والذي يتكون من المنصفات العمودية للخطوط التي تربط المحطات المجاورة مع بعضها البعض. وتؤخذ مساحة كل مضلع لتقدير الأمطار للمحطة الواقعة في منتصفه. ولابد من تغيير المضلعات عند إضافة أو حذف أى محطة من الشبكة أو عند فقدان بيانات أى محطة. وتبين المعادلة 4-6 العملية الحسابية المتبعة في هذه الطريقة.

$$P_{mean} = \frac{\sum_{i=1}^{n} A_i P_i}{\sum_{i=1}^{n} A_i} \qquad 4\text{-}6$$

حيث:

P_{mean} = متوسط الأمطار الهاطلة في المنطقة (ملم)

P_i = تسجيل الأمطار الهاطلة في المحطة i (ملم)

A_i = مساحة المضلع المحيط بالمحطة i الواقعة في منتصفه (م^2)

A = المساحة الكلية لمنطقة هطول الأمطار (م^2)

مثال 4-4

تم الحصول على بيانات الأمطار التالية من سجلات محطات قياس رصد هايدرولوجية (أ)، (ب)، (ج)، (د) 18.2، 20.1، 25.8، 19.3 ملم على الترتيب. وقد تم إختيار طريقة مضلع ثايسن لحساب متوسط الأمطار. وقد وجد أن مساحة كل من المضلعات المحيطة بكل محطة على النحو التالي 26 و20 و34 و41 كيلومتر مربع للمحطات (أ)، (ب)، (ج)، (د) على الترتيب. أوجد مقدار متوسط الأمطار بالمنطقة.

الحل:

1- المعطيات: $P_أ = 18.2$ ، $P_ب = 20.1$ ، $P_ج = 25.8$، $P_د = 19.3$ ملم

$A_أ = 26$، $A_ب = 20$، $A_ج = 34$، $A_د = 41$ كلم^2

2- أوجد المساحة الكلية لمنطقة هطول الأمطار = 26 + 20 + 34 + 41 = 121 كلم^2

3- أوجد متوسط الأمطار باستخدام طريقة ثايسن من المعادلة التالية :

$P_{mean} = (A_1/A)P_1 + (A_2/A)P_2 + ...+ (A_n/A)P_n$

$P_{mean} = (26 \div 121)\times 18.2+(20\div 121)\times 20.1+(34\div 121)\times 25.8+(41\div 121)\times 19.3 = 21$ ملم.

3) طريقة خطوط الأمطار المتساوية Isohyetal method: وهذه الطريقة لتقدير كمية الأمطار تقوم برسم خطوط للأمطار المتساوية باستخدام البيانات من المحطات وأى معايير أخرى لتقويم أو استكمال البيانات بين محطات المراقبة {8}. ويمكن إيجاد متوسط الأمطار بحساب الحجم المرحلي بين كل زوجين من خطوط الأمطار المتساوية. ثم تجمع هذه الحجوم المرحلية وتقسم على المساحة الكلية كما موضح في المعادلة 4-7.

$$P_{av} = [A_1(P_1 + P_2)/2 + ...+ A_n(P_{n-1} + P_n)/2]/ (A_1 + ..+ A_n) = \frac{\sum_{i=1}^{N}\left[\frac{A_i\left(P_i + P_{i+1}\right)}{2}\right]}{\sum_{i=1}^{N} A_i}$$

مثال 4-5

أوجد متوسط الأمطار للمنطقة المبينة في الشكل التالي باستخدام طريقة خطوط الأمطار المتساوية، علما بأن المساحات بين الخطوط المتساوية كما موضحة في الجدول التالي:

خط المطر المتساوي (سم)	المساحة بين الخطوط (A كلم مربع)
8	
9	10
	20
10	
	90
11	
	100
12	
	50
13	
	20
14	

الحل:

1- المعطيات: خطوط المطر المتساوية والمساحة بينها.

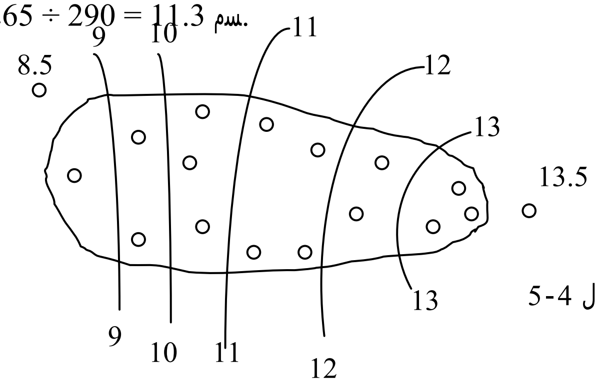
2- أكمل الجدول التالي (عادة يتم رسم خطوط الأمطار المتساوية من بيانات الأمطار الهاطلة بالمنطقة ثم تحسب المساحة بين كل خطين متجاورين بالممساح):

خط المطر المتساوي، سم	المساحة بين الخطوط (A كلم مربع)	متوسط المطر $1/2(P_1+P_2)$	$A(P_1+P_2)/2$
8			
	10	8.5	85
9			
	20	9.5	190
10			
	90	10.5	945
11			
	100	11.5	1150
12			
	50	12.5	625
13			

270	13.5	20	14
Σ 290		Σ 3265	

3- أوجد متوسط الأمطار من المعادلة: $P_{av} = \dfrac{\sum_{i=1}^{N}\left[\dfrac{A_i\left(P_i + P_{i+1}\right)}{2}\right]}{\sum_{i=1}^{N} A_i}$

$P_{av} = 3265 \div 290 = 11.3$ مم.



رسم حل مثال 4-5

<u>تقدير البيانات المفقودة وغير المسجلة:</u> ربما حدث فقد في بعض بيانات السجلات في كثير من محطات رصد وتسجيل الأمطار ربما بسبب غياب المراقب أو لخلل في الأجهزة أو لأى سبب آخر. وللحفاظ على المعلومات الهامة فمن الأفضل إتباع طريقة مناسبة لتقدير الأمطار في مثل هذه الظروف والتمكن من حساب التقديرات الشهرية والسنوية. ومن هذه الطرق طريقة مبنية على تسجيلات ثلاث محطات مجاورة لبعضها البعض ومتساوية البعد (مامكن ذلك) من المحطة التي يوجد بها السجل المفقود. ويمكن إيجاز طريقة التقدير في الخطوات التالية:

1. إذا كان السقيط السنوي العادي في كل محطة في حدود 10% من السقيط في المحطة المفقود سجلها فيمكن اعتماد المتوسط الحسابي للسقيط في المحطات الثلاث كبديل للسجل المفقود.
2. إذا كان السقيط السنوي العادي في أى من المحطات الثلاث يختلف عن السقيط في المحطة المفقود سجلها بأكثر من 10% فتستخدم طريقة النسب العادية. وهذه الطريقة تتكون من ترجيح نسب القيم المتوسطة للأمطار العادية كما مبين في المعادلة 4-8 {3،5}

$$P_X = (1/3)[(N_x/N_A)*P_A + (N_x/N_B)*P_B + (N_x/N_C)*P_C] \qquad (4\text{-}8)$$

حيث:

A,B & C =محطات رصد وقياس السقيط الهيدروليكية

P_X = السجل المفقود من محطة x

N = السقيط السنوي العادي

مثال 4-6

فُقد سجل أمطار من محطة رصد هايدروليكية (أ) في أحد الأيام العاصفة. وقد وجدت تقديرات الأمطار في ثلاثة محطات (ب) و(ج) و(د) محيطة بالمحطة (أ) تساوى 80، 65، 35 ملم على الترتيب. علماً بأن السقيط السنوي العادي في المحطات (أ) و(ب) و(ج) و(د) هي 870، 640، 420، 510 ملم على الترتيب. أوجد قيمة السقيط أثناء الزوبعة في المحطة (أ)

الحل:

1- المعطيات$P_{ب}$ =80 ملم، $P_{ج}$ = 65 ملم، $P_{د}$ = 35 ملم

$N_{أ}$ = 870 ملم، $N_{ب}$ = 640 ملم، $N_{ج}$ = 420 ملم، $N_{د}$ = 510 ملم.

2- أوجد قيمة السقيط أثناء الزوبعة في المحطة (أ) باستخدام المعادلة 4-8:

$P_{أ}$ = (1÷3)×{(870×80÷640) + (870×65÷420) + (870×35÷510)} = 101 ملم.

شدة المطر وفترة هطوله **:**Rainfall intensity and duration تعرف شدة الأمطار بمقياس كمية الأمطار الهابطة في منطقة معينة بالملم/ساعة. كما وتعرف فترة هطول الأمطار بأنها تلك الفترة الزمنية التي غالبا يهطل خلالها المطر. وهنالك علاقة بين شدة المطر وفترة هطوله، إذ كلما زادت شدة المطر كلما قلت الفترة الزمنية لاستمراره. وتبين المعادلة 4-9 العلاقة بين شدة المطر وفترة هطوله.

$$i = a/(t + b) \qquad 4\text{-}9$$

حيث:

i = شدة الأمطار (ملم/ساعة)

t = زمن الأمطار (ساعة)، عادة يكون بين 5 إلى 120 دقيقة

a,b = ثوابت مكانية

أما لفترة هطول المطر التي تتجاوز الساعتين فنستخدم المعادلة 4-10.

$$i = c/t^n \qquad 4\text{-}10$$

حيث:

c,n = ثوابت مكانية.

شدة المطر وفترة هطوله وتردده :Rainfall intensity, duration and frequency

أما العلاقة بين شدة الأمطار وفترة هطولها وترددها فيمكن إيجادها من العلاقة المبينة في المعادلة 4-11.

$$P = [(1.214*10^5/600)*Nt]^{0.282} - 2.54 \qquad 4\text{-}11$$

حيث:

P = كمية الأمطار (منسوب الأمطار Depth)

N = التردد الحادث، وعادة يقدر مرة كل N سنة، حيث N = 10/n

n = عدد مرات التردد كل عشرة سنوات.

t = فترة الهطول (دقيقة)

i = شدة الأمطار والتي يمكن تقديرها من المعادلة 4-12.

$$i = 60P/t \qquad 4\text{-}12$$

حيث:

i = شدة الأمطار (ملم/ساعة)

وبتعويض المعادلة 4-12 في المعادلة 4-11 تنتج المعادلة 4-13 لتقدير شدة الأمطار (ملم/ساعة)

$$i = (60/T)*[(202.3*NT)^{0.282} - 2.54] \qquad 4\text{-}13$$

البخر والنتح : Evaporation & Transpiration البخر هو طريقة لتحول المواد من حالة السيولة إلى الحالة الغازية عبر نقل الطاقة الحرارية. أما النتح فهو طريقة لتبخر الماء من الأسطح الرطبة ولتبخر الماء (النتح) بوساطة النباتات{8}

وللتبخر أهمية مؤثرة في دراسة مصادر المياه تتمثل في النقاط التالية {3}:

- يؤثر البخر على إنتاج الحوض النهري
- يؤثر البخر على سعة الخزانات.
- يؤثر البخر على حجم محطات ضخ السوائل.
- يؤثر البخر على استهلاك المياه بوساطة النباتات.
- يؤثر البخر على إنتاج المياه الجوفية.

تنتج حركة الجزئيات عبر سطح الماء ضغط البخار. كما وتتصادم الجزئيات المنطلقة من سطح الماء مع جزئيات الهواء المجاورة، مما يعمل على إرتدادها إلى سطح الماء كرة ثانية. وعند تساوي عدد الجزئيات الخارجة وعدد الجزئيات المرتدة للماء، يحدث إتزان بين الضغط المبذول بالجزئيات المنطلقة والضغط المبذول بالهواء المحيط. كما ولجزء من الجزئيات في الحالة الغازية طاقة حركية تمكنها من التغلغل داخل السائل، ويتكثف جزء آخر منها إلى الحالة الصلبة. وهذا الوضع يجعل من عمليات البخر من السائل والتكثيف على سطحه عمليات مستمرة. غير أن البخر يكون أسرع من التكثيف إذا كان الفراغ أعلى سطح الماء غير مشبع. وحينها يمكن إيجاد معدل البخر بإيجاد الفرق بين ضغط بخار الماء وضغط الهواء أعلى سطح الماء.

العوامل المؤثرة على البخر يعتمد ضغط البخار على درجة حرارة الماء والهواء وسرعة الرياح والضغط الجوي ونوع وطبيعة المياه وشكل السطح{8}. وعامة فإن العوامل المؤثرة على البخر يمكن إيجازها في ما يلي {2، 3، 5، 8}

1. درجة الحرارة: يزداد ضغط بخار الماء بإزدياد الحرارة، وذلك نسبة لإزدياد طاقة حركة جزئيات الماء من جراء زيادة درجة الحرارة. وبما أن البخر يتناسب مع فرق ضغط بخار الماء والهواء، فعليه ربما لا تقوم الزيادات المتساوية في درجة الحرارة على رفع معدل البخر. ولاستمرار البخر فلا بد من زيادة حرارة الماء عند إنخفاضها بوساطة البخر.
2. الإشعاع الشمسي: يعطى كل طيف الشمس الإشعاعي حرارة كامنة للتبخر. ومن هذا المنطلق تقلل السحب من عملية البخر.
3. الضغط الجوي: ينقص الضغط الجوي بإزدياد الارتفاع الشيء الذي يزيد من معدل إنبثاق الجزئيات من سطح الماء، نسبة لوجود جزئيات أقل في الجو فوق السطح المتبخر، وبالتالي تداخل أقل. ويقل البخر بإزدياد الارتفاع عند ثبات كل العوامل المناخية المؤثرة على ضغط بخار الماء الموجود في الهواء.
4. الرياح: تعمل الرياح على إزاحة جزئيات الماء في الهواء وتأتي بهواء يمكنه حمل بخار ماء أكثر. كما ويعطي الهواء الساخن طاقة إضافية للتبخر. أما كتل الهواء البارد فربما قللت من البخر وتفقد حرارتها للطبقات الدنيا مما يسبب التكثيف.
5. طبيعة سطح السائل المتبخر: من المعروف أن السطح المستو له ضغط بخار أكبرمن السطح المقعر، كما وله ضغط بخار أصغر من السطح المحدب. فمثلا يتبخر الماء في أوراق الأشجار والشجيرات بسرعة، وذلك للتعرض المرغوب والذي يسمح بإزالة البخار حتى مع أقل نسمة هواء. غير أن معدل تبخر الماء الموجود في الأعشاب الغزيرة يكون قليلاً بسبب تحديد حركة الهواء خلالها، مما يلاشى فرق ضغط البخار إلى الصفر.
6. نوع الماء: يقل معدل البخر للماء المالح مقارنة بالماء النقي. كما ويقل معدل البخر كلما زادت الكثافة النوعية، إذ يقل معدل البخر بحوإلى 1% لكل زيادة 1% في الثقل النوعي إلى أن يحدث إنصهار، والذي عادة يحدث عند ثقل نوعى يساوي 1.3.

طرق تقدير كمية البخر توجد عدة طرق لتقدير كمية البخر أو النتح ومن هذه الطرق قياس البخر من كفة البخر، والصيغ التجريبية، وطرق ميزانية الماء، وطرق إنتقال الكتلة، وطرق ميزانية الطاقة كما هو موجز أدناه {1، 3، 5، 8}

1- قياس البخر من كفة البخر Evaporation Pan method (أنظر شكل 4-3): كفة البخر من أكثر الطرق استخداما لقياس معدل البخر، غير أنه قد وجد أن معدل البخر من كفة صغيرة لا يماثل معدل البخر من كفة كبيرة، كما وأن معدل البخر لا يتساوى لكل الكفات وذلك لتأثره بعوامل عدة مثل: الحجم والعمق والموقع. وعليه فلا بد من قياس معدل البخر تحت كل الظروف وتحديد العوامل الواجب استخدامها لتخفيف نواتج الكفة المتوقعة من البحيرة أو المستودع لأي نوع من القياس من الكفة. ومن أهم العوامل المؤثرة على قياس البخر من الكفة:

- عوامل المناخ مثل: حركة الرياح، والضغط الجوي
- خواص كفة البخر مثل: القطر، وارتفاع الحافة، واللون، والعمق، والشكل
- خواص السائل المتبخر مثل: فرق ضغط البخار، ودرجة الحرارة

▪ عوامل الطاقة مثل: طرق إنتقال الحرارة في كل الإتجاهات عبر جدران الكفة، وتخزين الطاقة في المستودع أو البحيرة، والغطاء النباتى.

2) طريقة ميزانية الماء Water Budget approach أو معادلة التخزين Storage Equation: وطريقة ميزانية الماء هى مقياس لاستمرارية انسياب دفق الماء. وتستخدم هذه الطريقة قانون بقاء الكتلة لتقدير البخر كما مبين في المعادلات 4-14 و4-15 و4-16 (أنظر شكل 4-4)

البخر = الداخل - الخارج – المخزون   14-4

أو: السقيط + البخر الرشحي + الدفق السطحي + دفق المياه الجوفي + المخزون = صفر   15-4

$$ET = P + I + Q_u + Q_s + S \qquad 4\text{-}16$$

حيث:

= البخر الرشحي

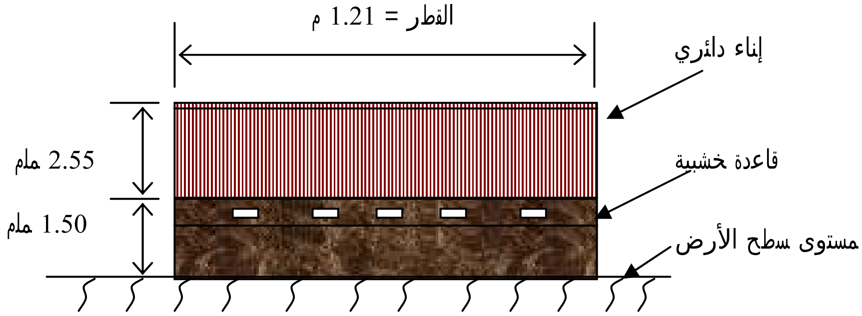
P = السقيط الكلي

Q_u = دفق المياه الجوفية

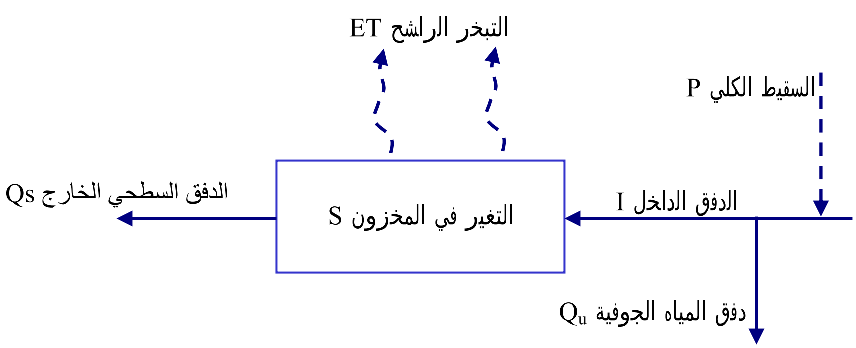
I = الدفق السطحي الداخل

Q_s = الدفق السطحي الخارج

S = التغير في المخزون (للمياه السطحية والجوفية)



شكل 4-3 رسم تخطيطي لكفة البخر الأمريكية



شكل 4-4 طريقة ميزانية الماء

3) طريقة إنتقال الكتلة :Mass Transfer method يمكن وضع علاقة البخر وضغط البخار في صورة نقل أدنى ميل التركيز كما موضح في المعادلة 4-17.

$$EV = b(e_s - e) \qquad 4\text{-}17$$

حيث:

EV = البخر

e_s =ضغط البخار المتشبع عند درجة الحرارة السطحية

e = ضغط البخار الحقيقي على الارتفاع المطلوب أعلى السطح

b = ثابت تجريبي

4) طريقة ميزانية الطاقة :Energy Budget method وهذه الطريقة تماثل طريقة ميزانة الماء غير أنها تختص باستمرارية دفق الطاقة وليس بدفق الماء. وهذه الطريقة معقدة نسبة للصعوبات الناجمة من إيجاد العوامل المؤثرة عليها والتي تضم الإشعاع الجوي والإشعاع طويل الموجة من الماء وحفظ الطاقة، كما وتتعقد الطريقة بسبب أسلوب حل معادلة ميزانية الطاقة. ويمكن تمثيل البخر بطريقة ميزانية الطاقة كما مبين في المعادلة 4-18.

$$EV = [E_s - E_r - E_b + E_v - E_o]/[\rho L(1 + R)] \qquad 4\text{-}18$$

حيث:

EV = البخر الرشحي (سم)

E_s = الإشعاع الشمسي المسقط على سطح الماء

E_r = الإشعاع الشمسي المنعكس

E_b = الطاقة الكلية المفقودة بالماء عبر تبادل الإشعاع طويل الموجة بين الجو والماء

E_v = الطاقة الكلية المحدثة داخل الماء

E_o = الزيادة في الطاقة المخزونة في الماء

ρ = كثافة الماء

L = الحرارة الكامنة للتبخر

R = نسبة بوين Bowen والتي يمكن إيجادها من المعادلة 4-19.

$$R = [0.61P(T_w - T_a)]/[1000(e_s - e_a)] \qquad 4\text{-}19$$

P = الضغط الجوي (مللبار)

T_w = درجة حرارة سطح الماء (°م)

T_a = درجة حرارة الهواء (°م)

e_s = ضغط البخار المتشبع (مللبار) عند درجة الحرارة T_w

e_a = ضغط بخار الهواء (مللبار)

5) الصيغ التجريبية : Empirical Formulae تستخدم هذه الطرق بيانات الإرصاد الجوي مع إفتراض وجود مياه كثيرة. والعديد من هذه الصيغ مبني على علاقات الديناميكا الغازية Aerodynamic relationships والتي لها الصيغة العامة المبينة في المعادلة 4-20.

$$EV_a = C(e_s - e)f(u) \qquad 4\text{-}20$$

حيث:

EV_a = البخر من سطح الماء المكشوف على وحدة الزمن (ملم/يوم)

C = ثابت تجريبي

e_s = ضغط بخار الهواء المتشبع (مللبار) عند درجة الحرارة (t) درجة مئوية (ملم زئبق)

e = ضغط بخار الهواء الحقيقي (مللبار) عند درجة الحرارة (t) درجة مئوية (ملم زئبق)

f(u) = دالة لسرعة الرياح على إرتفاع قياس أعلى السطح.

وهنالك حالتان:

أ) عند تساوي درجة حرارة سطح الماء ودرجة حرارة الهواء يمكن استخدام المعادلة 4-21.

$$EV_a = 0.35(e_s - e)(0.5+0.5u_2) \qquad 4\text{-}21$$

حيث:

EV_a = البخر (ملم/يوم)

u_2 =سرعة الرياح على إرتفاع 2 متر (م/ث)

ب) عند إختلاف درجة حرارة سطح الماء ودرجة حرارة الهواء يمكن استخدام المعادلة 4-22.

$$EV_a = 0.345(e_w - e)(1+0.25u_6) \qquad 4\text{-}22$$

حيث:

EV_a = البخر (ملم/يوم)

e_w = ضغط بخار الماء عند التشبع على درجة حرارة t_w لسطح الماء (ملم زئبق)

e = ضغط البخار الحقيقي (ملم زئبق)

u_6 = سرعة الرياح على ارتفاع 6 متر أعلى السطح (م/ث)

6) نظرية بنمان :Penman`s Theory تعتمد هذه النظرية على فرضين أساسيين للحصول على تبخر مستمر وهما:

أ) وجود مصدر طاقة للحصول على الحرارة الكامنة للبخر.

ب) وجود عامل لإزاحة مايحدث من بخر.

وتبين المعادلتين 4-23 و4-24 صور معادلات بنمان.

$$EV_o = [\Delta H + \gamma EV_a]/[\Delta + \gamma] \qquad 4\text{-}23$$

$$EV_o = EV_1(t, n/D) + EV_2(t, R_A, n/D) + EV_3(t, n/D, h) + EV_4(t, u_2, h) \qquad 4\text{-}24$$

حيث:

EV_o = البخر من سطح الماء أو ما يعادله من طاقة حرارية

D = ميلان منحنى ضغط البخار لدرجة الحرارة t

H = مقدار الطاقة النهائية المتبقية على سطح الماء

EV_a = البخر الإفتراضى لدرجات الحرارة المتساوية للماء والهواء

γ = ثابت جهاز قياس الرطوبة = 0.66 إذا كانت درجة الحرارة مقاسة بالمئوية و e مقاسة بالمللبار.

e = ضغط بخار الهواء الحقيقي على درجة الحرارة t

t = درجة الحرارة

n/D = نسبة السحب = عدد الساعات المشمسة الحقيقية ÷ عدد الساعات المشمسة المحتملة

R_A = مقدار أنقوت Angot للإشعاع الشمسي الواصل إلى الغلاف الجوي بإفتراض غياب السحب وأن الغلاف الجوي صافي جداً

h = الرطوبة النسبية

u_2 = سرعة الرياح على إرتفاع 2 متر.

ويمكن استخدام بياني معادلة بنمان لتقدير البخر من سطح الماء الحر والتي تُغني عن الحسابات المطولة المطلوبة، كما ويمكن استخدام برنامج كمبيوتر ليؤدي نفس الغرض. وفي هذا الشأن يمكن الركون إلى الكتب المتخصصة في الهيدرولوجيا.

3-4 التسرب والتخلخل:Infiltration and Percolation

يتعلق التسرب بحركة الماء خلال سطح التربة إلى داخلها. أما التخلخل فيرتبط بانسياب الماء عبر التربة. وتتجلى أهمية التسرب في أثره على الجريان السطحي، وعلاقته بنتح النباتات، وإيجاد محتوى نداوة التربة، وعلاقته بالبخر من التربة، وأهميته للزراعة والعديد من المناحي البيئية. ومن العوامل المؤثرة على التسرب مايلي {3}

1. النفاذ السطحي: ربما كان سطح التربة مغلق بهجرة الحبيبات الناعمة أو نسبة لأوضاع بعض الحبيبات الأخرى والتي تحول دونما دخول الماء إلى التربة.
2. النقل داخل التربة.
3. نقصان سعة التخزين في التربة (وتعتمد السعة التخزينية على المسامية وعمق طبقات التربة ومحتوى النداوة الموجود. كما وتعتمد مسامية التربة على البناء والنسيج وتركيز المواد العضوية والنشاط الحيوى وتغلغل جذور النبات والمواد الغروية المنتفخة
4. خواص الطبقة النفاذية: وهذه تتعلق:

❖ بالتربة خاصة مقاس المسامات وتوزيع مقاس المسامات والنفاذية وطبيعة التربة (رمل أو طين) وتكوين التربة وخواص الإنتفاخ.

❖ بالنباتات والتي تؤثر على دخول الماء من السطح. والعوامل المهمة في هذا الصدد: تركيز المواد العضوية من النباتات (تزيد النفاذية) ونظام الجذور (يزيد المسامية) ومرحلة النمو وبقايا النباتات وما إذا كانت التربة متجمدة أم لا وخواص التربة ونسيجها.

❖ بخواص السائل المتخلخل: وهذه تحوي الخواص الطبيعية (مثل: العكارة، وكمية الطين، والمواد الغروية) ونوع الأملاح بالتربة وكميتها ودرجة الحرارة واللزوجة وعمق الماء في المنطقة.

قياس التسرب:

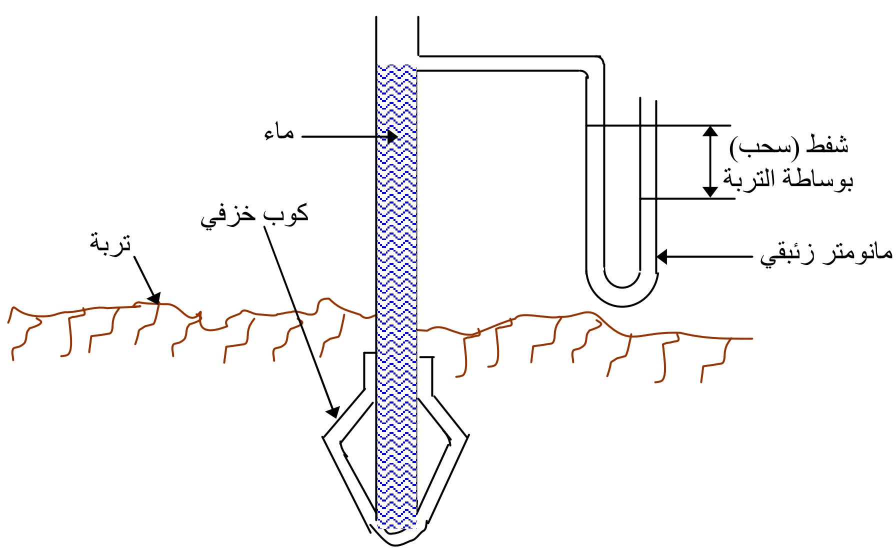
ومن الطرق المتبعة لقياس التسرب مايلي:

أ) أجهزة مقياس التسرب :Infiltrometers ويستخدم جهاز مقياس التسرب في المنطقة الجابية Water Shed الصغيرة أو للاختبارات أو مناطق أخذت كعينات من ضمن مناطق جابية كبيرة. ويبين شكل 4-5 رسم تخطيطي لمقياس تسرب بسيط. ويكون الجهاز في حالة إتزان مع التربة. وعندما تنخفض نداوة التربة أدنى درجة التشبع ينساب الماء من الكوب مما يولد ضغط سالب يظهر على المانومتر. ويمكن لهذا الجهاز قياس توتر النداوة والتربة من درجة التشبع إلى توتر يبلغ 1 جو. ويمكن تقسيم أجهزة مقياس التسرب إلى الأنواع التالية:

✓ مقارنات المطر :Rainfall Stimulators وهنا يتم قياس المياه في وضع وبمعدل يمكن معه مقارنتها مع الأمطار الطبيعية.

✓ مقياس الفيضان :Flooding Type وتطبق المياه على شرائح رقيقة في منطقة مقبولة، وعادة في إطار يسمح بالحصول على فاقد سمت ثابت.

ب) تحليل الهايدروجراف لتقدير التسرب :Hydrograph Analysis وفوائد هذه الطريقة للقياس أنها تأخذ في الإعتبار قياس التغير في الأمطار. وتضم تأثير عوامل عدة تحدث عملياً مثل: معدل الدفق، والميلان، والتربة، والغطاء النباتي، والمخزون، وزمن الجريان. وتستخدم هذه الطريقة أحد أو عدة صبغ أساسية مثل: علاقة زمن الهطول والدفق، وعلاقة الزمن والتكثيف، وعلاقة متوسط التسرب وغيرها من المعادلات.



شكل 4-5 جهاز قياس التسرب البسيط

معامل التسرب :Infiltarion Index

يستخدم معامل التسرب لتقدير التسرب كمعدل متوسط أثناء مدة الزوبعة والأمطار. وتوجد عدة عوامل منها:

أ) دليل فاي :ϕ Index دليل فاي يعبر عن متوسط معدل التسرب. ويوجد من منحنى الزمن وشدة الأمطار، بحيث أن حجم المطر الزائد عن هذا المعدل يساوي حجم سيل الأمطار{8}. ويمكن تعريف دليل فاي على أنه معدل الأمطار الذي يساوي أعلى منه حجم الأمطار حجم سيلها (الدفق السطحي). ولتحديد دليل فاي لزوبعة مطرية يحسب كمية الدفق السطحي من الهيدروجراف، ثم يوجد الفرق بين هذه الكمية والمطر الكلي المسجل. ومن هنا يتم تقسيم الفاقد بالتساوي عبر الزوبعة. ومن الجدير بالذكر أن قيمة دليل فاي المحسوبة لزوبعة معينة لا تسري لغيرها ما لم يتم الأخذ في الإعتبار عوامل المنطقة الأخرى بالإضافة للدفق السطحي.

مثال 4-7

دلت سجلات الأمطار لمنطقة معينة على أن قيمة المطر الكلي تعادل 57 ملم مقسمة على حسب الجدول أدناه:

الزمن (ساعة)	شدة الأمطار (ملم/ساعة)
صفر	صفر
1	6
2	10
3	20
4	14
5	7

أوجد مقدار دليل فاي للمنطقة الجابية لإحداث انسياب سطحي مقداره 19 ملم.

الحل:

1- المعطيات: توزيع شدة الأمطار على الزمن، انسياب سطحي=19 ملم.

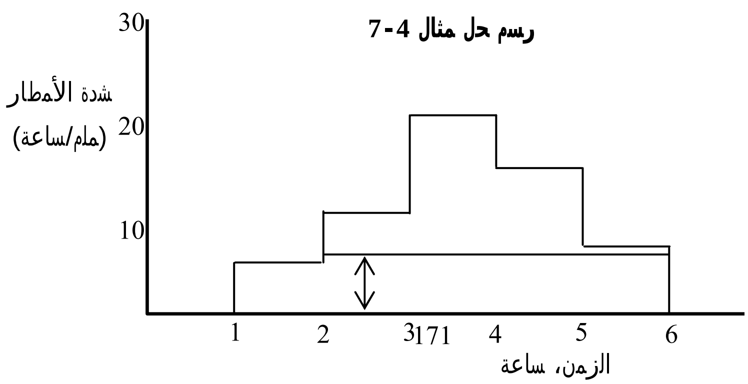
2- أرسم شدة الأمطار مع الزمن كما مبين على شكل حل مثال 4-7.

3- لإيجاد دليل فاي فإن:

معدل الأمطار الأعلى من فاي = معدل الأمطار الأدنى من فاي = معدل الانسياب السطحي

$$1\times(10 - \phi) + 1\times(20 - \phi) + 1\times(14 - \phi) + 1\times(7 - \phi) = 19$$

ومن هذه العلاقة يمكن إيجاد دليل فاي 8 = ϕ = ملم/ساعة.



ب) دليل دبليو W - Index: وهذا الدليل تحسين لدليل فاي إذ يبعد المخزون السطحي والحجز. ويمكن تعريف دليل دبليو على أنه معدل متوسط التسرب الذي يحدث عندما تزيد شدة الأمطار عن معدل السعة {6} ويمكن إيجاده من المعادلة 4-25.

$$W = F/t_f = (P - Q - S)/t_f \qquad 4\text{-}25$$

حيث:

W = دليل دبليو

F = التسرب الكلي

t_f = الزمن الكلي الذي تكون فيه شدة الأمطار أكبر من W

P = المطر الكلي

Q = الدفق السطحي

S = المخزون السطحي الفعال.

ج) دليل دبليو الأدنى W_{min} Index: ويوجد هذا الدليل عند الظروف شديدة البلل وعندما تصل سعة التسرب إلى أدنى معدل ثابت لها{8}، أي عندما يتساوى دليل دبليو ودليل فاي = W ويستخدم دليل دبليو الأدنى عادة لقياس أقصى فيضان. إن كمية الأمطار التي يكون إمتصاصها بالتربة وتجد طريقها كدفق سطحي تعتمد على درجة بلل التربة في بداية الأمطار وسعة التخزين ومحتوى الندى الأولى للتربة.

د) دليل السقيط :Antecedent Precipitation Index وهذا الدليل يبنى على أن محتوى ندى التربة قد نقص بمعدل يتناسب والكمية المخزونة في التربة، كما مبين في المعادلة 4-26.

$$I_t = I_o * k^t \qquad 4\text{-}26$$

حيث:

I_t = قيمة الدليل المخفضة بعد t يوم (ملم)

I_o = قيمة الدليل الأولية (ملم)

k = ثابت يتراوح بين 0.85 إلى 0.98 وعادة تؤخذ قيمته لتساوي 92.,

t = الزمن (يوم)

ويفيد هذا الدليل كثيراً لاستنباط الدفق السطحي المتوقع لمنطقة جابية ذات سجلات مكتملة.

مثال 4-8

وجد أن دليل السقيط لمحطة رصد هيدرولوجية يساوي 4 سم في اليوم الأول من يوليو. ويبين الجدول التالي الأمطار التي هطلت على مدى أسبوع:

كمية الأمطار الساقطة، سم	التاريخ
5	4 يوليو
4	6 يوليو
2	8 يوليو

أ) أوجد دليل السقيط ليوم 14 يوليو.

ب) أوجد دليل السقيط ليوم 14 يوليو بإفتراض عدم سقوط أمطار بالمنطقة. (ثابت k = 0.95)

الحل

1- المعطيات: تغير قيمة دليل السقيط مع الزمن، k = 0.95

2- إستخدم المعادلة $I_t = I_o * k^t$ لإيجاد قيمة دليل السقيط. وبجعل t = 1 تصبح هذه المعادلة $I_t = I_o * k$:

وعليه يمكن إيجاد دليل السقيط لأي يوم ليساوي الدليل في اليوم السبق مضروب في قيمة الثابت k. وفي حالة هطول أمطار في أى يوم فإنها تضاف إلى قيمة الدليل. ومن هذا المنطلق يمكن حساب قيمة الدليل كما موضح في النقاط التالية:

- قيمة دليل السقيط في الأول من يوليو = I_1 = 4 سم
- قيمة دليل السقيط في الرابع من يوليو مباشرة قبيل هطول الأمطار = I_4 = 4× $(0.92)^3$ = 3.11 سم
- يجب إضافة قيمة الأمطار الهاطلة لإيجاد قيمة دليل السقيط في الرابع من يوليو

  قيمة دليل السقيط في الرابع من يوليو بعد هطول الأمطار = 3.11 + 5 = 8.11 سم
- قيمة دليل السقيط في السادس من يوليو مباشرة قبيل هطول الأمطار = I_6 = 8.11× $(0.92)^2$ = 6.87 سم

  قيمة دليل السقيط في السادس من يوليو بعد هطول الأمطار = 6.87 + 4 = 10.87 سم
- قيمة دليل السقيط في الثامن من يوليو مباشرة قبيل هطول الأمطار = I_8 = 10.87× $(0.92)^1$ = 10 سم

  قيمة دليل السقيط في الثامن من يوليو بعد هطول الأمطار = 10 + 2 = 12 سم
- قيمة دليل السقيط في اليوم الرابع عشر من يوليو = I_{14} = 12× $(0.92)^6$ = 7.3 سم

3- أوجد قيمة دليل السقيط في غياب الأمطار:

= I_{14} = 4× $(0.92)^{13}$ = 1.4 سم

4 - 4 المياه الجوفية:Groundwater

تمثل المياه الجوفية ذلك الجزء من مياه الأمطار المتسربة إلى التربة والمتخلخلة إلى الطبقات السفلى. وهنالك عدة عوامل تؤثر بصورة مباشرة وغير مباشرة على انسياب المياه الجوفية. ومن هذه العوامل على سبيل المثال: خواص السائل (مثل: الكثافة واللزوجة) وخواص الوسط الذي تنساب من خلاله المياه (مثل: المسامية والنفاذية) وشروط الحدود.Boundary Conditions

دفق الماء الجوفي:

لإيجاد دفق المائع خلال الأنابيب الشعرية قام دارسي Darcy باستخدام قاعدة هيزن وبواسيلي Hazen and Poiseuille لتسري على انسياب الماء عبر الوسط النفاذى كما موضح في المعادلة 4-27.

$$v = k*i \qquad 4\text{-}27$$

حيث:

v = سرعة انسياب الماء = السرعة النسبية (م/ث)

k = الميل الهايدروليكي (ميل التدرج السائلى Hydraulic Gradient)

= ميل السمت المقاس في إتجاه سريان الماء

i = معامل النفاذية = التوصيلية الهايدروليكية ويمكن إيجاده من المعادلة 4-28

$$i = d\phi/dl \qquad 4\text{-}28$$

حيث:

l = المسافة في إتجاه خط الانسياب

ϕ = السمت الممكن Potential Head.

ويمكن إيجاد معدل السريان لحوض ماء جوفي Groundwater aquifer معين كما مبين في المعادلة 4-29.

$$Q = v*A \qquad 4\text{-}29$$

حيث:

Q = معدل سريان الماء (م^3/ث)

A = مساحة حوض الماء الجوفي العمودية على إتجاه سرعة دفق الماء فيه (م^2)

أما السرعة الحقيقية للماء عبر المسامات (v') فعادة تكون أكبر من السرعة النسبية. وذلك نسبة لأن المسار الذي يتبعه الماء خلال الوسط المسامي يكون دائماً أكبر من الخط المستقيم بين أي نقطتين. وتوضح المعادلتين 4-30 و4-31 طريقة حساب السرعة الحقيقية بين المسامات.

متوسط السرعة المسامية = السرعة النسبية/المسامية الفعالة 4-30

أو:

$$v' = v/n_e \qquad 4\text{-}31$$

حيث:

v' = السرعة الحقيقية (م/ث)

v = السرعة النسبية (م/ث)

n_e = المسامية الفعالة (لابعدي)

دفق الماء في الحوض الجوفي المحجوز Confined Aquifer

يمكن استخدام قاعدة دارسي لإيجاد سرعة دفق الماء خلال حوض الماء الجوفي المحجوز كما مبين في المعادلة 4-32.

$$v_x = - k *(d\phi/dx) \qquad 4\text{-}32$$

حيث:

v_x = السرعة النسبية في إتجاه x (م)

k = معامل نفاذية الحوض (م/ث)

ϕ = السمت الممكن (م)

x = مسافة في إتجاه خط الانسياب (م)

أما دفق الماء خلال عرض حوض الماء الجوفي يمكن تقديره من المعادلة 4-33.

$$q = - k H(d\phi/dx) \qquad 4\text{-}33$$

حيث:

q = معدل الانسياب في حوض الماء الجوفي على وحدة عرض الحوض ($م^3$/ث/م)

H = عمق حوض الماء الجوفي (م)

وهذا الانسياب يمكن إيجاده في حالتين تتعلقان بحالة استقرار الدفق كما مبين في التفصيل التالي:

1) الانسياب في حالة الاستقرار: Steady Flow State

في حالة استقرار الدفق تتلاشى المشتقة الأولى لمعدل السريان كما مبين في المعادلة 4-34.

$$dq/dx = 0 \qquad 4\text{-}34$$

وبمفاضلة المعادلة 4-33 بالنسبة إلى x وتعويضها في المعادلة 4-34 تنتج المعادلة 4-35.

$$dq/dx = - kH(d^2\phi/dx^2) = 0 \qquad 4\text{-}35$$

أو:

$$d^2\phi/dx^2 = 0 \qquad 4\text{-}36$$

ويمكن حل المعادلة التفاضلية 4-36 كما موضح في المعادلة 4-37.

$$\phi = bx + a \qquad (4\text{-}37)$$

حيث:

ϕ = السمت فوق مرجع مناسب (م)

a و b = ثوابت التكامل.

وبإفتراض أن ϕ = صفر عند x = صفر، ومن معادلة دارس $d\phi/dx = -v/k$ فتنتج من المعادلة 4-37 المعادلة 4-38.

$$\phi = - vx/k \qquad 4\text{-}38$$

وتوضح المعادلة 4-38 أن السمت يتناقص تناقصاً خطياً في إتجاه انسياب الماء مع معدل الانسياب في الإتجاه الموجب للمسافة x.

والجدير بالذكر أن الحل التحليلي غير ممكن للانسياب وحيد الإتجاه One-Dimentional Flow في حوض ماء جوفي غير محجوز، وذلك لأن منسوب المياه الجوفية يمثل الحد الأعلى، كما وأن خط الانسياب يحكمه توزيع الانسياب. وعليه يلجأ إلى استخدام إفتراضات ديبو Dupuit للحصول على حل تقريبي. وإفتراضات ديبو هذه تتضمن مايلي:

1. تتناسب سرعة انسياب الماء عبر الحوض مع مماس الميل الهايدروليكي (وهذا يعني أن $d\phi/dl = d\phi/dx$ بالنسبة لقيم $d\phi$ القليلة)
2. ينساب الدفق أفقياً في أى نقطة، وينتظم في الإتجاه الرأسي (عدا بالقرب من نقاط السحب)

وتبين المعادلة 4-39 طريقة تقدير الانسياب بإفتراضات ديبو باستخدام معادلة دارسي

$$q = - kh(dh/dx) \qquad 4\text{-}39$$

وبتكامل المعادلة 4-39 للحدود $h = h_o$ عندما تكون x = صفر، تنتج المعادلة.4-40

$$q = k(h_o^2 - h^2)/2x \qquad 4\text{-}40$$

وتشير المعادلة 4-40 إلى أن منسوب المياه الجوفية لها شكل قطع متكافئ.Parabolic form

2) الانسياب في الحالة غير المستقرة :Unsteady Flow أما بالنسبة للحالة غير المستقرة في حوض الماء الجوفي فيتطلب الأمر أخذ معامل التخزين (S) في الحسبان لإيجاد معادلة عامة لانسياب الماء الجوفي. وبالنسبة لحوض ماء جوفي غير محجوز يعادل هذا المقدار الإنتاج النسبي للحوض .Specific Yield أما بالنسبة لحوض ماء جوفي محجوز فإن معامل التخزين هو عبارة عن مقياس إنضغاطية الحوض والماء {3}. وبأخذ هذه المعلومات في الإعتبار يمكن صياغة معادلة عامة كما موضح في المعادلة 4-41.

$$\partial^2h/ \partial x^2 + \partial^2h/\partial y^2 + \partial^2h/\partial z^2 = (S/kH)*(\partial h/\partial t) \qquad 4\text{-}41$$

حيث:

H = عمق حوض الماء الجوفي المحجوز.

أما المعادلة المماثلة لحوض ماء جوفي غير محجوز فتكون معادلة لاخطية، غير أن المعادلة 4-41 يمكن تطبيقها عندما تكون التغيرات في العمق المتشبع صغيرة نوعا ما {3،8}

أما بالنسبة لانسياب الماء عبر حوض ماء جوفي له سطح ماء جوفي Phreatic Surface فمكن إيجادها باستخدام معادلة دارسي وإعتبار فرضيات ديبو كما في المعادلة 4-42.

$$q = - kH(dh/dx) \qquad 4\text{-}42$$

وبتفاضل المعادلة 4-42 بالنسبة إلى x تنتج المعادلة 4-43.

$$dq/dx = - k[d^2 (h^2)/dx^2]/2 \qquad 4\text{-}43$$

ومن معادلة الإستمرارية Continuity Equation الممثلة في المعادلة 4-44 وتعويضها في المعادلة 4-43 تنتج المعادلة 4-45.

$$dq/dx = 0 \qquad 4\text{-}44$$

$$d^2 (h^2)/dx^2 = 0 \qquad 4\text{-}45$$

وفي حالة تغذية الحوض الجوفي بالأمطار الهاطلة على سطح الأرض تنتج المعادلة 4-46 بإفتراض أن معدل التسرب الكلي للمياه للحوض الجوفي تساوى N.

$$d^2 (h^2)/dx^2 = - 2N/k \qquad 4\text{-}46$$

حيث:

N = معدل التسرب الكلي للمياه الناتجة من الأمطار.

وبتكامل المعادلة 4-46 مرتين تنتج المعادلة 4-47.

$$h^2 = - Nx^2/k + ax + b \qquad 4\text{-}47$$

حيث:

a و b = ثوابت التكامل.

مثال 4-9

أوضح مقياس المطر في منطقة معينة أن متوسط هطول الأمطار السنوي يعادل 450 ملم تتسرب منها إلى جوف الأرض 85 بالمائة. توجد قناتان بينهما قطعة أرض عرضها 1 كيلومتر ذات نفاذية تصل إلى 0.3 متر/ساعة، وإحدى القناتين أعلى من الثانية بحوالي 1.3 متر (أنظر شكل مثال 4-9) وأشارت الدراسات الجيولوجية إلى تكون حوض ماء جوفي تحت قطعة الأرض يصل متوسط عمقه إلى 15 متر. أوجد معدل الدفق الخارج من كل قناة إلى الخزان الجوفي.

الحل:

1- المعطيات: التسرب = N = 85% من متوسط الأمطار السنوي، متوسط الأمطار السنوي = 450 ملم، شروط الحدود كما يلي: x = صفر، h = 16.3 م، x =1000 م، h = 15 م ، k = 0.3 م/الساعة، H = 15 م.

2- أوجد معدل التسرب الكلي للمياه الناتجة من الأمطار

= $85 \times 0.45 \div 100$ = 0.383 م/السنة = $0.383 \div 365$ = 1.05×10^{-3} م/يوم

3- أوجد معامل النفاذية k = 0.3 م/ساعة = 0.3×24 = 7.2 م/يوم

4- عوض شروط الحدود من الخطوة 1 أعلاه لإيجاد قيم ثوابت التكامل في المعادلة $h^2 = - Nx^2/k + ax + b$:

$a = 0.115$ و $b = 256$

وعليه: $h^2 = - Nx^2/k + 0.115x + 256$

5- أوجد الانسياب من المعادلة $q = -kh(dh/dx)$:

ومن المعادلة في الخطوة 4 أعلاه أوجد $dh^2/dx^2 = 2h(dh/dx) = -2Nx/k + 0.115$:

وعليه فإن معدل الانسياب يساوي في صورته العامة $q = Nx - 0.058k$:

6- أوجد معدل الانسياب عند x =1000 م ليساوي

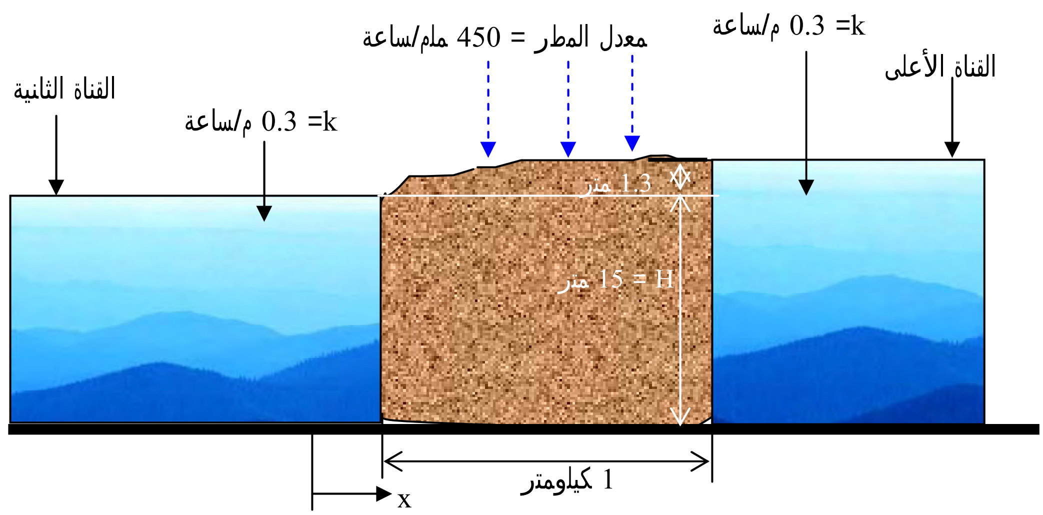
$q = 1.05 \times 10^{-3} \times 1000 - 0.058 \times 7.2 = 0.63$ م^3/م/يوم.

7- أوجد معدل الانسياب عند x = صفر ،

$q = - 0.058 \times 7.2 = - 0.42$ م^3/م/يوم.

8- من النتائج المبينة في الخطوات السابقة يتضح أن هنالك دفق من الخزان الجوفي إلى كلتا القناتين بمعدل انسياب يصل إلى 0.63 م^3/م/يوم للقناة الأقل إرتفاعاً، ويبلغ مقدار 0.42 م^3/م/يوم للقناة ذات الارتفاع الأعلى.

شكل مثال 4-9



إنتاجية الآبار

تتفاوت إنتاجية الآبار الساحبة للماء من الخزانات والأحواض الجوفية طبقاً لعدة عوامل منها على سبيل المثال: هبوط مستوى المياه الجوفية داخل الخزان Drawdown ، وعمق الحوض، والإنتاجية النوعية للحوض، والمخزون الجوفي، والمنقولية Transmissibility ، وعرض الحوض، وطبيعة الانسياب (مستقر أو غير مستقر)، وعمق البئر، وإنشاء البئر وتشييدها وخواصها ونوعها (أنظر شكل 4-6). وهنالك عدة نظريات لتقدير إنتاجية البئر وإستمراريتها وتغذية الخزان الجوفي طبقا لنوع الانسياب الجوفي (مستقر Steady وغير مستقر Unsteady) ونوع الحوض الجوفي (محجوز Confined وغير محجوز Unconfined). ويمثل جدول 4-2 الإنتاجية المتوقعة للبئر طبقاً لقطرها وللمزيد من المعلومات يمكن الرجوع إلى الكتب المتخصصة في هذا المجال {1، 2، 3، 4، 5، 6، 7، 8، 9، 10}

جدول 4-2 إنتاجية البئر

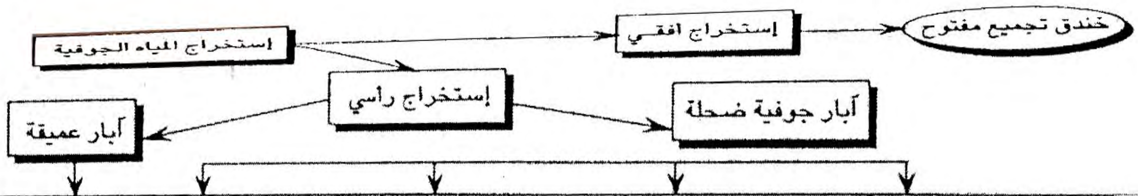
قطر البئر (سم)	الإنتاجية المتوقعة (م^3/يوم)
15	أقل من 500
20	400 إلى 1000
25	800 إلى 2000
30	2000 إلى 3500
35	3000 إلى 5000
40	4500 إلى 7000
50	6500 إلى 10000
60	8500 إلى 17000

4-5 الانسياب السطحي Surface runoff

يمثل الانسياب السطحي ذلك الجزء من السقيط أو أي دفق آخر يظهر كنهر أو دفق على سطح الأرض في شكل دائم أو متقطع. وهو عبارة عن الدفق المجمع من المنطقة الجابية Water Shed (المنطقة الجابية هي عبارة عن حاجز يفصل منطقتي تجفيف (تجميع للمياه) عن بعضها البعض) أو منطقة التجفيف Drainage Basin ليظهر في نهاية المنطقة، خاصة ذلك الدفق الأولي والذي لم يتأثر بتحويل المجرى بأعمال من صنع الإنسان أو بالتخزين أو أي أعمال أخرى أنشئت في مجرى النهر أو في المنطقة الجابية {3}

ويمكن تقسيم الانسياب على حسب مصدره إلى {3، 8}

1. **انسياب سطحي:** ويمثل الانسياب السطحي جزء الانسياب المتدفق فوق سطح الأرض بوساطة قنوات أو أنهار أو خيران أو أودية أو شعاب ليصل إلى مخرج المنطقة الجابية.



	آبار يدوية Hand Dug	آبار منساقة Driven	آبار نافورة Jetted	آبار مثقوبة Bore Hole	آبار مثقوبة دريكين Drilled
القطر	متر واحد او اكثر (10_1،)	(10_3،)، سم		(20،، سم) (تصل الى 1م للتي تعمل بالطاقة)	كبير
العمق	من 6 الى 20 متر	اكبر من 15 م	اكبر من 15 م	عادة 15 متر، قد تصل الى 30 متر	30، _ 50 م، وقد تصل الى الكيلو متر او اكثر
الإنشاء	يدوي	بدوي، مطرق هابطة مطرقة هوائية او sledge	يقطع إنسياب مائي للاسفل ذو سرعة عالية	المثقاب الكهربائي المشغل يدويا او آليا	بإستخدام اجهزة التثقيب والحفر
الشباك Casing	تبطين بالخشب، خوازيق، خرصانة في داخل البئر لتقوية الجدران	شباك خارجية للحماية والتقوية على الأقل لبعد 3 م أسفل السطح	شباك مؤقتة خارجية		خوازيق حديد لتفادي إنهيار الجدران
إنتاجية البئر متر مكعب/يوم	7500 _ 2500، منزلية اكثر من 500	250 _ 100،			
مصفاة Screen	–	موجودة	موجودة	موجودة	موجودة أسفل الشباك (casing)
الغرض	لخدمات ماء الشرب بالمنازل الفردية	تخدم الإستهلاك المنزلي، الإستهلاك المؤقت، البحث والتنقيب والمراقبة	الإختبارات، البحث والمراقبة وإزالة الماء		الإستهلاك الكبير للصناعة والزراعة والبلديات
المشاكل والصعاب	تلوث كبير	تصلح للطبقات غير الثابتة والتي لا تحتوي على حصى كبير او صخور	تلائم الطبقات غير الثابتة unconsolidated	مشاكل الحفر للطبقات الرملية وطبقات الحصى	

الاشكال من المصدر التالي

شكل 4–6 طرقُ إستخراج المياه الجوفية

Source : Cairncross, S. & Feachem, R. Environmental Health Engineering in the Tropics, John Wiely & Sons, Chichester, 2nd Edi., 1993. Translated & reprinted by courtesy of John Wiely & Sons. Ltd.

2. **انسياب تحت السطحي:** ويمثل هذا القسم الجزء من الأمطار المتسربة إلى التربة والمتحركة أفقياً ليمثل المياه الجوفية الضحلة.
3. **انسياب جوفي:** ويمثل هذا النوع من الانسياب ذلك الجزء الناتج من جراء تخلخل المياه المتسربة إلى داخل الأرض مكونة المياه الجوفية.

ولأسباب عملية عند تحليل الانسياب السطحي يمكن تقسيم القيمة الكلية لانسياب الأنهار إلى انسياب مباشر Direct Flow وانسياب قاعدي Base Flow أما الانسياب المباشر فيمثل الانسياب الداخل للنهر مباشرة بعد هطول الأمطار أو ذوبان الجليد، والانسياب القاعدي يمثل الانسياب الحقيقي. وهنالك عدة عوامل تؤثر على الانسياب السطحي منها عوامل تتعلق بالمناخ (مثل: الأمطار والبخر، ودرجة الحرارة، والرياح، والضغط الجوي، والإشعاع الشمسي، والرياح، والرطوبة) وعوامل طبيعية (مثل خواص الجابية، وخواص المجرى)

أما قياس دفق المياه السطحية فيمكن إتمامه بعدة طرق منها طريقة السرعة والمساحة وإنشاءات قياس الانسياب (مثل: الهدارات والخزانات) والقياس الكيميائي (Dilution Gauging) والقياس بالتموجات فوق الصوتية وغيرها من السبل العملية. أما طريقة السرعة والمساحة Velocity-area method فتستخدم لإحواض الأنهار المتوسطة والكبيرة. ويستخدم فيها مقياس التيار Current Meter لقياس سرعة الماء، إذ يتم تحديد سرعات لنقاط عدة ومن ثم تحسب السرعة المتوسطة للنهر، وتوجد كذلك مساحة مقطع النهر.
أما إنشاءات قياس الانسياب (إنشاءات التحكمControl Structures) فتستخدم للأنهار الصغيرة والجداول، وذلك نسبة للتكاليف العالية المواكبة لها. وتستخدم في هذه الأنظمة الهدارات Weirs والقنوات المعنقة Flumes والبرابخ Culvert. وتستخدم في تقدير الدفق وسرعته العديد من المعادلات والصيغ مثل صيغة شيزى-ماننق Chezy - Manning Formula والصيغة العقلية Rational Formula أو طريقة لويد وديفيس Lloyd -Davis وتبين المعادلة 4-48 صيغة شيزى-ماننق.

$$q = (1/n)\, A\, R_h^{2/3} s^{1/2} \qquad 4\text{-}48$$

حيث:

q = الدفق (م^3/ث)

n = معامل الانسياب (يساوي 0.035 للأنهار الطبيعية)

A = مساحة (م^2)

R_h = نصف القطر الهايدروليكd = المساحة/المحيط المبتل (م)

s = الميلان (م/م)

وتمثل المعادلتين 4-49 و4-50 الصيغة العقلية الخاصة بعلاقة الأمطار وانسياب الذروة.Peak Runoff

$$Q = C^* \, i^* \, A \qquad 4\text{-}49$$

$$Q = 0.278^* C^* \, i^* \, A \qquad 4\text{-}50$$

حيث:

Q = انسياب الذروة (قدم^2/ ث في المعادلة 4-49، م^2/ث في المعادلة 4-50)

C = معامل الانسياب وتعتمد على خواص المنطقة الجابية

i = شدة الأمطار (بوصة / ساعة في المعادلة 4-49، ملمتر/ث في المعادلة 4-50)

A = مساحة الجابية (فدان في المعادلة 4-49، كلم^2 في المعادلة 4-50)

ومن الإفتراضات في الصيغة العقلية ما يلي {3،8}

1. معدل الانسياب الناتج من أي شدة مطر يصل أقصاه عندما تستمر شدة المطر لمدة تساوي أو تفوق زمن التجميع .Concentration Time of وزمن التجميع هو الزمن اللازم للانسياب السطحي ليصل من أبعد جزء في الجابية إلى النقطة قيد البحث.
2. أقصى معدل انسياب (ناتج من شدة أمطار لها فترة هطول تساوي أو تفوق زمن التجميع) هو عبارة عن نسبة بسيطة من شدة الأمطار. أي أن هنالك علاقة خطية بين (Q) و (I) بحيث أن Q = صفر عند I = صفر
3. يماثل تردد انسياب الذروة شدة الأمطار لزمن التجميع.
4. العلاقة بين انسياب الذروة ومقاس مساحة الجابية تماثل العلاقة بين فترة الهطول وشدة هطول الأمطار.
5. معامل الانسياب يتماثل للزوابع المختلفة التردد.Frequency
6. معامل الانسياب يتساوي لكل الزوابع في منطقة الجابية.

أما قياس التخفيف أو القياس الكيميائd فهو مناسب للجداول ذات الانسياب القليل الإضطراب، أو عندما تكون الأعماق والانسياب غير ملائمة لجهاز قياس التيار، وأن عندما تكون إنشاءات القياس باهظة الثمن. وتستخدم المواد الكيميائية {3، 6} لعدة أسباب منها سهولة قياس المادة المستخدمة، وعدم وجودها في المجرى المائي، كما وأنها لا تفقد بالإتحاد الكيميائي مع مواد أخرى موجودة في المجرى المائي. ومن الطرق الكيميائية المستخدمة سرعة الملح Salt Velocity وتخفيف الملح Salt Dilution والمواد المشعة الإستشفافية Radioactive .Tracers وهذه المواد المشعة الإستشفافية تحقن بنسبة معلومة في المجرى المائي وبمعدل معلوم. ثم تؤخذ عينات من نقاط أدنى النهر ويوجد معدل الانسياب بعد الوصول إلى توازن التركيز كما مبين في المعادلة 4-51.

$$q = [(c_t/c_e) - 1]*q_t \qquad 4\text{-}51$$

حيث:

q = الدفق

c_t = درجة تركيز المادة الإستشفافية الداخلة للجدول

c_e = درجة تركيز المادة الإستشفافية عند التوازن

q_t = معدل دفق المادة الإستشفافية للجدول.

ومن عيوب هذه الطريقة التكاليف العالية كما ويحتاج إلى أخذ الحيطة والحذر لتجنب مخاطر التعرض للإشعاع.

أما قياس الدفق السطحي بالتموجات فوق الصوتية فيعتمد على الآثار المترتبة على مرور هذه الموجات عبر الماء، وأثر درجة الحرارة، والإنعكاسات العشوائية، وأثر سطح الماء. وتتضمن الطريقة نقل إشارة من جهاز إرسال التموجات فوق الصوتية إلى جهاز إستقبال يبعد عنها بمسافة أعلى النهر. ويتم ضغط التموجات فوق الصوتية المتحركة أعلى النهر كما وتوهن التموجات المرتدة. ويمكن تسجيل مقدار هذا الأثر ومقارنته مع سرعة الماء{3، 8}

تقدير معدل الانسياب:

بعد إتمام تقدير معدل الانسياب وارتفاع القراءات الموجودة بأجهزة القياس، تستخدم هذه البيانات في تحضير التدريج أو منحنى التعديل Rating Curve للمحطة المعينة. ويتم استخدام هذا المنحنى لإيجاد تقدير لمعدل الانسياب بين قراءتين {10}. ومنحنى التعديل هو عبارة عن رسم بياني يبين العلاقة بين مستوى ارتفاع الماء Water Level Elevation أو ما يسمى بالمرحلة Stage لمجرى النهر في قطاع معين والتصرف الموازي على هذا القطاع. وتعزى التغيرات التي توجد في المنحنى إلى تخزين المجرى، والتغيرات في ميل السطح. وعادة يستخدم التحليل الإحصائى لدراسة التغيرات في معدل الانسياب. وتوجد عدة طرق في هذا المنحى منها على سبيل المثال طريقة منحنى استدامة الانسياب، ومنحنى انسياب الكتلة، والهايدروجراف. وفيما يلي موجز مبسط عن كل من هذه الطرق {3}:

<u>أ) منحنى استدامة الانسياب Flow Duration Curve:</u> يبين منحنى استدامة الانسياب لنقطة محددة في النهر جزء الزمن الذي يساوي فيه الانسياب أو يزيد عن قيمة محددة. ومن منطلق إحصائى فإن منحنى استدامة الانسياب يمثل منحنى تكرار تجمعي Cumulative Frequency لمتواليات زمنية مستمرة تبين الاستدامة النسبية لعدة قيم. ويعتمد ميلان المنحنى بصورة كبرى على فترة المراقبة المستخدمة في التحليل. كما وأن متوسط البيانات اليومي ينتج عنه منحنى أكثر ميلاً من البيانات السنوية. وذلك لأن البيانات السنوية لها قابلية التجمع وتدمج التغيرات في الفترة اليومية القصيرة للبيانات.

<u>ب) منحنى انسياب الكتلة Flow Mass Curve مخطط ربل Ripple Diagram</u> ويمثل هذا المنحنى رسم بياني لقيم تجمعية للمقادير الهايدرولوجية مثل: رسم الانسياب بالنسبة للزمن أو بالنسبة للبيانات. وبما أن منحنى انسياب الكتلة يمثل تجمعات حجم الانسياب فيطلق عليه أحياناً اسم S - Curve. ويمكن تمثيل هذا المنحنى بالمعادلة 4-52 {3، 8}

$$V = \int_{t_2}^{t_1} (Q_t \times dt) = \sum_{t=t_2}^{t_1} (Q_t \times \Delta t) \qquad 4\text{-}52$$

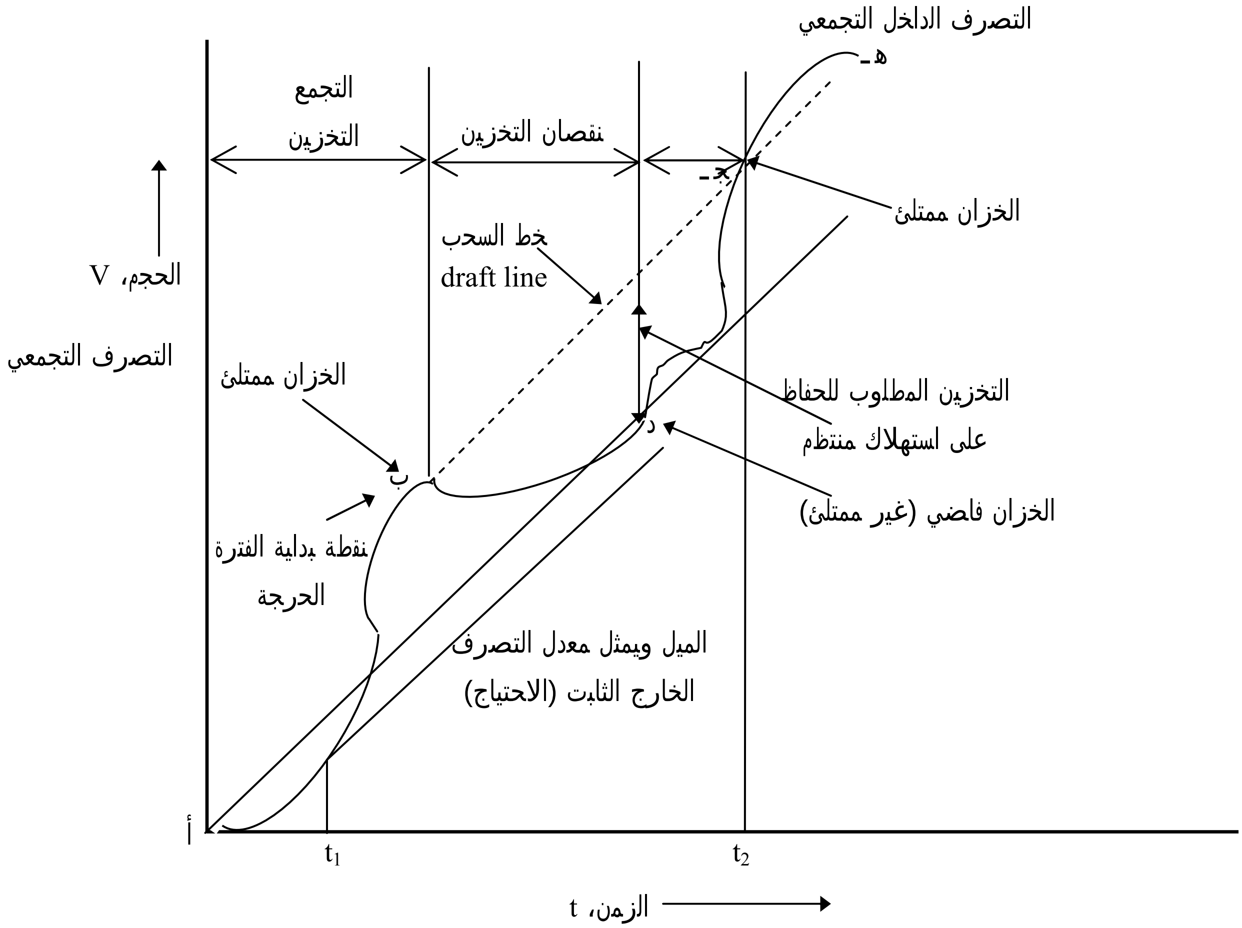
حيث:

V = حجم الانسياب

Q = التصرف كدالة في الزمن.

ومنحنى انسياب يمثل طريقة معينة لدراسة أثر التخزين في أسلوب المجرى المائي وإيجاد التصرف المنتظم به. وهو عبارة عن منحنى تمثل الإحداث الصادي لأي نقطة فيه كمية المياه الكلية المنسابة عبر محطة معينة في النهر خلال الفترة الزمنية الممثلة بمقدار الإحداث السيني لنفس النقطة في المنحنى (أنظر شكل 4-7). ولإيجاد سعة الخزان المطلوب للحفاظ على تصرف منتظم في المجرى المائي، يرسم خط مماسي Draft Line للنقطة التي في بداية الفترة الحرجة على منحنى الكتلة. يساوي ميل هذا الخط المماسي التصرف المنتظم المضبط. وتمثل أقصى مسافة (في إتجاه الإحداث الصادي) بين هذا الخط ومنحنى الكتلة سعة التخرين المطلوبة للحفاظ على هذا المعدل. والإحداث الصادي بين الخط Draft Line ومنحنى الكتلة لأي زمن يمثل قياس الماء في الخزان لهذا الزمن. وبالإشارة إلى شكل 4-7 يمكن ملاحظة المعلومات القيمة التالية {3، 4}

1. من النقطة (أ) إلى النقطة (ب) يفوق معدل التصرف الداخل معدل الاستهلاك وعليه يمتلئ الخزان ويفيض.
2. معدل التصرف الداخل يساوي معدل الاستهلاك عند النقطة (ب)، وعليه يمتلئ الخزان غير أنه لا يفيض.
3. من النقطة (ب) إلى النقطة (د) يفوق معدل الاستهلاك معدل التصرف الداخل، ويزداد مقدار هبوط مستوى الماء بالخزان.
4. في النقطة (د) يساوي معدل الاستهلاك معدل التصرف الداخل، ويصل هبوط مستوى الماء إلى أقصاه.
5. من النقطة (د) إلى النقطة (جـ) يزيد معدل التصرف الداخل عن معدل الاستهلاك، كما ويقل هبوط مستوى الماء.
6. -6في النقطة (جـ) يمتلئ الخزان مرة أخرى.
7. -7من النقطة (جـ) إلى النقطة (هـ) فإن الظروف تماثل تلك من النقطة (أ) إلى النقطة (ب.(
8. أعلى مسافات رأسية بين النقاط (ب) و (جـ) و (ب) (د) (جـ) والتي تحدث عند النقطة (د) تمثل التخزين المطلوب للحفاظ على معدل استهلاك منتظم أثناء إنخفاض التصرف من (ب) إلى (د). وأن أكبر قيمة لكل فترة السجلات هي أدنى حجم للخزان يمكنه أن يحافظ على إنتظام معدل الاستهلاك.



شكل 4-7 منحنى الكتلة، مخطط ربل

مثال 4-10

أنشأ مستودع مائي لتجميع كميات المياه الهاطلة في المنطقة الجابية المجاورة، وللمساعدة في تنظيم الإمداد بمعدل دفق منتظم يساوي 180 متر مكعباً على الدقيقة. وأشارت سجلات دفق المجرى المائي إلى البيانات الشهرية التالية مقدرة بالمتر المكعب:

أوجد مقدار التخزين اللازم لمواكبة الاستهلاك المنتظم بإفتراض عدم وجود فقدان للماء

شهر	حجم الماء (مليون متراً مكعباً)
يناير	10
فبراير	32
مارس	25
أبريل	20
مايو	13
يونيو	3
يوليو	1
أغسطس	2
سبتمبر	12
أكتوبر	38
نوفمبر	56
ديسمبر	64

الحل:.

1- المعطيات: الاستهلاك المنتظم 180 م^3/ دقيقة، وبيانات المياه الشهرية.

2- أوجد الدفق التراكمي الكلي كما موضح في الجدول أدناه:

الشهر	حجم الماء (مليون متراً مكعباً)	الدفق التراكمي (مليون متراً مكعباً)
يناير	10	10
فبراير	32	42
مارس	25	67
أبريل	20	87
مايو	13	100
يونيو	3	103
يوليو	1	104
أغسطس	2	106
سبتمبر	12	118
أكتوبر	38	156
نوفمبر	56	212
ديسمبر	64	276

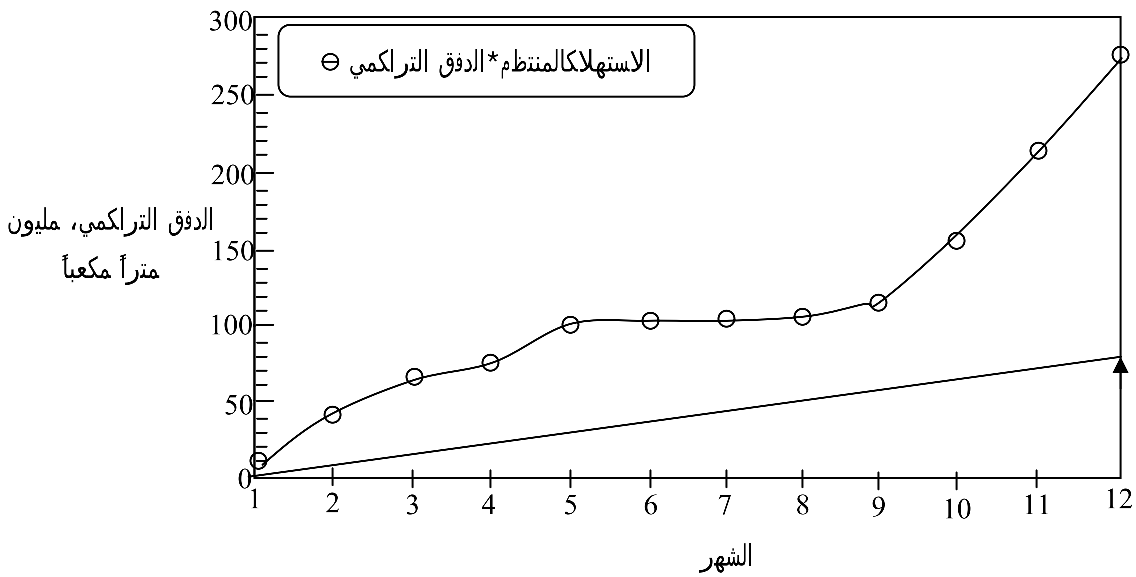
3- ارسم منحنى دفق الكتلة (مخطط ريل) للبيانات المتحصل عليها في الخطوة 2 أعلاه برسم قيم الدفق التراكمي كمتغير بالنسبة للشهور كما مبين على رسم حل مثال 4-10.

4- أوجد قيمة معدل الاستهلاك المنتظم السنوى (لشهر ديسمبر)

(180 م^3/ ث) × 60 (دقيقة/ ساعة) × 24 (ساعة/ يوم) × 365 (يوم/ سنة) = 94.608×10^{6} م^3/ سنة.

5- ارسم خط السحب المنتظم من نقطة الأصل إلى النقطة (أ) على منحنى دفق الكتلة.

6- ارسم خطاً موازياً لخط السحب من النقطة التي يكون فيها الخزان ممتلئاً (ب)، ثم أوجد قيمة أقل تخزين مطلوب للمستودع لمواكبة الاستهلاك = 20×10^{6} م^3.



منحنى دفق الكتلة للمثال 4-10

ج) الهايدروجراف :Hydrograph وهو عبارة عن رسم بياني لحجم الانسياب مع الزمن. ويمثل الهايدروجراف المرحلة أو الانسياب أو التصرف أو السرعة أو أي من خواص انسياب الماء مع الزمن. ويمكن أن يمثل هايدروجراف الانسياب القاعدي Base Flow بالتقريب بالمعادلة 4-53.

$$Q_t = Q_a*e^{-\alpha t} \qquad 4\text{-}53$$

حيث:

Q_t = التصرف عند نهاية الزمن t

Q_a = التصرف في بداية الفترة

a = معامل حوض الماء الجوفي

e = قاعدة الخوارزمات الطبيعية.

وعادة يستخدم هايدروجراف الوحدة Unit Hydrograph ويعرف بأنه هايدروجراف الانسياب المباشر الناتج من 1 ملم من أمطار فعالة منتظمة الحدوث عبر المساحة الجابية وبمعدل منتظم طيلة فترة زمنية محددة أو فترة هطول محددة {3، 8}. ويمثل هايدروجراف الوحدة الانسياب السطحي الناتج من 1 ملم من أمطار زائدة عن

التسرب وأي فقد آخر حادث في وحدة الزمن {10}. ويمكن أن يستخدم هذا الهايدروجراف لحساب انسياب الذروة، ومعدلات التصريف السطحي الأخرى من أمطار مرصودة {10}. وللمزيد من المعلومات عن الهايدروجراف والنظريات المواكبة له وطرق استخدامه وتحليله يرجى الرجوع إلى الكتب المتخصصة في الهايدرولوجيا.

مثال 4-11

معدل الدفق في مجرى مائي يقوم بتصريف مياه منطقة جابية يبلغ 4000 متراً مكعباً في الدقيقة بعد مضي ثمانية أيام دونما هطول أمطار، كما ويبلغ معدل دفقه ثلث هذه الكمية بعد مضي شهر من غير هطول أمطار.

أ) أوجد معادلة هايدروجراف الانسياب القاعدي

ب) أوجد مقدار معدل الدفق بعد مضي فترة ثلاثة وستة أشهر بالمجرى المائي.

الحل:

1- المعطيات: قيم Q_t و Q_a بعد مضي ثمانية أيام وشهر.

2- أوجد معادلة هايدروجراف الانسياب القاعدي باستخدام المعادلة $Q_t = Q_a*e^{-\alpha t}$

بتعويض القيم المعطاة في المعادلة كما موضح أدناه في المعادلتين 1 و2.

$$4000 = Q_a*e^{-8\alpha} \quad (1)$$

$$(4000/3) = Q_a*e^{-30\alpha} \quad (2)$$

بقسمة المعادلتين 1 و2 يمكن إيجاد قيمة معامل الحوض α ليساوي: $\alpha = 0.05$

3- بالتعويض في إحدي المعادلتين 1 أو 2 لإيجاد قيمة التصرف الإبتدائي Q_a كالآتي:

$$(4000/60) = Q_a*e^{-0.05*8}$$

Q_a = 99.4 م^3/ث

4- تصبح معادلة هايدروجراف الانسياب القاعدي: $Q_t = 99.4*e^{-0.05\,t}$

5- أوجد مقدار معدل الدفق بعد مضي فترة ثلاثة أشهر بالمجرى المائي بالتعويض في معادلة هايدروجراف الانسياب القاعدي التي تم الحصول عليها في الخطوة 4 سابقاً: $Q_t = 99.4*e^{-0.05\,t}$

$$Q_{90} = 99.4*e^{-0.05*90}$$

وعليه Q_{90} = 1.1 م^3/ث = 66.6 م^3/دقيقة

6- بتكرار الخطوة 5 أعلاه يمكن إيجاد معدل الدفق بعد مضي فترة ستة أشهر بالمجرى المائي:

وعليه Q_{180} = 0.012 م^3/ث = 0.7 م^3/دقيقة

6-4 تمارين نظرية وعملية

1-6-4 تمارين نظرية

1. ماذا تعني الهايدرولوجيا؟ وما فوائدها العملية؟
2. أذكر أهم العوامل المؤثرة على المناخ؟
3. ما فائدة قياس درجة الحرارة من وجهة النظر الهايدرولوجية؟
4. كيف تحدث الرياح؟
5. بين كيف يمكن تحديد مناطق الضغط المنخفض والمرتفع مقارنة باتجاه الرياح.
6. كيف يمكن قياس شدة الرياح واتجاهها ؟ وضح اجابتك بالرسومات المناسبة.
7. عرف كل مما يلي: الرطوبة، والرطوبة النسبية، وضغط بخار الماء.
8. كيف يمكن قياس درجة الرطوبة؟ وما الاختلافات البينة بين كل طريقة قياس والأخرى؟
9. أذكر كيف يمكن قياس الإشعاع الشمسى؟
10. كيف تتكون السحب؟
11. ما أسباب تكثيف بخار الماء في الهواء؟
12. أذكر أهم أنواع السقيط موضحاً الفرق بين كل نوع عن الآخر.
13. أي نوع من أنواع السقيط يوجد بمنطقتك؟
14. ما العوامل المؤثرة على قياس السقيط؟
15. أذكر نوعين من أجهزة قياس المطر.
16. ما مصادر الخطأ في تسجيل قراءات المطر في محطات الأرصاد الهايدرولوجية؟
17. ما الفرق بين طريقة المتوسط الحسابي وطريقة مضلع ثايسن وطريقة خطوط الأمطار المتساوية لحساب الأمطار؟ وما أوجه قصور كل طريقة؟
18. كيف يمكن تقدير بيانات السقيط المفقودة في محطة ما مقارنة بالبيانات الموجودة للمحطات المجاورة؟ ما أوجه القصور في هذه الطريقة؟
19. وضح وحدات تمييز الحدود في المعادلة التالية $i = a / (t + b)$ ، وبين فيم تستخدم هذه المعادلة؟
20. ما العلاقة بين شدة الأمطار وفترة هطولها وترددها ؟
21. ما الفرق بين البخر والنتح؟ وما فائدة قياس كل منهما؟
22. ما العوامل المؤثرة على تبخر الماء من المسطحات المائية والتربة؟
23. أي من الطرق التالية تفضل لتقدير كمية التبخر؟ ولماذا؟
    - استخدام كفة البخر.
    - طريقة ميزانية الماء.
    - طريقة انتقال الكتلة.
    - طريقة ميزانية الطاقة.
    - طريقة بنمان.

24. وضح ماذا تعني الرموز الموضحة في المعادلة التالية$EV_a = 0.35*(e_s - e)*(0.5 + 0.5u_2)$: وفيم يتم استخدام هذه المعادلة؟
25. ما الإفتراضات الأساسية في نظرية بنمان لتقدير كمية البخر؟
26. ما الفرق بين التسرب والتخلخل؟
27. أذكر أهم ثلاثة عوامل مؤثرة على تسرب الماء داخل التربة.
28. كيف يمكن قياس تسرب الماء داخل التربة؟ وفيم يفيد قياس التسرب؟
29. أي العوامل التالية تفضل لتقدير التسرب؟ ولماذا؟
   - دليل فاي.
   - دليل دبليو.
   - دليل السقيط.
30. أذكر اهم العوامل المؤثرة على سريان الماء الجوفي داخل حوض الماء الجوفي المحجوز.
31. ما إفتراضات ديبوا؟ وفيم يتم استخدامها؟
32. ما الفرق بين انسياب الماء في الحالة المستقرة وانسيابه في الحالة غير المستقرة داخل حوض الماء الجوفي؟
33. كيف تختلف إنتاجية آبار الماء فيما بينها؟
34. عرف مايلي: انسياب سطحي، انسياب تحت سطحي، منطقة جابية، انسياب قاعدي، مواد مشعةإستشفافية.
35. ما أفضل الطرق لقياس الانسياب السطحي؟
36. ماذا تعني الرموز في المعادلة التالية $Q = 0.278\ CiA$:
37. ما الإفتراضات في الصيغة العقلانية لإيجاد الدفق السطحي؟
38. اكتب بإيجاز عما يلي:

أ) استخدام منحنى استدامة الانسياب لدراسة التغيرات في معدل الدفق السطحي.

ب) منحنى ربل لتقدير التخزين في المجرى المائي.

ج) هايدروجراف الوحدة.

4-6-2 تمارين عملية

1. عند قياس سرعة الرياح في محطة رصد هايدرولوكية لارتفاعين 4 و10 متراً تم الحصول على القيم الآتية 3.5 و4.1 متراً/ثانية على الترتيب. أوجد سرعة الرياح لارتفاع مترين. (الإجابة: 3.11 م/ث)
2. لكتلة من الهواء على درجة حرارة 25.3º مئوية، ورطوبة نسبية 75%. أوجد:

أ) ضغط البخار المتشبع.

ب) ضغط البخار الحقيقى.

ج) العجز في التشبع.

د) نقطة الندى. (الإجابة: 24.2، 18.2، 6.05 ملم زئبق، 20.6°م)

3. وجد أن متوسط الأمطار بمنطقة معينة يعادل 386 ملم على حسب البيانات التالية للأمطار المقدرة في أربعة محطات رصد هيدرولوجية:

رقم المحطة	مقدار الأمطار (ملم)
أ	350
ب	412
ج	381
د	ص

أوجد متوسط الأمطار في المحطة (د) مستخدماً طريقة المتوسط الحسابي لتقدير المطر. (الإجابة: 401 ملم)

4. في منطقة معينة توجد 6 محطات رصد هيدرولوكية لقياس الأمطار. وتم استخدام طريقة ثايسن لحساب متوسط الأمطار الهاطلة بالمنطقة، ومن ثم أوضح رسم المضلعات البيانات المدونة في الجدول التالي:

رقم المحطة	مقدار الأمطار (ملم)	مساحة مضلع ثايسن المحيط بالمحطة (كلم^2)
أ	48	20
ب	30	40
ج	26	18
د	-	50
هـ	50	10
و	33	26

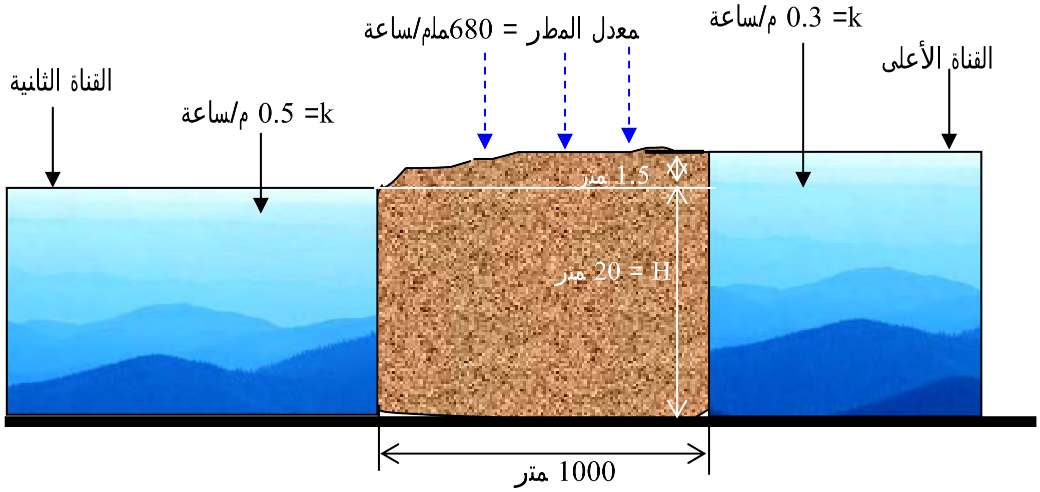
إذا وجد أن متوسط الأمطار بالمنطقة يساوي 40 ملم، أوجد متوسط الأمطار في المحطة (د). (الإجابة: 51.5 ملم)

5. فُقد سجل أمطار من محطة رصد هايدروليكية (م) في أحد الأيام العاصفة. وقد وجدت تقديرات الأمطار في ثلاثة محطات (م$_1$) و(م$_2$) و(م$_3$) محيطة بالمحطة م تساوي 20، 43، 30 ملم على الترتيب. علما بأن السقيط السنوي العادي في المحطات (م) و(م1) و(م2) و(م3) يساوي 540، 710، 610، 480 ملم على الترتيب. أوجد قيمة السقيط أثناء الزوبعة في المحطة م. (الإجابة 29 ملم)

6. أشار مقياس المطر في منطقة معينة إلى أن متوسط هطول الأمطار السنوي يساوي 680 ملم. يتسرب 90 بالمائة من هذه الأمطار إلى جوف الأرض . توجد قناتان تفصلهما قطعة أرض عرضها 1 كيلومتر ذات نفاذية تصل إلى 0.5 متر/ساعة، وإحدى القناتين أعلى من الثانية بحوإلى 1.5 متر (أنظر شكل مسألة 4-

9). أوضحت دراسات المسح الجيولوجي الذي أُجري بالمنطقة إلى تكون حوض ماء جوفي تحت قطعة الأرض يصل متوسط عمقه إلى 20 متر. أوجد معدل الدفق الخارج من كل قناة إلى الخزان الجوفي.
(الإجابة: 0.5، - 1.2 م^3/م/يوم

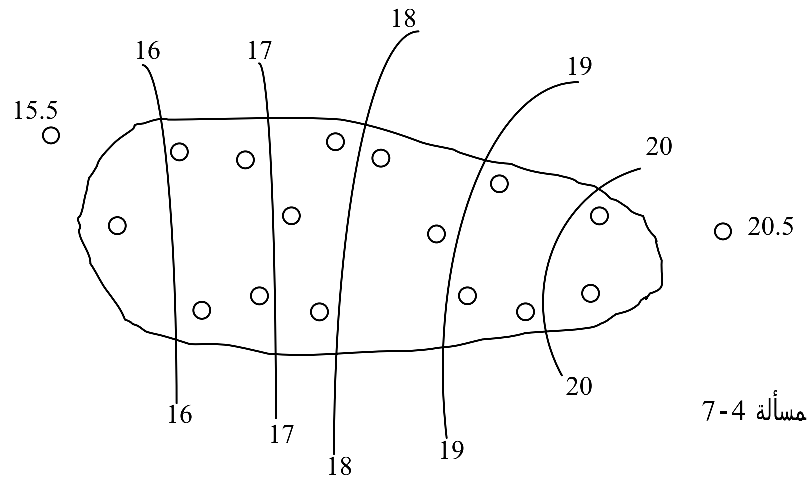
شكل مسألة 4-9



7. أوجد متوسط الأمطار للمنطقة المبينة في شكل مسألة 4-7 باستخدام طريقة خطوط الأمطار المتساوية، علماً بأن المساحة بين كل خطين من خطوط الأمطار المتساوية كما مبينة في الجدول التالي:

خط المطر المتساوي (سم)	المساحة بين الخطوط A (كلم مربع)
15	
	14
16	
	48
17	
	60
18	
	77
19	
	16
20	
	25
21	

(الإجابة: 17.9 سم)



شكل مسألة 4-7

8. وجدت قيمة المطر الكلي الهاطل في منطقة معينة تساوي 115 ملم مقسمة على حسب ماموضح في الجدول التالي

الزمن (ساعة)	شدة الأمطار (ملم/ساعة)
صفر	صفر
1	10
2	18
3	20
4	30
5	15
6	10
7	8
8	4

أوجد مقدار فاي للمنطقة الجابية لحدوث انسياب سطحي تبلغ قيمته 61 ملم. (الإجابة: 7 ملم/ساعة)

9. دليل السقيط لمحطة رصد هيدرولوجية يساوي 55 ملم في اليوم الأول من أغسطس. ويبين الجدول التالي الأمطار التي هطلت على مدى أسبوع:

التاريخ	كمية الأمطار الساقطة ملم
5أغسطس	60
7أغسطس	50
12أغسطس	20

أ) أوجد دليل السقيط ليوم 17 أغسطس.

ب) أوجد دليل السقيط ليوم 17 أغسطس بإفتراض عدم سقوط أمطار بالمنطقة. (ثابت.($k = 0.88$)

(الإجابة: 44.5، 7.1 ملم)

10. أُنشئ مستودع مائي للقيام بتجميع كميات المياه الهاطلة في المنطقة الجابية المجاورة، ولتنظيم الإمداد بمعدل دفق منتظم يساوي 8000 متراً مكعباً على الساعة. وأشارت سجلات دفق المجرى المائي إلى البيانات الشهرية التالية مقدرة بالمتر المكعب:

الشهر	**حجم الماء (مليون متراً مكعباً)**
يناير	7
فبراير	21
مارس	15
أبريل	14
مايو	10
يونيو	5
يوليو	1
أغسطس	1
سبتمبر	4
أكتوبر	14
نوفمبر	26
ديسمبر	32

أوجد مقدار التخزين المنوط به تنظيم الاستهلاك بإفتراض عدم وجود فقدان وهدر للماء. (الإجابة: 15.5 مليون متراً مكعباً)

11. معدل الدفق في مجرى مائي يقوم بتصريف مياه منطقة جابية يبلغ 36 متراً مكعباً في الثانية بعد مضي خمسة أيام دونما هطول أمطار، كما ويبلغ معدل دفقه نصف هذه الكمية بعد مضى 20 يوم من غير هطول أمطار.

أ) أوجد معادلة هايدروجراف الانسياب القاعدي

ب) أوجد مقدار معدل الدفق بعد مضي فترة خمسة أشهر بالمجرى المائي.

(الإجابة: $Q_t = 45.36*e^{-0.046*t}$ ، 2.7 م^3/دقيقة)

7-4 المراجع والمصادر

1. Raudkivi, A. J., "Hydrology - An advanced Introduction to Hydrological Processes and Modelling", Pergamon Press, Oxford, 1979.
2. Linsely, R. K.; Kohler, M.A. and Paulhus, J.L.H., "Applied Hydrology", Tata McGraw-Hill Pub. Co., New Delhi, 1983.

3- عصام محمد عبد الماجد، الهندسة البيئية، دار المستقبل للنشر والتوزيع، عمان، المملكة الأردنية الهاشمية، 1995.

4. Wisler, C. O. and Brater, E. F., "Hydrology," John Wiley and Sons, New York, 2nd Ed., 1959.
5. Wilson, E.M., "Engineering Hydrology", Macmillan Education, 4th Ed., London, 1990.
6. Linsley, R.K., Kohler, M.A. and Paulhus, J.L.H., "Hydrology for Engineers", McGraw Hill Book Co., New York, 3rd Ed. 1982.
7. Viessman, W., Lewis G. L. and Knapp, J. W., "Introduction to Hydrology" 3rd Edi., Harper and Row, Publishers, New York, 1989.
8. Ven Te Chow, Ed., "Handbook of Applied Hydrology: A Compendium of Water resources Technology", McGraw Hill Book Co., New York, 1964.
9. Todd, D. K., "Groundwater Hydrology", 2nd Edi., John Wiley and Sons, New York, 1980.
10. Hammer, M. J. and MacKichan, K.A., "Hydrology and Quality of Water Resources", John Wiley and sons, New York, 1981.
11 Peavy, H. S.; Rowe, D. R.; and Tchobanoglous, G. "Environmental engineering", McGraw-Hill Book Co., New York, 1985.

الفصل الخامس

تقانة تنقية المياه

5-1 مقدمة

الماء هو عصب الحياة وشريانها ولا تتأتى الحياة بدونه. وليس هنالك ما هو أشمل وأكمل وأصدق من قول المولى عز وجل "**أو لم ير الذين كفروآ أن السموات والأرض كانتآ رتقاً ففتقناهما وجعلنآ من المآء كل شئ حي أفلا يؤمنون**" (30) الأنبياء. وقال ا تعإلى "**أفرأيتُم المآء الذي تشربون (68) ءأنتم أنزلتموه من المزن أم نحن المنزلون (69) لو نشآء جعلناه أجاجاً فلولا تشكرون**" (70) الواقعة. وذكر في صحيح البخاري {1} أن الأجاج المر: المزن السحاب. ولا يمنع فضل الماء فقد ورد في صحيح البخاري {1} الحديث 581 كتاب المساقاة: "**حدثنا يحيى بن بكير قال حدثنا الليثُ عن عقيل عن ابن شهابٍ عن ابن المسيبِ وأبي سلمةَ عن أبي هريرةَ رضي الله عنه أن رسولَ الله صلى الله عليه وسلم قال لا تمنعوا فَضلَ الماء لِتَمنَعوا به فَضلَ الكلأ**". ومن فضل سقي الماء ما ورد في صحيح البخاري {1} في الحديث 588 كتاب المساقاة: " **حدثنا عبد الله بن يوسفَ أخبرنا مالك عن سمي عن أبي صالحٍ عن أبي هريرةَ رضي الله عنه أن رسولَ الله صلى الله عليه وسلم قال بينا رجلٍ يمشي فاشتد عليه العطشُ فنزلَ بئراً فشرب منها ثم خرج فإذا هو بكلبٍ يلهثُ يأكلُ الثرى من العطش فقالَ لقد بلغَ هذا مثلَ الذي بلغَ بي فملأ خفه ثم أمسكه بفيه ثم رقى فسقى الكلب فشكر الله له فغفر له قالوا يا رسولَ الله وإن لنا في البهائمِ أجراً قالَ في كل كبد رطبة أجر.**"

ويلعب الماء دوراً أساسياً وحيوياً في حياة الفرد العادية ومعيشته اليومية وطهارته فقد ورد في صحيح البخاري {1} 214 كتاب الوضوء: "حدثنا أبو اليمان قالَ أخبرنا شُعيب عن الزهري قالَ أخبرني عبيد الله بن عبد الله بن عتبةَ بن مسعودٍ أن أبا هريرةَ قال قام أعرابي فبالَ في المسجد فتناوله الناس فقالَ لهم النبي صلى الله عليه وسلم دعوه وهريقُوا على بوله سجلاً من ماءٍ أو ذَنُوباً من ماءٍ فإنما بعثتُم ميسرين ولم تُبعثُوا معسرين". وورد في صحيح البخاري {1} الحديث 221 كتاب الوضوء: "حدثنا محمد بن المثنى قالَ حدثنا يحيى عن هشامٍ قالَ حدثتني فاطمةُ عن أسماء قالتْ جاءت امرأةٌ إلى النبي صلى الله عليه وسلم فقالتْ أرأيتَ إحدانا تحيض في الثوبِ كيفَ تصنع قالَ تَحته ثم تَقْرصه بالماء وتنضحه وتُصلي فيه". كما يؤثرالماء في تقدم الشعوب ورخائها ونمائها وإزدياد الصناعة والزراعة والعمران ببقاعها. وربما أدى نقصان الماء إلى تطاحن الشعوب ونشوب الأزمات السياسية والحروب بينها عند إقتتالها على الموارد المائية المشتركة بينها. ويحدثنا التاريخ قديمه وحديثه عن الكثير من الأحداث المفجعة والمهلكة للجماعات وحضاراتها. وترشيد الماء وحسن استخدامه فيه المنفعة الراهنة والحاضرة والمستقبلة إذ لا يدري أحد متى يأتي المطر كما ورد في صحيح البخاري {1} الحديث 973 كتاب الإستسقاء: "حدثنا محمد بن يوسفَ قالَ حدثنا سفيان عن عبد الله بن دينارٍ عن ابن عمر قال قالَ رسولُ الله صلى الله عليه وسلم مفتاح الغيبِ خمس لا يعلمها إلا الله لا يعلم أحد ما يكون في غدٍ ولا يعلم أحد ما يكون في الأرحامِ ولا تعلم نفس ماذا تكسب غداً وما تدري نفس بأي أرضٍ تموتُ وما يدري أحد متى يجئُ المطر". ويحث ديننا الحنيف

على الاقتصاد في استعمال الماء، فقد ورد في فقه السنة للسيد سابق {2} عن الاقتصاد في الماء وإن كان الإغتراف من البحر: "**لحديث أنس رضي ا عنه قال "كان النبي صلى ا عليه وسلم، يغتسل بالصاع إلى خمسة أمداد ويتوضأ بالمد**" متفق عليه .وذكر السيد سابق أن الصاع أربعة أمداد، وأن المد 128 درهما وأربعة أسباع الدرهم (404 سم^3) **وعن عبيد ا بن أبي يزيد أن رجلاً قال لابن عباس رضي ا عنهما: "كم يكفينى من الوضوء؟ قال: مد، قال: كم يكفينى للغسل؟ قال: صاع، فقال الرجل: لا يكفيني، فقال: لا أم لك قد كفي من هو خير منك: رسول ا صلى ا عليه وسلم**" رواه أحمد والبزار والطبراني في الكبير بسند رجاله ثقات، **وروى عن عبدا بن عمر رضي ا عنهما أن النبي صلى ا عليه وسلم، مر بسعد وهو يتوضأ، فقال: ما هذا السرف يا سعد؟ فقال: وهل في الماء من سرف؟ قال: "نعم، وإن كنت على نهر جار**". رواه أحمد وابن ماجه وفي سنده ضعف. ويقول سيد سابق إن الإسراف يتحقق باستعمال الماء لغير فائدة شرعية، كأن يزيد في الغسل على الثلاث، **ففي حديث عمرو بن شعيب عن أبيه عن جده رضي ا عنهم قال: ''جاء أعرابي إلى النبي صلى ا عليه وسلم، يسأله عن الوضوء فأراه ثلاثاً ثلاثاً، قال "هذا الوضوء" من زاد على هذا فقد أساء وتعدى وظلم**"، رواه أحمد والنسائى وابن ماجة وابن خزيمة بأسانيد صحيحة، **وعن عبدا بن مغفل رضي ا عنه قال: سمعت النبي صلى ا عليه وسلم، يقول: ''إنه سيكون في هذه الأمة قوم يعتدون في الطهور والدعاء''**. رواه أحمد وأبو داؤود وابن ماجه، قال البخاري: كره أهل العلم في ماء الوضوء أن يتجاوز فعل النبي صلى ا عليه وسلم .

وقد تُرجمت علاقة الماء بالصحة العمومية في العديد من الدراسات والمحاور البيئية القديمة والحديثة. وفطن الإنسان إلى أهمية تنقية الماء والمحافظة على نقائه قبيل استخدامه للأغراض المتنوعة. ولأهمية الموضوع فقد قام هذا الفصل بتغطية تقانة تنقية المياه والأنماط والطرق المستخدمة للحصول على مياه نقية ونظيفة ومأمونة تتماشى والتشريعات والمعايير المختلفة التي تتوخى المحافظة على الصحة العمومية وتنشد سلامة الفرد وممتلكاته ومنشآته وحيواناته الأليفة.

5-2 الأهداف العامة لتنقية المياه

هنالك عدة أهداف من وراء تنقية المياه قبل إيصالها للمستهلك ومن أهمها:

1. إستخلاص المواد العالقة والطافية التي قد توجد بالمياه.
2. إزالة المواد الغروانية والمواد ذات الحجم الصغير (مثل: الطين والرمل)
3. التخلص من المواد الصلبة الذائبة العضوية وغير العضوية.
4. إزالة الدهون والشحوم والزيوت.
5. إزالة الغازات الذائبة (مثل غاز كبريتد الهيدروجين H_2S وغاز ثاني أكسيد الكربون CO_2 وغاز الأمونيا $(NH_3$
6. التخلص من المواد الملونة والمواد ذات المذاق البغيض وتلك ذات الرائحة النتنة والتي تعمل على تغيير لون الماء وطعمه ورائحته.

7. الإيفاء بمتطلبات المياه ذات نوعية (طبيعية وكيميائية وحيوية) مقبولة لاستخدامها في عمليات صناعية محددة أو للاستخدام الطبي أو للاستعمالات المنزلية والزراعية المختلفة وغيرها من ضروب استخدام الماء وأوجهه.
8. الحد من إزدياد تلوث المياه ومكافحة التلوث إن وجد والعمل على التحكم الأمثل له.
9. إزالة البكتريا والحمات والجراثيم وغيرها من الكائنات المجهرية الجالبة للأمراض والتي ربما أضرت بصحة الفرد أو تسببت في شقائه أو فنائه.
10. مواكبة وتطبيق التشريعات والقوانين السارية ذات الصلة بالمياه والمعمول بها في المنطقة المعينة.
11. إعادة استخدام ودوران الفضلات السائلة.

3-5 الوحدات الطبيعية لتنقية المياه Physical Treatment Unit Operations

تعني الوحدات الطبيعية تلك الوحدات التي تعتمد في أدائها وعملها على القوى الطبيعية لإزالة الملوثات، وتضم هذه الوحدات: المصافي (الغرابيل) والترسيب الإبتدائي والطفو والترشيح والتهوية.

أ) المصافي Screening: تستخدم المصافي في محطات التنقية والمعالجة لأسباب مختلفة منها على سبيل المثال:

1. إزالة المواد الخشنة والمواد الصلبة العالقة والمواد الطافية.
2. الحد من قفل الأنابيب وانسدادها.
3. الحيلولة دونما دمار المضخات أو تحطيمها أو تآكلها وغيرها من الأجزاء الميكانيكية المتحركة التي توجد بالمنشأة.
4. تقليل الأحمال العضوية والهايدروليكية من على وحدات المعالجة التي تليها.

أما المواد المراد إزالتها بوساطة المصافي فتتكون من : أوراق الأشجار والخرق البالية ومخلفات الخضروات والأحجار المكسرة وأغصان الأشجار والعيدان والأخشاب وغيرها من الأجسام الكبيرة والتي لا تشكل مخاطر بيئية أو روائح كريهة.

وتوجد عدة طرق لتصنيف المصافي {3-16} طبقا لطبيعة العمل ودورته أو بناءاً على نظام تنظيف المصفاة أوعلى حسب مقاس فتحات المصفاة أوعلى حسب شكلها أو تماشياً مع حالة سطح المصفاة. أما بالنسبة لطبيعة العمل ودورته فيتم تصنيف المصافي إلى مستمرة أو متقطعة، وبالنسبة للتقسيم طبقاً لنظام التنظيف المتبع لها فتصنف إلى يدوية أو شبه يدوية أو آلية. ويبين جدول 5-1 نظام تقسيم المصافي على حسب فتحات المصفاة. وتقسيم المصافي على حسب شكلها يضم: مصافي الحاجز (راك) ومصافي القضبان ومصافي الشباك. أما تقسيم المصافي بناءاً على حالة سطحها فيضم المصافي الثابتة والمصافي المتحركة. ويوضح شكل 5-1 أمثلة لبعض أنواع المصافي {3، 4}. وتعتبر مصافي الحاجز (راك) -أو تلك التي يطلق عليها المصافي الثابتة Rack, bar - fixed screens من أبسط أنواع المصافي ومن أكثرها استخداماً وشيوعاً في محطات تنقية المياه. وتتكون

المصافي الثابتة من حواجز معدنية متوازية تبعد عن بعضها بمقادير ثابتة حسب نوع المصفاة ما إذا كانت خشنة أم ناعمة. ويتم وضع الأنواع الخشنة قبل الأنواع الناعمة لتفادي دمار نسيج الشباك الناعمة بوساطة المواد الكبيرة الحجم، ولمنع تهشمها من جراء فقد السمت وذلك عندما تقوم المواد المحجوزة بقفل فتحات المصفاة.

جدول 5-1 تقسيم المصافي حسب مقاس فتحات المصفاة {3، 4}

المصفاة	مقاس فتحات المصفاة (مللمتر)
دقيقة جداً (ميكرومترية)	0.02 إلى 0.06
دقيقة	1 إلى 20
متوسطة	20 إلى 40
كبيرة	أكبر من 400

وبعد مضي زمن معين تقوم المواد المحجوزة على سطح المصفاة بقفل فتحاتها مما يعيق إندفاق الماء عبرها، وبذا يزيد فقد السمت إلى درجة ربما هددت نسيج المصفاة بالدمار. ويزداد فقد السمت من H_O لمصفاة نظيفة إلى Hعندما تقل مساحة فتحات المصفاة على حسب المعادلة 5-1.

$$H = (a_o/a)^2 * H_o \qquad 5\text{-}1$$

حيث:

H = فقد السمت لمصفاة نظيفة

a_o = مساحة فتحات المصفاة النظيفة

a = مساحة فتحات المصفاة المتسخة

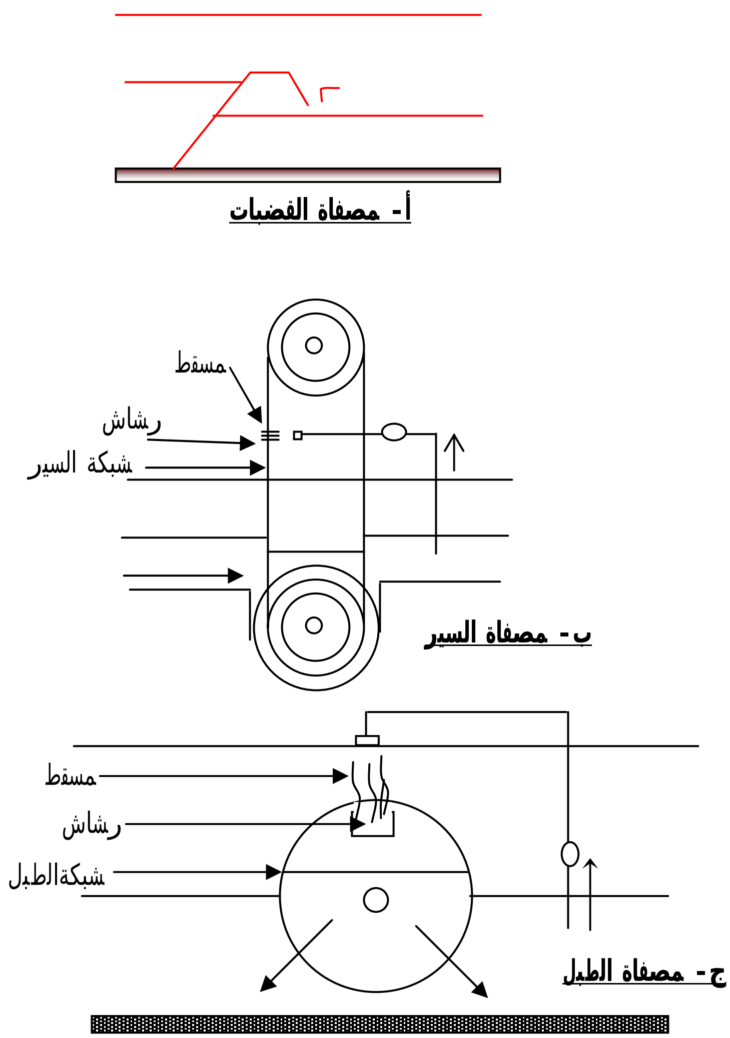
H_o = فقد السمت لمصفاة متسخة بالمواد المحجوزة على سطحها.

وعليه فيتم صنع المصفاة من مواد ذات متانة عالية. كما ويعمل على استمرارية عمليات النظافة لتقليل المقاومة، أو ربما أمكن تقليل هذه المقاومة بوضع مصرف آخر على المصفاة يساعد في إنبثاق إنسياب الدفق دون المرور على سطح المصفاة في بعض الحالات{3، 5}. وتتم عملية النظافة حتى لا يقل فقد السمت عن 0.5 متراً. أما تنظيف المصفاة مما علق بها من مواد وملوثات screenings فيتم بالطرق اليدوية في محطات تنقية المياه الصغيرة، وتستخدم الطرق الآلية لنظافة المصفاة في محطات التنقية الكبيرة. وللحيلولة دونما ترسب المواد العالقة والرمل يجب ألا تقل سرعة دفق الماء الداخل إلى المصفاة عن 0.3 إلى 0.5 متر/الثانية. وهنالك علاقة بين أقل سرعة الشوائب ومقاسها وكثافتها وسرعة دفق المياه. كما ويجب ألا تزيد السرعة عبر فتحات المصفاة عن حد أقصى يتروح بين 0.7 إلى 1 متر/الثانية وذلك لمنع عبور المواد الرخوة عبر فتحات المصفاة.

أما فتحات المصافي الشبكية فغالباً تكون مربعة الشكل ذات أضلاع تتفاوت بين 1 إلى 25 ملم طبقا للخواص التصميمية للمصفاة وإحتياجات التصفية. وتتيح هذه الخواص استخدام هذه الأنواع من المصافي في المواضع التي تكثر فيها المواد الصلبة الدقيقة، ويتم عادة تنظيفها يدوياً.

أما مصفاة السير (شكل 5-1ب) فتصنع شباكها من أسلاك مرنة (أو من مواد أخرى) محكمة الربط مع بعضها. وتتم نظافة المصفاة الدقيقة بإهتزاز سيرها.

أما مصفاة الطبل Drum screen (شكل 5-1ج) فهي مصفاة مستمرة، تتكون من طبل أجوف يدور حول محوره الأفقي ويتراوح قطره بين 2 إلى 5 أمتار. يدخل الماء عن طريق طرف الطبل المفتوح ويخرج عبر فتحات المصفاة، وعندما يدور الطبل في محوره فإن المواد المحجوزة يتم فصلها من سطح الماء لتخزن في حوض تجميع. ويتم نظافة المواد المحجوزة على سطح المصفاة بوساطة نافورة من الماء.



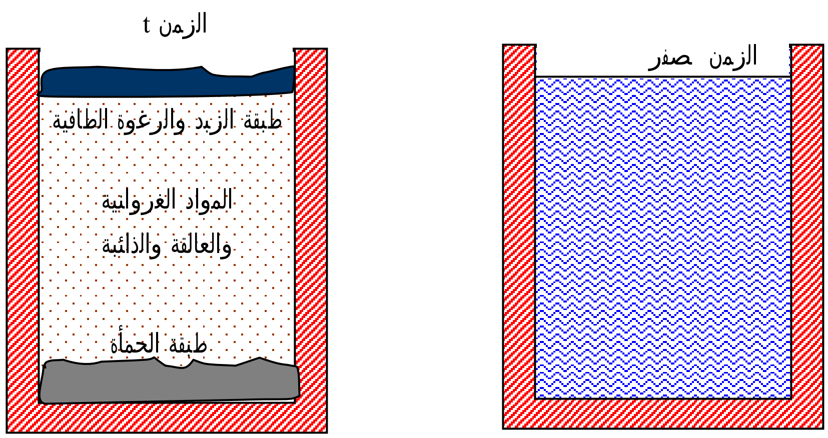
شكل 5-1 بعض أنواع المصافي، {3، 4، 7}

المصدر: مرجع 4، منشور بإذن

ويتم التخلص من المواد المحجوزة بالمصافي في محطات تنقية المياه بالدفن في أرض المحطة أو بالدفن الصحي في مناطق معينة مصدق بها. أما في محطات معالجة الفضلات السائلة فيتم التخلص الفوري والصحي من هذه المواد في المدافن الصحية أو بالحرق المقنن في المرامد الصحية، وذلك نسبة لأن المواد المحجوزة تكون عادة مغطاة بمواد عضوية ربما نتجت عنها روائح كريهة، أو أتت بمخاطر معينة .

ب) الترسيب والطفو Sedimentation and Flotation

يمكن تعريف الترسيب على أنه عملية تنقية طبيعية يتم فيها فصل المواد الصلبة والمواد العالقة والحبيبات كبيرة الحجم (ذات الكثافة العالية) بالترسيب (من السائل الحاول لها) تحت قوى الجاذبية الأرضية. ولإتمام عملية الترسيب تترك المياه المراد تنقيتها في حوض ترسيب Sedimentation tank لفترة زمنية طويلة نسبياً. ونسبة لكبر مساحة مقطع الحوض فتقل سرعة الترسيب، مما يسهل معه ترسيب الحبيبات ذات الكثافة الأعلى من السائل المحيط بها. أما الحبيبات القليلة الكثافة فتصعد إلى سطح الحوض مكونة طبقة الخبثScum ، ويتم فصلها بالطفو ويبسط شكل 5-2 عمليات الترسيب والطفو للحبيبات الصلبة داخل الماء.



شكل 5-2 ترسيب الحبيبات العالقة الصلبة وطفوها

وتفيد عملية الترسيب في مجال تنقية الماء ومضمار معالجة الفضلات السائلة في الآتى{3}:

- ❖ التخلص من الحبيبات الصلبة غير العضوية.
- ❖ إزالة النمو الحيوى المجهرى بعد المعالجة الثانوية في محطات معالجة الفضلات السائلة.
- ❖ إزالة المواد الصلبة وتقليل درجات تركيزها.
- ❖ إزالة المتلبدات الكيميائية.
- ❖ تغليظ المواد الصلبة في مغلظ الحمأة.Sludge thickener

أما العوامل المؤثرة على عملية الترسيب فتتداخل مع بعضها البعض مؤثرة سلباً أو إيجاباً على عملية الترسيب ومن هذه العوامل والمؤثرات مايلي {3}:

- حجم الحبيبات المراد ترسيبها ومقاسها.
- الثقل النوعي للحبيبات المترسبة.
- كمية ونوع ودرجة تركيز وشكل الحبيبات المترسبة.
- زمن المكث للحبيبات المترسبة داخل حوض الترسيب لإتمام عملية الترسيب.
- سرعة دفق الماء عبر حوض الترسيب.
- سرعة ترسيب الحبيبات والمواد الصلبة.
- الخواص الطبيعية للماء (مثل درجة الحرارة ودرجة اللزوجة ...الخ)
- التفاعلات والتغيرات الكيميائية والحيوية التي تحدث بين الحبيبات المترسبة والوسط الذي يتم فيه الترسيب.
- الظروف المحيطة بعملية الترسيب.

ويمكن ترفيع كفاءة ترسيب المواد الصلبة من الماء الخام بإضافة مواد مساعدة طبيعية أو مواد مروبة مصنعة مثل: الطين أو البنتونيت أو بعض المفتتات الصغيرة أو مواد كيميائية. كما ويمكن زيادة كفاءة الطفو بإدخال هواء أو غاز (مثل غاز الكلور) عبر قعر جهاز الترسيب.

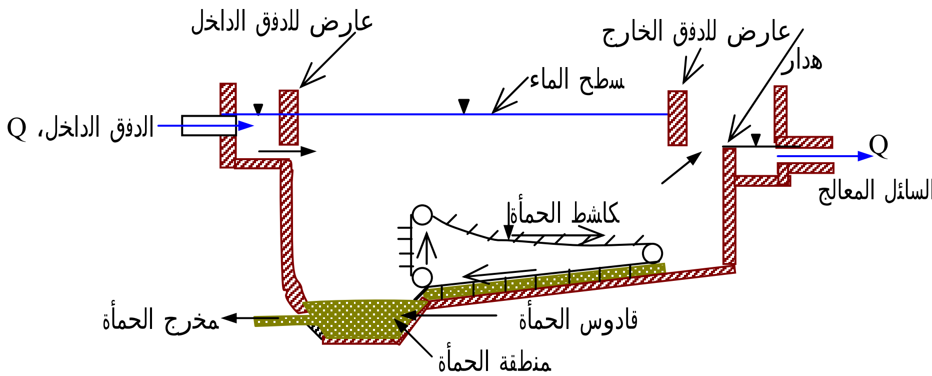
ويمكن تقسيم الترسيب إلى نوعين رئيسين يضمان: الترسيب الإبتدائي والترسيب النهائي أو الثانوي. يستخدم النوع الأول من الترسيب (الإبتدائي) بعد التصفية وإزالة المواد غير العضوية، ويستخدم النوع الثاني من الترسيب (النهائي) في محطات معالجة الفضلات السائلة للسائل المتدفق من وحدات المعالجة الحيوية.

أما بالنسبة لأشكال أحواض الترسيب فتوجد عدة أشكال مختلفة تقسم طبقاً لنظام التشغيل أو تقسم على حسب الشكل الهندسي أو تصنف طبقاً لإتجاه سرعة دفق المياه وسريانها من خلال الأحواض. فبالنسبة للتقسيم على حسب نظام العمل يمكن تقسيم أحواض الترسيب إلى: أحواض مستمرة (دائمة) التشغيل وأحواض متقطعة العمل. وبالنسبة للتقسيم على حسب الشكل الهندسي فتوجد الأحواض الدائرية والأحواض المربعة والأحواض المستطيلة. والتصنيف طبقاً لإتجاه سرعة دفق المياه وسريانها خلال الحوض يضم: الأحواض ذات الدفق الأفقي والأحواض ذات الدفق القطري والأحواض ذات الدفق الرأسي .

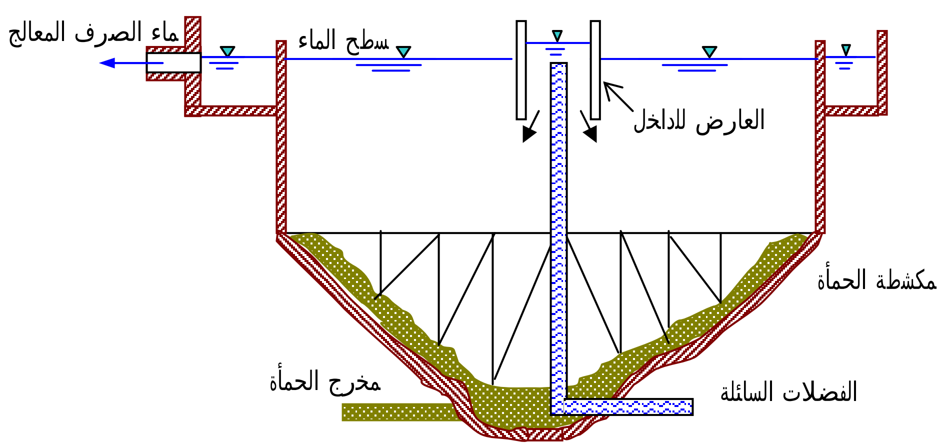
وتُعتبر أحواض الترسيب ذات الدفق الأفقي من أفضل الأنواع التي يمكن استخدامها للتخلص من المواد المتفردة والحبيبات المتقطعة Discrete. وتفضل الأحواض الضحلة والطويلة والضيقة لزيادة كفاءة إزالة المواد الصلبة لنفس سعة الحوض وحجمه. غير أن أحواض الترسيب الدائرية تفضل (إعتماداً على البيئة المحلية) لعدة أسباب منها {3}:

- ✓ إمكانية استخدامها للمنطقة المصدقة للإنشاء بطريقة أمثل.
- ✓ توفر هذه الأحواض جزء من تكلفة الإنشاء الكلية، كما وأنها تقلل من كميات المواد اللازمة لإنشائها.
- ✓ سهولة استخدام مواد دائمة (مثل الخرسانة سابقة الإجهاد) لإنشائها.

وعادة تصعب المفاضلة العملية بين أنواع أحواض الترسيب المتعددة من حيث تكلفة الإنشاء ومعايير التصميم وأسسه ، غير أن الأحواض التي تعمل باستمرار يتم استخدامها في محطات تنقية المياه الكبيرة الحجم. ويبنى اختيار أي من الأنواع المختلفة لأحواض الترسيب على خبرة المصمم والمعايير الاقتصادية والاجتماعية {3،4}.
ويبين شكل {3، 5} رسم تخطيطي لحوض ترسيب مستطيل أفقى الدفق وآخر دائري الشكل {4-9، 15، 17}
وقد تم الحصول على نتائج أفضل عند استخدام الأحواض ذات الإندفاق الرأسى، الكبيرة الإرتفاع والتي لها مدخل ينظم دخول الماء بانتظام عبر المساحة الكلية للحوض (لزيادة كفاءة الترسيب) {3، 8، 16، 18-20}



أ) رسم تخطيطي لحوض ترسيب أفقي الدفق



ب) رسم تخطيطي لحوض ترسيب دائري الدفق

شكل 3-5 رسم تخطيطي لبعض أحواض الترسيب

أنواع الترسيب:

تنقسم عملية الترسيب إلى عدة أنواع اعتماداً على نوع الحبيبات المترسبة وشكلها وحجمها وكثافتها ، وخواص السائل الذي يتم فيه الترسيب. ومن هذه الأنواع: الترسيب المتفرد أو المتقطع Discrete settling ، والترسيب المعاق Hindered settling ، والترسيب المتلبد Flocculent settling ، والترسيب المنضغط Compression settling.

يتم الترسيب المتفرد (أو المتقطع أو ترسيب المرتبة الأولى Discrete settling, Class I settling) عندما تقل قوى التجمع الطبيعية. وخلال فترة الترسيب تتبع كل حبيبة من الحبيبات العالقة مسارها المحدد بسرعة منتظمة دونما حدوث أي تغيير في حجمها أو شكلها أو وزنها. وفي هذا النوع من الترسيب لا يحدث أي إختلاط أو إتحاد بين الحبيبات المترسبة والحبيبات الأخرى المجاورة لها والموجودة في المحلول، كما ولا تقوم جدران جهاز الترسيب بعرقلة عملية الترسيب فيه. ومثال لهذا النوع من الترسيب: ترسيب حبيبات الرمل، وترسيب الحبيبات الصلبة غير العضوية.

أما الترسيب المعاق (ترسيب المنطقةHindered (zone) settling) فيحدث عندما تتداخل الحبيبات وتتقارب مع بعضها البعض بسبب الكثافات العالية، الشئ الذي يجعل إزاحة الماء بوساطة إحدى الحبيبات مؤثر على السرعة النسبية للحبيبات المجاورة لها. ومن الخواص العامة لهذا النوع من الترسيب: وجود قوى تعمل بين الحبيبات وتؤثر على ترسيب ما جاورها من حبيبات، وهبوط الحبيبات بسرعة تماثل سرعة الترسيب، وترسيب مجموعة من الحبيبات ككتلة واحدة (ترسيب كتلي)، واستمرار بقاء الحبيبات في مناطق ثابتة بالنسبة لبعضها البعض. ويمكن تقدير سرعة الترسيب المعاق من المعادلة 5-2، والتي تتحقق لرقم رينولد يقل عن مقدار 0.2 {3، 13}

$$v'/v = (1 - C_v)^{4.65} \qquad 5\text{-}2$$

حيث:

v' = سرعة الترسيب المعاق (م/ ث)

v = سرعة ترسيب الحبيبة الصلبة (م/ ث)

C_v = النسبة الحجمية = حجم الحبيبات المترسبة ÷ الحجم الكلd للوسط العالق.

ويحدث الترسيب المتلبد Flocculant settling عندما تنجح قوى طبيعية بالسائل من تقارب الحبيبات وتجاذبها وإتحادها لتتمكن من إتمام ترسب كتلي. وفي هذا النوع من الترسيب يتغير شكل الحبيبة المترسبة وحجمها وكثافتها. كما وأن هذا النوع من الترسيب يزداد بإزدياد عمق حوض الترسيب أوزيادة زمن المكث فيه.

وفي حالة الترسيب المنضغط Compression settling فإن الحبيبات المترسبة تقوم بتكوين بنية محددة أثناء ترسبها، وبذا يتم الترسيب بضغط الحبيبات على بعضها البعض.

نظرية الترسيب للحبيبات المتفردة (المتقطعة) الترسيب :

Settling Theory for Class I settling (Discrete settling):

عندما تُترك حبيبة صلبة لتترسب في سائل أقل منها كثافة فإنها تهبط بعجلة إلى أن تبلغ سرعة منتظمة. عند هذه السرعة المنتظمة يتساوى الوزن المغمور مع قوى الإعاقة الإحتكاكية كما موضح في المعادلة 5-3.

الوزن المغمور (وزن الحبيبة - قوى الدفع) = قوى الإعاقة الإحتكاكية

$$V*g*(\rho_s - \rho) = \rho*C_D*A(v^2/2). \qquad 5\text{-}3$$

حيث:

V = حجم الحبيبة الصلبة المترسبة ($م^3$)

g = عجلة الجاذبية الأرضية ($م/ث^2$)

ρ_s = كثافة الحبيبة المترسبة ($كجم/م^3$)

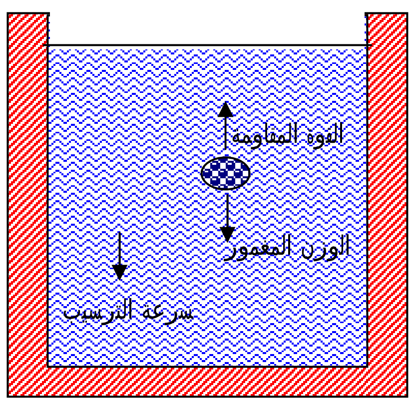
ρ = كثافة سائل الترسيب ($كجم/م^3$)

C_D = معامل الإعاقة الإحتكاكية (معامل السحب)

A = مساحة مقطع الحبيبة المترسبة ($م^2$)

v = سرعة الترسيب المنتظمة للحبيبة (م/ث)

ويبن شكل 5-4 رسم تخطيطي للقوى المؤثرة على حبيبة صلبة متفردة الترسيب أثناء عملية ترسبها داخل الماء.



شكل 5-4 رسم تخطيطي للقوى المؤثرة
على حبيبة صلبة متفردة الترسيب

أما معامل الإعاقة الإحتكاكية (معامل السحب) فيعتمد على رقم رينولد ومقاس الحبيبة المترسبة كما موضح في الشكل 5-5. ويعتمد معامل الإعاقة الإحتكاكية على نوع الدفق والذي ينقسم إلى دفق مضطرب ودفق صفحى ودفق وسط بين الإثنين. ويمكن إيجاد معامل الإعاقة الإحتكاكية بالنسبة للدفق الصفحى من المعادلة 5-4.

$$C_D = 24/Re \qquad 5\text{-}4$$

حيث:

C_D = معامل الإعاقة الإحتكاكية (معامل السحب)

Re = رقم رينولد

ويمثل رقم رينولد النسبة بين قوى القصور الذاتى inertia وقوى اللزوجة كما مبين في المعادلة 5-5.

$$Re = \rho*v*d/\mu \qquad 5\text{-}5$$

حيث:

Re = رقم رينولد

ρ = كثافة سائل الترسيب (كجم/م^3)

v = سرعة الترسيب (م/ث)

d = قطر الحبيبة المترسبية (م)

μ = درجة لزوجة سائل الترسيب (نيوتن×ث/م^2)

وبافتراض ترسب الحبيبة كروية الشكل تحت ظروف دفق صفحي يمكن إيجاد سرعة الترسيب من قانون استوك الموضح في المعادلة 5-6.

$$v = g*d^2*(s.g. - 1)/18*\nu \qquad 5\text{-}6$$

حيث:

v = سرعة الترسيب المنتظمة للحبيبة المترسبة (م/ث)

g = عجلة الجاذبية الأرضية (م/ث^2)

d = قطر الحبيبة الكروية الشكل (م)

s.g = .الكثافة النوعية للحبيبة

ν = درجة اللزوجة الكينامتكية (م^2/ث)

أما في حالة ترسيب الحبيبة تحت ظروف دفق بين الصفحي والمضطرب فيمكن إيجاد رقم رينولد من المعادلة 7-5

$$10^4 > Re > 0 \qquad 5\text{-}7$$

ومن ثم يمكن إيجاد معامل الإعاقة الإحتكاكية من المعادلة 5-8.

$$C_D = (24/Re) + (3/[Re]^{1/2}) + 0.34 \qquad 5\text{-}8$$

حيث:

C_D = معامل الإعاقة الإحتكاكية.

Re = رقم رينولد.

ويمكن إيجاد سرعة الترسيب في هذه الحالة كما موضح في المعادلة 5-9.

$$v = \{[4g*d*(s.g. - 1)]/3* C_D\}^{1/2} \qquad 5\text{-}9$$

أما بالنسبة للدفق المضطرب فيقع رقم رينولد بين الحدود الموضحة في المعادلة 5-10.

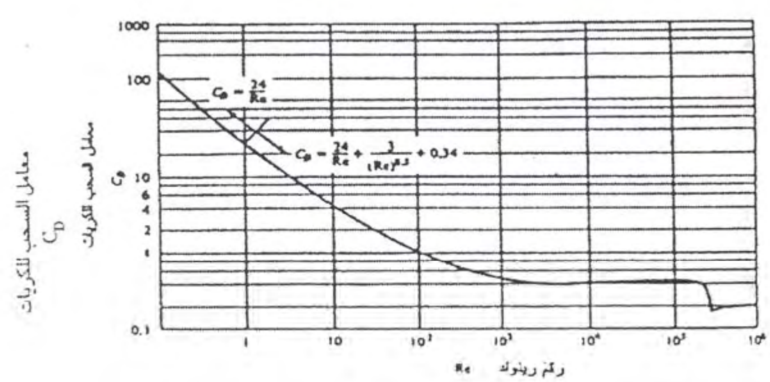
$$500 < Re < 10^4 \qquad 5\text{-}10$$

وفي حالة الدفق المضطرب يؤخذ معامل الإعاقة الإحتكاكية ليساوي 0.4 كما مبين في المعادلة 5-11.

$$C_D = 0.4 \qquad 5\text{-}11$$

وبذا يمكن إيجاد سرعة الترسيب بالنسبة للدفق المضطرب من المعادلة 5-12.

$$v = [3.3g*d*(s.g. - 1)]^{1/2} \qquad 5\text{-}12$$



شكل 5-5 تغير معامل السحب للكريات مع رقم رينولد[14]

المصدر: مرجع 14، منشور بإذن

مثال 5-1

حبيبات صلبة كثافتها النوعية تعادل 1.3 وقطرها المتوسط يساوي 0.055 ملم تترسب في جهاز ترسيب به ماء على درجة حرارة 20 °م . أوجد سرعة ترسيب الحبيبات الصلبة.

الحل:

1- المعطيات: s.g. = 1.3 :، d = 0.055 ملم، T = 20 °م.

2- أوجد قيمة اللزوجة الكينامتيكية من جدول (ج - 1) في الملاحق لدرجة الحرارة20 °م . لتساوى

$\nu = 1.011\times10^{-6}\ m^2/s$

3- افترض أن الترسيب يحدث طبقاً لقانون استوك، ومن ثم أوجد سرعة الترسيب من المعادلة

$v = g*d^2*(s.g. - 1)/18*\nu$

$v = [9.81\times(0.055\div1000)^2\times(1.3 - 1)] \div (18\times1.011\times10^{-6}) = 4.89\times10^{-4}$ م/ث.

4- راجع رقم رينولد على ضوء هذه السرعة من المعادلة $Re = v*d/\nu$

$Re = (4.89\times10^{-4}\times0.055\times10^{-3}) \div (1.011\times10^{-6}) = 0.027$

وبما أن رقم رينولد يقل عن 0.5 فافتراض أن الدفق صفحي إفتراض صحيح مما يتحقق معه قانون استوك.

اختبار ترسيب الحبيبات بجهاز عمود الترسيب

يصعب عملياً تحديد حجم الجسيمات الصلبة المترسبة ووزنها وشكلها. ومن هذا المنطلق تحسب درجة الترسيب بإجراء تجربة مخبرية. يستعمل في هذا الاختبار عمود أسطواني منتظم المقطع به فتحات تنتهي بصنابير على أبعاد محددة (أنظر شكل 5-6). وتبين الخطوات التالية الطريقة المتبعة لإجراء الاختبار:

1- تثبت درجة الحرارة المنشودة باستخدام حمام مائي.

2- يملأ العمود الأسطواني بالمحلول بعد مزجه جيداً.

3- تقاس درجة تركيز المواد العالقة الكلية بالمحلول.(C_O)

4- تؤخذ عينات مختلفة من المحلول عبر الصنابير في فترات زمنية محددة، وذلك بغية إيجاد درجات تركيز المواد العالقة ($C_1, C_2, \ldots C_n$) للأبعاد المختلفة.($h_1, h_2,\ldots h_n$))

5- بعد أخذ العينة تترك الجسيمات التي تزيد سرعة ترسبها عن $v_1 = h_1/t_1$ لتترسب، أما بقية الجسيمات ذات السرعة التي تقل عن v فتخرج مع العينة.

6- توجد نسبة الجسيمات المترسبة X_1 (والتي تكون سرعة ترسيبها أقل منv_1) من المعادلة 5-13.

$$X_1 = C_1/C_O \qquad 5\text{-}13$$

7- تعاد التجربة لفترات زمنية مختلفة، وبذا يتسنى رسم مخطط بياني لخواص المواد العالقة كما مبين على شكل 5-7. وتوجد الإزالة الكلية في حوض الترسيب ذى الإندفاق الأفقي من شكل 5-7 كما مبين في المعادلة 5-14.

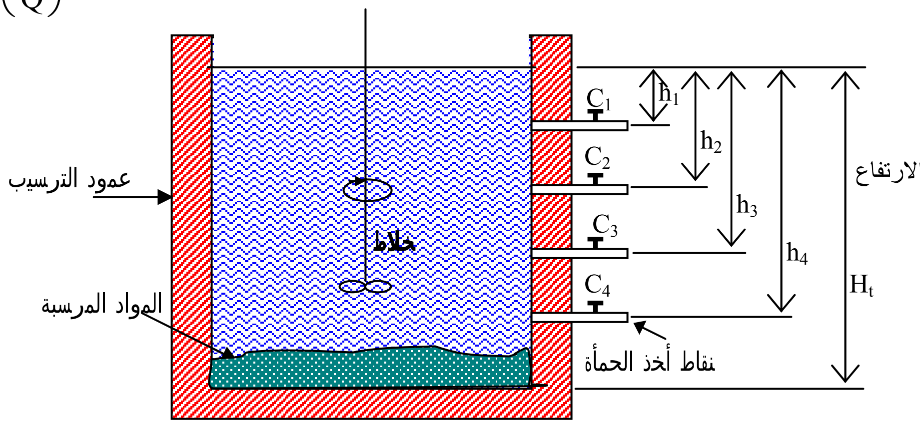
$$X_T = 100 - X_o + \frac{1}{v_{so}}\int_0^{x_o} v\times dx \qquad 5\text{-}14$$

وتمثل المساحة المظللة في الشكل 5-7 حد التكامل $\int_0^{x_o} v\times dx$ في المعادلة 5-14.

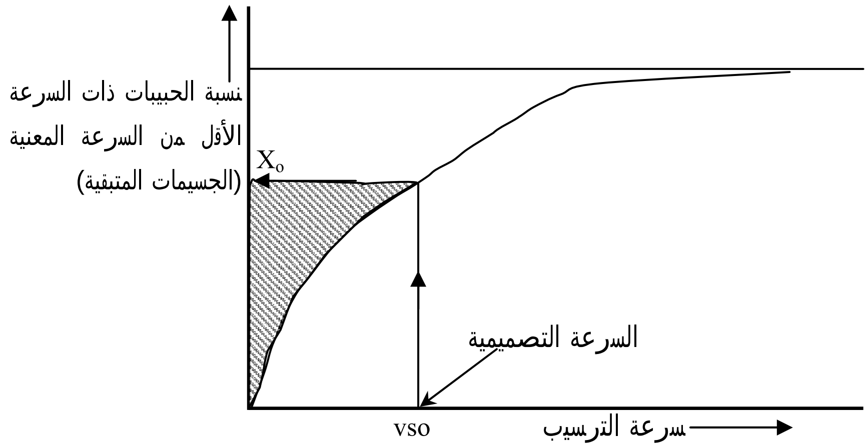
8- وعادة يتم تقليل سرعة الترسيب التصميمية (المحسوبة من جهاز عمود الترسيب) بمعامل يتراوح بين 0.65 إلى 0.85. وذلك بغية إدراج أي ظروف عملية غير مثلى. كما ويتم زيادة زمن المكث بحوض الترسيب بضرب قيمته العددية باستخدام معامل ضرب يقع في حدود 1.25 إلى 1.5 وذلك بناءاً على نتائج وتجارب عدة عمليات أُجريت لعدد من أحواض الترسيب {10}

أما بالنسبة للترسيب المتفرد بسرعة ترسيب تساوى v_{so} للحبيبات التي تصل إلى قعر الحوض ذى الإرتفاع h_T) فيمكن إيجاد هذه السرعة من المعادلة 5-15.

$$v_{so} = \frac{h_T}{t} = \frac{\left(\frac{V}{A}\right)}{\left(\frac{V}{Q}\right)} = \frac{V}{Q} \qquad 5\text{-}15$$



شكل 5-6 جهاز عمود الترسيب



شكل 5-7 مخطط بياني لمنحنى التوزيع المتردد التراكمي

مثال 5-2:

تضم محطة معالجة أربعة أجهزة ترسيب دائرية لتعالج دفق يومي يساوي 12000 متراً مكعباً. قطر كل جهاز ترسيب 18 متراً. وقد أشارت التجارب المخبرية التي أُجريت في جهاز عمود الترسيب إلى النتائج المدرجة في الجدول التالي

عمق العينة (م)	الزمن (ساعة)	درجة تركيز المواد الصلبة العالقة المزالة (ملجم/لتر)
0.6	1	94
	1.5	165
	2	201
	2.5	218
	3	226
	3.5	232
	4	236
1.2	1	53
	1.5	65
	2	94
	2.5	133
	3	165
	3.5	187
	4	201
1.8	1	51
	1.5	53
	2	59
	2.5	76
	3	94
	3.5	121
	4	145

أ) أوجد الكفاءة الكلية لحوض الترسيب لإزالة المواد الصلبة العالقة ذات التركيز المبدئي 250 ملجم/لتر.
ب) أوجد درجة تركيز المواد الصلبة الكلية في السائل النهائي الخارج من حوض الترسيب.

الحل:

1- المعطيات: N= 4 حوض، Q = 12000 م3/يوم، D = 18 م، بيانات تجارب جهاز عمود الترسيب

2- أوجد سرعة الترسيب والنسبة المئوية للمواد الصلبة المتبقية في السائل الخارج من نقاط أخذ العينة الموضوعة على عمود الترسيب للفترات الزمنية المختلفة كما مبين في المعادلة 5-16.

سرعة الترسيب = عمق نقطة أخذ العينة ÷ زمن المكث بالحوض 5-16.

النسبة المئوية للمواد الصلبة المتبقية في السائل الخارج (النسبة المئوية للمواد الصلبة العالقة التي لها سرعة ترسيب أقل من السرعة المعينة) = 100 - النسبة المئوية للمواد الصلبة المزالة 5-17

ويبين الجدول التالي نتائج الحسابات الموضحة سابقاً:

العمق، م	**الزمن، ث**	**السرعة، م/ث**	**المواد الصلبة المزالة (%)**	**النسبة المئوية للمواد العالقة التي لها سرعة أقل من السرعة المعنية(%)**
0.6	1	0.167	37.6	62.4
	1.5	0.111	66.0	34.0
	2	0.083	80.4	19.6
	2.5	0.67	87.2	12.8
	3	0.056	90.4	9.6
	3.5	0.048	92.8	7.2
	4	0.042	94.4	5.6
1.2	1	0.333	21.2	78.8
	1.5	0.222	26.0	74.0
	2	0.167	37.6	62.4
	2.5	0.133	53.2	46.8
	3	0.111	66.0	34.0
	3.5	0.095	74.8	25.2
	4	0.083	80.4	19.6
1.8	1	0.5	20.4	79.6
	1.5	0.333	21.4	78.8
	2	0.25	23.6	76.4
	2.5	0.2	30.4	69.6
	3	0.167	37.6	62.4
	3.5	0.143	48.4	51.6
	4	0.125	58.0	42.0

3- أرسم منحنى التوزيع المتردد التراكمي برسم النسبة المئوية للمواد الصلبة المتبقية في السائل الخارج من حوض الترسيب (على المحور الرأسي) مع سرعة الترسيب (على المحور الأفقي) كما موضح في شكل حل مثال 5-2.

4- أوجد الدفق المناسب من كل حوض ترسيب، = الدفق الكلي q ÷ عدد الأحواض

= (12000 ÷ (24×60×60)) = 0.035 م^3/ ث.

5- أوجد مساحة كل حوض ترسيب من المعادلة $A = (\pi/4)*D^2$

$A = 3.14 \div 4) \times 18^2 = 254.5$ م^2

6- أوجد سرعة الترسيب التصميمية للحبيبات من المعادلة $v_S = Q/A$

$v_S = 0.035\ \ 254.5\ \ 1.38 \times 10^{-4} = 0.138$ ملم/ث

7- أوجد من منحنى التوزيع المتردد التراكمي وللسرعة التصميمية التي تعادل 0.138 ملم/ ث قيمة X_O لتساوي 49%

8- أوجد الكفاءة الكلية لحوض الترسيب من المعادلة

$$X_T = 100 - X_o + \frac{1}{v_{so}} \int_0^{x_o} v \times dx .$$

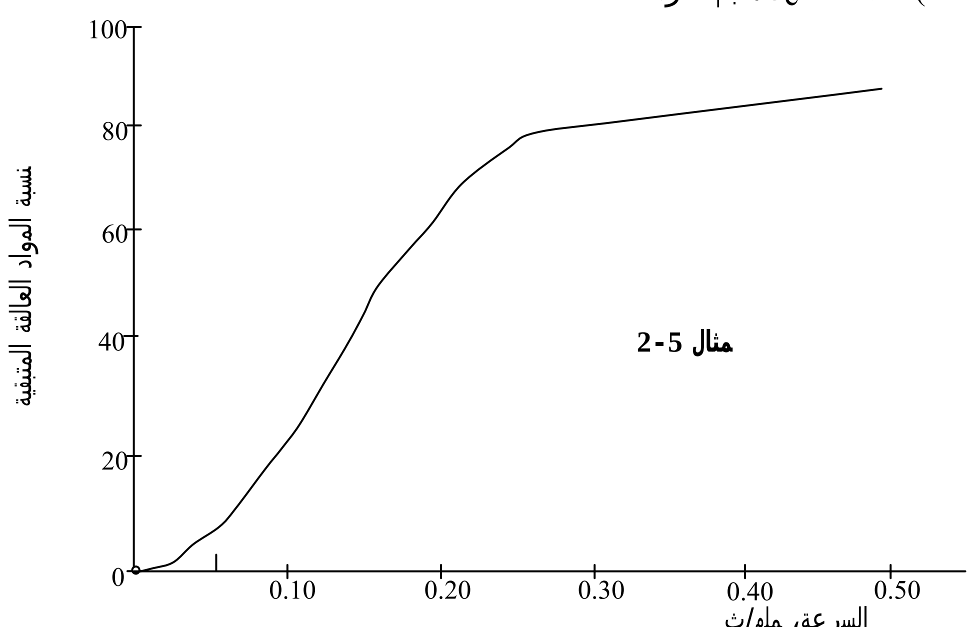
حيث يمكن حساب جزء التكامل في المعادلة بتقدير المساحة المحصورة بين المحور الصادى ومنحنى التوزيع المتردد التراكمى والخط الأفقى من نقطة تقاطع المنحنى والسرعة التصميمية وذلك بإيجاد المساحة بالرسم البيانى أو باستخدام نظرية سمسون أو نظرية نيوتن-رافسون أو باستخدام الممساح. وفي الحالة قيد البحث يساوي جزء التكامل 4.04×10^{-3}، وبذا يمكن إيجاد الكفاءة الكلية للحوض بالتعويض في المعادلة السابقة:

$$X_T = 100 - 49 + (4.04\times10^{-3} \div 1.38\times10^{-4}) = 80\ \%.$$

9- أوجد قيمة تركيز المواد الصلبة في السائل المنبثق من حوض الترسيب من المعادلة 5-18

$$C_e = C_o*(1 - X_T) \qquad (5\text{-}18)$$

$C_e = 250 \times (1 - 0.8) = 50$ ملجم/ لتر.



مثال 5-3:

يوجد بمحطة معالجة فضلات سائلة حوضين ترسيب، قطر كل منهما 25 متر وعمقه مترين. أوجد سرعة الدفق وزمن المكث بالحوض لدفق يومي يعادل 13050 م^3.

الحل:

1- المعطيات: Q = 13050 م^3/يوم، d = 25 م، h = 2 م.

2- أوجد سرعة الدفق من المعادلة: $v_{SO} = Q/A$

v_{SO} = م/يوم = 3.1×10 -4 م/ث.

3- أوجد زمن المكث من المعادلة $t = V/Q = (pd^2/4)*h/Q$:

$t = ((3.14×25^2÷4)×2)÷13050 = 0.075$ يوم = 1.8 ساعة.

العوامل المؤثرة على كفاءة الترسيب

تتأثر كفاءة حوض الترسيب بعدة عوامل منها على سبيل المثال لا الحصر:

1) الإندفاق المضطرب Turbulence: عند تقدير كفاءة الترسيب أفترض أن الترسيب يحدث بصورة مثالية. غير أنه في حالات الدفق المضطرب تتواجد مركبات سرعات عرضية، الشئ الذي يقود إلى تشتت مسار الجسيمات مما يقلل من كفاءة الحوض. ولتحقيق إندفاق صفحى فلا بد أن يكون رقم رينولد ما بين 580 إلى 2000 بالنسبة للإندفاق الأفقى، وهذا يعتمد على طريقة إنشاء مدخل الحوض، ونوع وخواص أجهزة إزالة الحمأة المتكونة، ووجود الأعمدة والعوارض والحوائط الخشنة بالحوض، وغيرها من العوامل التي تقلل إندفاق الماء {3}

أما رقم رينولد فعبارة عن النسبة بين قوى القصور الذاتى وقوى اللزوجة، ويمكن إيجاده من المعادلة 5-19.

$$Re = \rho * v_H / \mu = v_H * r_H / \nu \qquad 5\text{-}19$$

حيث:

Re = رقم رينولد

ρ = كثافة السائل (كجم/ م^3)

v_H = سرعة الدفق الأفقية (م/ ث)

r_H = نصف القطر الهيدروليكي (م)

μ = درجة اللزوجة الديناميكية (نيوتن×ث/م^2)

ν = درجة اللزوجة الكينامتيكية (م^2/ ث)

وبالنسبة لحوض مستطيل ذو معدل دفق أفقي (أنظر شكل 5-8) تحسب السرعة الأفقية من المعادلة 5-20.

$$v_H = Q/A = Q/B*h \qquad 5\text{-}20$$

حيث:

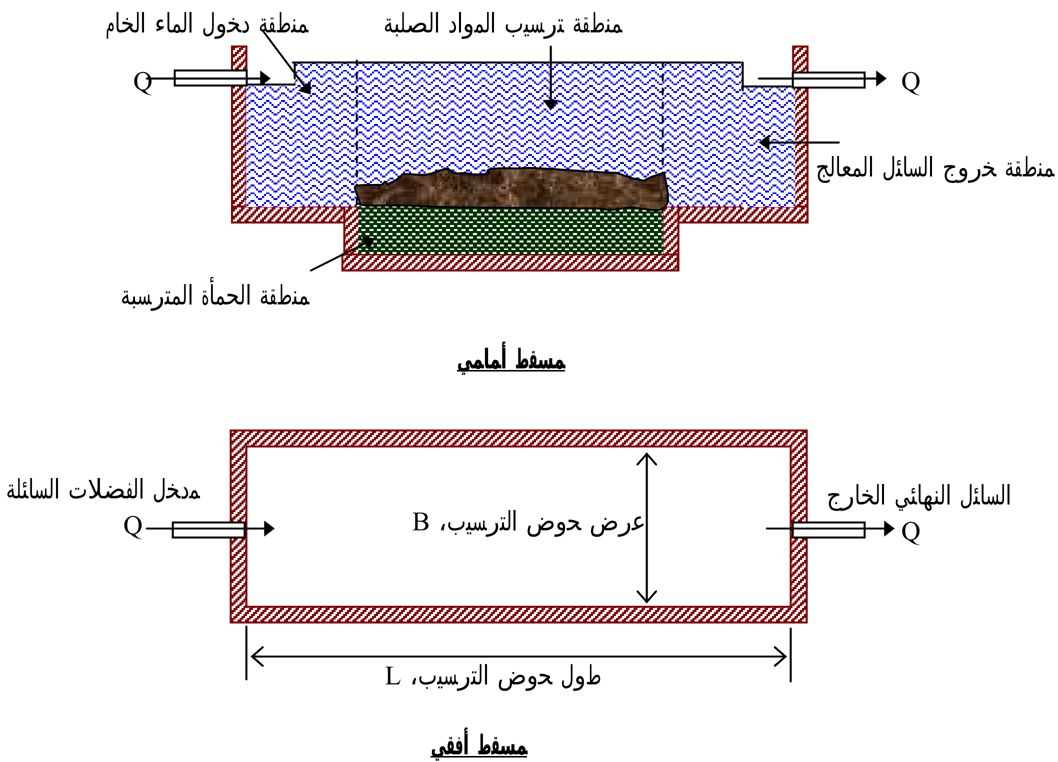
v_H = سرعة الدفق الأفقية (م/ ث)

Q = دفق الماء إلى حوض الترسيب (م^3/ ث)

A = مساحة الحوض العمودية على السرعة الأفقية (م^2)

B = عرض حوض الترسيب (م)

h = عمق (ارتفاع) حوض الترسيب (م)



شكل 5-8 رسم تخطيطي لحوض ترسيب مستطيل أفقي مثالي الدفق

أما بالنسبة لنصف القطر الهايدروليكي فهو عبارة عن نسبة مساحة مقطع الحوض العمودي على الإندفاق الأفقي إلى المحيط المبتل كما مبين في المعادلة 5-21

$$r_H = A/w_p = Bh/(B + 2h) \qquad 5\text{-}21$$

حيث:

r_H = نصف القطر الهايدروليكي (م)

A = مساحة مقطع الحوض العمودي على الإندفاق الأفقي (م^2)

w_p = المحيط المبتل(م)

ومن المعادلات 5-19 و5-20 يمكن إيجاد رقم رينولد كما مبين في المعادلة 5-22.

$$Re = Q/\nu^*(B + 2h) \qquad 5\text{-}22$$

ويمكن تعديل المعادلة 5-15 لتضم طول حوض الترسيب كما مبين في المعادلة 5-23

$$v_S = Q/A = Q/BL \qquad 5\text{-}23$$

حيث:

L = طول حوض الترسيب (م)

وعليه يمكن كتابة المعادلة 5-21 كما موضح في المعادلة 5-24.

$$Re = v_S^*B^*L/\nu^*(B + 2h) \qquad 5\text{-}24$$

ويشترط لوجود دفق صفحي أن يقل رقم رينولد. ولتقليل رقم رينولد تبين المعادلات 5-22 و 5-24 أن ذلك يمكن أن يتأتى بإحدي الحالات التالية:

- ❖ تقليل معدل دفق الماء الداخل لحوض الترسيب.
- ❖ زيادة عرض حوض الترسيب.
- ❖ زيادة عمق حوض الترسيب.
- ❖ تقليل طول حوض الترسيب.

وهذا يعني أنه لتقليل مشاكل الدفق المضطرب يتطلب إنشاء حوض ترسيب عريض وعميق وقصير.

2) الجرف (النحر) التحتى Bottom scour: إن كفاءة عملية الترسيب في حالة الترسيب البسيط أو المتفرد تعتمد أساساً على سرعة الترسيب ولا تعتمد على عمق حوض الترسيب. غير أنه عندما يقل عمق الحوض تزداد سرعة الإندفاق الأفقية لدرجة أنها تجرف معها المترسبات من قعر الحوض. ويبدأ هذا الجرف على سرعة معينة يطلق عليها سرعة الجرف Scour velocity. وتبدأ سرعة الجرف عندما تتساوى قوى القص الهايدروليكي (بين الماء

المندفق والحبيبات المترسبة) وقوى الإحتكاك الميكانيكي (بين المترسبات في قعر الحوض). ويمكن إيجاد سرعة الجرف كما موضح في المعادلة 5-25. {3}

$$v_{sc} = \sqrt{\frac{40}{3} \times (s.g. - 1) \times g \times d} \qquad 5\text{-}25$$

حيث:

v_{sc} = سرعة جرف الحبيبات المترسبة (م/ ث)

s.g = الكثافة النوعية للحبيبات المترسبة (لا بعدي)

g = عجلة الجاذبية الأرضية (م/ ث^2)

d = قطر الحبيبات المترسبة (م)

ولا يشكل تدني كفاءة الترسيب بوساطة الجرف التحتي أي مخاطر ما دامت سرعة الترسيب أقل من سرعة الجرف. ويمكن منع إعادة تعليق المواد الصلبة بعمل عوارض Baffles في حوض الترسيب {3}

3- توزيع السرعة غير المنتظم ودائرة القصر- Non-uniform velocity distribution and short-circuiting : من المفترض أن تكون سرعة ترسيب الحبيبات في حوض الترسيب منتظمة على المساحة العمودية على إتجاه الدفق. غير أن قوى الإحتكاك (عبر الجدران وأرضية الحوض) تقوم بتقليل سرعة الماء. ومن الملاحظ أن السرعة تقل بالقرب من حدود الحوض وتزيد عن المتوسط في منتصفه. ويؤثر هذا التوزيع غير المنتظم للسرعة (بدرجة قليلة) على كفاءة الترسيب. ونسبة للتغير في السرعة الأفقية للماء المنساب عبر الحوض فإن بعض الحبيبات تصل إلى مخرج الحوض في زمن أقل من الزمن النظري المتوقع للمكث. كما ويأخذ البعض الآخر من الحبيبات زمنا أطول للخروج من حوض الترسيب وتعرف هذه الظاهرة بدائرة القصر{3، 16}. وتتدهور كفاءة الترسيب بصورة مباشرة عندما تتكون في الحوض مناطق راكدة أو مناطق بها تيار دوامي Eddy current والتي تنتج مثلاً بسبب عدم تساوي توزيع الماء الداخل إلى الحوض، أو بسبب تيارات الرياح على سطح الحوض. ويمكن تقليل مشاكل دائرة القصر بعدة طرق منها: استخدام حوض جيد التصميم والإنشاء، والتأكد من إنتظام وتساوي دخول وإنبثاق الماء عبر كل من عرض الحوض وعمقه ، ومنع وجود مناطق ذات دفق سريع عند منطقة الدخول، وبالمزج الجيد والمتجانس لمحتويات الحوض. ويمكن تحقيق الإتزان بزيادة نسبة قوى القصر الذاتي وقوى الجاذبية، أو ما يعرف برقم فرود Froude number والذي يمكن إيجاده من المعادلة 5-26.

$$Fr = v_H^2 / g * r_H \qquad 5\text{-}26$$

حيث:

Fr = رقم فرود

v_H = سرعة الدفق الأفقية (م/ ث)

g = عجلة الجاذبية الأرضية (م/ ث^2)

r_H =نصف القطر الهايدروليكي (م)

وبتعويض المعادلات 5-20 و5-21 و5-23 يمكن إعادة كتابة المعادلة 5-26 كما موضح في المعادلة 5-27.

$$Fr = [Q^2*(B + 2h)] / (g*B^3*h^3) = [vs^2*L^2*(1 + 2h/B)] / g*h^3 \qquad 5\text{-}27$$

ومن الواضح من المعادلة 5-27 أن تحقيق الإتزان عبر زيادة رقم فرود يمكن أن يتأتى بعمل التالي:

- زيادة الماء الداخل لحوض الترسيب.
- تقليل عرض حوض الترسيب.
- تقليل عمق حوض الترسيب.
- زيادة طول حوض الترسيب.

ومما ورد ذكره سابقاً يتضح أن تحقيق الإتزان داخل حوض الترسيب يتم عند استخدام حوض ضيق وضحل وطويل. غير أن هذا الشرط يعاكس كلية شرط تفادي الإندفاق المضطرب المذكور آنفاً. وعليه فمن المتبع أخذ أرقام كبيرة لرقم فرود ولكنها ليست بالكبر الذي يولد معه مخاطر الإندفاق أو الجرف التحتي. وقد وجد من كثير من التجارب أن أنسب قيمة لرقم فرود {16} تقع في الحدود الموضحة في المعادلة 5-28.

$$Fr > 10^{-5} \qquad 5\text{-}28$$

مثال 5-4

يراد تنقية محلول مائى وتقليل مايحمله من شوائب عالقة في حوض ترسيب أفقي الدفق على درجة حرارة 20 °م. أُدخل المحلول إلى الحوض بمعدل دفق يومي يعادل 20000 متراً مكعباً. إذا علم أن أبعاد حوض الترسيب تساوي: 6 م عرضاً و20 م طولاً ومترين ارتفاعاً والترسيب مثالي، أوجد قيمة رقم فرود ورقم رينولد للإندفاق الأفقي للماء.

الحل:

1- المعطيات: B = 6 م، L = 20 م، h = 2 م، Q = 20000 م^3/يوم، T = 20 °م.

2- أوجد قيمة الكثافة الكينامتيكية للماء من جدول (ج - 1) في الملاحق لدرجة حرارة 20 °م

ν = 1.011×10-6 م^2/ث

3- أوجد نصف القطر الهايدروليكي من المعادلة: $r_H = Bh/(B + 2h)$

r_H = (6×2) ÷ (6 + 2×2) = 1.2 م

4- أوجد سرعة الدفق الأفقي للماء من المعادلة $v_H = Q/ Bh$

v_H = [20000 ÷ (24×60×60)] ÷ (6×2) = 0.0193 م/ث

5- أوجد قيمة رقم رينولد من المعادلة: $Re = v*r_H /\nu$

Re = (0.0193×1.2) ÷ (1.011×10^{-6}) = 22896

وهذا الرقم يتجاوز كثيراً 2000 وبذا فمن المتوقع حدوث مشاكل الدفق المضطرب، وعليه يستحسن عمل عوارض للحوض.

6- أوجد قيمة رقم فرود من المعادلة $Fr = v_H^2 / g*r_H$

$Fr = (0.0193)^2 \div (1.2\times9.81) = 3.1\times10^{-5}$

وبما أن رقم فرود أكبر من 10^{-5}، فمن غير المتوقع حدوث مشاكل إتزان.

الترسيب المتلبد Flocculent settling : عند ترسيب الجسيمات العالقة ذات الكثافة المختلفة تكون لكل حبيبة سرعة ترسيب تختلف عن الحبيبات الأخرى، وعليه فإن الحبيبات ذات السرعة الأكبر (حجم أو وزن أكبر) تتمكن من اللحاق بتلك الحبيبات ذات السرعة الأقل (أقل كثافة). وتولد هذه الحالة (عندما تسمح الظروف بذلك) العديد من التصادمات التي تؤدي إلى إتحاد الحبيبات ومن ثم تكوين المتلبدات. وتزيد كفاءة الترسيب بنقصان سرعة الترسيب التصميمية للحوض، كما وتزيد بزيادة عمق الحوض لمثل هذا النوع من الترسيب. وعامة تعتمد سرعة ترسيب الحبيبات المتلبدة على عدة عوامل منها على سبيل المثال: سرعة الدفق، وإنسياب الماء عبر الحوض، وزمن المكث (زمن الترسيب)، وعمق الحوض. ومع هذا النوع من الترسيب فإن عوامل الجرف التحتي ودائرة القصر لها نفس التأثير المتوقع للترسيب المتفرد أو المتقطع. غير أن أثر الدفق المضطرب يمكن أن يهمل بسبب تشتت الحبيبات العالقة، وعدم وصول بعضها إلى قعر الحوض. كما وأن التشتت يزيد من تجمع الحبيبات الصغيرة الحجم لتكون متلبدات تهبط بسرعة أعلى. وعليه فإن المحصلة الكلية للدفق المضطرب ليست كبيرة.

يمكن استخدام جهاز عمود الترسيب لدراسة الترسيب المتلبد. ومن النتائج المستقاة من تجارب عمود الترسيب يمكن حساب نسبة المواد الصلبة العالقة المترسبة. وتستخدم هذه النسب لرسم منحنيات متساوية الإزالة أو ما يسمى بالخطوط متساوية التركيز Isoconcentration lines. ومنها يمكن إيجاد الإزالة الكلية كما موضح في المعادلة 5-29 {3}

$$R_T = (\Delta_h 1/h_t)*(R_1 + R_2)/2 + \ldots + (\Delta h_n/h_t)*(R_n + R_{n+1})/2 \qquad 5\text{-}29$$

أو:

$$R_T = \sum_{i=1}^{n}\left(\frac{\Delta h_i}{h_t}\right)\times\frac{(R_i + R_{i+1})}{2}$$

حيث:

R_T = الإزالة الكلية للمتلبدات (%)

Δh_i = عمق نقطة أخذ العينة رقم i (م)

n = عدد نقاط أخذ العينات

h_t = الارتفاع الكلي لحوض الترسيب (م)

مثال5-5

أُستخدم جهاز عمود ترسيب لعينة عكرة من الماء. وأظهرت التجربة البيانات التالية:

* درجة تركيز المواد الصلبة الداخلة للحوض = 200 ملجم/ لتر.

* النسبة المئوية لإزالة المواد الصلبة العالقة (ملجم/ لتر) مقارنة بزمن المكث كما مبينة في الجدول التالي:

زمن المكث (دقيقة)	النسبة المئوية لإزالة المواد الصلبة العالقة (ملجم/ لتر) العمق (متر)			
	0.4	**0.8**	**1.2**	**1.6**
15	8	4	3	3
30	23	9	6	5
60	52	27	15	10
90	69	42	31	23
1220	80	59	42	34
135	85	65	48	39
150	90	71	54	44

أ) أوجد الإزالة الكلية للترسيب المتلبد عبر حوض الترسيب الذي يبلغ ارتفاعه 1.6 متر، وزمن المكث فيه 75 دقيقة.

ب) أوجد درجة تركيز المواد الصلبة العالقة في السائل الخارج من حوض الترسيب.

الحل:

1- المعطيات $C_O = 200$ ملجم/ لتر، $h = 1.6$ م، $t= 75$ دقيقة.

2- أرسم خطوط التركيزات المتساوية للبيانات المعطاة برسم عمق الحوض والزمن مع النسبة المئوية للمواد الصلبة العالقة المزالة كما موضح في الرسم لحل مثال 5-5.

3- أرسم خط رأسي من الزمن 75 دقيقة ليقطع الخطوط على مسافات تبعد من بعضها بمقادير h

4- أوجد الإزالة الكلية باستخدام المعادلة

$$R_T = \sum_{i=1}^{n}\left(\frac{\Delta h_i}{h_t}\right)\times\frac{\left(R_i + R_{i+1}\right)}{2}$$

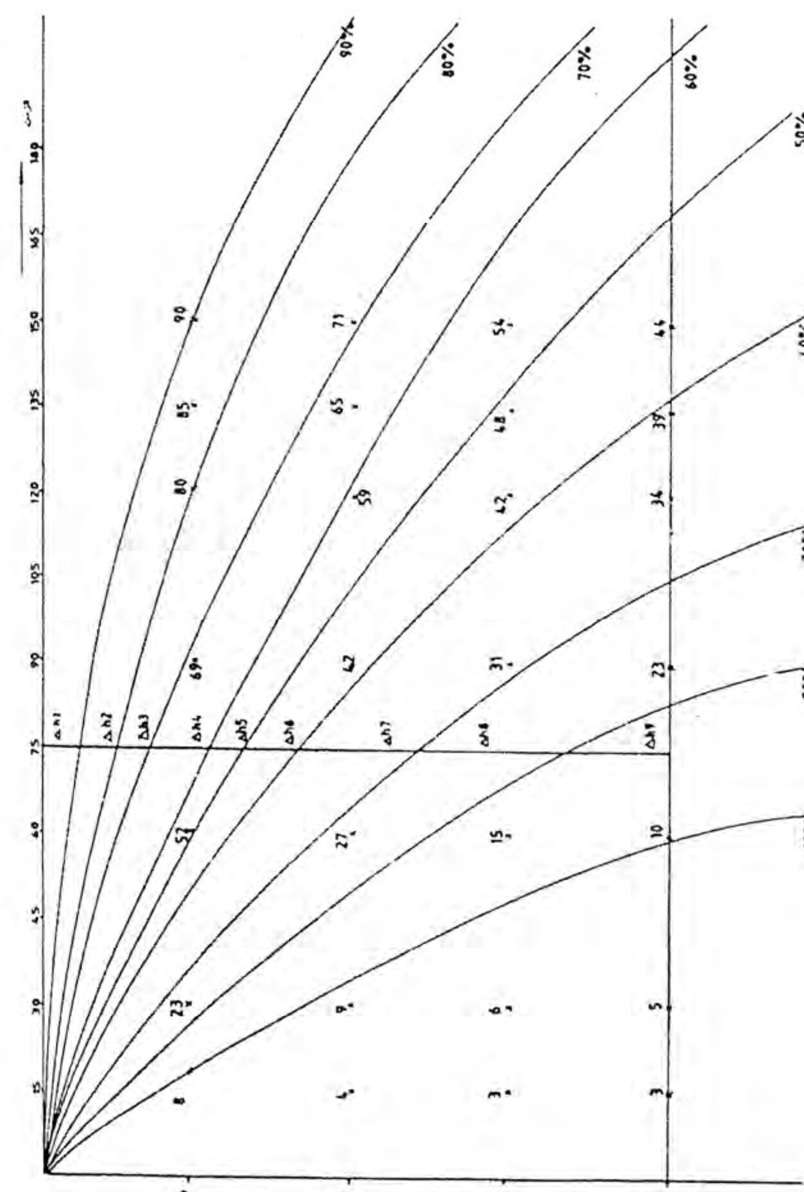
$. R_T = 43\ \%$

5- أوجد درجة تركيز المواد الصلبة العالقة في السائل الخارج من حوض الترسيب طبقاً للمعادلة

$C_e = C_O*(1 - R_T)$

وعليه:

$C_e = 200\times(1 - 0.43) = 114$ ملجم/ لتر.



شكل حل مثال 5-5

ج) التلبد والترويب Flocculation and Coagulation

التلبد والترويب من العمليات المؤثرة في وحدات تنقية الماء ومعالجة الفضلات السائلة. كما وتستخدم عمليات التلبد والترويب للتخلص من المواد الغروانية التي تأتي باللون والعكارة للماء. وعملية الترويب والتلبد فعالة لإزالة الحبيبات الصغيرة الحجم والمواد المسببة للعكارة والبكتريا.

وعادة تتأتى العكارة من وجود كميات قليلة من الطين الغروي العالق وبعض المعادن والمواد العضوية. أما اللون فيأتى من هيدروكسيد المعادن الغروية، وعادة ينسب إلى مركبات عضوية معقدة يطلق عليها الأحماض الفولفية Fulvic acids. ولا تتصرف بعض الحبيبات كجسيمات منفصلة أو متفردة في المحاليل المخففة نسبياً بل تتصادم مع بعضها متحدة أثناء ترسبها مما يزيد من سرعتها. وتعتمد عملية التلبد على عدة عوامل منها: عمق حوض الترسيب، ومعدل الدفق السطحي، وفرصة إلتقاء الحبيبات المترسبة، ودرجة تركيز ومقاس الجسيمات المترسبة، وخواص الوسط المرسب (مثل: معدل درجة الحرارة والرقم الهيدروجيني ونوع الأيونات بالمحلول ومقدارها، ودرجة العكارة)، نوع وخواص المروبات وطبيعتها ، وزمن الترويب وسرعته، وميل السرعة في جهاز الترويب. ولزيادة فعالية كفاءة عملية التلبد تضاف إلى الماء الخام كميات بسيطة من مواد كيميائية مروبة وتنقسم المروبات Coagulants إلى عضوية وغير عضوية أو تنقسم إلى طبيعية وصناعية .

ومن أهم أمثلة المروبات المستخدمة بكثرة في الحياة العملية مايلي {3}:

- مروبات الألمونيوم مثل: كبريتات الألمونيوم $Al_2(SO_4)_3 .18H_2O$ ، وشب النشادر، وشب البوتاسيوم، وألومنات الصوديوم. $NaAlO_2$
- مروبات الحديد وتضم الكوبراس المكلور

Chlorinated copperas $FeSO_4 .7H_2O + Cl_2, Fe_2(SO_4)_3 + FeCl_3$ وكلوريد الحديد (III) $FeCl_3.6H_2O$، وكبريتات الحديد(III) $Fe_2(SO_4)_3.7H_2O$ ، وكبريتات الحديد.(II) $FeSO_4.7H_2O$

- مساعدات المروبات مثل السيلكا النشطة، والمواد المخثرة (مثل طين البنتونيت، ودقيق السيلكا، والحجر الجيري، والكربون النشط)، والمواد المؤكسدة (مثل الكلور، والأوزون، وبرمنجنات البوتاسيوم)، والمواد متعددة الكتروليت.

ويمكن تقسيم الحبيبات التي تسهل إزالتها بوساطة المروبات إلى قسمين رئيسيين يضمان: المواد المحبة (الشغوفة) للماء Hydrophilic ، والمواد الكارهة للماء Hydrophobic

أما المواد الشغوفة بالماء فتتفاعل لحظياً مع الماء لتكون عالق يمكن إعادة إزالة الماء منه وإضافة الماء له بسهولة، ومن هذه المركبات النشا المذاب، والصمغ، والصابون، والمنظفات المصنعة، والدمBlood serum ، والبروتين. ويصعب إزالة هذه المواد بطرق المعالجة التقليدية.

لا تتشتت المواد الكارهة للماء مرة أخرى لحظياً عند إزالة الماء منها. كما ولا توجد قوى كبرى رابطة لهذه الجسيمات بالماء لا سيما ويعتمد إتزانها على التنافر . ومن أمثلة هذه المواد: معظم المواد غير العضوية والمواد العضوية الموجودة في الماء الطبيعي العكر، هذا بالإضافة إلى غرويات أكاسيد الفلزات {3، 21}

ومن المهم معرفة خواص العوالق الغروانية لأنها من أكثر العوالق إتزاناً في الماء مما يعطي لهذه الجسيمات الغروانية أشكالاً أكثر تعقيداً من أشكال الجسيمات الكروية. وهذه الخاصية تؤثر بصورة كبرى على خواص الجسيمات الغروانية. ومن الأشكال التي يمكن أن تتواجد: شكل الكرة، والأهليليجي، والصفيحة، والقضيب، والشعيرة {22}. ومن الخواص العامة للعوالق الغروانية مايلي:

- صعوبة إزالة العوالق الغروانية بعملية الترشيح العادية.
- استقرار نظام الغروانيات
- قابلية المواد الغروية للتلبد والترسيب.
- صعوبة كشف العوالق الغروانية بالمجهر العادي نظراً لصغر حجمها (1 نانومتر إلى 1 ميكرومتر)
- عدم ترسيب العوالق الغروانية (حركة براونBrownian motion) تحت قوى الجاذبية الأرضية نسبة للإصطدامات الكثيرة بينها
- قيام الجسيمات الغروانية بتشتت الضوء (ظاهرة تندال Tyndall effect)
- كبر نسبة المساحة السطحية للغروانيات إلى نسبة حجمها مما يزيد من أهمية القوى الكيميائية السطحية.

ومن أهم المؤثرات السطحية بالنسبة للجسيمات الغروانية الإمتزاز (أو قابلية المادة للتجمع على السطح)، والخواص الكهر-حركيةElectrokinetic (أو قابلية سطح الجسيم الملامس للماء لإمتلاك شحنة كهربائية)

أما القوى التي تربط الحبيبات المتجمعة مع بعضها البعض فهى إما قوى كولومColumbic forces ، أو قوى لندن- فان دير وول.London-Van der Waal's forces

تتأتى قوى كولوم من وجود الشحنات الموجبة أو السالبة الكلية على الحبيبات الأولية. ويمكن أن تكون هذه القوى جاذبة أو طاردة. كما ويتناقص مقدار هذه القوى مع مربع المسافة بين الجسيمات {22}. ويبين شكل 5-9 القوى العاملة بين الجسيمات الغروانية.

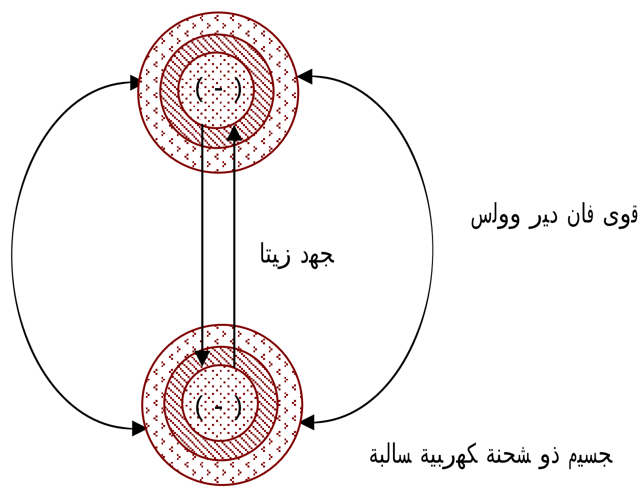
أما قوى لندن-فان دير وول فتظهر من أداء إلكترونات النوى أو جزيئات النظام. ودائماً تكون هذه القوى جاذبة وتؤثر على مسافات صغيرة جداً. تنشأ قوى لندن-فان دير وول من نقل الشحنات الإلكترونية وتركيزها داخل الجسيمات المحايدة. وهذا النقل للشحنات الكهربية يركز الشحنات الموجبة في جهة من الحبيبة والشحنات السالبة في الجهة المغايرة منها. وتدعى هذه الظاهرة الإستقطاب .Polarization ويقوم هذا الإستقطاب بإنتاج قوى جذب بين الحبيبات تتناقص مقاديرها مع مكعب المسافة بين الحبيبات. وعليه فإن قوى لندن-فان دير وول تؤثر لمسافة صغيرة جدا بين الجسيمات {3، 22}

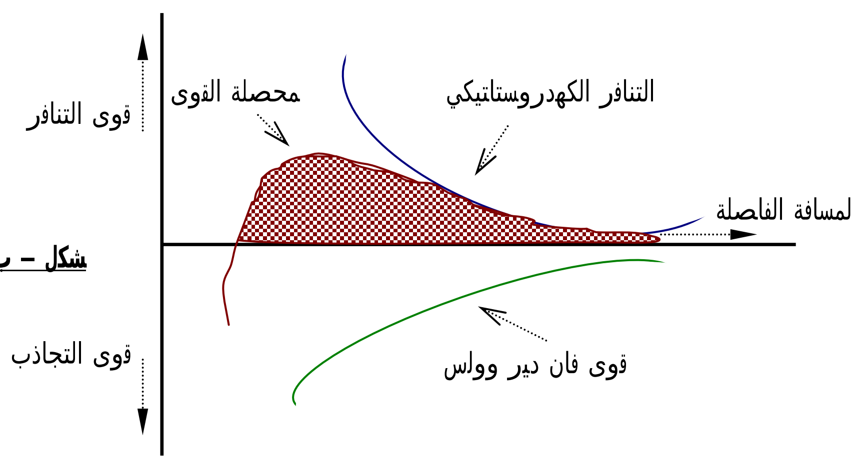
ولإتمام تلبد الحبيبات تعمل بعض الوسائل والطرق لحمل الحبيبات لتلامس بعضها البعض. ومن هذه الوسائل المؤثرة: حركة براون، والترسيب التفاضلي بين الحبيبات، وقوى القص.

أما حركة براون العشوائية فهى ثابتة ولا يمكن التحكم فيها، غير أنها محدودة التأثير كثيراً على عملية الترسيب وذلك لأن المسافات المتوسطة الحادثة تتساوى في جميع الجهات. أما التلبد والترسيب التفاضلي فيحدث فقط أثناء عملية الترسيب. وبالنسبة للحبيبات العالقة الأحادية التشتت يتم ترسب كل حبيبة بنفس سرعة الترسيب، كما ولا يتم ترسيب حبيبة أسرع من الأخريات. وهذا الوضع يقلل من وجود فرص التلامس مما يحد كثيراً من حدوث التلبد .

أما إذا كان النظام متعدد التشتت، فتترسب الحبيبات الكبيرة بسرعات ترسيب أكبر من سرعة ترسيب الحبيبات الصغيرة، وعليه فتزيد فرص تصادم الحبيبات ببعضها. ووجود الشحنة الكهربائية على سطح الحبيبة من أحد القوى التي تمنع تلبد الجسيمات. وذلك نسبة لأن الحبيبات تحمل شحنات كهربائية متماثلة، مما يزيد من تنافرها من بعضها البعض. ويقلل هذا التنافر من فرص التجمع. غير أن إضافة مواد غروانية أخرى تحمل شحنات مضادة للجسيمات تعمل على معادلة الشحن مما يزيد من فرص التصادم بين الحبيبات ومن ثم تلبدها.

تحمل الحبيبات الغروانية والمواد الصلبة العالقة المتواجدة في الماء شحنة كهربائية سالبة. وهذه الشحنة تحث شحنات موجبة في طبقة مجاورة من المحلول، وتسمى هذه الظاهرة بالطبقة الكهربائية الثنائية Electrical double layer وتعطى هذه الطبقة فرق جهد بين الحبيبات وبقية المحلول يسمى الجهد الكهر-حركي Electrokinetic potential، أو الرحلان الكهربي Electrophoretic mobility ، أو جهد زيتا Zeta potential.

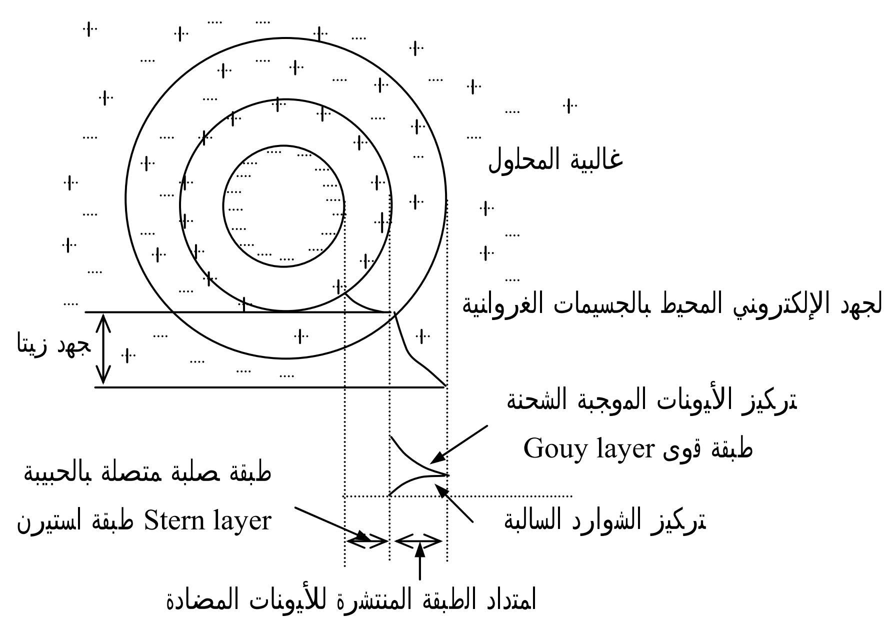




شكل 5-9 القوى العاملة بين الجسيمات الغروانية {3، 21}

وللتخلص من الجسيمات الغروانية لا بد من تقليل الرحلان الكهربي للتخلص من قوى التنافر بين الجسيمات التي تحمل شحنات كهربائية سالبة، إذ تعمل قوى التنافر على منع الجسيمات من الوقوع في التلبدات. وتقليل الرحلان الكهربي، أو جهد زيتا يساعد كثيراً في ترسيب المواد الغروانية الكارهة للماء.

يبين شكل 5-10 أساسيات الرحلان الكهربي، أو جهد زيتا. وتحمل الحبيبة الموضحة على شكل 5-10 شحنة كهربائية سالبة، يتمركز حول سطحها الخارجي مجموعة من الأيونات السالبة. تقوم هذه الشوارد السالبة الموجودة على سطح الجسيم الغرواني بجذب طبقة حولها من الأيونات الموجبة. وتأتي هذه الأيونات الموجبة إما من المحلول العالق أو من سطح الجسيم الغرواني. وتقوم قوى الجذب الإلكتروستاتيكية (الكهربية الساكنة) بجذب هذه الشوارد. وتتوزع هذه الأيونات بانتظام في كل المحلول بفضل حركة براون، أو بوساطة التحريك الحراري. ويسمى هذا النظام المشحون (سطح الجسيم الغرواني والأيونات حوله) بالطبقة الكهربائية الثنائية {3، 11، 12، 19}.



شكل 5-10 أساسيات الرحلان الكهربائي، جهد زيتا

عندما تزداد الشحنة السالبة على الجسيم الغرواني يتم جذب عدد من الأيونات الموجبة، مما يسمح بإلتصاق الشحنات على سطح الجسيم الغرواني مكوناً طبقة كثيفة قوية الإرتباط تسمى طبقة استيرن Stern layer. وتعادل هذه الطبقة جزئياً الشحنات والقوى الكهروستاتيكية الجاذبة للجسيم. ويقود هذا التعادل الجزئي لتنافر بقية الأيونات وحجزها بالقرب من الجسيم، مكونة الجزء المنتشر من الطبقة الثنائية أو ما يسمى بالطبقة المنتشرة Diffuse layer. ينجذب الجسيم الغرواني الأوسط بقوة بسبب المسافة وبسبب وجود الأيونات المضادة. وتقوم الأيونات المعاكسة المجاورة بتبادل شحنتها الموجبة، وبذا تعمل على حماية الأيونات الأخرى الواقعة على بعد منها. وبهذه

الطريقة يتم حجز الأيونات المعاكسة المعادلة بقوة بالقرب من الجسيم الغرواني، كما وتطرد الأيونات السالبة لأى أملاح موجودة من جوار الجسيم الغرواني. أما سمك الطبقة المنتشرة فيعتمد على درجة تركيز الأملاح الموجودة في المحلول. كما وأن طول الطبقة ينقص إلى بضع أنقسترومات بزيادة تركيز الأملاح.

ويمكن تعريف جهد زيتا على إنه "ذاك الجهد على سطح الجسيمات الغروانية، والذي يقوم بفصل الجزء المتحرك من الطبقة الثنائية عن الطبقة المنتشرة داخل المحلول". وعليه فهو عبارة عن "قياس شحنة الطبقة المنتشرة على وحدة مساحة الجسم الغرواني، وقياس لمدى الشحنة من جسم المادة الغروانية". ويمكن إيجاد جهد زيتا من المعادلة 5-30.

$$ZP = (4*\pi*B*q^+) / D_I \qquad 5\text{-}30$$

حيث:

ZP = جهد زيتا (فولت)

B = سمك الطبقة الجدارية Boundary layer

q^+ = الشحنة في الجسيم الغرواني

D_I = ثابت العزل Dielectric constant

أما الرحلان الكهربائي فيمكن تعريفه على أنه "معدل حركة الجسيم الغرواني إلى القطب تحت تأثير جهد كهربائي". ويمكن إيجاد الرحلان الكهربائي من المعادلة 5-31 {3، 21}

$$U = (y*A) / (t*i*R_S) \qquad 5\text{-}31$$

حيث :

U = الرحلان الكهربي Electrophoretic mobility (متر/ ث×فولت×م)

y = المسافة المقطوعة في الزمن t (م)

A = مساحة المقطع ($م^2$)

i = كثافة التيار (أمبير)

R_S = المقاومة النوعية للمحلول العالق (أوم×م)

وعملياً يمكن إفتراض علاقة بين جهد زيتا والرحلان الكهربائي كما مبينة في المعادلة 5-32.

$$ZP = (4* \pi *\mu*U) / D_I \qquad 5\text{-}32$$

حيث:

μ = درجة اللزوجة الديناميكية (نيوتن×ث/$م^2$)

وعادة يستخدم جهد زيتا للتحكم في عملية الترويب عند قياس الشحنة الكهر-حركية المحيطة بالمواد الصلبة الغروانية. ويكون جهد زيتا لمعظم الغروانيات في حدود 30 إلى 60 مللى فولت .

وتتراوح قيمة الرحلان الكهربائي بين 2×10^{-4} إلى 4×10^{-4} م/ث×فولت×سم بالنسبة للمياه الطبيعية. ويسهل قياس الرحلان الكهربائي بمشاهدة حركة الجسيمات تحت تأثير حقل تيار كهربائي بوساطة المجهر.

اختبار الجرة Jar test

يستخدم اختبار الوعاء لدراسة وتحديد كفاءة عملية الترويب. ومن الأهداف العامة لهذا الاختبار:

- تحديد كفاءة عمل المرويات المختلفة.
- تحديد الجرعة الأمثل Optimum dose لعملية الترويب.
- إيجاد الرقم االهيدروجيني المناسب لفعالية عملية الترويب.
- تحديد أفضل وأكفأ نمط يتم بموجبه إضافة ا العديد من المرويات المختلفةواستخدامه.
- تقويم أداء وحدات الترويب في المحطات.

وطريقة إجراء الاختبار يمكن تلخيصها في النقاط التالية: {3، 8، 12، 14، 23، 24}

1. تُملأ 6 كؤوس (سعة كل منها لتران) بمقدار معلوم من العينة المراد اختبارها.
2. يضاف لكل كأس المادة المروبة قيد البحث.
3. يخلط المحلول خلطاً سريعاً لمدة دقيقة بالتقليب بأقصى سرعة (100 دورة على دقيقة)
4. يتم تلبد العينة بمعدل خلاط مناسب (في حدود 20 إلى 70 دورة في الدقيقة) لمدة تتراوح بين 10 إلى 30 دقيقة.
5. يسجل زمن تكوين المتلبدات في كل كأس.
6. يوقف التقليب وتُسجل طبيعة المتلبدات، وشفافية الماء الفوقي، وخواص ترسيب المتلبدات، ودرجة العكارة أو تركيز المواد الصلبة (الكلية أو العالقة) أو الكثافة الضوئية أو الإمتصاص.

ويبين الجدول 5-2 الرقم الهيدروجيني الأمثل لبعض مواد الترويب.

جدول 5-2 الرقم االهيدروجيني الأمثل لبعض المرويات المختارة {3، 13}

المروب	الرقم الهيدروجيني
الشب	4 إلى 7
الكويراس المكلور	3.5 إلى 3.6 (وأكثر من 8.5)
كلوريد الحديد (II)	3.5 إلى 6.5 (وأكثر من 8.5)
كلوريد الحديد (III)	3.5 إلى 7 (وأكثر من 9)
كبريتات الحديد (II)	8.5 وأكثر

مراحل التلبد

أما تلبد الجسيمات الغروانية فيتم على مرحلتين يطلق على المرحلة الأولى التلبد حول الحركي Perikinetic floculation، ويطلق على المرحلة الثانية التلبد المتحرك في نفس الإتجاه.Orthokinetic floculation

إن التلبد حول الحركي يمثل المرحلة الأولى من التلبد. وفي هذا النوع من التلبد تلتصق الجسيمات ببعضها البعض أثناء حركتها العشوائية تحت تأثير حركة براون. ونسبة لأن فرصة أي تصادم بين الحبيبات تتناسب مع درجة تركيز الحبيبات في مثل هذا النوع من التلبد، وعليه من المتوقع أن يكون هذا التلبد سريعاً في المحاليل المركزة. ويقل الزمن المطلوب لإتمام هذه المرحلة من التلبد عن الدقيقة. ويمكن تمثيل معدل التلبد حول الحركي بالمعادلة 5-33.

$$I_{pk} = 8\,\pi * C_{DM} * d * n^2 \qquad 5\text{-}33$$

حيث:

I_{pk} = معدل التلبد حول الحركي

C_{DM} = معامل الإنتشار

d = المقاس الأولd للجسيم المتلبد

n = عدد التصادمات بين الجسيمات.

أما التلبد المتحرك في نفس الإتجاه فيمثل المرحلة الثانية من التلبد. وفيه تتحرك الجسيمات مع بعضها البعض بوساطة حركة الماء الهادئة. ويعتمد معدل التلبد على عوامل عدة منها: طبيعة الجسيمات ومقاسها ، ودرجة تركيز المواد الصلبة، وميل سرعة القص للمحلول. ويمكن تقدير التلبد المتحرك في نفس الإتجاه من المعادلة 5-34.

$$I_{orth} = (4 * G * n^2 * r^3)/3 \qquad 5\text{-}34$$

حيث:

I_{orth} = التلبد المتحرك في نفس الإتجاه

G = ميل السرعة (على ثانية)

n = عدد التصادمات مع الحبيبات في وحدة الزمن

r = نصف قطر الحبيبة الكروية (م)

وينجم ميل السرعة في جهاز التلبد بوساطة بدالات دوارة. وعليه فإن الحبيبات ذات المسار السريع يمكن أن تلحق وتصطدم مع الحبيبات ذات المسار البطئ الإندفاق. ويمكن إيجاد القدرة اللازمة لتحريك البدال عبر المائع من المعادلة 5-35 {3، 25}

$$w = \rho * C_D * (A * v^3/2) \qquad 5\text{-}35$$

حيث:

w = القدرة اللازمة لدفع البدال عبر المائع (جول/ث)

ρ = كثافة المائع (كجم/ م^3)

C_D = معامل السحب

A = مساحة البدال (م^2)

v = سرعة البدال مقارنة بالمائع (م/ث)

عادة تكون القدرة المطلوبة في حدود 2 إلى 5 كيلووات على المتر المكعب على الدقيقة.
ويمكن إيجاد ميل السرعة الناتج من القدرة الداخلة كما موضح في المعادلة 5-36.

$$G = (w/ \mu * V)^{1/2} \qquad 5\text{-}36$$

حيث:

G = ميل السرعة (على الثانية)

μ = درجة اللزوجة الديناميكية (نيوتن×ث/م^2)

V = حجم الحوض (م^3)

ويعتمد ميل السرعة الذي يقع بين 30 إلى 60 (على الثانية) على التصميم الهندسي. وبما أن الزمن من المعايير المهمة في عملية التلبد، فعادة (في التصاميم الهندسية) تؤخذ مقادير G*t لتقع في حدود 1×10^{14} إلى 1×10^5 حيث t هي زمن المكث في جهاز الترويب {3، 23}

مثال 5-6:

تستخدم محطة معالجة جهاز ترويب ضمن أحواض الترسيب لمساعدتها في التخلص من المواد الصلبة العالقة. ويبين الجدول التالي مواصفات حوض الترسيب بالمحطة:

المنشط	القيمة
درجة حرارة المائع	20°م
معامل السحب للبدال المستطيل	2
سرعة طرف البدال	30م/دقيقة
ميل السرعة	40 على الثانية
حجم جهاز الترويب	4000 متراً مكعباً

أوجد القدرة المطلوبة للنظام ومساحة البدال لإتمام عملية الترويب مستخدماً سرعة نسبية للبدال تساوي ثمانون بالمائة من سرعة طرف البدال.

الحل:

1- المعطيات: = 20°م، C_D = 2، v_p = 30 ÷ 60 = 0.5 م/ث، G = 40 /ث، V = 4000 م^3

2- أوجد درجة اللزوجة الديناميكية والكثافة من جدول (ج - 1) في الملاحق لدرجة الحرارة 20°م

μ = 1.009 × 10^{-3} نيوتن × ث/م2، ρ = 998.2 كجم/م^3

3- أوجد متطلب القدرة النظرية باستخدام المعادلة: $w = \mu * G^2 * V$

w = 1.009 × 10^{-3} × (40)^2 × 4000 = 6.46 كيلووات.

4- أوجد سرعة البدال = 0.8 × (سرعة طرف البدال) = 0.8 × 0.5 = 0.4 م/ ث.

5- أوجد مساحة البدال المطلوبة من المعادلة: $A = (2w) / (\rho * C_D * v^3)$

= (2 × 6.46 × 10^3) ÷ [2 × 998.2 × (0.4)^3] = 101 م^2

طرق إضافة المروبات

تتم إضافة تغذية المروبات بأحد الطرق التالية:

- تغذية جافة: وهذا نظام تشغيل بسيط يحتاج إلى مساحة صغيرة نسبياً. كما وأن آلات التغذية غير باهظة الثمن، غير أنه يصعب التحكم في جرعة المروب.{17}
- تغذية رطبة: وفي هذه الحالة يتم تحضير محاول من المروب بالجرعة المطلوبة ويحفظ في حوض، ثم يترك لينساب من الحوض إلى قناة الخلط. ويمكن التحكم في جرعة المروب بسهولة بوساطة أجهزة آلية، غير أن المواد الكيميائية الحارقة تؤثر على النظام وقد تجلب المشاكل ، {3، 25}

عمل المروبات المعدنية

إن عمل المروبات المعدنية وأداءها كثير التعقيد، ويمكن تلخيص عملها في الخطوات المبسطة التالية{3، 13}

1- إذابة الملح: تقلل إذابة الملح من جهد زيتا وذلك بتغيير تركيز الأيونات في الطبقة المحصورة. ويمكن تمثيل التفاعلات الحادثة لإذابة مروبٍ ما بتلك التفاعلات الناتجة عند إذابة كبريتات الألمونيوم كما موضح في المعادلة أدناه:

$$Al_2(SO_4)_3 \longleftrightarrow 2Al(H_2O)_6^{3+} + 3SO_4^{2-}$$

2- الحلمأة (الإذابة بالماءHydrolysis) الحلمأة تعني إنتاج هيدروكسيدات معقدة عالية الشحنة من جسيمات المعدن وحجز الحبيبات المتفردة في المترسب الكيميائي. وكمثال لذلك:

$$[Al(H_2O)_6]^{3+} + H_2O \xrightarrow{pH = 1.5} [Al(H_2O)_5OH]^{2+} + H_3O^+$$

$$[Al(H_2O)_5]^{2+} + H_2O \xrightarrow{pH = 2} [Al(H_2O)_4(OH)_2]^{+} + H_3O^+$$

$$[Al(H_2O)_4(OH)_3]^{+} + H_2O \xrightarrow{pH = 4.5} [Al(H_2O)_3(OH)_3] + H_3O^+$$

وعلى رقم هيدروجينى عالي، مثلاً رقم هيدروجيني يعادل 8 ينتج التفاعل الممثل أدناه:

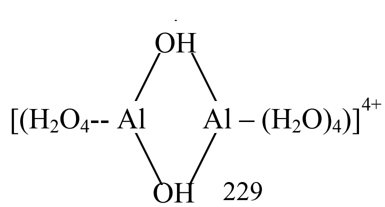
$$[Al(H_2O)_3(OH)_3] + H_2O \xrightarrow{pH = 8} [Al(H_2O)_2(OH)_4]^{-} + H_3O^+$$

وبذا تزداد القلوية بزيادة الرقم االهيدروجيني.

3- تكوثر البلمرة :Polymerization تجمع نواتج الحلمأة لتكون جزيئات مختلفة مثل:

$[Al_{13}(OH)_{34}]^{5+}$ و $[Al_8(OH)_{20}]^{4+}$ و $[Al_7(OH)_{17}]^{4+}$ و $[Al_6(OH)_{15}]^{3+}$

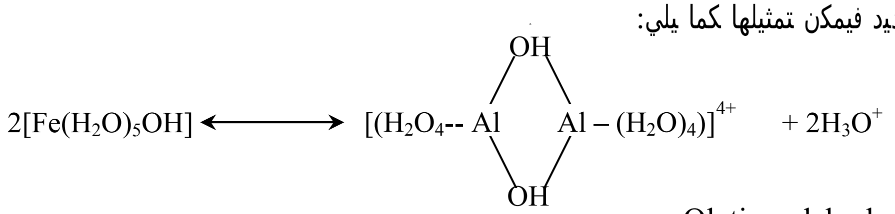
وفي الواقع يمكن تمثيل تكوين الأنواع متعددة النووية Polynuclear كما في النموذج الموضح أدناه



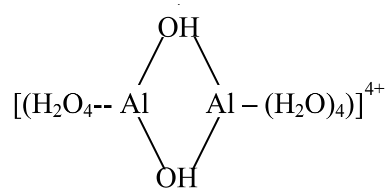
وهذه العمليات المعقدة يمكن تبسيطها في المعادلة التالية:

$$Al_2(SO_4)_3 + 6H_2O \longleftrightarrow 2Al(OH)_3 + 3H_2SO_4$$

وبالنسبة لحلمأة أملاح الحديد فيمكن تمثيلها كما يلي:



وتسمى بنزع الماء. Olation, dehydration



وتسمى إضافة الماء. Oxolation, depeotonation

ويمكن تمثيلها بصورة مبسطة كما موضح أدناه:

$$Fe^{+++} + 6H_2O \longleftrightarrow Fe(OH)_3 + 3H_3O^{+}$$

$$3H_3O^{+} + 3HCO_3^- \longleftrightarrow 3CO_2 + 6H_2O$$

وعليه تكون معادلة التفاعل الكلي كما يلي:

$$Fe^{+++} + 3HCO_3^- \longleftrightarrow Fe(OH)_3 + 3CO_2$$

د) التهوية Aeration

التهوية هي طريقة مصطنعة يتم فيها تلامس الهواء لسطح الماء بغية زيادة نقل جزيئات الهواء عبر الماء. ومن الأهداف العامة لهذه العملية مايلي:

- زيادة الأكسجين للمياه الجوفية لأكسدة الحديد والمنجنيز المذابين بها لتسهيل إزالتهما.
- إزالة ثاني أكسيد الكربون لتقليل تآكل المواد ولموازنة الرقم الهيدروجيني.
- التخلص من كبريتيد الهيدروجين لتفادى الطعم والرائحة ولتقليل تآكل الفلزات وتفتيت المواد الخرسانية.
- إزالة الزيوت الطيارة ومثيلاتها من مسببات الطعم والرائحة.
- إزالة غاز الميثان لتقليل مخاطر الحريق.
- إزالة غاز الأمونيا من الفضلات السائلة لتقليل المخاطرالمتوقعة إذا وجدت طريقها للمسطحات المائية.

ولابد من مراعاة استمرارية عملية التهوية وذلك لضمان تجديد السطح، مع توخي تقليل تكاليف الطاقة خاصة في المناطق الريفية من الدول النامية.

وهنالك عدة أنواع من أجهزة التهوية تضم: التهوية الفقاعية، والتهوية بالمساقط المائية الصناعية، والتهوية بالأبراج (مسقط الصينية) والتهوية بالرش، والتهوية الميكانيكية. {3، 5، 6، 9، 15، 26 – 30}.

أما التهوية بالمساقط المائية الصناعية فتعتمد أساساً على فارق الضغط. وتتكون أجهزة التهوية بالمساقط من مجموعة من الدرجات تقوم كل درجة منها بنشر الماء في شرائح رقيقة لتسهل تهويته. غالباً لا تحتاج أجهزة التهوية بالمساقط إلى إصلاح كبير كما ولا تحتاج لإهتمام ومراعاة كبرى كتلك التي تحتاجها أجهزة التهوية الأخرى. وتستخدم المساقط المائية بكفاءة عالية في محطات تنقية الماء للتهوية. وعند إزالة ثاني أكسيد الكربون تقوم كل درجة من المسقط بتكوين مساحة ملامسة جديدة مما يزيد من كفاءة تخفيض الغاز.

وفي أبراج التهوية يلتقى تيار الهواء الصاعد داخل البرج بنقاط الماء الهابطة من أعلاه (أنظر شكل 5-11ج). وعادة يقسم البرج إلى صواني مثقوبة يمكن ملؤها بوسط تلامس (مثل الفحم الحجري والحجارة والأنابيب البلاستيكية) لزيادة منطقة تلامس الهواء والسائل. وتتم التهوية في البرج بصورة طبيعية أو بحقن الهواء. وقد استخدمت الأبراج بكفاءة لإزالة الأمونيا وثاني أكسيد الكربون وكبريتيد الهيدروجين من ماء له ذوبانية قليلة إلى متوسطة. كما وتم استخدامها لإزالة العديد من المواد الطيارة الجالبة للطعم والرائحة. وتؤثر عدة عوامل في أداء أبراج التهوية منها: نوع البرج وحجمه ومساحته، ومساحة منطقة التلامس، وطول البرج والذي يحدد زمن التلامس بين الغاز وحيز السائل، ومعدل دفق الهواء والماء على وحدة المساحة، وإتجاه سريان كل من تيار الهواء والماء داخل البرج.

أما التهوية بالرش فيتم فيها رش الماء في شكل نقاط في حيز الهواء مما يكون حيز كبير لتداخل الماء والهواء لانتشار الغاز خلاله. وتوزيع الماء في الهواء يصحبه ضخ الماء عبر فتحات صغيرة موضوعة على أنابيب ثابتة. ويمكن زيادة نقل الغاز بتصغير الفتحات، وإدخال نقط ذات مساحة تلامس عالية بزيادة فقد السمت للفتحة مما يزيد من زمن التلامس بين الماء والهواء. وعادة تتم التهوية بالرش في العراء نسبة للمساحة الكبيرة المطلوبة، وهذا الوضع يساعد أيضاً في إزالة ثاني أكسيد الكربون والتي قد تقارب درجة زيادة الأكسجين.

وبالنسبة للتهوية الفقاعية يتم حقن هواء مضغوط عبر فتحات مختلفة الأحجام في حوض التهوية الذي يحوى الماء المراد تهويته. ويتم إنتقال الغاز حالما تخرج الفقاعة من الفتحة وترتفع عبر السائل وتتفرقع عند السطح ناشرة حيز مشبع بالأكسجين. وتنتج تهوية إضافية بوساطة ميل السرعة على السطح من جراء الدفق المضطرب للفقاعات المرتفعة. ومن العوامل المؤثرة في هذا النوع من التهوية: حجم الفقاعة وسرعة ارتفاع الفقاعة بالنسبة للسائل، وحجم وشكل جهاز التهوية، ووضع نقاط التهوية داخل الجهاز، ومعدل دفق الهواء على وحدة التهوية. ويزيد معدل نقل الغاز بنقصان حجم الفقاعة أو بزيادة العمق ومعدل دفق الهواء.

وتتم عملية التهوية الميكانيكية بوساطة أجهزة دوارة تغمر جزئياً في الماء لتساعد على نشر الماء فوق سطحه. وهذا الوضع يتمخض عنه في ذات الوقت دفق مائي حلزوني الشكل داخل حوض التهوية. ومن العوامل المؤثرة في عملية تبادل الغازات بالتهوية الميكانيكية مايلي:

- نشر الماء في شكل نقاط أو شرائح فوق السطح مما يولد مساحة تلامس كبيرة.

- المزج بإعادة دخول النقاط المائية المنتشرة إلى داخل الحوض.
- دوران الجهاز يساعد على بقاء الفقاعات داخله.
- نوع الدفق الناتج من التهوية داخل الحوض والذي يساعد في استحداث تجديد منتظم لسطح الماء به مما يساعد في تبادل الغاز.

يبين الشكل 5-11 بعض أنواع أجهزة التهوية والتي تضم المساقط الصناعية المتعددة الدرجات والمساقط المنحدرة والصينية بالإضافة إلى وحدة التهوية الميكانيكية.

إذابة الغاز في الماء

تعتمد كمية الغاز الذي يمكن إذابته في الماء على عوامل عدة منها: طبيعة الغاز المذاب، ودرجة تركيز الغاز في حيز الغاز، ودرجة حرارة الماء (المذيب)، وكمية الشوائب الموجودة في الماء. ومن المعروف أن ذوبانية الغاز تزداد بإزدياد درجة الحرارة، وتقل بزيادة كمية الشوائب في الماء.
وعندما تزداد درجة تركيز الغاز في حيز الغاز، كذلك تزداد درجة تركيز الغاز للتشبع في الماء طبقاً للعلاقة الموضحة في المعادلة 5-37.

$$C_S = k_D * C_g \qquad 5\text{-}37$$

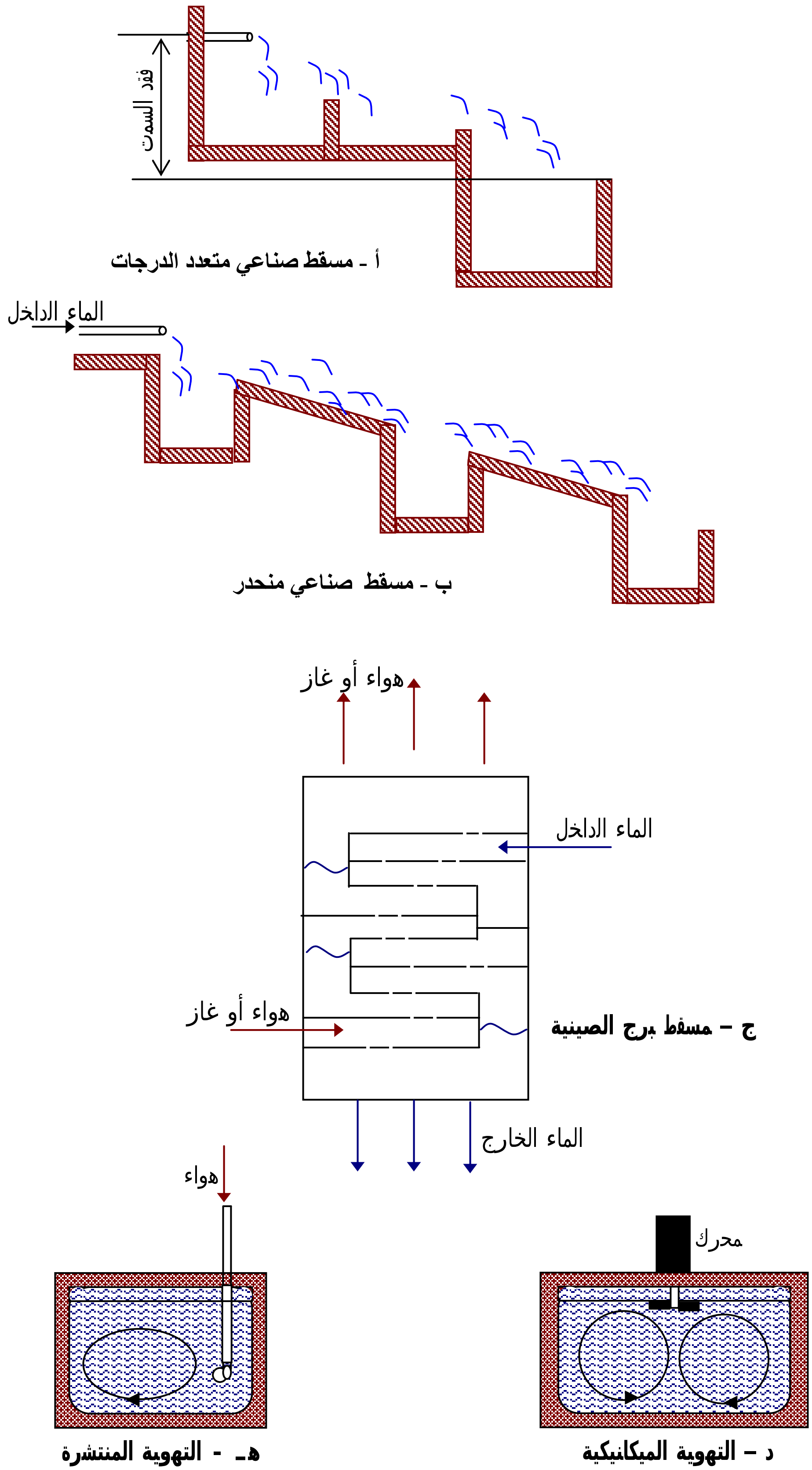
حيث:

C_S = درجة تركيز الغاز عند التشبع (ملجم/ لتر)

k_D = معامل التوزيع

C_g = درجة تركيز الغاز في حيز الغاز (ملجم/ لتر)

ويعتمد مقدار معامل التوزيع على طبيعة الغاز المذاب والسائل المذيب، ودرجة الحرارة. ويبين جدول 5-3 معامل التوزيع لبعض الغازات التي تضم الهواء والأمونيا وثاني أكسيد الكربون والهيدروجين وكبريتيد الهيدروجين والميثان والأزوت والأكسجين والأوزون لدرجات حرارة مختلفة.



شكل 5- 11 بعض أنواع أجهزة التهوية، {3، 4، 12، 15، 27، 30، 37}

ويمكن إيجاد درجة تركيز الغاز في حيز الغاز من المعادلة 5-38

$$C_g = P*MW / R*T \qquad 5\text{-}38$$

حيث:

C_g = درجة تركيز الغاز في حيز الغاز (ملجم/ لتر)

P = الضغط (باسكال أو نيوتن/م^2)

MW = الوزن الجزيئيي للغاز (جم)

R = ثابت الغاز العالمي (جول/ كلفن×مول)

T = درجة الحرارة (كلفن)

ويمكن إعادة صياغة المعادلة 5-38 لإيجاد درجة تركيز الغاز عند التشبع كما في المعادلة 5-39. وتعرف المعادلة 5-39 بقانون هنريHenry's law

$$C_s = k_H*P \qquad 5\text{-}39$$

حيث:

k_H = ثابت هنرd (جم / م^3× باسكال = جم / جول)

وتبين المعادلة 5-40 علاقة ثابت هنرd بالمتغيرات المؤثرة عليه.

$$k_H = k_D*MW / R*T \qquad 5\text{-}40$$

كما ويمكن إيجاد ذوبانية الغاز من قانون بنزن Bunson law كما موضح في المعادلة 5-41.

$$C_s = k_b*(MW*P) / R*T_o \qquad 5\text{-}41$$

حيث:

k_b = ثابت بنزن للإمتصاص، والذي يمكن إيجاده من المعادلة 5-42.

$$k_b = k_D *(T_o / T) \qquad 5\text{-}42$$

حيث:

k_b = ثابت بنزن للإمتصاص (جم/ جول)

T_o = درجة الحرارة القياسية (273.16 كلفن)

T = درجة الحرارة (كلفن)

تنتج زيادة درجة الحرارة نقصاناً في الذوبانية طبقاً لقاعدة لو شاتيل .Le Chatelier ونسبة لأن معامل التوزيع يمثل ثابت إتزان، فيمكن استخدام معادلة فانت هوف Van't Hoff's equation لإيجاد أثر التغير في درجة الحرارة على معامل التوزيع كما مبين في المعادلة 5-43.

$$(k_D)_2 = (k_D)_1 * e^{\lambda(T_2 - T_1)} \quad 5\text{-}43$$

حيث:

$(k_D)_2$ = معامل التوزيع لدرجة الحرارة T_2

$(k_D)_1$ = معامل التوزيع لدرجة الحرارة T_1

λ = ثابت

والجدير بالذكر أن معامل التوزيع المذكور أعلاه يتحقق للماء النقي. أما في حالة وجود شوائب أو عوامل تؤثر على ذوبانية الغاز فيمكن إيجاد ذوبانية الغاز من المعادلة 5-44 .

$$C_S = k_D * C_g / \varphi \quad 5\text{-}44$$

حيث:

φ =حد ثابت.

يساوي الحد الثابت φ الوحدة للماء النقي، وتزداد قيمته بزيادة درجة تركيز الشوائب الذائبة في الماء، والتي تعمل بدورها على تخفيف ذوبانية الغاز في الماء.

جدول 5-3 معامل التوزيع لبعض الغازات في الماء، {3، 30، 35، 38}

الغاز	الوزن الجزيئي، جم/مول	درجة الغليان، درجة مئوية	معامل التوزيع k_D لدرجة الحرارة المئوية			
			صفر	10	20	30
الهواء			0.0288	0.0234	0.02	0.0179
الأمونيا	17.03	33 -	1.3	0.943	0.763	
ثاني أكسيد الكربون	44.01	78 -	1.71	1.23	0.942	0.738
هيدروجين	2.016	253 -	0.0214	0.0203	0.0195	0.0189
كبريتيد الهيدروجين	34.08	62 -	4.69	3.65	2.87	
ميثان	16.014	162 -	0.0556	0.0344	0.0335	0.0306
نتروجين	28.01	196 -	0.023	0.0192	0.0166	0.0151
أكسجين	32	183 -	0.0493	0.0398	0.0337	0.0296
أوزون	48	112 -	0.641	0.539	0.395	0.259

مثال 5-8

أوجد درجة تركيز التشبع لأكسجين في ماء نقي على درجة حرارة 20 درجة مئوية ومعرض للهواء على ضغط 101.3 كيلوباسكال. علماً بأن الهواء يحتوي على نسبة 20.948 بالمائة من حجمه أكسجين. أوجد أيضاً ثابت هنري وثابت بنز لهذه الحالة.

الحل

1- المعطيات: T = 20 °م، نسبة الأكسجين = 0.20948، ضغط الهواء = 101.3 كيلوباسكال.

2-أوجد درجة الحرارة بالكلفن:

$T = 20 + 273.16 = 293.16$ كلفن.

3- أوجد من جدول 5-3 ثابت الانتشار الجزيئي للأكسجين على درجة حرارة 20°م ليساوي:

$k_D = 0.0337$

4- أوجد ضغط بخار الماء لدرجة حرارة 20°م $p_W = 2.33$ كيلوباسكال.

5- أوجد الوزن الجزيئيي للأكسجين: $MW = 16\times2 = 32$:

6- أوجد مقدار الضغط المؤثر:

$x(P - p_W) = 0.20948\times(101.3 - 2.33)\times10^{3} = 20732.2$ باسكال.

7- أوجد درجة تركيز التشبع للأكسجين باستخدام المعادلة $C_S = k_D * P * MW / R * T$:

$C_S = 0.0337\times20732.2\times32 \div (8.3143\times293.16) = 9.2$ جم/م^3

8- أوجد ثابت هنري من المعادلة $k_H = k_D * MW / R * T$

$k_H = 0.0337\times32 \div(8.3143\times293.16) = 4.4\times10^{-4}$ جم/جول

9- أوجد ثابت بنز من المعادلة: $k_b = k_D * (T_O / T)$

$k_b = 0.0337\times273.16 \div 293.16 = 0.0314$

ويمكن إيجاد كتلة انتشار الغاز من قانون فيك Fick's law كما موضح في المعادلة 5-45

$$dm/dt = - D*A*(\partial c/\partial x) \qquad 5\text{-}45$$

حيث:

dm/dt = معدل تغير كتلة انتشار الغاز

D = ثابت الانتشار الجزيئيي (م^2 / ث)

A = المساحة (م^2)

∂c/∂x = ميل درجة التركيز والتي تتغير بالانتشار.

x = المسافة من المساحة المبينة.

أما علامة السالب فتدل على أن اتجاه انتشار الغاز في اتجاه مضاد لميل درجة التركيز.

ويبين الجدول 5-4 ثابت الانتشار الجزيئيي لبعض الغازات التي تضم ثاني أكسيد الكربون والهيدروجين وكبريتيد الهيدروجين والميثان والنتروجين والأكسجين لدرجات حرارة مختلفة.

وهنالك العديد من النظريات المطروحة عن انتشار الغاز في الموائع مثل نظرية التغلغلPenetration theory ، ونظرية تجديد السطح Surface renewal theory ونظرية الشريط Film theory ، وغيرها من النظريات. ولمعرفة المزيد عنها يمكن الرجوع إلى المصادر المتخصصة في هذا المجال {7، 8، 30}

جدول 5-4 ثابت الانتشار الجزيئي لبعض الغازات في الماء، {3، 27، 30، 35، 38}

الغاز	الوزن الجزيئي، جم/مول	الكثافة لدرجة حرارة 20 °م وضغط 101.3 كيلوباسكال	ثابت الانتشار الجزيئي لدرجة الحرارة المئوية (10^{-9} م^2/ث)		
			10	20	30
ثاني أكسيد الكربون	44.01	1.98	1.3	1.68	2.26
هيدروجين	2.016	0.09	3.98	5.13	6.9
كبريتيد الهيدروجين	34.08	1.54	1.09	1.41	1.9
ميثان	16.014	0.72	1.16	1.5	2.02
نتروجين	28.01	1.25	1.27	1.64	2.2
أكسجين	32	1.43	1.39	1.8	2.42

<u>كفاءة المسقط الصناعي</u>

لإيجاد كفاءة المسقط الصناعي للتهوية يمكن استخدام المعادلة 5-46.

$$K = (C_e - C_o) / (C_s - C_o) \qquad 5\text{-}46$$

حيث:

K = كفاءة المسقط الصناعي (لابعدي)

C_o = درجة تركيز الغاز الداخل للمسقط (ملجم/لتر)

C_e = درجة تركيز الغاز الخارج من المسقط (ملجم/لتر)

C_s = درجة تركيز الغاز عند التشبع (ملجم/لتر)

أما بالنسبة لمسقط متعدد الدرجات فيمكن إيجاد درجة تركيز الغاز الخارج منه باستخدام المعادلة 5-47.

$$C_N = C_s - (C_s - C_o)*(1 - K_n)^N \qquad 5\text{-}47$$

حيث:

C_N = درجة تركيز الغاز في السائل النهائي الخارج من المسقط (ملجم/لتر)

K_n = كفاءة درجة المسقط الصناعd

N = عدد الدرجات.

مثال 5-9

ماء جوفي على درجة حرارة 20°م ودرجة تركيز الأكسجين الذائب فيه تعادل 10 بالمائة من درجة التشبع. أُستخدم مسقط صناعي خماسي الدرجات لتهوية هذا الماء الجوفي. كل درجة من درجات المسقط الصناعي يمكنها رفع درجة تركيز الأكسجين لمياه جوفية لاهوائية إلى 45 بالمائة من درجة التشبع. أوجد درجة تركيز الأكسجين للماء الخارج من المسقط الصناعي المستخدم.

الحل:

1- المعطيات: = 20 °م، $C_o = 0.1 \times C_s$ ، K = 45%، عدد درجات المسقط = N = 5

2- أوجد كفاءة كل درجة من درجات المسقط الصناعي باستخدام المعادلة: $K = (C_e - C_o) / (C_s - C_o)$

K = [(C_s ×0.45) صفر] (C_s - صفر) = 0.45 = 45%

3- أوجد درجة تركيز الأكسجين عند التشبع من جدول ج - 2 (في الملاحق) لدرجة حرارة 20 °م:

$C_s = 9.2$ ملجم/لتر.

4- أوجد درجة تركيز الماء الجوفي الداخل للمسقط:

$C_o = 0.1 \times C_s = 0.2 \times 9.2 = 1.84$ ملجم/لتر.

5- أوجد درجة الأكسجين الخارج من الدرجة الأولى باستخدام المعادلة: $C_e = C_o + K (C_s - C_o)$

$C_{e_1} = 1.84 + 0.45\times(9.2 - 1.84) = 5.152$ ملجم/لتر.

يمثل الماء الخارج من الدرجة الأولى نفس الماء الداخل للدرجة الثانية، وعليه يمكن إيجاد درجة تركيز الأكسجين في الماء الخارج من الدرجة الثانية على النحو التالي:

$C_{e_{II}} = 5.152 + 0.45\times(9.2 - 5.152) = 6.974$ ملجم/لتر.

ومن ثم تساوى درجة تركيز الأكسجين في الماء الخارج من الدرجة الثالثة:

$C_{e_{III}} = 6.974 + 0.45\times(9.2 - 6.974) = 7.976$ ملجم/لتر.

أما درجة تركيز الأكسجين في الماء الخارج من الدرجة الرابعة فتساوي:

$C_{e_{IV}} = 7.976 + 0.45\times(9.2 - 7.976) = 8.527$ ملجم/لتر.

ودرجة تركيز الأكسجين في الماء الخارج من الدرجة الخامسة تعادل:

$C_{e_V} = 8.527 + 0.45\times(9.2 - 8.527) =8.83$ ملجم/لتر.

أو يمكن إيجاد درجة تركيز الأكسجين في الماء الخارج من الدرجة الخامسة باستخدام المعادلة:

$C_N = C_s - (C_s - C_o)*(1 - K_n)^N$

وحيث: N = 5، $K_n = 0.45$، $C_o = 1.84$

فعليه:

$C_N = 9.2 - (9.2 - 1.84)\times(1 - 0.45)^5 = 8.83$ ملجم/لتر.

هـ) الترشيح Filtration

الترشيح هو عملية فصل الجسيمات الصلبة من السائل الحاوي لها. وتتم هذه العملية عبر فاصل أو حاجز ذي مسامات تمكنه من حجز الجسيمات على سطحه والسماح للراشح بالمرور خلال مسامه. (أنظر شكل 5-12).
وتفيد عملية الترشيح في مجال المياه في تحسين نوع المياه وترفيع مواصفاتها وذلك عبر أحد أو كل العمليات التالية:

- إزالة المواد الصلبة العالقة والجسيمات الغروانية.
- تقليل أعداد البكتريا الضارة وحمات الأمراض.
- إزالة اللون والطعم والرائحة.
- التغيير الكيميائي لخواص المواد الموجودة بالماء.
- إزالة الحديد والمنجنيز خاصة من المياه الجوفية العميقة.

تمر المياه في عملية الترشيح عبر طبقة ترشيحية لها خواص محددة لرفع الكفاءة الترشيحية، ومن هذه الخواص مايلي:

- قلة التكاليف
- التواجد بكميات مناسبة
- أن تكون المادة خاملة كيميائياً
- أن تكون المادة سهلة الاستخدام والنظافة
- أن تتحمل المادة الضغط الموجود.

ومن المواد المستخدمة كوسط ترشيحي في المرشحات: الرمل، والأنثراسيت، والحجارة المكسرة، والزجاج، واللدائن، والخرسانة المسامية، والتربة . Diatomaceious Earth وقد أثبت الرمل محاسنه مقارنة بالمواد الأخرى المستخدمة كمادة ترشيحية، نسبة للأسباب المدرجة أعلاه بالإضافة إلى الخبرة الطويلة المستقاة من استخدامه المكثف في محطات التنقية والمعالجة.

ميكانيكية الترشيح Mechanisms of filtration

يتم تحسن نوع الماء بعد ترشيحها بإزالة الشوائب وهذا التحسن يحدث بفضل عدة عوامل منها: التصفية الميكانيكية والترسيب والإمتزاز والنمو الحيوي والتفاعلات الكيميائية.
أما التصفية الميكانيكية فهى ظاهرة سطحية تعمل على فصل المواد الصلبة العالقة ذات القطر الأكبر من الفتحات المسامية بين حبيبات الرمل. ويظهر أثر التصفية الميكانيكية عبر بضع سنتمترات في الجزء الأعلى من الطبقة الترشيحية. وبمرور الزمن تزداد التصفية الميكانيكية. وتؤثر عدة عوامل على التصفية الميكانيكية منها على سبيل المثال: السرعة الترشيحية، وعامل الزمن، وكثافة المواد العالقة ونوعها ، وطبيعة الوسط الترشيحي وخواصه.

أما الترسيب فيعمل على إزالة الحبيبات العالقة الكبيرة الحجم والوزن من على سطح حبيبات الرمل. وتؤثر عوامل عدة على كفاءة وعمل الترسيب مثل: السرعة الترشيحية، وسرعة ترسيب المواد العالقة، ودرجة الحرارة، ودرجة اللزوجة، ومقاس الحبيبات، وعوامل التخثر، وعمق المرشح، والدفق المضطرب خلال المرشح.

وترتبط كفاءة الإمتزاز بالخواص السطحية للمادة الصلبة العالقة والشوائب. كما وتعمل قوى الإمتزاز على إزالة الحبيبات العالقة الصغيرة والمواد الغروانية والمواد الذائبة في الماء. وتلعب قوى الإمتزاز دورها الأكبر على مسافات صغيرة لا تتجاوز حدود 0.01 إلى 1 ميكرومتر. ويعزى لقوى الإمتزاز الدور الرئيس في إزالة الشوائب من الماء {10}. وتزيد بعض العوامل في كفاءة عمل قوى الإمتزاز كما وتؤثر على حركة وسير الشوائب خلال المرشح. ومن هذه العوامل: قوى الجاذبية الأرضية، والدفق المضطرب، والانتشار، والقصور الذاتي .

أما التفاعلات الكيميائية والحيوية فتساعد على إزالة المواد الذائبة عبر المرشح مما يغير من خواص الحبيبات والشوائب الموجودة بالماء. وتؤثر العديد من العوامل العاملة على إزالة الكثير من المواد العضوية والأمونيا والحديد والمنجنيز. ومن أمثلة هذه العوامل المؤثرة: نوع وخواص الماء الخام، وكمية الأكسجين المذاب بالماء، والمواد الغذائية، ودرجة الحرارة، وزمن الترشيح وطريقته ، وعمق المرشح، ونوع ووجود الكائنات الحية الدقيقة ووجود عوامل مساعدة {3}. وفي وجود الأكسجين تتفتت المواد العضوية حيوياً منتجة غاز الأمونيا والذي يتأكسد بدوره بمساعدة البكتريا للنترات. كما ويتم تحويل المواد الحديدية الذائبة إلى أكاسيد حديد مهدرجة غير قابلة للذوبان. وأيضاً يتأكسد المنجنيز إلى أكاسيده.

لا يعمل الترشيح بكفاءة عالية للتخاص من البكتريا والحمات وحبيبات الطين، وذلك لصغر مقاسها الأقل من الميكرون الواحد. وهذا الوضع لا يسمح للمرشحات الرملية السريعة بإنتاج مياه صالحة للشرب من منطلق الخواص البكتريولوجية. فمثلاً لا يتعدى معدل إزالة الإشريكية القولونية 2 إلى 10، مما يوجب معه إضافة عملية التخثر قبل وحدة الترشيح الرملي البطئ، أو إضافة وحدة التطهير بالكلورة لإزالة الكبريتات والجراثيم.

أنواع المرشحات

تقسم المرشحات على حسب السرعة الترشيحية بها وعلى حسب طريقة نظافتها إلى مرشحات سريعة وأخرى بطيئة. كما ويمكن تقسيم المرشحات على حسب الوسط الترشيحي بها إلى أحادية طبقة الترشيح ومتعددة طبقة الترشيح. كما ويمكن تقسيم المرشحات أيضاً على حسب حركة الماء إلى مرشحات تعمل تحت الجاذبية وأخرى عاملة تحت الضغط.

ولإيجاد عدد مرشحات الرمل السريع {16} يمكن استخدام المعادلة 5-48.

$$N = 12Q^{1/2} \qquad 5\text{-}48$$

حيث:

N = عدد مرشحات الرمل السريع.

Q = معدل دفق الماء ($م^3$/ ث)

أما لإيجاد عدد مرشحات الرمل البطئ فيمكن استخدام المعادلة التجريبية المدرجة في المعادلة 5-49.

$$N = 15Q^{1/2} \qquad 5\text{-}49$$

مثال 5-10

أُدخل الماء الخارج من جهاز ترسيب إلى مرشح رملي سريع بمعدل دفق يساوي 225 متراً مكعباً في الساعة. إذا كانت سرعة الترشيح 10 متراً مكعباً على المتر المربع في اليوم أوجد عدد المرشحات المطلوبة ومساحة كل مرشح.

الحل:

1- المعطيات: Q = 225 م^3/الساعة، v_f = 10 م^3/م^2/يوم

2- أوجد عدد المرشحات باستخدام المعادلة: $N = 12Q^{1/2}$

$N = 12(225 \div 60 \times 60)^{0.5} = 3$ مرشحات

يمكن أخذ 4 مرشحات (مرشح إحتياطي)

3- أوجد المساحة الكلية للمرشحات باستخدام المعادلة $A = Q / v_f$

$A = 225 \times 24 \div 10 = 540$ م^2

4- أوجد مساحة كل مرشح من المعادلة:

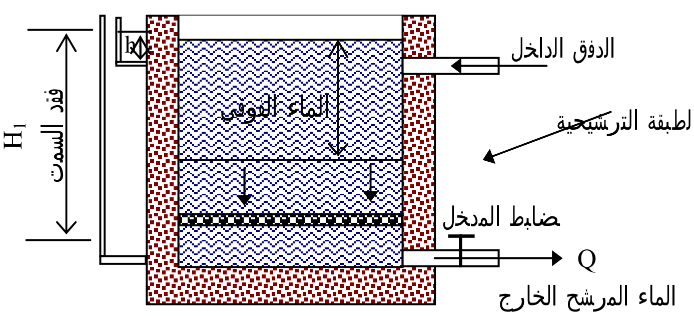
$$A_n = A / (N - 1) \qquad 5\text{-}50$$

حيث:

A = المساحة الكلية.

A_n = وحدة مساحة كل مرشح.

وعليه فإن: = 540 ÷ (4-1) = 180 م^2



شكل 5-12 رسم تخطيطي لفقدان السمت في المرشح

المصدر: مرجع 23، منشور بإذن

هيدروليكية الترشيح Hydraulics of filtration (أنظر شكل 5-12)

من أهم العوامل الواجب أخذها في الاعتبار عند تصميم المرشحات هي فقد السمت خلال الوسط الترشيحي. ومن المعروف أن فقد السمت يزيد كلما زاد قفل المسامات وإنسدادها بين حبيبات الرمل. ويبين الشكل 5-12 رسم تخطيطي لفقد السمت في مرشح رملي. وهنالك عدة معادلات يمكن استخدامها لإيجاد فقد السمت في الرمل النظيف. ومن أوائل هذه المعادلات تلك الموضوعة بوساطة كارمان وكوزني Carman Kozny equation. وفي هذه المعادلة أفترض أن المقاومة لإندفاق الماء عبر المرشح تماثل تلك التي تحدث في الأنابيب الدقيقة أو الشعرية وأيضا تماثل تلك المقاومة من السائل على المواد المترسبة. كما ويمكن استخدام معادلة روس Rose equation لإيجاد فقد السمت عبر المرشح. وتفترض المعادلة المستخدمة في هيدروليكية الترشيح وجود حبيبات منتظمة مكونة للوسط الترشيحي.

1) معادلة كارمان كوزني لإيجاد فقد السمت عبر الطبقة الترشيحية:

يمكن تقدير فقد السمت أثناء العملية الترشيحية لرمل نظيف بإفتراض أن المرشح يتكون من أنابيب يتحقق فيها قانون دارسي Darcy لفقد السمت. وتبين المعادلة 5-51 معادلة دارسي.

$$h_l = fLv^2/2dg \qquad 5\text{-}51$$

حيث:

h_l = فقد السمت (م)

f =معامل إحتكاك

L = عمق المرشح (م)

v = السرعة الترشيحية (م^2/ث)

d = قطر الأنبوب (م)

g = عجلة الجاذبية الأرضية (م/ث^2)

وبما أن الأنابيب أو المسارات عبر الرمل غير مستقيمة كما وأن القطر يتغير فمن الأنسب أخذ نصف القطر الهايدروليكي بدل قطر الأنبوب. وتبين المعادلة 5-52 العلاقة بين القطر ونصف القطر الهايدروليكي

$$d = 4r_H \qquad 5\text{-}52$$

حيث:

d = قطر الأنبوب (م)

r_H = نصف القطر الهايدروليكى (م)

وبالتعويض في المعادلة 5-51 تنتج المعادلة 5-53.

$$hl = fLv^2/8\, r_H\, g \qquad 5\text{-}53$$

أما سرعة الماء المقتربة من الرمل فيمكن إيجادها من المعادلة 5-54.

$$v_a = Q/A' \qquad 5\text{-}54$$

حيث:

v_a = سرعة الماء المقترب من حبيبات الرمل (م/ث)

Q = دفق الماء (م^3/ث)

A'= مساحة سطح الطبقة الرملية (م^2)

وسرعة الماء خلال الطبقة الترشيحية تبينها المعادلة 5-55.

$$v = v_a /e \qquad 5\text{-}55$$

حيث:

v = السرعة الترشيحية (م/ث)

e = مسامية الطبقة (جزء المسافات الفاتحة في الرمل)

والحجم الكلي للمسار = مسامية الطبقة×الحجم الكلي = eV

حيث:

V = الحجم الكلي (م^3)

والحجم الكلي للمواد الصلبة = $nV_p = (1- e)\ V$

حيث:

n = عدد الحبيبات

V_p = الحجم الذي تأخذه كل حبيبة

وعليه فيصبح الحجم الكلي = $nV_p/(1 - e)$

والحجم الكلي للمسارات = $e(nV_p/(1 - e))$

و المساحة الكلية المبتلة = nA_p

حيث

A_p = المساحة السطحية لكل حبيبة

ومن هذا السرد يمكن إيجاد نصف القطر الهايدروليكي كما موضح في المعادلة 5-56.

$$r_H = e(nV_p/(1 - e))/(nA) = (e/(1 - e))(V_p/A_p) \qquad 5\text{-}56$$

وللحبيبة الكروية الشكل يمكن استخدام المعادلة 5-57

$$V_p/A_p = d/6 \qquad 5\text{-}57$$

أما بالنسبة للحبيبة التي ليست كروية فيمكن استخدام المعادلة 5-58.

$$V_p/A_p = f(d/6) \qquad 5\text{-}58$$

حيث:

f = معامل الشكل = مساحة السطح للحجم المكافئ للكرة ÷ مساحة السطح الحقيقية

إن معامل شكل الحبيبات يساوي الوحدة بالنسبة للجسيمات الكروية الشكل والتي يكون قطر الحبيبات فيها يساوي ستة أضعاف الحجم مقسومة على المساحة. أما بالنسبة للحبيبات غير المنتظمة الشكل فيساوي فيها القطر ستة أضعاف الحجم مقسومة على كل من المساحة ومعامل شكل الحبيبات. ويمثل جدول 5-5 معامل شكل الحبيبات لبعض المواد التي تضم الرمل الزاوى والزجاج المسحوق ورقائق المايكا والرمل الكروي والرمل المستعمل.

جدول 5-5 معامل شكل الحبيبات لبعض المواد المختارة {3، 7، 10، 31}

المادة	معامل شكل الحبيبات
الرمل الزاوي Angular Sand	0.73
الزجاج المسحوق Crushed glass	0.65
رقائق المايكا Mica flakes	0.28
الرمل الكروي Spherical sand	1
الرمل المستعمل Worn Sand	0.89

ومن المعادلة 5-57 يمكن إيجاد نصف القطر الهايدروليكي كما مبين في المعادلة 5-59.

$$r_H = (e/(1 - e))f(d/6) \qquad 5\text{-}59$$

وهذه المعادلة تنتج:

$$h_1 = E_1L(1 - e)v_a^2/\phi de^3g \qquad 5\text{-}60$$

وهذه المعادلة يمكن تبسيطها بأخذ الثابت التقريبي المبين في المعادلة 5-61 في الحسبان.

$$E = (150(1 - e)/Re) + 1.75 \qquad 5\text{-}61$$

حيث:

Re^{*} = رقم رينولد= $\phi\rho v_a d/\mu$ 5-62

E = ثابت كارمان-كوزني.

وتمثل المعادلة 5-60 معادلة كارمان-كوزني.

وما جرى ذكره يتحقق لطبقة ترشيحية تتكون من حبيبات ذات حجم واحد منتظم. وبالنسبة لطبقة رملية ذات حبيبات غير منتظمة فإن قطرها يمكن إيجاده من المعادلة 5-63.

$$d = 6\phi(V/A)_{av} \qquad 5\text{-}63$$

أو:

$$d = 6\phi(V_{av} / A_{av}) \qquad 5\text{-}64$$

حيث:

V_{av} = متوسط حجم كل الحبيبات

A_{av} = متوسط مساحة كل الحبيبات

وهذه تنتج فقد سمت كما مبين في المعادلة 5-65.

$$h_1 = (EL(1 - e)v_a^2/6e^3g)(A/V)_{av} \qquad 5\text{-}65$$

ويمكن تقريب الحد $(A/V)_{av}$ بأخذ $(6\phi)\sum\left(\frac{x}{d'}\right)$

حيث:

x = جزء وزن الحبيبات المحجوزة بين أى مصفاتين (غربالين)

d' = القطر المتوسط الهندسى بين أى مصفاتين.

وبأخذ التقريب الموضح أعلاه في الحسبان وبما أن معامل الإحتكاك لا يتغير مع عمق المرشح، يمكن إيجاد فقد السمت لأى طبقات ترشيحية غير منتظمة مثل تلك التي توجد في مرشح الرمل البطئ كما مبين في المعادلة 5-66.

$$dh_1/dL= ((1 - e)v_a^2/(\phi e^3g))(f/d') \qquad 5\text{-}66$$

ويمكن إيجاد فقد السمت الكلي بتكامل المعادلة 5-66. وبإفتراض أن الحبيبات بين المصافي المتجاورة منتظمة يمكن الحصول على المعادلة 5-67.

$$h_1 = \left[L\frac{(1-e)v_a^2}{\phi e^3 g}\right]\sum\left(\frac{fx}{d'}\right) \qquad 5\text{-}67$$

حيث:

h_1 = فقد السمت للمرشح (م)

e = معامل المسامية (لا بعدي)

v_a = سرعة الترشيح (م / ث)

L = ارتفاع الطبقة الترشيحية (م)

g = عجلة الجاذبية الأرضية (م / ث^2)

d = قطر حبيبات الرمل (م)

f = معامل شكل الحبيبات.

وقد استخدم روس التحليل البعدي Dimentional Analysis لإيجاد فقد السمت خلال المرشح وتمثل المعادلة 5-68 معادلة روس.

$$h_f = (1.067*C_D*v_f^2*L) / (g*d*\phi*e^4)] \qquad 5\text{-}68$$

حيث:

h_f = فقد السمت للمرشح (م)

C_D = معامل السحب أو معامل نيوتن للسحب. وتبين المعادلة 5-69 طريقة تقدير معامل السحب.

$$C_D = \left(\frac{24}{Re}\right) + \left(\frac{3}{\sqrt{Re}}\right) + 0.34 \qquad 5\text{-}69$$

v_f = سرعة الترشيح (م / ث)

L = ارتفاع الطبقة الترشيحية (م)

g = عجلة الجاذبية الأرضية (م / ث^2)

d = قطر حبيبات الرمل (م)

f = معامل شكل الحبيبات

e = معامل المسامية (لا بعدي)

Re = رقم رينولد.

ويمكن إيجاد رقم رينولد من المعادلة 5-70

$$Re = \rho*v*d/\mu \qquad 5\text{-}70$$

مثال 5-11

أستخدم مرشح ثلاثي الطبقات (الطبقة الثالثة في الأعلى) مكون من طبقتين رمل وطبقة انثراسايت في محطة تنقية مياه. ويبين الجدول التالي خواص المرشح:

الخواص	طبقة الرمل	طبقة الرمل	طبقة الأنثراسايت
ارتفاع الطبقة الترشيحية (م)	0.6	0.6	0.5
متوسط قطر الحبيبات (ملم)	0.5	1.1	1.5
كثافة الحبيبات	2.65	2.1	1.4
معامل شكل الحبيبات	0.92	0.78	0.89
مسامية الطبقة(%)	50	46	50
سرعة الترشيح (م^3/ م^2×يوم)	240	240	240
درجة حرارة الماء	(20 °م)		

1. أوجد فقد السمت خلال المرشح مستخدماً كل من معادلة روس ومعادلة كارمان-كوزني.

2. أوجد الخطأ المئوي بين المعادلتين المستخدمتين لإيجاد فقد السمت.

الحل:

1- المعطيات: طبقة الرمل الأولى: L = 0.6 م، $D = 0.5\times10^{-3}$ م، $\phi = 0.92$، $e = 0.5$

طبقة الرمل الثانية: L = 0.6 م، $D = 1.1\times10^{-3}$ م، $\phi = 0.78$، $e = 0.46$

طبقة الإنثراسايت L = 0.5 م، $D = 1.5\times10^{-3}$ م، $\phi = 0.89$، $e = 0.5$

2- أوجد قيمة السرعة الترشيحية: $= 240 \div (24\times60\times60) = 2.78\times10^{-3}$ م/ث

3- أوجد من جدول ج - 1 في الملاحق قيم درجة اللزوجة الديناميكية والكثافة للماء على درجة حرارة 20°م كما يلي: $\mu = 1.0087\times10^{-3}$ نيوتن×ث/م^2، و $\rho = 998.203$ كجم/م$^{-3}$.

4- أوجد فقد السمت عبر الطبقة الترشيحية باستخدام معادلة روس.

طبقة الرمل الأولى:

- أوجد قيمة رقم رينولد من المعادلة: $Re = \rho*v*d/\mu$

$Re = 998.203\times2.78\times10^{-3}\times0.5\times10^{-3}\div1.0087\times10^{-3} = 1.37$

- أوجد معامل نيوتن للسحب من المعادلة: $C_D = (24 / Re) + (3 / [Re]^{1/2}) + 0.34$

$C_D = (24 \div 1.37) + [3 \div (1.37)^{0.5}] + (0.34) = 20.37$

- أوجد فقد السمت عبر هذه الطبقة باستخدام المعادلة: $h_f = (1.067*C_D*v_f^2*L) / (g*d*\phi*e^4)]$

$h_f = 1.067\times20.37\times(2.78\times10^{-3})2\times0.6\div(9.81\times0.5\times10^{-3}\times0.92\times0.5^4)$

= 0.357 م = 357 ملم .

طبقة الرمل الثانية:

- أوجد قيمة رقم رينولد من المعادلة: $Re = \rho*v*d/\mu$

$Re = 998.203\times2.78\times10^{-3}\times1.1\times10^{-3}\div1.0087\times10^{-3} = 3.024$

- أوجد معامل نيوتن للسحب من المعادلة: $C_D = (24 / Re) + (3 / [Re]^{1/2}) + 0.34$

$C_D = (24 \div 3.024) + [3 \div (3.024)^{0.5}] + (0.34) = 10$

- أوجد فقد السمت عبر هذه الطبقة باستخدام المعادلة: $h_f = (1.067*C_D*v_f^2*L) / (g*d*\phi*e^4)]$

$h_f = 1.067\times10\times(2.78\times10^{-3})2\times0.6\div(9.81\times1.1\times10^{-3}\times0.78\times0.46^4)$

= 0.131 م = 131 ملم .

طبقة الإنثراسايت:

- أوجد قيمة رقم رينولد من المعادلة: $Re = \rho*v*d/\mu$

$Re = 998.203\times2.78\times10^{-3}\times1.5\times10^{-3}\div1.0087\times10^{-3} = 4.12$

- أوجد معامل نيوتن للسحب من المعادلة: $C_D = (24 / Re) + (3 / [Re]^{1/2}) + 0.34$

$C_D = (24\div4.12) + [3 \div (4.12)^{0.5}] + (0.34) = 7.64$

- أوجد فقد السمت عبر هذه الطبقة باستخدام المعادلة: $h_f = (1.067*C_D*v_f^2*L) / (g*d*\phi*e^4)]$

$h_f = 1.067\times7.64\times(2.78\times10^{-3})^2\times0.5\div(9.81\times1.5\times10^{-3}\times0.89\times0.5^4)$

= 0.039 م = 39 ملم.

- أوجد فقد السمت الكلى على الطبقة الترشيحية = فقد السمت عبر طبقة الرمل الأولى + فقد السمت عبر طبقة الرمل الثانية + فقد السمت عبر طبقة الإنثراسايت = 357 + 131 + 39 = 527 ملم.

5- أوجد فقد السمت عبر الطبقة الترشيحية باستخدام معادلة كارمن وكوزني

<u>طبقة الرمل الأولى:</u>

- أوجد قيمة رقم رينولد: $Re = 1.374$
- أوجد قيمة الثابت E من المعادلة: $E = [150\ (1\text{-}e) / Re] + 1.75$

$$E = [150 \times (1 - 0.5) \div 1.374] + 1.75 = 56.34$$

- أوجد قيمة فقد السمت من معادلة كارمان-كوزني $h_f = [E*(1\text{-}e)*v_f^2*L] / (g*d*\phi*e^3)$

$$h_f = [56.34 \times (1 - 0.5) \times (2.78 \times 10^{-3})^2 \times 0.6] \div [9.81 \times 0.5 \times 10^{-3} \times 0.92 \times (0.5)^3]$$

= 0.232 م = 232 ملم.

<u>طبقة الرمل الثانية:</u>

- أوجد قيمة رقم رينولد: $Re = 2.024$
- أوجد قيمة الثابت E من المعادلة: $E = [150\ (1\text{-}e) / Re] + 1.75$

$$E = [150 \times (1 - 0.46) \div 2.024] + 1.75 = 28.54$$

- أوجد قيمة فقد السمت من معادلة كارمان-كوزني $h_f = [E*(1\text{-}e)*v_f^2*L] / (g*d*\phi*e^3)$

$$hf = [28.54 \times (1 - 0.46) \times (2.78 \times 10^{-3})^2 \times 0.6] \div [9.81 \times 1.1 \times 10^{-3} \times 0.78 \times (0.46)^3]$$

= 0.087 م = 87 ملم.

<u>طبقة الإنثراسايت:</u>

- أوجد قيمة رقم رينولد: $Re = 4.12$:
- أوجد قيمة الثابت E من المعادلة $E = [150\ (1\text{-}e) / Re] + 1.75$:

$$E = [150 \times (1 - 0.5) \div 4.12] + 1.75 = 19.95$$

- أوجد قيمة فقد السمت من معادلة كارمان-كوزني $hf = [E*(1\text{-}e)* v_f^2*L] / (g*d* \phi *e^3)$:

$$hf = [19.95 \times (1 - 0.5) \times (2.78 \times 10^{-3})^2 \times 0.5] \div [9.81 \times 1.5 \times 10^{-3} \times 0.89 \times (0.5)^3]$$

= 0.024 م = 24 ملم.

- أوجد فقد السمت الكلى علي الطبقة الترشيحية = 232 + 87 + 24 = 343 ملم.

6) أوجد الخطأ بين قيمتي فقد السمت من معادلتى روس وكارمن كوزني كما يلي:

الخطأ = [(527 - 343) × 100] ÷ 527 = 35.%

<u>الترشيح الرملي السريع</u>

يستخدم في المرشحات السريعة الرمل كمادة ترشيحية ومن الأنسب استخدام رمل قطر حبيباته يتراوح بين 0.4 إلى 1.2 ملم. ونسبة لأن الرمل المستخدم خشن coarse فإن مسامات الطبقة الترشيحية تكون كبيرة نوعاً ما مما يسهل معه تغلغل الحبيبات والشوائب إلى داخل المرشح. وبذا فإن كفاءة المرشح للتخلص من الشوائب تزداد مما يسهل معه ترشيح المياه ذات العكارة الكبيرة. وقد استُخدامت المرشحات الرملية السريعة في مجالات مياه الشرب والنواحي الصناعية بطرق عديدة منها:

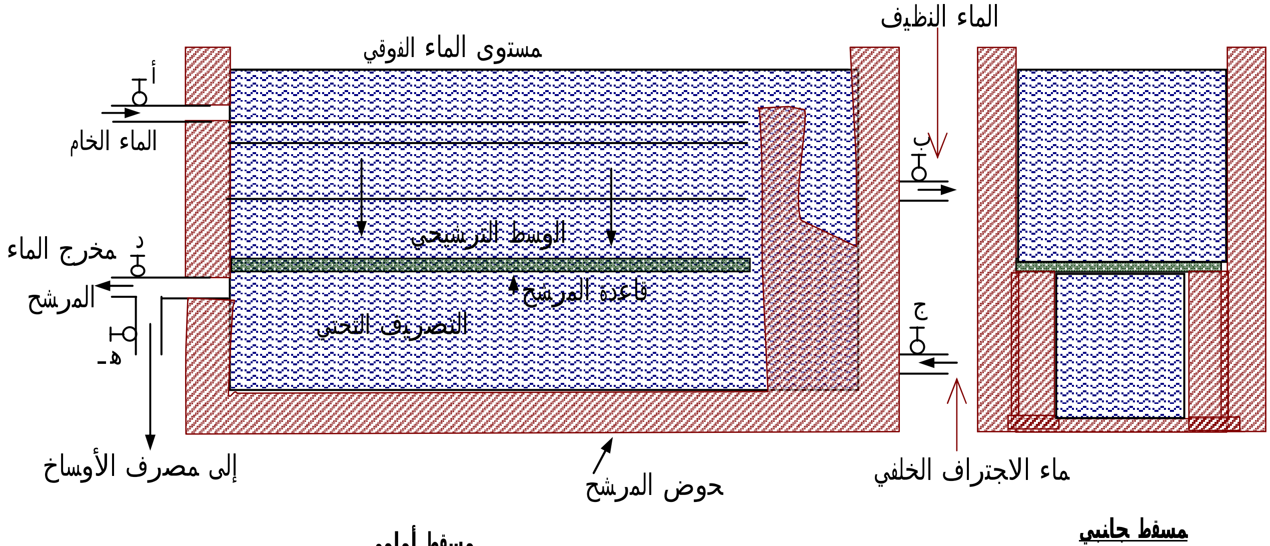
أ) كوحدة تنقية متكاملة: وذلك للتخلص من الحديد والمنجنيز في المياه الجوفية العميقة، وعادة في هذا المنحي تُضاف وحدة تهوية قبل وحدة الترشيح. وبالنسبة للمياه السطحية العكرة والتي تحمل قدر بسيط من المواد الصلبة العالقة يضاف إلى وحدة الترشيح وحدة ترويب سابقة لها ووحدة تطهير لاحقة بها.

ب) كوحدة تنقية إبتدائية: وذلك بغية التخلص من معظم المواد الصلبة العالقة في الماء الخام، ثم يدخل الراشح إلى مرشحات رملية بطيئة حيث تكتمل تنقيته. ومن هذا المنطلق تعمل وحدة الترشيح على تقليل حمل المواد الصلبة العالقة الداخلة للمرشحات البطيئة.

ج) كوحدة تنقية نهائية تتبع وحدات تنقية تقليدية: وذلك لإزالة آخر الشوائب، ويقتضي الحال استخدام رمل قطره بين 0.5 إلى 1 ملم.

تشغيل المرشح الرملي السريع

يبين الشكل 5-13 رسم تخطيطي لمرشح رملي سريع يتم فيه إدخال الماء الخام عبر الصمام (أ) ليجد طريقه إلى الطبقة الترشيحية، ومن ثم يعبر نظام التصريف التحتي لينساب خارج المرشح عبر الصمام (ب). ونسبة للإنسداد التدريجي لمسام الطبقة الترشيحية تزداد المقاومة لمسار الماء أسفل الطبقة الترشيحية، مما يقلل من السرعة الترشيحية. ومن ثم يتطلب هذا الوضع زيادة فتح الصمام (أ) مما يسمح بدفق أكبر للماء. وإذا تم فتح الصمام (أ) إلى آخره دونما الحصول على الراشح المطلوب من المرشح، يقتضي الحال البدء في نظافة المرشح ليتم الحصول على الدفق المطلوب من الماء النقي. ولإتمام نظافة المرشح يغلق الصمامان (أ) و(ب) ويفتح الصمام (ج) لنزح المياه المتبقية على المرشح. وبعد مدة يتم فتح الصمام (د) ليسمح بدخول مياه النظافة من الإتجاه المعاكس أو ما يسمى بالإجتراف الخلفي (أنظر الشكل 5-14). ولا بد من زيادة الإجتراف الخلفي حتى يسمح بتمدد الوسط الترشيحي ومن ثم يتمكن من كسح حبيبات الرمل وإزالة ما بها من شوائب. أما مياه النظافة فيتم تجميعها في قرارة الماء Trough ، ثم تُصرف خارجاً عبر الصمام (هـ). وبعد إتمام عملية النظافة بالإجتراف الخلفي يغلق الصمامان (د) و (هـ). ثم يعاد فتح الصمام (أ) لتبدأ دورة ترشيحية أخرى. وعملية الإجتراف الخلفي يمكن إتمامها بسرعة إذ أن ما تحتاجه من زمن لا يتجاوز نصف ساعة، وقد تطول (أو تقصر) الفترة الزمنية المطلوبة بين نظافة وأخرى اعتماداً على نوع المياه المطلوب ترشيحها.



شكل5-13 تشغيل المرشح الرملي السريع

أنواع المرشحات الرملية السريعة

توجد عدة أنواع من مرشحات الرمل السريعة منها على سبيل المثال: {3}

1- مرشحات ضغط المكبس Pressure filters (أنظر الشكل 5-15): وفي هذه المرشحات يتم ضم الطبقة الترشيحية ونظام التصريف التحتي داخل وعاء واحد غير نفاذ للماء ومصنوع من الحديد أو من مادة مماثلة، ويعمل المرشح تحت ضغط محكم. وعادة تستخدم قوة دفع كبيرة للماء لإتمام العملية الترشيحية والسماح بالحصول على الزمن الترشيحي المطلوب. ومن المعروف أن مرشحات ضغط المكبس ليست سهلة التركيب والتشغيل والترميم والصيانة، مما يحد من استعمالها في المناطق الريفية من الدول النامية.

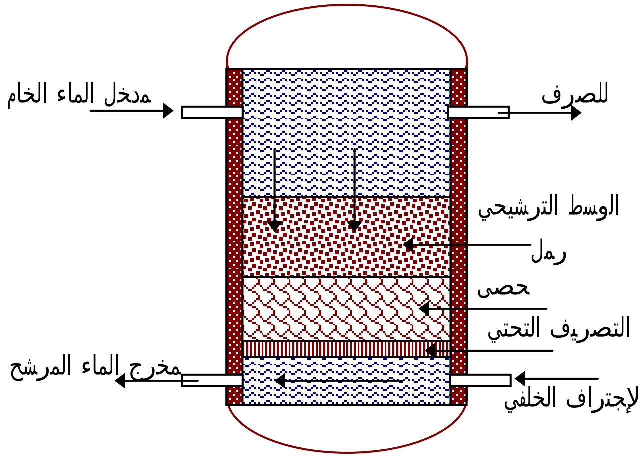
2- مرشحات الدفق الرأسي المنساب إلى أعلى Upflow filters (أنظر الشكل 5-16): هذه المرشحات تساعد على الحصول على نظام متدرج من الترشيح، يبدأ من الوسط الترشيحي الخشن ويتدرج إلى الوسط الترشيحي الناعم. ويساعد الوسط الترشيحي الخشن على إزالة قدر كبير من الشوائب العالقة دونما زيادة كبيرة في مقاومة الطبقة الترشيحية.

3- المرشحات متعددة الطبقات Multiple media filters (أنظر الشكل 5-17): وتعمل هذه المرشحات تحت قوى الجاذبية الأرضية. ويتكون المرشح من عدة طبقات ترشيحية تبدأ بالرمل الخشن وتتدرج إلى الرمل الناعم في إتجاه سريان الماء المرشح.

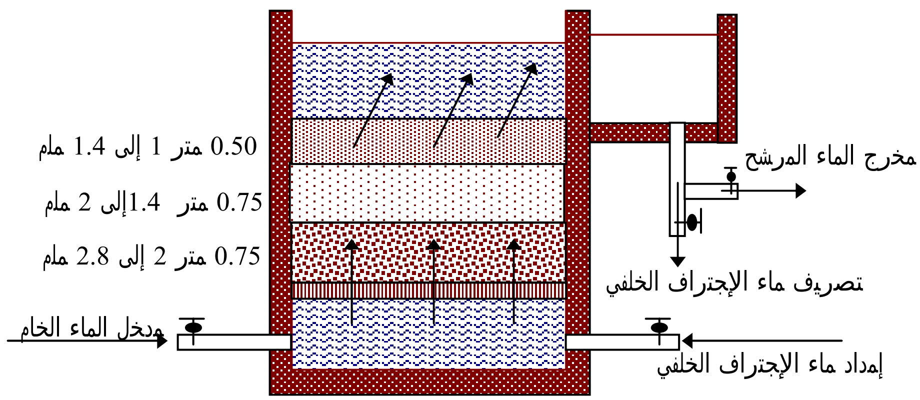
تصميم المرشحات الرملية السريعة

عند تصميم مرشحات الرمل السريع ينبغي مراعاة النقاط التالية:

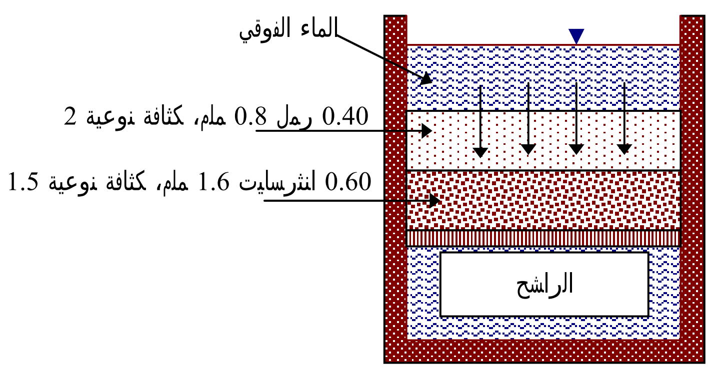
- اختيار سرعة ترشيحية في حدود 5 متر/ساعة.
- استخدام حبيبات رمل لا يقل قطرها عن 0.8 ملم لتفادي حدوث أى مشاكل تشغيلية. وعليه من الأفضل استخدام رمل خشن يتراوح قطره بين 0.6 إلى 1 ملم.
- من المستحسن استخدام مرشح عميق. مثلاً من المقترح استخدام مرشح يتراوح عمقه بين 60 إلى 80 سم عند التفكير في التنقية الدقيقة التالية للتخثر والترسيب، واختيار عمق 80 إلى 120 سم للتنقية الإبتدائية السابقة للترشيح الرملي البطئ، وتحديد عمق المرشح بين 150 إلى 300 سم لإزالة الحديد من المياه الجوفية مثلاً {3، 16}
- يؤخذ عمق المياه فوق الطبقة الترشيحية بين 100 إلى 150 سم للمرشحات التي تعمل بزيادة الضغط، وبين 25 إلى 40 سم للمرشحات التي تعمل بنقصان في الضغط مما يساعد في تصميم مرشحات ذات صندوق صغير. غير أن هذه المرشحات ربما أتت بمشاكل ربط الهواء في المرشح Air binding. ومشاكل ربط الهواء ينتج عنها تدني في نوع الراشح، كما وتقلل من زمن الترشيح، وتساعد في فقدان الوسط الترشيحي أثناء عملية الإجتراف الخلفي المستخدم لنظافة المرشحات الرملية السريعة.



شكل 5-15 رسم تخطيطي لمرشح ضغط المكبس {3، 20، 25، 35}



شكل 5-16 مرشح الدفق الرأسي المنساب إلى أعلى {3، 16، 20، 35}



شكل 5-17 المرشح المتعدد الطبقات {3، 16، 20، 35}

مرشحات الرمل البطئ

يبين شكل 5-18 رسم تخطيطي لمرشح رمل بطئ. ويحتوى هذا المرشح على وسط ترشيحي يتكون من رمل ناعم، يمر خلاله الماء المراد ترشيحه. ويقوم المرشح بحجز غالبية الشوائب العالقة في الطبقة العليا من وسطه الترشيحى والذي لا يتجاوز عمقه حدود 0.5 إلى 2 سم. وعمق الطبقة الترشيحية هذا يساعد على نظافة المرشح. وتتم هذه النظافة بجرف الطبقة العليا من الرمل. وبما أن السرعة الترشيحية المستخدمة قليلة فإن الفترة بين نظافة وأخرى تكون طويلة نسبياً، إذ قد تصل إلى بضع شهور اعتماداً على ظروف المناخ وطبغرافية المنطقة {3}

ومن محاسن مرشحات الرمل البطئ ما يلي:

- إنتاج نوع جيد من الماء النقي الخالي من المواد الصلبة والشوائب العالقة.
- الحصول على ماء صحي خالي من الجراثيم.
- يسهل تصميم المرشح وإنشاؤه باستخدام مواد بناء محلية.
- لا يحتاج تشييد المرشح إلى خبرة وكفاءة عالية، مما يسمح بالإستفادة من الخبرة المحلية.
- لا يحتاج المرشح إلى أجهزة ميكانيكية وكهربائية معقدة، ومن ثم لا يحتاج إلى قطع غيار نادرة وباهظة
- التكاليف.
- تكلفة إنشاء المرشح قليلة كما وأن صيانته رخيصة.
- هذا النوع من المرشحات سهل التشغيل، خاصة للعامل البسيط ومشغل المحطة في الدول النامية.

أما المعضلة الأساسية التي تواجه اختيار هذا النوع من وحدات التنقية هو المساحات الكبيرة التي تحتاجها هذه المرشحات. وهذا القصور ربما مثل عقبة كأداء في المدن والمناطق الحضرية حيث يرتفع ثمن الأرض ويصعب إقناع المستثمر والسياسي بأهميتها مقارنة بالعائد الواضح الذي يمكن جنيه من مناحي أخرى لاسيما ويصعب قياس صحة الإنسان، وهذا الوضع يجعل من الأمثل استخدام المرشحات الرملية البطيئة في ريف البلدان النامية.

عمل المرشح الرملي البطئ

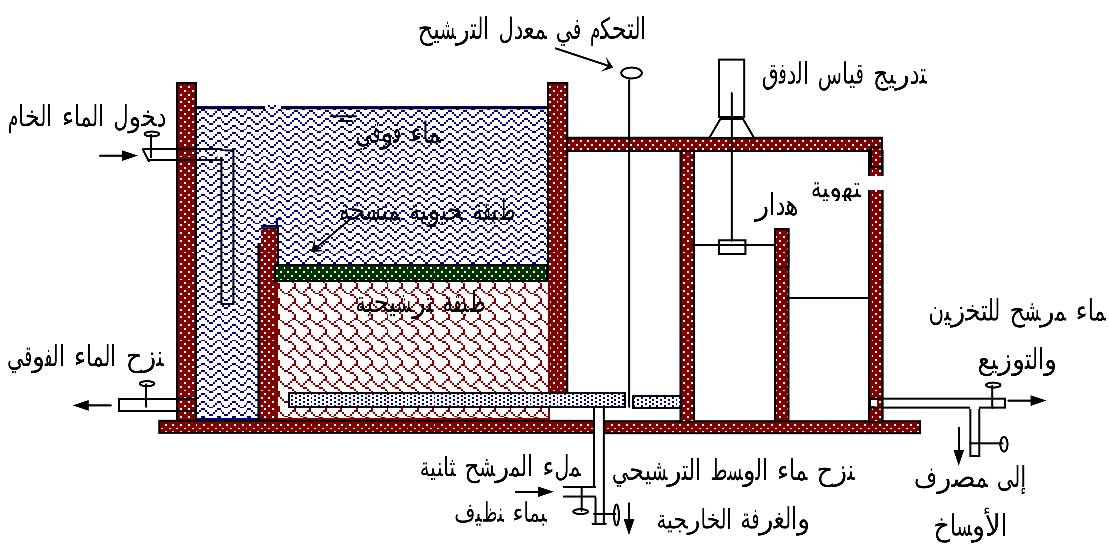
يتكون مرشح الرمل البطئ من حوض مفتوح من أعلاه، ويحوى بداخله الوسط الترشيحي. أما عمق الحوض فيكون عادة في حدود 3 متر، وتتفاوت مساحته من بضعة عشرات إلى مئات من الأمتار المربعة. يوجد في أسفل حوض الترشيح نظام تصريف تحتي Under drainage system يعمل على حمل ثقل الوسط الترشيحي، كما ويساعد في إنبثاق الماء بإنتظام خارج المرشح. ويجهز المرشح بعدة صمامات وأجهزة تحكم لتنظيم دخول الماء الخام للمرشح وخروج الراشح النقى منه.

للطحالب دور مهم وأساسي في تنقية المياه بالترشيح البطئ. يكثر وجود الطحالب في المرشحات المفتوحة وذلك لإحتياجها إلى ضوء الشمس لإتمام عملية التمثيل الضوئي (شأنها شأن النباتات). وعن طريق التمثيل الضوئي وفي وجود الطاقة الشمسية تتمكن الطحالب من بناء الخلايا من مواد بسيطة مثل: الماء، وثاني أكسيد الكربون،

والنترات، والفوسفات ..الخ. وبعد مضي فترة تكبر الخلايا الطحلبية ويزيد حجمها، الشئ الذي يعوق سريان الماء أسفل المرشح. وهذا الوضع يتطلب الإزالة الدورية للطحالب والعمل على النظافة المستمرة للمرشح.

ومن أنواع الطحالب التي يمكن أن تتواجد في المرشحات الرملية البطيئة: الأنواع الشعيرية Filamentous والتي تقوم بتكوين حصيرة جلاتينية (هلامية) على سطح المرشح. وتعمل هذه الحصيرة الهلامية على إزالة المواد العالقة والبكتريا بالتصفية والإمتزاز. كما وتتكاثر البكتريا في المرشح وتقوم بإنتاج وحل بكتيري Bacterial slimeيطلق عليه الطبقة المتسخة .Schmutzdecke تعمل هذه الطبقة المتسخة كوسط لاصق للنباتات المائية المغمورة Plankton والحيوانات المجهرية Diatoms ، مما يساعد في زيادة كفاءة عمليات التصفية والإمتزاز لإزالة الشوائب ومنعها من التغلغل داخل المرشح، مما يزيد من فترة الترشيح ويقلل من إنسداد مسامات المرشح. ويجب في مثل هذه المرشحات العمل على تجنب حدوث أي ضغط سالب. وذلك لأن الضغط السالب يعمل على تحرر الغازات الذائبة، مما يسمح بتجمع فقاعات الهواء المتكونة في الوسط الترشيحي. وتعمل هذه الفقاعات على زيادة المقاومة تجاه دفق المياه أسفل المرشح، كما وأن الفقاعات المرتفعة ذات المقاس الكبير تعمل على تكوين ثقوب في الوسط الترشيحي، مما يسمح بمرور المياه خلالها دونما خضوعها للتنقية الملائمة {3}.

ويبين الجدول 5-6 مقارنة عامة بين مرشحات الرمل البطيئة ومرشحات الرمل السريعة من حيث أسباب التنقية والوضع في المحطة والكفاءة المتوقعة وخواص الماء الخام الذي يسهل تعاملها معه والعمر المتوقع لها والخواص التصميمية لها والفترة التشغيلية وأساليب النظافة والتقويم.



شكل 5-18 الأجزاء الأساسية في مرشح رمل بطيء ذي تحكم على المخرج {32}

Source: Visscher, J., T., Paramasivam, R., Raman, A. & Heijnen, H., A., .Slow Sand Filtration for Community Water Supply< TP 24, IRC, The Huge, The Netherland. Reprinted & Translated by courtesy of the publisher IRC.

جدول 5-6 مقارنة عامة بين مرشحات الرمل البطيئة ومرشحات الرمل السريعة من حيث أسباب التنقية

المنشط	مرشحات الرمل السريعة	مرشحات الرمل البطيئة
أسباب التنقية	فصل المواد الصلبة العالقة، والتخاص من الجراثيم	التخاص من الجراثيم، وإتمام المعالجة
الوضع في محطة التنقية	بعد اللبود والترويب، أو بعد الترسيب	مع أو بدون اللبود والترويب، أو بعد مرشحات الرمل السريعة
الكفاءة	تعتمد على خواص الماء الخام، وعلى معايير التصميم	تعتمد على خواص الماء الخام، وعلى معايير التصميم
عكر الماء الخام المسموح به	عالي	متوسط (أقل عن NTU15)
العمر التصميمي	من 10 إلى 15 سنة	من 10 إلى 15 سنة
العمر الافتراضي	طويل نسبياً	طويل نسبياً
سرعة الترشيح (م/ساعة)	من 5 إلى 15	من 0.1 إلى 0.2
المساحة الكلية	دفق الماء ÷ سرعة الترشيح	دفق الماء ÷ سرعة الترشيح
مساحة كل وحدة ترشيح	المساحة الكلية ÷ (عدد المرشحات-1)	$A/(N - 1)$ أو $A/(N - 2)$
الأبعاد		$L = 2A^*/\sqrt{(N + 1)}$ $B = (N + 1)^*L /2N$
مقاس الحبيبات الفعال (ملم)	من 0.4 إلى 3	من 0.15 إلى 0.35
معامل الانتظام C_u	أكبر من 1.2 إلى 1.5	أقل من 3 إلى 5 (2.5 بالمتوسط)
ارتفاع الوسط الترشيحي (م)	من 0.6 إلى 3	من 0.8 إلى 1.2
ارتفاع الماء الفوقي (م)	من 1 إلى 1.5	من 1 إلى 1.5
أقل ارتفاع قبل إعادة وضع الرمل	يعتمد على التنقية	حوالي 0.5 متر
عدد المرشحات (أقل عدد مرشحان)	$12\sqrt{Q}$	$15\sqrt{Q}$
فترة التشغيل	24 ساعة في اليوم (لا يسمح بالتشغيل المتقطع)	24 ساعة في اليوم (لا يسمح بالتشغيل المتقطع)
الفترة الزمنية بين عمليتي نظافة	من 12 إلى 72 ساعة	من 20 إلى 60 يوماً أو أكثر
مقاومة الوسط الترشيحي	من 1.5 إلى 4 متر	من 1.5 إلى 4 متر
طريقة النظافة	بالإجتراف الخلفي بوساطة الماء أو بالماء والهواء	جرف الطبقة العليا بحدود 0.5 إلى 2 سم
إزالة الحمأة	يدوياً أو ميكانيكياً (آلياً) أو هيدروليكياً	يدويا أو ميكانيكيا (آليا) أو هيدروليكيا
المادة المستخدمة لبناء المرشح	خرسانة، طابوق، طوب، مواد بلاستيكية	خرسانة، طابوق، طوب، مواد بلاستيكية (لدنة)
الترميم والإصلاح	مستمر	مستمر
المخاطر	نمو الطحالب، والتغير في نوع الماء، والانسداد	نمو الطحالب، والتغير في نوع الماء، والانسداد
مقاييس التحكم	فقد السمت، ومعدل الدفق، والعكر	فقد السمت، ومعدل الدفق، والعكر
أهم المعايير النوعية التي يتم اختيارها	العكر، والخواص الحيوية والميكروبولوجية	العكر، الخواص الحيوية الميكروبولوجية

4-5 الوحدات المتقدمة لتنقية الماء

أ) الإمتزاز Adsorption

تعني عملية الإمتزاز حجز أيون أو جزيئ أو فصله من مادة معينة على سطح جزيئ مادة ممتزة. ومن ثم فإن الإمتزاز ظاهرة سطحية تختلف عن الإمتصاص Absorption والذي تتم فيه إزالة الجزيئ داخل المادة الممتصة.
ومن هذا المنطلق يمكن تعريف الإمتزاز على أنه عملية سطحية تتضمن انتقال المادة المذابة (الممتزة) من المائع إلى سطح المادة الصلبة (المازة) عند ملامستها له. وللمواد الجيدة الإمتزاز نسبة عالية من مساحة السطح إلى الحجم، كما ولها سطح نشط. وهذا يعني أن المواد المازة ذات مسامية عالية نسبة لإمتلائها بشعيرات دقيقة.

ويمكن تقسيم عملية الإمتزاز إلى طبيعية وكيميائية. ينتج الإمتزاز الطبيعي (Physiosorption) (أو ما يسمى بإمتزاز فان دير وول) من قوى تجاذب (ثنائية القطب أو الكتروستاتية) داخلية واقعة بين جزيئات المادة الصلبة والعناصر الممتزة. وفي هذا النوع من الإمتزاز يصل سمك الطبقة الممتزة إلى بضع جزيئات (Multilayer adsorption). ومن خواص الإمتزاز الطبيعي أنه عملية عكسية، كما وأن المواد الممتزة لا تذوب في المادة الصلبة المازة، غير أنها تبقى على أسطحها.

أما الإمتزاز الكيميائى (أو التمزز الكيميائى Chemosorption) فينتج تفاعل كيميائى بين المادة الصلبة المازة والمادة الممتزة، مما يمكن الأولى من الإلتصاق بقوة الرابطة الكيميائية على سطح المادة الصلبة المازة. وتتغير في هذا النوع من الإمتزاز القوى التي تعمل على المادة الممتزة والأسطح المازة بصورة كبيرة، غير أن قوى الإلتصاق أكبر من تلك الموجودة في حالة الإمتزاز الطبيعي. وفي هذا النوع من الإمتزاز تنتج طبقة واحدة من الجزيئات على سطح المادة المازة.(Monolayer adsorption)

عادة وفي معظم الحالات لا يمكن الحصول على المادة الأصلية بالمج .Desorption وعند غمر مادة صلبة مازة في سائل تنتج حرارة عند إتمام عملية الإمتزاز. ويمكن تحديد الإمتزاز الظاهري للمادة المذابة والذي يعتمد على درجة تركيز المادة المذابة، ودرجة الحرارة، ونوع المادة المازة.

ومن العوامل المؤثرة على عملية الإمتزاز: نوع المادة المازة ومساحتها سطحها ووزنها ، والخواص الكيميائية للمادة المازة، وطبيعة المادة الممتزة وحجمها وشحنتها ودرجة تركيزها ، وطبيعة المحلول أو الغاز الذي يحدث فيه إنتشار الملوث، والنظام الملامس، ودرجة حرارة الوسط، ووجود مواد ممتزة منافسة.
وتستخدم عملية الإمتزاز في العديد من المشارب في مجال تنقية المياه ومعالجتها ، فمثلاً تُستخدم لإزالة الملوثات القليلة من سائل أو غاز (مائع) معين بعيد تمريرها عبر مادة صلبة مازة. ومن أمثلة المواد المازة الكربون النشط، والغرابيل الجزيئية، وهلام السليكا، وبعض التربة الطبيعية، ويستحسن استخدام الكربون الحبيبي لإزالة الملوثات العضوية من المخلفات الصناعية السائلة.

تقدير كفاءة الإمتزاز

أُستخدمت عدة صيغ تجريبية لمقارنة كمية الملوثات الممتزة من الغاز أو الماء إلى كمية المادة المازة ولتقويم كفاءة المادة المازة. وتعتمد هذه الصيغ على العلاقة بين كمية المادة الممتزة (تحت ظروف الإتزان) ودرجة الحرارة الثابتة في النظام، ويطلق على هذه العلاقة منحنى تساوي الحرارة. ومنحنى تساوي الحرارة هو عبارة عن تمثيل لسعة المادة المازة مقارنة بين ضغط المادة الممتزة الجزئي لدرجة حرارة معينة. ومن محاسن منحنى تساوي الحرارة مايلي {36، 37}:

- تقويم كمية الملوث الممتز على درجات تركيز متباينة.
- تقدير سعة المادة المازة تجاه التخلص من الملوث.
- تقدير سعة المادة المازة للتخلص من ملوثات متعددة.
- تقويم مساحة سطح المادة المازة.

وهنالك العديد من صيغ منحنى تساوي الحرارة من أهمها المنحنيات المطورة بوساطة Freundlich وLangmuir و.Brunauer-Emmett-Teller وتعتبر معادلة فروندليش لمنحنى تساوي الحرارة Freundlich isotherm من أشهر الصيغ المستخدمة. ومعادلة فروندليش لمنحنى تساوي الحرارة صيغة تجريبية تتحقق للإمتزاز وحيد الطبقة وللمحاليل المخففة لمدى درجات تركيز قليلة. وتلعب قوى فان دير وول دوراً كبيراً. وتبين المعادلة 5-49 الصيغة الرياضية لمعادلة فروندليش لمنحنى تساوي الحرارة.

$$(x/m) = k*C^{1/n} \qquad 5\text{-}49$$

حيث:

x = مقدار كتلة العنصر أو الملوث الممتز من المحلول (مول)

m = كتلة المادة المازة (مول)

k, = n ثوابت توجد من بيانات التجارب المخبرية

C = درجة تركيز أيون الفلز أو الملوث في المحلول عند حالة الإتزان.

وبأخذ الخوارزم للمعادلة 5-49 يمكن تحويلها لمعادلة خط مستقيم كما مبين في المعادلة 5-50.

$$\text{Log}(x/m) = \text{Log}\,k + (1/n)\text{Log}\,C \qquad 5\text{-}50$$

وإذا أنتجت البيانات خط مستقيم عند رسم Log(x/m) مع Log C فيقال أنها تحقق معادلة فروندليش لمنحنى تساوي الحرارة.

يمكن إتمام التنقية بالإمتزاز باستخدام الكربون النشط في أعمدة مناسبة يتراوح طولها بين 3 إلى 10 أمتار. وقد أُستخدمت الأطوال الكبرى لتنقية مخلفات سائلة شديدة التلوث. ويمكن استخدام الأعمدة بحيث يمر عبرها السائل رأسياً إما من الأعلى أو من الأسفل. ومن الأفضل أن يكون زمن التلامس في حدود 15 إلى 30 دقيقة.

وبعد إزالة الملوثات بالكربون يمكن تنشيطه مرة أخرى لإعادة استخدامه. ويتم هذا التنشيط بتمرير الكربون على أفران يمر عبرها بخار ماء على درجة حرارة 900ه م. وهذا الوضع يقود إلى تطاير أو تكربن الملوثات العضوية الممتزة، مما يساعد على التخلص منها، ويساعد الكربون على إستعادة نشاطه.

مثال 5-12

في تجربة إمتزاز لمادة ملوثة بالكربون النشط تم الحصول على البيانات التالية:

أ) أوجد قيمة الثوابت k وn في معادلة فروندليش لمنحنى تساوي الحرارة لإمتزاز المادة الملوثة علما بأن درجة تركيز المادة عند بداية التجربة 50 جم/م^2.

ب) أوجد السعة النهائية للكربون النشط المستخدم في هذا الإختبار.

كتلة الكربون النشط (المادة المازة)، جرام	درجة تركيز المادة الممتزة المتبقية، جم/م^2
160	40.0
420	28.1
570	23.0
800	17.1
2000	4.8
3100	2.1

الحل

1- المعطيات: C_O = 50 جم/م^2، بيانات التجربة لكتل مختلفة من الكربون النشط.

2- أوجد قيم x وx/m كما مبين بالجدول التالي:

كتلة الكربون النشط (المادة المازة)، جرام، m	درجة تركيز المادة الممتزة المتبقية، جم/م^2، C	كتلة المادة الممتزة x (جرام/م^2) =C - 50	قيم (x/m) (/م^2)
160	40.0	10.0	0.0625
420	28.1	21.9	0.0521
570	23.0	27.0	0.0474
800	17.1	32.9	0.0411
2000	4.8	45.2	0.0226
3100	2.1	47.9	0.0154

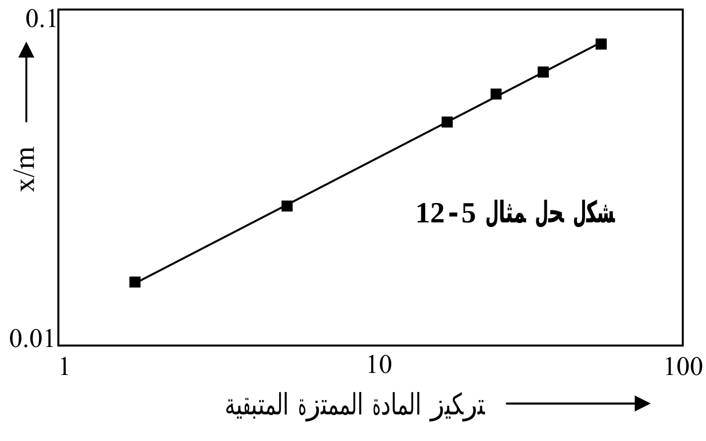
3- أرسم البيانات لدرجة تركيز المادة الممتزة المتبقية (على المحور السيني) مع قيم (x/m) (على المحور الصادي) في ورقة رسم بياني خوارزمية المحورين. ومن الرسم يتضح أن البيانات تعطي خط مستقيم مما يدل على أنها تحقق معادلة فروندليش لمنحنى تساوي الحرارة ($(x/m) = k*C^{1/n}$) لإمتزاز المادة الملوثة.

4- أوجد من الرسم البياني قيم الثوابت: k = 0.011، 1/n = 0.4721

5- أوجد السعة النهائية للكربون النشط لإمتزاز المادة الملوثة

$k*C^{1/n} = 0.011 \times (50)^{0.472} = 0.062$ جم/جم

وهذا يعني أن 6.2 جرام من المادة الممتزة يمكن إمتزازها على 100 جرام من الكربون النشط.



شكل حل مثال 5-12

ب - تحلية المياه

يلجأ إلى التفكير في تحلية المياه عندما تنعدم المصادر الأخرى أو لا يمكن استعمالها بسبب التلوث أو كبر تكاليف الحصول عليها أو تنقيتها أو ربما حالت التقانة المحلية دونما استخراجها واستغلالها بصورة مثلى. ويمكن تعريف تحلية المياه على أنها عملية إنتاج مياه صالحة للاستهلاك من مياه مالحة. ويبين جدول 5-7 تقسيم المياه على حسب درجات تركيز المواد الصلبة الذائبة بها.

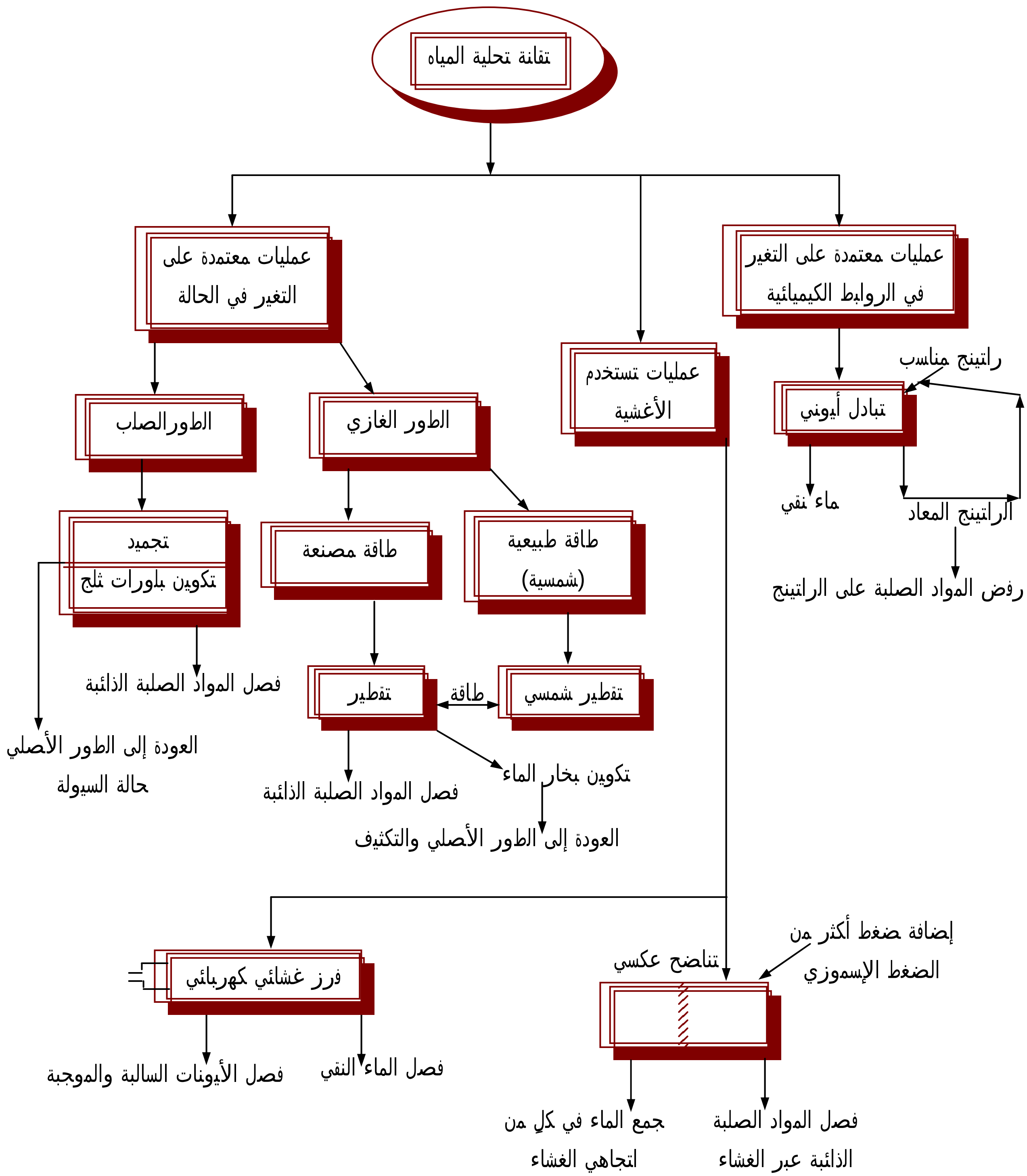
ولإتمام تحلية المياه لابد من وجود الطاقة اللازمة لفصل الأملاح عن الماء الخام. ويتم الحصول على هذه الطاقة من وحدات معينة صممت خصيصاً لهذا الغرض .

جدول 5-7 أقسام المياه طبقاً لدرجات تركيز المواد الصلبة الذائبة بها {3، 33 – 35}

نوع المياه	المواد الصلبة الذائبة الكلية (ملجم/ لتر)
مياه البحر (منطقة الشرق الأوسط)	50000
مياه البحر (بحر الشمال)	35000
مياه مالحة Brackish water	1500إلى 12000

الطرق المستخدمة لتحلية الماء:

توجد العديد من الطرق التي يمكن استخدامها لتحلية المياه منها: التقطير، والتجمد، والتناضح العكسي، والديلزة. ويبين شكل5-19 ملخص شامل لأهم الطرق المستخدمة في عمليات تحلية الماء. ويمكن أن تقسم طرق تحلية الماء إعتماداً على الطاقة الداخلة فيها إلى: عمليات حرارية وعمليات قدرة. وتضم الطرق الحرارية تلك الوحدات الآخذة لطاقة الإنتاج في شكل حرارة ومن أمثلتها التقطير. أما طرق القدرة فتشمل تلك الوحدات الآخذة لما تحتاجه من طاقة في شكل شغل، ومثال لهذه الوحدات التناضح العكسي، والفصل الغشائي الكهربائي (الديلزة)، والتجمد.



شكل 5-19 ملخص شامل لأهم طرق تحلية الماء {3، 35}

ب-1 التقطير Distillation

تقطير المياه أحد العمليات الرائدة والشائعة لتحلية المياه والتي تعتمد أساساً على التغير في حالة المادة. ويتم في هذه العملية فرز الأملاح بغلي الماء الخام في أجهزة مناسبة لتنتج مسارين للمواد الصلبة. تقل في أحد هذين المسارين المواد الصلبة الذائبة ويسمى بمسار الماء النقي. أما المسار الآخر فيضم بقية المواد الصلبة الذائبة ويسمى مسار المحلول الملحي المركز. وبعد فرز الملح يعمل على تكثيف البخار للحصول على الماء النقي.

وفي هذه الطريقة لتحلية الماء عادة يتم تُستخدم وحدتا مبادلات حرارية. يقوم أحد المبادلات الحرارية بتبخير الماء الخام لبخار، ويساعد الآخر البخار الناتج على التكثيف. ويبين شكل 5-20 وحدة تقطير تقليدية أحادية المرحلة. وتوجد عدة أنواع من الأجهزة المحتوية على مراحل متعددة لتقطير الماء، حيث يتم غلي الماء في الوحدة الأولى تحت ضغط عالي، إلى أن يتم التبخر في الوحدة الأخيرة تحت الضغط العادي. ويبين شكل 5-21 مخطط عام لوحدات التقطير، مبينا المعالجات المبدئية المطلوبة لتحضير الماء الخام لجهاز التقطير بغية رفع الكفاءة وتقليل ترسب الأوساخ والأحياء المجهرية. كما ويوضح شكل 5-21 الوحدات المتقدمة المضافة لوحدة التقطير والتي تؤدي إلى تحضير الماء للاستهلاك.

ويمكن تقدير الحرارة المتبادلة في أي وحدة من مراحل مرجل التقطير كما مبين في المعادلة 5-51.

$$Q_i = U_i * A_i * \Delta T_i \qquad 5\text{-}51$$

حيث:

Q_i = الحرارة المتبادلة في وحدة التقطير رقم.i

U_i = معامل انتقال الحرارة للمبادل الحراري رقم.i

A_i = مساحة المبادل الحراري رقم.i

ΔT_i = الفرق بين درجة حرارة الماء في وحدة التقطير ودرجة حرارة البخار الداخل لمبادل الحرارة. ويمكن إيجاد هذا الفرق من المعادلة 5-52.

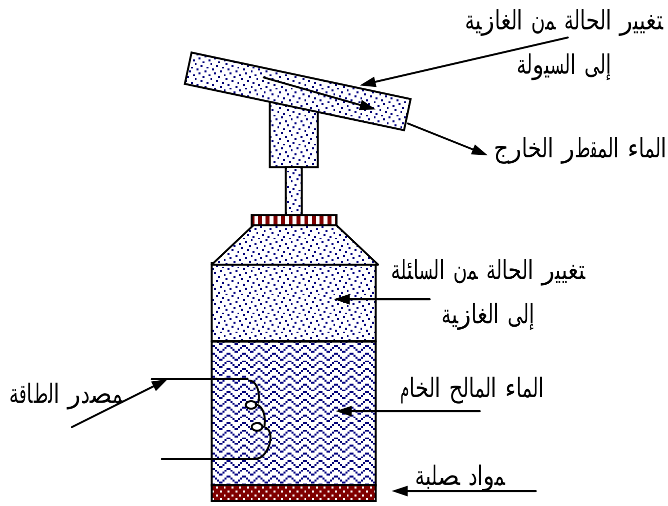
$$DT_i = T_o - T_i \qquad 5\text{-}52$$

حيث:

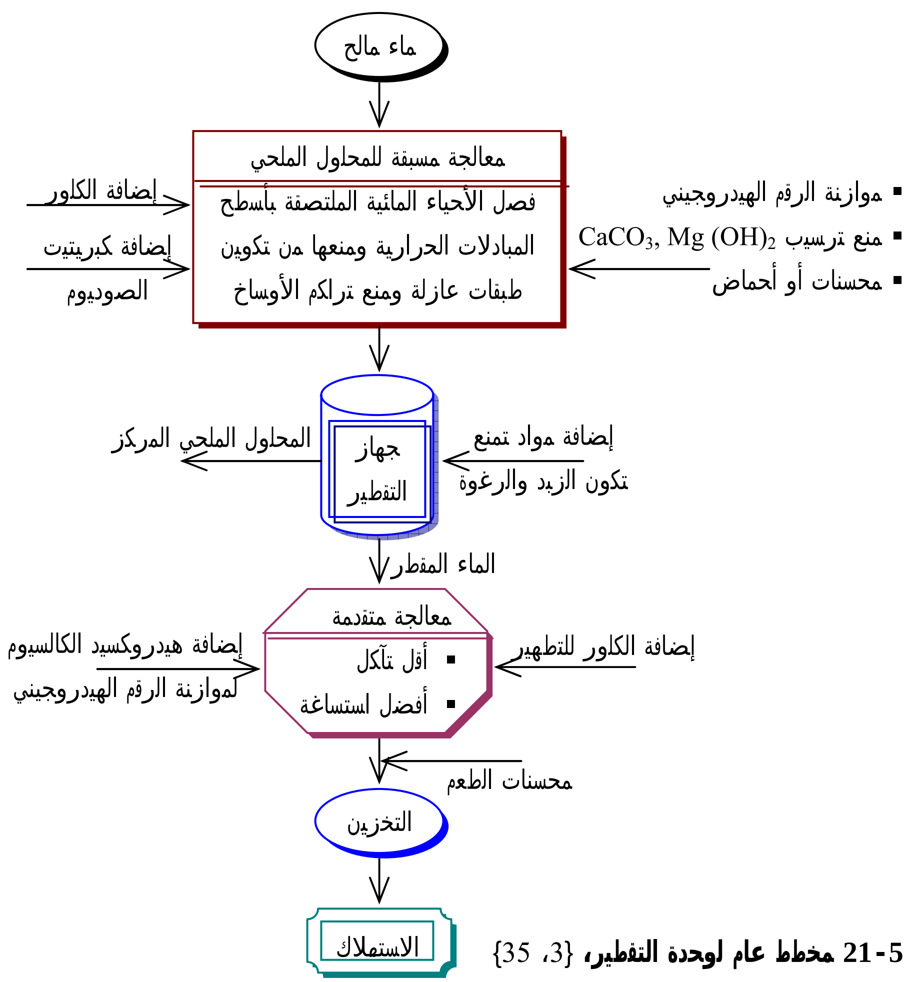
T_o = درجة حرارة البخار داخل وحدة التقطير.

T_i = درجة غليان الماء في الوحدة رقم.i

وتتحول الحرارة المضافة في الوحدة الأولى إلى طاقة كامنة للتبخر تتيح إنتاج كمية معينة من الماء المقطر. ويستفاد من هذه الكمية المنتجة من الماء المقطر كبخار في وحدة التقطير التالية. وبتكرارهذه الطريقة يمكن الحصول على كمية مماثلة من الحرارة -الموجودة في الوحدة الأولى- في الوحدة التالية.



شكل 5-20 وحدة التقطير التقليدية أحادية المرحلة {3، 33-35}



شكل 5-21 مخطط عام لوحدة التقطير، {3، 35}

وتبين المعادلة 5-53 العلاقة بين معامل انتقال الحرارة للمبادل الحراري والفرق في درجة الحرارة بإفتراض مساحات متطابقة لمبادلات الحرارة، وتماثل الكميات من الحرارة المنتقلة في كل وحدة تقطير .

$$U_i * DT_i = c \qquad 5\text{-}53$$

حيث:

c = حد ثابت.

وتوضح المعادلة 5-53 أن النقصان في درجة الحرارة في أي وحدة تقطير يتناسب عكسياً مع معامل انتقال الحرارة.

مثال 5-13

يعمل جهاز تقطير ثلاثي المراحل لتحلية مياه مالحة. وبكل من هذه المراحل مبادلات حرارة ذات مساحة واحدة، كما وأن معاملات انتقال الحرارة بالمبادلات تتناسب بنسبة 5 : 3 : 2 على الترتيب، ودرجة حرارة البخار الجاف الداخل للمرحلة الأولى 110 °م. وعند تقليل الضغط في المرحلة الثالثة تم تخفيض درجة الحرارة بها إلى درجة الحرارة 55 °م. ماهو الفرق في درجة الحرارة لكل مرحلة من مراحل الجهاز الثلاث.

الحل:

1- المعطيات: $U_1 : U_2 : U_3 = 5 : 3 : 2$

2- أوجد النقصان الكلي في درجة الحرارة بعد المرحلة الثالثة:

$$\Delta T_1 + \Delta T_2 + \Delta T_3 = \Delta T = 110 - 55 = 55 \text{ °م}$$

3- أوجد الفرق في درجات الحرارة في كل مرحلة باستخدام المعادلة $U_i * \Delta T_i = c$:

فمثلا للمرحلة الأولى . $\Delta T_1 = C/U_1$

وباستخدام المعادلة المذكورة في الخطوة 2 ينتج

$$(\Delta T_1 / DT) = (C/U_1) / (\Delta T_1 + \Delta T_2 + \Delta T_3)$$

وبالتعويض عن قيم ΔT ينتج:

$$(\Delta T_1 / \Delta T) = 1 \div [1 + (U_1/U_2) + (U_1/U_3)]$$

وعليه يمكن إيجاد الفرق في درجات الحرارة في كل مرحلة لتساوي:

$$\Delta T_1 = 55 \div [1 + (5 \div 3) + (5 \div 2)] = 10.6 \text{ °م}$$

$$\Delta T_2 = 55 \div [(3 \div 5) + 1 + (3 \div 2)] = 17.7 \text{ °م}$$

$$\Delta T_3 = 55 \div [(2 \div 5) + (2 \div 3) + 1] = 26.6 \text{ °م}$$

<u>محاسن طريقة التقطير وعيوبها</u>

ومن محاسن استخدام طريقة التقطير لتحلية الماء المالح مايلي:

- إزالة الحمات والأحياء المجهرية (من بكتريا وأوالي وغيرها) الضارة بالإنسان أو حيواناته أوممتلكاته.

- التخلص من المواد الصلبة غير الطيارة مثل الغازات الذائبة (وقد توجد نسب من غاز ثاني أكسيد الكربون والأمونيا في مياه التحلية)

أما أهم أوجه القصور في هذه الطريقة فتتمثل في الترسبات الناتجة من المواد الكيميائية. ومن أمثلة هذه المواد الكيميائية التي تزيد من الترسبات كبريتات الكالسيوم (الجبص)، والكربونات، والهايدروكسيد. ومن مخاطر هذه الترسبات الحادثة على أسطح المبادلات الحرارية مايلي:

- الحد من زيادة درجة الحرارة عن قيمة قصوى معينة.
- تعوق أداء وحدات التقطير ومراحله.
- تهدر الطاقة.
- ربما اقتضى الحال إغلاق محطة التنقية ليتسنى إزالة المترسبات، وهذا يقود إلى شح إمداد المياه للمستهلك وما يواكب ذلك من مشاكل ومخاطر جمة منظورة ومستترة.

<u>أنواع الترسبات الملتصقة بأسطح المبادلات الحرارية:</u>

ويمكن تقسيم الترسبات الملتصقة بأسطح المبادلات الحرارية إلى الأنواع الرئيسة التالية:

- ترسبات بلورات صلدة Hard crystalline deposits : وتلتصق هذه الترسبات بأسطح المبادلات الحرارية غير أنه يمكن إزالتها بطرق طبيعية مثل النحت أو الحفر.
- ترسبات رسوبية: وهذه عبارة عن مترسبات نتجت من محاول المادة. وتتناقص ذوبانيتها مع ارتفاع درجة الحرارة.
- ترسبات بلورية كثيفة: وتكون هذه الترسبات متحدة ومرتبطة جيداً بسطح المعدن.

كما يمكن تقسيم الترسبات إلى قلوية وغير قلوية. أما الترسبات القلوية فتضم الأملاح التي توجد عادة في مياه البحر مثل كربونات الكالسيوم وهيدروكسيد الماغنيسيوم. وتحد هذه الترسبات من الدرجة القصوى للحرارة التي يمكن استخدامها في عملية التقطير. أما الترسبات غير القلوية فتضم كبريتات الكالسيوم وفوسفات الكالسيوم والسيليكات. وتنتج هذه الترسبات من أيونات غير أيونات القلوية والكربونات والهيدروكسيل المتواجدة في مياه البحر. ويعتمد تكون هذه الترسبات على مؤثرات تركيزها وذلك لغياب أي تفاعلات ترسبية في تكوينها. ومن أهم هذه الترسبات كبريتات الكالسيوم، والتي يمكن أن تترسب من المحاليل المائية في ثلاثة محاور بلورية متفردة هى: المحور اللامائي $CaSO_4$، والمحور شبه المتبلر$CaSO_4 1/2H_2O$، والمحور ثنائي التبلور$CaSO_4.2H_2O$ ، . وتقوم ترسبات كبريتات الكالسيوم بتخفيض كفاءة وحدة التقطير. وهذا التدنى في الكفاءة يعزي إلى الخواص العازلة للمترسبات المتكونة على أسطح المبادلات الحرارية. كما ويصعب إزالة هذه الترسبات لعدم ذوبانيتها في الأحماض المعدنية. وقد تقود هذه الترسبات إلى وقف عمل وحدة التقطير. ومن أنسب الطرق العملية لتقليل مشاكل ترسبات كبريتات الكالسيوم تشغيل وحدة التقطير على درجة حرارة أقل من 120 °م لمنع تراكم المترسبات {3، 33 – 35}

طرق إزالة المترسبات

توجد العديد من الطرق المتبعة لإزالة الترسبات من على أسطح المبادلات الحرارية ووحدات مراجل التقطير. ومن هذه الطرق:

- استخدام الأحماض: وذلك لإزالة أيونات الكربونات من الماء الداخل إلى وحدة التقطير. ومن الأحماض المستخدمة حمض الكبريت وحمض الهايدروكلور.
- إضافة مواد كيميائية: وتقوم هذه المواد بمنع المترسبات أو الحد من تكوينها. ومن هذه المواد الكيميائية المواد العضوية (مثل النشا، والدبغ Tannin)، وبعض المستخلصات النباتية، والمواد المضافة متعددة الفوسفات (مثل سداسى فوسفات الصوديوم Sodium hexametaphosphate
- استخدام الكريات الإسفنجية (طريقة تابوراج): ويتم في هذه الطريقة استخدام كريات مرنة من الإسفنج ذات قطر أكبر من قطر أنابيب جهاز التقطير. تدفع الكريات لتقوم بكشط المترسبات وجرفها من على أسطح الأنابيب. ويمكن مساعدة العملية بإضافة مواد مساعدة للكشط.
- إزالة العناصر المكونة للترسب: ومن هذه العناصر أيونات الكالسيوم والماغنسيوم والبيكربونات والكبريتات. وتزال أيونات البيكربونات بإضافة أحماض مناسبة، كما ويستخدم الراتينج لتبادل كاتيونات الكالسيوم، ويتم ترسيب أيونات الكالسيوم وأيونات البيكربونات بإضافة مركب كربونات الجير والماغنسيوم.
- استخدام الأغشية المنتقاة للأيونات: وتقوم هذه الأغشية بتمرير الأيونات أحادية التكافؤ عبر الغشاء، وفي ذات الوقت تمنع الأيونات ثنائية التكافؤ (مثل أيونات الكالسيوم والماغنسيوم والكبريتات) من العبور خلالها.
- استخدام التقانات الميكانيكية والطبيعية لتجنب الترسيب: وفي هذا المنحى تضاف مواد ناعمة للمحاول فوق المشبع لإيجاد سطح يزيد من نمو البلورات. ومن أمثلة هذه المواد الناعمة: كربونات الكالسيوم، وكبريتات الباريوم، وهايدروكسيد الماغنسيوم، والحبيبات الزجاجية وغيرها من المواد.

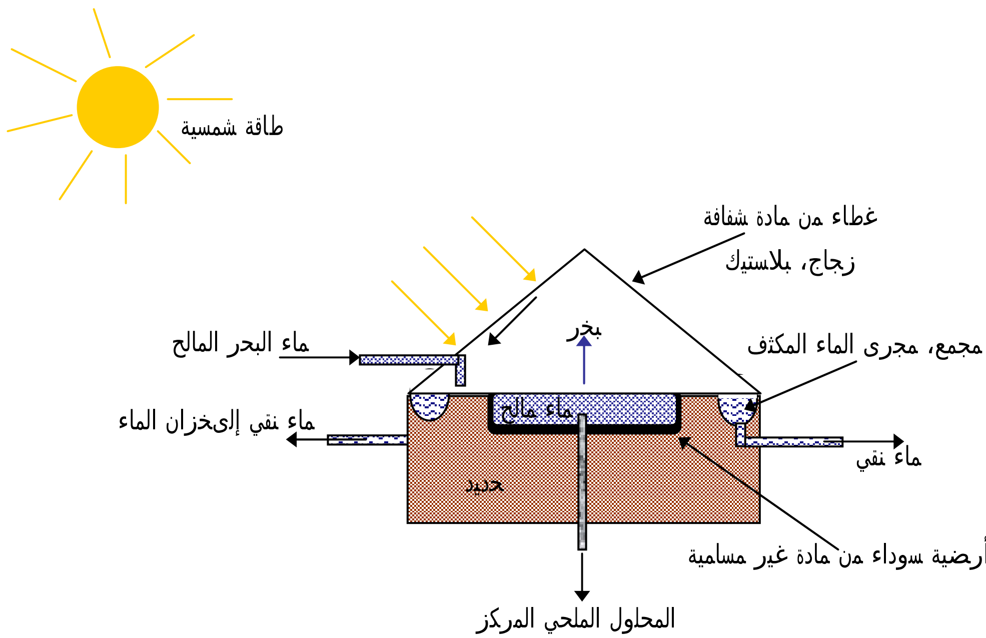
ب-2 التقطير الشمسي

تستهلك معظم طرق التقطير التقليدية الطاقة المستمدة من الوقود والكهرباء لأداء دورها، من المعروف أن هذا النوع من الطاقة قد يكون باهظ الثمن اعتماداً على طرق الحصول على الطاقة أو توليدها. غير أنه يمكن استخدام الطاقة الشمسية في أجهزة التقطير بالرغم من أنها تعتبر طاقة من الدرجة الثانية. ويتكون جهاز التقطير من حوض من فولاذ مجلفن محكم. ويبين شكل 5-22 رسم تخطيطي مبسط لوحدة التقطير الشمسي

ومن محاسن نظام التقطير الشمسى ما يلي:

- بساطة النظام.
- يستخدم النظام القوى العاملة والمواد المحلية في تصميم وحدات التقطير الشمسي وإنشاءها
- يمكن أن يتم معظم الترميم والإصلاح بعمالة محلية غير ماهرة.

وبالرغم من لا محدودية الطاقة الشمسية واستمراريتها وتجددها ، غير أن التكلفة الأساسية لإنشاء وحدة التقطير عالية مما يحد من استخدام هذه الطريقة لتحلية الماء، هذا بالإضافة إلى عدم الحصول على الطاقة الشمسية ليلاً، واعتماد إنتاج هذه الطاقة على عوامل الطقس والمناخ السائد بالمنطقة وأثر التغيرات الموسمية على النظام.



ب-3 التناضح العكسي Reverse osmosis (الإسموزية العكسية)

أُشتقت كلمة التناضح (أو الإسموزية) من الكلمة الإغريقية Osmos والتي تعني النبض. والتناضح هو عبارة عن انتقال المذيب عبر غشاء شبه مسامي إلى المذاب. ويتم الإنسياب من المحلول ذو التركيز الأقل إلى المحلول الأكثر تركيزاً كما مبين على الشكل 5-23.

ويمكن منع إنسياب المذيب عبر الغشاء شبه المسامي بزيادة الضغط في الجانب الذي يحوي المحلول الأكثر تركيزاً. ويسمى هذا الضغط الذي يمنع إنسياب المحلول (ذو التركيز الأقل من المواد الصلبة الذائبة) بالضغط الحلولي (الإسموزي). ويعرف الضغط الحلولي على أنه مقياس للقوى الجامعة لجزيئات المذيب والتي تمكنها من المرور عبر الغشاء لتصل إلى المحلول. وتحل جزيئات المذيب محل الجزيئات الأخرى التي حجزت بتداخلها مع المذاب. وعليه يعتمد الضغط الحلولي على عدد حبيبات المذاب في المحلول وليس نوعها {3}

وينتج عن إنسياب المذيب عبر الغشاء قوى دافعة تحسب عن طريق الفرق بين ضغط بخار المذيب على جانبي الغشاء. ويستمر إنسياب المذيب عبر الغشاء من المحلول الأخف تركيزاً إلى المحلول الأكثر تركيزاً إلى أن يطغى الضغط الهايدروستاتيكي على القوى الدافعة لفرق ضغط البخار. ويمكن إيجاد الضغط الحلولي عند الإتزان بالنسبة لمذيب غير منضغط كما موضح في المعادلة 5-54.

$$P_{osm} = (RT/V)*\ln (P_o/P) \qquad 5\text{-}54$$

حيث:

P_{osm} = الضغط الحاولي (ضغط جوى، جو)

R = ثابت الغاز العالمى لكل الغازات = 0.082 (لتر×جو/مول×كلفن) = 8.314 (جول/ كلفن×مول)

T = درجة الحرارة (كلفن)

V = حجم المذيب على المول = 0.018 لتر من الماء

P_o = ضغط بخار المذيب في المحلول المخفف

P = ضغط بخار المذيب في المحلول المركز

ويمكن إيجاد ثابت الغاز العالمي من المعادلة 5-55.

$$R = P*V / n*T \qquad 5\text{-}55$$

حيث:

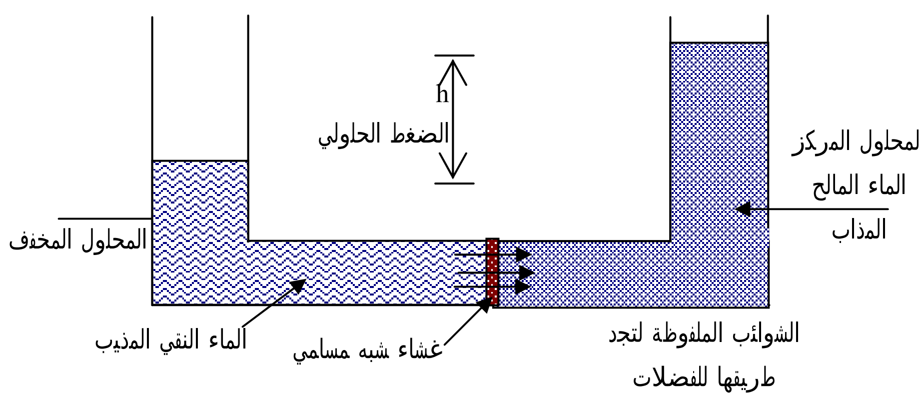
P = الضغط (باسكال)

V = حجم الغاز (م^3)

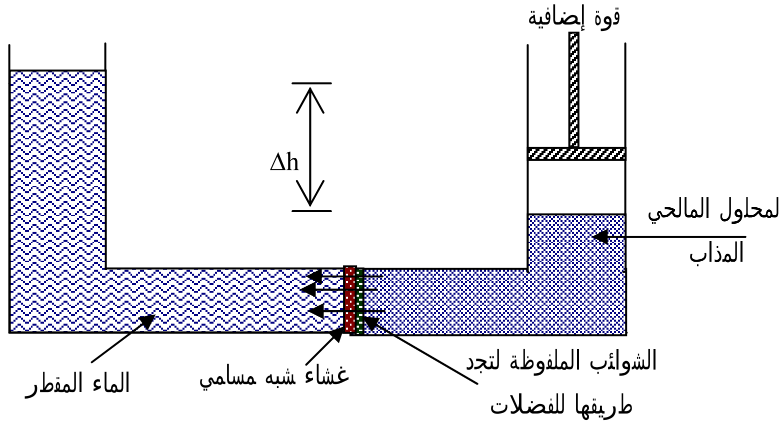
n = عدد المولات (لابعدي)

T = درجة الحرارة (كلفن)

إن وجود المذاب غير الطيار في السائل يقلل من ضغط بخار المذيب، وترجع هذه الظاهرة لإنسداد طبيعي على سطح السائل عند وجود حبيبات من المذاب أو أيوناته أو جزيئاته. ويفترض قانون روالت Rault's law أن هذا النقصان في ضغط بخارالمذيب يتناسب تناسباً طردياً مع درجة تركيز الحبيبات في المحلول وذلك بالنسبة للمحاليل المخففة. وينص القانون على ''إن مقدار الإنسداد الطبيعي أو نقصان ضغط البخار يتناسب تناسباً طردياً مع درجة تركيز الحبيبات في المحلول''. ولهذه الظاهرة علاقة طردية مع المحلول المولالي للمذاب غير القابل للتأين. وبالنسبة للمواد المذابة القابلة للتأين فإن هذه الظاهرة تتناسب مع حاصل ضرب درجة التركيز المولالي وعدد الأيونات المتكونة على جزيئات المذيب {3، 35، 38}. ويمكن إعادة صياغة المعادلة 5-54 لتُظهر علاقة الضغط الحاولي للتركيز المولاري للحبيبات في المحلول المركز كما مبين في المعادلة 5-56.



شكل 5-23أ التناضح والضغط الحاولي، الإسموزي {3، 38}



شكل 5-23 ب عملية اللضغط الحاولي، {3، 35، 38}، المصدر 35، منشور بإذن

Source: Rowe, D. R., Abdel-Magid, I., M., Handbook of Wastewater Reclamation and Reuse, CRC Press/Lewis Publishers, 1995. Reprinted by courtesy of the publisher. Copyright Lewis Publishers an imprint of CRC Press, Boca Raton, Florida

$$P_{osm} = C*R*T \qquad 5\text{-}56$$

حيث:

P_{osm} = الضغط الحلولي (جو)

C = التركيز المولاري للحبيبات (مولار M)

R = ثابت الغاز العالمي لكل الغازات (لتر×جو/مول×كلفن)

T = درجة الحرارة (كلفن)

مثال 5-14

أوجد الضغط الحلولي على الحجم لمحلول مالح على درجة حرارة 25°م علماً بأن الضغط الواقع عليه يساوي 3.21.

الحل:

1- المعطيات: T = 25°م، P = كيلوباسكال

2- أوجد قيمة ضغط بخار الماء عند درجة حرارة 25°م من جدول ج - 3 في الملاحق يساوي

P_o = 3.17 كيلو باسكال.

3- أوجد درجة الحرارة بمقياس كلفن:

T = 25 + 273.16 = 298.16 كلفن.

4- أوجد الضغط الحلولي من المعادلة

$$P_{osm} = (RT/V)*\ln (P_o/P)$$

P_{osm} = (8.314 × 298.16) × لن(3.21 ÷ 3.17) = 31.1 كيلو باسكال

مثال 5-15

أُجري اختبار تناضح لعينة من الماء على درجة حرارة 22°م. ويبين الجدول التالي البيانات المستقاة من التجربة لما يحويه الماء من أيونات:

الأيونات	**درجة التركيز (ملجم أيون/لتر)**
الشوارد الموجبة (الكاتيونات)	
Mg^{++}	0.73
Ca^{++}	0.8
K^{+}	0.39
Na^{+}	0.46
الشوارد السالبة (الأنيونات)	
HCO_3^{-}	1.22
$SO_4^{=}$	2.88
Cl^{-}	0.75
NO_3^{-}	0.62

أوجد فرق الضغط الحلولي عبر الغشاء شبه المسامي الذي يفصل عينة الماء عن الماء المقطر بجهاز التناضح .

الحل:

1- المعطيات: T = 22 °م، تركيز الشوارد الموجبة والسالبة في العينة.

2- أوجد درجة تركيز الأيونات المولارية باستخدام المعادلة:

درجة التركيز المولارية = درجة تركيز الأيون (ملجم/ لتر) ÷ الوزن الجزيئي للأيون.

ويبين الجدول التالي هذه النتائج:

الأيونات	**درجة التركيز (ملجم أيون/لتر)**	**درجة التركيز (M)**
الشوارد الموجبة (الكاتيونات)		
Mg^{++}	0.73	0.03
Ca^{++}	0.8	0.02
K^{+}	0.39	0.01
Na^{+}	0.46	0.02
الشوارد السالبة (الأنيونات)		
HCO_3^{-}	1.22	0.02
$SO_4^{=}$	2.88	0.03
Cl^{-}	0.75	0,021

0.01	0.62	NO_3^-

3- أوجد درجة تركيز كل الأيونات في عينة الماء (بجمع الأيونات المختلفة)

$$C = Mg^{++} + Ca^{++} + K^{+} + Na^{+} + HCO_3^{-} + SO_4^{=} + Cl^{-} + NO_3^{-} = 0.161$$

4- أوجد الضغط الحلولي باستخدام معادلة روات بافتراض أن المحلول مخفف $P_{osm} = C*R*T$:

$P_{osm} = 0.161 \times 0.082 \times (22 + 273.16) = 3.9$ جو

التناضح العكسي

التناضح العكسي هو عملية طبيعية يتم بها فصل المواد الذائبة باستخدام غشاء شبه مسامي. ولإتمام العملية يستخدم ضغط يزيد عن الضغط الحلولي العادي للماء الخام. ويسمح الغشاء شبه المسامي بمرور جزيئات المذيب (الماء) ويمنع مرور جزيئات المذاب والمواد الصلبة الذائبة العضوية. ويبين شكل 5-23ب عملية التناضح العكسي لمحلول ملحى للماء النقى على الطرف الثاني من الجهاز.

وتهدف عملية التناضح العكسي إلى مايلي:

- تحلية الماء المالح بفصل محتوياته من مواد صلبة ذائبة.
- تقليل درجة تركيز المواد الصلبة الذائبة الكلية للماء الخام بنسبة إزالة تصل إلى 99%.
- إزالة معظم المواد الصلبة العضوية بنسبة إزالة قد تصل إلى 97%.
- التخلص من المواد الحيوية والمواد الغروانية من الماء بنسبة إزالة تصل إلى 98%.
- إزالة الأحياء المجهرية من بكتريا وحمات وغيرها بنسبة إزالة كلية.

ولرفع كفاءة عملية التحلية بالتناضح العكسي فلا بد من إخضاع الماء الخام المالح إلى معالجة مسبقة Pretreatment. تضم هذه المعالجة المسبقة:

- إزالة العكارة للتخلص من المواد الصلبة العالقة.
- إزالة الحديد والمنجنيز لمنع تأكسدها.
- إزالة المواد التي تساعد على تكوين ترسبات كربونات الكالسيوم وغيرها من الترسبات (Sequestering agents) على سطح الغشاء.

ولإتمام هذه المعالجة والتهيئة المسبقة يمكن عمل الآتي:

- إضافة حمض لمنع الترسيب.
- منع حلمأة (Hydrolysis) الأغشية المصنعة من خلات السيللوز، وذلك بموازنة الرقم الهيدروجيني.
- استخدام وحدات الترشيح الرملي، أو الترشيح الكربوني، أو الترشيح عبر التربة Diatomaceous earth، أو تبادل الأيونات لإزالة المواد الغروانية.

وبعد الإختيار الأنسب لوحدات المعالجة المسبقة يدخل الماء إلى جهاز التناضح العكسي لإتمام التحلية. ويعتمد إنسياب المذيب (الماء) عبر الغشاء على معايير الديناميكا الحرارية لنظام غير عكسي. وتبين المعادلة 5-57 معدل إندفاق المذيب.

$$Q_W = -D_W*C_W*V_W(\Delta P - \Delta P_{osm})/ (R*T*t) \qquad 5\text{-}57$$

حيث:

Q_W = فيض الماء

D_W = معامل الإنتشار

C_W = درجة تركيز الماء في الغشاء

V_W = الحجم الجزئي المولاري للماء في الغشاء

R = ثابت الغاز

T = درجة الحرارة

t = سمك الغشاء

ΔP = فرق الضغط العامل عبر الغشاء

ΔP_{osm} = فرق الضغط الحاولي عبر الغشاء

ويمكن تبسيط المعادلة 5-57 كما مبين في المعادلة 5-58.

$$Q_W = k*A*(\Delta P - \Delta P_{osm}) / t \qquad 5\text{-}58$$

حيث:

k = معامل نفاذية الغشاء لمرور الماء

A = مساحة الغشاء.

أما إنسياب الملح عبر الغشاء فيمكن إيجاده من المعادلة 5-59.

$$Q_S = k_S*A*\Delta C_S / t \qquad 5\text{-}59$$

حيث:

Q_S = معدل الدفق الملحى

k_S = معامل نفاذية الغشاء للملح

A = مساحة الغشاء.

ΔC_S = فرق درجة تركيز المواد الذائبة عبر الغشاء.

وتشير هذه المعادلات إلى أن الزيادة في الضغط العامل تزيد من معدل دفق الماء دونما حدوث أى تغير على معدل الدفق الملحي.

ولاستمرارية عملية التناضح العكسي وترفيع كفاءتها لا بد من استخدام غشاء مناسب. ومن الخواص المطلوبة في الغشاء الممتاز مايلي:

- سعر تكلفة مناسب للغشاء.
- إحتواء الغشاء على كفاءة عالية لإزالة الأملاح الذائبة وأداء فعال يمكن الإعتماد عليه
- سهولة تشييد الغشاء في وحدات الفرز الغشائي
- قوة تحمل الغشاء للضغط الواقع عليه، وإحتوائه على متانة ميكانيكية جيدة.
- استمرارية وبقاء الغشاء لفترة زمنية مناسبة.
- إحتواء الغشاء على مدى تشغيلي كبير وذلك بالنسبة للآتي: الأيونات الموجودة في الماء الخام، والضغط، ودرجة الحرارة، ومقاومة التفاعلات الكيميائية والحيوية، وإمكانية التشغيل في ظروف متباينة.
- خلو الغشاء من مشاكل التآكل والرائحة.
- سهولة نظافة الغشاء.
- وجود فيض ماء ملائم لإتمام الإنسياب.

ومن أمثلة الأغشية المستخدمة:

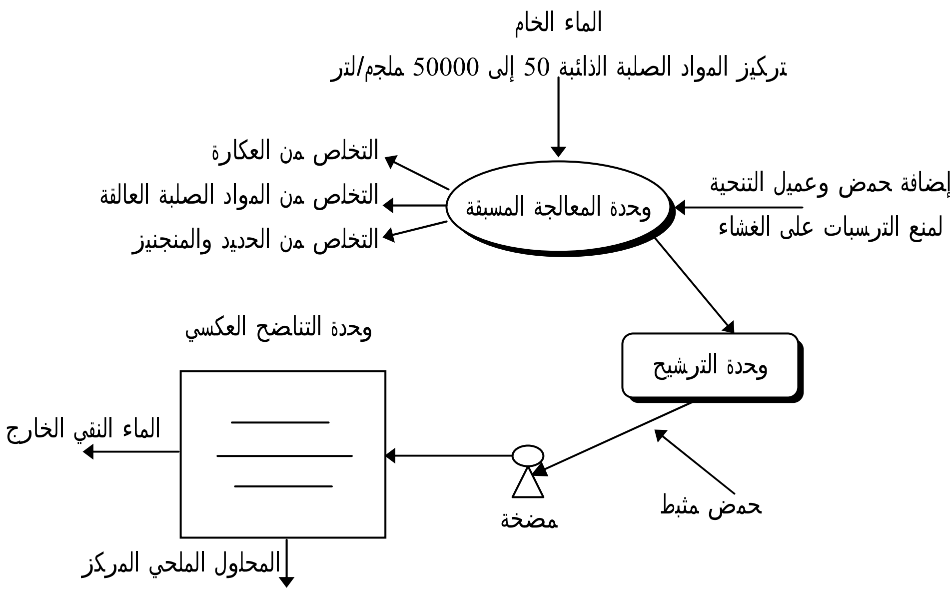
- البوليميرات السيللوزية (مثل خلات السيللوز Cellulose acetate ، وثلاثي خلات السيللوز Cellulose triacetate، وبيوترات خلات السيللوز Cellulose acetate butyrate).
- البوليميرات التجارية (مثل: النيلون nylon66-، والكحول متعدد الفينيل Polyvinyl alcohol ، ومتعدد فثالي متعدد الإثيلين Polyethylene terephthalate ، ومتعدد نتريلات الأكرولين Poly acrylonitrile).
- البوليميرات المشكلة :Polymer blends مثل: الكحول متعدد الفينيل-البيرول متعدد الفينيل Polyvinyl alcohol-polyvinyl pyrrolidone، ومتعدد نتريلات الأكرولين-متعدد الفينيل Polyacrylonitrile-polyvinyl tetrazole).
- العديد من البوليميرات تحت التجربة مثل: نتريلات الأكرولين-هايدروكسيل الاثيل-أكريلي Acrylonitrile-N-[2-hydroxyethyl] acrylamide.
- البوليميرات المتصلة بالنتروجين مثل: متعدد الأميدات الأليفاتية Aliphatic polyamides ، ومتعدد الأميدات الأروماتية Aromatic polyamides ، ومتعدد الأميدات الأروماتية/الأليفاتية Aliphatic/aromatic polyamides.

ويبين الشكل 5-24 مخطط يبين وحدة التناضح العكسي في محطة تحلية المياه ووحدات المعالجة المسبقة المقترحة

ب-4 الفرز الغشائي الكهربائي (الديلزة) Electrodialysis

تعني عملية الفرز الغشائي الكهربائي بتوصيل الأيونات من محلول إلى آخر عبر غشاء إنتقائي للأيونات وذلك تحت جهد تيار كهربائي. يتكون جهاز الفرز الغشائي الكهربائي من صفوف تبادلية من أغشية إنتقاء شوارد موجبة وأغشية إنتقاء شوارد سالبة يمر عبرها تيار كهربائي. وتفصل الأغشية من بعضها البعض بحشايا gaskets لتكون حجرات يمر خلالها المحلول كما موضح في شكل 5-25 {3، 12، 35، 39}. وتُنشأ الأغشية لتسمح بمرور الأيونات المنتقاة. وتنبع هذه الأيونات من المواد المذابة في الماء لتكون كل من الشوارد الموجبة والسالبة. وفي

هذه العملية يتم جذب الأيونات التي تحمل الشحنة الكهربائية المغايرة. وتتراوح كفاءة التيار لحمل الشحنات المضادة بين 85 إلى 95 بالمائة. وفي محلول من ملح الطعام يحمل التيار ما يقارب 60 بالمائة من أيونات الكلوريد و40 بالمائة من أيونات الصوديوم، وعليه فهنالك ما يقارب 25 إلى 35 بالمائة من أيونات الكلوريد لا بد من نقلها إلى السطح الفاصل للغشاء والمحلول بوساطة الإنتشار والحمل. وعليه فإن هذا القصور في كمية الإلكتروليت المحمول إلى السطح الفاصل بوساطة التوصيلية الكهربائية تعادل كمية الإلكتروليت المحمولة للسطح الفاصل بوساطة الإنتشار {3، 33، 35}. ويمكن وضع هذه العلاقة في صورة معادلة كما مبين في المعادلة 5-60.



شكل 4- 24 مخطط يوضح وحدة التناضح العكسي في محطة التحلية {35}

Source: Rowe, D. R., Abdel-Magid, I., M., Handbook of Wastewater Reclamation and Reuse, CRC Press/Lewis Publishers, 1995. Reprinted by courtesy of the publisher. Copyright Lewis Publishers an imprint of CRC Press, Boca Raton, Florida

$$[i*(Eff_1 - Eff)] / (100*Far) = [C_{MD}*(C_O - C)] / B \qquad 5\text{-}60$$

حيث:

i = كثافة التيار (أمبير×جم/ سم^2)

Eff_1 = كفاءة التيار لحمل الأيونات المضادة عبر الغشاء(%)

Eff = كفاءة التيار لحمل نفس الأيونات في المحلول الملامس للغشاء(%)

Far = ثابت فرادي (= 26.8 أمبير×ساعة)

C_{MD} = ثابت الانتشار للإلكتروليت على درجة حرارة الحلمأة

C_O = درجة تركيز الإلكتروليت في داخل الحجرات

C = درجة تركيز الإلكتروليت على السطح الفاصل بين الغشاء والمحلول

B = سمك طبقة الإنتشار على السطح الفاصل.

ويمكن إيجاد أقصى قيمة للتيار اللازم لحمل الأيونات عندما تكون درجة تركيز الإلكتروليت على السطح الفاصل بين الغشاء والمحلول C = صفراً في المعادلة 5-60، كما موضح في المعادلة 5-61.

$$i_{max} = (100*Far*C_{MD}*C_O) / [B*(Eff_1 - Eff)] \qquad 5\text{-}61$$

حيث:

i_{max} = أقصى كثافة للتيار تنتج عندما يكون تركيز الغشاء مستقطب.

عيوب عملية الفرز الغشائي

أما عيوب عملية الفرز الغشائي فيمكن تلخيصها كما يلي:

- العملية غير اقتصادية لتحلية مياه البحر.
- تحتاج وحدة الديلزة إلى معالجة مسبقة ذات تكلفة عالية، لا سيما وهذه الطريقة حساسة بالنسبة إلى الأيونات العضوية.
- تؤثر العملية على المياه التي تزيد بها تراكيز الكبريتات، إذ أن عملية الفرز الغشائي يسهل فيها تمرير أيونات الكلوريد أكثر من الكبريتات.
- تقوم الطريقة بفصل الأيونات المعدنية فقط، وعليه يصعب إزالة المواد الغروية والعضوية.
- تحتاج إلى عمال مهرة وفنيين لإجراء التشغيل والصيانة.

مثال 5-16

أُستخدم جهاز فرز غشائى لتحلية مياه مالحة، تحوي 1600 ملجم/ لتر من المواد الصلبة الذائبة الكلية. وللجهاز الخواص المدرجة أدناه:

كفاءة التيار لحمل الأيونات المضادة عبر الجهاز = 80.%

كفاءة التيار لحمل نفس الأيونات في المحلول الملامس للغشاء = 70.%

سمك طبقة الانتشار على السطح الفاصل = 0.05 ملم .

ثابت الانتشار للإلكتروليت على درجة حرارة الحلمأة = 10^{-5} سم^2/ ث.

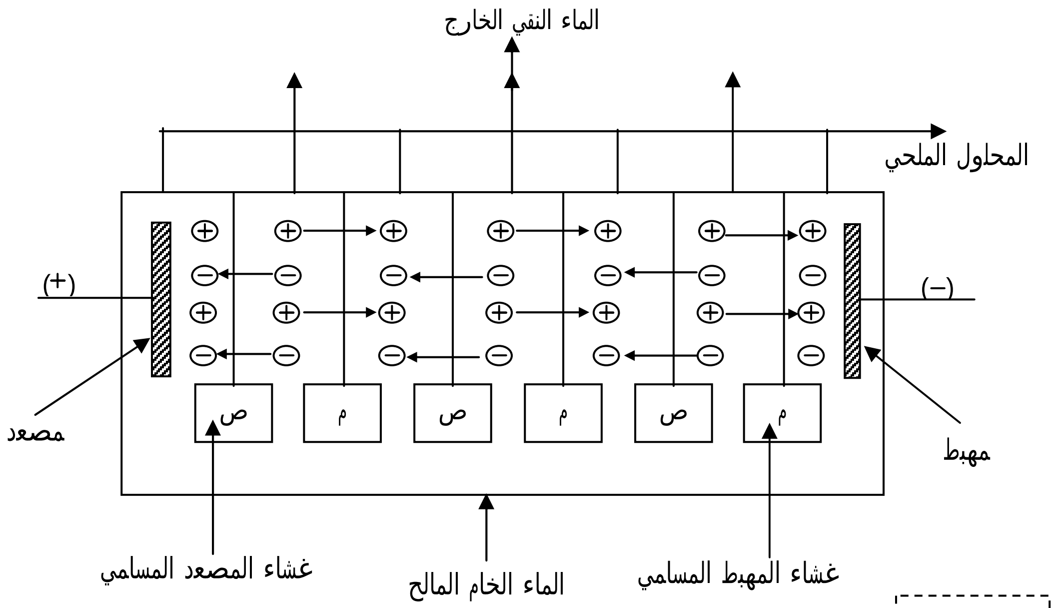
أوجد أقصى كثافة للتيار.

الحل:

1- المعطيات: TDS = C_O = 1600 ملجم/لتر، Eff_1 = 80%، Eff = 70%، B = 0.05 ملم، C_{MD} = 10-5سم2/ ث.

2- أوجد الكثافة القصوى للتيار من المعادلة $i_{max} = (100*Far*C_{MD}*C_O) / [B*(Eff_1 - Eff)]$

i_{max} = (26.8×60×60 أمبير/ث)×(10^{-5} سم^{2}/ ث)×(1600×10^{-3} جم/ سم^{3})÷(100×0.005 سم)×(80-70)
= 0.31 أمبير × جم/ سم^{2}



شكل 5-25 رسم تخطيطي لعملية الفرز الغشائي الكهربائي، أو عملية الديلزة، {3، 35}

المصدر: مرجع 35، منشور بإذن

المفتاح
م = مهبط
ص = مصعد

ب-5 الراتنجات لتبادل الأيونات Ion exchange resins

تُستخدم عملية تبادل الأيونات لتبادل أيونات معينة من مواد غير ذائبة بأيونات أخرى في المحلول {3، 10، 12، 35، 40}. ويطلق على هذه الطريقة التبادلية العكسية عملية تبادل الأيونات. ولا يحدث في هذه العملية تغير دائم في تكوين المواد الصلبة المستخدمة. أما الراتنجات فهى عبارة عن بوليميرات غير ذائبة لها مجموعات نشطة ذات ارتباط ثنائي مع البوليميرات{3، 41}. والمواد التي تُستخدم في عملية تبادل الأيونات يمكن أن تكون مواد طبيعية (يطلق عليها الزيليت) (.إن الزيليت الطبيعية zeolite أيضا يسمى الرمل الأخضرGreensand) أو مصنعة {12} مثل سيلكات الألمونيوم Aluminosilicates ، لها خواص لتبادل الأيونات في تكوينها مع أيونات في المحلول. أما المواد المصنعة فلها سعة تبادلية أكبر من المواد الطبيعية، كما وأنها تحتاج إلى كميات قليلة من المواد المنظفة، غير أن تكلفتها أعلى.

ويمكن أن تتم عملية تبادل الأيونات على دفعات أو بطريقة مستمرة. أما في طريقة الدفعات فيخلط الراتينج ويرج مع المحلول المزمع تنقيته، ومن ثم يفصل الراتينج المستخدم في حوض ترسيب لإعادة دورانه واستخدامه مرات أخرى. أما في العملية المستمرة فيتم تغيير الراتينج في مفرش أو عمود محشو ويمرر المحلول المطلوب تنقيته عبر المفرش أو العمود. والراتينجات يمكن أن تكون من أصل طبيعي أو مصنعة من مواد عضوية. وللمواد المصنعة درجة استقرار أكبر وسعة وقابلية أكبر للتحكم فيها {41}

أنواع الراتينجات:

يمكن تقسيم الراتينجات إلى الأنواع التالية:

- مبادلات شوارد موجبة: وتقوم هذه المبادلات بتبادل الكاتيونات. وتنقسم إلى راتينجات ضعيفة الحمضية (تحتوي على مجموعة كربوكسيل كمبادلات)، وراتينجات قوية الحمضية (تحتوي على أحماض سلفونية كمبادلات)
- مبادلات شوارد سالبة: وتعمل هذه المبادلات على تبادل الأيونات. ويمكن تقسيمها إلى راتينجات ضعيفة القلوية (تحتوي على مجموعة أمينية)، وراتينجات قوية القلوية (تحتوي على مجموعة الأمونيوم)
- مبادلات لأيونات محددة (المجموعات الإنتقائية): وتبادل هذه المبادلات الشوارد الموجبة والسالبة على حد سواء. كما وتحتوي على كميات إنتقائية مناسبة لحجز أيونات محددة تفضلها على أيونات أخرى.

ويمكن تبسيط عملية تبادل الأيونات في المعادلات التالية

$$Res\text{-}H^{+} + Na^{+} = Res\text{-}Na^{+} + H^{+}$$
$$2\ Res\text{-}Na^{+} + Ca^{++} = Res_2\text{-}Ca^{++} + 2Na^{+}$$

فمثلاً عند إزالة عسر الماء بتبادل الأيونات يمر الماء العسر خلال عمود يحوي الراتينجات. ويتم تبادل عسر الماء بأيونات من الراتينجات، والتي غالباً تكون أيونات الصوديوم كما مبين في التفاعل التالي:

$$Ca(HCO_3)_2 + 2NaR = CaR_2 + 2NaHCO_3$$

حيث يمثل R الأيون المبادل. وبفضل التفاعل السابق يمكن إزالة الكالسيوم أو المغنيسيوم من الماء لتحل محله كمية متكافئة من الصوديم، غير أن القلوية تظل ثابتة. وينتج من تبادل الأيونات إزالة كلية لعسر الماء إلى أن يتم الوصول إلى سعة مبادل الأيون، وحينها تتوقف الإزالة مما يلزم إيقاف دفق الماء الخام والعمل على نظافة العمود لإعادة استخدام المبادل {24}

ومن العوامل المؤثرة في هذه الطريقة: خواص الراتينجات وعمرها، وتكافؤ الأيونات، ونوع درجة تركيزالأيونات في المحلول، ونوع وتكوين المبادلات، وخواص المحلول، والعوامل المؤثرة في انتشار الأيونات.
وتستخدم عملية تبادل الأيونات في العديد من الأوجه الصناعية ومن أمثلتها: فصل الأيونات من المحاليل وتركيزها، وإنتاج الماء النقي للاستخدامات الصناعية، والتخلص من عسر الماء، وإنتاج المياه المعدنية، والحصول على المعادن الثقيلة من الفضلات السائلة (مثل النيكل والنحاس والخارصين والزئبق والسيلينيوم{41})، والتخلص من القلوية والمواد السامة، والحصول على الأحماض المعدنية، وتحلية المياه الجوفية والمياه المالحة، والحصول على المواد العضوية الهامة مثل الفينول والبروتين، وإعادة دوران المياه والمواد الكيميائية الموجودة في الفضلات السائلة، وإزالة أيونات الأمونيوم من السائل النهائي في محطة معالجة الفضلات السائلة.

ومن المعروف أن استخدام الراتينجات في عمليات معالجة الفضلات السائلة يخضع إلى بيئة صعبة مقارنة بتنقية المياه. وذلك لتعرض الراتينجات للتآكل الكيميائي والأكسدة والتفتيت الحراري والتحات الطبيعي، والتي تُعزى إلى

الصدمات الإسموزية أو التآكل بالتحات. كما وأن الفضلات السائلة بها كميات كبيرة من المواد العضوية التي يتم إمتصاصها الدائم بالراتينجات، كما وأن درجة العكارة العالية تسبب مشاكل أخرى {3، 35، 41}

5 - 5 التطهير Disinfection

يهدف تطهير المياه إلى قتل أو إزالة الجراثيم الضارة والمسببة للأوبئة من الماء النقي والسائل المعالج الخارج من وحدات التنقية والمعالجة. وتختلف عملية التطهير عن التعقيم، إذ يتم في عملية التعقيم قتل جميع الأحياء المجهرية بما فيها الأنواع الضارة والمسببة للأمراض.

أهداف عملية التطهير

تهدف عملية تطهير المياه أو السائل النهائي من الفضلات السائلة إلى مايلي:

- قتل الجراثيم ومسببات المرض الضارة بصحة الفرد وحيواناته وممتلكاته.
- إزالة الغازات غير المرغوبة مثل الأمونيا.
- أكسدة المواد غير العضوية للتمهيد لإزالتها: ومن هذه المواد: كبريتيد الهيدروجين، والحديد ثنائي التكافؤ Fe^{++}، والمنجنيز ثنائي التكافؤ.Mn^{++}

طرق التطهير:

توجد عدة طرق تستخدم للتطهير يمكن تقسيمها إلى قسمين رئيسين يضمان الطرق الطبيعية والطرق الكيميائية

أ) الطرق الطبيعية (الفيزيائية): وينضوي تحت لواء هذه الطرق {3، 5، 8-12،10-24، 35، 37، 38، 40، 42-44}:

- المعالجة الحرارية: ويتم فيها رفع درجة الحرارة إلى 100°م لمدة 15 إلى 20 دقيقة لقتل الجراثيم، وتختلف هذه العملية عن عملية البسترة (المستخدمة في صناعة المأكولات) والتي يتم فيها رفع درجة الحرارة إلى 80°م لمدة عشر دقائق لقتل الخلايا الحية .
- استخدام أيونات المعادن مثل أيونات الفضة والنحاس.
- استخدام الأشعة فوق البنفسجية: وتمرر المياه المراد معالجتها عبر غرفة تعرض فيها للأشعة فوق البنفسجية بطول موجة 200 إلى 310 نانومتر.

ب) الطرق الكيميائية : وهنا يتم إضافة مواد كيميائية مؤكسدة (مركبات تستقبل إلكترونات) لتطهير المياه. ومن أمثلة المواد الكيميائية المستخدمة غاز الكلور ومركبات الكلور (يطلق عليها عملية الكلورة Chlorination)، والأوزون (يطلق عليها عملية الأزونة Ozonation) واليود، وبيرمنجنات البوتاسيوم.

ويبين الجدول 5-8 محاسن ومساوئ الوحدات المختلفة المستخدمة لتطهير الماء من طرق طبيعية (مثل الأشعة فوق البنفسجية وأيونات المعادن) وطرق كيميائية (مثل الكلورة والأزونة). ومن الجدول تتضح أهمية استخدام المواد الكيميائية وتفضيلها على الطرق الطبيعية.

جدول 5-8 طرق التطهير {3، 35}

الطريقة	المحاسن	المساوئ
أ) **طرق طبيعية** الأشعة فوق البنفسجية	▪ عملية سهلة الإنشاء والتشغيل ▪ لا تتغير بعدها خواص السائل المطهر ▪ لا تتفاعل الأشعة فوق البنفسجية مع المركبات الموجودة في السائل ▪ تحتاج إلى زمن تلامس قليل ▪ لا تنتج روائح أو طعم ▪ لا تولد زيادة الإضافة مخاطراً	♦ لا يتكون باقي في السائل ♦ تحتاج إلى معالجة مسبقة لكي لا تتمكن الجراثيم والميكروبات من صنع درع واقٍ حولها من المواد الصلبة الموجودة في السائل ♦ ذات تكلفة عالية ♦ لا تؤثر على كل الجراثيم ♦ تحتاج إلى طاقة كبيرة وأجهزة غالية الثمن
أيونات المعادن	▪ تستخدم كميات قليلة من الأيون ▪ لا تنتج مواد سامة ▪ تنتج متبقي يحمي الصحة العامة ▪ لا يعتمد عمل الأيون على تركيز الكائنات الدقيقة الموجودة ▪ تؤثر على أنواع عديدة من الجراثيم	♦ تحتاج إلى معالجة مسبقة مناسبة ♦ تتأثر بالتغير في درجة الحرارة والرقم الهيدروجيني ♦ ذات تكلفة عالية ♦ تتأثر بالخواص الكيميائية للسائل المعالج
ب) **طرق كيميائية** الكلورة	▪ الكلور فعال في إزالة الجراثيم ▪ طريقة جيدة يمكن الاعتماد عليها ▪ تنتج متبقي للحماية ضد النمو الثانوي	♦ تحتاج إلى ضمان للإيفاء بالطلب ♦ تحتاج إلى منطقة معينة ذات مواصفات محددة للتخزين ♦ قد يتفاعل الكلور مع المواد العضوية ويكون مركبات ضارة بالصحة ♦ مخاطر عند الترحيل والنقل
الأزونة	▪ أكثر فاعلية وأكبر كفاءة من الكلور لمدى أكبر من الحرارة والرقم الهيدروجيني ▪ تحتاج إلى فترات تلامس قليلة ▪ لاتكون مركبات ضارة بالصحة ▪ لا توجد مخاطر من تخزين المادة أو ترحيلها ▪ لا تنتج روائح مع مكونات السائل الواجب تطهيره ▪ تأتي بتطهير سريع وجيد	♦ صعوبة الترحيل والتخزين لعدم ثبات الأوزون ♦ الأوزون قليل الذوبانية في الماء ♦ يحتاج الأوزون إلى تقانة عالية لإنتاجه ♦ الأوزون غاز سام جداً ♦ لا ينتج متبقي يحمي الصحة العامة ♦ ذات تكلفة عالية لشراء الأجهزة والتشغيل واحتياجات الكهرباء ♦ تحتاج إلى معالجة مشبقة عندما تكثر المواد العضوية والطحالب ♦ تحتاج إلى عمال مهرة للتشغيل

مواصفات المادة المطهرة الفعالة

لإتمام عملية التطهير بالصورة المثلى لابد من اختيار أفضل مادة كيميائية. ومن المواصفات التي يجب التفكر فيها عند اختيار المادة المطهرة الجيدة ما يلي:

- السرعة والفعالية لإزالة الجراثيم ومسببات المرض.
- غير سامة للإنسان وحيواناته في حدود الجرعة المستخدمة.
- التكلفة المناسبة.
- تكوين متبقي بعد إنتهاء عملية التطهير.
- سهولة الذوبان نسبياً عند درجات التركيز المطلوبة لإتمام عملية التطهير.
- خلوها من الطعم البغيض أو الرائحة النتنة أو اللون غير المقبول في حدود الجرعة المستخدمة للتطهير.
- سهولة إكتشافها وقياسها في الماء.
- سهولة التعامل معها وسهلة الحفظ والنقل والتحكم.
- التواجد المحلي.

العوامل المؤثرة على عملية التطهير

وتعتمد عملية التطهير على العديد من العوامل المتداخلة مثل:

- كمية الجراثيم والأحياء المجهرية. ونوعها
- وجود مواد أخرى سهلة الأكسدة بالمادة المطهرة.
- نوع المادة المطهرة المستخدمة. ودرجة تركيزها
- كمية المطهر المستخدم.
- درجة نقاء المادة المطهرة.
- الخواص الكيميائية والطبيعية للسائل المراد تطهيره.
- زمن التلامس بين المادة المطهرة والمحلول المراد تطهيره.

الكلورة :

تعني عملية الكلورة إضافة الكلور إلى الماء. ومن الخصائص العامة للكلور {3، 35}:

- غاز سام.
- لونه أخضر يشوبه إصفرار.
- قليل الذوبانية في الماء.
- له خاصية تغلغل كبيرة.
- له رائحة نفاذة.
- له كثافة أكبر من كثافة الهواء.
- يتبخر على درجات الحرارة العادية والضغط الجوي
- يمكن إنتاجه بالتحليل الكهربائي Electrolysis لمحلول ملحي من كلوريد الصوديوم والصودا الكاوية

- والهايدروجين.
- يوجد في الطبيعة متحداً مع عناصر أخرى من أهمها الصوديوم (ملح الطعام)

تفاعلات الكلور في الماء:

وعند إضافة الكلور إلى الماء يمكن أن تنتج أحد أو كل هذه التفاعلات:

أ) تفاعل الكلور مع الماء: يتفاعل الكلور مع الماء ليكون حمض الكلور (I) Hypochlorous acid (HOCl) وحمض الهايدروكلور Hydrochloric acid كما مبين في المعادلة التالية:

$$Cl_2 + H_2O = HCl + HOCl$$

وتتأين الأحماض المتكونة إلى:

$$HCl = H^+ + Cl^-$$

$$HOCl = H^+ + OCl^-$$

ويعتبر حمض الكلور(I) HOCl من أكثر المطهرات فعالية، ويطلق عليه الكلور المتواجد Available chlorine. كما وتتم غالبية التطهير عند الرقم الهيدروجيني الحمضي. ويعطى الجدول 5-9 فكرة عامة عن القيم المقترحة لأقل كلور مطلوب لتطهير الماء وقتل البكتريا.

ب) تفاعل الكلور مع الأمونيا: يتفاعل الكلور مع الأمونيا في وجود الماء ليكون الكلورامينات على حسب التفاعلات الموضحة أدناه:

أحادى كلورامين $NH_4^+ + HOCl = NH_2Cl + H_2O$

ثنائى كلورامين $NH_2Cl + HOCl = NHCl_2 + H_2O$

ثلاثى كلورامين (ثلاثى كلوريد النتروجين) $NHCl_2 + HOCl = NCl_3 + H_2O$

ويمكن وضع التفاعل النهائي كما موضح في المعادلة أدناه:

$$2NH_4^+ + 3HOCl = N_2 + 2H^+ + 3H_2O$$

ومن هذه المعادلة يتضح أن كمية الكلور المطلوبة لأكسدة جرام واحد من الأمونيا تعادل 5.9.

جـ) أكسدة المواد غير العضوية مثل أكسدة كبريتيد الهيدروجين، والحديد ثنائي التكافؤ Fe^{++} ، والمنجنيز ثنائي التكافؤ Mn^{++}.

د) أكسدة المواد العضوية. يتفاعل الكلور مع المواد العضوية مكونا ثلاثي هالوجينات الميثان Trihalomethanes وغيرها من المواد العضوية المكلورة. ويحتوي ثلاثي هالوجينات الميثان على الكلوروفورم (Chloroform $CHCl_3$)، وثنائي كلوربروم الميثان (Bromodichloromethane $CHBrCl_2$) ، وثنائي بروم كلور الميثان (Dibromochloromethane $CHBr_2Cl$)، والبروموفورم (Bromoform $CHBr_3$) وقد وجد أن الكلوروفورم مادة مسرطنة للحيوانات ويحتمل أن يكون مادة مسرطنة أيضاً للإنسان {22}.

تنتج الأمونيا في الماء من حلمأة البول طبقا للتفاعل المبين في المعادلة التالية:

$$(NH_2)_2CO + H_2O = 2NH_3 + CO_2$$

أو ربما تنتج من تفسخ المواد العضوية (مثل البروتين). ويؤدي تفاعل الكلور مع الأمونيا إلى نقطة إنفصال الكلورة Breakpoint chlorination. وتعرف هذه النقطة بأنها كمية الكلور اللازمة للإتيان بأقل كمية من الكلور المتبقى. ويبين الشكل 5-26 رسم تخطيطي لتفاعلات الكلور مع الأمونيا الموجودة في الماء. ويمكن تقسيم الشكل إلى أربعة مناطق:

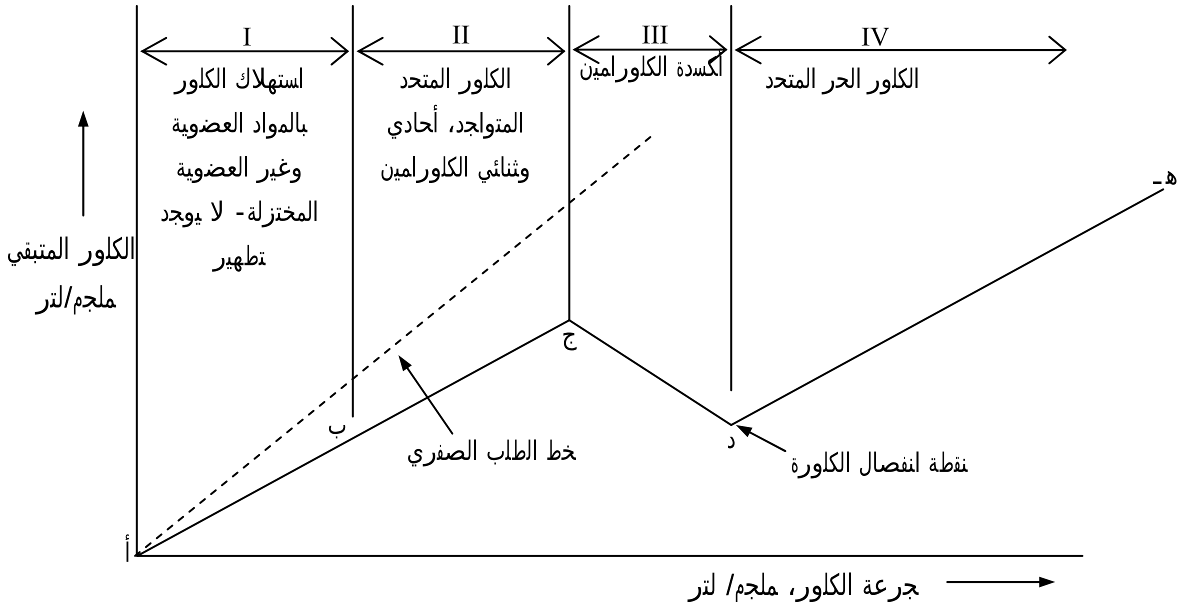
1) المنطقة من (أ) إلى (ب): تولد إضافة الكلور في هذه المنطقة تفاعلات سريعة بين الكلور والعناصر الموجودة في الماء، ومن ثم يتحول الكلور إلى أيون الكلوريد غير المطهر.
2) المنطقة من (ب) إلى (ج): إضافة المزيد من الكلور في هذه المنطقة تؤدي إلى الأكسدة الكلية للمواد المختزلة مكوناً الكلورامين وثنائي الكلورامين والتي تُسمى الكلور المتحد المتواجد.Combined available chlorine
3) المنطقة (ج) إلى المنطقة (د): في هذه المنطقة تقلل إضافة الكلور من الكلور المتواجد بسبب إنتاج ثلاثي الكلورامين والنتروجين والتي لا تعتبر مواد مطهرة. وبإضافة مزيداً من الكلور يتم أكسدة كل الأمونيا في النقطة (د) والتي تُسمى نقطة إنفصال الكلورة. وبإضافة المزيد من الكلور فإنه يتبقى ككلور متواجد HOCl ، ويعمل كمتبقي. وعادة تتم الكلورة إلى ما بعد النقطة (د) لضمان وجود الكلور المتبقي. وبالنسبة للسائل النهائي الذي يحمل كميات كبيرة من الأمونيا فتكون الكلورة مكلفة وبذا فإن الكلورة تعمل من المنطقة (ب) إلى (ج).
4) المنطقة من (د) إلى (هـ): وفي هذه المنطقة يتم الحصول على الجرعات المضافة من الكلور كمتبقي.

جدول 5-9 القيم الدنيا المقترحة للكلور المتبقي لتطهير المياه {3، 14، 35}

المصدر: مرجع 14، 35، منشور بإذن

الرقم الهيدروجيني	أقل كلور حر متواجد، ملجم/لتر (المتبقي بعد زمن تلامس 10 دقائق)	أقل كلور متحد متواجد، ملجم/لتر (المتبقي بعد زمن تلامس 60 دقيقة)
6	0.2	1
7	0.2	1.5
8	0.4	1.8
9	0.8	1.8
10	0.8	لا يوجد
أكبر من 10	أكبر من 1	لا يوجد

إن إضافة الكلور ليس فقط لحماية الصحة العامة ومنع تلوث شبكة توزيع المياه، ولكنه يتم أيضاً لضمان عدم رجوع البكتريا ونموها في شبكات المياه. ومع أن كمية الكلور الواجب إضافتها في الغالب بسيطة إلا أن ضبطه والتحكم فيه يجب أن يتم بعناية، إذ أن إضافة القليل منه ليس بذى جدوى، كما وأن إضافة الكثير ينتج عنه مذاق غير مستحب ينفر المستهلك من شرب الماء. كما يجب التأكد من أن جزء من الكلور يتبقى في شبكات التوزيع {3، 5}.



شكل 5-26 تفاعلات الكلور مع الأمونيا في وجود الماء {3، 4، 10، 15، 22، 35، 42، 44، 46}

قياس كفاءة الكلورة:

توجد عدة صيغ تبين العلاقة بين قابلية الكلور لقتل الجراثيم ودرجة تركيز المطهر المستخدم وأثر زمن التلامس بين الجراثيم والمطهر على كفاءة المطهر. ومن هذه الصيغ قانون جيك Chick's law كما مبين في المعادلة 5-61.

$$(dN/dt) = - k*N \qquad 5\text{-}61$$

حيث:

N = عدد الجراثيم الحية في الزمن t

t = الزمن (يوم)

k = ثابت (على اليوم)

وعند تكامل المعادلة 5-61 مع أخذ الحدود المناسبة في الحسبان: عند $N = N_O$، t = صفر = : عند: = = صفر، تنتج المعادلة 5-62.

$$(N/N_O) = e^{-kt} \qquad 5\text{-}62$$

حيث:

N = عدد الجراثيم الحية في الزمن t.

N_O = عدد الجراثيم الحية في الزمن صفر.

t = الزمن (يوم)

k = ثابت (على اليوم)

وتعتمد درجة قتل الجراثيم على عدد الجراثيم الموجودة أصلاً. وعندما تكون للجراثيم نفس المقاومة فإن قتلها يتبع تنظيم أُسي، وبذا فإن القتل الكلي لا يتحقق. وكفاءة التطهير تُذكر كنسبة مئوية لنسبة الجراثيم التي قُتلت إلى عدد الجراثيم الموجودة أصلاً. ولا يسري قانون جيك على كل الجراثيم، ويعتمد قتل الجراثيم على عوامل عدة متداخلة مع بعضها مثل: كفاءة المطهر للتغلغل في نوى خلايا الكائنات الحية، والزمن اللازم للمطهر لإتمام هذا التغلغل، وكمية المطهر، وعدد الجراثيم المتواجدة ونوعها. كما ويمكن أيضاً استخدام المعادلة 5-63 لعلاقة تركيز الكلور وزمن التلامس.

$$C^n * t = k \qquad 5\text{-}63$$

حيث:

C = درجة تركيز الكلور (ملجم/ لتر)

t = زمن التلامس أو الزمن المتاح لنسبة قتل معينة للميكروبات (دقيقة)

n, k = ثوابت تجريبية تتحقق لنظام معين.

ويمكن تقدير أثر درجة الحرارة على عملية التطهير من معادلة هوف أرهينيس {3، 10، 12، 35} المبينة في المعادلة 5-64.

$$\ln (t_1 / t_2) = [E' * (T_2 - T_1)] / R \qquad 5\text{-}64$$

حيث:

t_1, t_2 = الزمن المطلوب لقتل الميكروبات (ث)

E' = طاقة التنشيط Activation energy (كالورى)

T_1, T_2 = درجات الحرارة المقابلة للزمن t_1 وt_2 على الترتيب (كلفن)

R = ثابت الغاز العالمي = 1 كالورى / كلفن×مول.

= 0.082 لتر×جو/ كلفن×مول.

= 8.314 جول/ كلفن×مول.

ويبين جدول 5-10 طاقة التنشيط للكلور المائي طبقاً للرقم الهيدروجيني.

جدول 5-10 طاقة التنشيط للكلور المائي طبقاً للرقم الهيدروجيني {35، 46}

الرقم الهيدروجيني	طاقة التنشيط (كالوري)
7.0	8200
8.5	6400
9.8	12000
10.7	15000

مثال 5-17

أستخدم مطهر لإزالة الجراثيم من الماء بدرجة قتل 99.999 بالمائة. ثابت التفاعل يساوي 0.04 على الثانية (للأساس 10). أوجد زمن التلامس اللازم للمطهر بافتراض تحقيق قانون جيك لعينة الجراثيم الموجودة بالماء .

الحل:

1- المعطيات: درجة القتل = 99.999 % ، k = 0.04 على الثانية

2- أوجد زمن التلامس اللازم لتحقيق درجة القتل المعطاة من قانون جيك $t = -(1/k)*\log(N/N_O)$:

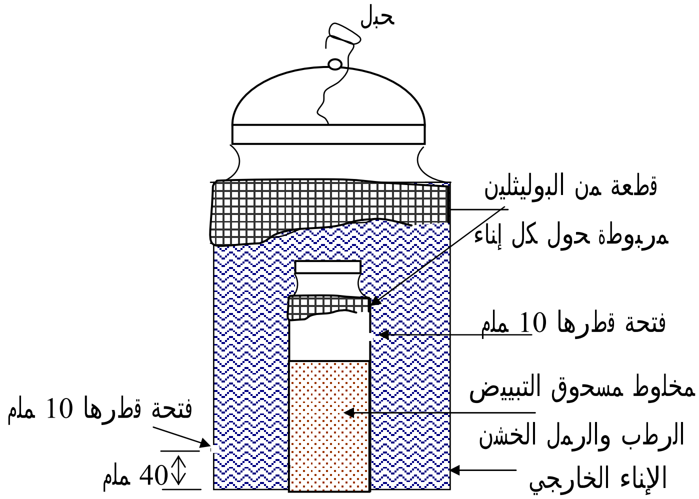
$t = -(1 \div 0.04) \times$ لو $[(100 - 99.999) \div 100] = 125$ ثانية = 2.1 دقيقة

تطهير الماء في ريف الدول النامية

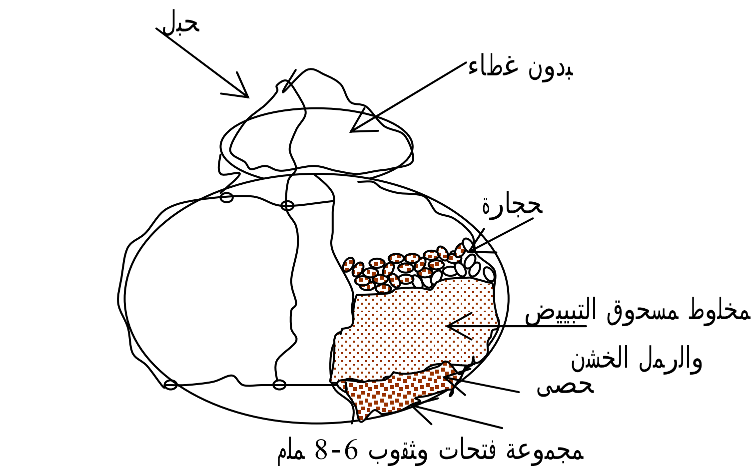
من أبسط أنواع الكلورة التي يمكن استخدامها في الآبار للقرى والدساكر في المناطق النامية هى تعليق جهاز الكلورة في البئر التي يؤخذ منها الماء. ويمكن إتمام هذه الطريقة باستخدام أحد الأجهزة المبينة في شكل 5-27. عادة يتكون جهاز الكلورة المبسط من إناء يحوي مخلوط من الرمل الخشن ومسحوق تبيض.

ويوضح شكل 5-27أ جهاز الكلورة المزدوج. ويمكن أن يقوم هذا الجهاز بخدمة ما يناهز العشرين شخصاً. ويجب إعادة ملء الجهاز بكيلوجرام واحد من مسحوق التبيض وكيلوجرامين من الرمل الخشن كل ثلاثة أسابيع. وفي هذا النظام تتكون الوحدة من أسطوانتين أو إنائين داخل بعضهما البعض. يتم ملء الإناء الداخلي بمخلوط الرمل والمطهر لإرتفاع يقارب الفتحات، ثم يوضع داخل الإناء الخارجي. ويغطى فم الإناء الخارجي بغطاء من البوليثلين ثم يعلق الإناء داخل البئر بوساطة حبل متين.

ويبين شكل 5-27ب جهاز الكلورة وحيد الإناء. ويخدم هذا الجهاز ما يناهز الستين شخصاً إذا تمكن من حفظ 50 بالمائة أو أكثر من مسحوق التبيض والرمل. ويحتاج الجهاز إلى تغيير المسحوق كل أسبوعين.



أ- جهاز الكلورة المزدوج



ج- جرة الكلورة

شكل 5-27 أجهزة الكلورة المبسطة {47}

Source: Cairncross, S. & Feacham, R., Environmental Health Engineering in the Tropics, John Wiley & Sons, Chichester, 2nd Edi., 1993. Translated & reprinted by courtesy of John Wiley & Sons Ltd.

5-6 تمارين نظرية وعملية:

5-6-1 تمارين نظرية:

1. دلل على أهمية الماء من الكتاب والسنة.

2. أذكر الفوائد العامة للماء.
3. ما فوائد ترشيد استخدام الماء؟
4. كيف يمكن تحفيز الناس لترشيد استخدام الماء؟
5. ما الأهداف العامة لتنقية المياه؟
6. أذكر أربعة وحدات طبيعية تُستخدم لتنقية المياه.
7. ما الفرق بين وحدات التنقية الطبيعية والكيميائية والحيوية؟
8. ما فوائد المصافي في محطات التنقية؟
9. ما أهم المواد التي يمكن إزالتها بالمصافي؟
10. أذكر الأقسام الرئيسة للمصافي.
11. كيف يمكن قياس فقد السمت للمصفاة؟
12. كيف يمكن التخاص من الملوثات المحجوزة بالمصفاة؟
13. ما الفرق بين مصفاة الطبل ومصفاة السير؟ وضح إجابتك بالرسومات المناسبة.
14. ما الفرق بين الترسيب والطفو؟
15. ما فوائد عملية الترسيب في مجال تنقية المياه ومعالجة الفضلات السائلة؟
16. أذكرأهم عوامل مؤثرة على عملية الترسيب؟
17. كيف يمكن ترفيع عملية ترسيب المواد الصلبة؟
18. ما الأقسام الرئيسة للترسيب وما الفروق المهمة بينها؟
19. أيهما أفضل: أحواض الترسيب المستطيلة أم الدائرية؟ ولماذا؟
20. ما الفرق بين الترسيب المعاق والترسيب المتفرد والترسيب المنضغط؟
21. ما الفرق بين الترسيب تحت ظروف دفق صفحي وتحت ظروف دفق مضطرب؟
22. بين كيف يمكن استعمال المعادلة التالية لإيجاد سرعة ترسيب الحبيبات $: v = \sqrt{\frac{4g.d.(s.g-1)}{3C_D}}$
23. ما العوامل المؤثرة على معامل الإعاقة الإحتكاكية؟
24. وضح كيف يتم اختبار ترسيب كل من الحبيبات المتفردة والحبيبات المتلبدة.
25. عرف كلاً مما يلي: رقم رينولد، رقم فرويد، الجرف التحتي، ودائرة القصر.
26. كيف يمكن تقليل مشاكل الدفق المضطرب والإتزان في حوض ترسيب مستطيل أفقي الدفق.
27. ما العوامل التي تؤثر على سرعة الجرف في حوض الترسيب؟
28. ما العوامل التي تؤدي إلى الترسيب المتلبد؟
29. ما الفرق بين التلبد والترويب؟
30. أذكر خمسة أمثلة لمروبات تُستخدم في محطات تنقية المياه.
31. لماذا تستعصي رؤية العوالق الغروانية؟
32. ما أهم العوامل السطحية المؤثرة على ترسيب الجسيمات الغروانية؟

33. عرف كل مايلي: قوى فان دير وول، قوى كولوم، الإستقطاب، الجهد الكهر-حركي، الرحلان الكهربي، جهد زيتا، الطبقة المنتشرة، طبقة استيرن.
34. ما فوائد تحديد جهد زيتا في تلبد المواد العالقة؟
35. ما فائدة اختبار الجرة وما العوامل المؤثرة عليه؟
36. ما الفرق بين التلبد حول الحركي والتلبد المتحرك في نفس الإتجاه؟
37. ما الطرق المستخدمة لإضافة المروبات؟
38. وضح كيفية عمل كبريتات الألمنيوم وكبريتات الحديد عند استخدامها كمروب في ترسيب الحبيبات العالقة في الماء.
39. ما الأهداف العامة للتهوية؟
40. ما الفرق بين التهوية الفقاعية والتهوية بالمساقط المائية الصناعية والتهوية بالأبراج والتهوية الميكانيكية؟
41. ما أهم العوامل التي تؤثر على عملية التهوية الميكانيكية؟
42. كيف تؤثر الشوائب في ذوبانية غاز الأكسجين في الماء؟
43. كيف يمكن استخدام المعادلة التالية لإيجاد ثابت هنري $C_g = \frac{P \times MW}{R \times T}$
44. ما الأهداف العامة لوضع وحدة الترشيح في محطة تنقية المياه؟
45. ما الخواص المطلوبة لاختيار وسط ترشيحي مناسب؟
46. كيف تؤثر التصفية الميكانيكية والترسيب والإمتزاز والأحياء المجهرية في عمل المرشح الرملي السريع؟
47. ما الفرق بين المرشح الرملي السريع والمرشح الرملي البطئ من منطلق الخواص الحيوية للراشح المنبثق من كل منهما؟
48. اكتب باختصار عن كل من الآتي:
أ - طريقة عمل المرشح الرملي السريع.
ب - استخدام مرشح ضغط المكبس في محطة مياه ريفية.
ج - تأثير الطحالب على أداء مرشحات الرمل البطيئة.
د - نمو طبقة أسكومودك على سطح المرشح الرملي البطئ.
هـ - استخدام مرشحات الرمل السريعة للتخلص من الحديد والمنجنيز في المياه الجوفية العميقة.
49. وضح معنى الرموز في المعادلة التالية وبين كيفية استخدامها لتقدير فقد السمت في المرشح الرملي؟

$$h_1 = \frac{E \times L(1-e) \times v^2}{\varphi \times d \times e^3 \times g}$$

50. ما الفرق بين امتزاز فان دير وول والإمتزاز الكيميائي؟
51. وضح الفرق بين الإمتزاز والإمتصاص والمج.
52. ما العوامل المؤثرة على عملية امتزاز الملوثات بوساطة الكربون النشط؟
53. أعط أمثلة لاستخدامات الإمتزاز في تنقية المياه ومعالجة الفضلات السائلة.
54. كيف يمكن تقدير كفاءة الإمتزاز؟

55. وضح كيف يمكن استخدام المعادلة التالية لتقدير السعة النهائية للمادة المازة: $\frac{x}{m} = K \times C^{1/n}$

56. ما فوائد تحلية المياه؟ أذكر أمثلة لمحطات تحلية توجد في منطقتك.

57. تحدث بإيجاز عما يلي:

أ - استخدام عملية التجميد في محطات تحلية المياه.

ب - استخدام وحدة التقطير الشمسي في محطة تحلية ريفية.

ج - إزالة الترسبات الملتصقة بأسطح المبادلات الحرارية في محطة تحلية مياه تستخدم وحدة التقطير ضمن وحداتها العاملة.

58. وضح الفرق بين عمليات القدرة والعمليات الحرارية في وحدات تحلية المياه.

59. ما أهم محاسن وعيوب عملية التقطير؟

60. ما الفرق بين الترسبات البلورية الصلدة والترسبات البلورية الكثيفة الملتصقة بأسطح المبادلات الحرارية في وحدة تقطير المياه؟

61. ماذا تعني الرموز في المعادلة التالية: $P_{osm} = C*R*T$ ؟ وأي قانون تمثله هذه المعادلة؟ وكيف يمكن استخدامها لتحديد فرق الضغط الحلولي عبر الغشاء شبه المسامي في وحدة التناضح العكسي؟

62. ما الأهداف العامة لوحدة التناضح العكسي في محطات تحلية المياه المستخدمة لها.

63. كيف يتم اختيار الغشاء شبه المسامي في وحدة التناضح العكسي؟ أذكر أمثلة لبعض الأغشية المستخدمة.

64. ماذا تعني الرموز في معادلة كفاءة الفرز الغشائي الكهربائي التالية:

$$\frac{(Eff_1 - Eff)}{100\,Far} = \frac{C_{MD}(C_o - C)}{B}$$

65. ما محاسن عملية الديلزة كوحدة تحلية للمياه وعيوبها ؟

66. أذكر المجالات التي يمكن فيها استخدام الراتينجات. أذكر أمثلة لأكثر الراتينجات استخداماً.

67. ما الفرق بين طريقة الأيونات على دفعات وطريقة تبادل الأيونات المستمرة؟

68. ما الفرق بين التطهير والتعقيم والبسترة؟

69. لماذا يجب تطهير المياه قبل استهلاكها؟

70. أيهما أحسن لتطهير المياه: أيونات الفضة أم الأشعة فوق البنفسجية أم الكلور؟

71. أذكر أهم خمسة عوامل مؤثرة على عملية التطهير.

72. أيهما أكثر احتواء على المادة المطهرة الكلور أم أحادي الكلورامين، أم ثنائي الكلورامين أم ثلاثي كلوريد النتروجين؟

73. عرف الآتى: نقطة انفصال الكلورة، الكلوروفورم، ثلاثي هالوجينات الميثان، الكلور المتبقي، وزمن التلامس.

74. كيف يمكن استخدام المعادلة التالية لقياس كفاءة الكلورة: $C^n \times t = k$ ؟ وماذا تعني الرموز المدرجة بالمعادلة؟

75. كيف يمكن تطهير ماء البئر في قرية من ريف إحدي الدول النامية؟ وما محاسن هذه الطريقة ومساوئها؟ وكيف يمكن تطويرها؟

5-6-2 تمارين تطبيقية:

1. تترسب جسيمات صلبة عالقة كثافتها النوعية 1.35 ومتوسط قطرها 0.04 ملم في جهاز ترسيب به ماء على درجة حرارة 19 °م . أوجد سرعة ترسيب الحبيبات. (الإجابة: 0.3 ملم/ث)
2. تستقبل محطة معالجة فضلات سائلة بمعدل دفق متوسطه اليومي 14000 م^3. وتضم المحطة حوضين دائريين لترسيب المواد الصلبة العالقة، قطر كل منهما 22 متراً وعمقه 1.5 م. أوجد سرعة الدفق وزمن المكث بكل حوض. (الإجابة: 0.2 ملم/ث، 1.95 ساعة)
3. حوض ترسيب به ماء عكر على درجة حرارة 20°م. أُستخدم الحوض للترسيب البسيط والمتفرد لمواد صلبة عالقة (م) ذات شكل كروي وقطر 0.8 ملم وكثافة نوعية 1.08.
   أ) أوجد نسبة إزالة جسيمات كروية أخرى (ج) ذات قطر 0.5 ملم في نفس حوض الترسيب إذا علم أن هذه الحبيبات (ج) لها كثافة نوعية تساوي 1.1.
   ب) أوجد نسبة الإزالة للجسيمات (ج) إذا تغيرت درجة حرارة الحوض عند ترسب هذه الجسيمات إلى 25°م. (الإجابة: 49%، 55%)
4. يراد تنقية محلول من ما يحمله من شوائب عالقة في حوض ترسيب أفقي الدفق ومثالي الترسيب على درجة حرارة 18°م. أُدخل المحلول الى الحوض بمعدل دفق يعادل 500 متراً مكعباً في الساعة. أبعاد حوض الترسيب تساوي: 1.5×5×18 م للإرتفاع والعرض والطول على الترتيب. أوجد قيمة رقم فرود ورقم رينولد للإندفاق الأفقي للماء. ماذا تستنتج من هذا المثال؟ (الإجابة: 3.7×10^{-5}، 16348).
5. أُستخدمت وحدة ترسيب في محطة تنقية مياه. ويبين الجدول التالي البيانات المتعلقة بها:

المنشط	القيمة
عدد السكان المستهلكين للماء	30000فرداً
متوسط استهلاك الفرد اليومي من الماء	275 لتراً
تركيز المواد الصلبة العالقة	150ملجرام/لتر
عرض حوض الترسيب	8م
طول حوض الترسيب	50م
عمق حوض الترسيب	1.5م
درجة حرارة الماء في حوض الترسيب	20 °م

وأشارت تجارب عمود الترسيب إلى أن التوزيع المتردد التراكمي للحبيبات يتبع خطاً مستقيماً خواصه كما يلي:

20% من الحبيبات المترسبة سرعة ترسيبها أكبر من 0.55 ملم/ث

10% من الحبيبات المترسبة سرعة ترسيبها أصغر من 0.1 ملم/ث

وبافتراض أن الترسيب متفرد أوجد مايلي

- زمن مكث الحوض.
- كفاءة حوض الترسيب لإزالة المواد الصلبة العالقة.
- درجة تركيز المواد الصلبة في السائل الخارج من وحدة الترسيب.
- أرقام فرود ورينولد للدفق الأفقي للماء.
- كيف يمكن تحسين أداء هذا الحوض؟

(الإجابة: 1.7 ساعة، 87%، 20 ملجم/ لتر، 0.6×10^{-5}، 8587).

6. نتائج تجربة عمود الترسيب لحبيبات عالقة متفردة في محطة معالجة تضم 3 أجهزة ترسيب دائرية أعطت البيانات التالية:

النسبة المئوية للمواد الصلبة المزالة	زمن العينة(ساعة)	عمق الحوض (متر)
61	1	0.5
85	2	0.5
93	3	0.5
96	4	0.5
97	5	0.5
98	6	0.5
35	1	1
61	2	1
76	3	1
85	4	1
90	5	1
93	6	1
35	1	1.5
43	2	1.5
61	3	1.5
73	4	1.5
80	5	1.5
86	6	1.5

أ) ارسم منحنى التوزيع المتردد التراكمي للعينة للترسيب المتفرد.

ب) أوجد النسبة المئوية لكفاءة حوض الترسيب للتخلص من الشوائب والمواد العالقة، علما بأن قطر كل جهاز ترسيب يساوي 14 متراً، والماء الداخل إليه ينساب بمعدل دفق يساوي 200 متراً مكعباً على الساعة. (الإجابة 86%)

7. عند اختبار عينة من محلول عكر على جهاز عمود الترسيب تم الحصول على البيانات التالية لثلاثة أبعاد على العمود:

العمق (سم)	النسبة المئوية للمواد الصلبة المزالة في السائل النهائي الخارج (%)							
50	5	10	41	52	70	78	85	89
100	3	6	14	24	43	57	66	71
150	2	4	8	12	28	43	54	59
	10	20	40	50	70	90	110	120
	زمن الترسيب (دقيقة)							

أ) أوجد الإزالة الكلية لحوض ترسيب متلبد عمقه 1.5 متراً صمم لزمن مكث يعادل ساعة واحدة، علما بأن درجة تركيز المواد الصلبة الداخلة للحوض تساوي 190 ملجم/لتر.

ب) أوجد درجة تركيز المواد الصلبة العالقة في السائل الخارج من الحوض .

(الإجابة 52%، 91 ملجم/لتر)

8. يبين الجدول التالي مواصفات حوض ترسيب بمحطة معالجة:

المنشط	القيمة
درجة حرارة المائع	20°م
معامل السحب للبدال المستطيل	1.7
سرعة طرف البدال	2016 م/ساعة
القدرة المطلوبة للنظام	8000 وات
حجم جهاز الترويب	5100 متراً مكعباً
سرعة البدال النسبية: سرعة طرف البدال	%75

أوجد ميل السرعة ومساحة البدال لإكمال ترويب المواد العالقة .(الإجابة: 39 على الثانية، 127 م^2.)

9. ماء نقي على درجة حرارة 20° م ومعرض لضغط يعادل 101.3 كيلوباسكال. بافتراض أن الهواء الجاف يحوي 21 بالمائة من حجمه أكسجين، أوجد مايلي:

أ) درجة التركيز عند التشبع للأكسجين المذاب في الماء.

ب) معامل هنري.

ج) معامل بنزن للإمتصاص. (الإجابة: 9.2 ملجم/لتر، 4.42×10^{-4} جم/جول، 0.0314 جم/جول).

10. أستخدم مسقط صناعي متعدد الدرجات لرفع درجة تركيز الأكسجين في ماء جوفي لاهوائي (على درجة حرارة تعادل 20 °م) إلى 8.1 جرام على المتر المكعب. كل درجة من المسقط يمكنها رفع درجة ذوبانية الأكسجين من 10 بالمائة إلى 45 بالمائة من درجة تشبعه.

أ) أوجد كفاءة كل درجة من درجات المسقط لتهوية الماء.

ب) أوجد عدد درجات المسقط المطلوبة. (الإجابة: 39%، 5 درجات).

11. يتمكن مسقط صناعي من تخفيض تركيز ثاني أكسيد الكربون في مياه جوفية من 23 الى 14 جم/م^3. ويتمكن جهاز تهوية رش من تخفيض تركيز ثاني أكسيد الكربون في نفس الماء الى 10 جم/م^3. يحتوي الهواء على 0.032 في المائة ثاني أكسيد كربون، والذي تبلغ ذوبانيته في الماء 2500 جم/م^3/جو.

أ) أوجد تركيز ثاني أكسيد الكربون الخارج إذا أستخدم كلٌ من جهازي التهوية المذكورين أعلاه على التوالي لتخفيض كمية الغاز.

ب) أي ترتيب أفضل للجهازين؟ ولماذا؟ (الإجابة: 6.3 جم/م^3)

12. أوجد عدد المرشحات الرملية السريعة المطلوبة ومساحة كل مرشح لتنقية مياه سطحية مستخدماً البيانات التالية:

- السرعة الترشيحية للمياه داخل المرشح = 0.45 سم/ ثانية
- كمية الماء المطلوبة لتفي بالاستهلاك = 950 متراً مكعباً على الساعة.

(الإجابة: 9 إثنان إحتياطي، 8.4 متراً مربعاً)

13. أستخدم مرشح رملي ارتفاعه 1.2 متراً في محطة تنقية ماء. يتكون المرشح من رمل منتظم قطره 0.2 ملم ومعامل شكله 0.93 وكثافتة النوعية 2.6 ومساميته 45 بالمائة،. ينساب ماء خام على درجة حرارة 20°م عبر المرشح بسرعة 15 م في اليوم. أوجد فقد السمت عبر المرشح باستخدام معادلة روس. (الإجابة: 367 سم).

14. مرشح رملي إرتفاع وسطه الترشيحى 1 م، يتكون من حبيبات منتظمة متوسط قطرها 0.25 ملم ومعامل نفاذيتها 50 بالمائة. إذا كان أقصى فقد سمت محسوبا بمعادلة روس يساوى 75 ملم، أوجد سرعة الترشيح مقدرة باللتر/ اليوم/ المتر المربع للماء المرشح والذى تبلغ درجة حرارته 20 هم. هل هذه السرعة مقبولة؟ (الإجابة: 9400 لتر/ اليوم/ المتر المربع.(

15. أستخدم مرشح رملي ثنائي الطبقات (الطبقة الثانية في الأعلى) مكون من رمل وانثراسايت في محطة تنقية مياه. ويبين الجدول التالي خواص المرشح:

الخواص	طبقة الرمل	طبقة الأنثراسايت
ارتفاع الطبقة الترشيحية (م)	0.7	0.6
مسامية الطبقة	(%)45	45
متوسط قطر الحبيبات (ملم)	0.5	1.3
كثافة الحبيبات	2.65	1.5
معامل شكل الحبيبات	0.85	0.8
سرعة الترشيح (لتر/ م^2×دقيقة)	200	200
درجة حرارة الماء (°م)	20	

أ) أوجد فقد السمت خلال المرشح مستخدما كل من معادلتى كارمان-كوزنى وروس.

ب) أوجد الخطأ المئوي بين المعادلتين المستخدمتين لإيجاد فقد السمت. (الإجابة: 963 ملم، 666 ملم، 31%)

16. في تجربة لإمتزاز مادة ملوثة بواسطة الكربون النشط تم الحصول على البيانات التالية:

كتلة الكربون النشط (المادة المازة) (جرام)	درجة تركيز المادة الممتزة المتبقية (جم/م^2)
40	34.7
120	24.6
260	15.5
340	12.4
1000	3.7
2800	1

أ) أوجد قيمة الثوابت k وn في معادلة فروندليش لمنحنى تساوي الحرارة لإمتزاز المادة الملوثة علماً بأن درجة تركيز المادة عند بداية التجربة 42 جم/م^2

ب) أوجد السعة النهائية للكربون النشط المستخدم في هذا الاختبار.

(الإجابة: 0.015، 0.71، 0.21 جم/جم).

17. أُستخدم جهاز تقطير ثنائي المرحلة في محطة تحلية ماء، وأُدخل بخار جاف على درجة حرارة 125 °م للمرحلة الأولى من جهاز التقطير. يحتوي الجهاز على مبادلات حرارية متساوية المساحة، وتتناسب معاملات إنتقال الحرارة بها بنسبة 4.1 الى 2.9. أوجد النقصان الحادث في درجة الحرارة في المرحلة الثانية عندما تكون درجة الحرارة 50 °م. (الإجابة: 44°م).

18. محاول ملحي على درجة حرارة 20 °م عليه ضغط بخار يعادل 2.41 كيلو باسكال. أوجد الضغط الحلولي لوحدة حجم. (الإجابة: 82 كيلو باسكال).

19. أُستخدم غشاء شبه مسامي ليفصل عينة من الماء على درجة حرارة 20°م عن ماء مقطر بجهاز تناضح عكسى. وتم الحصول على النتائج التالية:

الأيونات	درجة التركيز (ملجم أيون/لتر)
الشوارد الموجبة (الكاتيونات)	
Mg^{++}	0.5
Ca^{++}	0.6
K^{+}	0.2
Na^{+}	0.4
الشوارد السالبة (الأنيونات)	
HCO_3^{-}	1
$SO_4^{=}$	2
Cl^{-}	0.6
NO_3^{-}	0.4

أوجد فرق الضغط الحلولي عبر الغشاء. (الإجابة: 2.84 جو).

20. أستخدم مسحوق تبييض لتطهير بئر جوفي في ريف إحدى الدول النامية. نصف قطر البئر 30 سم وارتفاع الماء داخله مترين. أوجد الكمية المطلوبة من المسحوق واللازمة للإتيان بجرعة تعادل 50 ملجم/ لتر علماً بأن تركيز الكلور في المسحوق لايتعدى 30 بالمائة. (الإجابة: 94 جرام)
21. أستخدم الكلور للتطهير في محطة تنقية مياه. يعادل الدفق الداخل الى المحطة 650000 لتراً في الساعة. يضاف الكلور بمعدل يومي يقارب 4 كيلوجرام. ما مقدار جرعة الكلور المضافة. (الإجابة: 0.26 ملجم/لتر).
22. أستخدم مطهر لإزالة الأحياء المجهرية الضارة من الماء بدرجة قتل تعادل 99.9 بالمائة. أوجد زمن التلامس اللازم للمطهر بافتراض تحقق قانون جيك، علماً بأن ثابت التفاعل يساوي 0.05/ثانية (للأساس 10). (الإجابة: 1 دقيقة)

5-7 المراجع والمصادر

1. "صحيح البخاري"، شرح وتحقيق الشيخ قاسم الشماعي الرفاعي، دار القلم، بيروت، مجلد 1-9، 1987.
2. السيد سابق، "فقه السنة"، الفتح للإعلام العربي، القاهرة، الطبعة الخامسة الشرعية، مجلد 1-3، 1992.
3. عصام محمد عبد الماجد، الهندسة البيئية، دار المستقبل للطباعة والنشر، عمان، الأردن، 1995.
4. عصام محمد عبد الماجد وبشير محمد الحسن، "إمدادات المياه بالسودان"، دار جامعة الخرطوم للنشر، المجلس القومي للبحوث، الخرطوم ، السودان، 1986.
5. عصام محمد عبد الماجد، "تنقية المياه والهندسة الصحية"، دار جامعة الخرطوم للنشر، الخرطوم ، السودان، 1986.
6. بشير محمد الحسن وعصام محمد عبد الماجد، "الصناعة والبيئة: معالجة المخلفات الصناعية"، معهد الدراسات البيئية، جامعة الخرطوم، الخرطوم ، السودان، 1986.
7. Tebbutt, T. H. Y., "Principles of water quality control", Pergamon Books, Oxford, New York, 4th Edi., 1992.
8. Barnes, D.; Bliss, P. J.; Gould, B. W. and Vallentine, H. R. "Water and wastewater engineering systems", Pitman International, Bath 1981.
9. Fair, G. M. Geyer, J. C., and Okun, D. A., Water and Wastewater Engineering, Volumes 1 and 2, John Wiley and Sons, Inc., New York, N.Y., 1968.
10. Metcalf and Eddy Inc., "Wastewater engineering: treatment disposal reuse", 3rd Ed., McGraw-Hill Inc., New York, 1991.
11. Nathanson, J. A., Basic Environmental Technology: Water Supply, Waste Disposal and Pollution Control, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1986.
12. Peavy, H. S.; Rowe, D. R.; and Tchobanoglous, G. "Environmental engineering", McGraw-Hill Book Co., New York, 1985.
13. McGhee, T. J., and Steel, E. W. "Water supply and sewerage", 6th Ed., McGraw- Hill, New York 1991.
14. Viessman, W. and Hammer, M. J., Water Supply and Pollution Control, Harper and Row Pub., New York, 1985.
15. Degremont, "Water Treatment Handbook", Degremont, Rueil-Malmaison Cedex, France, 6th Edi., Vol. 1 and 2 1991.
16. Huisman, L., Sedimentation and Flotation: Sedimentation and Flotation, - Mechanical Filtration, - Slow Sand Filtration, - Rapid Sand Filtration, Delft University of Technology, Herdruk, 1977.
17. Al-Layla, M. A., Ahmed, S., and Middlebrooks, E. J., "Water Supply Engineering Design", Ann Arbor Science, Michigan, 1980.
18. Callely, A. G.,; Forster, C. F. F., and Stafford, D. A., "Treatment of Industrial Effluents", Hodder and Stoughton, London, 1977.
19. Hammer, M. J., "Water and wastewater technology", 2nd Ed., Wiley, New York 1986.
20. Hofkes, E. H., Huisman, L., Sundaresan, B. B., Netto, J. M. D., and Lanoix, J. N., "Small Community Water Supplies", John Wiley and Sons, Chichester, 1986.
21. Masschelein, W. J., "Unit Operations", International Institute for Hydraulic and Environmental Engineering, Delft, The Netherlands, Vol. 1, 1977.

22. Berger, B. B. Ed., "Control of organic substances in water and wastewater", Noyes Data Co., New Jersey 1987.
23. Vesilind, P. A., Peirce, J. J., Weiner, R. F. "Environmental engineering", 2nd Ed., Butterworth-Heinemann, Boston, 1990.
24. Davis, M.L. and Cornwell, D.A., "Introduction to Environment Engineering", 2nd Edi., McGraw-Hill Inc., New York, 1991.
25. Punmia, B. C., "Environmental Engineering: Volume 1: Water Supply", Standard Book House, Naisarak, Delhi-6, 1979.
26. AWWA, "Water Quality and Treatment Handbook of Public Water Supplies", McGraw-Hill, New York, 1971.
27. Rich, L. G., "Unit Operations of Sanitary Engineering", John Wiley, Clemson, 1974.
28. Lorch, W. edi., "Handbook of water purification", 2nd Ed., McGraw-Hill Book Co., London 1981.
29. Merritt, F. S., and Kurtz, M. "Civil Engineering Reference Guide", McGraw-Hill Book Co., New York 1986.
30. Popel, H. J., "Aeration and Gas Transfer", Delft University of Technology, Herdruk, 1979.
31. Wilson, F., "Design calculations in wastewater treatment", Spon. Ltd., London 1981.
32. Visscher, J.T., Paramasivam, R., Raman, A., and Heijnen, H.A., "Slow Sand Filtration for Community Water Supply", TP24, IRC, The Hague, The Netherlands.
33. 33) Porteous, A., "Desalination Technology: Developments and Practice", Applied Science Pub., London 1983.
34. Buros, O. K., "The Desalting ABC's", International Desalination Association, Massachusetts, 1990.
35. Rowe, D.R, and Abdel-Magid, I.M., "Handbook of Wastewater Reclamation and Reuse", CRC Press\Lewis Publishers, Boca Raton, FL, 1995.
36. Lee, C.C "Environmental Engineering Dictionary", 2nd Edi., Government Institutes, Inc., Rockville MD, 1992.
37. Abdel-Magid, I.M., Hago, A., and Rowe, D.R., "Modeling Methods for Environmental Engineers", CRC Press\Lewis Publishers, Boca Raton, FL, 1996 (Under publication).
38. Sawyer, C. N. and Mc Carty, P. L., "Chemistry for Environmental Engineering", McGraw-Hill Pub. Co., 3rd, New York, 1978.
39. Lacy, R. E., "Membrane Separation Process", Chem. Eng., 4:56, September 1972.
40. Perry, R. H. Green, D. W., and Maloney, J. O., Edi., "Perry's Chemical Engineers' Handbook", 6th Edi., McGraw-Hill Book Co., New York, 1985.
41. Bolto, B. A. and Pawlowski, L., "Wastewater Treatment by Ion Exchange", E. & F. N. Spon, New York, 1987.
42. Salvato, J. A., "Environmental Engineering and Sanitation", John Wiley and Sons, New York, 4th Edition, 1992.
43. Committee Report, "Disinfection", American Water Works Association, 1978, 70(4), 219.

44. Dyer-Smith, P.; Brown, Beveri and Co., "Water Disinfection Status and Trends", J. Water and Sewage Treatment, 2(4), Dec. 1983, 13.
45. AWWA, "Water Chlorination Principles and Practices", American Water Works Association, M20, Denvor CO, 1973.
46. Fair, G. M., Morris, F. C., Chang, S. L., Weil, I, and Burden, R. A., "The Behavior of Chlorine as a Water Disinfectant", J. American Water Works Association, 40: 1051, 1948.
47. Cairncross,S. and Feachem, R., "Environmental Health Engineering in the Tropics", John Wiley and Sons, Chichester, 2nd Edi., 1993.

الباب الثانى

معالجة الفضلات والمخلفات السائلة وأنماط التخلص النهائي

الفصل السادس

معالجة الفضلات والمخلفات السائلة في محطات المعالجة الحضرية

6-1 مقدمة

يقصد بالفضلات والمخلفات السائلة ذلك الخليط من السوائل أو المياه المحملة بالأوساخ والتي صرفت - من المنازل والمؤسسات والمناطق التجارية والصناعية وغيرها من أوجه الصرف - مع أى مياه جوفية وسطحية ومياه أمطار ربما وجدت طريقها إليها {1، 2}

ومياه الصرف الصحي والحمأة عبارة عن محاول مخلوط قد يقود إلى تلوث البيئة وما بها من ماء وهواء وتربة، كما وقد يؤدي إلى تلوث طعام ومسكن الفرد. ومن هذا المنطلق يجب العمل على معالجة هذه الفضلات وإتباع الأساليب المثلى للتخلص النهائي منها لتفادى أى مشاكل صحية أو اجتماعية أو اقتصادية محتملة. ويمكن إيجاز المشاكل والمخاطرالمتعلقة بالفضلات والمخلفات السائلة في النقاط التالية {1-7}

1. مشاكل استساغية: إذ تأتي الفضلات السائلة للمياه الطبيعية بالطعم البغيض والراائحة النتنة والغازات الملوثة والخطرة (مثل: غاز ثاني أكسيد الكربون وكبريتيد الهايدروجين والميثان).
2. مضار صحية وفسيولوجية: إذ ربما احتوت المخلفات والفضلات السائلة على أحياء مجهرية وميكروبات جرثومية جالبة للمرض، هذا بالإضافة إلى احتمال احتوائها على مركبات كيميائية (مواد عضوية، منظفات ثابتة كيميائياً، مبيدات عضوية) سامة أو خطرة للصحة العمومية على المدى الطويل.
3. آثار بيئية: إذ تنتج الحمأة كميات كبيرة من المواد الصلبة التي قد تتراكم في قعر المسطحات المائية وتؤثر سلبا على نوع هذه المياه. وتؤثر الزيوت والشحوم (الموجودة في بعض المخلفات السائلة) على المناظر وجمال المنطقة خاصة في المناطق السياحية ومناطق الترفيه، وتمنع الاستخدام الأمثل لمناطق السياحة والاستحمام والترفيه، كما وتؤثر سلباً على عمليات المعالجة الحيوية. ربما أتت الحمأة ومياه المجاري بمشاكل التخمة Eutrophication للبحيرات وما شاكلها وذلك بزيادة درجة تركيز مواد التغذية النباتية في المسطحات المائية.
4. مشاكل دينية: إذ ذكر سيد سابق {8} أن النجاسة المغيرة لطعم الماء أو لونه أو رائحته تمنع التطهر به إجماعاً، نقل ذلك ابن المنذر وابن الملقن. والنجاسة هى القذارة التي يجب على المسلم أن يتنزه عنها ويغسل ما أصابه منها {8}. وقال الحق جل وعلا في محكم التنزيل "يأيها الذين امنُوا لا تقربوا الصلاةَ وأنتم سكارى حتى تعلموا ما تقولون ولا جنباً إلا عابرى سبيلٍ حتى تغتسلوا وإن كنتم مرضى أو على سفرٍ أو جآء أحد منكم من الغآئط أو لامستم النسآء فلم تجدوا مآء فتيمموا صعيداً طيباً فامسحوا بوجوهكم وأيديكم إن الله كان عفواً غفوراً" (43) النساء. وقال سبحانه وتعالي "يأيها الذين امنوا إذا قمتم إلى الصلاة فاغسلوا وجوهكم وأيديكم إلى المرافق وامسحوا برؤوسكم وأرجلكم إلى الكعبين وإن كنتم جنباً فاطهروا وإن كنتم مرضى أو على سفرٍ أو جآء أحد منكم من الغآئط أو لامستم النسآء فلم تجدوا مآء فتيمموا صعيداً طيباً

فامسحوا بوجوهكم وأيديكم منه ما يريد الله ليجعلَ عليكم من حرجٍ ولكن يريد ليطهركم وليتم نعمته عليكم لعلكم تشكرون" (6) المائدة. وقد ذكر سيد سابق أيضاً أن النهى قد ورد عن ركوب الجلالة وأكل لحمها وشرب لبنها. **فعن ابن عباس رضى ا عنهما قال: "نهى رسول ا صلى ا عليه وسلم، عن شرب لبن الجلالة**" رواه الخمسة إلا ابن ماجه، وصححه الترمذى. وفي رواية "**نهى عن ركوب الجلالة**" رواه أبو داود. **وعن عمر بن شعيب عن أبيه عن جده رضى ا عنهم قال: "نهى رسول ا صلى ا عليه وسلم، عن لحوم الحمر الأهلية، وعن الجلالة: عن ركوبها وأكل لحومها**" رواه أحمد والنسائى وأبو داود. والجلالة: هى التي تأكل العذرة، من الإبل والبقر والغنم والدجاج والأوز وغيرها، حتى يتغير ريحها. فإن حبست بعيدة عن العذرة زمناً، وعلفت طاهراً فطاب لحمها وذهب اسم الجلالة عنها حلت، لأن علة النهى التغيير وقد زالت {8}.

ويبين جدول 6-1 صورة عامة توضيحية لما تحويه الفضلات المنزلية السائلة.

جدول 6-1 مكونات الفضلات المنزلية السائلة

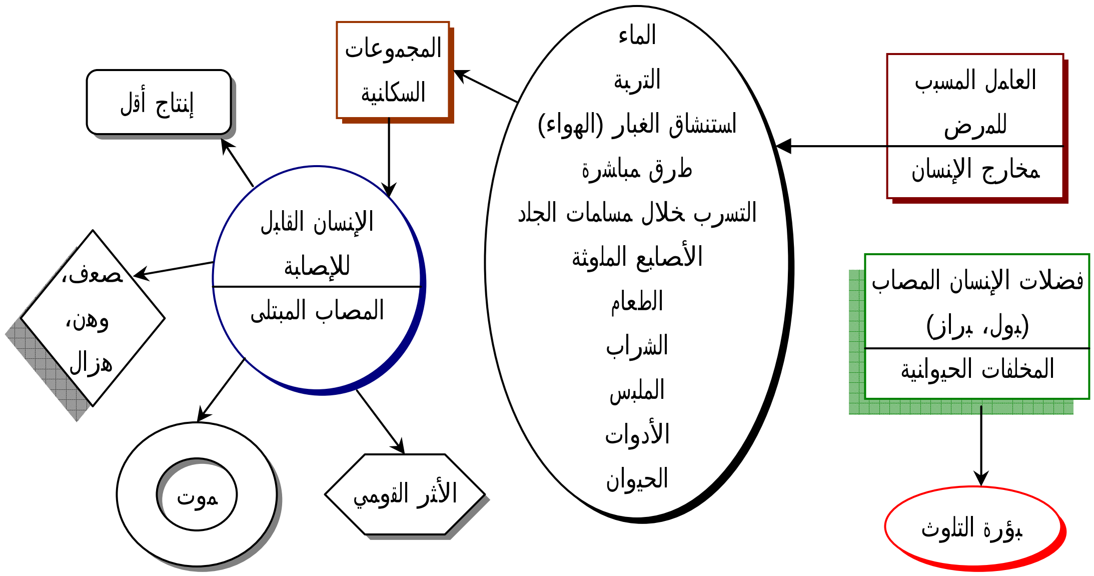
المكون	**درجة التركيز (ملجم/لتر مالم يذكر غير ذلك)**
المواد الصلبة الكلية	300 إلى 1200
المواد الصلبة العالقة	100 إلى 300
الأكسجين الحيا-كيميائي(BOD_5^{20})	100 إلى 400
النتروجين(N)	20 إلى 90
الفسفور (P)	5 إلى 15
الشحوم والدهون	50 إلى 200

ويبين شكل 6-1 أثر الفضلات السائلة المنزلية المحتوية على جراثيم ومواد سامة أو خطرة على الصحة العمومية.

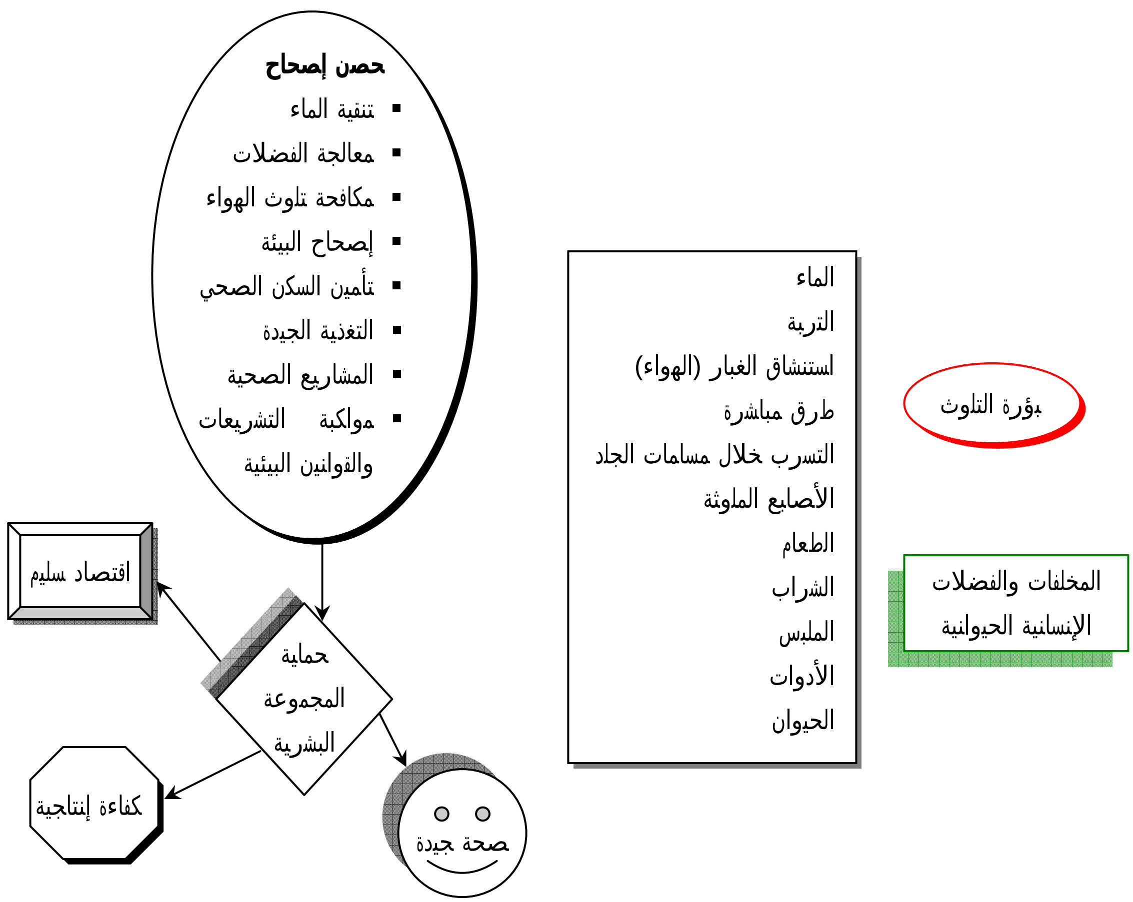
6-2 مصادر الفضلات السائلة Sources of wastewater

توجد عدة مصادر تنتج الفضلات والمخلفات السائلة، غير أنه يمكن إجمالها في الأقسام التالية:

1. فضلات منزلية وتجارية: وهذه الفضلات تضم التصاريف المنزلية والتجارية وتصاريف المؤسسات والمنشآت وماشاكلها.
2. فضلات صناعية: وهذه الفضلات تضم تصريف المنشآت الصناعية وتتغير طبقاً لنوع المصنع المعين وحجمه وطبيعته والعوامل المؤثرة على الإنتاج.
3. فضلات زراعية: وهذه الفضلات تضم المخلفات الزراعية.
4. التسرب والإنصباب: وهذا المصدر يتعلق بالمياه التي تجد طريقها من الأرض إلى شبكة الصرف الصحي عبرعدة طرق كما وتضم مياه الأمطار التي يتم تصريفها إلى الشبكة.
5. مياه الأمطار: وهذه تتعلق بمياه الأمطار الهاطلة في المنطقة والتي لا تجد طريقها إلى الشبكة.

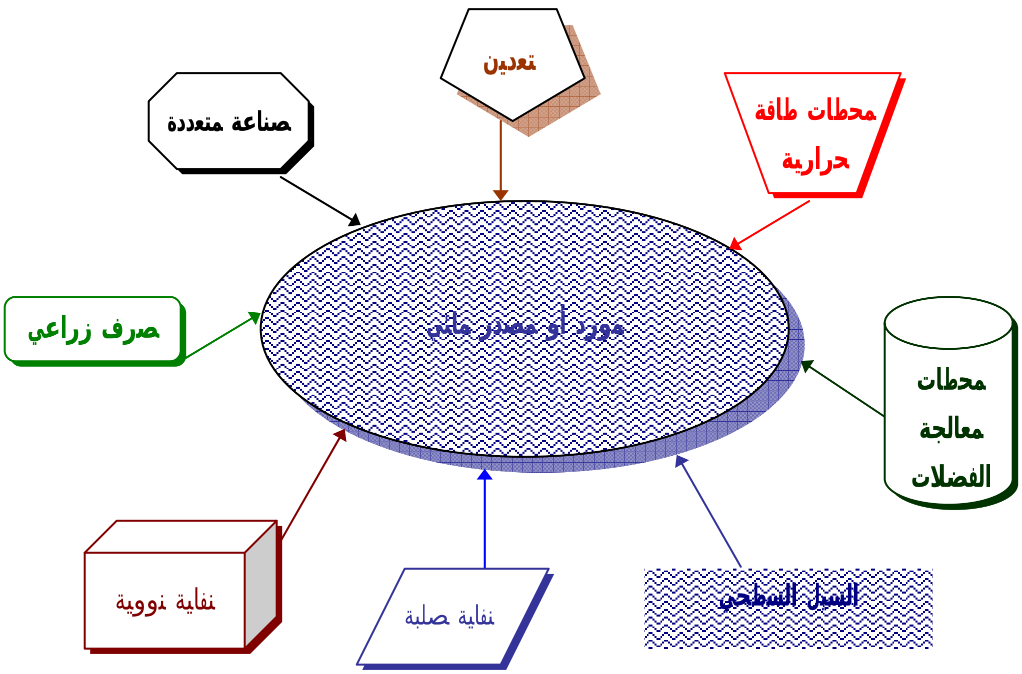


شكل 6-1أ أثر الفضلات والمخلفات السائلة على الصحة العمومية



شكل 6-1ب دور تقانة الهندسة البيئية في المنفعة العمومية

ويبين شكل 6-2 أهم مصادر تلوث المياه السطحية من جراء النشاط الصناعي والزراعي والعمراني للإنسان.



شكل 6-2 أهم مصادر تلوث الماء

6-3 تقدير كمية الفضلات السائلة

عند تقدير كمية الفضلات السائلة يعتمد على طريقة حساب إنسياب موسم الجفاف Dry Weather Flow (DWF). ويقدر هذا المعيار بالمتوسط الكلي لتصريف مياه الصرف الصحي، ويمثل الإنسياب الإعتيادي في ماسورة التصريف أثناء موسم الجفاف. يعتمد هذا القياس على عوامل عدة منها: عدد السكان وكثافتهم ومعدل نموهم، وطبيعة المنطقة الخدمية ونوعها وحجمها ، ومعدل استهلاك المياه، والتسرب من المياه الجوفية، وعوامل الطقس والمناخ ذات الصلة {1، 9، 10}. كما وتم أيضاً تعريف إنسياب موسم الجفاف على أنه "متوسط الدفق اليومي في المجرور بعد عدة أيام مطيرة لم يتجاوز المطر فيها قيمة 2.5 ملليمتر في مدة الأربعة وعشرين ساعة السابقة" {10}. وتبين المعادلة 6-1 طريقة حساب معدل إنسياب موسم الجفاف.

$$DWF = P*Q + I_r + T_W + EV \qquad 6\text{-}1$$

حيث:

DWF = إنسياب موسم الجفاف (لتر/ يوم)

P = عدد السكان داخل شبكة المجاري (فرد)

Q = المتوسط اليومي لاستهلاك المياه (لتر/الفرد/اليوم)

I_r = متوسط التسرب الداخل لماسورة التصريف (لتر/ يوم)
T_W = متوسط الإنسياب التجاري للفضلات السائلة (لتر/اليوم)
EV = معدل التبخر (لتر/ يوم)

أما عدد السكان فيمكن تقديره بوساطة التعداد السكاني مع وضع التعديلات المناسبة لإستنباط الأعداد المستقبلة والزيادة السكانية ونمو السكان. ومتوسط التسرب الداخل لماسورة التصريف ربما نتج بسبب ضعف نقاط التوصيل أو تصنيع الماسورة من مادة مسامية، وعادة يتفاوت هذا المقدار ما بين صفر إلى 30 في المائة من إنسياب موسم الجفاف. أما معدل التبخرفقد يصل في المناطق الحارة إلى 50 بالمائة من كمية المياه المستهلكة.
كما ويمكن حساب إنسياب موسم الجفاف أيضاً من معادلات استهلاك الماء كما مبين في المعادلة 6-2.

$$DWF = (80 \text{ to } 90 \%)*P*Q \qquad 6\text{-}2$$

مثال 6-1:

أوجد معدل إنسياب موسم الجفاف بافتراض أن متوسط الإنسياب التجاري للفضلات السائلة ومعدل البخر كميات قليلة لا تذكر، طبقاً للبيانات المدرجة في الجدول التالي:

المنشط	القيمة
عدد السكان داخل شبكة المجاري	10000
المتوسط اليومي لاستهلاك المياه	200 لتر/الفرد/اليوم
متوسط التسرب اليومي الداخل لماسورة التصريف	30 متراً مكعباً لكل كيلومتر طولي للماسورة
الطول الكلي للمجرور	5 كلم

الحل

1- المعطيات: P = 10000، Q = 200 لتر/الفرد/اليوم، I_r = 30 م^3/كلم، L = 5 كلم، $T_W = EV = 0$
2- أوجد معيار إنسياب موسم الجفاف باستخدام المعادلة: $DWF = P*Q + I_r + T_W + EV$:
$= 10000 \times 200 \times 10^{-3} + 30 \times 5 + 0 + 0 = 2150$ م^3/يوم

وبالنسبة لتقدير قوة وشدة الفضلات الصناعية يعول على معيار المكافئ السكاني Population equivalent, PE. ويمكن تعريف معيار المكافئ السكاني على أنه معيار يقارن نوع الفضلات السائلة الصناعية مع حمأة مثالية للفرد Standard sewage. وتتم المقارنة من خلال تحديد أحد خواص الفضلات مثل الأكسجين الحيا-كيميائي أو المواد الصلبة العالقة. وقد تم الإتفاق على استخدام الحمأة المنزلية كحمأة مثالية. وعليه يصبح معيار المكافئ السكاني هو عدد الناس للحمأة المعنية. وأهم فوائد معيار المكافئ السكاني تتمثل في الآتي:

- يفيد المعيار في تحديد المتغيرات في معالجة الفضلات والمخلفات السائلة الصناعية.
- يقوم المعيار بتقدير تركيز تلوث الحمأة الناتجة من المصادر الصناعية وشدته.
- يستخدم المعيار في تحديد تعريفة التخاص من المخلفات من المصنع وبؤرة صدورها.

وتوضح المعادلة 6-3 علاقة المعيار المكافئ السكاني بالأكسجين الحيا-كيميائي

$$PE = BOD_5 * Q / BOD_S \qquad 6\text{-}3$$

حيث:

PE = معيار المكافئ السكاني

BOD_5 = الأكسجين الحيا-كيميائي لمدة خمسة أيام ودرجة حرارة 20°م للفضلات السائلة (ملجم/لتر)

Q = معدل دفق الفضلات السائلة (م^3/ث)

BOD_S = الأكسجين الحيا-كيميائي لمدة خمسة أيام ودرجة حرارة 20°م للحمأة المثالية. وهذه تساوي 60 جرام من الأكسجين الحيا-كيميائي لمدة خمسة أيام الناتج اليومي من الفرد العادي في المملكة المتحدة، وتساوي 80 جرام من الأكسجين الحيا-كيميائي لمدة خمسة أيام الناتج اليومي من الفرد العادي في اليوم في الولايات المتحدة الأمريكية {6، 10، 13}

مثال 6-2

أوجد معيار المكافئ السكاني لمصنع ينتج 8300 متراً مكعباً من الفضلات السائلة يومياً ودرجة تركيز الأكسجين الحيا-كيميائي لمدة خمسة أيام بها تعادل 240 ملجم/لتر.

الحل:

1- المعطيات: BOD_5 = 240 ملجم/لتر، Q = 8300 م^3/يوم = 8.3×10^3 لتر/يوم.

2- بافتراض أن الفرد المتوسط ينتج حمل أكسجين حيا-كيميائي = 0.06 كجم/يوم يمكن إيجاد معيار المكافئ السكاني باستخدام المعادلة: $PE = BOD_5 * Q / BOD_S$.

وعليه: $PE = (240 \times 10^{-3} \times 8.3 \times 10^{6}) \times (0.06 \times 10^{3}) = 33200$

6-4 الأهداف العامة لمعالجة الفضلات السائلة

تهدف معالجة المخلفات والفضلات السائلة إلى تفادي التلوث واجتناب المخاطر الصحية، ومعالجة المواد الملوثة وتحويلها إلى مواد أخرى ثابتة وخاملة وغير ضارة بله مواد مفيدة. وقد إزدادت الحاجة إلى المعالجة ونمت بنمو المدن وإزدهار مناطق الحضر والإستيطان البشري طبقاً للتوسع في التنمية الزراعية والثورة الصناعية والتقدم العلمي والوعي الشعبي. ولقد أدت هذه الأوضاع إلى ظهور مخلفات ونواتج ثانوية متعددة ومتجددة في خواصها الطبيعية والكيميائية والحيوية مما عقد من تركيبها وأنماط تفاعلاتها بدرجة قادت إلى التعقيد في طرق معالجتها والتخلص منها {1، 4}. ومن أهم الأهداف التي تسعى إليها عمليات معالجة الفضلات السائلة والتخلص النهائي من نواتج المعالجة ما يلي {1، 2، 3، 4، 6، 11، 12}:

- منع أو تقليل الملوثات التي قد تصل إلى المصادر والموارد المائية.
- منع انتشار الأمراض المعدية بإزالة أو قتل الحمات والميكروبات المسببة لها والتي قد توجد في الفضلات السائلة والحمأة.
- موازنة الحمأة.

- الحد من إنتاج الروائح الكريهة وغيرها من المكدرات.
- إعادة استخدام الماء ودورانها والحمأة والنواتج الثانوية الصادرة من وحدات المعالجة.

6-5 أقسام وحدات معالجة الفضلات السائلة

يمكن تقسيم وحدات معالجة الفضلات السائلة على حسب حجمها إلى وحدات صغيرة وأخرى كبيرة.

تُستخدم الوحدات الصغيرة لمعالجة الفضلات السائلة المتعلقة بالمنشآت الفردية أو لمجموعة صغيرة من السكان. وعادة تعمل هذه الوحدات كوحدات معالجة وتخلص نهائي، وتوضع في موقع إنتاج المخلفات والفضلات، كما وتُستخدم هذه الوحدات لمعالجة الفضلات السائلة في الريف والقرى والدساكر ومنازل الأفراد. ومن أمثلتها: الحوض اللاهوائي وحوض أمهوف والمرحاض المحسن.

أما وحدات المعالجة الكبيرة فتعمل على معالجة الفضلات السائلة الناتجة من مجموعات سكانية كبيرة والتخلص منها ، وعليه تُجمع الفضلات من عدة مناطق ومحاور لتجد طريقها إلى محطة المعالجة الرئيسة. وغالباً تعالج هذه المحطات المخلفات السائلة في المدن الحضرية.

وتضم وحدات المعالجة الكبيرة وحدات معالجة إبتدائية (مثل المصافي وإزالة الرواسب غير العضوية) ووحدات معالجة أساسية (مثل الترسيب الإبتدائي والطفو) ووحدات معالجة ثنائية (مثل الحمأة النشطة وبرك الموازنة والترسيب الثانوي أو النهائي وأخدود الأكسدة) ووحدات معاجة متقدمة (مثل الإمتزاز والتحلية وإزالة الفسفور والنتروجين). وتعتمد عدد الوحدات ونوعها في كل محطة معالجة على المعايير التصميمية ومتطلبات المعالجة وضروب إعادة الاستخدام والتقانة المحلية والاعتمادات المالية والنواحي الاجتماعية والسياسية والدينية وغيرها من الأمور المؤثرة.

كما ويمكن تقسيم وحدات المعالجة إلى عمليات موحدة Unit Operations تحكمها القوى الطبيعية Physical forces، ومعالجات موحدة Unit Processes وتحكمها التفاعلات الحيوية والكيميائية.Bio-chemical forces

أما طرق المعالجة فيمكن تقسيمها إلى طرق طبيعية وطرق كيميائية و طرق حيوية.

1. **طرق طبيعية: Physical treatment units** ويتم في هذه الطرق استخدام قوى طبيعية (مثل قوى الجاذبية الأرضية) لفصل الملوثات. ومن أمثلة هذه الطرق: الخلط والطفو والترسيب والترشيح.
2. **طرق كيميائية: Chemical treatment units** ويتم في هذه الطرق تهيئة وإعداد الملوثات لتسهل إزالتها، وذلك بإضافة بعض المواد والمركبات الكيميائية. وينتج من هذه الإضافة تفاعلات لها نواتج ثانوية ثابتة وغازات. ومثال لهذه الطرق: انتشار الغازات، والإمتصاص، والتطهير، والأكسدة الكيميائية.
3. **طرق حيوية: Biological treatment units** ويتم بفضل هذه الطرق إزالة الملوثات بالتفاعلات الحيوية لإزالة المواد العضوية الغروية والذائبة القابلة للتفسخ. وذلك بتحويل هذه المواد إلى مواد أخرى ثابتة. وعادة ينتج من هذا التفسخ غازات (يمكن تخفيفها بالانتشار في الغلاف الجوي) وخلايا حية (يمكن إزالتها بالترسيب) ومواد صلبة عالقة من جراء عمليات التلبد ووجود الإنزيمات المفرزة بوساطة الأحياء المجهرية

(يمكن إزالتها بالترسيب). ومن أمثلة هذه الطرق: الحمأة النشطة ومرشح النضيض وبركة موازنة الحمأة وأخدود التهوية.

من أهم الوحدات التي يمكن أن توجد لمعالجة الفضلات والمخلفات السائلة والحمأة في محطات المعالجة الحضرية: وحدات المعالجة الإبتدائية والأساسية والثنائية والمتقدمة قبل إجازة التصريف النهائي المواكب للتشريعات والمعايير المحلية. وفيما يلي موجز لأهم هذه الوحدات.

6-6 وحدات المعالجة الأساسية

إزالة الرواسب غير العضوية:Grit Removal

يقصد بالرواسب غير العضوية الموجودة في الفضلات السائلة: الرمل والحصى وقطع العظام والحبوب وبقايا عمل القهوة والشاى، والمواد العضوية الكبيرة مثل بقايا الطعام وبعض المواد الصلبة الأخرى التي لها سرعة ترسيب أو كثافة نوعية أكبر من المواد الصلبة العضوية {1، 6، 13}. ودخول هذه الرواسب لوحدات المعالجة الثانوية قد يسبب تآكل كبير لأجزاء الوحدات الميكانيكية. وتعتمد إزالة هذه الرواسب وفصلها عن بعضها على فرق الكثافة النوعية بين المواد الصلبة العضوية والأخرى غير العضوية.

وتختلف الرواسب غير العضوية على حسب حالة نظام التصريف أو المجارير وكمية مياه الأمطار ونسبة السوائل الصناعية بها. غالباً تكون هذه الرواسب ذات محتوى عضوي قليل، كما وأنها لا تسبب مشاكل في المحطات الجيدة التصميم والتشغيل. وربما وصلت نسبة المواد العضوية في هذه الرواسب إلى 50% عند حدوث أعطاب بالأجهزة، الشيء الذي قد يقود إلى تدني في الكفاءة التشغيلية أو ربما وقوف العمل، كما وأنها قد تستقطب الحشرات والهوام، كما ولها رائحة نفاذة غير محببة. وفي الغالب تُستخدم الرواسب النظيفة لأعمال الردميات، أما الرواسب الملوثة فيتم التخاص منها بالردم الصحي أو بالحرق الصحي في بقعة مناسبة وبشروط ملائمة وتحت إشراف الوحدات المسوؤلة.

ونسبة لإحتواء الأوساخ على العديد من مقاسات الرواسب وأحجامها فيجب تحديد أصغر حبيبة يمكن إزالتها بوحدة الإزالة هذه. وقد أختيرت الحبيبة التي لها سرعة ترسيب حوالي 0.03 م/ث كمقياس أدنى. وغالبية أجهزة إزالة الرواسب غير العضوية تعمل لإتمام ترسيب هذه الحبيبة، غير أن للأجهزة سرعة أمامية تمنع ترسب المواد العضوية. وهذه السرعة الأمامية (أو سرعة دفق السائل في الجهاز) تساوي 0.3 م/ث. ويعمل جهاز ترسيب إزالة الرواسب غير العضوية بكفاءة جيدة لإزالة الرواسب عندما تكون نسبة عمقه إلى طوله في حدود 10، كما مبين في المعادلة 6-4.

$$L/h = 10 \qquad (6\text{-}4)$$

حيث:

h = ارتفاع حوض ترسيب المواد غير العضوية (م)

L = طول حوض ترسيب المواد غير العضوية (م)

أما في الحياة العملية فتؤخذ نسب أكبر لعمق وطول الحوض وذلك لوجود الإندفاق المضطرب في فتحة الدخول أو الخروج وربما وصلت نسبة العمق إلى الطول إلى تلك الموضحة في المعادلة 6-5.

$$L/h = 25 \qquad 6\text{-}5$$

إن أحواض إزالة الرواسب غير العضوية تعتمد على فرق الكثافة النوعية بين المواد العضوية الصلبة وغير العضوية لضمان فصلهما. ويفترض أن تترسب كل الحبيبات طبقاً لقانون نيوتن كما مبين في المعادلة 6-6.

$$v = \sqrt{\left[4g(\rho_s - \rho) \times \frac{d}{3C_D}\right]} \qquad 6\text{-}6$$

حيث:

v = سرعة الترسيب (م/ث)

g = عجلة الجاذبية الأرضية (م/ث^2)

ρ_s = كثافة الحبيبات الصلبة (كجم/م^3)

ρ = كثافة السائل (كجم/م^3)

d = قطر الحبيبة (م)

C_D = معامل الجذب (لا بعدي)

ويمكن إيجاد معامل الجذب من المعادلة 6-7.

$$C_D = \frac{24}{Re} + \frac{3}{\sqrt{Re}} + 0.34 \qquad 6\text{-}7$$

Re = رقم رينولد (لا بعدي)

وتُجرف الحبيبات داخل جهاز إزالة الرواسب غير العضوية بسرعة جرف أفقية يمكن إيجادها من المعادلة6-8 {3، 14}

$$v_s = \sqrt{8b(s.g. - 1) \times g \times \frac{d}{a}} \qquad 6\text{-}8$$

حيث:

v_S = سرعة الدفق الأفقية (سرعة الجرف) (م/ث)

b = ثابت (لا بعدي)، تتراوح قيمته بين 0.04 إلى 0.06 {14}

a = ثابت دارسي ويسباش (لا بعدي)، وعادة يكون بين 0.02 إلى 0.003 {14}

g = عجلة الجاذبية الأرضية (م/ث^2)

d = قطر الحبيبة (م)

تصميم أجهزة إزالة الرواسب غير العضوية

عند تصميم أحواض إزالة الرواسب غير العضوية تراعى النقاط التالية:

- تظل السرعة ثابتة عبر المجرى.
- تعمل الأجهزة بسرعة أمامية تُقدر بحوالي 0.3 م/ث لتفادي ترسب المواد العضوية. ويمكن تقدير عرض جدول إزالة الرواسب غير العضوية من المعادلة 6-9.

$$B = 4.92 \frac{Q_{max}}{d_{max}} \qquad 9\text{-}6$$

حيث:

B = عرض جهاز إزالة الرواسب غير العضوية (م)

Q_{max} = أقصى دفق للفضلات السائلة (م^3/ث)

d_{max} = أقصى عمق للدفق داخل الحوض (م)

- للأجهزة نسبة طول إلى ارتفاع تعادل 10 (عمليا تؤخذ نسبة الطول إلى الارتفاع مساوية 25 نسبة للدفق
- المضطرب عند المدخل والمخرج)
- للأجهزة نسبة عرض إلى ارتفاع تعادل 2.
- يجب وضع جهاز يعمل على التحكم في سرعة الدفق عبر وحدة إزالة الرواسب غير العضوية. وتوجد أنواع عديدة من أجهزة التحكم مثل هدار الموجة الثابتة Standing wave flume والعنق العمودي Vertical throat والعديد من أنواع الهدارات. وباستخدام العنق العمودي يمكن إيجاد عرض العنق من المعادلة 6-10

$$y = (2/3)*B \qquad 6\text{-}10$$

حيث:

y = عرض العنق (م)

B = عرض حوض إزالة الرواسب غير العضوية (م)

أما طول مجرى حوض إزالة الرواسب غير العضوية فيمكن إيجاده من المعادلة 6-11.

$$L = 18*d_{max} \qquad 6\text{-}11$$

حيث:

L = طول مجرى حوض إزالة الرواسب غير العضوية (م)

d_{max} = أقصى ارتفاع للدفق داخل الحوض (م)

ويبين جدول 6-2 المعايير الأساسية المستخدمة لتصميم جهاز إزالة الرواسب غير العضوية.

جدول 6-2 معايير عامة لتصميم أحواض إزالة الرواسب غير العضوية {1، 2 ،3، 6، 8، 9، 15}

المنشط	القيمة
زمن المكث (ثانية)	60
السرعة التصميمية الأفقية (سم/ث)	30
القطر المكافئ للحبيبة المزالة (ملم)	2, 0
الكثافة النوعية للحبيبات المترسبة	65, 2

مثال 6-3

يتكون جهاز إزالة رواسب غير عضوية من ثلاثة أحواض ارتفاع كل منها 0.5 متراً تستقبل معدل دفق فضلات سائلة يعادل 30 متراً مكعباً في الدقيقة.

أ) أوجد عرض حوض إزالة الرواسب غير العضوية.

ب) أوجد العنق العمودي المطلوب للتحكم في سرعة الدفق.

ج) أوجد طول حوض إزالة الرواسب غير العضوية.

الحل:

1- المعطيات: Q_{max} = 30 م^3/دقيقة، عدد الأحواض = 3، d_{max} =0.5 م

2- أوجد عرض كل أحواض إزالة الرواسب غير العضوية باستخدم المعادلة: $B = 4.92\,\dfrac{Q_{max}}{d_{max}}$

وعليه: B = (4.92×30÷60) ÷ 0.5 = 4.92 م

عرض كل حوض = 4.92 ÷ 3 = 1.64م

3- أوجد عرض العنق العمودي المطلوب للتحكم في سرعة الدفق من المعادلة: y = (2/3)*B

وعليه: y = 1.64 × 2 ÷ 3 = 1.09م

4- أوجد طول حوض إزالة الرواسب غير العضوية من المعادلة: $L = 18*d_{max}$

وعليه: L = 18 × 0.5 = 9 م.

6-7 المعالجة الثانوية للفضلات والمخلفات السائلة

من الأهداف العامة للمعالجة الثانوية للفضلات والمخلفات السائلة ما يلي {1، 3، 6}:

- تخثر المواد الغروية الصلبة غير القابلة للترسيب وإزالتها.
- موازنة المواد العضوية.
- تقليل نسب المواد العضوية الموجودة في الحمأة.
- تخفيض مواد التغذية (مثل النتروجين والفسفور) في الحمأة.

ويحدث التفسخ الحيوي للمواد العضوية بالأحياء المجهرية (خليط غير متجانس من البكتريا وكائنات أخرى) إما في وجود الأكسجين (بيئة هوائية) أو في غياب الأكسجين (بيئة لا هوائية أو اختيارية).

وبالنسبة للأكسدة الهوائية في وجود الأكسجين فتؤخذ المواد العضوية كمصدر للطاقة ومصدر ممول للكربون لتخليق الخلية الحية. وتتم التفاعلات المبينة في المعادلة 6-12 عند وجود المادة العضوية.

مادة عضوية + أكسجين $\xleftarrow{\text{بكتريا}}$ تخليق خلايا جديدة + طاقة حركية + نواتج ثانوية (ثانى أكسيد الكربون، ماء، كبريتات(IV)، فوسفات، نترات V، نتريت) 6-12

أما في حالة التفسخ الحيوي للمواد العضوية بالأحياء المجهرية في غياب الأكسجين الحر، فتتم الإستفادة من الأكسجين المتحد مع المركبات (مثل النتريت والنترات والكبريتات) طبقاً للتفاعل المذكور في المعادلة 6-13.

مواد عضوية (مكونة من كربون، هايدروجين، أكسجين، نتروجين، كبريت) بكتريا الأحماض تخليق خلايا جديدة + طاقة + أحماض عضوية + كحول 13-6

ويقلل إنتاج الأحماض العضوية من الرقم الهيدروجيني، مما يقود إلى موت بكتريا الأحماض المكونة لها، لتحل محلها بكتريا الميثان. وتعمل هذه الأخيرة على تكوين خلايا جديدة كما مبين في المعادلة 6-14.

الكحول بكتريا الميثان تخليق خلايا جديدة + نواتج ثانوية (ميثان، كبريتيد هيدروجين، ثانى أكسيد الكربون، ماء) 6-14

وتعمل بعض أنواع البكتريا بتحويل المواد غير العضوية وأكسدة الأمونيا. إذ تقوم البكتريا المنترة Nitrosomonas بتحويل الأمونيا إلى نتريت. ومن ثم تقوم البكتريا المنترتة Nitrobacter بأكسدة النتريت المتكون إلى نترات كما ممثل في المعادلات6-15.

$2NH_4^+ + 3O_2$ Nitrosomonas $2NO_2^- + 2H_2O + 4H^+$

$2NO_2^- + O2$ Nitrobacter $2NO_3^-$ 6-15

أقسام طرق المعالجة الثانوية:

تنقسم الطرق المستخدمة في المعالجة الثانوية بصورة عامة إلى طرق النمو العالق وطرق النمو المرتبط {1، 3، 6، 16}.

أما طرق النمو العالق: Suspended Growth فللأحياء المجهرية الموجودة فيها حرية الحركة داخل المفاعل. وهذا يعني أن الأحياء المجهرية تبحث لوحدها عن غذائها. ومن أمثلة هذه الطرق الحمأة النشطة Activated sludge وأخدود الأكسدة Oxidation ditch وبركة التهوية Waste stabilization pond والهضم الهوائي Aerobic digestion.

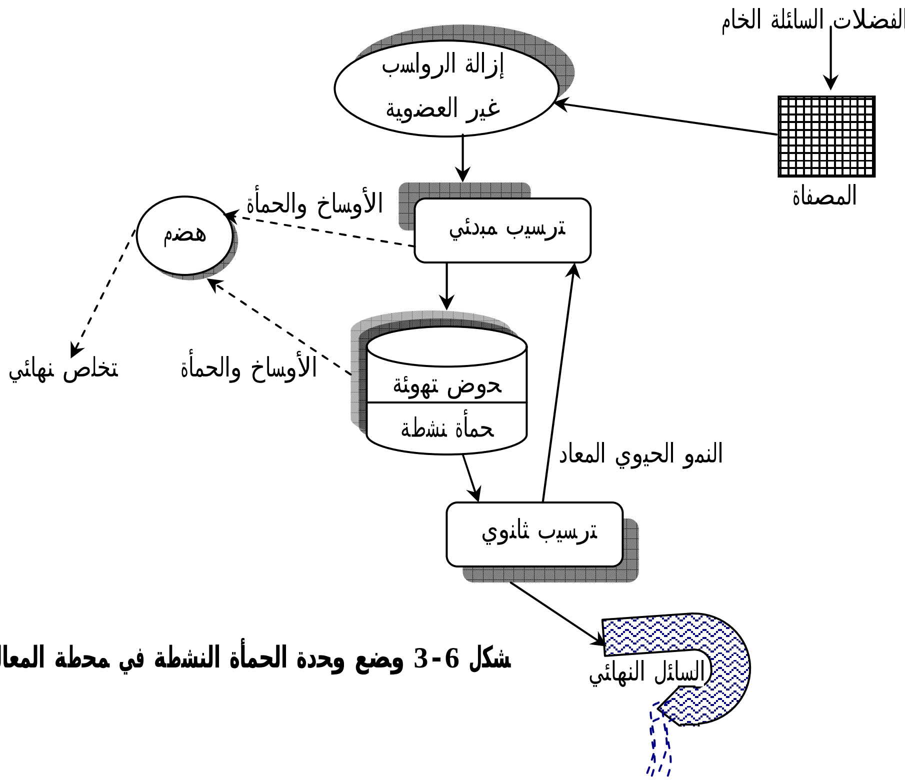
أما طرق النمو المرتبط: Attached Growth فتحتوي على مجموعة من أنماط المعالجة الثانوية. وفي هذا النوع من نظم المعالجة فتكون الأحياء المجهرية مرتبطة أو مثبتة بسطح أو وسط صلب. وهذا يعني أن الأحياء المجهرية تتم تغذيتها. وتعمل العديد من العوامل لتلامس المواد العضوية الأحياء المجهرية. ومن أمثلة طرق النمو المرتبط: مرشح النضيض Trickling filter والأقراص الملامسة الدوارة Rotating Biological Contactors وغيرها من الأنواع.

6-7-1 طرق المعالجة بالنمو العالق

الحمأة النشطةActivated Sludge :

يتم في طريقة الحمأة النشطة المعالجة الحيوية الهوائية للفضلات السائلة، وهى إما طريقة مستمرة أو شبه مستمرة. وتعمل أيضاً هذه الطريقة على أكسدة المواد الكربوهيدراتية وإتمام عملية النترتة. وتعتمد هذه الطريقة على تهوية الفضلات السائلة بتلبد النمو الحيوي ومن ثم يتم فصل المياه المعالجة من النمو الحيوي. وتمثل بعض الأحياء المجهرية المتكاثرة في الحمأة النشطة فضلات تخرج مع التصريف المنبثق من الجهاز، أما بعضها الآخر فيستمر داخل النظام. ويبين شكل 6-3 وضع وحدة الحمأة النشطة في محطة معالجة فضلات سائلة.

وتقوم الأحياء المجهرية الهوائية في حوض التهوئة بإمتزاز المواد الصلبة العالقة والغروية (ولحدٍ ما المواد العضوية الذائبة) عن سطح متلبدات الحمأة النشطة. وفي ذات الوقت يعمل النمو الحيوي الكبير على تحويل جزء من المواد العضوية الموجودة في الفضلات إلى غذاء احتياطي داخل خلايا الميكروبات. وهذه الظاهرة مسؤولة عن الإزالة الإبتدائية السريعة للحاجة الحيا-كيمائية للأكسجين في الحمأة النشطة. وتنمو الكائنات الحية الهوائية وتزداد داخل حوض التهوئة مما يكون الكتلة الحيوية Biomass أو ما يعرف بالحمأة النشطة. وكل من الحمأة النشطة في حوض التهوئة والفضلات السائلة تُسمى السائل المختلط{17}.



شكل 6-3 وضع وحدة الحمأة النشطة في محطة المعالجة

استخدامات طريقة الحمأة النشطة:

لقد أُستخدمت هذه الطريقة للتخلص من الفضلات التالية:

- المركبات العضوية الذائبة أو الغروانية القابلة للتفتيت
- المواد الصلبة العالقة وغير المترسبة
- بعض المركبات والمكونات الأخرى التي يمكن أن تُمتص أو تُمتز بهذه الطريقة
- بعض المواد الغذائية مثل الفسفور ومركبات النتروجين
- بعض المواد العضوية المطهرة

طريقة إضافة الهواء للحمأة النشطة:

من الطرق المستخدمة لإضافة الهواء أو الأكسجين لأحواض التهوية ما يلي {3}:

1. التهوية الفقاعية (أو التهوية بالانتشار Bubble and Diffused Aeration): وتعمل هذه الطريقه لإضافة الهواء (الأكسجين) عن طريق آلة هواء ضاغطة. ويتم إدخال الهواء تحت ضغط عالي إلى قعر الحوض عن طريق ماسورة رئيسة تتفرع إلى مواسير جانبية بها فتحات دقيقة. وبذا يتسرب الهواء تحت الضغط العالي على شكل فقاقيع هوائية صغيرة. وتقوم الأحياء المجهرية بامتصاص الأكسجين من هذه الفقاقيع. وتعمل هذه الفقاقيع على خلط مكونات حوض التهوية حيث تمنع ترسيب المواد العالقة في قعره.
2. التهوية السطحية Surface Aeration : أما في أحواض التهوية السطحية والميكانيكية فتعرض المخلفات السائلة (على شكل صفائح أو شرائح رقيقة) للهواء حيث يتم امتصاص الأكسجين. ويتم تغيير الصفائح المعرضة للهواء تباعاً عن طريق فرش دوارة أو آلات خلط.

الأحياء المجهرية داخل جهاز الحمأة النشطة:

تعتمد طرق المعالجة الحيوية الهوائية لإزالة المواد العضوية من الفضلات السائلة على فسيولوجية الأحياء المجهرية غيري الإغتذاء . (Heterotrophic) وتستخدم هذه الكائنات (في وجود الأكسجين) المواد العضوية الموجودة بالفضلات السائلة كمصدر لعنصر الكربون - اللازم لتخليق الخلايا - وكمصدر للطاقة. كما وأن كثير من الأنواع الهوائية من هذه الأحياء المجهرية يمكنها الاستفادة من الأكسجين المتحد مع المركبات (مثل ذلك الذي يوجد في النترات والكبريتات) لإتمام الأكسدة وبناء الخلايا عند غياب الأكسجين الحر.

ولمستعمرات البكتريا الهوائية المقدرة على تحويل نتروجين الأمونيا لنتريت ومن ثم لنترات النتروجين. كما وأن النترتة تحدث أيضاً بفعل أحياء مجهرية أخرى ذاتي التغذية .(Autotrophic) وعند ملامسة الأحياء المجهرية للفضلات السائلة وفي وجود الأكسجين فإنها تقوم بإمتصاص المواد العالقة والغروانية (وبدرجة أقل المواد العضوية الذائبة). وفي ذات الفترة فإن النشاط الحيوي يقوم بتحويل بعض المواد العضوية في الفضلات السائلة لغذاء إحتياطي داخل خلايا الأحياء المجهرية. وبهذه الطريقة يتم النقصان السريع لحاجة الأكسجين الحيا-كيميائي في بداية مرحلة المعالجة. كما وأن التهوية المستمرة تساعد على إزالة المواد العضوية. ومن العومل المؤثرة في معدل هذه الإزالة: كمية الحاجة الحيا-كيميائية للأكسجين المتبقية ودرجة تركيز الأحياء المجهرية في الحمأة النشطة.

يعتبر عنصرا النتروجين والفسفور من أهم المواد الغذائية للأحياء المجهرية داخل جهاز الحمأة النشطة، وذلك لأن النتروجين يدخل مباشرة في التخليق الحيوي، أما الفسفور فيدخل في تبادل الطاقة. كما وتوجد حاجة لبعض المعادن الغذائية الأخرى بنسب قليلة. ومن أمثلة هذه المعادن: الماغنسيوم والكالسيوم والحديد والمنجنيز والنحاس والكوبالت. وتتراوح نسبة الكربون للنتروجين في الحمأة الجيدة بين 2 إلى 2.5%، غير أنه عملياً فإن احتياجات التخليق الحيوي تتطلع إلى نسبة كربون إلى نتروجين تتراوح بين 5 إلى 6. وهذا الوضع يجعل من الأوساخ المنزلية مصدر نتروجين للمعالجة البيولوجية، خاصة لتلك الفضلات التي ينعدم أو يقل فيها وجود النتروجين. كما وتساعد الفضلات المنزلية في الحصول على بعض العناصر الغذائية الأخرى. وتُعتبر طريقة الحمأة النشطة

طريقة معقدة تشارك فيها أنواع مختلفة من الحمات والبكتريا والحيوانات الأوالي وغيرها من الأحياء المجهرية القابلة للعيش في هذه البيئة. وتتواجد هذه الكائنات إما منفردة أو مع بعضها وغالباً متداخلة مع الملوثات العضوية والخلايا الميتة وغيرها من مكونات الفضلات.

ومن الصعوبة بمكان التكهن بأثر البيئة على هذا النظام. ومرد ذلك إلى أن الأحياء المجهرية تتأثر - لدرجات مختلفة - بحالة المواد الغذائية ومكونات الفضلات وبعض العوامل والمؤثرات الأخرى المفروضة على النظام (مثل درجة تركيز الأملاح غير العضوية والرقم الهيدروجيني ودرجة الحرارة ووجود الكائنات الأخرى المنافسة). وفي بداية مرحلة المعالجة تزدهر السوطيات (Flagellates) والأوليات الأميبية، والتي لا تلبث أن تحل محلها الأهداب الحرة السابحة (Free-swimming ciliates)، وبعدها تسود الأهداب ذات الجزع (Stalked ciliates) والتي تؤخذ كدليل على جودة عملية المعالجة في درجات تحميل عادية (أنظر شكل 6-4). وتتواجد الحيوانات الدوارة (الروتيفرات Rotifers) في الحمأة النشطة عندما تكون درجة التهوية عالية جداً أو عندما يكون التحميل متدن في النظام.

وتُفصل المواد العالقة من الفضلات في معالجة الفضلات السائلة بطريقة الحمأة النشطة ، ثم تستقبلها أحواض التهوية، حيث تمكث لمدة تتفاوت بين 6 إلى 12 ساعة في وجود كمية مناسبة من الحمأة المعادة، لتظل درجة تركيز الأكسجين المذاب في حدود 2 ملجم/لتر. ثم تُصرف مكونات حوض التهوية لأحواض الترسيب اللاحقة. ويتم في أحواض الترسيب الثانوية ترسب المتلبدات لمدة تتراوح بين 2 إلى 4 ساعات، ويخرج منها السائل المعالج. ويعاد جزء من المواد الصلبة لحوض التهوية، أما الجزء المتبقي فيتم التخلص منه (بعد أكسدته هوائياً) بوساطة أجهزة التخلص من الأوساخ. ونسبة لأهمية نوع مكونات حوض التهوية وخصائصها فيتحكم فيها عن طريق عوامل المعامل الحجمي والمعامل الكثافي وعمر الأوساخ.

كينامتيكية عملية الحمأة النشطة:

عادة يلجأ إلى العلاقة بين استخدام المواد والنمو الحيوي لتمثيل كينامتيكية طريقة عملية الحمأة النشطة على حسب معادلة مونود .Monod equation وتفترض هذه المعادلة أن معدل النمو الحيوي يتناسب مع تركيز المواد كما مبين في المعادلة 6-16.

$$\mu = \mu_{max} \times \frac{S^*}{(k_s + S^*)} \qquad 6\text{-}16$$

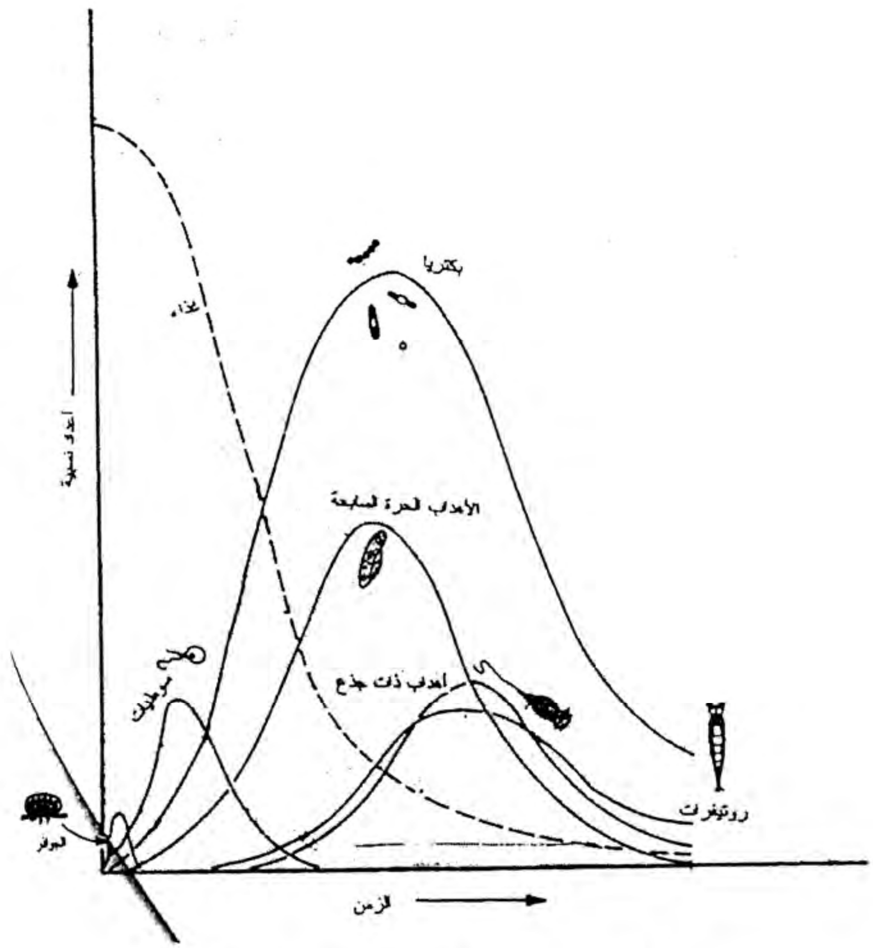
حيث :

μ = معدل نمو الأحياء المجهرية (على اليوم)

μ_{max} = أقصى معدل لنمو الأحياء المجهرية (على اليوم)

k_S = ثابت منتصف السرعة (أو درجة تركيز المواد (ملجرام/اللتر) عند منتصف أقصى معدل النمو)

S^* = حد النمو لتركيز المواد في المحلول (ملجم/لتر).



شكل 6–4 الأحياء المجهرية المزدهرة في الحماة النشطة

مثال 6-4

أستخدم جهاز حمأة نشطة في محطة معالجة فضلات سائلة. أوجد حد النمو لتركيز المواد في محلول الحمأة النشطة المستمرة والتي لها إعادة نمو على حسب البيانات التالية:

نسبة إعادة النمو للجهاز = 2

ثابت منتصف السرعة = 1.2 ملجم/لتر

أقصى معدل لنمو الأحياء المجهرية = 1.1 على اليوم

معدل التخفيف = 80.%

الحل:

1- المعطيات: μ_{max} = 1.1/يوم، k_S = 1.2ملجم/لتر، R = نسبة إعادة النمو للجهاز = 2، DR = معدل التخفيف = 0.8

2- أوجد معدل نمو الأحياء المجهرية من المعادلة: $\mu = DR/R$

وعليه، $\mu = 0.8 \div 2 = 0.4$ على اليوم

3- أوجد حد النمو لتركيز المواد في محلول الحمأة النشطة S^* من المعادلة: $\mu = \mu_{max} \times \frac{S^*}{(k_s + S^*)}$

أو $S^* = \frac{\mu \times k_s}{(\mu_{max} - \mu)}$

$S^* = (1.2 \times 0.4) \div (1.1 - 0.4) = 0.7$ ملجم/لتر

العوامل المؤثرة على طريقة الحمأة النشطة:

توجد عدة عوامل تؤثر على أداء طريقة الحمأة النشطة مثل: دفق الفضلات السائلة ونوعها ، وزمن مكث الفضلات السائلة، وحجم الحمأة، والتحميل العضوي والهايدروليكي، والمواد العالقة بالسائل المختلط، وكمية الأكسجين المذاب، وعمر الحمأة، وتأثير درجة حرارة الفضلات السائلة، وتأثير درجة تركيز الفضلات السائلة، وتأثير معامل حجم الحمأة، ومعامل كثافة الحمأة.

ويمكن التحكم الجزئي في مواصفات وعدم ثبات نوع الحمأة والفضلات السائلة وكميتها عن طريق تصميم محطات التجميع وتشغيلها ، كما ويمكن استخدام وحدات موازنة منفصلة لبعض الفضلات السائلة.

أما بالنسبة لزمن المكث الهيدروليكي فمن المستحسن أن يطول لزيادة كفاءة النظام عند الحمولة الفجائية. ويفضل أن يكون زمن المكث بين 4 إلى 8 ساعات.

تتكون المواد العالقة بالسائل المختلط من أعداد من الأحياء المجهرية النشطة وغير النشطة والمواد العضوية غير القابلة للتفتيت والمواد غير العضوية. وتتطلب درجات التركيز العالية لهذه المواد تراكيز عالية من الأكسجين داخل نظام المعالجة، كما وتحتاج أيضاً إلى أجهزة ترسيب ثانوية كبيرة. غير أن المواد العالقة بالسائل المختلط تكون صغيرة في الغالب الأعم وتتراوح قيمها بين 2000 إلى 4000 ملجم/لتر.

وتتراوح كمية الأكسجين المذاب اللازمة لإكمال المعالجة داخل أجهزة التهوية بين 1 إلى 2 ملجم/لتر.

ويحدث المزج والدفق المضطرب داخل حوض التهوية بوساطة حركة فقاقيع الهواء الناتجة من جراء الهواء المضغوط عبر طبقات متعددة، أوبتشغيل أجهزة ميكانيكية مختلفة. ويؤثر الدفق المضطرب العالي في حوض التهوية عكسياً على درجات التلبد في الأوساخ النشطة.

أما تأثير درجة حرارة الفضلات السائلة فمعقد بعض الشيء، إذ أن الزيادة في درجة الحرارة يعادلها إنخفاض في درجة اللزوجة والتوتر السطحي. وهذا يقود إلى تحسن في الخلط والانتشار الجزئي للمواد ومعدلات التفاعلات الحيا-كيميائية.

وفي حالة تخفيف الفضلات السائلة فإن التركيز العالي للمواد العضوية (في مياه الصرف الصحي المعالجة) ربما قلل من كفاءة طريقة الحمأة النشطة.

Sludge age, Mean cell residence time, solids retention time, cell age:عمر الحمأة

يعتمد عمر الحمأة على حجم حوض التهوية، وتدفق الفضلات السائلة الداخلة إليه والفضلات الخارجة منه، وكمية المواد العالقة بداخله، وكمية المواد المعادة له، وكمية المواد الصلبة المتبقية في التصريف الخارجي. ويمكن إيجاد عمر الحمأة من المعادلة 6-17.

عمر الحمأة = [كتلة المواد الصلبة في الحمأة بحوض التهوية (كجم)]÷[كتلة المواد الصلبة الخارجة(كجم/يوم)]

$$SA = (V*MLSS)) / q_w * SS \qquad 6\text{-}17$$

حيث:

SA = عمر الحمأة (يوم)

V = حجم حوض التهوية ($م^3$)

q_w = دفق الحمأة الخارج ($م^3$/يوم)

SS = تركيز المواد الصلبة العالقة في الحمأة الخارجة (ملجم/لتر)

ويبين جدول 6-3 عمر الحمأة لعدد من طرق الحمأة النشطة.

جدول 6-3 عمر الحمأة لعدد من طرق الحمأة النشطة {1، 2، 3، 6، 9}

الطريقة	عمر الحمأة (يوم)
Contact stabilization موازنة ملامسة	5 إلى 15
Conventional activated sludge حمأة نشطة تقليدية	5 إلى 15
Extended aeration تهوية ممتدة	20 إلى 30
High rate aeration تهوية عالية المعدل	5 إلى 10
Modified aeration تهوية معدلة	0.2 إلى 0.5
Step aeration تهوية مدرجة	5 إلى 15

معامل حجم الحمأة Sludge volume index (معامل موهلمان Mohlman Index):

يستخدم معامل حجم الحمأة لقياس درجة ترسيب الحمأة النشطة، كما ويقوم برصد أداء وكفاءة عمل حوض التهوية. ويعرف معامل حجم الحمأة على أنه "الحجم (مللتر) الذي يشغله جرام واحد من تركيز المواد الصلبة للسائل المختلط في الحمأة النشطة بعد ترسيبه لمدة 30 دقيقة في أسطوانة مدرجة حجمها لتر واحد". وتبين المعادلة 6-18 طريقة حساب معامل حجم الحمأة.

$$SVI = V_S*1000/MLSS \qquad 6\text{-}18$$

حيث:

SVI = معامل حجم الحمأة (مللتر/جم)

V_S = حجم الحمأة المترسبة في 1000 مللتر من أسطوانة مدرجة في30 دقيقة

= 1000ملجم/جرام

MLSS = تركيز المواد الصلبة العالقة في السائل المختلط (ملجم/لتر)

يبين جدول 6-4 صورة عامة للحمأة مقسمة علىحسب معدل حجم الحمأة.

جدول 6-4 تقسيم الحمأة علىحسب معدل حجم الحمأة {1، 2، 3، 6، 9}

المنشط	القيمة (مللتر/جم)
خواص ترسيب ممتازة	أقل من 40
خواص ترسيب جيدة	40 إلى 75
خواص ترسيب حسنة	76 إلى 120
خواص ترسيب ضعيفة	121إلى 200
حمأة خفيفة Bulking	أقل من 200

والجدير بالذكر أن الحمأة الخفيفة تتأتى من وجود بكتريا سفاروتيلس ناتانس *Sphaerotilus natans* المتواجدة في النباتات مع الفضلات السائلة السهلة التحلل، والتي تقل فيها درجة تركيز النتروجين والأكسجين في السائل المختلط. وتنمو وتتكاثر هذه البكتريا بصورة كبيرة في حوض التهوية مما يجعل الحمأة خفيفة ومخفوقة .fluffy وهذه الحالة تبطئ من درجة الترسيب، وتقلل من شفافية الماء الخارج من حوض الترسيب الثانوي. ويقود هذا الوضع إلى خروج الحمأة مع التصريف الخارج. ويمكن التحكم في الحمأة الخفيفة أو تقليقها بعمل الآتي{1،3، 17}:

- التحكم الجيد في تركيز المواد الصلبة العالقة في السائل المختلط.
- تعديل نسبة الغذاء إلى الأحياء المجهرية بتنظيم دفق الحمأة المعادة من وحدة الترسيب النهائي.
- تنظيم التهوية في الحوض.
- التنظيم والتحكم في الرقم الهيدروجيني للسائل المختلط.

مثال 6-5

في حوض تهوية مدرجة يساوي تركيز المواد الصلبة العالقة في السائل المختلط 2200 ملجم/لتر. أُخذت عينة من هذه المياه لتحديد معامل حجم الحمأة ووجد أن الحمأة المترسبة بعد نصف ساعة في أسطوانة مدرجة حجمها لتر هو 340 مللتر. أوجد معامل حجم الحمأة لهذه العينة.

الحل

1- المعطيات: V_S = 340 مللتر، MLSS = 2200 ملجم/لتر

2- أوجد معدل حجم الحمأة من المعادلة: $SVI = V_S*1000/MLSS$:

معدل حجم الحمأة = 340 × 1000 ÷ 2200 = 155 مللتر/جم

3- وبالمقارنة مع الجدول 6-4 يمكن القول أن القيمة الناتجة توضح خواص ترسيب ضعيفة إذ أن مقدارها يقع بين 120 و200 مللتر/جم.

معامل كثافة الحمأة Sludge Density Index, SDI (معامل دونالدسون Donaldson Index):

معامل كثافة الحمأة هو مقلوب معامل حجم الحمأة مضروب في 100 كما مبين في المعادلة 6-19.

$$SDI = 100/SVI \qquad 6\text{-}19$$

حيث:

SDI = معامل كثافة الحمأة (جرام/مللتر)

SVI = معامل حجم الحمأة (مللتر/جرام)

ويتراوح معامل كثافة الحمأة ما بين مقدار 2 لحمأة جيدة إلى 0.3 لحمأة ضعيفة.

مثال 6-6

أوجد معامل كثافة الحمأة للعينة المذكورة في المثال 6-5.

الحل

1- المعطيات: V_S = 340 مللتر، MLSS = 2200 ملجم/لتر

2- أوجد معامل كثافة الحمأة

SDI = 100 ÷ SVI = 100 ÷ 155 = 0.65 جم/مللتر

معدل تحميل الحمأة (نسبة الغذاء إلى عدد الأحياء المجهرية)

Food-to-microorganisms ratio, Sludg loading rate, Substrate loading:

يعتمد حجم الحمأة والتحميل على نسبة الغذاء مقارنة بعدد الأحياء المجهرية الموجودة (الغذاء ÷ الكائنات،F/M) أو ما يسمى بمعدل تحميل الحمأة Sludge Loading Rate والذي يمكن إيجاده من المعادلات 6-20 و6-21.

الغذاء ÷ الكائنات = معدل تحميل الحمأة

= كتلة الحاجة الحيا-كيميائية للأكسجين الداخل إلى حوض التهوئة (كجم/يوم) ÷ المواد الصلبة العالقة في السائل المختلط 6-20

$$\frac{F}{M} = SLR = \frac{W}{MLSS \times V} = \frac{L_i}{MLSS \times t} \qquad 6\text{-}21$$

حيث:

F= الغذاء

M = كتلة الأحياء المجهرية

SLR = معدل تحميل الحمأة (على اليوم)

W = تحميل حاجة الحيا-كيميائية للأكسجين (كجم/يوم)

ويمكن إيجاد تحميل حاجة الحيا-كيميائية للأكسجين من المعادلة 6-22.

$$W = L_i * Q \qquad 6\text{-}22$$

Q = مقدار دفق الفضلات السائلة ($م^3$/ث)

L_i = حاجة الحيا-كيميائية للأكسجين الداخل إلى حوض التهوئة (ملجم/لتر)

MLSS = تركيز المواد الصلبة العالقة في السائل المختلط (ملجم/لتر)

V = حجم حوض التهوية ($م^3$)

ينتج عن تشغيل حوض التهوئة على درجات عالية من نسبة الغذاء إلى الكائنات F/M تحلل غير كامل للمواد العضوية، وإزالة ضعيفة للحاجة الحيا-كيميائية للأكسجين، وترسيب ضعيف للمتلبدات الحيوية. غير أن التشغيل لدرجات قليلة من نسبة الغذاء إلى الكائنات ينتج عنها كفاءة عالية لإزالة المواد العضوية، وترسيب جيد للحمأة النشطة، وكفاءة عالية لإزالة الحاجة الحيا-كيميائية للأكسجين {1، 3، 6، 18}.

كما ويمكن حساب معدل التحميل الحجمي للمواد العضوية Volumetric Organic Loading Rate, VOL كما موضح في المعادلة 6-23.

$$VOL = Q*L_i/V \qquad 6\text{-}23$$

حيث:

VOL = معدل التحميل الحجمي للمواد العضوية

Q = مقدار دفق الفضلات السائلة ($م^3$/ث)

L_i = حاجة الحيا-كيميائية للأكسجين الداخل إلى حوض التهوئة (ملجم/لتر)

V = حجم حوض التهوية ($م^3$)

ويعطى جدول 6-5 قيم مناسبة لمعدل تحميل الحمأة لبعض نظم معالجة الفضلات السائلة بالحمأة النشطة.

جدول 6-5 معدل تحميل الحمأة لبعض نظم معالجة الحمأة النشطة {1، 2، 9، 15}

الوحدة	معدل تحميل الحمأة (يوم)
محطات تقليدية Conventional plants	0.3 إلى 0.35
تهوية ممتدة Extended aeration	0.05 إلى 0.2
تهوية مدرجة Step aeration	0.02 إلى 0.5

مثال 6-7

أُستخدم حوض حمأة نشطة في محطة معالجة تستقبل حمأة مترسبة بمعدل دفق يساوي 85 متراً مكعباً في الساعة. يتكون جهاز التهوية من ثلاثة أحواض أبعاد كل منهما 3×4×20 متر، والحاجة حيا-كيميائية للأكسجين للتصريف الداخل لجهاز التهوية يعادل 165 ملجم/لتر، كما وأن تركيز المواد الصلبة العالقة في السائل المختلط تساوي 2000 ملجم/لتر. أوجد:

أ) زمن المكث في حوض الحمأة النشطة.

ب) معدل التحميل الحجمي للمواد العضوية.

ج) معدل تحميل الحمأة.

الحل:

1- المعطيات: Q = 85 م^3/ساعة = 85×24 = 2040 م^3/يوم، = 165 ملجم/لتر، V = 3 × 4 × 20 م^3 لكل حوض، MLSS = 2000 ملجم/لتر، n = 3 أحواض.

2- أوجد حجم حوض التهوية الكلي = حجم كل حوض× عدد الأحواض = 3×4×20×3 = 720 م^3

3- أوجد زمن المكث = t = Q ÷ V =720 ÷ 2040 = 0.35 يوم = 8.4 ساعة

4- أوجد معدل التحميل الحجمي للمواد العضوية = VOL = Q*Li ÷ V

[2040 (م^3/يوم) × 165 × 10^{-3} (كجم/م^3)] ÷ 720 = 0.47 كجم Li / م^3×يوم

معدل تحميل الحمأة: SLR = Q*Li/MLSS*V

= 165 × 10^{-3} × 2040 ÷ (2000 × 10^3× 720) = 0.23 كجم Li /كجم×MLSS يوم

مثال 6-8

أوجد عمر الحمأة لنظام الحمأة النشطة المذكور في المثال 6-7، علما بأن دفق الحمأة اليومي الخارج يعادل 144 كجم.

الحل

1- المعطيات: V = 720 م^3، MLSS = 2000 ملجم/لتر، SS*q$_w$ = 144 كجم/يوم

2- استخدم معادلة عمر الحمأة: SA = V*MLSS/q$_w$*SS

= 720 × 2000× 10^{-3} ÷ 144 = 10 أيام

ومن العوامل التي قد تحد وتقيد من استعمال طريقة الحمأة النشطة على سبيل المثال لا الحصر {3}:

- تحديد الحاجة الحيا-كيميائية للأكسجين.
- ضعف انتشار الكتلة العضوية.
- احتياج الطريقة لزمن تهوية يتراوح بين 4 إلى 8 ساعات.
- تدني الكفاءة عند التغيير الكبير في حجم المواد العضوية وتركيزها أو عند وجود سموم.
- تعقيد طريقة التشغيل.

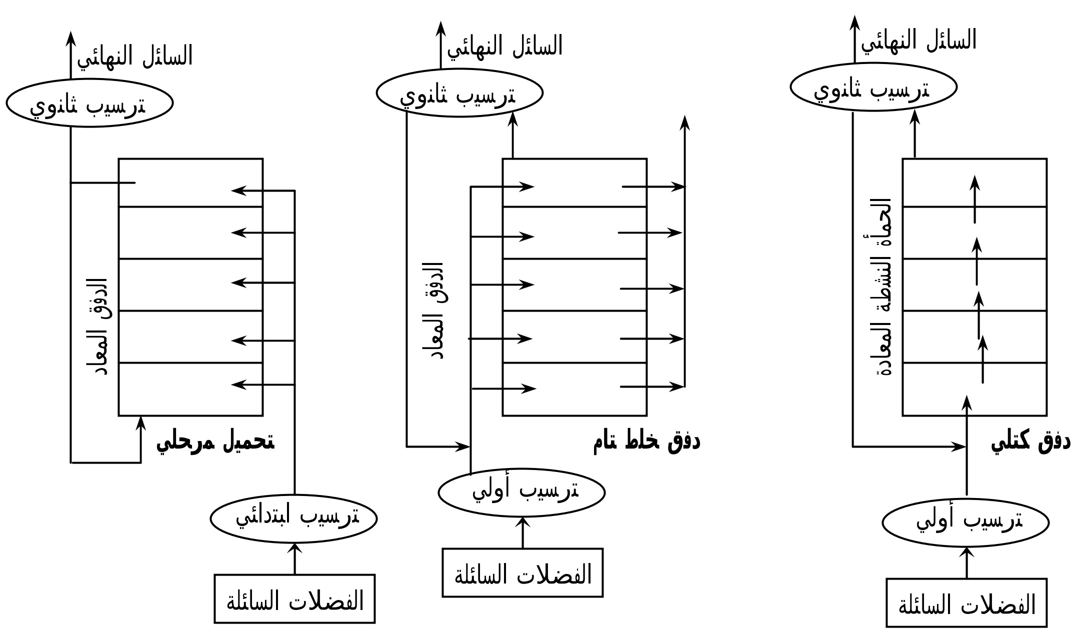
- تكلفة التشغيل العالية.
- استخدام الطاقة بآلات الضغط.
- متطلبات صيانة أجهزة الانتشار وتصليحها.
- التأثير البيئي (من تخاص من فضلات وروائح واستهلاك للطاقة ....الخ)

ويمثل الجدول 6-6 معايير عامة لتصميم حوض الحمأة النشطة.

جدول 6-6 معايير عامة لتصميم حوض وحدة الحمأة النشطة {1، 2، 3، 6، 9، 18، 19}

المنشط	المعدل
التحميل العضوي الحجمي	500 إلى 700 (جم/ L_i م^3/يوم)
زمن المكث للتهوية	4 إلى 8 ساعة (طبقاً لمتوسط الدفق اليومي)
المواد الصلبة العالقة المذابة	1500 إلى 3000 (ملجم/لتر)
نسبة المواد الغذائية إلى الأحياء المجهرية	0.1 إلى 0.6 (جمBOD / جمMLSS /يوم)
زمن المكث	5 إلى 10 (يوم)
عمر الأوساخ	3 إلى 4 (يوم)
الرقم الهيدروجيني الأمثل لنمو البكتريا الهوائية	6.5 إلى 7.5
كفاءة إزالة الحاجة الحيا-كيميائية للأكسجين	85 إلى 95(%)
ارتفاع حوض التهوية	3 (م)

ولتصميم جهاز الحمأة النشطة طبقاً للتحميل الداخل إليها يمكن إتباع الطرق الموضحة في شكل 6-5. ويبين جدول 6-7 كفاءة طريقة الحمأة النشطة إزالة الجراثيم.



شكل 6-5 طرق إدخال الفضلات السائلة إلى وحدة الحمأة النشطة {1، 3، 4، 12}

جدول 6-7 كفاءة طريقة الحمأة النشطة إزالة الجراثيم

الكائن الحي المجهري	نسبة الإزالة (%)
حمات	
حمة كوكساكية Coxsackie A-9	96 إلى 99
حمات سنجابية Polio 1,2,3	76 إلى 90
بكتريا	
بكتريا السلمونيلة التيفية S. typhosa	90
بكتريا الضمة الهيضية Cholera	86 إلى 99
الدرن Tubercle bacilli	96 إلى 100
قولونيات Coliform	97
العقدية البرازية Fecal streptococci	96
متنوعة	
طفيليات parasites	53 إلى 71
بيوض الشريطية Tape worm eggs	صفر
كيسة المتحولة الحالة للنسج E. histolytica cysts	غير مكتملة

6-7-2 طرق المعالجة بالنمو المرتبط أو المتصل

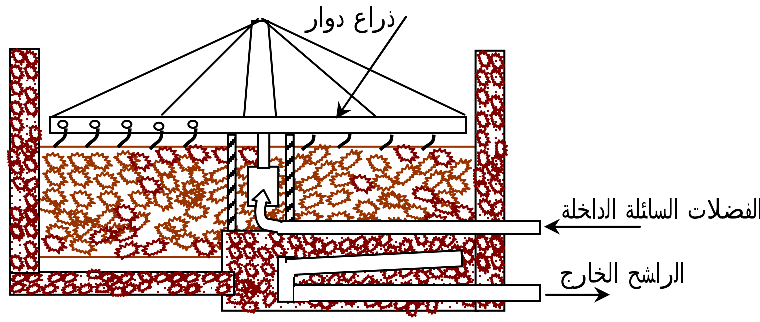
تُستخدم نظم النمو المرتبط في المفاعلات التي يؤتى فيها بالفضلات السائلة لتلامس الأحياء المجهرية المرتبطة على أسطح الوسط الترشيحي لتلك المفاعلات. أي أن الأحياء المجهرية يأتي إليها الغذاء في مكان إقامتها دونما عناء {1، 16}

أ) مرشح النضيض Trickling Filter

مرشح النضيض نوع من أنواع المعالجة بالنمو المرتبط. ويتكون المرشح من ثلاثة أجزاء رئيسة تضم نظام التفريغ التحتي، والوسط الترشيحي المشيد من الصخور أو اللدائن، وموزع الفضلات على سطح الوسط الترشيحي (شكل 6-6). وعادة توضع فتحات على الجوانب يتم بوساطتها إدخال الهواء للوسط الترشيحي. ومن الأفضل توخي اختيار المواد المكونة للوسط الترشيحي بحيث تكون لها مواصفات محددة تلائم أهداف استعمالها. ومن هذه المواصفات:

- الخمول الكيميائي للمواد المنتقاة.
- مساحة السطح الكبيرة مقارنة بقياس مواد الوسط الترشيحي.
- النظافة.
- الثمن الزهيد والتكاليف المناسبة.

ومن أمثلة المواد المستخدمة في الوسط الترشيحي لمرشحات النضيض: الحجارة الحقلية والحصى والحجارة المكسرة والخبث وفحم الأنثراسايت واللدائن المصنعة .... الخ.
ويقوم نظام تصريف تحتي مناسب بجمع المياه المعالجة والمواد العضوية الصلبة التي تلتصق بالوسط الترشيحي. كما ويعمل نظام التصريف كمنطقة تجميع، ويسمح بمرور الهواء خلاله نسبة لكبر المسامية، وأيضاً يعمل كدعامة لثقل الوسط الترشيحي الذي يوجد فوقه.



شكل 6-6 رسم تخطيطي لمرشح النضيض

المصدر: مرجع 15، منشور بإذن

Source:Vesilind, P., A., Peirce, V., J., & Weiner, R., F., Environmental Pollution & Control, Butterworths-Heinemann, Newton, MA., 1988. Courtesy of the publisher Butterworths-Heinemann.

طريقة عمل مرشح النضيض:

يقوم المرشح بالتخلص الحيوي من مكونات الحمأة العضوية بمجهود الأحياء المجهرية الهوائية الموجودة في الوسط الترشيحي، المكون من طبقة ذات مسامية عالية ترتبط وتلتصق بها الأحياء المجهرية، وتنساب عبرها الفضلات السائلة المراد معالجتها. وتبدأ العملية بإمتصاص المواد العضوية من السائل الحاوى لها في طبقة الوحل أو الغشاء الحيوي. ثم يتم التحطيم الحيوي الهوائي للمركبات العضوية في الأجزاء الخارجية من الغشاء. وتكاثر الأحياء المجهرية يزيد من سمك طبقة الوحل، مما يعوق انتشار الأكسجين خلالها. وهذا الوضع يقود إلى تكون بيئة لاهوائية بالقرب من الوسط الترشيحي (شكل 6-7)

وعندما تكبر طبقة الوحل والغشاء الحيوي يتم تحطيم المواد العضوية الممتصة وذلك قبل أن تصل إلى طبقة الأحياء المجهرية القريبة من أو الملتصقة بالوسط الترشيحي. ويؤدي هذا الوضع إلى شح المواد العضوية اللازمة لتخليق الخلايا بوساطة الأحياء المجهرية. وبذا تدخل هذه الأحياء المجهرية في مرحلة نمو داخلي يفقدها القدرة على الإلتصاق بالوسط الترشيحي. وهنيهتها تقوم الفضلات السائلة الداخلة بتنظيف طبقة الوحل من على الوسط الترشيحي لبداية مرحلة جديدة، وتُسمى هذه العملية الإنسلاخ Sloughing. ويعتمد الإنسلاخ على عوامل عدة منها: التحميل العضوي (يؤثر على معدل التفاعلات الحيوية) والتحميل الهايدروليكي (يؤثر على سرعة القص) داخل المرشح. أما معدل الحمل الهايدروليكي فيحسب من المعادلة 6-24.

$$HL = Q/A \qquad 6\text{-}24$$

حيث:

HL = معدل الحمل الهايدروليكي (م^3/م^2/يوم)

Q = حجم الدفق (م^3/يوم)

A = المساحة (م^2)

أما الحمل العضوي فيمكن إيجاده كما مبين في المعادلة 6-25.

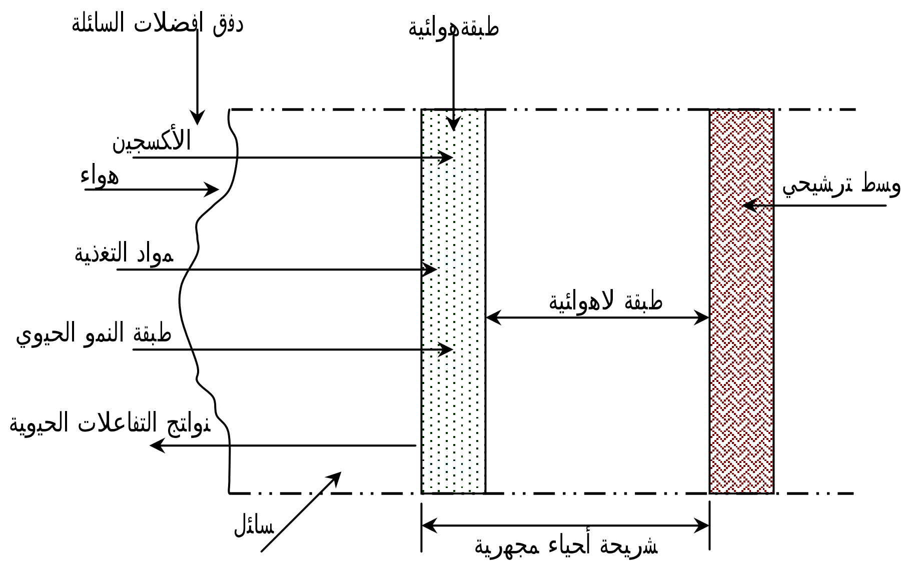
$$OL = MLSS/V \qquad 6\text{-}25$$

حيث:

OL = الحمل العضوي (كجم/م^3/يوم)

MLSS = وزن المواد العضوية المستهلكة (كجم/يوم)

V = حجم المرشح (م^3)



شكل 6-7 النظم الحيوية داخل مرشح النضيض، {1، 3، 6، 11}

وتؤخذ السوائل المعالجة المارة عبر نظام التصريف التحتي لتجد طريقها إلى جهاز ترسيب ثانوي، حيث تُفصل المواد الصلبة العالقة. وعادة يتم إعادة جزء من السائل المعالج الخارج من المرشح، أو من أجهزة ترسيب الفضلات الخام الداخلة للمرشح ليعمل على تخفيفها أو موازنتها. وهذه الإعادة لجزء التصريف الخارج إلى المرشح مرة أخرى تتم لأسباب عدة منها (أنظر شكل 6-8)

- ❖ زيادة التراكيز الصلبة الحيوية في النظام.
- ❖ ضمان استمرار زراعة الأحياء المجهرية Seeding عند إعادة دوران المواد الصلبة المنسلخة من المرشح.
- ❖ المساعدة في المحافظة على حمل هايدروليكي منتظم من خلال المرشح.

- ❖ ضمان استمرار دوران ذراع التوزيع حتى خلال فترات الدفق القليل.
- ❖ المحافظة على حمل عضوي منتظم.
- ❖ تخفيف الدفق الداخل للمرشح لتحسين مواصفات التصريف الخارج.
- ❖ ترقيق طبقة النمو الحيوي.
- ❖ تحسين كفاءة إزالة الملوثات من وحدة مرشح النضيض.

ونسبة إعادة الدوران يمكن إيجادها من المعادلة 6-26.

$$R = Q_R/Q \qquad 6\text{-}26$$

حيث:

R = نسبة إعادة الدوران (لابعدي)

Q_R = الدفق المعاد للمرشح (م^3/يوم)

Q = الدفق الكلي للفضلات (م^3/يوم)

غير أن إعادة الدوران ربما لا تزيد من كفاءة المرشح في كل الأحوال، إذ تتراوح كما في حالة الفضلات المخففة مثلاً. ونسبة إعادة الدوران تقع بين 50 إلى 1000 بالمائة من دفق الفضلات السائلة الخام، وعادة تكون بين 50 إلى 300 بالمائة. وهنالك أنماط وأوضاع عديدة لإعادة الدوران في محطات مرشحات النضيض {1، 3، 4، 6، 14}. ويبين شكل 6-8 الأنماط المستخدمة لمرشح وحيد المرحلة وآخر ذى مرحلتين.

أقسام مرشحات النضيض:

يمكن تقسيم مرشحات النضيض إلى نوعين بناء على شكل المرشح أو درجة التحميل العضوي به.

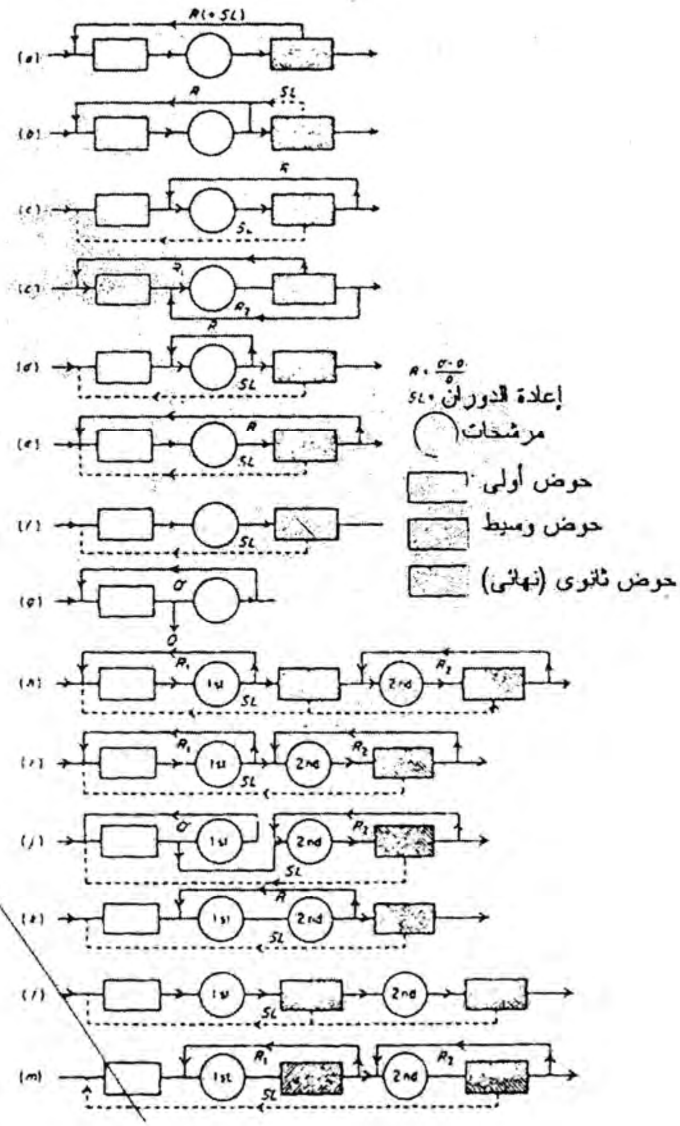
أما بالنسبه للشكل يوجد النوع الدائري (يستخدم للمرشحات صغيرة السطح) والنوع المستطيل (يستخدم للمرشحات كبيرة السطح)

وطبقاً للتحميلين (العضوي والهايدروليكي) فيمكن تقسيم مرشحات النضيض إلى قسمين يضمان المرشح ذا المعدل المنخفض والمرشح ذا المعدل العالي (أنظر شكل 6-9). ويعتبر المرشح ذو المعدل المنخفض أبسط من المرشح ذى المعدل العالي للعديد من الأسباب منها:

- غياب إعادة جزء من السائل المعالج (الخارج من المرشح) إلى المرشح.
- لا يحتاج المرشح إلى فصل للأوساخ أو موازنتها
- الكفاءة العالية.
- إنتاج أوساخ قليلة لها تركيز عالي من المواد الصلبة.

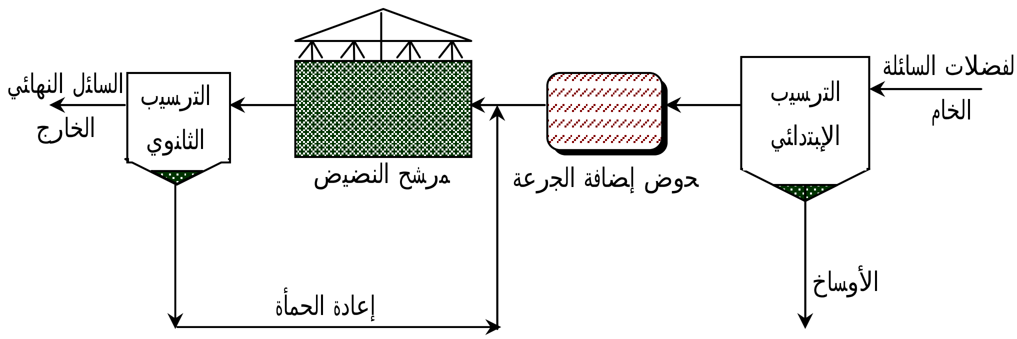
أما مساوئ المرشح ذى المعدل المنخفض فتشمل:

- ♦ الحجم الكبير المطلوب للمرشح.
- ♦ الإحتياج لحوض للجرعه.Dosing tank
- ♦ زيادة مشاكل الروائح الكريهة وتوالد الذباب به.

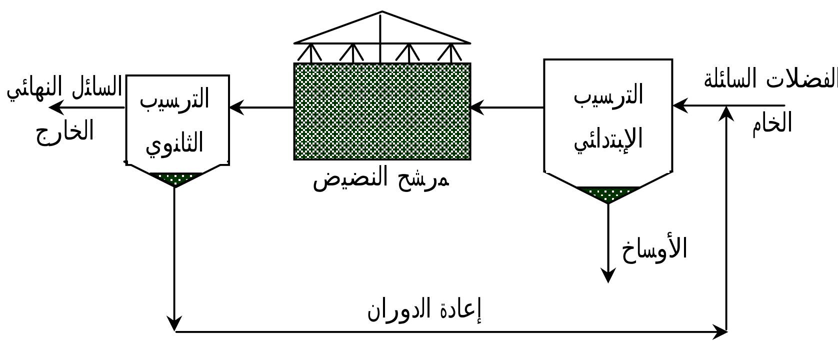


شكل 6-8 مخطط لمحطات مرشح نضيض وحيد المرحلة وذي المرحلتين

المصدر : المرجع 14، منشور بإذن



أ- مرشح النضيض ذو المعدل المنخفض



ب- مرشح النضيض ذو المعدل العالي

شكل 6-9 مرشحات النضيض ذات المعدل العالي والمعدل المنخفض

كفاءة مرشح النضيض لإزالة الحاجة حيا-كيميائية للأكسجين:

تعتمد كفاءة مرشح النضيض لإزالة الحاجة حيا-كيميائية للأكسجين على النماذج الحسابية والصيغ التجريبية. ويفترض في النماذج الحسابية وجود طبقة حيوية وحمل عضوي منتظمين لتوزيع السائل خلال الوسط الترشيحي. وتعتبر هذه النماذج غير عملية لتصميم مرشح النضيض من المنطلق التشغيلي والتجريبي. أما الصيغ التجريبية فتعتمد على البيانات التشغيلية التي جمعت من محطات معالجة موجودة فعلياً، ومن ثم تحلل البيانات المجمعة لإستنباط صيغة يمكن استخدامها في التصميم. ومن أمثلة هذه الصيغ التجريبية: صيغة مجلس الأبحاث القومي الأمريكى وصيغة فيلز وصيغة رانكن و صيغة رمبف.

صيغة مجلس الأبحاث القومي الأمريكي:NRC

تمت صياغة صيغة مجلس الأبحاث القومي الأمريكي بناء على بيانات مجمعة من محطات معالجة الفضلات السائلة بوحدات معالجة مقامة في مناطق عسكرية بالولايات المتحدة الأمريكية. وقد طُورت الصيغة بناءاً على الافتراضات التالية:

- أخذ الأكسجين على أنه المعيار الذي يحد أداء المرشح وذلك للحاجة الحيا-كيميائية للأكسجين الزائدة عن 40 ملجم/لتر.
- الفضلات السائلة غير مخففة لدرجة قصوى.
- يلي وحدة مرشح النضيض جهاز ترسيب ثانوي Secondary sedimentation tank أو جهاز مروق Elutration tank.
- تعالج مرشحات النضيض فضلات سائلة منزلية مترسبة وعلى درجة حرارة 20°م. وأى درجة حرارة مغايرة لهذه الدرجة يتم تصحيحها {20} (أنظر شكل 6-10 لتصليح كفاءة إزالة الحاجة حيا-كيميائية للأكسجين من درجة حرارة 20°م إلى درجات أخرى تقع بين 12 إلى 28°م)

وبالنسبة لمرشح نضيض وحيد المرحلة يمكن كتابة معادلة صيغة مجلس الأبحاث القومي كما مبين في المعادلة 6-27.

$$E_1 = \frac{(L_i - L_e)}{L_i} = \frac{100}{\left[1 + 0.44\sqrt{\frac{W_1}{V_1 F_1}}\right]} \qquad 6\text{-}27$$

حيث:

E_1 =كفاءة مرشح النضيض وحيد المرحلة(%)

L_i = الحاجة الحيا-كيميائية للأكسجين الداخل للمرشح (ملجم/لتر)

L_e = الحاجة الحيا-كيميائية للأكسجين الخارج من المرشح(ملجم/لتر)

W_1 =تحميل الحاجة الحيا-كيميائية للأكسجين (كجم/يوم)

$$Li*Q = W_1 \qquad 6\text{-}28$$

V_1 =حجم مرشح النضيض وحيد المرحلة (م^3)

F_1 =ثابت إعادة دوران المرشح وحيد المرحلة (لا بعدي).

Q = معدل دفق الفضلات السائلة للمرشح (م^3/ث).

ويمكن إيجاد ثابت إعادة دوران المرشح وحيد المرحلة من المعادلة 6-29.

$$F_1 = (1 + r_1)/(1 + 0.1* r_1)^2 \qquad 6\text{-}29$$

حيث:

$$r = Q_r /Q \qquad 6\text{-}30$$

حيث:

r = نسبة إعادة الدوران (لا بعدي).

Q_r = الدفق المعاد دورانه للمرشح (م^3/ث).

Q = معدل دفق الفضلات السائلة للمرشح (م^3/ث).

أما بالنسبة لمرشح النضيض ذى المرحلتين فيمكن تقدير قيمة الكفاءة التشغيلية من المعادلة 6-31.

$$E_2 = [(L_i - L_e)/L_i]_2 = 100/[(1 + \{0.44(W_2/V_2F_2)^{0.5}/(1 - E_1)\})] \qquad 6\text{-}31$$

حيث:

E_2 =كفاءة مرشح النضيض للمرحلة الثانية(%)

$(L_i)_2$ =الحاجة الحيا-كيميائية للأكسجين الداخل للمرحلة الثانية (ملجم/لتر)

$(L_e)_2$ =الحاجة الحيا-كيميائية للأكسجين الخارج من المرحلة الثانية (ملجم/لتر)

$W_2 = (L_i{*}Q)_2$ = تحميل الحاجة الحيا-كيميائية للأكسجين للمرحلة الثانية (كجم/يوم)

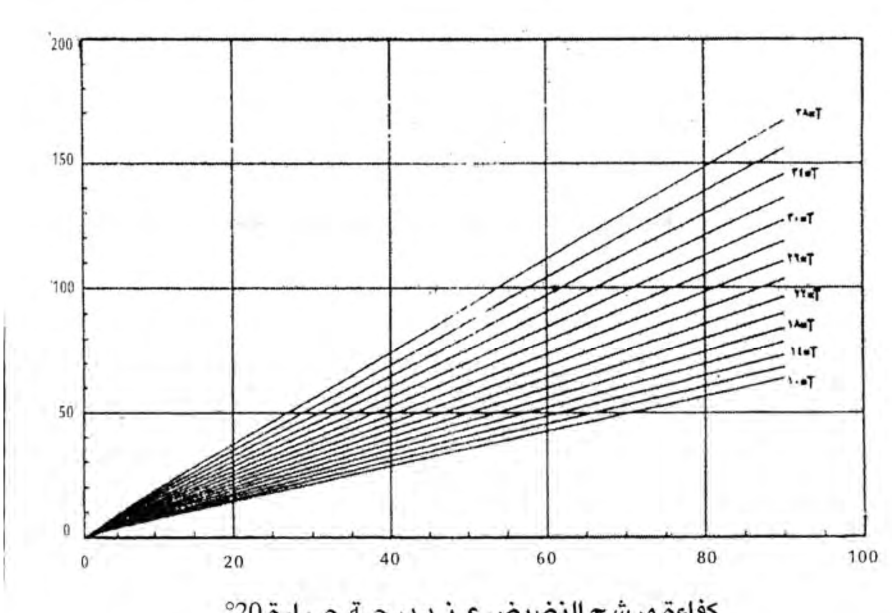
V_2 =حجم مرشح النضيض للمرحلة الثانية ($م^3$)

F_2 =ثابت إعادة دوران المرشح للمرحلة الثانية (لا بعدي)

$$F_2 = \frac{(1 + r_2)}{(1 + 0.1 * r_2)^2} \qquad 6\text{-}32$$

E_1 = كفاءة مرشح النضيض للمرحلة الأولى(%)

ومما يجدر ذكره أن صيغة مجلس الأبحاث القومي تأخذ في اعتبارها أثر الترسيب الثانوي. وأن أقصى قيمة يمكن تقديرها لإعادة الدوران بهذه الصيغة تبلغ 800 بالمائة {1، 3، 6، 14}.



كفاءة مرشح النضيض عند درجة حرارة 20°

شكل 6-10

صيغة فيلز:Velz Formula

إن صيغة فيلز تصلح لتقدير كفاءة حاجة حيا-كيميائية للأكسجين في حدود 90 بالمائة أو أقل. ويمكن وضعها في الصورة المدرجة في المعادلة 6-33.

$$L_e = \frac{(L_i + r * L_e)e^{-kh}}{(1+r)} \qquad 6\text{-}33$$

حيث:

L_e = الحاجة الحيا-كيميائية للأكسجين الخارج (ملجم/لتر)

L_i = الحاجة الحيا-كيميائية للأكسجين الداخل (ملجم/لتر)

r = نسبة إعادة الدوران = الدفق المعاد ÷ الدفق الكلي

k = حد ثابت

49 = لمرشح النضيض ذي المعدل العالي

57 = لمرشح النضيض ذي المعدل المنخفض

h = ارتفاع مرشح النضيض (م)

صيغة رانكن:Rankin Formula

تُستخدم صيغة رانكن في تصميم مرشحات النضيض وحيدة المرحلة كما مبين في المعادلة 6-34.

$$L_e = \frac{L_i}{(3+2r)} \qquad 6\text{-}34$$

حيث:

L_e = الحاجة الحيا-كيميائية للأكسجين الخارج من مرشح النضيض (ملجم/لتر).

L_i = الحاجة الحيا-كيميائية للأكسجين الداخل إلى مرشح النضيض (ملجم/لتر).

r =نسبة إعادة الدوران

يمكن أن يتم تطبيق صيغة رانكن لكل محطات المعالجة الموجود بها ترسيب إبتدائي، ومرشح نضيض ذي معدل عادي، وترسيب ثانوي. وذلك عندما يكون تحميل الحاجة الحيا-كيميائية للأكسجين لا يتجاوز 7،. كجم/م^3/يوم، وعندما يأتي تطبيق إعادة الدوران بمعدل جرعة في حدود 93 إلى 244×10^3 م^3/هكتار/يوم {1، 21}

صيغة رمبف :Rumpf Formula

ويمكن استخدام صيغة رمبف لإيجاد كفاءة مرشح النضيض كما مبين في المعادلة 6-35.

$$E = 93 - \frac{0.017 \times W}{V} \qquad 35\text{-}6$$

حيث:

E = كفاءة مرشح النضيض(%)

W = تحميل الحاجة الحيا-كيميائية للأكسجين في مرشح النضيض (جم/BOD يوم)
V = حجم الوسط الترشيحي ($م^3$)

أما العوامل التي تؤثر على كفاءة مرشح النضيض وعمله فتضم: التحميل العضوي، ومعدل الدفق الهايدروليكي، وخواص الفضلات السائلة، ومعدل انتشار الغذاء والهواء للنمو الحيوي، ونوع وتكاثر الأحياء المجهرية وغيرها من العوامل ذات الصلة.

أما الكفاءة الكلية لمحطة معالجة بها مرشح نضيض ذي مرحلتين يمكن إيجادها من المعادلة 6-36.

$$E_T = 100 - 100*[(1 - E_s)(1 - E_1)(1 - E_2)] \qquad 6\text{-}36$$

حيث:

E_T = الكفاءة الكلية للمحطة(%)

E_s = كفاءة حوض الترسيب الإبتدائي لإزالة الحاجة الحيا-كيميائية للأكسجين (عادة تكون في حدود 35%)

E_1 = كفاءة إزالة الحاجة الحيا-كيميائية للأكسجين في المرحلة الأولى والترسيب الوسيط بعد تصحيحها لدرجة الحرارة المناسبة(%)

E_2 = كفاءة إزالة الحاجة الحيا-كيميائية للأكسجين في المرحلة الثانية والترسيب الثانوي بعد تصحيحها لدرجة الحرارة المناسبة(%)

وتصليح الكفاءة لدرجة الحرارة السارية يمكن إيجاده من شكل 6-10 أو من المعادلة (6-37)

$$E_T = E_{20} \times (\varphi)^{T-20} \qquad 6\text{-}37$$

E_T = الكفاءة الكلية عند درجة الحرارة T °م(%)

E_{20} = الكفاءة الكلية عند درجة الحرارة 20°م(%)

ϕ = ثابت تصحيح الحرارة (عادة يساوي 1.035)

مثال 6-9

محطة معالجة تستقبل فضلات سائلة منزلية بها حوض ترسيب إبتدائي ومرشح نضيض. أشارت سجلات المحطة إلى البيانات التالية:

عدد الأفراد الذين تخدمهم المحطة = 3600 فرد

كفاءة حوض الترسيب الإبتدائي = 35 %

معدل دفق الفضلات السائلة = 12 لتر/الساعة/الفرد في المتوسط

قيمة الحاجة الحيا-كيميائية للأكسجين في 5 أيام = 180 ملجم/لتر

كفاءة مرشح النضيض = 68 %

نسبة إعادة الدوران = 5 إلى 1

ارتفاع المرشح 1.5 متر

أ) أوجد قطر مرشح النضيض مستخدماً معادلة مجلس الأبحاث القومي
ب) أوجد كفاءة المحطة الكلية.

الحل:

1- المعطيات: P = 3600 فرد، E_S = 35%، = 12 لتر/الساعة/اليوم، L_i لحوض الترسيب = 180 ملجم/لتر، E = 68%، r = 5 ÷ 1 ، h = 1.5 م

2- أوجد ثابت إعادة الدوران من المعادلة: $F = \frac{(1+r)}{(1+0.1*r)^2}$

F = (5 +1) ÷ (1 + 0.1×5)^2 = 2.67

3- أوجد دفق الفضلات السائلة:

Q = 12×10^{-3}×12×3600 = 518.4 م^3/يوم

4- أوجد الحاجة الحيا-كيميائية للأكسجين الخارج من حوض الترسيب والداخل إلى مرشح النضيض من المعادلة:

$L_i = (L_e)_S(1 - E_s)$

L_i = 180 × (1 – 0.35) = 117 ملجم/لتر

5- أوجد تحميل الحاجة الحيا-كيميائية للأكسجين الداخل للمرشح من المعادلة: $W = Q*L_i$

W = 518.4 × 117 × 10^{-3} = 60.65 كجم/يوم

6- استخدم معادلة مجلس الأبحاث القومي لإيجاد حجم المرشح:

$$E_1 = \frac{100}{\left[1 + 0.44\sqrt{\frac{W_1}{V_1F_1}}\right]}$$

$$68 = \frac{100}{\left[1 + 0.44\sqrt{\frac{60.6}{V \times 2.67}}\right]}$$

ومنها يمكن إيجاد حجم الرشح V = 19.88 م^3

7- أوجد مساحة سطح مرشح النضيض من المعادلة: $A = V/h$

وعليه: = 19.88 ÷ 1.5 = 13.31 م^2

8- أوجد قطر مرشح النضيض من المعادلة: $d = (4A/\pi)^{0.5}$

وعليه: d = 4.1 م

9- أوجد الكفاءة الكلية للمحطة باستخدام المعادلة: $E_T = 100 - 100*[(1 - E_S)(1 - E_1)$

وعليه: E_T = 100 – 100× (1 - 0.35)(1 – 0.68) = 79%

الترسيب الثانوي التالي لمرشحات النضيض:

يجب إضافة ترسيب إبتدائي وثانوي للمحطات المحتوية على مرشحات النضيض لإزالة الجسيمات الكبيرة من النمو الحيوي المنسلخ من المرشح ومن الدبال. وعند تصميم أجهزة الترسيب الثانوي يمكن أخذ النقاط التالية في الإعتبار {1، 3، 6، 14}:

- لا يفترض في الترسيب الثانوي وجود ترسيب تثخين Thickened settling أو ترسيب معاق Hindered settling.
- تعتمد معايير تصميم الترسيب على مقاس الحبيبات وكثافتها.
- تؤخذ سرعة الدفق بين 25 إلى 33 متر/يوم بالنسبة للدفق المتوسط، وتزيد السرعة عن 50 متر/يوم لأقصى دفق.
- يؤخذ معدل تحميل الهدارات في حدود 120 إلى 370 م^3/يوم/متر من طول الهدار عند أقصى دفق..

ويبين الجدول 6-8 بعض المعايير العامة المتبعة لتصميم مرشح النضيض والتي تضم التحميل الهايدروليكي، والتحميل العضوي، وارتفاع المرشح، ونسبة إعادة الدوران المنوط بها رفع الكفاءة، ونوع الوسط الترشيحي، والطاقة المطلوبة، والمشاكل التشغيلية المتوقعة، وغيرها من المعايير المهمة.

جدول 6-8 بعض المعايير المتبعة لتصميم مرشحات النضيض {1، 2، 3، 4، 6، 9، 12، 22}

المنشط	المرشح ذو المعدل المنخفض	المرشح ذو المعدل العالي
التحميل الهايدروليكي (م^3/م/يوم)	1إلى 4	10 إلى 40
التحميل العضوي (كجم/ م^3/يوم)	0.08 إلى 0.32	0.32 إلى 1
ارتفاع المرشح (م)	1.5 إلى 3	1 إلى 2
نسبة إعادة الدوران	صفر	1 إلى 3، 2 إلى 1
الوسط الترشيحي	صخور مكسرة أو خبث	صخور مكسرة أو خبث أو مواد مصنعة
الطاقة المطلوبة (كيلووات/1000 م^3)	2 إلى 4	6 إلى 10
ذباب المرشح	كثير	قليل (غالباً تُجرف اليرقات)
الإنسلاخ	متقطع	متواصل
فترة الجرعة	أقل من 5 دقائق (غالباً متقطعة)	أقل من 15 ثانية (متواصلة)
النترتة	نترتة كلية	نترتة لتحميل قليل
الكفاءة التشغيلية (نسبة الإزالة)	75 إلى 90% BOD 10 إلى 30 % فسفور 20 إلى 40 % أمونيا 75 إلى 90 % مواد عالقة	60 إلى 80% BOD 10 إلى 30 % فسفور 20 إلى 30 % أمونيا 60 إلى 80 % مواد عالقة
المواد الكيميائية المستخدمة		لا توجد
الحدود المقيدة	تتأثر بالطقس ودرجة الحرارة الدنيا ويتولد الذباب والروائح الكريهة، وتقل الكفاءةعند المعالجة للتركيز العالي للمواد العضوية الذائبة	تنشأ روائح كريهة عند التشغيل القاصر، تقل الكفاءة عند المعالجة للتركيز العالي للمواد العضوية الذائبة

ويبين جدول 6-9 مقارنة بين مرشحات النضيض وأحواض الحمأة النشطة من حيث تكلفة التشغيل، ونوع المخلفات التي يمكن معالجتها، وفاقد الضغط، والمساحة المطلوبة، والمشاكل التشغيلية وغيرها من المعايير المؤثرة.

جدول 6-9 مقارنة بين مرشحات النضيض والحمأة النشطة {4}

المزايا	العيوب
مرشحات النضيض قلة تكلفة التشغيل نسبياً مناسبة للمخلفات الصناعية التي يصعب معالجتها وتلك التي تتغيركميتها ناتج متزن غير معقدة	تكلفة مبدئية عالية نسبياً تحتاج لأرض شاسعة فاقد الضغط كبير يكثر توالد الذباب والروائح الكريهة تكثر المواد العالقة في الناتج النهائي
الحمأة النشطة فاقد الضغط قليل لا تحتاج لمساحات شاسعة من الأرض مواد عالقه قليلة في الناتج النهائي ليس هنالك ذباب وروائح نتنه	تكلفة التشغيل عالية تحتاج لدرجة تحكم عالية حساسة بالنسبة لتغيرات التحميل تتأثر بالزبد والرغوة تحتاج لطاقة للتهوية

المصدر: المرجع 4، منشور بإذن.

ب) الأقراص الدوارة الحيوية (RBD-RBC)) : Rotating Biological Discs (Contactors)

الأقراص الدوارة الحيوية نوع من أنواع المعالجة بالنمو المرتبط. وتعتبر الأقراص الدوارة الحيوية من أحدث وحدات المعالجة المستعملة في مجال معالجة الفضلات السائلة. تتكون الوحدة من مجموعة من الأقراص المغمورة جزيئاً في السائل المراد معالجته (أنظر شكل 6-11). وتتصل هذه الأقراص بوساطة عمود يتصل بدوره بمحرك. وتدور هذه الأقراص عن طريق هذا العمود. وتتكون المادة الحيوية على سطح القرص الدوار بحيث تكون تارة مغمورة في السائل وطوراً معرضة للهواء. وغالباً تكون سرعة الدوران في حدود 1 إلى 3 دورات في الدقيقة. ويشابه هذه النظام من المعالجة نظام مرشحات النضيض في أنماط عديدة. ومن محاسن هذه الطريقة ما يلي:

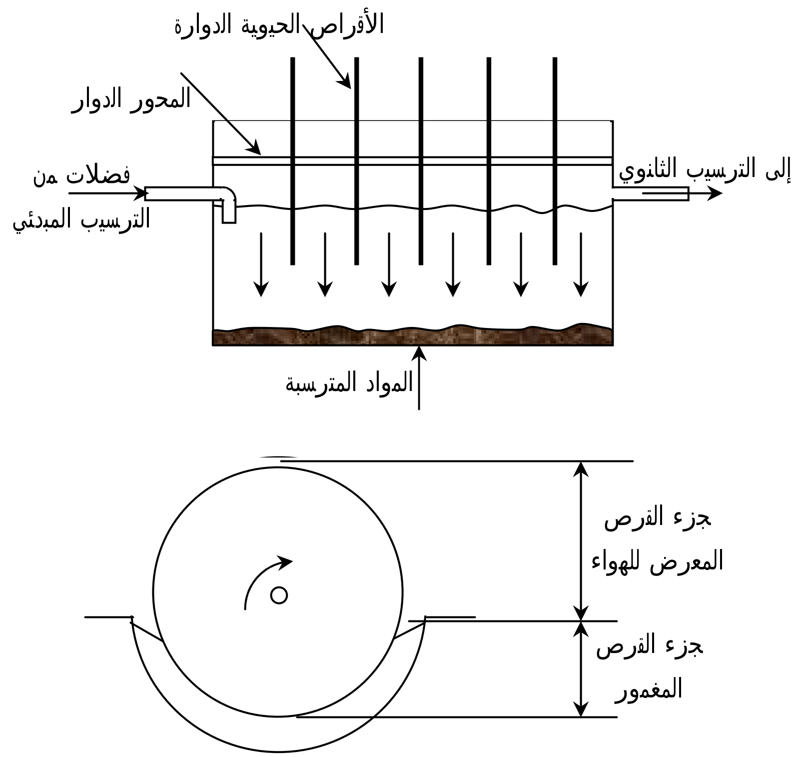
- استعمالها لمساحة أصغر من تلك المستخدمة بمرشحات النضيض.
- فاقد الضغط أقل من ذلك في حالة مرشحات النضيض.
- استهلاك أقل للطاقة من تلك الطاقة المستغلة في النظم المستخدمة للحمأة النشطة.

3-7-6 طرق المعالجة بالنمو العالق والنمو المرتبط:

برك موازنة الأوساخ Waste Stabilization Ponds

تمثل بركة موازنة الأوساخ تجويفاً كبيراً أو خندقاً ضحلاً (طبيعياً أو صناعياً) يتقبل الفضلات والحمأة حيث تتم معالجتها حيوياً مما يؤدي إلى موازنتها وقتل معظم الجراثيم المسببة للأمراض {1، 4}. وعادة تقسم هذه البرك طبقاً للنشاط الحيوي السائد داخل البركة إلى ثلاثة أنواع رئيسة تضم: البرك اللاهوائية والبرك الاختيارية وبرك النضوج (برك هوائية). وفيما يلي سرد موجز لكل نوع من هذه الأنواع:

:



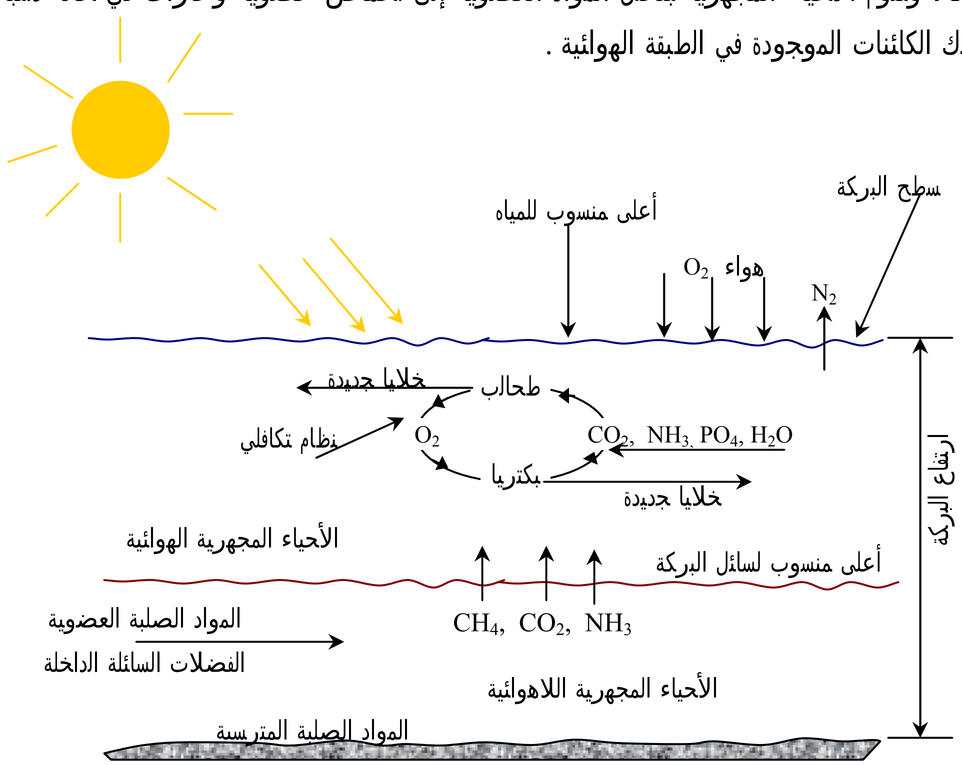
شكل 6-11 الأقراص الحيوية الدوارة {4، 13}

أ) برك موازنة الأوساخ اللاهوائية (Anaerobic Ponds): تستقبل البرك اللاهوائية الفضلات السائلة والحمأة التي بها تحميل أكبر من المواد العضوية أو بها كمية كبيرة من المواد الصلبة. وهذا يعني أن الحمأة الداخلة إلى البركة لم تتلق معالجة بالترسيب الإبتدائي. وتساعد هذه البرك على ترسيب المواد الصلبة، كما وتقوم بالمعالجة الجزئية للحمأة. ثم يؤخذ التصريف الخارج من البركة اللاهوائية إلى بركة أخرى اختيارية. وعادة يتراوح عمق هذه الأنواع من البرك بين 2 إلى 4 متر، وتمكث فيها الحمأة لمدة تتراوح بين 5 إلى 10 أيام، تتم فيها معالجتها بالأحياء المجهرية اللاهوائية (أي تلك التي لا تحتاج للأكسجين المذاب للتكاثر والنشاط الحيوي).

ب) برك اختيارية :(Facultative Ponds) وتستقبل هذه البرك الحمأة من المجاري أو من تصريف البرك اللاهوائية. وتمكث فيها الحمأة لمدة تزيد عن 10 أيام، ومن ثم تجد طريقها لحوض تبخر أو لبركة نضج. وهذا النوع من البرك هو الغالب في محطات معالجة الفضلات السائلة. ويتراوح عمق البركة الاختيارية بين 1 إلى 1.5 متر وتتم فيها معالجة المواد العضوية بالأحياء المجهرية الاختيارية (هوائية ولاهوائية على حد سواء)

طريقة عمل البركة الاختيارية:

يبين شكل 6-12 رسم توضيحي لبركة موازنة حمأة اختيارية. وتكون الطبقة العليا للبركة الاختيارية ذات بيئة هوائية بفضل الأكسجين الناتج من الطحالب، ولدرجة أقل بفضل أكسجين الهواء الجوي المحيط بها. أما في باطن البركة الاختيارية فتتكون منطقة لاهوائية نسبة لثبات الحمأة فيها. وعمق كل من المنطقتين (الهوائية واللاهوائية) يعتمد على: شروط المزج بالبركة، والرياح السائدة، وتغلغل أشعة الشمس، وطول فترة النهار. وتقوم الطحالب والبكتريا بتفتيت المواد العضوية في الطبقات الهوائية للبركة الاختيارية، إذ تستخدم البكتريا الأكسجين لأكسدة المواد العضوية وتخليق الخلايا الجديدة وإنتاج نواتج ثانوية ثابتة (مثل ثاني أكسيد الكربون والنترات والفوسفات). وتقوم الطحالب (في وجود ضوء الشمس) باستهلاك هذه المواد المنتجة بوساطة البكتريا لتنتج خلايا جديدة ونواتج ثانوية (مثل الأكسجين). ويفيد هذا الأكسجين (الناتج بوساطة الطحالب) البكتريا الموجودة، مما يؤدي إلى النفع المشترك أو المتبادل بين البكتريا والطحالب أو ما يسمى بعلاقة المنفعة أو العلاقة التكافلية Symbiotic Relationship وتترسب المواد الصلبة الحيوية والمواد الصلبة الثقيلة (الناتجة في الطبقة الهوائية) في طبقة البركة اللاهوائية. وهذه المواد الصلبة تغطي احتياجات الغذاء اللازم للأحياء المجهرية اللاهوائية في طبقة الوحل أسفل البركة. وتقوم الأحياء المجهرية بتحلل المواد العضوية إلى أحماض عضوية وغازات في حالة ذائبة لتستخدم بوساطة تلك الكائنات الموجودة في الطبقة الهوائية .



شكل 6-12 بركة موازنة اختيارية {1 – 6، 12، 15}

بافتراض أن هنالك خلط ومزج كاملين داخل البركة، ودونما إعادة دوران للتركيزات الصلبة في البرك الاختيارية ينتج عن إتزان الكتل للحاجة الحيا-كيميائية للأكسجين الداخل للبركة وذلك الخارج منها المعادلة 6-38.

$$W_i = W_e + W_c \qquad 6\text{-}38$$

حيث:

W_i = تحميل الحاجة الحيا-كيميائية للأكسجين الداخل إلى البركة (كجم/يوم)

W_e = تحميل الحاجة الحيا-كيميائية للأكسجين الخارج من البركة (كجم/يوم)

W_c = تحميل الحاجة الحيا-كيميائية للأكسجين المستهلك (كجم/يوم)

أو:

$$Q*L_i = Q*L_e + V*k_n*L_e \qquad 6\text{-}39$$

حيث:

Q = معدل دفق الفضلات السائلة للبركة (م^3/ث)

L_i = الحاجة الحيا-كيميائية للأكسجين الداخل إلى البركة (ملجم/لتر)

L_e = الحاجة الحيا-كيميائية للأكسجين الخارج من البركة (ملجم/لتر)

V = حجم البركة (م^3)

k_n = ثابت معدل الإزالة لبركة الموازنة (/يوم)

والمعادلة الحسابية لبركة واحدة يمكن أن توجد من المعادلة 6-40.

$$L_e/L_i = 1/(1 + k_n*V/Q) = 1/(1 + k_n*t) \qquad 6\text{-}40$$

حيث:

t = زمن المكث في البركة (يوم)

وعند توصيل البرك على التوالي فإن التصريف الخارج من أحد البرك يمثل ذاك التصريف الداخل للبركة التالية، وعليه فإن إتزان النمو لمجموعة برك عددها (n) يمكن تمثيله كما مبين في المعادلة 6-41.

$$L_e/L_i = 1/(1 + k_n*t/n)^n \qquad 6\text{-}41$$

حيث:

n = عدد البرك المتصلة على التوالي

مثال 6-10

أُستخدمت بركة موازنة أوساخ لمعالجة فضلات سائلة طبقاً للبيانات التالية:

الحاجة الحيا-كيميائية للأكسجين في اليوم الخامس للأوساخ الداخلة البركة = 200 ملجم/لتر، معدل دفق الفضلات السائلة للبركة = 1 متراً مكعباً في الدقيقة، أقل درجة حرارة = 17°م، ثابت معدل الإزالة للبركة = 0.26 /يوم لدرجة حرارة 20°م، ثابت تصحيح درجة الحرارة = 1.035، الحاجة الحيا-كيميائية للأكسجين الخارج من البركة = 35 ملجم/لتر، ارتفاع البركة = 1.1 م، أوجد مساحة البركة.

الحل:

1- المعطيات: L_i = 200 ملجم/لتر، Q = 1 $م^3$/دقيقة، أقل درجة حرارة = 17°م، ϕ = 1.035، $(k_n)_{20}$ = 0.26 على اليوم، L_e = 35 ملجم/لتر، h = 1.1 م.

2- أوجد ثابت معدل الإزالة للبركة على درجة حرارة 25°م من المعادلة: $(k_n)_{25} = (k_n)_{20} *(\phi)^{T-20}$

$(k_n)_{25} = 0.26 \times (1.035)^{20-17}$

3- استخدم معادلة البركة لإيجاد زمن المكث $L_e/L_i = 1/(1 + k_n*t)$:

$35 \div 200 = 1 \div (1 + 0.234 \times t)$

ومنها t = 20.1 يوم.

4- أوجد حجم البركة من المعادلة: $V = Q*t$

V = 20.1 × 1 × 60 × 24 = 28949 $م^3$

5- أوجد مساحة سطح البركة من المعادلة $A = V/h$

A = 28949 ÷ 1.1 = 26317 $م^2$

ج) برك النضوج (برك هوائية) Maturation (Polishing) Ponds وتستقبل هذه البرك التصريف المعالج والخارج من البرك الاختيارية، ليمكث بها لمدة تتراوح بين 5 إلى 10 أيام بغية تحسين النوع وتلافي المخاطر. وعادة تُصمم البرك بعمق لا يتجاوز المتر. تسحب الحمأة المعالجة من البركة لحوض تبخر، أو يتم استخدامها للأغراض الزراعية، أو تستغل لتربية الأسماك والطيور. ويتم تفتيت المواد العضوية في هذه البرك بالأحياء المجهرية الهوائية. وإن برك النضوج يمكن أن تأتي بتصريف جيد من النواحي البكتريولوجية. ومعدل موت الجراثيم البرازية في بركة واحدة يمكن تقديره من المعادلة 6-42.

$$N_e/N_i = 1/(1 + k'*t) \qquad 6\text{-}42$$

حيث:

N_e = عدد البكتريا الخارجة من البركة (عدد/100 مللتر)

N_i = عدد البكتريا الداخلة للبركة (عدد/100 مللتر)

k' =معدل موت البكتريا (/يوم)

أما في حالة مجموعة من البرك فإن معدل موت الجراثيم البرازية في بركة واحدة يمكن تقديره من المعادلة 6-43.

$$N_e/N_i = 1/(1 + k'*t)^n \qquad 6\text{-}43$$

حيث:

N_e = عدد البكتريا الخارجة من البركة (عدد/100 مللتر)

N_i = عدد البكتريا الداخلة للبركة (عدد/100 مللتر)

k' =معدل موت البكتريا (/يوم)

n = عدد برك الموازنة الموصلة على التوالي

مثال 6-11

تستقبل بركة نضوج فضلات سائلة بمعدل دفق متوسطه 0.3 متراً مكعباً على الساعة. وتقوم البركة بتقليل أعداد البكتريا بنسبة 98% بمعدل موت لها يساوي 0.5 على اليوم.

أ) أوجد زمن المكث.

ب) حجم البركة.

الحل :

1- المعطيات: Q = 0.3 م^3/ساعة، N_e/N_i = (100 – 98) ÷ 100 = 0.02، k'= 0.5 /يوم

2- أوجد زمن المكث بالبركة باستخدم معادلة معدل موت الجراثيم البرازية لبركة واحدة:

$$N_e/N_i = 1/(1 + k'*t)$$

$$0.02 = 1 \div (1 + 0.5 \times t)$$

ومنها: t = 98 يوماً

3- أوجد حجم البركة من المعادلة: $V = Q*t$

$V = 98 \times 0.3 \times 24 = 706$ م^3

ملاحظات عامة لتصميم برك موازنة الأوساخ:

يجب مراعاة النقاط التالية عند تصميم برك موازنة الأوساخ {1، 3، 6، 4، 23، 24}:

1. اختيار المكان المناسب لتشييد البركة من حيث:

- الارتفاع: ويحبذ الموضع المنخفض في ارتفاعه عن شبكات المجاري، وذلك لتسهيل الإنسياب الذاتي للأوساخ والحمأة الداخلة البركة. وفي حالة عدم وجود مكان بهذه المواصفات فلا بد من ضخ الفضلات السائلة، مما يؤدي إلى الزيادة في تكاليف ثمن الأجهزة اللازمة، كما ويستخدم طاقة أكثر، ويحتاج إلى ترميم أكبر.
- التربة: وتفضل التربة التي يمكن أن تتحمل وزن البركة، وأن لا تتكون من رمال أو تربة مفتتة أو من حصى مما يؤدي معه إلى تسرب المياه الملوثة عبرها. ومن الأفضل أيضاً أن تكون التربة سهلة الحفر، وأن تتواجد بالمنطقة كمية كافية من المواد الملائمة لبناء الجدران الداعمة.
- التسرب : من الأفضل أن يكون نظام التسرب جيد لتسهيل تسرب السائل المعالج.
- الحماية من الفيضان: يجب عدم وضع البركة في منطقة تتعرض للفيضان في زمن الأمطار.

- الحجم: كبيرنسبياً ليتناسب وسعة البركة.
- المسافة: يفضل أن تزيد المسافة بين المنازل والبركة عن 200 متر.
- إتجاه الرياح: يجب أن توضع البركة في إتجاه الرياح بعد المنازل السكنية لتفادي تعرض السكان للروائح الكريهة وغيرها من المخاطر الصحية.

2. تحديد حجم البركة: ويحسب حجم البركة طبقاً للآتي:

- حساب الدفق اليومي من الفضلات السائلة المتوقع دخولها للبركة.
- إيجاد متوسط درجة حرارة الماء السنوية في المنطقة.
- تقدير أقل مساحة مطلوبة للبركة.

وتقدر أقل مساحة مطلوبة لبركة الموازنة باستخدام المعادلة 6-44.

$$A = L*Q/L_{max} \qquad 6\text{-}44$$

حيث:

A = أقل مساحة مطلوبة للبركة الاختيارية (م^2)

L = التحميل العضوي للفضلات السائلة (جم/لتر)

Q = مقدار الدفق اليومي للفضلات السائلة الداخلة للبركة (لتر/يوم)

L_{max} = أقصى تحميل عضوي مسموح به (جم/م^2/يوم)

ويمكن إيجاد أقصى تحميل عضوي مسموح به من المعادلة 6-45.

$$2T - 12 \quad L_{max} = \qquad 6\text{-}45$$

حيث:

T = متوسط درجة الماء السنوية (°م).

وعادة تُستخدم البرك المستطيلة الشكل، ويؤخذ طول البركة مساوياً ضعف أو ثلاثة أضعاف عرضها. أما العمق فيتغير طبقاً لنوع الفضلات السائلة، وتحميل الحمأة وعوامل المناخ السائدة بالمنطقة.

أما توصيل البرك فيمكن أن توصل مع بعضها البعض على التوالي أو على التوازي. وعند توصيلها على التوالي تُعالج الحمأة في البركة الأولى، ثم يوجه التصريف الخارج منها إلى بركة ثانية، وهكذا تتكررهذه العملية بالنسبة للبرك التالية. ويحسن هذا الوضع من نوعية التصريف الخارج من كل بركة للتي تليها. ومن المحاسن الأخرى للبرك الموصلة على التوالي أنها تستقبل الحمأة غير المرسبة. أما في حالة توصيل البرك على التوازي فتوضع البرك بجانب بعضها البعض بحيث أنها تستقبل نفس الفضلات السائلة من نفس المصدر، كما وأن التصريف الخارج من كل بركة يجد طريقه لمخرج واحد أو لحوض واحد. ويقود هذا الوضع إلى تماثل نوعية التصريف الخارج من البرك. ومن محاسن نظام التوصيل على التوازي أن عطل أحد البرك أو عدم تشغيلها لا يؤثر على البرك الأخرى أو يعوق من أدائها (أنظر جدول 6-10).

جدول 6-10 معايير اختيار نوع برك الموازنة {24ب}

المنشط	النوع
عندما تستقبل البركة حمأة أو مياه مجاري	بركة لاهوائية تتبعها على التوالي بركة اختيارية
عندما تستقبل البركة تصريف معالج	بركة اختيارية (يفضل إثنتين على التوازي)
عندما تستقبل البركة تصريف معالج يستخدم لتربية الأسماك أو يستغل للزراعة	بركة اختيارية (يفضل إثنتين) تتبعها بركة نضج
عندما تستقبل البركة حمأة أو مياه مجاري ويستخدم التصريف المعالج لتربية الأسماك أو يستغل للزراعة	بركة لاهوائية (أو إثنتان) تتبعها بركة اختيارية تليهما بركة نضج

المصدر: المرجع 24ب، منشور بإذن.

محاسن برك موازنة الحمأة ومساوئها

عادة فإن برك الموازنة تصلح للاستخدام للمدن الصغيرة ذات الأعداد السكانية التي تصل إلى 10000أو تقل عنها، ولا يتوقع أن تزداد بها أو تتكثف الصناعات. ومن المفضل أن تكون الأرض ذات جغرافية مناسبة، ويفترض وجود الموقع المناسب للبركة.

ومن محاسن برك موازنة الحمأة مايلي:

- قلة التكاليف الأولية مقارنة بتلك المطلوبة لمحطة تستخدم نظاماً آلياً
- قلة تكاليف التشغيل والصيانة
- إمكانية تنظيم التصريف الخارج من البركة ومواكبته للتشريعات في الأوقات الحرجة من العام
- عدم تأثر نظام المعالجة كثيراً بتصميم شبكة المجاري
- سهولة التشغيل

أما مساوئ استخدام برك الموازنة فتضم مايلي:

- الحاجة لأرض كبيرة لإنشاء البركة وتشييدها
- التحلل الحيوي غير الجيد لبعض المخلفات الصناعية مثل تلك الناتجة من صناعة الألبان والقشدة والزبد والمسلخ.
- مشاكل الرائحة الناجمة من جراء زيادة الأحمال أو من طبيعة الفضلات اللازم معالجتها.
- عدم مواكبة نوع التصريف الخارج للمواصفات والتشريعات، خاصة فيما يتعلق بالمواد الصلبة العالقة.

ولا بد من التشغيل الجيد وعمل الإصلاح والصيانة المناسبة لتفادي مشاكل الروائح الكريهة، وتوالد الذباب والبعوض، مما يؤدي لزيادة تكاليف الصيانة. وهنالك عدة عوامل تؤدي إلى تكاثر الطحالب وتكوين طبقات الزبد والأوساخ والحمأة على سطح البركة منها: تغير حالة الطقس، وحجم الدفق اليومي، ودرجة الحرارة، والرياح. ولكل من هذه الأشياء عيوبها فمثلاً تكاثر الطحالب يحجب ضوء الشمس مما يؤثر على كفاءة البركة كما وأنها تنتج روائح كريهة عند موتها. وتنتج طبقات الزبد روائح كريهة كما وتساعد على تكاثر ونمو الحشرات (أنظر جدول 6-11)

جدول 6-11 حالة السطح لبرك موازنة الحمأة {f 24}

الحالة	المخاطر المحتملة	الحلول
توالد الطحالب الكثير	روائح كريهة وتقليل في كفاءة أداء البركة	إزالة المستوطنات
طبقة الزبد	روائح وتكاثر الحشرات	إزالة الطبقات
حمأة طافية	روائح كريهة جداً	إزالة الحمأة
مواد طافية	تؤثر على نظام المخرج، وتؤثر سلبا على عملية المعالجة.	إزالة المواد

المصدر: المرجع f 24، منشور بإذن.

ولا بد من المراقبة الدورية للون البركة لاسيما وأن أي تغيير في اللون غالباً يدل على التغيير في الدفق الداخل للبركة. وهذا ربما كان بسبب زيادة الفضلات السائلة المختلفة أو الأصباغ أو مياه الأمطار أو المياه السطحية الداخلة مع المجاري أو الزيوت أو المواد الكيميائية أو دماء الحيوانات الداخلة مع الحمأة. وتتكاثر البكتريا في سائل البركة وتعمل على تفتيت المواد. وتقوم الطحالب بالاستفادة من هذه المفتتات (مستخدمة الطاقة الشمسية والتمثيل الضوئي) لتخليق الخلايا الجديدة وإنتاج الأكسجين. وتستخدم البكتريا الهوائية الأكسجين الناتج لإتمام عمليات تفتيت المواد العضوية. وبذا تتعايش البكتريا والطحالب متكافلة مع بعضها البعض. وتكثر الأحياء المجهرية اللاهوائية في قعر البركة في طبقة الأوساخ المتراكمة، وتساعد كثيراً في رفع كفاءة عمل معظم البرك. وعليه يترسب جزء من الفضلات الداخلة إلى قعر البركة، ويتم تفتيت البعض الآخر حيوياً والبعض الثالث يتم تصريفه عبر منفذ الخروج (غالباً يتم تصريف الطحالب). ويبين جدول 6-12 لون البرك.

جدول 6-12 لون البرك {f 24}

نوع البركة	اللون المميز
لاهوائية	أسود رمادي
اختيارية	أخضر أو أخضر بني
نضوج	أخضر

المصدر: المرجع f 24، منشور بإذن.

وتنقص كفاءة البركة عندما يصل ارتفاع الأوساخ داخلها إلى أكثر من ثلث العمق التصميمي، وربما أدت الحمأة المتراكمة إلى إنسداد المخرج، الشيء الذي يتطلب معه تفريغ البركة وإزالة مابها من حمأة وأوساخ. وتعتمد عملية نظافة البركة على الظروف المحلية وعوامل المناخ ونوع البركة. ويبين الجدول 6-13 فترة إزالة الأوساخ من البركة.

جدول 6-13 الفترة المتوقعة لإزالة الأوساخ من البركة{f 24}

نوع البركة	فترة إزالة الأوساخ
لاهوائية	2 إلى 12 سنة
اختيارية	8 إلى 20 سنة
نضوج	غالباً لا تحتاج

المصدر: المرجع f 24، منشور بإذن.

ويفيد الجدول 6-14 في تحديد نقاط المراقبة لصيانة بركة موازنة الأوساخ.

جدول 6-14 نقاط المراقبة لصيانة بركة موازنة الأوساخ {f 24}

الموقع	الحالة أو المشاكل	الحلول العملية
المساحة حول موقع البركة	أشجار أو شجيرات جديدة	القطع والإزالة
المساحة حول موقع البركة	دفق مياه سطحية	الإزاحة بوساطة خنادق أو مجاري أو سدود صغيرة
الميل الخارجي وأعلى الجدران الداعمة	حشائش طويلة وأعشاب	إزالة الحشائش وقطع الأعشاب وإزالة ناتج الإزالة والقطع
الميل الخارجي وأعلى الجدران الداعمة	تعرية بالرياح أو الأمطار	ملء بالتربة وزراعة بعض الحشائش
داخل الجدران الداعمة وشاطئ البركة	تعرية	تغيير الحجارة
شاطئ البركة	أعشاب	القطع والإزالة
مخرج البركة	أوساخ حول المصفاة	إزاحة المترسبات ونظافة المصفاة
سطح البركة	بعوض	الرش بالزيوت أو المكافحة الحيوية

المصدر: المرجع f 24، منشور بإذن.

ويبين جدول 6-15 أدناه معلومات عامة لتصميم برك الموازنة.

جدول 6-15 **معلومات عامة لتصميم برك الموازنة** {1، 2، 3، 4، 9، 22، 24}

المنشط	برك لاهوائية	برك اختيارية	برك هوائية
التصريف الداخل	حمأة بها مواد عضوية ومواد صلبة عالية	حمأة من شبكة المجاري أو من برك لا هوائية	حمأة من برك اختيارية
المعالجة	جزئية	جزئية	جزئية
التصريف النهائي	لبركة اختيارية	لبركة نضوج	للزراعة أو تربية الأسماك والطيورالمائية
عمق البركة (م)	2 – 4	1 – 1.5	5 - 10
زمن المكث (يوم)	8 - 20	20 180	5 - 10
عمل النمو الحيوي	كائنات لا تحتاج إلى الأكسجين للنمو والتكاثر	كائنات هوائية ولاهوائية	كائنات هوائية
التشغيل	على التوالي أو التوازي	أقلها 3 برك على التوالي التوصيل على التوازى مفيد للبرك الكبيرة	1أو أكثر من البرك على التوالي أو التوازي
اللون	أسود داكن	أخضر أو أخضر بني	أخضر
فترة نظافة الوحل (سنة)	2 - 12	8 - 20	ربما لا تحتاج أبداً
درجة الحرارة الأمثل (°م)	30	20	20
إحتياجات الأكسجين	-	-	(0.7 – 1.4) مضروبة في حاجة الحيا-كيميائية للأكسجين المزال
الرقم الهيدروجيني	6.8 – 7.2	6.5 - 9	6.5 - 8
المواد الكيميائية المطلوبة	المواد الغذائية الناقصة، لا تحتاج إلى مواد كيميائية أخرى	المواد الغذائية الناقصة، لا تحتاج إلى مواد كيميائية أخرى	
المشاكل المتوقعة	روائح، تحتاج إلى أرض واسعة، تلوث مياه جوفية	روائح عند التحميل العالي، تلوث مياه جوفية، نقصان في النشاط الحيوي في المناخ البارد	نقصان في النمو الحيوي

.

6-8 هضم الحمأة Sludge digestion

يقصد بهضم الحمأة إتمام تفسخ المواد العضوية الموجودة فيها بطريقة متحكم فيها وتحت ظروف معينة. وهذه العملية قد تكون هوائية أو لاهوائية. ومن أهم الأهداف لإضافة وحدة الحمأة في محطة المعالجة مايلي:

- يساعد هضم الحمأة في تقليل حجم الحمأة السميكة

- يغير هضم الحمأة المواد الصلبة العضوية إلى مواد خاملة
- إزالة الحمات والأحياء المجهرية الضارة

تسعى عملية الهضم الهوائي للحمأة إلى معالجة الأوساخ الصادرة من جهاز ترسيب الحمأة النشطة، أو الحمأة الناتجة من وحدات المعالجة الأولية، أو خليط من هذه الأوساخ. ويتم الهضم في حوض مفتوح لزيادة التهوية، وعليه يمكن إعتبار هذه العملية تحسين لعملية الحمأة النشطة {22، 25}.

أما عملية الهضم اللاهوائي فهى عملية تخمير للحمأة تعمل عليها الأحياء المجهرية الاختيارية اللاهوائية. وتقوم هذه الكائنات بتفسخ المواد العضوية وتحويلها إلى ثاني أكسيد الكربون وغاز الميثان وبعض العناصر الخاملة بالإضافة لتخليق كائنات أخرى من نفس النوع والفصيلة. وتقوم بهذه العملية بكتريا الأحماض Acid bacteria وبكتريا الميثان Methanogenic bacteria. ومن خواص الحمأة الجيدة الهضم مايلي:

- o ذات لون بني إلى بني داكن،
- o لها مظهر المتلبدات،
- o لها رائحة فاسدة غير أنها غير كريهة،
- o يصعب إزالة الماء منها.

ومن أهم العوامل التي تؤثر في عملية الهضم اللاهوائي{1، 3، 4، 6}: الرقم الهيدروجيني، ودرجة الحرارة، والمواد الغذائية، والمواد السامة (مثل المعادن الثقيلة)، والأحماض الطيارة، والأمونيا، ونوع المواد المتفسخة وخواصها ، والتحميلات الصدمية، وحالات الخلط، وزمن المكث اللازم لهضم الحمأة، ونوع الأحياء المجهرية وعددها. وليس لعملية الهضم الهوائي نفس درجة الحساسية للعوامل البيئية مقارنة بعملية الهضم اللاهوائي، غير أنها تستهلك قدراً أكبر من الطاقة.

يتكون الهاضم اللاهوائي Anerobic Digestor من وعاء مغلق له أغطية عائمة تمنع تسرب الهواء (أنظر شكل 6-13). ويتم سحب الحمأة من القعر المخروطي للوعاء، بينما يسمح الغطاء العائم بالتغير في الحجم نسبة لإضافة الحمأة وسحبها. وعملية إضافة الحمأة للهاضم تتم بطريقة متقطعة، ثم يسحب السائل الفوقي ليعاد إلى وحدات المعالجة الثانوية.

أما تفسخ مواد الحمأة الصلبة فتتم بفعل البكتريا الاختيارية والبكتريا اللاهوائية مكونات الأحماض. إذ تقوم هذه الأحياء المجهرية بتحويل المواد الصلبة إلى أحماض عضوية ذائبة وكحول. وتعمل هذه النواتج على تخفيض الرقم الهيدروجيني في النظام، مما يوقف عملية التحول الحيوي نسبة لهلاك هذه الأنواع من الأحياء المجهرية. وحينها تحل محلها أنواع أخرى من البكتريا اللاهوائية تُسمى مكونات الميثان Methane Formers وتواصل هذه الكائنات عملية التفتيت الحيوي للمواد التي أنتجتها مكونات الأحماض. تقوم مكونات نشاط الميثان بتعويز الأحماض والكحول المكونة إلى ثاني أكسيد الكربون وغاز الميثان وآثار من غازات أخرى Gasification مثل كبريتيد الهيدروجين. وبكتريا الميثان هذه بكتريا لاهوائية تعمل على رقم هيدروجينى ضيق يقع بين 6.5 إلى 7.5 وذلك لأن لها حساسية لأي تغيرات في الرقم الهيدروجيني {1، 3}.

للحمأة المهضومة لاهوائياً لون بني ضارب إلى السواد، ويماثل لونها لون القطران الساخن أو المطاط المحروق أو الشمع المانع للتسرب. كما وتحتوي الحمأة المهضومة لاهوائياً على كمية كبيرة من الغاز. وتتراوح درجة تركيز المواد الصلبة بعد عملية الهضم بين 6 إلى 7 بالمائة، وربما وصلت من 8 إلى 10 بالمائة عند هضم الحمأة الناتجة من الترسيب الإبتدائي. وتعمل طريقة هضم الحمأة على إزالة الجراثيم وتقليلها بصورة كبيرة وذلك نسبة للبيئة القلوية السائدة والتي لها أثر كبير في التخلص من البكتريا.

الإنتاج النوعي للغاز Specific Yield إنتاج الغاز الحجمي(Volumetric Gas Production)

يمكن إيجاد كمية إنتاج الغاز الحجمي (أو ما يسمى بالإنتاج النوعي للغاز) من جهاز هضم الحمأة اللاهوائي من المعادلة 6-46. {25}

$$V_g = \frac{\left[Y_t \times VS \left(1 - \frac{k_n}{t \times U_{s\max} - 1 + k_n} \right) \right]}{t}$$

حيث:

V_g = معدل الإنتاج الحجمي للغاز = الإنتاج النوعي للغاز (م^3 غاز/م^3 هاضم/يوم)

Y_t = الإنتاج الأقصى للغاز (م^3 غاز/كجم مواد صلبة طيارة مضافة)

VS = درجة تركيز المواد الصلبة الطيارة للفضلات الداخلة للهاضم (كجم/ م^3)

k_n = ثابت حركي (لابعدي)

t = زمن المكث الهايدروليكي (يوم)

m_{max} = أقصى معدل للنمو النوعي للأحياء المجهرية (على يوم)

مثال 6-12

أوجد الإنتاج النوعي للغاز الناتج من هاضم حمأة لاهوائي مستخدماً البيانات المبينة في الجدول التالي:

المنشط	التمييز
درجة تركيز المواد الصلبة الطيارة للفضلات الداخلة للهاضم	98كجم/م^3
الثابت الحركي d	1.2
أقصى معدل للنمو النوعي للأحياء المجهرية	0.1 على اليوم
زمن المكث الهايدروليك t	26 يوماً
الإنتاج الأقصى لغاز الميثان	0.5 م^3 غاز/ كجم مواد صلبة طيارة مضافة
حجم الهاضم	10 متراً مكعباً

الحل:

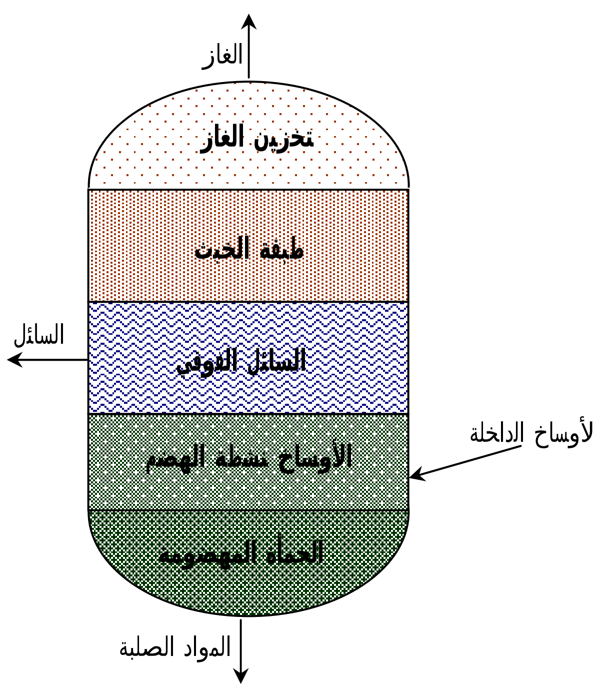
1- المعطيات: VS = 98 كجم/ م^3، k_n = 1.2، m_{max} = 0.1 على اليوم، t = 26 يوم، Y_t = 0.5 م^3 غاز/كجم مواد صلبة طيارة مضافة، V = 10 م^3

2- أوجد معدل الإنتاج الحجمي للغاز باستخدام المعادلة:

$$V_g = \frac{\left[Y_t \times VS \left(1 - \frac{k_n}{t \times U_{s\,max} - 1 + k_n} \right) \right]}{t}$$

$$V_g = \frac{\left[0.5 \times 98 \div 26 \left(1 - \frac{1.2}{26 \times 0.1 - 1 + 1.2} \right) \right]}{t} = 1.08$$ م^3 غاز/ م^3 هاضم/يوم.

3- أوجد معدل الإنتاج الحجمي اليومى للغاز =1.08×10 = 10.8 م^3 غاز.



شكل 6-13 هضم الحمأة والأوساخ

ويبين الجدول 6-16 أدناه بعض خصائص ومواصفات المخلفات التي تمت معالجتها بطريقة الهضم اللاهوائي{1، 3، 6،4}

جدول 6-16 بعض خواص الحمأة المهضومة {4}

المنشط	الحمأة الرديئة الهضم	الحمأة الجيدة الهضم
اللون	أسود	بني أو رمادي
الرائحة	قطرانية	نتنة
الماء الطافي	شبه رائق	متعكر جداً
الغازات	كبيرة	خفيفة
الرقم الهيدروجيني	6.6 إلى 7.6	أقل من 6
القلوية لبرتقال المثيل (ملجم/لتر $CaCO_3$)	لا تقل عن 2000	أقل من 1000
الأحماض الطيارة	قليلة	كثيرة

المصدر: المرجع 4، منشور بإذن.

ويعطى الجدول 6-17 أدناه بعض المعلومات العامة لتصميم طريقة الهضم اللاهوائي التقليدية.

جدول 6-17 معلومات تصميمية للهاضم اللاهوائي التقليدي {1، 3، 4، 9، 25}

العنصر	المقدار
حمل المواد الصلبة الطيارة (كجم/م^3/يوم)	0.3 إلى 2
تفتت المواد الصلبة الطيارة (%)	40 إلى 50
إنتاج الغاز (م3 غاز/كجم مواد صلبة طيارة)	0.2 إلى 1.5
المواد الصلبة للحمأة الداخلة (كجم/م3/يوم)	2 إلى 5
تفكك المواد الصلبة الكلية (%)	30 إلى 40
الرقم الهيدروجيني	6.5 إلى 7.4
درجة القلوية (ملجم لتر)	2000 إلى 3500
زمن مكث المواد الصلبة (يوم)	30 إلى 90
حجم الهاضم (م3/الفرد)	0.1 إلى 0.17
مكونات الغاز(%)	
ميثان	65 إلى 70
ثاني أكسيد الكربون	32 إلى 35
كبريتيد الهايدروجين	آثار قليلة
درجة الحرارة (°م)	30 إلى 35

6-9 نزح الماء من الحمأة Sludge dewatering

تسعى عملية نزح الماء من الحمأة لتقليل محتوى النداوة منها، لاسيما وعادة تحتوي الحمأة على درجات تركيز قليلة من المواد الصلبة، والتي قلما تربو على 6 بالمائة. ومن المعروف أن معظم وحدات المعالجة الثانوية تنتج

مخلفات تكون درجة تركيز المواد الصلبة فيها في حدود واحد بالمائة. وهذا يوضح جلياً أهمية نزح الماء من الحمأة. وتهدف هذه الطريقة الطبيعية لتحقيق مايلي {1، 2، 3، 6، 26، 27}:

- تغليظ الأوساخ لتقليل حجم الحمأة والفضلات السائلة مما يساعد في التخلص النهائي
- خفض تكاليف الترحيل والنقل
- تأخر عملية التفتت الحيوي عند الضرورة
- إزالة الرائحة الكريهة من الحمأة والطين
- تقليل الناتج المنضوض leachate من موقع الردم الصحي
- زيادة القيمة الحرارية، وذلك بنزح محتوى النداوة الزائد خاصة عند حرق الحمأة وترميدها
- استخدام الماء المستخلص من الحمأة بعد إجراء المعالجة اللازمة عليه إذا اقتضى الحال
- استخدام الحمأة المغلظة كسماد لنباتات ومزروعات الزينة وتحسين المناظر الطبيعية

6-9-1 طرق نزح الماء من الحمأة:

تُستخدم عدة طرق لنزح الماء من الحمأة ومنها على سبيل المثال: مفرش التجفيف، ومرشح ضغط المكبس، والتفريغ الهوائي، والطرد المركزي.

مفرش (حوض) التجفيف:Drying Bed

يستخدم مفرش التجفيف لإزالة الماء من الحمأة المغلظة بالتبخر والتسرب. وعليه تتأثر مفارش التجفيف بعوامل الطقس (درجة الرطوبة، وسرعة الرياح)، وطبغرافية المنطقة المحيطة وجيولوجيتها، وخواص المفرش وشكله وموضعه، وطبيعة الأوساخ ومكوناتها، وشكل الحبيبات الداخلة إلى المفرش وحجمها. عادة توضع الأوساخ فوق المفارش ليتم تجفيفها في مدة قد تصل إلى 6 أشهر، اعتماداً على الظروف المناخية وطبغرافية المنطقة. ويمكن تقليل زمن التجفيف بإضافة مروبات مثل أملاح الحديد أو الألمونيوم. وتُجمع المياه المتسربة لتُعاد إلى محطة المعالجة لتفادي أي تلوث قد ينتج منها. وتُصنع المفارش الجديدة باستخدام الخرسانة ويستغل الطوب كأرضية. (أنظر شكل 6-14).

مرشح ضغط المكبس Pressure Filter :

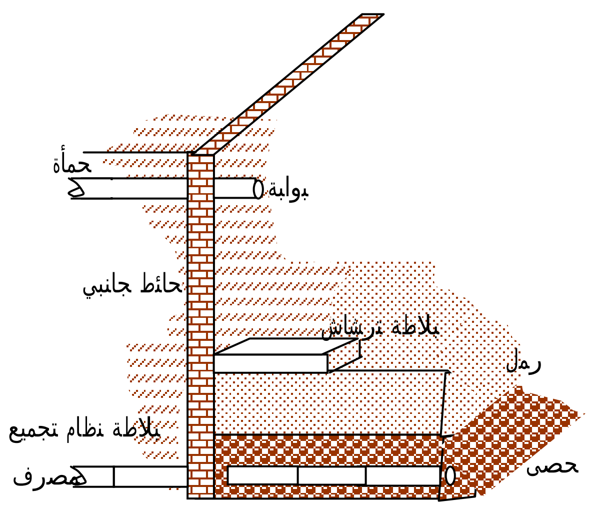
تُستخدم قوى ضاغطة لإزالة الماء من الأوساخ في مرشح المكبس بطريقة غير مستمرة (انظر شكل 6-15). أما طبقة الترشيح فتتكون من مجموعة من الألواح، أو من الصفائح، مع بطانة تعمل كطبقة ترشيحية. وعادة تُضاف بعض المواد المنشطة للحمأة لرفع كفاءة العملية الترشيحية، ومن ثم يضخ الخليط لجهاز المرشح لحجز الأوساخ في شكل عجينة يتم التخلص منها بطريقة مثلى وسليمة. أما السائل الراشح فيجد طريقه عبر الوسط الترشيحي لمنافذ خروجه. وتُصمم وحدات مرشح ضغط المكبس لتعمل تحت ضغط يتراوح بين 420 إلى 840 كيلو نيوتن على المتر المربع، كما يتراوح زمن الترشيح بين 3 إلى 8 ساعات. كما وأن المحتوى الرطوبي يصل إلى 55 أو 60 بالمائة. ومن محاسن هذه الطريقة مايلي:

- إنتاج أوساخ قليلة المحتوى الرطوبي

- قلة تكلفة الإنشاء.
- إحتواء السائل الخارج منها على درجات تركيز قليلة من المواد الصلبة العالقة.

التفريغ الهوائي Vacuum Filtration

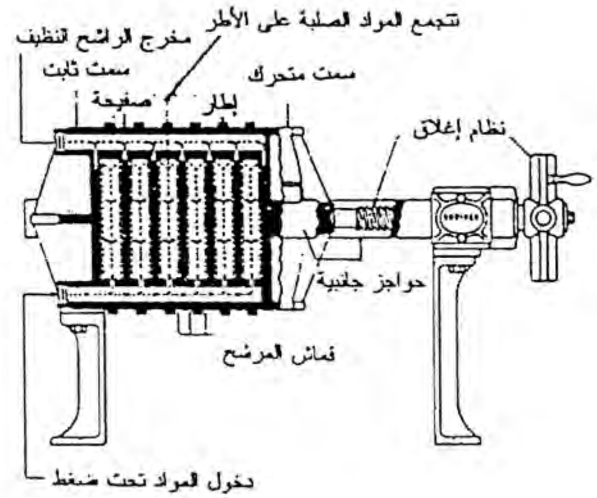
وتعتمد هذه الطريقة المستمرة لإزالة الماء من المخلفات على التفريغ الهوائي لتنتج كعكة قليلة المحتوى الرطوبي. ويتكون هذا الجهاز من طبلة مجوفة من المعدن، مغطاة بقماش معدني أو معادن مثقبة مع بطانة من الصوف أو الترليلين أو النيلون (انظر شكل 6-16). ويعمل التفريغ الهوائي على إزالة الماء من الفضلات عند دوران الجهاز، كما وتُنقل الحمأة بسير متحرك. ومن العوامل المؤثرة على كفاءة هذه الطريقة: خواص الأوساخ ونوعها ومحتواها الرطوبي، والمواد المساعدة والمنشطة المستخدمة في العملية الترشيحية، وطبيعة طبقة الترشيح ونوعها وخواصها، والعوامل التشغيلية المهمة مثل: سرعة الترشيح والضغط عبر طبقة الترشيح وغيرها من العوامل ذات الصلة. ومن الملاحظ أن المحتوى الرطوبي للمخلفات المزال منها الماء بطريقة التفريغ الهوائي أعلى من تلك المزال منها الماء بطريقة الترشيح تحت الضغط (مرشح المكبس).



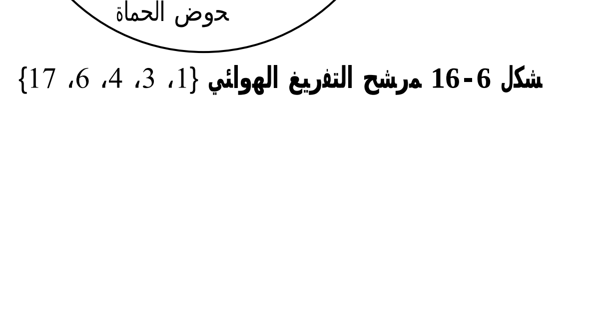
شكل 6-14 قطاع مفرش تجفيف

المصدر: مرجع 17، منشور بإذن

Source: Nathnson, J. A., Basic Environmental Technology: Water Supply, Water Disposal & Pollution Control. Courtesy of John Wiley & Sons, New York, 1987.



شكل 6–15 مرشــح ضغـط المكبــس
المصدر : المرجع 14، منشور بإذن



شكل 6-16 مرشح التفريغ الهوائي {1، 3، 4، 6، 17}

الطرد المركزي Centrifugation

عملية نزح الماء بالطرد المركزي عبارة عن عملية ترسيب تحت تأثير قوى أكبر من قوى الجاذبية الأرضية، للجسيمات الصغيرة العالقة الصعبة الترسيب والتي يسمح حجمها بالانتشار. أما القوى المؤثرة على الجسيمات فهى قوى الطرد المركزي وقوى احتكاك استوك. ومن العوامل المؤثرة على كفاءة وعاء الطرد المركزي: درجة تركيز المواد الصلبة العالقة، وشكل وحجم الحبيبات، والاستحلال Solvation ، والعوامل الكهروستاتيكية، ودرجة اللزوجة، والكثافة النوعية، وسرعة دوران وعاء الترسيب.

6-9-2 ترشيح الحمأة Sludge Filtration

يمكن تقدير كفاءة نزح الماء من الحمأة بالترشيح بعدة طرق منها: زمن السحب الشعري (Capillary Suction Time (CST)) وزمن تشقق الكعكة (Cracking time) ومعيار المقاومة النوعية (Specific resistance to filtration). أما زمن السحب الشعري فهو عبارة عن الزمن اللازم للماء ليتم نزحه من الحمأة على نشافة. وكلما قل زمن السحب الشعري كلما كبرت درجة ترشيح الحمأة. وتعني الأرقام الكبيرة لزمن السحب الشعري أن هنالك معوقات تحول دونما ترشيح الحمأة قيد الاختبار. وأما زمن تشقق الكعكة فهو عبارة عن الزمن الذي تأخذه الكعكة لتنهار متفتتة تحت الضغط. ومن أفضل المعايير لقياس سهولة نزح الماء من الحمأة أو صعوبته يتم باستخدام معيار المقاومة النوعية. ويبين الشكل 6-17 رسم مبسط لجهاز قياس المقاومة النوعية. ويمكن تعريف المقاومة النوعية بأنها عبارة عن "تلك المقاومة لإزالة الماء الناتج من كعكة أو قالب من الحمأة وزنها وحدة وزنية واحدة من المواد الصلبة خلال ترشيحها عبر وحدة مساحة ". ولمعرفة سهولة نزح الماء تستخدم معادلة كوكلي وكارمان {1، 3، 4، 6، 9، 26 - 29} المبينة في المعادلة 6-47.

$$\frac{dV}{dt} = \frac{P \times A^2}{\mu \times \left(R \times C \times V + R_m \times A\right)} \qquad 6\text{-}47$$

حيث:

V = حجم الراشح المنبثق من وحدة الترشيح (م^3)

t = زمن الترشيح (ث)

P = الضغط المستخدم لنزح الماء(نيوتن/م^2، باسكال)

A = مساحة ورقة الترشيح (م^2)

m = معامل لزوجة الراشح (نيوتن×ث/م^2)

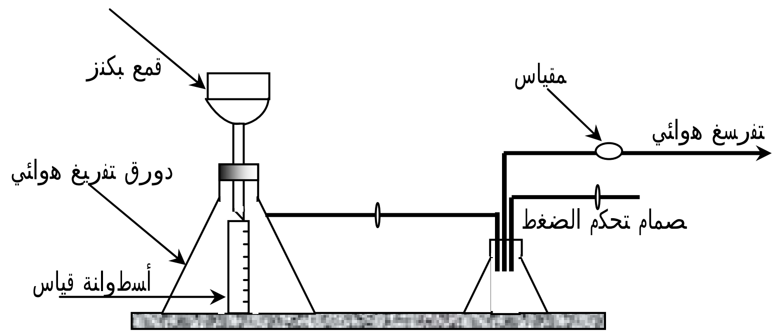
r = معامل المقاومة النوعية (م/كجم)

C = درجة تركيز المواد الصلبة في الحمأة (كجم/م^3)

R_m = مقاومة طبقة الترشيح (م/)

وبتكامل المعادلة 6-47 لضغط ثابت تنتج العلاقة الموضحة في المعادلة 6-48.

$$tV = \left(\frac{\mu \times r \times C}{2P \times A^2}\right) \times V + \frac{\mu \times R_m}{P \times A} \qquad 48\text{-}6$$



شكل 6-17 جهاز قياس معامل المقاومة النوعية {1، 11، 15}

ويمكن وضع المعادلة 6-48 في صورة معادلة خط مستقيم كما مبين في المعادلة 6-49.

$$x = b*t + a \qquad 6\text{-}49$$

حيث:

a,b = حدان ثابتان، يمكن إيجادهما برسم بياني للمتغيرات t/V مع V ، حيث يمثل b ميلان الخط المستقيم فيه، ويمثل a مقطع هذا الخط مع المحور الرأسي.

$$b = \frac{\mu \times r \times C}{2P \times A^2} \qquad 6\text{-}50$$

$$a = \frac{\mu \times R_m}{P \times A} \qquad 6\text{-}51$$

ومن المعادلة 6-50 يمكن إيجاد المقاومة النوعية كما موضح في المعادلة 6-52.

$$r = \frac{2b \times P \times A^2}{m \times C} \qquad 6\text{-}52$$

ويبين الجدول 6-18 أدناه صورة عامة لقيم معامل المقاومة النوعية وقابلية الحمأة لنزح الماء منها.

جدول 6-18 خواص الحمأة وعلاقتها بمعامل المقاومة النوعية {1، 3، 9}

معامل المقاومة النوعية (م/كجم)	خواص الحمأة
أقل من 10^{11}	سهلة الترشيح
من 10^{11} إلى 10^{14}	متوسطة الترشيح
أكبر من 10^{14}	صعبة الترشيح

وعادة فإن المقاومة النوعية لمعظم المخلفات السائلة تتغير بتغير الضغط طبقاً لعلاقة كارمان المبينة في المعادلة 6-53.

$$r = r'*P*s \qquad 6\text{-}53$$

حيث:

r = معامل المقاومة النوعية للترشيح تحت الضغط P (م/كجم)

r' = ثابت

P = الضغط المبذول (نيوتن/م^2)

s = معامل الإنضغاطية (يتغير بين صفر إلى 1)

ويمكن أن توضح المعادلة 6-53 في الصورة الخوارزمية المبينة في المعادلة 6-54.

$$\text{Log } r = s*\text{LogP} + \text{Logr}' \qquad (6\text{-}54)$$

وعند رسم لو r (Log r) كدالة في لو P (Log P) ينتج خط مستقيم له ميلان s.

مثال 6-13

استخدم قمع بكنر لعينة من الحمأة المهضومة لقياس معامل المقاومة النوعية وتم الحصول على البيانات التالية:

الزمن (دقيقة)	1	5	7	8	10	15	20
حجم الراشح المجمع (مللتر)	4	17	22.5	25	30	41	50.5

علماً بأن التفريغ الهوائي المستخدم 60 كيلو باسكال، ودرجة لزوجة الراشح 1.1×10^{-3} نيوتن×ث/م^2، وتركيز المواد الصلبة 60 كجم/م^3، وقطر مساحة ورقة ترشيح واتمان رقم 1 تعادل 7 سم. أوجد معامل المقاومة النوعية للأوساخ. كيف تقوم عملية نزح الماء بالترشيح من هذه الحمأة؟

الحل:

1- المعطيات: القيم المبينة في الجدول لتغير حجم الراشح المجمع مع الزمن، P = 60 كيلو باسكال، $\mu = 1.1\times10^{-3}$ نيوتن×ث/م^2، C = 60 كجم/م^3، D = 7 سم.

2- أوجد قيم t/V كما مبين في الجدول التالي:

الزمن (ثانية)	60	300	420	480	600	900	1200
حجم الراشح المجمع (مللتر)	4	17	22.5	25	30	41	50.5
الزمن ÷ حجم الراشح المجمع (t/V) (ث/مللتر) = $\times10^{-3}$	15	17.65	18.67	19.2	20	21.95	23.76

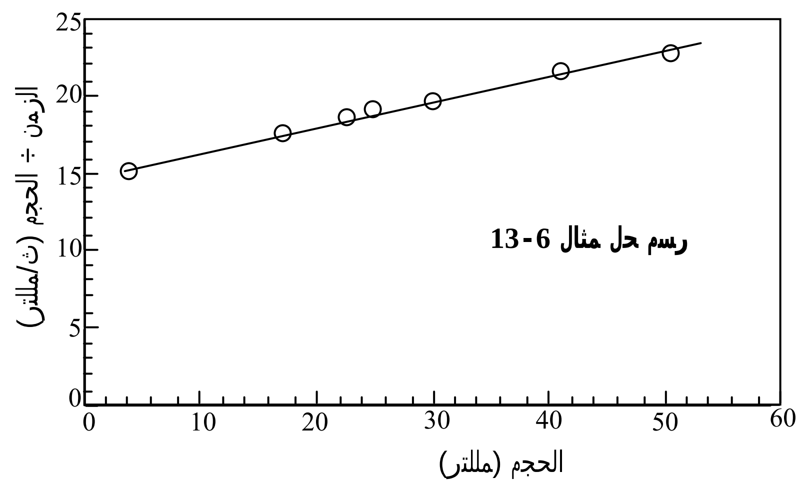
3- أرسم قيم t/V مع V كما مبين على رسم حل مثال 6-13، ثم أوجد ميلان الخط المستقيم الناتج ليساوي:

$b = 1.86\times10^{11}$ ث/م^{6}

4- أوجد معامل المقاومة النوعية من المعادلة: $r = 2b*P*A^2/\mu*C$

$$r = 2\times1.86\times10^{11}\times60\times10^{3}\times\left(\frac{0.07\times0.07\times\pi}{4}\right)^2 \div (1.1\times10^{-3}\times60) = 6.5\times10^{16}$$ م/كجم

5- وبمقارنة هذه القيمة للمقاومة النوعية مع القيم الموضحة على الجدول 6-18 يمكن القول بأن هذه العينة من الحمأة سهلة الترشيح.



مثال 6-14

أوجد معامل الإنضغاطية للنتائج المبينة في الجدول التالي لتغير معامل المقاومة النوعية لعينة مهضومة مع الضغط:

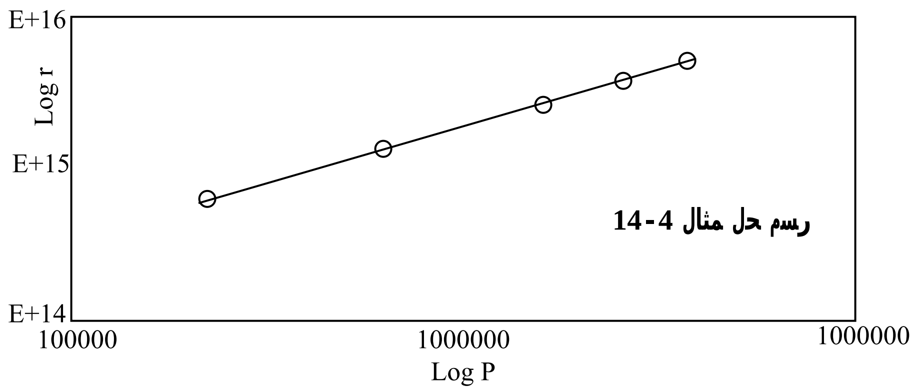
معامل المقاومة النوعية (م/كجم)	الضغط (كيلو باسكال)
9×10^{14}	290
14×10^{14}	580
22×10^{14}	1170
29×10^{14}	1758
36×10^{14}	2344

الحل:

1. أوجد قيم خوارزم كل من الضغط ومعامل المقاومة النوعية كما مبين في الجدول التالي

لوP	لوr
5.462398	14.954243
5.763428	15.146128
6.0681859	15.342423
6.2450189	15.462398
6.3699576	15.556303

2- أرسم قيم (لوr) مع (لوP) كما مبين على رسم حل مثال 6-14، ثم أوجد ميلان الخط المستقيم الناتج ليساوي 0.66 وعليه معامل الإنضغاطية، s = 0.66



3-9-6 قوى الطرد المركزية Centrifugation

يمكن استخدام قوى الطرد المركزية كإحدى طرق إزالة الماء من الحمأة. ومن أهم العوامل المؤثرة على هذه العملية: سرعة الطرد المركزي، ومقاس الحبيبات وكثافتها، ودرجة الحرارة. وتوجد عدة نماذج لتقويم كفاءة جهاز الطرد المركزي ومقارنة عمله بأجهزة أخرى. ومن هذه النماذج معادلات سقما وبيتا. وتُستخدم هذه المعادلات لمقارنة جهازي طرد مركزيين لهما تماثل هندسي. وتبين المعادلة 6-55 معادلة سقما المستخدمة لتقدير ترسب المواد الصلبة داخل جهاز الطرد المركزي {3، 6، 15} (أنظر شكل 6-18).

$$\frac{Q_1}{\Sigma_1} = \frac{Q_2}{\Sigma_2} \qquad 6\text{-}55$$

حيث:

Q_1 = دفق السائل داخل جهاز الطرد المركزي الأول ($م^3$/ث)

Σ_1 = معيار ينسب إلى خواص جهاز الطرد المركزي الأول

Q_2 = دفق السائل داخل جهاز الطرد المركزي الثاني ($م^3$/ث)

Σ_2 = معيار ينسب إلى خواص جهاز الطرد المركزي الثاني

ويمكن إيجاد قيمة المعيار S من المعادلة 5-56.

$$\Sigma = \frac{v^2 \times V}{g \times Ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)} \qquad 6\text{-}56$$

حيث:

Σ = معيار ينسب إلى خواص جهاز الطرد المركزي

v = سرعة دوران السلطانية (الطاسة) Rotational velocity of bowl (رادين/ث)

V = حجم السائل في الحوض (م^3)

g= عجلة الجاذبية الأرضية (م/ث^2)

r_1 = نصف القطر من خط الوسط إلى سطح الأوساخ (م)

r_2 = نصف القطر من خط الوسط إلى داخل جدران السلطانية (م)

ويمكن إيجاد سرعة دوران السلطانية Bowl speed من المعادلة 6-57.

$$\nu = 2\pi\ \omega/60 \qquad 6\text{-}57$$

حيث:

ν = سرعة دوران الإناء (رادين/ث)

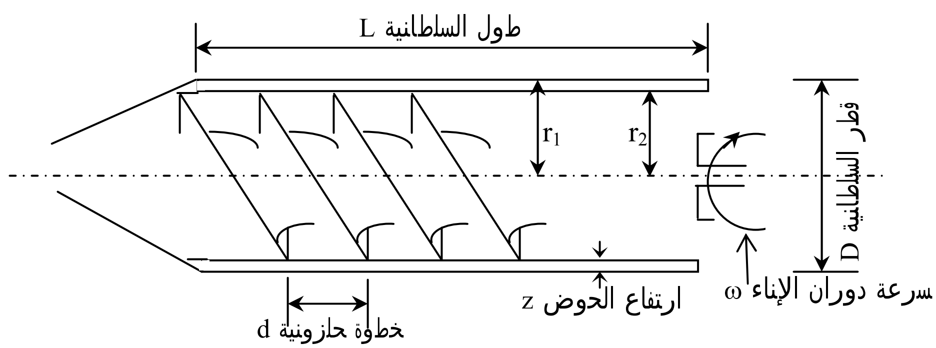
ω = سرعة دوران الإناء (دورة في الدقيقة،rpm)

ويمكن إيجاد حجم السائل في السلطانية كما في المعادلة 6-58.

$$V = 2\pi \times \frac{r_1 + r_2}{2} \times (r_2 - r_1) \times L \qquad 6\text{-}58$$

حيث:

L = طول السلطانية (م)



شكل 6-18 جهاز الطرد المركزي {3، 6، 15}

أما معادلة بيتا فتقوم بتقدير طرد المواد الصلبة وحركتها داخل جهاز الطرد المركزي كما مبين في المعادلة 6-59.

$$\frac{W_1}{b_1} = \frac{W_2}{b_2} \qquad 6\text{-}59$$

حيث:

W_1 = معدل تحميل المواد الصلبة لجهاز الطرد المركزي الأول (كجم/ساعة)

b_1 =دالة بيتا لجهاز الطرد المركزي الأول

W_2 = معدل تحميل المواد الصلبة لجهاز الطرد المركزي الثاني (كجم/ساعة)

b_2 =دالة بيتا لجهاز الطرد المركزي الثاني

أما دالة بيتا فيمكن إيجادها من المعادلة 6-60.

$$\beta = \Delta v * d * n * \pi Z * D \qquad 6\text{-}60$$

حيث:

β = دالة بيتا لجهاز الطرد المركزي

Δv = الفرق بين سرعة دوران السلطانية والناقل conveyor (رادين/ث)

d = المسافة بين الشفرات، أو الخطوات الحلزونية scroll pitch (م)

n = عدد الخطوات (لابعدي)

Z = إرتفاع الأوساخ في السلطانية (م)

D = قطر السلطانية (م)

وبذا يمكن مقارنة جهازي الطرد المركزي بحيث أن معادلة سقما توضح خواص الترسيب للجهاز بالنسبة لمعدل دفق السائل فيها. أما معادلة بيتا فتوضح حركة المواد الصلبة بالنسبة للتحميل لهذه المواد. وعادة تؤخذ القيمة الأقل عند التصميم لتحديد سعة جهاز الطرد المركزي.

6-10 طرق التخلص من السائل النهائي

توجد عدة طرق يمكن أن تتبع للتخلص من السائل النهائي المعالج. ومن هذه الطرق: التخفيف واستخدام موارد المياه (الأنهار والبحيرات والبرك والخلجان والروافد) وإعادة الاستخدام. وفيما يلى نبذة موجزة عن هذه الطرق:

التخلص بالتخفيفDilution

لا تعتبر طريقة التخفيف من الأساليب المثلى للتخلص من السائل النهائي الناتج من محطات المعالجة. غير أنه توجد نسب قليلة من هذا السائل تجد طريقها لموارد المياه مما قد يؤثر بصورة أو بأخرى على هذه الموارد. وعندما يتم التخلص من السائل النهائي الصادر من محطات معالجة عالية الكفاءة، تقوم المياه الطبيعية بتخفيف

درجات تركيز الملوثات الخطرة والسامة، أوتلك الملوثات التي قد تؤثر على الصحة العامة، أو الملوثات التي تعوق عمليات التنقية الذاتية للمجرى المائي. ولابد من منع الآثار الضارة على المورد المائي وتداركها، والمحافظة على الحياة المائية الموجودة به، وعدم تلوث المورد بدرجة لا تسمح باستخدامه من قبل الجمهور المستهلك لمائه أدنى نقاط المصب كما وينبغي التأكد بأن التخاص من السائل النهائي لا يغير من لون المورد أو طعمه أو رائحته، أو يقود إلى موت الحياة المائية من حيوانات ونباتات وأحياء مجهرية ودمارها، ولا يقود إلى تراكم الملوثات وتداخلها في السلسلة الغذائية التي ربما وصلت إلى الإنسان وأتت معها بأمراض ومشاكل صحية للمستهلك. وتعتمد كفاءة طريقة التخفيف على العديد من العوامل المتدخلة فيما بينها ومنها: طرق التنقية الذاتية Self purificationالطبيعية الموجودة في الموارد المائي وكفاءتها ، ودفق المورد، وحركة الماء وخواصه بالمورد، وطرق استخدام المياه أدنى نقاط مصب السائل النهائي، وكمية الفضلات والسائل النهائي وخواصها.

قانون التخفف Dilution law :

توجد عدة نماذج رياضية لتقويم الآثار الناتجة من هذه الطريقة، ولحساب مقدار السعة التخفيفية في المورد (المستقبل للسائل النهائي) للتخاص من السائل النهائي. ومن هذه النماذج طريقة إتزان الكتلة للدفق الداخل والخارج من المورد المائي (أنظر شكل 6-19). وفي الشكل 6-19 يفترض أن السائل النهائي يحتوي على ملوث بتركيز P_W وأنه ينساب بحجم دفق يعادل Q_W في طريقه إلى المورد المائي الذي يتدفق بمعدل Q_r ويحمل درجة تركيز P_r (من نفس الملوث). وعليه يمكن تقدير درجة تركيز الملوث أدنى نقطة المصب من موازنة الكتل الداخلة عند النقطة أ (قانون التخفيف)، كما مبين في المعادلة 6-61.

$$P_w*Q_w + P_r*Q_r = P_m*Q_m \qquad 6\text{-}61$$

حيث:

P_w = درجة تركيز الملوث الصادر من محطة المعالجة أو السائل المتخاص منه (ملجم/ لتر)

Q_w = دفق السائل النهائي (م^3/ ث)

P_r = درجة تركيز الملوث أعلى نقطة المصب (أ)، أو درجة تركيز الملوث في المجرى المائي قبل نقطة المصب (أ) (أي درجة التركيز عند النقطة ب) (ملجم/ لتر)

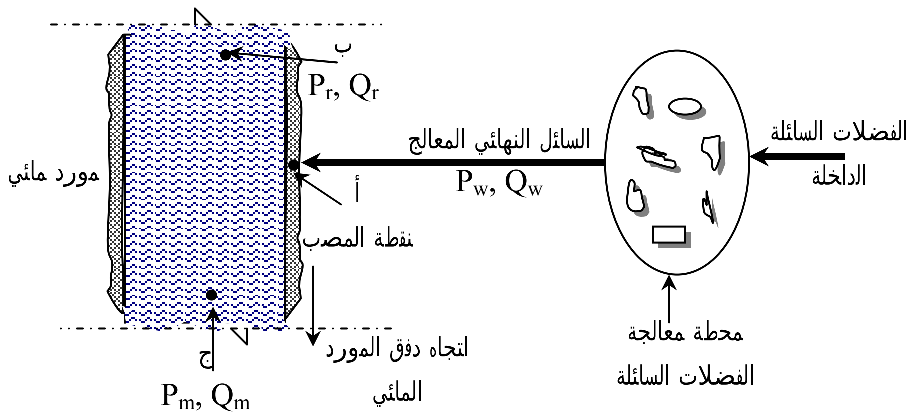
Q_r = دفق المجرى المائي (م^3/ث)

= درجة تركيز الملوث أدنى نقطة المصب، أو تركيز الملوث في الخليط من المجرى المائي والسائل النهائي بعد النقطة (أ) (أي درجة التركيز عند النقطة ج) (ملجم/ لتر)

Q_m = الدفق المختلط من السائل النهائي ودفق المورد المائي (م^3/ث)

أما الدفق المختلط من السائل النهائي ودفق المورد المائي فيمكن إيجاده من المعادلة 6-62.

$$Q_m = Q_w + Q_r \qquad 6\text{-}62$$



شكل 6-19 رسم تخطيطي لطريقة التخلص النهائي بالتخفيف

مثال 6-15

يتدفق سائل نهائي معالج بمعدل إندفاق يساوي 195 م^3/دقيقة من مصنع مجاور لمورد مائى. ويلغت قيمة ملوث معين (قابل للتفتيت الحيوي) فيه 47 ملجم/لتر. إذا كانت قيمة نفس الملوث في المورد المائي 2.5 ملجم/ لتر، ومعدل إنسياب الماء فيه 16 م^3/الثانية. أوجد قيمة تركيز الملوث في الخليط أدنى نقطة المصب .

الحل:

1- المعطيات: Q_w = 195 م^3/دقيقة، P_w = 47 ملجم/ لتر، P_r = 2.5 ملجم/ لتر، Q_r = 16 م^3/ث

2- أوجد معدل دفق الخليط من السائل النهائي المعالج ومعدل دفق المورد المائي من المعادلة: $Qm = Qw+Qr$

وعليه: = 195 (60×16) = 1155 م^3/دقيقة

3- استخدم قانون التخفيف لإيجاد تركيز الملوث أدنى نقطة المصب من المعادلة: $Pw*Qw+Pr*Qr= Pm*Qm$

وعليه: $60×16 ×2.5 + 195×47 = 1155× P_m$

ومنها: P_m = 10 ملجم/ لتر.

نموذج معادلة استريتر وفيلبس للأكسجة في الأنهار Streeter & Phelps oxygenation model :

إن مصادر تجديد وزيادة الأكسجين في الأنهار تنبع من إعادة التهوية من الغلاف الجوي، والتمثيل الضوئي من النباتات المائية والطحالب. وعند هبوط درجة تركيز الأكسجين المذاب في الماء إلى أقل من درجة تركيز التوازن فإن حركة الغاز تنساب من حيز الغاز المحيط إلى حيز الماء. ويطلق على الفارق بين درجة تركيز الأكسجين عند التوازن ودرجة تركيز الغاز الحقيقية "نقصان الأكسجين". وتتناسب درجة إعادة التهوية داخل النهر طردياً مع نقصان الأكسجين المذاب. أما كمية الأكسجة الناتجة من عملية التمثيل الضوئي فتعتمد على عدة عوامل مثل حجم مستوطنات الطحالب، وكمية أشعة الشمس الواصلة إلى خلايا الطحالب.

ويمكن إيجاد معدل التهوية من الغلاف الجوي من المعادلة 6-63.

$$r_r = k''*(c_S - c) \qquad 6\text{-}63$$

حيث:

r_r = معدل اعادة التهوية

k'' = ثابت إعادة التهوية (على اليوم) للأساس e

c_S = درجة تركيز الأكسجين عند التشبع (ملجم/ لتر)

c = درجة تركيز الأكسجين (ملجم/ لتر)

أما ثابت إعادة التهوية "k فيمكن تقديره باستخدام معادلة أوكونر ودوبنس O'Conner & Dobbins equation {1،2، 4، 21}، كما مبين في المعادلة 6-64.

$$k'' = 294 \times \frac{\sqrt{C_{MD} \times v}}{h^{1.5}} k'' \qquad 6\text{-}64$$

حيث:

C_{MD} = ثابت الإنتشار الجزئيى للأكسجين (م^3/ يوم)

v = السرعة المتوسطة للنهر (م/ ث)

h = العمق المتوسط للنهر (م)

أما ثابت الانتشار الجزئيي للأكسجين C_{MD} فيعتمد على درجة الحرارة ويمكن إيجاده من المعادلة 6-65.

$$(C_{MD})_T = (C_{MD})_{20}*(T_C)^{T-20} \qquad 6\text{-}65$$

حيث:

$(C_{MD})_T$ = ثابت الإنتشار الجزئيى للأكسجين في درجة حرارة T

$(C_{MD})20$ = ثابت الانتشار الجزئيي للأكسجين في درجة حرارة 20°م (عادة يساوي 1.76×10^{-4})

T_C = معامل تصحيح الحرارة (عادة يؤخذ مقداره مساوياً 1.037)

T = درجة الحرارة (°م)

أما قيمة ثابت اعادة التهوية "k فتتغير بتغير الحرارة كما موضح في المعادلة 6-66.

$$(k'')_T = (k'')_{20}*(T_C)^{T-20} \qquad 6\text{-}66$$

حيث:

$(k'')_T$ = ثابت إعادة التهوية لدرجة الحرارة T (على اليوم)

$(k'')_{20}$ = ثابت إعادة التهوية لدرجة الحرارة 20° م (على اليوم)

T_C = معامل تصحيح درجة الحرارة، (عادة يؤخذ قيمته لتساوي 1.024)

T = درجة الحرارة °م

ويمكن أن تنسب كمية الأكسجين المطلوبة لأكسجة الأوساخ والحمأة والمواد العضوية والمترسبات الموجودة في قعر المورد المائي إلى الحاجة الحيا كيميائية للأكسجين الموجود لمدة خمسة أيام BOD_5 ويعتمد معدل استهلاك الأكسجين الذائب على تراكيز المواد العضوية، ومعدل التفسخ، والسعة التخفيفية للمورد المائي. ويمكن إيجاد معدل إعادة التهوية من المعادلة 6-67.

$$r_D = - k'* L \qquad 6\text{-}67$$

حيث:

r_D = معدل إعادة التهوية

k' = ثابت معدل التفاعل (على اليوم)

L = الحاجة الحيا كيميائية للأكسجين النهائي في النقطة المعينة (ملجم/ لتر)

ويمكن إيجاد الحاجة الحيا كيميائية للأكسجين النهائي في النقطة المعينة من المعادلة 6-68.

$$L = L_O*e^{-k't} \qquad 6\text{-}68$$

حيث:

L_O= الحاجة الحيا كيميائية للأكسجين في نقطة المصب (ملجم/ لتر)

t = الزمن (يوم)

وبتعويض المعادلة 6-68 في المعادلة 6-67 تنتج المعادلة 6-69 .

$$r_D = - k'*L_O*e^{-k't} \qquad 6\text{-}69$$

إن دخول الأحماض العضوية إلى المورد المائي يرسب المواد عالية الكثافة في قعر النهر مكونة طبقة أوساخ تعمل على استهلاك الأكسجين المذاب في الماء خاصة عند الدفق البطئ للمورد المائي. تتفسخ معظم هذه الأوساخ لا هوائياً بفعل الأحياء المجهرية في قعر المورد المائي، كما وتخضع الأوساخ لتفاعلات حيوية هوائية تنشط عند نقطة تلامس الحمأة والماء المنساب في المورد المائي. وتتغير معدلات الترسيب والجرف للمواد العضوية إعتماداً على سرعة حركة الماء في المورد المائي، ودرجة الدفق المضطرب داخل المورد المائي، وخواص المواد المترسبة في المنطقة وكميتها. ويمكن تقدير أثر كميات الطين والأوساخ العضوية والمترسبات باستخدام المعادلات التجريبية مثل تلك التي طورت بوساطة فير ومور وتوماس {2،3،5،6،30} كما موضح في المعادلة 6-70.

$$L_m = \frac{\pi \times \left(10^{-2} \times L_o\right) \times T_c \times VS \times \left(5 + 160 \times VS\right) \times \sqrt{t}}{1 + 160 \times VS} \qquad 6\text{-}70$$

حيث:

L_m = أعلى إحتياج للأكسجين بوساطة المواد المترسبة (جم/ م^2)

L_O = الحاجة الحيا-كيميائية للأكسجين BOD_5^{20} بوساطة المترسبات (جم/ كجم مواد طيارة)

VS = المعدل اليومي لترسب المواد الطيارة (كجم/ م^2)

t = زمن الترسيب (يوم)

T_c = معامل تصحيح درجة الحرارة، والذي يمكن إيجاده من المعادلة 6-71.

$$T_c = \frac{BOD_5^T}{BOD_5^{20}} \qquad 6\text{-}71$$

حيث:

BOD_5^T = الحاجة الحيا-كيميائية للأكسجين لمدة خمسة أيام ولدرجة حرارة T °م

BOD_5^{20} = الحاجة الحيا-كيميائية للأكسجين لمدة خمسة أيام ولدرجة حرارة 20 °م

ومن السرد المذكور أعلاه، يمكن أخذ العوامل المؤثرة في أكسجة الأنهار (من إعادة للتهوية وتمثيل ضوئي) لوضع نموذج مبسط للأكسجة، كما في معادلة استريتر وفيلبس التي تشير إلى نقصان كمية الأكسجين عند زيادة كمية الملوثات المتمثلة في قيمة الحاجة الحيا-كيميائية للأكسجين. كما وتقل قيمة نقصان الأكسجين بعمليات إعادة التهوية. وتبين معادلة 6-72 معادلة استريتر وفيلبس.

$$\frac{d(OX)}{dt} = k' \times L - k'' \times OX \qquad 6\text{-}72$$

حيث:

OX = نقصان الأكسجين (ملجم/ لتر)

k' = معدل ثابت التفاعل من الدرجة الأولى (على اليوم)

k'' = معدل إعادة التهوية (على اليوم)

L = الحاجة الحيا-كيميائية للأكسجين النهائي في النقطة المعينة (ملجم/ لتر)

ومن أهم أوجه القصور في نموذج استريتر وفيلبس مايلي: {1، 2، 3، 4، 6}

- ♦ تجاهل أثر إنتاج الأكسجين بعمليات التمثيل الضوئي بوساطة الطحالب.
- ♦ عدم تضمين النموذج لفقدان الأكسجين الداخل في العمليات الحيوية للأوساخ والأحياء الموجودة بقعر المورد المائي.
- ♦ افتراض حدوث التلوث من مصدر واحد.
- ♦ عدم تضمين العوامل الأخرى المؤثرة على الأحمال العضوية بالإضافة إلى اعتبار القيمة الحيا-كيميائية الأكسجين فيه.
- ♦ افتراض وجود حالة ثبات بطول مسافة التلوث في النهر.

ورغماً عن أوجه القصور هذه إلا أن هذا النموذج يعتبر معقولاً عند الاستخدام الحذر له. وبتكامل المعادلة 6-72 وبافتراض أن قيمة نقصان الأكسجين تساوي OX_O عند بداية الزمن (t = صفر) تنتج المعادلة 6-73.

$$OX_t = \frac{k' \times L_o}{k'' - k'} \times \left(e^{-k't} - e^{-k''t}\right) + \left(OX_o \times e^{-k''t}\right) \qquad 6\text{-}73$$

حيث:

OX_t = كمية نقصان الأكسجين عند الزمن t (ملجم/ لتر)

OX_o = كمية نقصان الأكسجين المبدئية في نقطة مصب السائل النهائي عند الزمن صفر (ملجم/ لتر)
k' = ثابت معدل الأكسجة (على اليوم)
k'' = ثابت إعادة التهوية (على اليوم)
t = زمن سريان الملوث من نقطة المصب لمسافة معينة (x) أدنى النهر (يوم)

يبدأ التفسخ الحيوي للمواد العضوية مباشرة بعد صب السائل النهائي في المورد النهري مستخدماً الأكسجين المذاب. وعليه فإن إعادة التهوية من الغلاف الجوي تزيد بزيادة استخدام الأكسجين للعمليات الحيوية وتفتيت المواد العضوية المحمولة مع الأوساخ. ولا يلبث هذا الوضع أن يصل إلى نقطة يتساوى فيها معدل استهلاك الأكسجين (للتفتيت الحيوي) مع إعادة التهوية من الغلاف الجوي. وتُسمى هذه النقطة بالنقطة الحرجة أو نقطة الإتزان. ونسبة لأن معدل إعادة التهوية أكبر من معدل استهلاك الأكسجين المذاب في المناطق أدنى النهر، فيقود هذا الوضع إلى الزيادة في درجة تركيز الأكسجين وإضمحلال أثر الملوث (وربما إنعدامه) أثناء عملية التنقية الذاتية للموارد المائية. وبذا يمكن تعريف التنقية الذاتية على أنها قدرة مصدر المياه الطبيعي لتنقية نفسه بتفتيت المواد العضوية وغيرها من الملوثات {3}. وتدل النقطة التي تضمحل فيها كمية الأكسجين المذاب على أقصى معدل نقصان للأكسجين ينتج لمواكبة التفسخ الحيوي أو ما يطلق عليها بالنقطة الحرجة. ويمكن إيجاد هذه النقطة الحرجة بوضع معدل نقصان الأكسجين مساوياً للصفر في المعادلة 6-72 مما ينتج عنه قيمة نقصان الأكسجين الحرج المشار اليها في المعادلة 6-74.

$$OX_c = \frac{k' \times L_o \times e^{-k'tc}}{k''} \qquad 6\text{-}74$$

حيث:

OX_c = نقصان الأكسجين المذاب الحرج (ملجم/ لتر)
L_o = الحاجة الحيا-كيميائية للأكسجين على نقطة المصب (ملجم/ لتر)
k' = ثابت معدل التفاعل من الدرجة الأولى (على يوم)
t_c = الزمن الحرج أو الزمن المطلوب للوصول إلى المسافة الحرجة (يوم)
k'' = معدل إعادة التهوية (على اليوم)

أما الزمن الحرج فيمكن تقديره بمفاضلة المعادلة 6-73 بالنسبة للزمن t ووضعها مساوية للصفر كما مبين في المعادلة 6-75.

$$t_c = \frac{1}{k'' - k'} \times Ln\frac{k''}{k'} \times \left(1 - \frac{OX_o}{L_o} \times \frac{k'' - k'}{k'}\right) \qquad 6\text{-}75$$

حيث:

t_c = الزمن الحرج (يوم)
k'' = معامل إعادة التهوية (على اليوم)
k' = ثابت معدل التفاعل من الدرجة الأولى (على اليوم)

OX_o = كمية نقصان الأكسجين المبدئية في نقطة مصب السائل النهائي عند الزمن صفر (ملجم/ لتر)

L_o = الحاجة النهائية الحيا-كيميائية للأكسجين على نقطة التخلص (ملجم/ لتر)

ومن ثم يمكن إيجاد المسافة الحرجة كما موضح في المعادلة 6-76.

$$X_c = t_c * v \qquad (6\text{-}76)$$

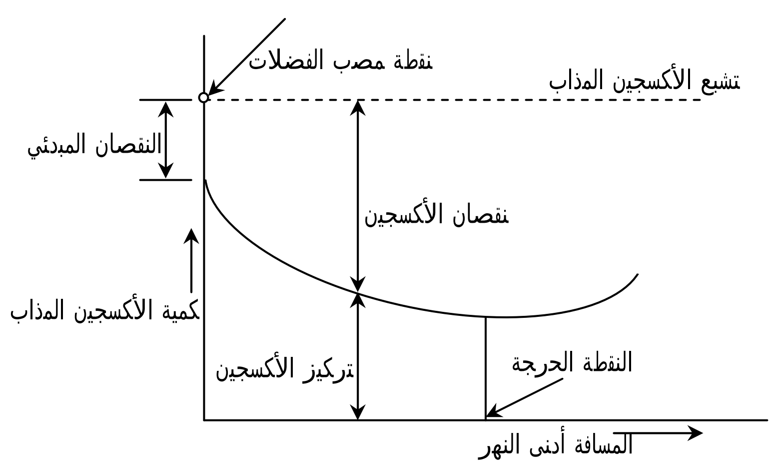
حيث:

X_c = المسافة الحرجة (م)

t_c = الزمن الحرج (يوم)

v = سرعة دفق ماء النهر (متر/ يوم)

وباستخدام هذا النموذج يمكن إيجاد التغير في نقصان الأكسجين لمسافات مختلفة أدنى النهر ورسم ما يسمى بمنحنى ترخيم الأكسجين Oxygen sag curve كما موضح مبسطاً في الشكل 6-20. ويمكن تقسيم شكل 6-20 إلى أربعة مناطق: تحوي منطقة النقصان في بداية الرسم مباشرة بعد نقطة التخلص من السائل النهائي في المورد المائي، ثم منطقة التفسخ الحيوي، ثم منطقة زيادة درجة تركيز الأكسجين، والمنطقة الأخيرة المحتوية على المياه النقية التي تمت فيها عملية التنقية الذاتية للمورد المائي بالتخلص مما تحتويه من ملوثات.



شكل 6-20 منحنى ترخيم الأكسجين

مثال 6-16

يتم التخاص من السائل النهائي الخارج من محطة معالجة فضلات سائلة في المورد المائي في المنطقة المجاورة لها. ويبين الجدول التالي الخواص والبيانات المتعلقة بكل من السائل النهائي ومياه المجرى المائي:

المنشط	السائل النهائي	مياه المجرى المائي
كمية الأكسجين المذاب (ملجم/لتر)	3	95% من درجة التشبع
معدل الدفق (م3/دقيقة)	40	160
سرعة الدفق (م/ساعة)	-	500
الحاجة الحيا كيميائية للأكسجين (ملجم/لتر)	50	8
درجة الحرارة (°م)	30	20
العمق (م)	-	2.4
معدل الأكسجة 'k (للأساس e) أو ثابت معدل التفاعل لدرجة حرارة 20° م = 0.3 على اليوم		

1- أوجد درجة حرارة خليط ماء المورد المائي والسائل النهائي أدنى نقطة المصب.

2- أوجد كمية الأكسجين المذاب لخليط ماء المورد المائي والسائل النهائي أدنى نقطة المصب.

3- أوجد الحاجة الحيا-كيميائية للأكسجين لخليط ماء المورد المائي والسائل النهائي أدنى نقطة المصب.

4- أوجد النقصان في الأكسجين المذاب الإبتدائي للمجرى المائي مباشرة بعد نقطة المصب.

5- أحسب الزمن الحرج أدنى المجرى المائي.

6- أوجد المسافة الحرجة أدنى المجرى المائي.

7- أحسب أدنى قيمة للأكسجين الذائب في المجرى المائي أدنى نقطة مصب السائل النهائي.

الحل:

1- المعطيات: البيانات والمعلومات الخاصة بالسائل النهائي والمجرى المائي.

2- أوجد درجة حرارة الخليط من السائل النهائي ومياه المجرى المائي أدنى نقطة صب السائل النهائي وذلك بأخذ كمية الدفق في الحسبان عند نقطة الموازنة كما موضح في المعادلة التالية: $T_m*Q_m= T_r*Q_r + T_w*Q_w$

حيث T_m و T_r و T_w تعني درجة الحرارة لكل من الخليط ومياه المجرى المائي والسائل النهائي على الترتيب. و Q_mو Q_r و Q_w تعني كمية الدفق للخليط والمجرى المائي والسائل النهائي على الترتيب. وعليه يمكن إيجاد T_m :

$$T_m = \frac{T_r \times Q_r + T_w \times Q_w}{Q_r + Q_w}$$

$T_m = (40\times30 + 160\times20) \div (40 + 160) = 22$ °م

3- أوجد كمية الأكسجين المذاب للخليط من المعادلة: $DO_m = [DO_r*Q_r + DO_w*Q_w]/[Q_r + Q_w]$

- أوجد درجة تركيز الأكسجين عند التشبع لدرجة حرارة الماء (20°م) من جدول ج - 2 من الملاحق بافتراض أن تركيز الكلور = صفر، C_s = 9.2 ملجم/ لتر.

- أوجد درجة تركيز الأكسجين في ماء المجرى المائي = (95 ÷ 100)×9.2 = 8.74 ملجم/ لتر.
- أوجد كمية الأكسجين المذاب في الخليط :

DO_m = [160×8.74 + 40×3] ÷ [160 + 40] = 7.592 ملجم/لتر

4- أوجد الحاجة الحيا كيميائية للأكسجين للخليط من المعادلة:

$$BOD_m = [BOD_r*Q_r + BOD_w*Q_w]/[Q_r + Q_w]$$

BOD_m = [160×8 + 40×50] ÷ [160 + 40] = L = 16.4 ملجم/لتر

5- أوجد درجة تركيز تشبع الأكسجين في المجرى المائي على درجة حرارة 22°م مباشرة أدنى المصب من جدول ج - 2 من الملاحق = 8.8 ملجم/ لتر. أوجد نقصان الأكسجين مباشرة أدنى المجرى المائي من المعادلة:

OX_o = درجة تركيز تشبع الأكسجين - درجة تركيز الأكسجين للخليط

OX_o = 9.2 – 8.8 0.4 ملجم/ لتر.

6- أوجد الزمن الحرج باستخدام المعادلة: $t_c = \frac{1}{k'' - k'} \times \text{Ln}\frac{k''}{k'} \times \left(1 - \frac{OX_o}{L_o} \times \frac{k'' - k'}{k'}\right)$

أ) أوجد ثابت معدل التفاعل لدرجة حرارة 22° م من المعادلة: $(k')_T = (k')_{20}*(T_C)^{T-20}$

$(k')_{22}$ = 0.3×(1.024) $^{22-20}$ = 0.31 على اليوم

ب) أوجد ثابت الانتشار الجزيئي للأكسجين لدرجة حرارة 22°م من المعادلة:

$$(C_{MD})_T = (C_{MD})_{20}*(T_C)^{T-20}$$

$(C_{MD})_{22}$ = 1.76×10^{-4}×(1.037)$^{22-20}$ = 1.893×10^{-4} م^2/يوم

وبذا يمكن إيجاد ثابت إعادة التهوية من المعادلة: $k'' = 294*(C_{MD}*v)^{0.5} / h^{1.5}$

k" = 294×(1.893×10^{-4}×500 ÷ 3600))$^{0.5}$ ÷ 2.4 $^{1.5}$ = 0.41 على اليوم

ج) أوجد الحاجة الحيا كيميائية للأكسجين النهائي لمدة خمسة أيام على درجة حرارة 22° م من المعادلة:

$$L_o = L/(1 - e^{-k't})$$

وبما أن: L = 16.4 ملجم/لتر، k' = 0.31 على اليوم لدرجة حرارة 22° م فيمكن إيجاد L_o ليساوي

L_o = 16.4 ÷ (1- e$^{-5×0.31}$) = 20.82 ملجم/لتر

وبذا يمكن إيجاد الزمن الحرج من المعادلة: $t_c = \frac{1}{k'' - k'} \times \text{Ln}\frac{k''}{k'} \times \left(1 - \frac{OX_o}{L_o} \times \frac{k'' - k'}{k'}\right)$

t_c = 1 ÷ (0.31 – 0.41)× لن[(0.31 ÷ 0.41)×{1 – [(20.82 ÷ 0.4)×(0.31 – 0.41) ÷ 0.31]}]

= 2.73 يوم.

7- أوجد المسافة الحرجة من المعادلة: $X_c = t_c*v$

X_c = 2.73 خ 500 × 24 = 32.8 كيلومتر

8- أوجد أقل كمية أكسجين في النهر أدنى مصب السائل النهائي من المعادلة:

$$OX_t = \frac{k' \times L_o}{k'' - k'} \times \left(e^{-k't} - e^{-k''t}\right) + \left(OX_o \times e^{-k''t}\right)$$

$$OX_t = [(0.31 - 0.41) \div 0.31] \times 7.92\,(e^{-0.32\times 2.73} - e^{-0.41\times 2.73}) + 0.4\times e^{-0.41\times 2.73}$$

= 6.75 ملجم/لتر

وعليه يمكن إيجاد أقل تركيز أكسجين: أقل تركيز أكسجين = 8.8 - 6.75 = 2.05 ملجم/ لتر.

تركيز الملوث في البحيرات بعد التخلص من السائل النهائي

يمكن في بعض الأحوال التخلص من السائل النهائي في البرك والبحيرات وخزانات المياه السطحية البرية خاصة عند غياب الأنهار والروافد. وهنالك عدة نظريات لتقويم درجة التلوث الحادث من مثل هذا الاستخدام. ومن ضمن هذه النماذج أنموذج البحيرة ذات الخلط الكامل. ويفترض في هذا الأنموذج مايلي {2، 6}:

- وجود خلط كامل لمياه البحيرة ربما بفعل الرياح.
- معدل دفق منتظم.
- يتبع تفسخ الملوث تفاعل من الدرجة الأولى.

ويبين شكل 6-21 رسم تخطيطي لنظام بحيرة ذات خلط كامل يصب فيها نهر معين وتستقبل فضلات سائلة من محطة معالجة. ويمكن تقدير درجة تركيز أى ملوث في البحيرة باستخدام نظرية توازن الكتلة، والتي يمكن من خلالها تكوين المعادلة 6-77.

$$C = W \times \frac{1-e^{-\beta t}}{\beta \times V} + C_o \times e^{-\beta t} \qquad 6\text{-}77$$

حيث:

C = درجة تركيز الملوث في البحيرة وفي الماء الخارج منها (كجم/م^3)

W = التحميل للخليط كما مبين في المعادلة 6-78

β = قيمة تعتمد على زمن المكث بالبحيرة وثابت التفاعل كما مبينة في المعادلة 6-79

V = حجم البحيرة

C_o = درجة تركيز الملوث في البحيرة عند الزمن t = صفر (كجم/م^3)

t = الزمن

$$W = Q_r * C_r + Q_w * C_w \qquad 6\text{-}78$$

حيث:

W = تحميل الخليط

Q_r = دفق النهر الذي يصب في البحيرة (م^3/ث)

C_r = درجة تركيز الملوث في النهر (كجم/م^3)

Q_w = دفق الفضلات السائلة إلى البحيرة (م^3/ث)

C_w = درجة تركيز الملوث في الفضلات السائلة (كجم/م^3)

$$\beta = (1/t) + k' \qquad 6\text{-}79$$

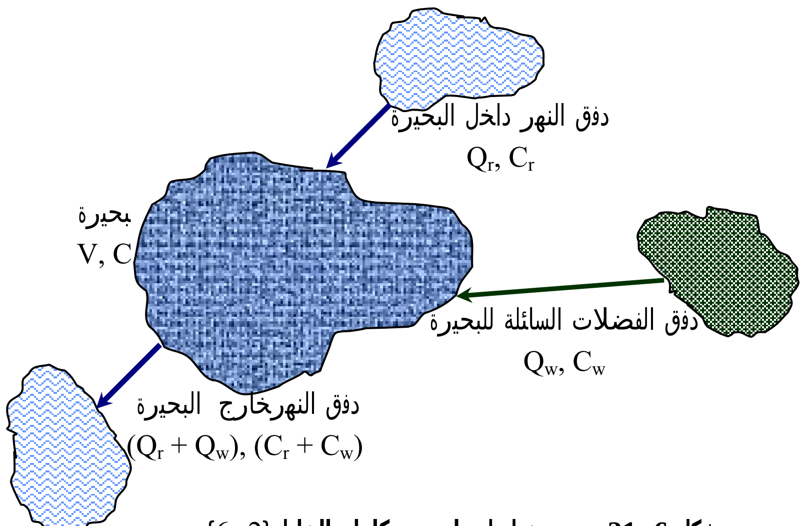
حيث:

t = الزمن
k = ثابت تفاعل الدرجة الأولى للأساس e (/يوم)

أما درجة تركيز الملوث عند حالة الإتزان فيمكن إيجادها من المعادلة 6-77 بعد جعل قيمة الزمن تتناهى إلى ما لانهاية كما موضح في المعادلة 6-80.

$$C_e = W/(\beta * V) \qquad 6\text{-}80$$

حيث:
C_e = درجة تركيز الملوث عند الإتزان داخل البحيرة (كجم/م^3)



شكل 6-21 رسم تخطيطي لبحيرة كاملة الخلط {2، 6}

مثال 6-17

تم التخلص من فضلات سائلة معالجة في البحيرة المجاورة بمعدل صرف يصل إلى 2.5 م^3/دقيقة وتحمل مادة مشعة درجة تركيزها 3 ملجم/لتر. أوجد درجة تركيز المادة المشعة عند الإتزان داخل البحيرة التي يبلغ حجمها 4000 م^3 علماً بأن نصف العمر للمادة المشعة يساوي يوماً.

الحل:

1- المعطيات: Q_W = 2.5 ÷60 0.042 م^3/ث، C_W = 3 ملجم/لتر، $t_{1/2}$ = 1 يوم، V = 4000 م^3.

2- أوجد القيمة W من المعادلة: $W = Q_r * C_r + Q_W * C_W$

W = 0×0 + 0.042×3 = 0.125 جم/ث = 10800 جم/يوم

3- أوجد زمن المكث بالبحيرة من المعادلة: $t = V/(Q_r + Q_W)$

t = 4000 ÷ (0 + 0.042×60×24) = 1.11 يوم

4- أوجد ثابت تفاعل الدرجة الأولى من المعادلة: $L_t = L_o * e^{-kt}$

وعند الزمن 1 يوم فإن: $L_t = L_o \div 2$، وعليه: $L_o \div 2 = L_o \times e^{-1*k}$

k = 0.693 يوم

5- أوجد قيمة β من المعادلة: $\beta = (1/t) + k'$ =

β = (1 ÷ 1.11) + 0.693 = 1.593 /يوم

6- أوجد درجة تركيز الملوث عند الإتزان داخل البحيرة من المعادلة: $C_e = W/(\beta*V)$

= 10800 ÷ (1.593 × 4000) = 1.7 ملجم/لتر.

6-11 تمارين عامة

6-11-1 تمارين نظرية

1. ما المقصود من الفضلات والمخلفات السائلة؟
2. عدد المشاكل التي قد تنجم من الفضلات السائلة وتؤثر على الإنسان وبيئته المحيطة.
3. ما المصادر الرئيسة للفضلات والمخلفات السائلة؟
4. ما رأي الدين في طريقة التعامل المباشر مع الفضلات السائلة
5. كيف يمكن استخدام المعادلة التالية لتقدير كمية الفضلات السائلة: $DWF = P*Q + I_r + T_w + EV$
6. ما فائدة معيار المكافئ السكاني؟
7. أذكر أهم خمسة أهداف لمعالجة الفضلات السائلة.
8. عرف كل مما يلي:حوض أمهوف، الحمأة النشطة، الإمتزاز، العمليات الموحدة، المعاجات الموحدة.
9. ما أهم الفروق بين طرق المعالجة الطبيعية وطرق المعالجة الحيوية؟
10. لماذا تتم إزالة الرواسب غير العضوية في بداية مرحلة المعالجة؟
11. ما العوامل المؤثرة في جهاز إزالة الرواسب غير العضوية؟
12. لماذا يجب تحديد مقاس أصغر حبيبة يمكن إزالتها بوحدة إزالة الرواسب غير العضوية؟
13. ما العوامل المؤثرة على معامل الجذب؟
14. ما أهم معايير الواجب التفكير فيها عند تصميم أجهزة الرواسب غير العضوية؟
15. بين كيف تختلف المعالجة الثانوية عن المعالجة الإبتدائية؟
16. ما أهم أهداف المعالجة الثانوية؟
17. عرف كل مما يلي: بكتريا هوائية، بكتريا الأحماض، وبكتريا الميثان.
18. ما الفرق بين النمو العالق والنمو المرتبط في وحدات المعالجة الثانوية؟ أعط أمثلة لأجهزة تستخدم كل من هذه النظم.
19. كيف يعمل جهاز الحمأة النشطة؟ وما أهم العوامل المؤثرة على كفاءة عمله؟
20. ما فائدة استخدام وحدة الحمأة النشطة؟
21. كيف يمكن إضافة الأكسجين للحمأة النشطة؟
22. ما أهم الأحياء المجهرية التي تزدهر في الحمأة النشطة؟

23. ما الأثر المتوقع عند زيادة زمن المكث في حوض التهوية؟
24. كيف يمكن استخدام معادلة مونود لإيجاد معدل نمو الأحياء المجهرية داخل حوض الحمأة النشطة؟
25. أذكر أهم أربعة عوامل تؤثر على الحمأة النشطة.
26. فيم يستخدم معامل حجم الحمأة؟ وماذا تعني قيمه القليلة جداً؟
27. ما معنى أن الحمأة خفيفة؟ وما المشاكل المتمثلة من وجود الحمأة الخفيفة في حوض التهوية في محطات معالجة الفضلات السائلة؟
28. كيف يمكن التحكم في الحمأة الخفيفة؟
29. ما العوامل المؤثرة على معدل تحميل الحمأة؟
30. ماذا يحدث عند تشغيل حوض التهوية على معدل تحميل عالي؟
31. ما العوامل التي تقيد عمل وحدة الحمأة النشطة وكيف يمكن تفاديها؟
32. متى يمكن استخدام النمو المرتبط في وحدات المعالجة؟
33. عرف الآتي: مرشح النضيض، الإنسلاخ، طبقة وحل.
34. وضح مستعيناً بالرسومات المناسبة طريقة عمل مرشح النضيض.
35. لماذا يعاد جزء من السائل المعالج الخارج من مرشح النضيض إليه؟
36. ما الفرق بين مرشح النضيض ذي المعدل المنخفض ومرشح النضيض ذي المعدل العالي؟ وأي منهما يفضل لمحطة معالجة ريفية؟
37. كيف يمكن استخدام المعادلة التالية لإيجاد كفاءة مرشح النضيض: $L_e=[(L_i+r*L_e)e^{-kh}]/(l+r)$ ؟
38. ما أهم الإفتراضات المتخذة في صيغة مجلس الأبحاث القومي الأمريكي لتقدير كفاءة مرشح النضيض؟
39. لماذا توجد عدة صيغ ومعادلات لتقدير كفاءة مرشح النضيض؟
40. ما فائدة الترسيب الثانوي التالي لمرشح النضيض؟
41. ما الفرق بين التحميل العضوي والتحميل الهايدروليكي؟
42. ما أهم مزايا مرشيح النضيض وعيوبه مقارنة بالحمأة النشطة؟
43. أي من هذه الطرق تفضل لمعالجة الفضلات السائلة بالمناطق الريفية؟ ولماذا؟
    الحمأة النشطة.
    مرشح النضيض.
    الأقراص الدوارة الحيوية.
    بركة الموازنة.
44. ما أهم الفروقات بين بركة موازنة الأوساخ الهوائية وبركة النضوج؟
45. عرف الآتي: بركة اختيارية، العلاقة التكافلية بين البكتريا والطحالب، ثابت معدل إزالة البركة.
46. أيهما أفضل: توصيل البرك على التوالي أم توصيلها على التوازي؟ ولماذا؟
47. أذكر أهم مثالب ومناقب برك موازنة الأوساخ.
48. كيف يمكن تقويم أداء بركة موازنة الأوساخ من لونها؟

49. ما الفرق بين الهضم الهوائي والهضم اللاهوائي؟وفيم يتم استخدام كل منهما؟
50. عرف ما يأتي: بكتريا الأحماض، الحمأة الجيدة الهضم، التعويز، غاز المستنقعات.
51. لماذا يعمل على تقليل الماء من الحمأة والأوساخ؟
52. تحدث بإيجاز عن كل مما يأتي:
   أ) استخدام مفرش التجفيف في البلدان الباردة الرطبة.
   ب) استخدام مرشح ضغط المكبس.
   ج) التفريغ الهوائي لإزالة الماء من الحمأة ذات المصدر الصناعي.
   د) اختيار مقياس معامل المقاومة النوعية بقمع بكنر.
   ه) قياس الزمن الشعري للحمأة المهضومة.
   و) استخدام الطارد المركزي لإزالة الماء من المواد النشوية.
53. ما فائدة معادلتي سقما وبيتا؟ وكيف تُستعملان لتحديث وحدة الطرد المركزي بمحطة المعالجة؟
54. أذكر أهم الطرق المستخدمة للتخلص من السائل النهائي المعالج بمنطقتك.وما أوجه القصور في هذه الطرق؟ وكيف يمكن ترفيعها؟
55. عرف الآتي: قانون التخفيف، التنقية الذاتية، النقطة الحرجة.
56. أكتب باختصار عن كل من الآتي:
   أ) نموذج استريتر وفيلبس لأكسجة النهر.
   ب) التنقية الذاتية من الفضلات العضوية وغير العضوية في المصادر المائية.
   ج) دور الطحالب في عملية أكسجة الأنهار.

6-11-2 تمارين عملية

1) ما مقدار معدل إنسياب موسم الجفاف على حسب البيانات المبينة في الجدول التالي:

المنشط	القيمة/
المتوسط اليومي لإتهلاك المياه متوسط التسرب اليومي الداخل لماسورة التصريف عدد السكان داخل شبكة المجاري الطول الكلي للمجرور	274 لتر/الفرد/اليوم 40 متراً مكعباً لكل كيلومتر طولي للماسورة 5000 فرداً 10 كلم
(الإجابة 1775 م$_3$/يوم)	

2) أوجد معيار المكافئ السكاني لمصنع ينتج فضلات سائلة يومية بمعدل دفق 6200 متراً مكعباً علماً بأن درجة تركيز الأكسجين الحيا-كيميائي لمدة خمسة أيام بهذه الفضلات تساوي 355ملجم/لتر.(الإجابة 36683).

3) يتكون جهاز إزالة رواسب غير عضوية من أربعة أحواض ارتفاع كلٍ منها 0,6 متراً تستقبل معدل دفق فضلات سائل يعادل 0,75 متراً مكعباً في الثانية.

أ) أوجد طول حوض إزالة الرواسب غير العضوية وعرضه.

ب) أوجد العنق العمودي المطلوب للتحكم في سرعة الدفق.(الإجابة 10,8م، 1,54م 1,03م).

4) وحدة إزالة المترسبات غير العضوية تتخلص من جسيمات قطرها 0,2 ملم وكثافتها النوعية2,3.

أ) أوجد سرعة ترسيب الحبيبات في الحوض.

ب) ما مقدار سرعة جرف الحبيبات علماً بأن a = 0,2، b = 0,05، C_D =10. (الإجابة 18،226ملم/ث).

5)تتدفق فضلات سائلة مترسبة بمعدل 1,5متراً مكعباً في الدقيقة إلى وحدة حمأة نشطة بها حوضي تهوية أبعاد كلٍ منهما: 6×4×3 متراً للارتفاع والعرض والطول على الترتيب. تركيز المواد الصلبة العالقة في السائل المختلط 2400 ملجم/لتر والحاجة الحيا-كيميائية للأكسجين للحمأة المترسبة 160 ملجم/لتر.

أ) أوجد زمن المكث بالحوض.

ب) أوجد معدل التحميل الحجمي للمواد العضوية.

ج) ما مقدار معدل تحميل الحمأة. (الإجابة:1,6 ساعة، 2,4 كجم/م^3/يوم، 1/يوم).

6) أوجد زمن المكث بحوض حمأة نشطة على حسب البيانات المدرجة في الجدول التالي:

المنشط	القيمة
حجم الحوض	50 لتر/الفرد
تركيز المواد الصلبة العالقة في السائل المختلط	2600 ملجم/لتر
دفق الحمأة الخارج	0,03 كجم/فرد/يوم

(الإجابة 4,3 يوم)

7) تضم محطة معالجة فضلات سائلة وحدة حمأة نشطة مستمرة ذات إعادة نمو. أوجد حد النمو لتركيز في محاول الحمأة النشطة على حسب البيانات التالية:

نسبة إعادة النمو للجهاز = 2

ثابت منتصف السرعة = 1,1 ملجم/لتر

أقصى معدل لنمو الأحياء المجهرية = 1,3 على اليوم

معدل التخفيف = 60% (الإجابة 0,33 ملجم/لتر).

8) تركيز المواد الصلبة العالقة في السائل المختلط بحوض تهوية مدرجة 2500 ملجم/لتر. عند أخذ عينة من هذه المياه لتحديد معامل حجم الحمأة وجد أن الحمأة المترسبة بعد نصف ساعة في أسطوانة مدرجة حجمها لتر يساوي 365 مللتر.

أ) أوجد معامل حجم الحمأة لهذه العينة.

ب) أوجد معامل كثافة الحمأة. (الإجابة: 146 مللتر/جم، 0,69 جم/مللتر).

9) أُستخدم في محطة معالجة فضلات سائلة مرشح نضيض ذو مرحلتين له المواصفات التالية:

الحيا-كيميائية للأكسجين لمدة 5 أيام = 325 ملجم/لتر.

إعادة الدوران للمرحلة الأولى = 200 بالمائة من الدفق.

معدل دفق الفضلات السائلة = 2,5 م^3/دقيقة.

الحاجة إعادة الدوران للمرحلة الثانية = 150 بالمائة من الدفق.

حجم المرحلة الأولى = حجم المرحلة الثانية = 650 متراً مكعباً.

ارتفاع المرشح =1,6 متر. مستخدماً معادلة مجلس الأبحاث القومي أوجد:

i. كفاءة المرشح لتخفيف الحاجة الحيا-كيميائية للأكسجين.

ii. الحاجة الحيا-كيميائية للأكسجين للتصريف الخارج من المرشح.

iii. أوجد كفاءة المرشح لتخزين الحاجة الحيا-كيميائية للأكسجين إذا كان المرشح يعمل على درجة حرارة 23 °م. (الإجابة:56%، 41 ملجم/لتر، 62%).

10) يبلغ معدل دفق الفضلات السائلة لمحطة معالجة 90 متراً مكعباً في الساعة، ومتوسط الحاجة الحيا-كيميائية للأكسجين 175 ملجم/لتر . تحوي محطة المعالجة مرشح نضيض وحيد المرحلة ذا معدل مرتفع ارتفاعه 2,1 متر. وتحميل الحاجة الحيا-كيميائية للأكسجين 30 و70 بالمائة لجهازي الترسيب الإبتدائي ومرشح النضيض على الترتيب أوجد:

أ) حجم وقطر مرشح النضيض بإستخدام صيغة مجلس الأبحاث القني.

ب) التحميل الهيدروليكي للمرشح.

ج) التحميل العضوي للمرشح.

(الإجابة: 455 م^3، 17م، 10م^3/م^2/يوم، 0,83 كجمBOD /يوم/م^3).

11) محطة معالجة تستقبل فضلات سائلة منزلية بها حوض ترسيب إبتدائي ومرشح نضيض. أشارت سجلات المحطة الى البيانات التالية:

عدد الأفراد الذين تخدمهم المحطة = 5100 فرد

كفاءة حوض الترسيب الإبتدائي = 35%

معدل الدفق اليومي للفضلات السائلة = 300 لتر/الفرد في المتوسط

قيمة الحاجة الحيا-كيميائية للأكسجين في 5أيام = 150 ملجم/لتر

كفاءة مرشح النضيض = 60%

نسبة إعادة الدوران = 4 إلى 1

ارتفاع المرشح 1,7 متر

أ) أوجد قطر مرشح النضيض مستخدماً معادلة مجلس الأبحاث القومي.

ب) أوجد كفاءة المحطة الكلية. (الإجابة: 4,4م، 74%).

12) قطر مرشح نضيض 14 متراً وارتفاعه 2,4 متر. أستخدم المرشح لمعالجة تصريف فضلات سائلة لها معدل دفق 3000 م^3/يوم، وحاجة الحيا-كيميائية للأكسجين تساوي (س) ملجم/لتر.علماً بأن الدفق المعاد دورانه للمرشح يعادل 4 م^3/الدقيقة، أوجد قيمة (س) التي تنتج تصريف خارج ذى حاجة الحيا-كيميائية للأكسجين تساوي 40 ملجم/لتر مستخدماً صيغة مجلس الأبحاث القومي. (الإجابة:156 ملجم/لتر).

13) تم استخدام بركة تهوية (ذات مزج كلي)للمعالجة الأولية لفضلات سائلة. زمن المكث داخل البركة 14 يوم وثابت معدل الإزالة للبركة 0,4/اليوم لدرجة حرارة 20° م ثابت تصيص درجة الحرارة 1,035.

أ) أوجد التخفيض في الحيا-كيميائية لأكسجين لدرجة حرارة 25° م.(الإجابة 13%).

ب)أوجد زمن المكث المطلوب للحصول على نفس درجة المعالجة للفضلات السائلة باعتبار أن درجة الحرارة 10 °م.(الإجابة 24 يوم).

14) أوجد مساحة بركة موازنة أوساخ استخدمت لمعالجة فضلات سائلة طبقاً للبيانات المبينة في الجدول التالي:

المنشط	القيمة
الحاجة الحيا-كيميائية لأكسجين في اليوم الخامس للأوساخ الداخلة البركة	185 ملجم/لتر
معدل دفق الفضلات السائلة للبركة	85 متر مكعب في الساعة
أقل درجة حرارة	12 °م
ثابت معل الإزالة للبركة	0,3/يوم لدرجة حرارة 20 °م
ثابت تصحيح درجة الحرارة	1,035
الحاجة الحيا-كيميائية لأكسجين الخارج من البركة	50 ملجم/لتر
عمق البركة	1,4متر

(الإجابة 17267م3).

15) صمم بركة موازنة اختيارية لمعالجة فضلات سائلة طبقاً للبيانات المدرجة في الجدول أدناه:

المنشط	القيمة
معدل دفق الفضلات السائلة	160 لتر/الفرد/يوم
عدد السكان في المنطقة الخدمية	6000
الحاجة الحيا-كيميائية للأكسجين الداخل لمدة 5أيام	54 جرام/الفرد/يوم
ثابت معدل الإزالة للبركة لدرجة حرارة 20م	0,5/يوم
الحاجة الحيا-كيميائية للأكسجين الخارج	60 ملجم/لتر
درجة حرارة البركة في فصل الشتاء	15م

(الإجابة 10547م3).

16) تستقبل بركة اختيارية حمأة مترسبة بمتوسط دفق يومي يبلغ 9,5 متر مكعب. وتقوم البركة بتقليل أعداد البكتريا بنسبة 99% بمعدل موت لها يساوي 0,6 على اليوم.

أ) أوجد زمن المكث للبركة.

ب) حجم البركة. (الإجابة 165 يوم،1568م3).

17) بركة أكسدة عمقها 1,1 متراً وحمأة تتدفق إليها بمعدل 200 لتر/الفرد/اليوم، ولها حاجة الحيا-كيميائية للأكسجين لمدة 5 أيام تعادل 54 جرم/الفرد/يوم. معدل تحميل البركة 42 كجم/هكتار/اليوم، ونسبة إزالة الحاجة الحيا-كيميائية للأكسجين 84%. بإفترض أن درجة الحرارة تساوي 14 °م:

أ) أوجد ثابت معدل الإزالة للبركة على درجة حرارة 20م.

ب) أوجد الحاجة الحيا-كيميائية للأكسجين في التصريف الخارج.

ج) أوجد زمن المكث بالبركة. (الإجابة 0,98/يوم، 41 ملجم/لتر،7يوم).

18) تستقبل بركة موازنة فضلات سائلة لها حاجة الحيا-كيميائية للأكسجين الذائب لمدة 5 أيام 120 ملجم/لتر بمعدل 100 متر مكعب في الساعة. مساحة سطح البركة 10 هكتار وعمقها 1,2 متر ولها معامل معدل تفاعل 0,4 على اليوم. بافتراض ظروف مزج كامل في البركة، أوجد تركيز الحاجة الحيا-كيميائية للأكسجين في التصريف الخارج من البركة. (الإجابة 40 ملجم/لتر).

19) استخدم قمع بكنر لعينة من الحمأة المهضومة لقياس معامل المقاومة النوعية ويتم الحصول على البيانات التالية:

الزمن(الدقيقة)	5	7	10	15	20	25	30
حجم الراشح المجمع(مللتر)	8,9	12,3	17,2	25,1	32,5	39,6	46,5

علماً بأن التفريغ الهوائي المستخدم 65 كيلو باسكال، ودرجة لزوجة الراشح 0,9×10-3 نيوتن×ث/م2، وتركيز المواد الصلبة 4%، وقطر مساحة ورقة ترشيح واتمان رقم 1 تعادل 7سم. أوجد معامل المقاومة النوعية للأوساخ. كيف تقوم عملية نزح الماء بالترشيح من هذه الحمأة؟ (الإجابة 2×10م/كجم).

20) أوجد معامل الإنضغاطية للنتائج المبينة في الجدول التالي لتغير معامل المقاومة النوعية لعينة مهضومة مع الضغط:

الضغط (كيلو باسكال)	معامل المقاومة النوعية(م/كجم)
290	5×10^{14}
580	10×10^{14}
1170	20×10^{14}
1758	30×10^{14}
2344	40×10^{14}

(الإجابة 0,99).

21) أُستخدمت طريقة الطرد المركزي لإزالة الماء من الحمأة مهضومة تحوي 4% مواد صلبة. وتنساب الفضلات السائلة المهضومة للطارد بمعدل دفق يومي 20متر مكعب. ونسبة للزيادة في كمية الأوساخ المحتاجة لإزالة الماء منها كان لابد من تحديث الطارد بآخر أكبر سعة ويماثله هندسياً. أوجد معدل دفق الذي ينبغي أن يعمل عليه الطارد الثاني ليطابق عمل الأول باستخدام البيانات المبينة في الجدول التالي:

المنشط	الطارد الأصلي	الطارد الجديد المقترح
طول الإناء(سم)	25	48
قطر الإناء(سم)	15	35
سرعة الإناء(دورة في الدقيقة)	5000	4500
إرتفاع الأوساخ في السلطانية(سم)	2,5	4,5
الخطوات الحلزونية(سم)	5	10
عدد الخطوات	1	1
سرعة السير(دورة في الدقيقة)	4950	4450

(الإجابة تحميل المواد الصلبة 168م3/يوم).

22) يتدفق سائل نهائي معالج الى المورد المائي المجاول بمعدل دفق 5م3/ث وقيم الحاجة الحيا-كيميائية له 60ملجم/لتر. معدل إنسياب الماء المورد المائي 20م3/الثانية ويخلو من التلوث العضوي. أوجد قيمة تركيز الملوث في الخليط أدنى نقطة المنصب (الإجابة 12ملجم/لتر).

23) يستقبل مورد سائل نهائي معالج. ويبين الجدول التالي مواصفات السائل النهائي ومياه المجرى المائي:

المنشط	السائل النهائي	مياه المجرى المائي
معدل الدفق(م^3/ث)	0,4	2,1
سرعة الدفق(م/دقيقة)		7
درجة الحرارة °م	40	20
العمق (متر)		1,5
كمية الأكسجين المذاب	2 (ملجم/لتر)	متشبعة
الحاجة الحيا كيميائية للأكسجين(ملجم/لتر)	30	
معدل الأكسجة (للأساس e) لدرجة حرارة 20°م =0,4 (على اليوم).		

1. مامقدار درجة حرارة خليط ماء المورد المائي والسائل النهائي أدنى نقطة المصب.
2. أحسب كمية الأكسجين المذاب للخليط أدنى نقطة المصب.
3. أوجد الحاجة الحيا-كيميائية للأكسجين للخليط أدنى نقطة المنصب.
4. أوجد النقصان في الأكسجين المذاب الإبتدائي للموارد مباشرة بعد نقطة المنصب.
5. أحسب الزمن الحرج أدنى المورد المائي.

6. قدر المسافة الحرجة أدنى المورد المائي.
7. أحسب أدنى قيمة للأكسجين الذائب في المورد المائي أدنى مصب السائل النهائي.
(الإجابة 23,2م، 4,8ملجم/لتر، 0,5ملجم/لتر، 1,49يوم، 15كلم، 7,1ملجم/لتر).

24) تستقبل بركة حجمها 3250م3 فضلات سائلة معالجة بها مادة مشعة درجة تركيزها 1,8 ملجم/لتر بمعدل دفق 100م3/ساعة. نصف العمر المادة المشعة 30ساعة. أوجد درجة تركيز المادة المشعة عند الإتزان داخل البركة. (الإجابة 0,7ملجم/لتر).

12-6 المراجع والمصادر

1. عصام محمد عبد الماجد"الهندسة البيئية"، دار المستقبل للطباعة والنشر، عمان، الأردن، 1995.
2. Metcalf and Eddy Inc.,Wastewater engineering:treatment disposal reuse. 3rd Ed., McGraw-Hill Inc., New York. 1991.
3. Rowe, D.R. and Abdel-Magid,I.M,Handbook of Wastewater Reclamation and Reuse, CRC Press/Lewis Publishers, Boca.
4. بشير محمد الحسن وعصام محمد عبد الماجد "الصناعة والبيئة:معالجة المخلفات الصناعية"، معهد الدراسات البيئية، جامعة الخرطوم، الخرطوم، السودان، 1986.
5. Mara, D., Sewage Treatment in Hot Climates, Wiley and Sons, Chichester 1980
6. Abdel-Magid, I.M., A., Rowe, D.R., Modelling Methods for Environmental Engineers, CRC Press/Lewis Publishers, Boca Raton, FL, 1996 (Under publication).
7. Tebbutt, T.H.Y., Principles of Water Quality Control, Pergamon Press, Oxford, New York, 1992
8. السيد سابق، "فقه السنة"، الفتح للإعلام العربي، القاهرة، الطبقة الخامسة الشرعية، مجلد 1-3، 1992.
9. Abdel-Magid, I.M., Selected Problems in Wastewater Engineering, Khartoum University Press, Nationnal Research Council, Khartoum 1986.
10. Wilson, F., Design Calculations in Wastewater Treatment, E&FN Spon. Ltd., London 1981.
11. Viessman, W. and Hammer, M.J., Water Supply and Pollution Control, Collins College Publishers, 5th Edi., New York, 1993.
12. Peavy, H.S.; Rowe, D.R. and Tchobanoglous, G., Environmental Engineering, Mc Graw-Hill Book Co., New York, 1985.
13. Scott, J.S. and Smith, P.G., Dictionary of Waste and Water Treatmetn, Butterworths, London, 1981.
14. Mc Ghee, T.J., and Steel, E.W. Water Supply and Sewerage, 6th Ed., Mc Graw-Hill,New York 1991.
15. Vesilind, P.A. and Peirce, J.J., Environmental Pollution and Control, 2nd Ed., Butterworth-Heinemann, London, 1990
16. Berger, B.B., Edi., ontrol of Organic Substances in Water and Wastewater, Noyes Data Co., New Jersey, 1987
17. Nathanson, J.A., Basic Environmental Technology: Water Supply, Waste Disposal and Pollution Control, John Wiley and Sons, New York, 1986.

18. Ganczarczyk, J.J., Activated Sludge Process: Theory and Practices, Pollution Engineering and Technology/23, Marcel Dekker. Inc., New York, 1983.
19. Barnes, D.; Bliss, P.J.; Gould, B.W. and Vallentine, H.R. ”Water and wastewater engineering systems”, Pitman International, Bath 1981.
20. Hammer, M.J., Water and Wastewater Technology, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1986.
21. O’Conner, D. and Dobbins, W., The Mechanism of Reaeration in Natural Streams, J. Sanitary Engineering Division, ASCE, SA6, 1956.
22. Vernick, A.S. and Walker, E.C., Handbook of Wastewater treatment Processes, Pollution Engineering and Technology, 19, Marcel Dekker, New York, 1981.
23. Cairncross, S., and Feachem, R., Environmental Health Engineering in the Tropics: An Introductory Text, 2nd Edi., John Wiley and Sons, Chichester, 1993.
24. National Demonstration Water Project, Institute for Rural Water National Environmental Health Association, Water for the World Series, Agency for International Development, Washington, D.C.:
    a. Designing stabilization ponds, Technical Note No. SAN.2.D.5.
    b. Designing a system of two or three stabilization ponds, Technical Note No. SAN.2.D.6.
    c. Designing mechanically aerated lagoons, Technical Note No. SAN.2.D.7.
    d. Constructing mechanically aerated lagoons, Technical Note No. SAN.2.D.7.
    e. Constructing stabilization ponds, Technical Note No. SAN.2.D.5.
    f. Operating and maintaining stabilization ponds, Technical Note No. SAN.2.D.5.
    g. Operating and maintaining mechanically aerated lagoons, Technical Note No. SAN.2.D.7.
25. Gunnerson, C.G., and Stuckey, D.C., Anaerobic Digestion Principles and Practice for Biogas Systems, World Bank, Technical Paper Number 49, World Bank, Washington, D.C., U.S.A., 1986.
26. Water Pollution Control Federation, Sludge Dewatering, Manual of Practice No.20, Washington, 1969.
27. Coackley, P.The Dewatering Treatment, Ph.D.thesis, London University, 1953.
28. Coackley, P.Development in our knowledge of sludge dewatering behavior, 8th Pub.Health Engng.Conf.held in the Dept.of Civil Engng., Loughborough Univ.of Techno., 1975,5.
29. Carman, P.C., Fundamental Principles of Industrial Filtration, Transactions of the Institution og Chemical Engineers, 1938, Vol.16, 168-188.
30. Fair, G.M., Moore, E.W., and Thomas, H.A., The Natural Purification of River Muds and Pollutional Sediments, J.Sewage Works, 13:270, 1941.

الفصل السابع

معاجة الفضلات والمخلفات السائلة في المناطق الريفية

7-1 مقدمة

توجد عدة طرق تستخدم في الريف والبوادي منذ حقب طويلة من الزمان للتخاص من الفضلات والمخلفات السائلة. ومن هذه الطرق نظام الجردل، ونظام المرحاض (ومنه: مرحاض الحفرة، ومرحاض الحفرة العميقة، ومرحاض الخندق، ومرحاض السماد، والمرحاض الكيميائي، ومرحاض الحفرة المحسن المهواة، والمرحاض المائي، والمرحاض المعلق، ومرحاض ريد)، وحوض التحليل اللاهوائي، وحوض امهوف، وشبكة الصرف الصحي المتصلة بمحطة معالجة، وغيرها من الأساليب المستحسنة أوالبائدة. وتصعب المفاضلة بين هذه الطرق لتداخل العوامل المؤثرة في ذلك مثل: النواحي الاقتصادية، والاجتماعية، والدينية، والعقائدية، والثقافية، والصحية، والتقنية، والسياسية والمعتقدات السائدة بالمنطقة. ويبين جدول 7-1 مفاضلة بين بعض نظم التخاص من الفضلات والمخلفات السائلة. ولابد من أخذ الحيطة والحذر عند التعامل مع الفضلات والمخلفات السائلة والحمأة لاحتمال إحتوائها على أحياء مجهرية ضارة (أنظر جدول 7-2).

جدول 7-1 مقارنة بين بعض وحدات المعالجة {1، 2، 3}

النظام	النواحي الصحية	تكاليف الإنشاء	تكاليف الصيانة	مصدر الماء	سهولة الإنشاء والتشييد
الجردل	سيئة	منخفضة	عالية	بعيد	سهلة
مرحاض الحفرة	متوسطة	منخفضة	منخفضة	بعيد	سهلة عدا في الأرض الطينية الرطبة أو في التربة الصخرية
مرحاض محسن	متوسطة	متوسطة	منخفضة	قريب	سهلة عدا في الأرض الطينية الرطبة أو في التربة الصخرية
مرحاض مائي	جيدة	عالية	منخفضة	قريب	تحتاج إلى بناء ماهر
حوض تحليل لاهوائي	ممتازة	عالية جداً	منخفضة	متصل بأنابيب	تحتاج إلى بناء ماهر
شبكة صرف صحي	ممتازة	عالية جداً	عالية	متصل بأنابيب	تحتاج إلى مهندس وعمال مهرة

جدول 7-2 بعض أنواع الجراثيم الموجودة في الحمأة {1، 3، 4}

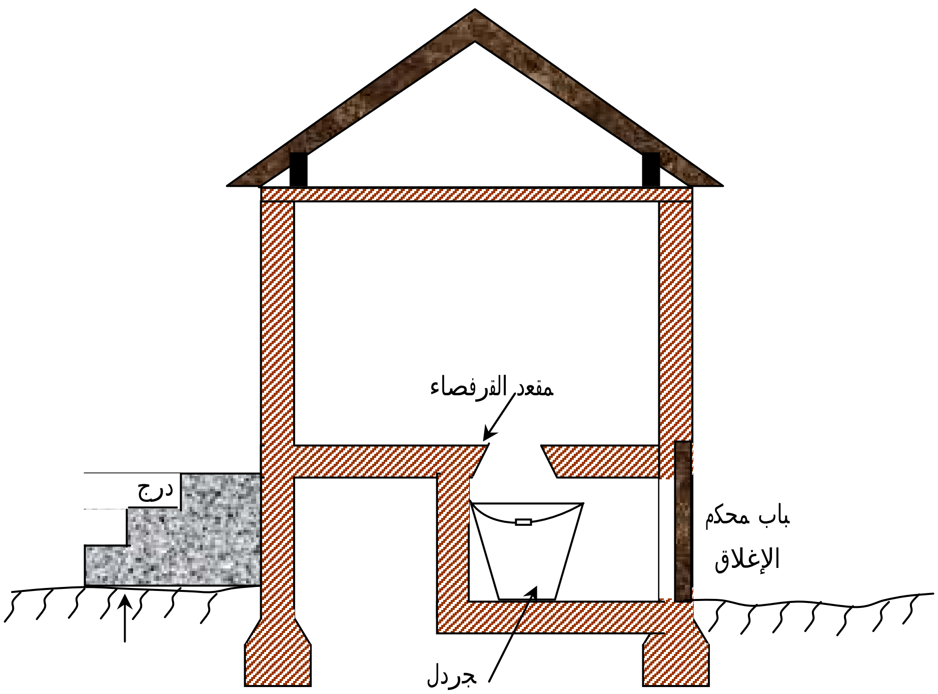
الجرثومة	المرض	طرق الانتشار
أ) **حمات معوية Enterviruses**		
الحمة السنجابية Poliovirus	إلتهاب السحاياMeningitis ، شلل Paralysis، حميات	براز- فم، إنسان ___ إنسان
الحمة الإيكوية Echovirus	إلتهاب السحايا، إسهال، رشح، حمة، إلتهابات تنفسية	براز- فم، إنسان ___ إنسان
حمة كوكساكية Coxsackievirus	إلتهاب السحايا، حمة، إلتهابات تنفسية، حمة، إلتهاب القلبMyocarditis، شذوذ القلب الخلقىCongenital heart anomalies ، وجع الجنبةPleurodynia	
إلتهاب الكبد Hepatitis type A	إلتهاب الكبد المعدي	براز- فم، إنسان ___ إنسان
حمة Norwalk	إسهال، إستفراغ، حمى	براز- فم، إنسان ___ إنسان
حمة Calicivirus	إلتهاب المعدة والأمعاء	براز- فم، إنسان ___ إنسان
حمة نجمى Astrovirus	تضيق المعدة Gastroenteritis	
حمة دوار Rotavirus	إسهال، إستفراغ	براز- فم، إنسان ___ إنسان
حمة غدية Adenovirus	إلتهابات تنفسية، إلتهاب العيون	
ب) بكتريا		
السلمونيلةSalmonella	برداء التيفود، برداء باراتيفودية، داء السلمونيلاتSalmonellosis	براز- فم، إنسان ___ إنسان
الشيغلة Shigella	دسنتاريا باسلية	براز- فم، إنسان ___ إنسان
الإشريكية القولونية الجرثومية	إلتهاب المعدة والأمعاء	براز- فم، إنسان ___ إنسان
اليرسنية Yersinia enterocolitica	إلتهاب معوي قولوني	حيوان _____ إنسان
الضمة الهيضيةVibrio cholerae	الكوليرا (الهيضة)	براز- فم، إنسان ___ إنسان
أنواع البريمية.Leptospira spp	الحمى الخمجية Weil's disease	تتوالد بالحيوانات (خاصة القوارض) في البول وتجلب المرض للإنسان عن طريق الجلد أو الفم أو العين، حيوان ______ إنسان
جـ) بروتوزوا		
المتحولة الحالة للنسجEntamoeba histolytica	دسنتاريا أميبية، خراج الكبدLiverabscess، قرحة قولونيةColonic ulceration	براز- فم، إنسان ___ إنسان
الجياردية اللمبلية Giardia lamblia	إسهال، سوء الإمتصاصMalabsorption	براز- فم، إنسان ___ إنسان
القربية القولونية Balantidium coli	إسهال خفيف، قرحة قولونية Colonic ulceration	براز- فم، إنسان أو خنزير ___ إنسان
د) ديدان Helminths		
الصفر الخراطينيAscaris lumbricoides الديدان	داء الصفر Ascariasis	إنسان __ تربة __ إنسان

الكروية (Roundworm) الملقوة العفجية Ancylostoma duodenale (الدودة الشصية Hook worm)	أنيميا	إنسان __ تربة __ إنسان
الفتاكة الأمريكية Necator americanus الدودة الشصية(Hook worm)	أنيميا	إنسان __ تربة __ إنسان
الشريطية العزلاء Taenia saginata	داء الشريطيات Taeniasis	إنسان __ بقر __ إنسان

2-7 نظام المرحاض Latrine system

مرحاض الجردل Bucket latrine

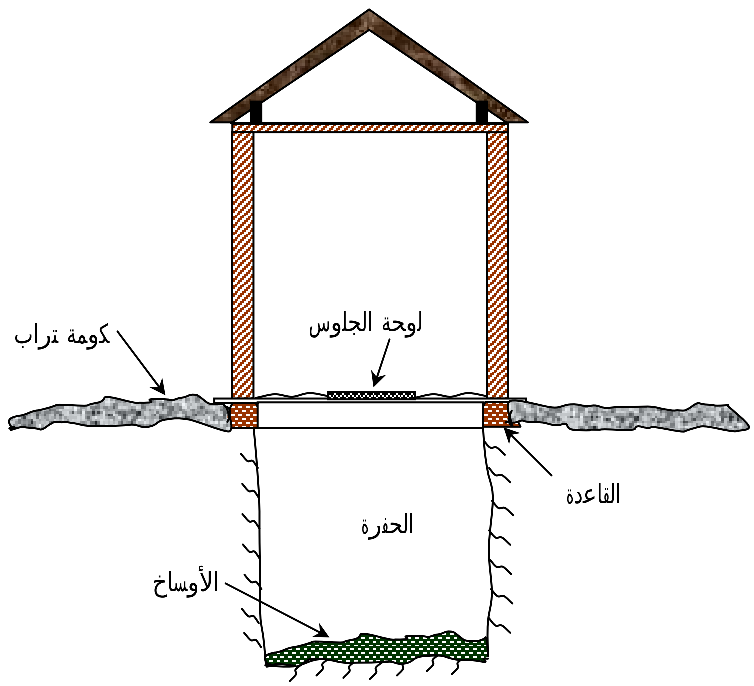
مرحاض الجردل يعني استخدام وعاء(جردل) من الحديد المجلفن للتجميع اليومي للفضلات (أنظر شكل 7-1). ويتم تفريغ الوعاء بوساطة عامل الصحة ومن ثم تحمله السيارات إلى نقاط التجمع والمعالجة أو التخلص النهائي. وقد تُرك استخدام هذا النظام في معظم المناطق لرداءته، وتسببه للأذى الجسدي والنفسي لعامل النظافة والجمهور المستخدم له، ولما يأتي به من مشاكل ذباب وروائح نتنة.



شكل 7-1 مرحاض الجردل (الدلو)

مرحاض الحفرة Pit latrine

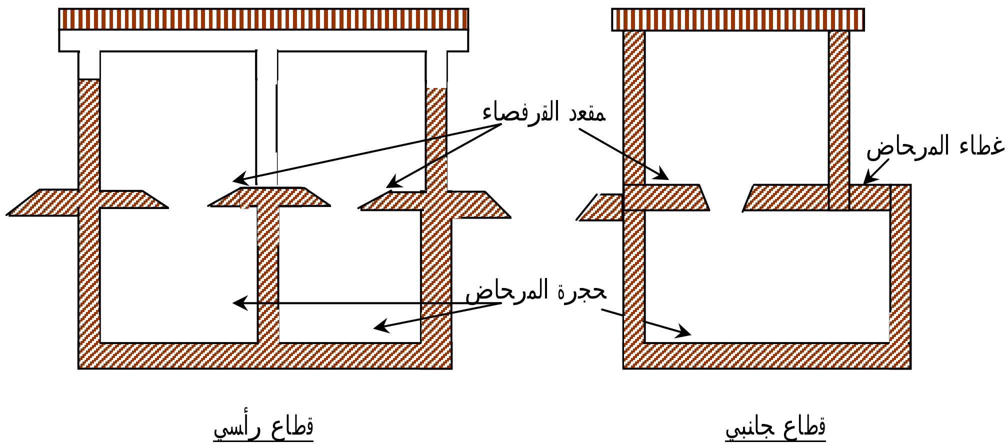
مرحاض الحفرة عبارة عن تجويف رأسي في باطن الأرض لتخزين الفضلات السائلة (أنظر شكل 7-2). ويغطى أعلى التجويف بسقف من الخرسانة به فتحة أومقعد للجلوس. ويفيد السقف الخرساني في الأمان من الإنهيار وعدم سقوط الأطفال داخل المرحاض، كما ويمنع إنتقال الديدان الشصية Hookworm ويحد بعض الشيء من توالد الذباب عند استخدام غطاء محكم للفتحة. ومن أهم مساوئ مرحاض الحفرة: إنبثاق الروائح النتنة، وتوالد الذباب والبعوض وغيرها من نواقل الأمراض، وربما تلوث الماء الجوفي الضحل، وخطورة استعمال المنشأة لعدم تصميم البناء وفقاً لمواصفات محددة. ويمكن استخدام المرحاض لعائلة واحدة داخل المنزل أو بقربه، كما ويمكن استخدامه لمجموعة سكانية أو للعامة في مناطق العمل والإنتاج والتجمعات المؤقتة (مثل مخيمات النازحين أو اللاجئين أو الكشافة أو المعسكرات). وتفضل المراحيض الخاصة لنظافتها وسهولة المحافظة عليها.



شكل 7-2 مرحاض الحفرة

مرحاض السماد Compost latrine

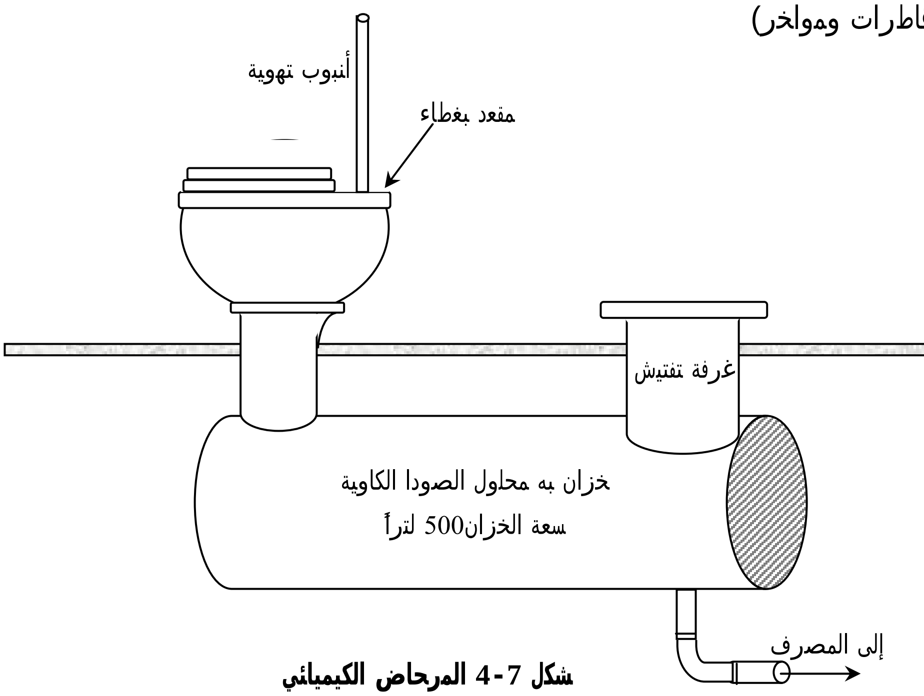
يحتوي هذا النوع من المراحيض على حوضين أو أكثر من مواد قليلة المسامية (أنظر شكل 7-3). ويتم استخدام الحوض التالي عند إمتلاء الحوض الأول. ويقفل الحوض الممتلئ لمدة قد تصل إلى بضع أشهر ثم تفرغ محتوياته لتستخدم في تسميد الأرض الزراعية. ولترفيع عمل المرحاض يستحسن إضافة مواد غنية بالكربون لمكوناته (مثل: الأوراق الجافة والعشب والتبن)، وفصل الماء والبول والسوائل عنه.



شكل 7-3 مرحاض السماد

المرحاض الكيميائي Chemical latrine

ويتكون هذا المرحاض من خزان من معدن مناسب أو ألياف معينة (أنظر شكل 7-4). ويوضع بداخله محلول الصودا الكاوية ليقوم بتحلل الفضلات وقتل الجراثيم. وقد يزود المرحاض بنظام خلاط لتقليب المحتويات. وعند إمتلاء المرحاض يعمل على التخلص الملائم من مكوناته. ويفضل استخدام هذا النظام لمناطق محددة مثل وسائل النقل (من طائرات وقاطرات ومواخر)



شكل 7-4 المرحاض الكيميائي

مرحاض الحفرة المحسن المهواة (Ventilated Improved Pit Laterine (VIP latrine

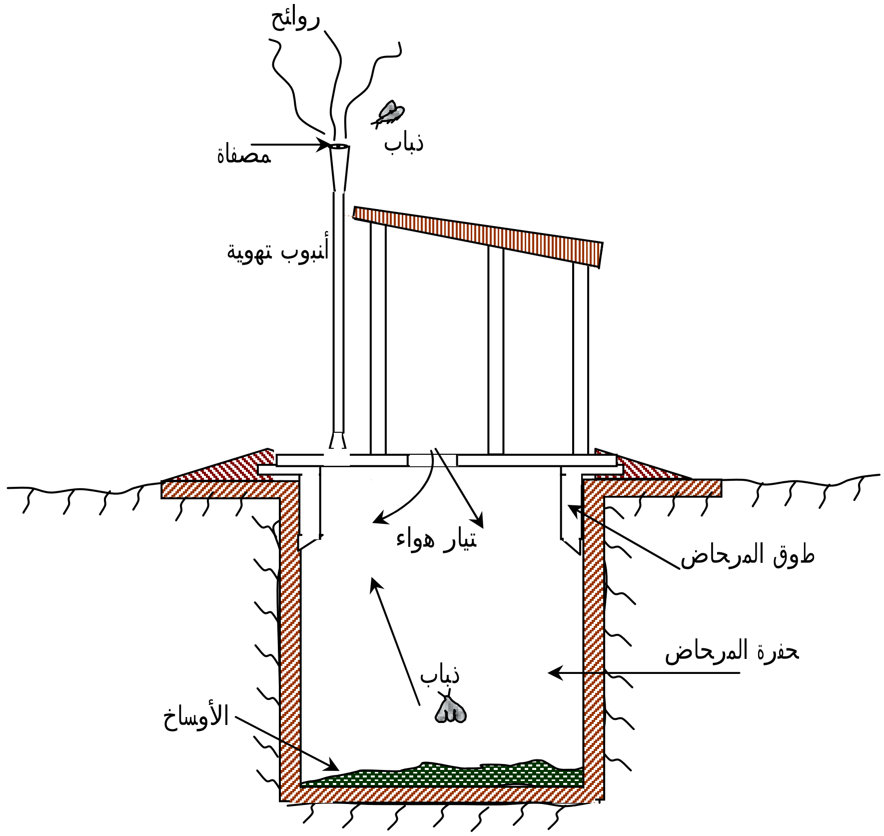
تم تصميم مرحاض الحفرة المحسن المهواة بطريقة تكفل الأمان لمستخدميه كما وأنه مبني بحيث يبقى فترة طويلة لا تقل عن سنتين، وتنحرف الحجرة الساترة للمرحاض بعض الشيء عن التمركز {5أ،6}. وتضم أنماط هذا المرحاض: المرحاض ذو الحفرة الواحدة وآخر ذو حفرتين وثالث ذو حفر متعددة.

وفي هذا المرحاض أُدخلت التحسينات التالية على مرحاض الحفرة التقليدي (أنظر شكل 7-5):

1. إضافة أنبوب تهوية (هواية): يرتفع الهواء داخل حجرة المرحاض ويخرج إلى الغلاف الجوي (بفضل حركة الرياح المارة أعلى أنبوب التهوية) مما يولد تيار هواء عبر فتحة الجلوس. ويعمل هذا التيار الهوائي على إزالة الروائح الناتجة من تحلل المواد البرازية داخل المرحاض. كما ويعمل أنبوب التهوية على التحكم في الذباب، وذلك نسبة إلى أن أنثى الذباب تنجذب إلى الروائح المنبثقة عبر أنبوب التهوية أثناء بحثها عن منطقة آمنة تضع فيها بيضها، غير أنها تُمنع من المرور داخله بفضل المصفاة الموجودة أعلى الأنبوب. وهذا لا يحول دون دخول القليل من الذباب إلى المرحاض عن طريق فتحة الجلوس، ووضع بيضه داخل المرحاض. ويفضل أن تظل غرفة المرحاض مظلمة، بحيث تتسرب أشعة الضوء فقط عبر أنبوب التهوية. وعليه فعندما تحاول الحشرة الكاملة من الذباب المتوالد حديثا الطيران، منجذبة نحو حزمة الضوء، تحد من خروجها المصفاة، مما يسمح بقتلها داخل المرحاض. ومن المستحسن نظافة أنبوب التهوية من عام لآخر من نسيج العنكبوت بصب جردل أو دلو من الماء داخله. وعادة تُستخدم الأنابيب المصنعة من الأسمنت الأسبستوس AC والبلاستيك (كلوريد البوليفين PVC)، كما ويمكن استخدام مواد محلية أقل كلفة (مثل: الطوب، وقوالب الخرسانة، وأعواد البوص المغلفة بعجينة أسمنتية، والخيزران (الغاب المشقوق)، والخيش المقوى بشبك صلب.
2. تركيب مصفاة (شبكة) أعلى أنبوب التهوية لمنع دخول وخروج الذباب المنجذب برائحة البراز المتصاعدة من أنبوب التهوية. وتُصنع المصفاة من ثقوب تقل سعتها عن 1 ملم مربع، من فولاذ لا يصدأ، أومن ألياف زجاجية، لتقاوم الغازات الحارقة الناتجة من الحفر.
3. إنشاء غرفة مظلمة للمرحاض للحد من دخول وخروج الذباب.

وهذه المواصفات المتبعة في المرحاض المحسن لا تكفي للحد من توالد البعوض الماص Culex pipiens والذي يتوالد في المرحاض الفائض ويقوم بنقل داء الخيطيات (داء الفلاريا Filariasis) وذلك لأن هذا النوع من البعوض لا ينجذب نحو الضوء ويجد طريقه عبر المنافذ المختلفة.

4. إضافة مصيدة ذباب فوق فتحة الجلوس بدلاً من الغطاء.
5. إضافة كريات البوليسترين القابلة للتمدد Expanded polystyrene beads لتكون طبقة طافية تمنع أنثى البعوض من وضع البيض، كما تمنع اليرقات من التنفس. ويتم إنتفاخ وتمدد الحبيبات بتسخينها في الماء بالقرب من موقع المرحاض ثم توضع داخله لتكون طبقة سمكها 20 ملم {1، 4، 6}.

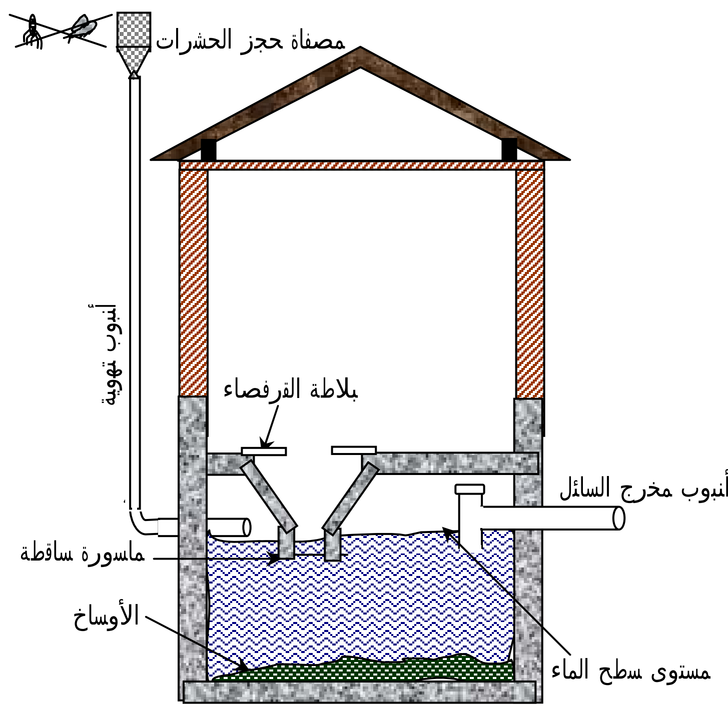


شكل 7-5 مرحاض الحفرة المحسن

ومن العوامل المؤثرة في استخدام هذه الطريقة: جيولوجية المنطقة وطبغرافيتها (خاصة وجود الصخور أو الرمال)، وارتفاع منسوب المياه الجوفية، ومصادر المياه بالمنطقة، ومعدل تراكم الحمأة، وعدد المستخدمين للمنشأة، وفترة إمتلاء المرحاض، وخواص مواد البناء المحلية. وكقاعدة عامة يمنع بناء المرحاض لمسافة أقل من 10 أمتار من أقرب بئر جوفي أو مصدر لمياه الشرب، كما ولا يشيد المرحاض في منطقة تعلو المصدر المائي. وتزيد هذه المسافة عندما يتم استخدام الرافعات لضخ الماء من الآبار. ومن المعروف ان البكتريا لا تتغلغل لمسافة أكبر من المتر أو المترين في معظم أنواع التربة غير المشبعة، غير أنها قد ترتحل لمسافات أكبر من 100 متر في تربة الحصى أدنى منسوب المياه الجوفية وفي الصخور المتشققة والمتصدعة .وعامة ينتشر التلوث البكتيري للمسافة التي تسيرها المياه الجوفية في مدة عشرة أيام {1}، كما وأن التلوث الكيميائي يتحرك لمسافة أكبر. وللحد من التلوث البرازي بالبكتريا من الأنسب أن تزيد المسافة بين قعر المرحاض وأعلى منسوب للمياه أو سطح الصخور عن المترين.

المرحاض المائي:

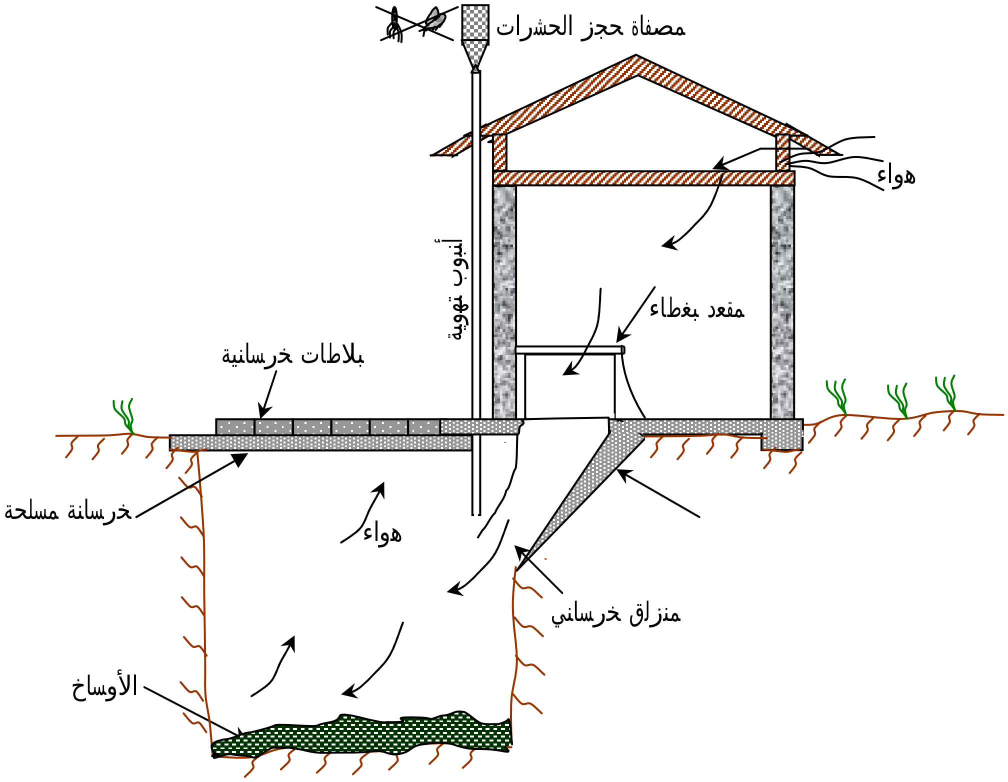
المرحاض المائي عبارة عن خزان تحليل يقع مباشرة تحت بلاطة الجلوس وتصل اليه الفضلات عن طريق ماسورة تمتد إلى تحت سطح السائل به. وتكون هذه الماسورة حاجز مائي بسيط يمنع انتشار الروائح، ويقلل توالد الذباب (أنظر شكل 7-6). وأما السائل النهائي المعالج الخارج من المرحاض فيتدفق إلى بيارة تتشرب أو يتم التخلص منه بصورة عملية مناسبة وصحية.



شكل 7-6 المرحاض المائي

مرحاض ريد عديم الرائحة

مرحاض ريد هو عبارة عن تعديل لمرحاض الحفرة المحسن المهواة. ومن مزايا هذا المرحاض خلوه من الرائحة. وتسقط الفضلات السائلة في حفرة المرحاض بوساطة منحدر (منزلق) يوجد أسفل المرحاض (أنظر شكل 7-7). ولتفادى المشاكل ينبغي نظافة المنحدر لمنع تراكم الأوساخ ومن ثم إنبعاث الروائح وتوالد الحشرات والهوام.



شكل 7-7 مرحاض ريد عديم الرائحة

3-7 أحواض التحليل اللاهوائي (أو التعفن أو التخزين) Septic Tanks

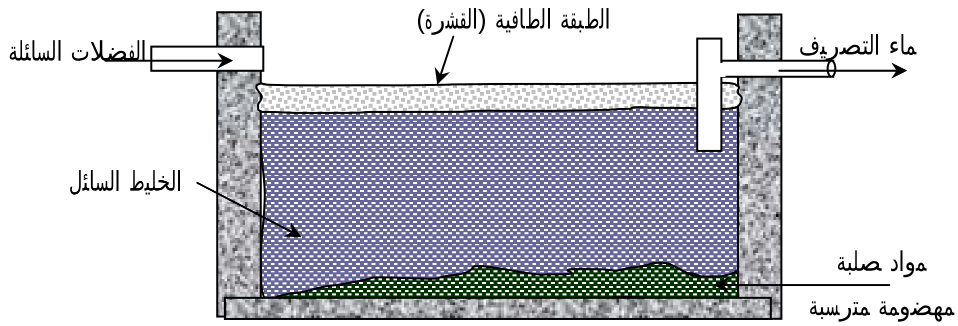
حوض التحليل عبارة عن صندوق (أو غرفة) مستطيل أو أسطواني الشكل يوضع تحت الأرض ويقوم بإستقبال الفضلات السائلة المنزلية وحفظها لمدة من الزمن يسهل معه فصل المواد الصلبة وترسيبها. ومن مزايا حوض التحليل ما يلي:

- سهولة الاستخدام والصيانة.
- المرونة والملاءمة لاستقبال فضلات متنوعة.
- عدم إحتوائه على أجزاء متحركة مما يقلل من الصيانة الميكانيكية.
- النظافة كما وتنعدم فيه مشاكل الروائح والذباب.

مناطق المعالجة بحوض التحليل اللاهوائي:

توجد بحوض التحليل ثلاثة طبقات تضم: (أنظر شكل 7-8)

- ❖ طبقة الأوساخ الطافية على سطح الحوض.
- ❖ طبقة السائل العالق والتي تبدأ فيها عمليات الترسيب وانتشار المواد الذائبة للطبقة التي تليها لتكون قشرة على سطح الحوض.
- ❖ طبقة الأوساخ المترسبة والمهضومة.



شكل 7-8 حوض التحليل اللاهوائي

وتخضع المواد المترسبة لبعض صور الهضم والتفسخ الحيوي اللاهوائي لتنتج الحمأة ذات اللون الأسود. كما وتتكون في الحوض طبقة طافية من الدهون والشحوم وبعض الفضلات، والتي تخضع بدورها لتفتيت حيوي، مكونة قشرة المواد الطافية ذات اللون الأبيض البني. وما بين الطبقتين (الطافية والمترسبة) يتكون سائل أخضر اللون (الحمأة المعالجة) والتي تجد طريقها لحقول الإمتصاص.

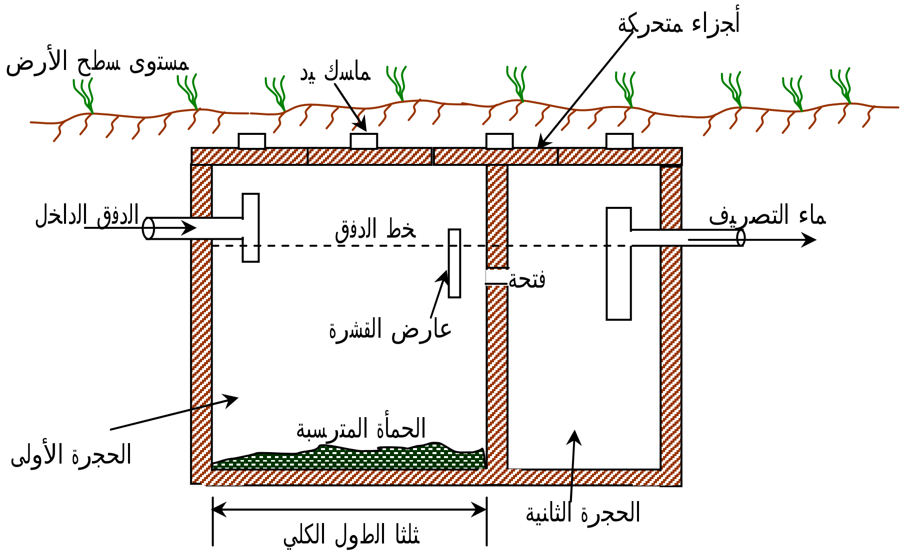
ولإتمام المعالجة يترك السائل بالحوض لزمن مكث مناسب. ومن أهداف زمن المكث ما يلي:

- زيادة عمليات ترسيب وهضم المواد الصلبة.
- تقليل تكلفة الإنشاء.
- تقليل فترات النظافة.
- زيادة عمر حقول الإمتصاص.

ويمكن تعريف زمن المكث على أنه تلك الفترة الزمنية اللازمة ليتحرك خلالها جزيئ من الماء من مدخل الحوض إلى مخرجه. ويتراوح زمن المكث بين يوم ويومين عند أخذ متوسط الدفق اليومي في الحسبان، وهذا يخفض من التكلفة بالنسبة للأحواض الصغيرة. كما ويمكن أخذ زمن المكث بحوض التحليل مساوياً ثلاثة أيام بالنسبة للأحواض الكبيرة. وخلال هذه المدة تخضع الأوساخ المترسبة لتفاعلات حيوية. ثم تزاح المترسبات كل عام مثلا أو كلما اقتضى الحال ذلك.

تصميم حوض التحليل اللاهوائي:

عادة تصمم أحواض التحليل اللاهوائي بغرفتين، حجم إحداهما ضعف الأخرى (أنظر شكل 7-9). يتم في الحجرة الأولى ترسيب معظم المواد الصلبة، كما وتتم فيها معظم عمليات التفسخ الحيوى. أما الحجرة الثانية فتعمل كجهاز ترسيب نهائى، يتم فيها حجز المواد الصلبة المتبقية وترسيب بعض الحبيبات الدقيقة والخفيفة. وفي هذه النظم للمعالجة فإن الأوساخ المترسبة ربما جرفت إلى الأعلى بوساطة الغازات الناتجة من التفتيت الحيوى للمواد العضوية مما يبين أهمية الغرفة الثانية. ومن الأنسب بالنسبة للحوض الخرسانى أن يطلى بطبقة عازلة من البيوتمين مثلا وذلك بغرض حماية الخرسانة ومنع تفتيتها بخليط الحمأة الحارق.



شكل 7-9 رسم تخطيطي لحوض تحليل لا هوائي ذي غرفتين

ويمكن حساب حجم الحوض من المعادلة 7-1.

$$V = Q*t \qquad 7\text{-}1$$

حيث:

V = حجم الحوض (م^3).

Q = دفق الفضلات السائلة للحوض (م^3/يوم).

t = زمن المكث بالحوض (يوم).

وعادة يؤخذ حجم الحوض ليساوي ضعفين إلى ثلاثة أضعاف حجم الدفق اليومي التصميمى {2، 4، 8}. ولتحديد أبعاد الحوض يمكن اللجؤ إلى جداول معدة مسبقاً أو بأخذ المعادلات التجريبية. يغطي السائل في الحوض 80 بالمائة من الارتفاع الكلي للحوض وتترك 20 بالمائة من الحجم أعلى مستوى سطح السائل لتعطي المسافة المطلوبة لتراكم القشرة الطافية. ويبين جدول 7-3 أبعاد مقترحة لحوض التحليل اللاهوائي.

كما ويمكن تقدير حجم حوض التحليل اللاهوائي من المعادلة 7-2 {1، 4، 9}

$$V = 180*P + 2000 \qquad 7\text{-}2$$

حيث:

V = أقل حجم لحوض التحليل اللاهوائي (لتر).

P = عدد الأفراد المستخدمين للحوض (فرد).

أما عند استخدم قاطعات النفايات Garbage grinders فيمكن تقدير حجم حوض التحليل اللاهوائي من المعادلة 7-3 {4، 9، 10}.

$$V = 250*P + 2000 \qquad 7\text{-}3$$

. جدول 7-3 أبعاد مقترحة لحوض التحليل اللاهوائي

الحجم (لتر)	الطول الداخلي (م)	العرض الداخلي (م)	عمق السائل (م)
1100	1.5	0.7	1.1
1500	1.8	0.9	0.9
1900	1.8	0.9	1.2
2800	2.3	1.1	1.2
3800	2.7	1.2	1.2
4700	3.4	1.2	1.2
5700	3.2	1.5	1.2
7600	4.3	1.5	1.2
9500	4.4	1.8	1.2
11000	5.2	1.8	1.2
13000	4.9	1.8	1.5
15000	4.9	2.2	1.5
19000	5.9	2.2	1.5
23000	6.2	2.4	1.5
26000	7.3	2.4	1.5
30000	7.0	2.4	1.8
38000	8.5	2.4	1.8

المصدر: المرجع a7، منشور بإذن

وعند استخدام حوض التحليل اللاهوائي للمدارس وماشاكلها فيمكن تقدير حجم الحوض من المعادلة 7-4 {4،9،10}.

$$V = 90*P + 2000 \qquad 7\text{-}4$$

يمكن أن تصمم أحواض التحليل اللاهوائي من حوض واحد أو عدة أحواض متصلة على التوالي. وأبسط أنواع الأحواض تكون مستطيلة أو دائرية الشكل. ولا تُصمم مصافي بالأحواض بغية تقليل الترميم والأصلاح. ومن أمثلة المواد المستخدمة لتشييد الحوض: الخرسانة، والخرسانة المسلحة، والخرسانة المخرمة، والقوالب الخرسانية، والطابوق، والطوب، والآجر، والحجارة، والألياف الزجاجية، والمواد متعددة الأثيلين (بولى اثيلين)، والحديد المطلي، والحديد المجلفن. وتستخدم مواسير مبسطة أو هدارات صغيرة (تعمل لمنع تعلق المواد بعد ترسيبها، وتحول دونما إضطراب المواد الطافية) على كلٍ من مدخل ومخرج الحوض. وتُصمم الأحواض ليكون بها فراغ كافي لتخزين الأوساخ لعدة أشهر.

ولابد أن يحتوى حوض التحليل اللاهوائي على فتحات تهوية أو منافس Vents للأسباب التالية:

- منع دفق الحمأة من الحوض إلى المنازل.
- تسهيل خروج غاز الميثان والذى ربما سبب الإنفجارز

▪ تسهيل خروج الغازات ذات الرائحة الكريهة المنبثقة من داخل الحوض. وتنتج هذه الغازات عندما تقوم البكتريا الاتيارية بتفسخ بعض مكونات الحمأة. ويمكن أن تتحرك هذه الغازات من أعلى سطح سائل الحوض عبر فتحة التهوية إلى المصرف الصحي المنزليالمتصل بالحوض، ومن ثم إلى سطح المنزل عبر أنابيب التهوية المتصلة بالمصرف.

وهنالك بعض النقاط التي يجب عملها عند تشغيل الحوض بغية الحصول على أكبر كفاءة ومنها على سبيل المثال:

- عدم استخدام مبيدات البكتريا والحشرات والهوام والنواقل داخل الحوض بدون التأكد من وجود درجات التخفيف اللازمة.
- عدم التخاص من المطهرات داخل الحوض، إذ أنها تقلل من كفاءة الحوض لإزالة المواد الصلبة العضوية.
- عدم إزالة الطبقة الطافية (عند تفريغ الحوض والتخاص من مكوناته) لاسيما وتكوينها يحتاج إلى مدة طويلة (ربما أكثر من عام).
- اختيار الموقع الجيد للجهاز لتفادي أي نتائج سلبية، فمثلاً يجب أن يوضع الحوض:
  1. في غير مهب الريح.
  2. على بعد أقله 15 متراً من أقرب نقطة لأخذ الماء أو مصدر ماء.
  3. على بعد أقله 3 أمتارمن الجيران.
  4. في منطقة غير منخفضه لتجنب تجمع المياه فوقه أو من حوله.
  5. في منطقة بعيدة عن طريق مرور المركبات والسيارات.

ويبين جدول 7-4 المسافات المناسبة لحوض التحليل وحقول الإمتصاص بعيداً عن المبان] (لكيلا تتأثر الأثاثات) ومصادر المياه (لمنع تلوثها).

جدول 7-4 المسافات المطلوبة لحوض التحليل وحقل الإمتصاص {2، 4، 7}

المنطقة المطلوب حمايتها	أقل مسافة مطلوبة (متر)	
	حوض التحليل اللاهوائي	حقل الإمتصاص
المباني	1.5	3
الآبار المنزلية وخطوط السحب	15	30
الآبار العامة وخطوط السحب	30	60
خطوط المياه تحت الضغط	3	3
مصادر المياه	15	30
البحيرات	15	30

كما ويجب عند التصميم حساب أبعاد الحوض واختيار المواد الخام الواجب استخدامها والأيدي العاملة المناسبة للتشييد والصيانة. وبعض معايير التصميم تحوي النقاط التالية {1، 2، 4، 7، 8، 10، 11}:

- إدخال كل المخلفات والفضلات السائلة اليومية (الناتجة في البناية أو منطقة الحوض) للمعالجة. وهذه المخلفات تشمل الفضلات السائلة المنزلية ولكنها تستبعد مياه الأمطار والصرف السطحي.
- تُصنع جدران الحوض من الخرسانة أو غيرها من المواد المناسبة الموجودة محلياً. ويجب أن تكون هذه الجدران غير مسامية لمنع نفاذ الماء. ولتحقيق هذا الأمر يمكن تغطية جدران وأرضية الحوض بطبقة من الأسمنت سمكها 25 ملم تشيد على مرحلتين.
- تشييد قاعدة الحوض من الخرسانة المسلحة بسمك 100 إلى 150 ملم. ويتم وضع هذه القاعدة على طبقة من الزلط أو الحجارة المكسرة أو الرمل يبلغ سمكها حوالي 75 ملم.
- إنشاء سقف غير مسامى للحوض من الخرسانة المسلحة. ويمكن تصميم السقف في شكل قطع عرض كل منها 300 ملم بعرض الحوض. وتوجد بكل من هذه القطع روافع على الأطراف تساعد رفعها وإزاحتها للولوج إلى الحوض للتنظيف وإجراء أعمال الترميم والصيانة. ويمكن وضع غرفة تفتيش في قطعة أو إثنتين من هذه القطع السقفية. وعند تنظيف الحوض يمكن إزالة واحدة من قطع السقف أو كلها متى ما اقتضى الحال ذلك.
- يؤخذ عمق السائل بالحوض في حدود 1.1 أو 1.2 متراً، كما ويمكن أخذ عمق أكبر قد يصل إلى 1.8 م.
- يمكن أخذ طول الحوض ليساوي 2 أو3 أضعاف عرضه، كما موضح في المعادلة 7-5.

$$L = (2 \text{ or } 3)*B \qquad 7\text{-}5$$

حيث:

L = الطول الداخلي لحوض التحليل اللاهوائي (م).

B = العرض الداخلي لحوض التحليل اللاهوائي (م).

وعند تصميم الحوض من غرفتين تؤخذ سعة الغرفة بالقرب من مدخل الفضلات السائلة ضعف سعة الغرفة الثانية. وبذا يكون طول الغرفة الأولى كما موضح في المعادلة 7-6.

$$L_1 = 2L/3 \qquad 7\text{-}6$$

حيث:

L_1 = الطول الداخلي للغرفة الأولى (أقرب للمدخل) (م).

L = الطول الداخلي للحوض (م).

ولابد من مراقبة أداء حوض التحليل والعمل على صيانته. ويجب العمل على ترميم الحوض على مدار العام لضمان استمرار كفاءة التشغيل، وإطالة عمر الحوض، وتفادى تدهوره وانهياره. وعادة فإن الحوض ذو الترميم والصيانة الجيدة يعيش لمدة 20 عاماً أو أكثر. وعند مراقبة الحوض فإنه غالباً يحتاج إلى نظافة:

- عندما يصل عمق الأوساخ إلى ثلث عمق السائل الموجود بداخله أو يزيد عنه.
- عندما تكون الطبقة الطافية في حدود 75 ملم أدنى أنبوب مخرج الحوض.

مثال 7-1:

صمم حوض تحليل لاهوائي ليخدم أسرة تتكون من 12 فرد.

الحل:

1- المعطيات: P= 12 فرداً.

2- أوجد حجم الحوض باستخدام المعادلة: $V = 180*P + 200$

وعليه: V = 12× 180 + 2000 لتراً.

3- يمكن أخذ ارتفاع السائل بالقرب من المخرج مساوياً 1.2 م. ويمكن أخذ نسبة الطول إلى العرض كما في المعادلة: $L = 2.5*B$

وعليه يمكن إيجاد مساحة الحوض من المعادلة: $A = V/h$

$A = 4160\times10^{-3} \div 1.2 = 3.47$ م^2 $2.5 \times B^2$

وعليه: B = 1.18 م

L = 2.5×1.18 = 2.94 م

4- أوجد ارتفاع السائل عند المدخل بافتراض أن ميل أرضية الحوض تساوي 0.1:

ارتفاع السائل عند المدخل = الميل×طول الحوض + ارتفاع السائل بالقرب من المخرج

= 0.1×2.94 + 1.2 = 1.49م

5- أوجد الارتفاع الكلي للحوض = ارتفاع السائل عند المدخل + مسافة قعر أنبوب المدخل من سطح سائل الحوض + المسافة بين أنبوب المدخل وغطاء الحوض = 1.49 + 0.075 + 0.3 = 1.87 م

6- أوجد مسافة قعر كوع الأنبوب الداخل من قمة الحوض = 0.3 + 0.075 + 20 بالمائة من ارتفاع السائل = 0.3 + 0.075 + 0.2×1.2 = 0.62 م

7- أوجد مسافة قعر كوع الأنبوب الخارج من قمة الحوض = 0.3 + 0.075 + 40 بالمائة من ارتفاع السائل = 0.3 + 0.075 + 0.4×1.2 = 0.86 م

8- عند استعمال غرفتين للحوض يمكن إيجاد طول الغرفة الأولى من المعادلة $L_1 = 2L/3$

وعليه: $L_1 = 2\times2.94 \div 3 = 1.96$ م.

7-4 التخلص النهائي من السائل المعالج بحوض التحليل اللاهوائي

تُنزح الأوساخ أو الحمأة من حوض التحليل اللاهوائي وتؤخذ إلى أقرب محطة معالجة أوساخ لإتمام معالجتها، أو ربما أمكن التخلص منها بالدفن في الأرض. وعند اللجؤ إلى طريقة الدفن لابد من توخي الحيطة وأخذ الحذر لتلافي أي تلوث للمياه الجوفية بالمنطقة وللحد من إنبثاق أي مشاكل أخرى ضارة كانت أو منفرة {4}. من الطرق المتبعة للتخلص من السائل المعالج بحوض التحليل اللاهوائي: حقول الإمتصاص، وآبار الإمتصاص، وروابي البخر والنتح، و أحواض التبخر، أو يمرر السائل إلى مرشحات رملية للمعالجة. كما ويمكن استخدم السائل المعالج بحوض التحليل اللاهوائي لري نباتات معينة. ويعتبر السائل المعالج الناتج من حوض التحليل اللاهوائي

خطراً إذ تعلو فيه قيمة الحاجة الحيا-كيميائية للأكسجين والقيمة المتوسطة للمواد الصلبة العالقة. كما وقد وجدت بالسائل ملوثات مختلفة تضم مواد كيميائية مثل: أملاح الكلوريد والنترات والفوسفات وبقايا الزيوت وزيت المحرك وبعض المواد الكربوهيدراتية والجازولين بالإضافة إلى جراثيم الأمراض من بكتريا وحيوانات أوالي وحمات وديدان وبيض. (أنظر جدول 7-2).

ومن الأهمية بمكان العمل على نظافة الحوض إذ يؤدي عدم التنظيف الجيد إلى طمح الحمأة والمواد الطافية وتراكمها، مما يؤدي إلى إنسداد مخرج الحوض، وتأثر البناية بالفضلات غير المعالجة، أو غمر حقول الإمتصاص وإنسداد مسامات التربة، أو زيادة النمو الحيوي والذي يؤدي بدوره إلى إنسداد المسامات وتقليل التخلخل.

حقول الإمتصاص (خنادق التشرب) Absorption fields

عند التخلص من السائل بالتسرب إلى باطن الأرض فلابد من تجنب تلوث المياه الجوفية. ويمكن حساب مساحة حقول الإمتصاص من المعادلة 7-7.

$$Q = 204*t^{0.5} \qquad 7\text{-}7$$

حيث:

Q = حجم دفق السائل لحقول الإمتصاص (لتر/يوم/م^2)

t = الزمن اللازم ليهبط سطح السائل مسافة 25 ملليمتر عند إجراء اختبار التخلخل Percolation test (دقيقة)

ويجرى اختبار التخلخل لتحديد صلاحية التربة وإمكانية استخدامها كحقل إمتصاص وتشرب للسائل المنبثق من حوض التحليل اللاهوائي.

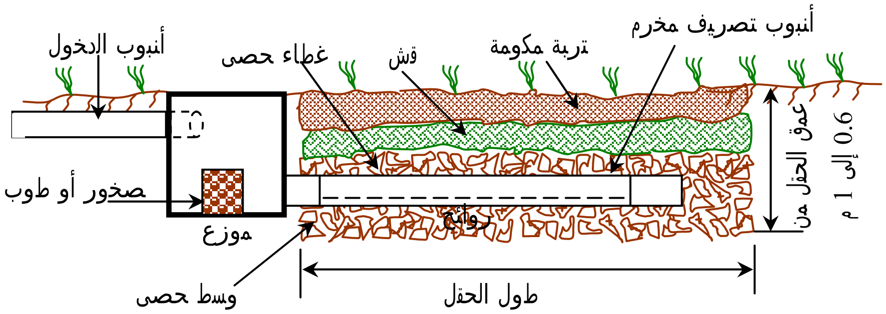
من الشكاوى المتوقعة من أداء عمل حقول الإمتصاص ما يلي: {1، 4، 5ب،7، 12، 13، 14}

- وقف عمل المضخات.
- إنتاج روائح غير مستحبة.
- إنسداد مدخل الحقول (ومخرج حوض التحليل اللاهوائي) نسبة لعلو درجة تركيز المواد الصلبة أو لزيادة الأحمال أو لعدم التخلص من الحمأة.
- منع التخلخل إما بسبب إنشاء الحقول في تربة قليلة النفاذية معيقة للتسرب، أو بسبب ارتفاع منسوب المياه الجوفية، أو بسبب قصور الأحمال العضوية والهايدروليكية، أو بسبب عدم النظافة الجيدة لحوض التحليل.
- تلوث المياه الجوفية خاصة في التربة ذات التسرب العالي، وتلك التي تضمحل فيها سعة الإمتصاص للمواد الملوثة.
- انتشار الأمراض.
- زيادة درجات تركيز المواد المطهرة والأيونات بالتربة.

أنواع حقول الإمتصاص:

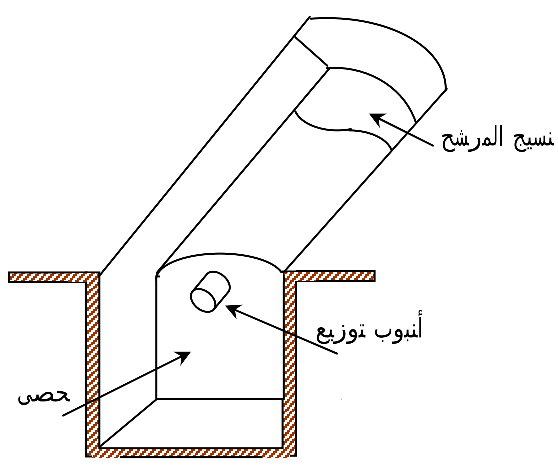
هنالك عدة أنواع من حقول الإمتصاص تضم خط الإمتصاص ومفرش الإمتصاص وحفرة الإمتصاص.

خط الإمتصاص: وهو عبارة عن أخدود أو خندق تحت سطح الأرض (أنظر شكل 7-10). عند استخدام حقول الإمتصاص ينساب السائل الخارج من وحدة التحليل خلال ماسورة مغلقة وغرفة توزيع من الخزان إلى مواسير مثقبة في خنادق (حقول) مصفوفة الواحدة تلو الأخرى مع وجود فرجات بينها {5ب}. يملأ الأخدود بالحصى ليجرى عبر طوله أنبوب مخرم. ويوضع الأنبوب عادة بسطح مستو وتقفل نهايته ليتسنى للسائل الإنسياب (بوساطة الجاذبية الأرضية) عبر جميع الفتحات الموجودة بطول الأنبوب. ويحدث التسرب عن طريق الفتحات القليلة الأولى في الأنابيب الأفقية. غير أن في الكثير من الحالات ينثني الأنبوب مرتخياً ويحدث معظم التسرب في أدنى نقطة من الأنبوب، وبذا يتم انتشار السائل على طول باطن خط الإمتصاص. وتتكون عبر الزمن طبقة حيوية في التربة اللينة تكثر فيها النشاطات الحيوية التي تعمل على تفسخ المواد العضوية القابلة للتفتيت، وتنقية السائل المندفق خلالها، كما ويتخاص فيها من بعض الجراثيم والأحياء المجهرية الضارة، وتقوم بتوصيل السائل للتربة بدفق مناسب يحد من تشبع التربة المحيطة.



أ) قطاع طولي لحقل امتصاص

شكل 7-10 رسم تخطيطي لحقل الامتصاص



ب) قطاع رأسي عبر خط الامتصاص

ويمكن تقدير طول حقل الإمتصاص من المعادلة 7-8.

$$L = P*Q/(2h*i) \qquad 7\text{-}8$$

حيث:

L = طول حقل الإمتصاص (م).

P = عدد المستخدمين (فرد).

Q = دفق الفضلات السائلة (لتر/فرد/يوم).

h = العمق الفعال لحقل الإمتصاص (م).

i = معدل التسرب التصميمى (لتر/م^2/يوم) (عادة يساوى 10 لتر/م^2/يوم).

مثال 7-2

أوجد طول حقل الإمتصاص المطلوب لتصريف سائل نهائي من حوض التحليل اللاهوائي المستخدم من أسرة مكونة من 8 أفراد تنتج فضلات سائلة يومياً بمعدل 105 لتر لكل فرد، علماً بأن معدل التسرب التصميمي يساوي 10 لتر/م^2/يوم.

الحل:

1- المعطيات: P = 8، Q = 105 لتر/يوم، i = 10 لتر/م^2/يوم.

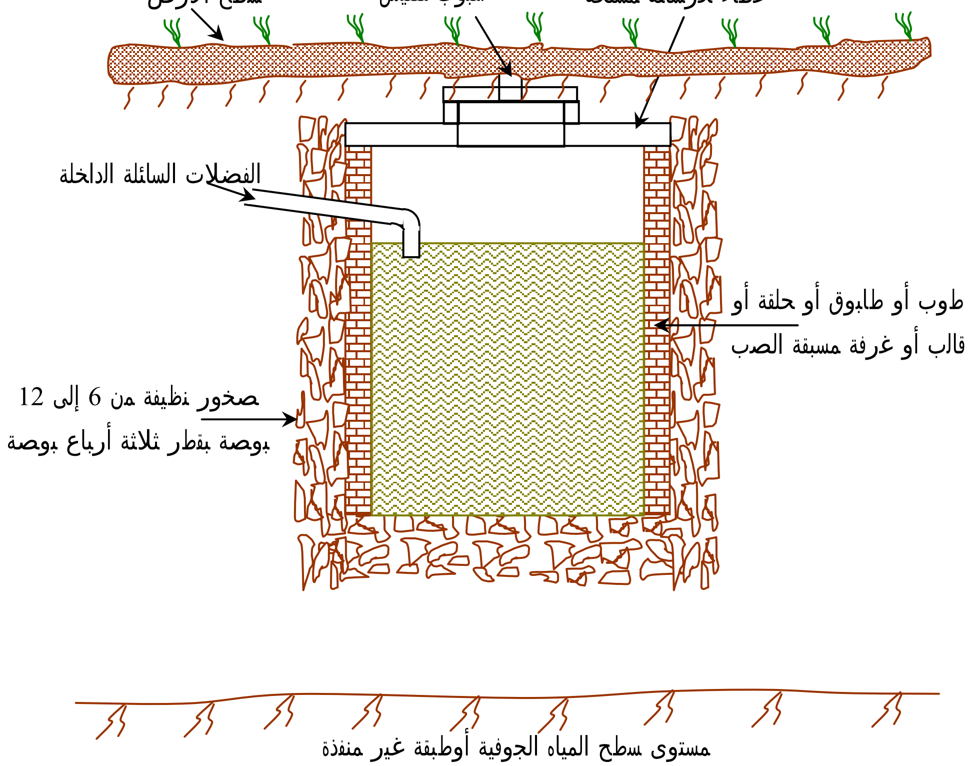
2- بافتراض أن العمق الفعال لحقل الإمتصاص يساوي 1 متراً، أوجد طول حقل الإمتصاص من المعادلة:

$$L = P*Q/(2h*i)$$

وعليه: L = 8×105 ÷ (2×1×10) 42 م.

مفرش الإمتصاص: وهذا نوع آخر من أساليب إمتصاص السائل عبر التربة. ويتكون من خط إمتصاص عريض توضع عبر طوله عدة أنابيب مثقوبة.

حفرة الإمتصاص (بيارة التشرب): وهذه عبارة عن حفرة رأسية في الأرض، يتراوح قطرها بين 2 إلى 3.5 متراً وعمقها بين 3 إلى 6 متراً. ويبين شكل 7-11 حفرة إمتصاص مكونة من أسطوانة خرسانية أو من طابوق أو أي مواد محلية مماثلة، تحيط بها طبقة من الحصى لحجز التربة المحيطة. وتعمل الحفرة كخط إمتصاص رأسي. وبعد مضى عدة سنوات تتحرك الطبقة الإنسدادية رأسياً إلى الأعلى على طول الجدران المحيطة بالحفرة، مما يجعل السائل متراكماً ويرتفع بارتفاع الحفرة، ويتم تسرب السائل عبر جدران الحفرة. كما ويساعد الضغط الهايدروستاتيكي في دفع السائل عبر الطبقة الإنسدادية من باطن الحفرة وجوانبها. {3}



شكل 7-11 رسم تخطيطي لقطاع عبر حفرة امتصاص

ومن العوامل المؤثرة على كفاءة حقول الإمتصاص: كمية وتردد السائل الخارج من حوض التحليل، وخواص ومكونات السائل، ونوع ومكونات التربة الماصة، والنباتات المزروعة، والمناخ السائد بالمنطقة، وكيفية الإنشاء والتشغيل والصيانة، وعوامل الزمن، والمناحى الاجتماعية والاقتصاديية والبيئية والتقاليد.

أما محاسن خط الإمتصاص مقارنة بحفرة الإمتصاص فتضم: {3، 4}

1. إمكانية تركيب الخط عند تواجد المياه الجوفية الضحلة نسبياً.
2. وجدود الخبرة المتعلقة بمتطلبات خطوط الإمتصاص.
3. سهولة التركيب والتشييد.
4. سهولة إعادة تشييد الخط عند حدوث إنسداد وإمكانيته.
5. طريقة مأمونة ولا تشكل مخاطر للمستخدم (مثلا لا يقع أحدهم في الخط المهجور).
6. إزدياد درجات التفتت الهوائي للمواد العضوية.
7. قلة تكلفة الإنشاء.

ومن محاسن حفر الإمتصاص مقارنة بخط الإمتصاص ما يلي: {3، 4}

1. إحتياج الحفرة إلى مسافة أفقية قليلة مقارنة بخط الإمتصاص.
2. إمكانية وصول الحفرة إلى الطبقات المسامية العميقة داخل التربة.
3. تتأثر الحفرة بدرجة أقل بالأمطار أو بري المنطقة المحيطة أو بالنباتات أو بحركة مرور المركبات فوقها.
4. إزدياد عمر الحفرة بالتغيرات في مناسيب السائل بداخلها.

مثال 7-3:

أوجد حجم حفرة الإمتصاص (بيارة التشرب) التي يمكن استخدامها عوضاً عن حقل الإمتصاص المطلوب لتصريف السائل النهائي من حوض التحليل اللاهوائي المدرج في المثال 7-2.

الحل:

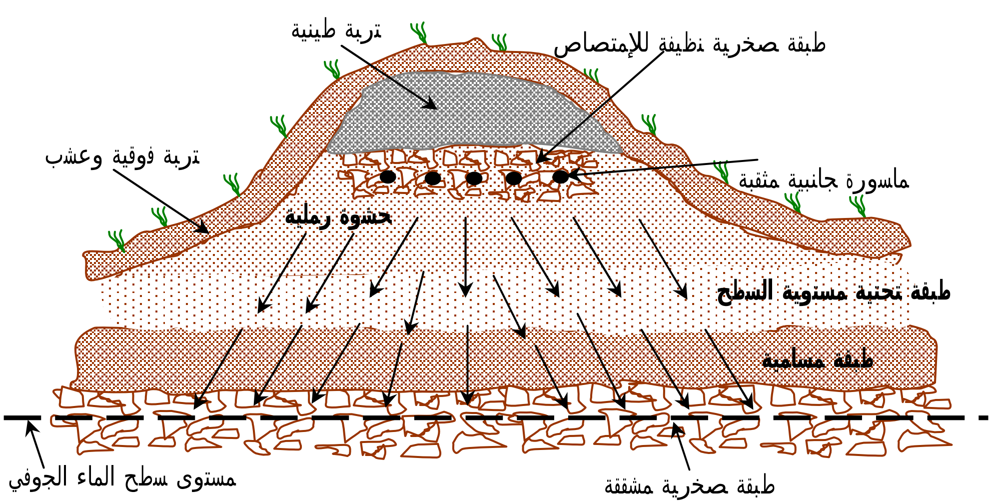
1- المعطيات: P = 8، Q = 105 لتر/يوم، i = 10 لتر/م^2/يوم.

2- أوجد التصرف الكلي للفضلات السائلة = 8×105 = 840 لتر.

3- أوجد المساحة المطلوبة لحفرة الإمتصاص = التصرف الكلي ÷ معدل تشرب التربة

= 840 ÷ 10 = 84 م^2

روابي البخر والنتح: تُستخدم روابي البخر والنتح في المناطق التي يكون بها مستوى الماء الجوفي قريب من سطح الأرض أو في المناطق التي لا تسمح مسامية التربة فيها باستخدام الأنماط الأخرى. ويجب وضع الرابية أو حوض البخر في مناطق لا تتعرض للفيضان، ويسهل تصريفها بالجاذبية الأرضية. ومن العوامل المؤثرة في هذه الطريقة: عوامل المناخ، وجيولوجية وطبغرافية المنطقة والغطاء النباتى. ويبين شكل 7-12 رسم تخطيطى لرابية البخر والنتح.



شكل 7-12 رابية البخر

5-7 تمارين عامة

1. أذكر أهم الطرق المستخدمة للتخاص من الفضلات والمخلفات السائلة المنزلية في الريف؟ أذكر محاسن وعيوب كل من هذه الطرق.
2. كيف يمكن المفاضلة بين الطرق التالية للتخاص من المخلفات السائلة:
   أ) مرحاض الحفرة التقليدd
   ب) مرحاض الحفرة المحسن المهواة.
   ج) المرحاض المائي.
   د) مرحاض ريد.
   ه) حوض التحليل اللاهوائي.
   و) شبكة الصرف الصحي.
3. أذكر أهم الجراثيم الممرضة التي يمكن أن تنشر من الحمأة الصادرة من حوض التحليل اللاهوائي.
4. أذكر طريقة عمل المرحاض الكيميائي.
5. تحدث بإيجاز عن كل مما يلي:
   أ) استخدام الفضلات السائلة المنزلية كأسمدة.
   ب) تلوث المياه الجوفية بالمراحيض.
   ج) هضم الفضلات العضوية بحوض التعفن.
   د) استخدام المبيدات في أحواض التحليل.
6. أذكر أهم مزايا حوض التحليل اللاهوائي.
7. كيف يمكن استخدام المعادلة التالية لتصميم حوض التحليل اللاهوائي لمدرسة معينة: $V = 90P+2000$؟
8. كيف يتم التخاص من السائل المعالج بحوض التحليل اللاهوائي؟
9. أيهما أفضل للتخاص من السائل النهائي المعالج بحوض التحليل اللاهوائي؟ ولماذا؟
   أ) خندق التشرب.
   ب) بئر التشرب.
   ج) رابية التبخر.

7-6 المراجع المصادر

1. Cairncross, S., and Fescham, R., "Environmental Health Engineering in the Tropics: An Introductory Text" 2nd Edi., John Wiley and Sons, Chechester, 1993.
2. Perkins, R.J., "Onsite Wastewater Disposal", Lewis Publishers, Chelsea, Michigan, 1989.
3. Kaplan, O. B., "Septic System Handbook", 2nd Edi., Publishers, Chelsea, Michigan, 1991.
4. عصام محمد عبد الماجد "الهندسة البيئية"، دار المستقبل للطباعة والنشر، عمان، الأردن، 1995.
5. البنك الدولي للإنشاء والتعمير، البنك الدولي، واشنطن.D.C ، المعلومات والتدريب في مجال الإمداد بالمياه والإصحاح المنخفضي التكاليف، مذكرات المشاركين، البنك الدولي وبرنامج الأمم المتحدة الإنمائي، 1986:
   أ) مراحيض الحفرة المحسنة المهواة VIP، تمت الترجمة بالمكتب الإقليمي لشرق البحر المتوسط.
   ب) إصحاح المخلفات المحمولة بالماء.
6. Kalbermatten, J.M., Julius, D. S., Gunnerson, C. G., Mara, D.D., Appropriate Sanitaion Alternatives. A Planning and Design Manual, The World Bank, Washington, D. C., 1982.
7. Development Information Centre, US Agency for International Development, National Demonstration Water Project, Institute for Rural Water and National Environmental Health Association, Water for the World Series:
   a. Designing Septic Tanks, Technical Note No. SAN.2.D.3.
   b. Designing Non-conventional absorption disposal systems, Technical Note No. SAN.2.D.8.
   c. Constructing, operating and maintaining surface absorption systems, Technical Note No. SAN.2.C.1.
   d. Constructing, operating and maintaining non-conventional absorption systems, Technical Note No. SAN.2.C.8.
   e. Operating and maintaining septic tanks, Technical Note No. SAN.2.O.3.
8. بشير محمد الحسن وعصام محمد عبد الماجد "الصناعة والبيئة: معالجة المخلفات الصناعية"، معهد الدراسات البيئية، جامعة الخرطوم، الخرطوم، السودان، 1986.
9. Scott, J.S. and Smith, P.G., Dictionary of Waste and Water Treatment, Butterworths, London, 1981.
10. Abdel-Magid, I.M., Hago, A., Rowe, D.R., Modelling Methods for Environmental Engineers, CRC Press/Lewis Publishers, Boca Raton FL, 1996 (Under publication).
11. Metcalf and Eddy Inc., Wastewater engineering: treatment disposal reuse, 3rd Ed., Mc Graw-Hill Inc., New York, 1991.
12. Polprasert, C. and Rajput, V.S., Septic Tank and Septic Systems, Environmental Sanitation Reviews No. 718, Asian Institute of Technology, 1982.
13. Wagner, E., Lanoix, J., Excreta Disposal for Rural Areas and Small Communities, WHO Monograph No.39, 1958.
14. Mara, D., "Sewage treatment in hot climates", Wiley and Sons, Chichester 1980.
15. Nathanson, J.A., Basic Environmental Technology: Water Supply, Waste Disposal and Pollution Control, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersy, 1986.

الفصل السابع

معاجة الفضلات والمخلفات السائلة في المناطق الريفية

7-1 مقدمة

توجد عدة طرق تستخدم في الريف والبوادي منذ حقب طويلة من الزمان للتخلص من الفضلات والمخلفات السائلة. ومن هذه الطرق نظام الجردل، ونظام المرحاض (ومنه: مرحاض الحفرة، ومرحاض الحفرة العميقة، ومرحاض الخندق، ومرحاض السماد، والمرحاض الكيميائي، ومرحاض الحفرة المحسن المهواة، والمرحاض المائي، والمرحاض المعلق، ومرحاض ريد)، وحوض التحليل اللاهوائي، وحوض امهوف، وشبكة الصرف الصحي المتصلة بمحطة معالجة، وغيرها من الأساليب المستحسنة أوالبائدة. وتصعب المفاضلة بين هذه الطرق لتداخل العوامل المؤثرة في ذلك مثل: النواحي الاقتصادية، والاجتماعية، والدينية، والعقائدية، والثقافية، والصحية، والتقنية، والسياسية والمعتقدات السائدة بالمنطقة. ويبين جدول 7-1 مفاضلة بين بعض نظم التخلص من الفضلات والمخلفات السائلة. ولابد من أخذ الحيطة والحذر عند التعامل مع الفضلات والمخلفات السائلة والحمأة لاحتمال إحتوائها على أحياء مجهرية ضارة (أنظر جدول 7-2).

جدول 7-1 مقارنة بين بعض وحدات المعالجة {1، 2، 3}

النظام	النواحي الصحية	تكاليف الإنشاء	تكاليف الصيانة	مصدر الماء	سهولة الإنشاء والتشييد
الجردل	سيئة	منخفضة	عالية	بعيد	سهلة
مرحاض الحفرة	متوسطة	منخفضة	منخفضة	بعيد	سهلة عدا في الأرض الطينية الرطبة أو في التربة الصخرية
مرحاض محسن	متوسطة	متوسطة	منخفضة	قريب	سهلة عدا في الأرض الطينية الرطبة أو في التربة الصخرية
مرحاض مائي	جيدة	عالية	منخفضة	قريب	تحتاج إلى بناء ماهر
حوض تحليل لاهوائي	ممتازة	عالية جداً	منخفضة	متصل بأنابيب	تحتاج إلى بناء ماهر
شبكة صرف صحي	ممتازة	عالية جداً	عالية	متصل بأنابيب	تحتاج إلى مهندس وعمال مهرة

جدول 7-2 بعض أنواع الجراثيم الموجودة في الحمأة {1، 3، 4}

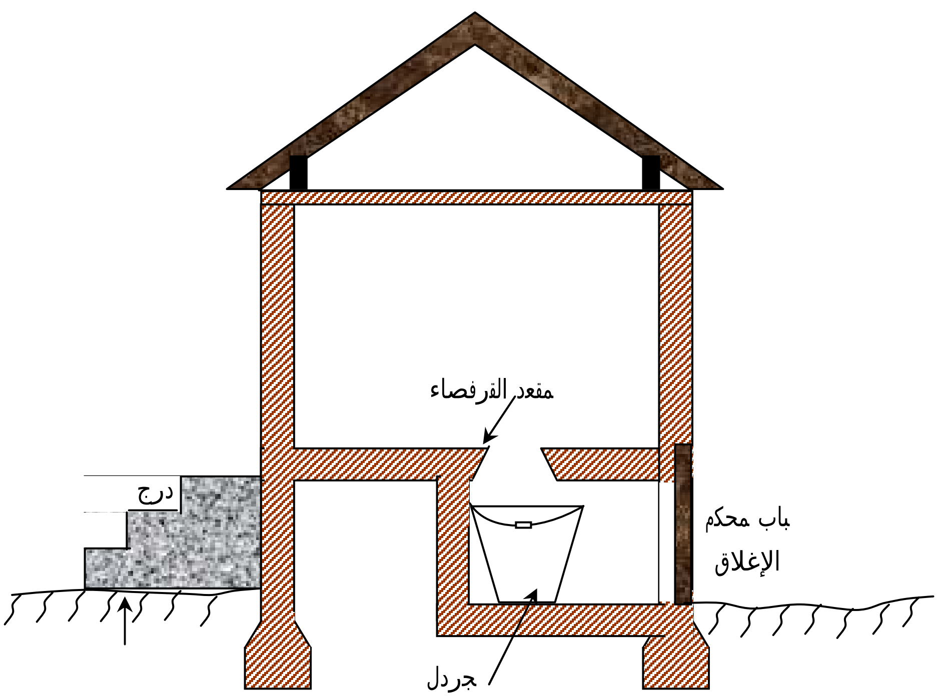
الجرثومة	المرض	طرق الانتشار
ب)حمات معوية Enterviruses		
الحمة السنجابية Poliovirus	إلتهاب السحاياMeningitis ، شلل Paralysis، حميات	براز- فم، إنسان ___ إنسان
الحمة الإيكوية Echovirus	إلتهاب السحايا، إسهال، رشح، حمة، إلتهابات تنفسية	براز- فم، إنسان ___ إنسان
حمة كوكساكية Coxsackievirus	إلتهاب السحايا، حمة، إلتهابات تنفسية، حمة، إلتهاب القلبMyocarditis، شذوذ القلب الخلقىCongenital heart anomalies ، وجع الجنبةPleurodynia	
إلتهاب الكبد Hepatitis type A	إلتهاب الكبد المعدي	براز- فم، إنسان ___ إنسان
حمة Norwalk	إسهال، إستفراغ، حمى	براز- فم، إنسان ___ إنسان
حمة Calicivirus	إلتهاب المعدة والأمعاء	براز- فم، إنسان ___ إنسان
حمة نجمى Astrovirus	تضيق المعدة Gastroenteritis	
حمة دوار Rotavirus	إسهال، إستفراغ	براز- فم، إنسان ___ إنسان
حمة غدية Adenovirus	إلتهابات تنفسية، إلتهاب العيون	
ب) بكتريا		
السلمونيلةSalmonella	برداء التيفود، برداء باراتيفودية، داء السلمونيلاتSalmonellosis	براز- فم، إنسان ___ إنسان
الشيغلة Shigella	دستاريا باسلية	براز- فم، إنسان ___ إنسان
الإشريكية القولونية الجرثومية	إلتهاب المعدة والأمعاء	براز- فم، إنسان ___ إنسان
اليرسنية Yersinia enterocolitica	إلتهاب معوي قولوني	حيوان _____ إنسان
الضمة الهيضيةVibrio cholerae	الكوليرا (الهيضة)	براز- فم، إنسان ___ إنسان
أنواع البريمية.Leptospira spp	الحمى الخمجية Weil's disease	تتوالد بالحيوانات (خاصة القوارض) في البول وتجاب المرض للإنسان عن طريق الجلد أو الفم أو العين، حيوان ______ إنسان
جـ) بروتوزوا		
المتحولة الحالة للنسجEntamoeba histolytica	دستاريا أميبية، خراج الكبدLiverabscess، قرحة قولونيةColonic ulceration	براز- فم، إنسان ___ إنسان
الجياردية اللمبلية Giardia lamblia	إسهال، سوء الإمتصاصMalabsorption	براز- فم، إنسان ___ إنسان
القربية القولونية Balantidium coli	إسهال خفيف، قرحة قولونية Colonic ulceration	براز- فم، إنسان أو خنزير ___ إنسان
د) ديدان Helminths		
الصفر الخراطينيAscaris lumbricoides الديدان الكروية (Roundworm)	داء الصفر Ascariasis	إنسان __ تربة __ إنسان

الملقوة العفجية Ancylostoma duodenale (الدودة الشصية Hook worm)	أنيميا	إنسان __ تربة __ إنسان
الفتاكة الأمريكية Necator americanus الدودة الشصية (Hook worm)	أنيميا	إنسان __ تربة __ إنسان
الشريطية العزلاء Taenia saginata	داء الشريطيات Taeniasis	إنسان __ بقر __ إنسان

7-2 نظام المرحاض Latrine system

مرحاض الجردل Bucket latrine

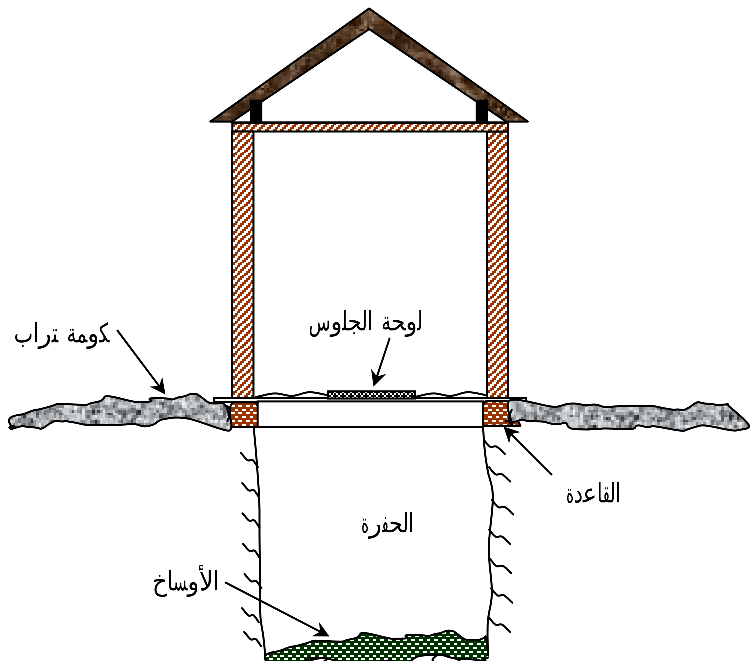
مرحاض الجردل يعني استخدام وعاء(جردل) من الحديد المجلفن للتجميع اليومي للفضلات (أنظر شكل 7-1). ويتم تفريغ الوعاء بوساطة عامل الصحة ومن ثم تحمله السيارات إلى نقاط التجمع والمعالجة أو التخلص النهائي. وقد تُرك استخدام هذا النظام في معظم المناطق لرداءته، وتسببه للأذى الجسدي والنفسي لعامل النظافة والجمهور المستخدم له، ولما يأتي به من مشاكل ذباب وروائح نتنة.



شكل 7-1 مرحاض الجردل (الدلو)

مرحاض الحفرة Pit latrine

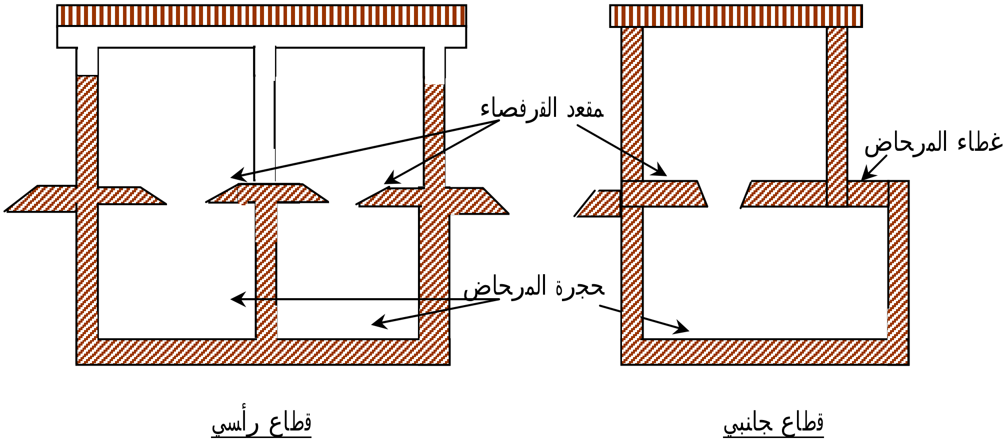
مرحاض الحفرة عبارة عن تجويف رأسي في باطن الأرض لتخزين الفضلات السائلة (أنظر شكل 7-2). ويغطى أعلى التجويف بسقف من الخرسانة به فتحة أومقعد للجلوس. ويفيد السقف الخرساني في الأمان من الإنهيار وعدم سقوط الأطفال داخل المرحاض، كما ويمنع إنتقال الديدان الشصية Hookworm ويحد بعض الشيء من توالد الذباب عند استخدام غطاء محكم للفتحة. ومن أهم مساوئ مرحاض الحفرة: إنبثاق الروائح النتنة، وتوالد الذباب والبعوض وغيرها من نواقل الأمراض، وربما تلوث الماء الجوفي الضحل، وخطورة استعمال المنشأة لعدم تصميم البناء وفقاً لمواصفات محددة. ويمكن استخدام المرحاض لعائلة واحدة داخل المنزل أو بقربه، كما ويمكن استخدامه لمجموعة سكانية أو للعامة في مناطق العمل والإنتاج والتجمعات المؤقتة (مثل مخيمات النازحين أو اللاجئين أو الكشافة أو المعسكرات). وتفضل المراحيض الخاصة لنظافتها وسهولة المحافظة عليها.



شكل 7-2 مرحاض الحفرة

مرحاض السماد Compost latrine

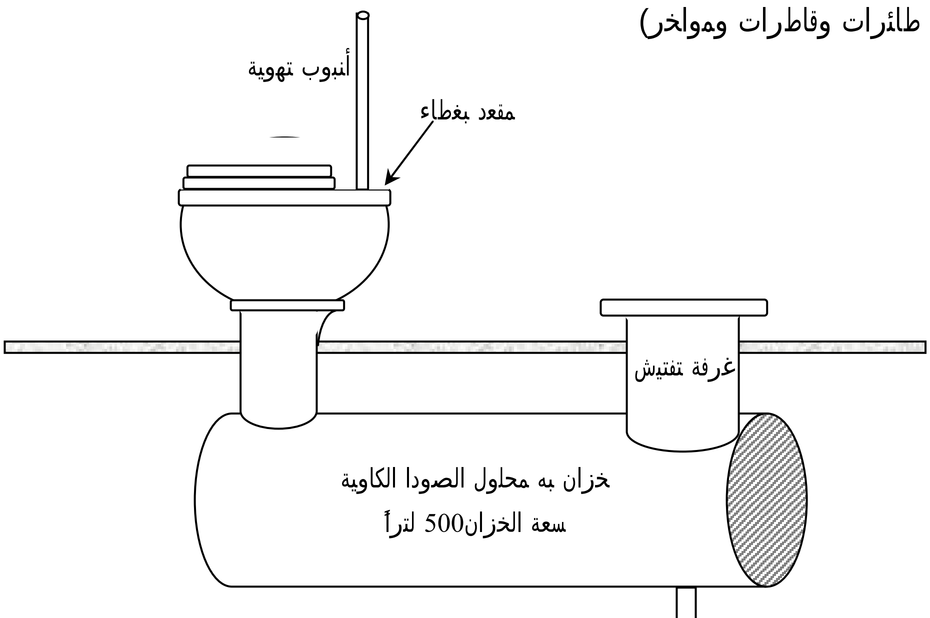
يحتوي هذا النوع من المراحيض على حوضين أو أكثر من مواد قليلة المسامية (أنظر شكل 7-3). ويتم استخدام الحوض التالي عند إمتلاء الحوض الأول. ويقفل الحوض الممتلئ لمدة قد تصل إلى بضع أشهر ثم تفرغ محتوياته لتستخدم في تسميد الأرض الزراعية. ولترفيع عمل المرحاض يستحسن إضافة مواد غنية بالكربون لمكوناته (مثل: الأوراق الجافة والعشب والتبن)، وفصل الماء والبول والسوائل عنه.



شكل 7-3 مرحاض السماد

المرحاض الكيميائي Chemical latrine

ويتكون هذا المرحاض من خزان من معدن مناسب أو ألياف معينة (أنظر شكل 7-4). ويوضع بداخله محلول الصودا الكاوية ليقوم بتحلل الفضلات وقتل الجراثيم. وقد يزود المرحاض بنظام خلط لتقليب المحتويات. وعند إمتلاء المرحاض يعمل على التخلص الملائم من مكوناته. ويفضل استخدام هذا النظام لمناطق محددة مثل وسائل النقل (من طائرات وقاطرات ومواخر)



شكل 7-4 المرحاض الكيميائي

مرحاض الحفرة المحسن المهوى Ventilated Improved Pit Laterine (VIP latrine)

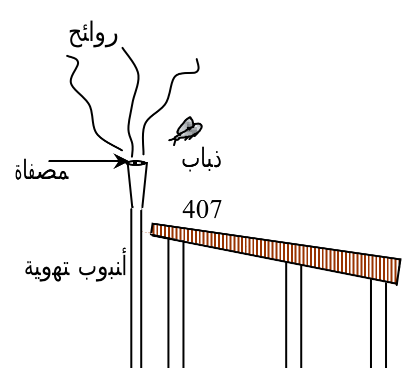
تم تصميم مرحاض الحفرة المحسن المهواة بطريقة تكفل الأمان لمستخدميه كما وأنه مبني بحيث يبقى فترة طويلة لا تقل عن سنتين، وتنحرف الحجرة الساترة للمرحاض بعض الشيء عن التمركز {5أ،6}. وتضم أنماط هذا المرحاض: المرحاض ذو الحفرة الواحدة وآخر ذو حفرتين وثالث ذو حفر متعددة.

وفي هذا المرحاض اُدخلت التحسينات التالية على مرحاض الحفرة التقليدي (أنظر شكل 7-5):

6. إضافة أنبوب تهوية (هواية): يرتفع الهواء داخل حجرة المرحاض ويخرج إلى الغلاف الجوي (بفضل حركة الرياح المارة أعلى أنبوب التهوية) مما يولد تيار هواء عبر فتحة الجلوس. ويعمل هذا التيار الهوائي على إزالة الروائح الناتجة من تحلل المواد البرازية داخل المرحاض. كما ويعمل أنبوب التهوية على التحكم في الذباب، وذلك نسبة إلى أن أنثى الذباب تنجذب إلى الروائح المنبثقة عبر أنبوب التهوية أثناء بحثها عن منطقة آمنة تضع فيها بيضها، غير أنها تُمنع من المرور داخله بفضل المصفاة الموجودة أعلى الأنبوب. وهذا لا يحول دون دخول القليل من الذباب إلى المرحاض عن طريق فتحة الجلوس، ووضع بيضه داخل المرحاض. ويفضل أن تظل غرفة المرحاض مظلمة، بحيث تتسرب أشعة الضوء فقط عبر أنبوب التهوية. وعليه فعندما تحاول الحشرة الكاملة من الذباب المتوالد حديثا الطيران، منجذبة نحو حزمة الضوء، تحد من خروجها المصفاة، مما يسمح بقتلها داخل المرحاض. ومن المستحسن نظافة أنبوب التهوية من عام لآخر من نسيج العنكبوت بصب جردل أو دلو من الماء داخله. وعادة تُستخدم الأنابيب المصنعة من الأسمنت الأسبستوس AC والبلاستيك (كلوريد البوليفين PVC)، كما ويمكن استخدام مواد محلية أقل كلفة (مثل: الطوب، وقوالب الخرسانة، وأعواد البوص المغلفة بعجينة أسمنتية، والخيزران (الغاب المشقوق)، والخيش المقوى بشبك صلب.
7. تركيب مصفاة (شبكة) أعلى أنبوب التهوية لمنع دخول وخروج الذباب المنجذب برائحة البراز المتصاعدة من أنبوب التهوية. وتُصنع المصفاة من ثقوب تقل سعتها عن 1 ملم مربع، من فولاذ لا يصدأ، أومن ألياف زجاجية، لتقاوم الغازات الحارقة الناتجة من الحفر.
8. إنشاء غرفة مظلمة للمرحاض للحد من دخول وخروج الذباب.

وهذه المواصفات المتبعة في المرحاض المحسن لا تكفي للحد من توالد البعوض الماص Culex pipiens والذي يتوالد في المرحاض الفائض ويقوم بنقل داء الخيطيات (داء الفلارياFilariasis) وذلك لأن هذا النوع من البعوض لا ينجذب نحو الضوء ويجد طريقه عبر المنافذ المختلفة.

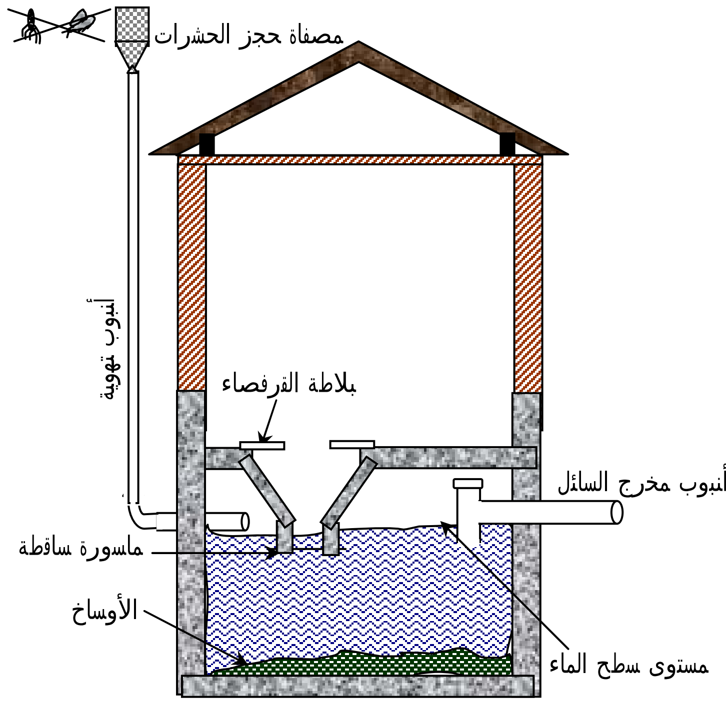
9. إضافة مصيدة ذباب فوق فتحة الجلوس بدلاً من الغطاء.
10. إضافة كريات البوليسترين القابلة للتمدد Expanded polystyrene beads لتكون طبقة طافية تمنع أنثى البعوض من وضع البيض، كما تمنع اليرقات من التنفس. ويتم إنتفاخ وتمدد الحبيبات بتسخينها في الماء بالقرب من موقع المرحاض ثم توضع داخله لتكون طبقة سمكها 20 ملم {1، 4، 6}.



ومن العوامل المؤثرة في استخدام هذه الطريقة: جيولوجية المنطقة وطبغرافيتها (خاصة وجود الصخور أو الرمال)، وارتفاع منسوب المياه الجوفية، ومصادر المياه بالمنطقة، ومعدل تراكم الحمأة، وعدد المستخدمين للمنشأة، وفترة إمتلاء المرحاض، وخواص مواد البناء المحلية. وكقاعدة عامة يمنع بناء المرحاض لمسافة أقل من 10 أمتار من أقرب بئر جوفي أو مصدر لمياه الشرب، كما ولا يشيد المرحاض في منطقة تعلو المصدر المائي. وتزيد هذه المسافة عندما يتم استخدام الرافعات لضخ الماء من الآبار. ومن المعروف ان البكتريا لا تتغلغل لمسافة أكبر من المتر أو المترين في معظم أنواع التربة غير المشبعة، غير أنها قد ترتحل لمسافات أكبر من 100 متر في تربة الحصى أدنى منسوب المياه الجوفية وفي الصخور المتشققة والمتصدعة .وعامة ينتشر التلوث البكتيري للمسافة التي تسيرها المياه الجوفية في مدة عشرة أيام {1}، كما وأن التلوث الكيميائي يتحرك لمسافة أكبر. وللحد من التلوث البرازي بالبكتريا من الأنسب أن تزيد المسافة بين قعر المرحاض وأعلى منسوب للمياه أو سطح الصخور عن المترين.

المرحاض المائي:

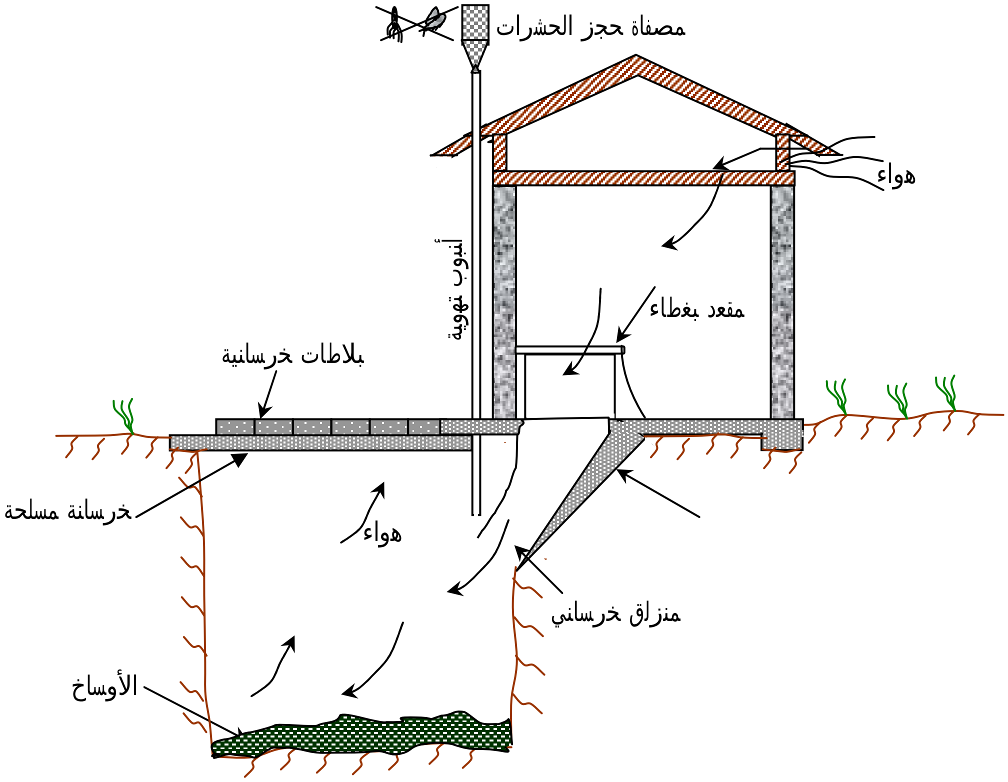
المرحاض المائي عبارة عن خزان تحليل يقع مباشرة تحت بلاطة الجلوس وتصل اليه الفضلات عن طريق ماسورة تمتد إلى تحت سطح السائل به. وتكون هذه الماسورة حاجز مائي بسيط يمنع انتشار الروائح، ويقلل توالد الذباب (أنظر شكل 7-6). وأما السائل النهائي المعالج الخارج من المرحاض فيتدفق إلى بيارة تشرب أو يتم التخلص منه بصورة عملية مناسبة وصحية.



شكل 7-6 المرحاض المائي

مرحاض ريد عديم الرائحة

مرحاض ريد هو عبارة عن تعديل لمرحاض الحفرة المحسن المهواة. ومن مزايا هذا المرحاض خلوه من الرائحة. وتسقط الفضلات السائلة في حفرة المرحاض بوساطة منحدر (منزلق) يوجد أسفل المرحاض (أنظر شكل 7-7). ولتفادى المشاكل ينبغي نظافة المنحدر لمنع تراكم الأوساخ ومن ثم إنبعاث الروائح وتوالد الحشرات والهوام.



شكل 7-7 مرحاض ريد عديم الرائحة

7-3 أحواض التحليل اللاهوائي (أو التعفن أو التخزين) Septic Tanks

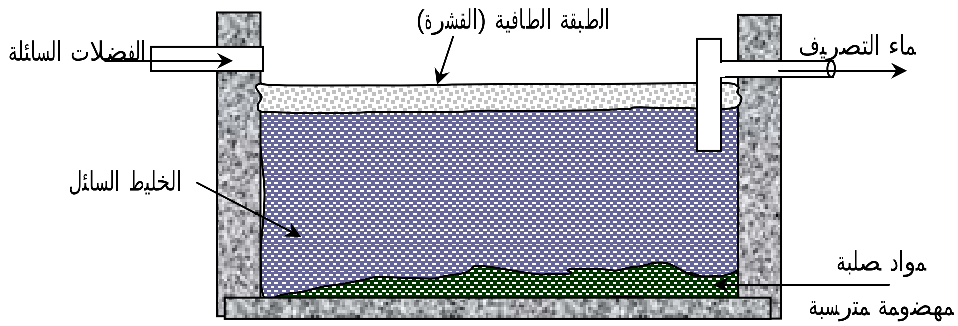
حوض التحليل عبارة عن صندوق (أو غرفة) مستطيل أو أسطواني الشكل يوضع تحت الأرض ويقوم بإستقبال الفضلات السائلة المنزلية وحفظها لمدة من الزمن يسهل معه فصل المواد الصلبة وترسيبها. ومن مزايا حوض التحليل ما يلي:

- سهولة الاستخدام والصيانة.
- المرونة والملاءمة لاستقبال فضلات متنوعة.
- عدم إحتوائه على أجزاء متحركة مما يقلل من الصيانة الميكانيكية.
- النظافة كما وتنعدم فيه مشاكل الروائح والذباب.

مناطق المعالجة بحوض التحليل اللاهوائي:

توجد بحوض التحليل ثلاثة طبقات تضم: (أنظر شكل 7-8)

- ❖ طبقة الأوساخ الطافية على سطح الحوض.
- ❖ طبقة السائل العالق والتي تبدأ فيها عمليات الترسيب وانتشار المواد الذائبة للطبقة التي تليها لتكون قشرة على سطح الحوض.
- ❖ طبقة الأوساخ المترسبة والمهضومة.



شكل 7-8 حوض التحليل اللاهوائي

وتخضع المواد المترسبة لبعض صور الهضم والتفسخ الحيوي اللاهوائي لتنتج الحمأة ذات اللون الأسود. كما وتتكون في الحوض طبقة طافية من الدهون والشحوم وبعض الفضلات، والتي تخضع بدورها لتفتيت حيوي، مكونة قشرة المواد الطافية ذات اللون الأبيض البني. وما بين الطبقتين (الطافية والمترسبة) يتكون سائل أخضر اللون (الحمأة المعالجة) والتي تجد طريقها لحقول الإمتصاص.

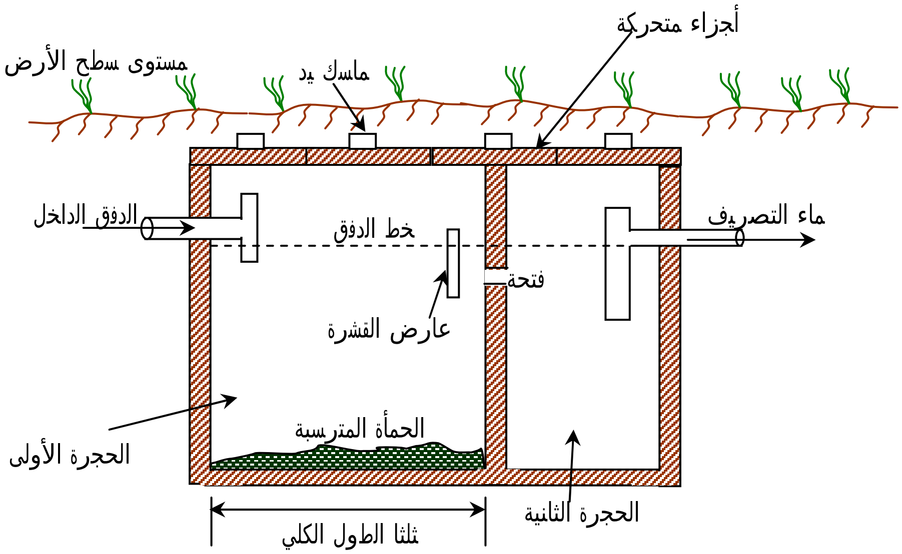
ولإتمام المعالجة يترك السائل بالحوض لزمن مكث مناسب. ومن أهداف زمن المكث ما يلي:

- زيادة عمليات ترسيب وهضم المواد الصلبة.
- تقليل تكلفة الإنشاء.
- تقليل فترات النظافة.
- زيادة عمر حقول الإمتصاص.

ويمكن تعريف زمن المكث على أنه تلك الفترة الزمنية اللازمة ليتحرك خلالها جزيئ من الماء من مدخل الحوض إلى مخرجه. ويتراوح زمن المكث بين يوم ويومين عند أخذ متوسط الدفق اليومي في الحسبان، وهذا يخفض من التكلفة بالنسبة للأحواض الصغيرة. كما ويمكن أخذ زمن المكث بحوض التحليل مساوياً ثلاثة أيام بالنسبة للأحواض الكبيرة. وخلال هذه المدة تخضع الأوساخ المترسبة لتفاعلات حيوية. ثم تزاح المترسبات كل عام مثلا أو كلما اقتضى الحال ذلك.

تصميم حوض التحليل اللاهوائي:

عادة تصمم أحواض التحليل اللاهوائي بغرفتين، حجم إحداهما ضعف الأخرى (أنظر شكل 7-9). يتم في الحجرة الأولى ترسيب معظم المواد الصلبة، كما وتتم فيها معظم عمليات التفسخ الحيوى. أما الحجرة الثانية فتعمل كجهاز ترسيب نهائى، يتم فيها حجز المواد الصلبة المتبقية وترسيب بعض الحبيبات الدقيقة والخفيفة. وفي هذه النظم للمعالجة فإن الأوساخ المترسبة ربما جرفت إلى الأعلى بوساطة الغازات الناتجة من التفتيت الحيوى للمواد العضوية مما يبين أهمية الغرفة الثانية. ومن الأنسب بالنسبة للحوض الخرسانى أن يطلى بطبقة عازلة من البيوتمين مثلا وذلك بغرض حماية الخرسانة ومنع تفتيتها بخليط الحمأة الحارق.



شكل 7-9 رسم تخطيطي لحوض تحليل لا هوائي ذي غرفتين

ويمكن حساب حجم الحوض من المعادلة 7-1.

$$V = Q*t \qquad 7\text{-}1$$

حيث:

V = حجم الحوض (م^3).

Q = دفق الفضلات السائلة للحوض (م^3/يوم).

t = زمن المكث بالحوض (يوم).

وعادة يؤخذ حجم الحوض ليساوي ضعفين إلى ثلاثة أضعاف حجم الدفق اليومي التصميمي {2، 4، 8}. ولتحديد أبعاد الحوض يمكن اللجؤ إلى جداول معدة مسبقاً أو بأخذ المعادلات التجريبية. يغطي السائل في الحوض 80 بالمائة من الارتفاع الكلي للحوض وتترك 20 بالمائة من الحجم أعلى مستوى سطح السائل لتعطي المسافة المطلوبة لتراكم القشرة الطافية. ويبين جدول 7-3 أبعاد مقترحة لحوض التحليل اللاهوائي.

كما ويمكن تقدير حجم حوض التحليل اللاهوائي من المعادلة 7-2 {1، 4، 9}

$$V = 180*P + 2000 \qquad 7\text{-}2$$

حيث:

V = أقل حجم لحوض التحليل اللاهوائي (لتر).

P = عدد الأفراد المستخدمين للحوض (فرد).

أما عند استخدم قاطعات النفايات Garbage grinders فيمكن تقدير حجم حوض التحليل اللاهوائي من المعادلة 7-3 {4، 9، 10}.

V = 250*P + 2000 7-3

. جدول 7-3 أبعاد مقترحة لحوض التحليل اللاهوائي

الحجم (لتر)	الطول الداخلي (م)	العرض الداخلي (م)	عمق السائل (م)
1100	1.5	0.7	1.1
1500	1.8	0.9	0.9
1900	1.8	0.9	1.2
2800	2.3	1.1	1.2
3800	2.7	1.2	1.2
4700	3.4	1.2	1.2
5700	3.2	1.5	1.2
7600	4.3	1.5	1.2
9500	4.4	1.8	1.2
11000	5.2	1.8	1.2
13000	4.9	1.8	1.5
15000	4.9	2.2	1.5
19000	5.9	2.2	1.5
23000	6.2	2.4	1.5
26000	7.3	2.4	1.5
30000	7.0	2.4	1.8
38000	8.5	2.4	1.8

المصدر: المرجع a7، منشور بإذن

وعند استخدام حوض التحليل اللاهوائي للمدارس وماشاكلها فيمكن تقدير حجم الحوض من المعادلة 7-4 {4،9،10}.

V = 90*P + 2000 7-4

يمكن أن تصمم أحواض التحليل اللاهوائي من حوض واحد أو عدة أحواض متصلة على التوالي. وأبسط أنواع الأحواض تكون مستطيلة أو دائرية الشكل. ولا تُصمم مصافي بالأحواض بغية تقليل الترميم والأصلاح. ومن أمثلة المواد المستخدمة لتشييد الحوض: الخرسانة، والخرسانة المسلحة، والخرسانة المخرمة، والقوالب الخرسانية، والطابوق، والطوب، والآجر، والحجارة، والألياف الزجاجية، والمواد متعددة الأثيلين (بولى اثيلين)، والحديد المطلي، والحديد المجلفن. وتستخدم مواسير مبسطة أو هدارات صغيرة (تعمل لمنع تعلق المواد بعد ترسيبها، وتحول دونما إضطراب المواد الطافية) على كلٍ من مدخل ومخرج الحوض. وتُصمم الأحواض ليكون بها فراغ كافي لتخزين الأوساخ لعدة أشهر.

ولابد أن يحتوى حوض التحليل اللاهوائي على فتحات تهوية أو منافس Vents للأسباب التالية:

- منع دفق الحمأة من الحوض إلى المنازل.
- تسهيل خروج غاز الميثان والذى ربما سبب الإنفجارز

- تسهيل خروج الغازات ذات الرائحة الكريهة المنبثقة من داخل الحوض. وتنتج هذه الغازات عندما تقوم البكتريا الاتيارية بتفسخ بعض مكونات الحمأة. ويمكن أن تتحرك هذه الغازات من أعلى سطح سائل الحوض عبر فتحة التهوية إلى المصرف الصحي المنزليالمتصل بالحوض، ومن ثم إلى سطح المنزل عبر أنابيب التهوية المتصلة بالمصرف.

وهنالك بعض النقاط التي يجب عملها عند تشغيل الحوض بغية الحصول على أكبر كفاءة ومنها على سبيل المثال:

- عدم استخدام مبيدات البكتريا والحشرات والهوام والنواقل داخل الحوض بدون التأكد من وجود درجات التخفيف اللازمة.
- عدم التخاص من المطهرات داخل الحوض، إذ أنها تقلل من كفاءة الحوض لإزالة المواد الصلبة العضوية.
- عدم إزالة الطبقة الطافية (عند تفريغ الحوض والتخاص من مكوناته) لاسيما وتكوينها يحتاج إلى مدة طويلة (ربما أكثر من عام).
- اختيار الموقع الجيد للجهاز لتفادي أي نتائج سلبية، فمثلاً يجب أن يوضع الحوض:
  1. في غير مهب الريح.
  2. على بعد أقله 15 متراً من أقرب نقطة لأخذ الماء أو مصدر ماء.
  3. على بعد أقله 3 أمتارمن الجيران.
  4. في منطقة غير منخفضه لتجنب تجمع المياه فوقه أو من حوله.
  5. في منطقة بعيدة عن طريق مرور المركبات والسيارات.

ويبين جدول 7-4 المسافات المناسبة لحوض التحليل وحقول الإمتصاص بعيداً عن المبان] (لكيلا تتأثر الأثاثات) ومصادر المياه (لمنع تلوثها).

جدول 7-4 المسافات المطلوبة لحوض التحليل وحقل الإمتصاص {2، 4، 7}

المنطقة المطلوب حمايتها	أقل مسافة مطلوبة (متر)	
	حوض التحليل اللاهوائي	حقل الإمتصاص
المباني	1.5	3
الآبار المنزلية وخطوط السحب	15	30
الآبار العامة وخطوط السحب	30	60
خطوط المياه تحت الضغط	3	3
مصادر المياه	15	30
البحيرات	15	30

كما ويجب عند التصميم حساب أبعاد الحوض واختيار المواد الخام الواجب استخدامها والأيدي العاملة المناسبة للتشييد والصيانة. وبعض معايير التصميم تحوي النقاط التالية {1، 2، 4، 7، 8، 10، 11}:

- إدخال كل المخلفات والفضلات السائلة اليومية (الناتجة في البناية أو منطقة الحوض) للمعالجة. وهذه المخلفات تشمل الفضلات السائلة المنزلية ولكنها تستبعد مياه الأمطار والصرف السطحي.
- تُصنع جدران الحوض من الخرسانة أو غيرها من المواد المناسبة الموجودة محلياً. ويجب أن تكون هذه الجدران غير مسامية لمنع نفاذ الماء. ولتحقيق هذا الأمر يمكن تغطية جدران وأرضية الحوض بطبقة من الأسمنت سمكها 25 ملم تشيد على مرحلتين.
- تشييد قاعدة الحوض من الخرسانة المسلحة بسمك 100 إلى 150 ملم. ويتم وضع هذه القاعدة على طبقة من الزلط أو الحجارة المكسرة أو الرمل يبلغ سمكها حوالي 75 ملم.
- إنشاء سقف غير مسامى للحوض من الخرسانة المسلحة. ويمكن تصميم السقف في شكل قطع عرض كل منها 300 ملم بعرض الحوض. وتوجد بكل من هذه القطع روافع على الأطراف تساعد رفعها وإزاحتها للولوج إلى الحوض للتنظيف وإجراء أعمال الترميم والصيانة. ويمكن وضع غرفة تفتيش في قطعة أو إثنتين من هذه القطع السقفية. وعند تنظيف الحوض يمكن إزالة واحدة من قطع السقف أو كلها متى ما اقتضى الحال ذلك.
- يؤخذ عمق السائل بالحوض في حدود 1.1 أو 1.2 متراً، كما ويمكن أخذ عمق أكبر قد يصل إلى 1.8 م.
- يمكن أخذ طول الحوض ليساوي 2 أو3 أضعاف عرضه، كما موضح في المعادلة 7-5.

$$L = (2 \text{ or } 3)*B \qquad 7\text{-}5$$

حيث:

L = الطول الداخلي لحوض التحليل اللاهوائي (م).

B = العرض الداخلي لحوض التحليل اللاهوائي (م).

وعند تصميم الحوض من غرفتين تؤخذ سعة الغرفة بالقرب من مدخل الفضلات السائلة ضعف سعة الغرفة الثانية. وبذا يكون طول الغرفة الأولى كما موضح في المعادلة 7-6.

$$L_1 = 2L/3 \qquad 7\text{-}6$$

حيث:

L_1 = الطول الداخلي للغرفة الأولى (أقرب للمدخل) (م).

L = الطول الداخلي للحوض (م).

ولابد من مراقبة أداء حوض التحليل والعمل على صيانته. ويجب العمل على ترميم الحوض على مدار العام لضمان استمرار كفاءة التشغيل، وإطالة عمر الحوض، وتفادى تدهوره وانهياره. وعادة فإن الحوض ذو الترميم والصيانة الجيدة يعيش لمدة 20 عاماً أو أكثر. وعند مراقبة الحوض فإنه غالباً يحتاج إلى نظافة:

- عندما يصل عمق الأوساخ إلى ثلث عمق السائل الموجود بداخله أو يزيد عنه.
- عندما تكون الطبقة الطافية في حدود 75 ملم أدنى أنبوب مخرج الحوض.

مثال 7-1:

صمم حوض تحليل لاهوائي ليخدم أسرة تتكون من 12 فرد.

الحل:

1- المعطيات: P= 12 فرداً.

2- أوجد حجم الحوض باستخدام المعادلة: $V = 180*P + 200$

وعليه: $V = 12\times 180 + 2000$ لتراً.

3- يمكن أخذ ارتفاع السائل بالقرب من المخرج مساوياً 1.2 م. ويمكن أخذ نسبة الطول إلى العرض كما في المعادلة: $L = 2.5*B$

وعليه يمكن إيجاد مساحة الحوض من المعادلة: $A = V/h$

$A = 4160\times10^{-3} \div 1.2 = 3.47$ م^2 $2.5 \times B^2$

وعليه: $B = 1.18$ م

$L = 2.5\times1.18 = 2.94$ م

4- أوجد ارتفاع السائل عند المدخل بافتراض أن ميل أرضية الحوض تساوي 0.1:

ارتفاع السائل عند المدخل = الميل×طول الحوض + ارتفاع السائل بالقرب من المخرج

$= 0.1\times2.94 + 1.2 = 1.49$م

5- أوجد الارتفاع الكلي للحوض = ارتفاع السائل عند المدخل + مسافة قعر أنبوب المدخل من سطح سائل الحوض + المسافة بين أنبوب المدخل وغطاء الحوض = $1.49 + 0.075 + 0.3 = 1.87$ م

6- أوجد مسافة قعر كوع الأنبوب الداخل من قمة الحوض = 0.3 + 0.075 + 20 بالمائة من ارتفاع السائل = $0.3 + 0.075 + 0.2\times1.2 = 0.62$ م

7- أوجد مسافة قعر كوع الأنبوب الخارج من قمة الحوض = 0.3 + 0.075 + 40 بالمائة من ارتفاع السائل = $0.3 + 0.075 + 0.4\times1.2 = 0.86$ م

8- عند استعمال غرفتين للحوض يمكن إيجاد طول الغرفة الأولى من المعادلة $L_1 = 2L/3$

وعليه: $L_1 = 2\times2.94 \div 3 = 1.96$ م.

7-4 التخلص النهائي من السائل المعالج بحوض التحليل اللاهوائي

تُنزح الأوساخ أو الحمأة من حوض التحليل اللاهوائي وتؤخذ إلى أقرب محطة معالجة أوساخ لإتمام معالجتها، أو ربما أمكن التخلص منها بالدفن في الأرض. وعند اللجؤ إلى طريقة الدفن لابد من توخي الحيطة وأخذ الحذر لتلافي أى تلوث للمياه الجوفية بالمنطقة وللحد من إنبثاق أى مشاكل أخرى ضارة كانت أو منفرة {4}. من الطرق المتبعة للتخلص من السائل المعالج بحوض التحليل اللاهوائي: حقول الإمتصاص، وآبار الإمتصاص، وروابي البخر والنتح، و أحواض التبخر، أو يمرر السائل إلى مرشحات رملية للمعالجة. كما ويمكن استخدم السائل المعالج بحوض التحليل اللاهوائي لري نباتات معينة. ويعتبر السائل المعالج الناتج من حوض التحليل اللاهوائي

خطراً إذ تعلو فيه قيمة الحاجة الحيا-كيميائية للأكسجين والقيمة المتوسطة للمواد الصلبة العالقة. كما وقد وجدت بالسائل ملوثات مختلفة تضم مواد كيميائية مثل: أملاح الكلوريد والنترات والفوسفات وبقايا الزيوت وزيت المحرك وبعض المواد الكربوهيدراتية والجازولين بالإضافة إلى جراثيم الأمراض من بكتريا وحيوانات أوالي وحمات وديدان وبيض. (أنظر جدول 7-2).

ومن الأهمية بمكان العمل على نظافة الحوض إذ يؤدي عدم التنظيف الجيد إلى طمح الحمأة والمواد الطافية وتراكمها، مما يؤدي إلى إنسداد مخرج الحوض، وتأثر البناية بالفضلات غير المعالجة، أو غمر حقول الإمتصاص وإنسداد مسامات التربة، أو زيادة النمو الحيوي والذي يؤدي بدوره إلى إنسداد المسامات وتقليل التخلخل.

حقول الإمتصاص (خنادق التشرب) Absorption fields

عند التخلص من السائل بالتسرب إلى باطن الأرض فلابد من تجنب تلوث المياه الجوفية. ويمكن حساب مساحة حقول الإمتصاص من المعادلة 7-7.

$$Q = 204*t^{0.5} \qquad 7\text{-}7$$

حيث:

Q = حجم دفق السائل لحقول الإمتصاص (لتر/يوم/م^2)

t = الزمن اللازم ليهبط سطح السائل مسافة 25 ملليمتر عند إجراء اختبار التخلخل Percolation test (دقيقة)

ويجرى اختبار التخلخل لتحديد صلاحية التربة وإمكانية استخدامها كحقل إمتصاص وتشرب للسائل المنبثق من حوض التحليل اللاهوائي.

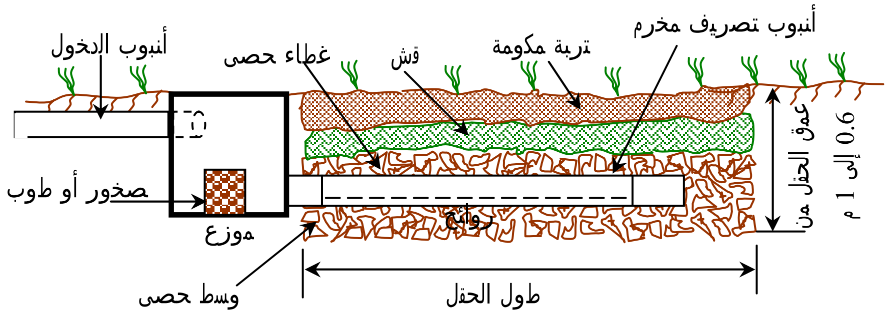
من الشكاوى المتوقعة من أداء عمل حقول الإمتصاص ما يلي: {1، 4، 5ب،7، 12، 13، 14}

- وقف عمل المضخات.
- إنتاج روائح غير مستحبة.
- إنسداد مدخل الحقول (ومخرج حوض التحليل اللاهوائي) نسبة لعلو درجة تركيز المواد الصلبة أو لزيادة الأحمال أو لعدم التخلص من الحمأة.
- منع التخلخل إما بسبب إنشاء الحقول في تربة قليلة النفاذية معيقة للتسرب، أو بسبب ارتفاع منسوب المياه الجوفية، أو بسبب قصور الأحمال العضوية والهايدروليكية، أو بسبب عدم النظافة الجيدة لحوض التحليل.
- تلوث المياه الجوفية خاصة في التربة ذات التسرب العالي، وتلك التي تضمحل فيها سعة الإمتصاص للمواد الملوثة.
- انتشار الأمراض.
- زيادة درجات تركيز المواد المطهرة والأيونات بالتربة.

أنواع حقول الإمتصاص:

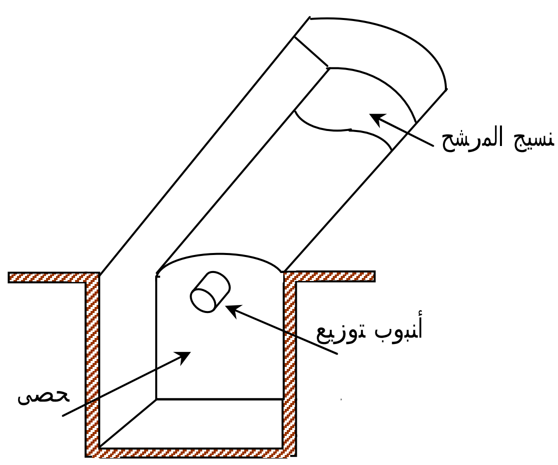
هنالك عدة أنواع من حقول الإمتصاص تضم خط الإمتصاص ومفرش الإمتصاص وحفرة الإمتصاص.

خط الإمتصاص: وهو عبارة عن أخدود أو خندق تحت سطح الأرض (أنظر شكل 7-10). عند استخدام حقول الإمتصاص ينساب السائل الخارج من وحدة التحليل خلال ماسورة مغلقة وغرفة توزيع من الخزان إلى مواسير مثقبة في خنادق (حقول) مصفوفة الواحدة تلو الأخرى مع وجود فرجات بينها {5ب}. يملأ الأخدود بالحصى ليجرى عبر طوله أنبوب مخرم. ويوضع الأنبوب عادة بسطح مستو وتقفل نهايته ليتسنى للسائل الإنسياب (بوساطة الجاذبية الأرضية) عبر جميع الفتحات الموجودة بطول الأنبوب. ويحدث التسرب عن طريق الفتحات القليلة الأولى في الأنابيب الأفقية. غير أن في الكثير من الحالات ينثني الأنبوب مرتخياً ويحدث معظم التسرب في أدنى نقطة من الأنبوب، وبذا يتم انتشار السائل على طول باطن خط الإمتصاص. وتتكون عبر الزمن طبقة حيوية في التربة اللينة تكثر فيها النشاطات الحيوية التي تعمل على تفسخ المواد العضوية القابلة للتفتيت، وتنقية السائل المندفق خلالها، كما ويتخاص فيها من بعض الجراثيم والأحياء المجهرية الضارة، وتقوم بتوصيل السائل للتربة بدفق مناسب يحد من تشبع التربة المحيطة.



أ) قطاع طولي لحقل امتصاص

شكل 7-10 رسم تخطيطي لحقل الامتصاص



ب) قطاع رأسي عبر خط الامتصاص

ويمكن تقدير طول حقل الإمتصاص من المعادلة 7-8.

$$L = P*Q/(2h*i) \qquad 7\text{-}8$$

حيث:

L = طول حقل الإمتصاص (م).

P = عدد المستخدمين (فرد).

Q = دفق الفضلات السائلة (لتر/فرد/يوم).

h = العمق الفعال لحقل الإمتصاص (م).

i = معدل التسرب التصميمى (لتر/م^2/يوم) (عادة يساوى 10 لتر/م^2/يوم).

مثال 7-2

أوجد طول حقل الإمتصاص المطلوب لتصريف سائل نهائي من حوض التحليل اللاهوائي المستخدم من أسرة مكونة من 8 أفراد تنتج فضلات سائلة يومياً بمعدل 105 لتر لكل فرد، علماً بأن معدل التسرب التصميمي يساوي 10 لتر/م^2/يوم.

الحل:

1- المعطيات: P = 8، Q = 105 لتر/يوم، i = 10 لتر/م^2/يوم.

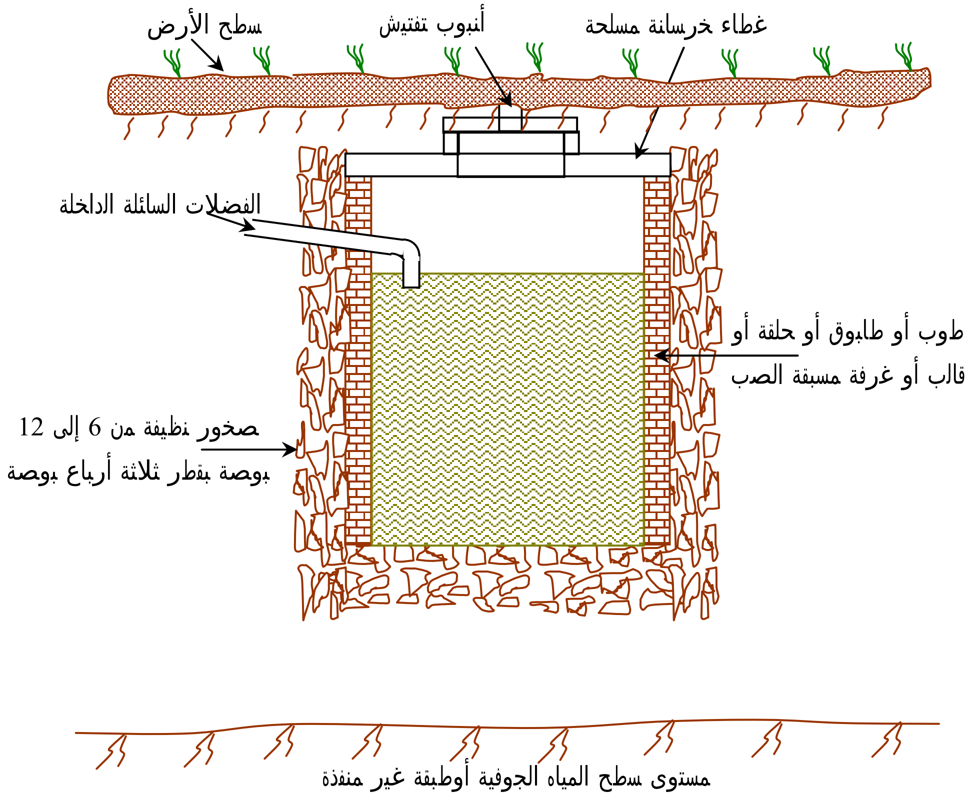
2- بافتراض أن العمق الفعال لحقل الإمتصاص يساوي 1 متراً، أوجد طول حقل الإمتصاص من المعادلة:

$$L = P*Q/(2h*i)$$

وعليه: L = 8×105 ÷ (2×1×10) 42 م.

مفرش الإمتصاص: وهذا نوع آخر من أساليب إمتصاص السائل عبر التربة. ويتكون من خط إمتصاص عريض توضع عبر طوله عدة أنابيب مثقوبة.

حفرة الإمتصاص (بيارة التشرب): وهذه عبارة عن حفرة رأسية في الأرض، يتراوح قطرها بين 2 إلى 3.5 متراً وعمقها بين 3 إلى 6 متراً. ويبين شكل 7-11 حفرة إمتصاص مكونة من أسطوانة خرسانية أو من طابوق أو أي مواد محلية مماثلة، تحيط بها طبقة من الحصى لحجز التربة المحيطة. وتعمل الحفرة كخط إمتصاص رأسي. وبعد مضى عدة سنوات تتحرك الطبقة الإنسدادية رأسياً إلى الأعلى على طول الجدران المحيطة بالحفرة، مما يجعل السائل متراكماً ويرتفع بارتفاع الحفرة، ويتم تسرب السائل عبر جدران الحفرة. كما ويساعد الضغط الهايدروستاتيكي في دفع السائل عبر الطبقة الإنسدادية من باطن الحفرة وجوانبها. {3}



شكل 7-11 رسم تخطيطي لقطاع عبر حفرة امتصاص

ومن العوامل المؤثرة على كفاءة حقول الإمتصاص: كمية وتردد السائل الخارج من حوض التحليل، وخواص ومكونات السائل، ونوع ومكونات التربة الماصة، والنباتات المزروعة، والمناخ السائد بالمنطقة، وكيفية الإنشاء والتشغيل والصيانة، وعوامل الزمن، والمناحى الاجتماعية والاقتصاديية والبيئية والتقاليد.

أما محاسن خط الإمتصاص مقارنة بحفرة الإمتصاص فتضم: {3، 4}

8. إمكانية تركيب الخط عند تواجد المياه الجوفية الضحلة نسبياً.
9. وجدود الخبرة المتعلقة بمتطلبات خطوط الإمتصاص.
10. سهولة التركيب والتشييد.
11. سهولة إعادة تشييد الخط عند حدوث إنسداد وإمكانيته.
12. طريقة مأمونة ولا تشكل مخاطر للمستخدم (مثلا لا يقع أحدهم في الخط المهجور).
13. إزدياد درجات التفتت الهوائي للمواد العضوية.
14. قلة تكلفة الإنشاء.

ومن محاسن حفر الإمتصاص مقارنة بخط الإمتصاص ما يلي: {3، 4}

5. إحتياج الحفرة إلى مسافة أفقية قليلة مقارنة بخط الإمتصاص.
6. إمكانية وصول الحفرة إلى الطبقات المسامية العميقة داخل التربة.
7. تتأثر الحفرة بدرجة أقل بالأمطار أو بري المنطقة المحيطة أو بالنباتات أو بحركة مرور المركبات فوقها.
8. إزدياد عمر الحفرة بالتغيرات في مناسيب السائل بداخلها.

مثال 7-3:

أوجد حجم حفرة الإمتصاص (بيارة التشرب) التي يمكن استخدامها عوضاً عن حقل الإمتصاص المطلوب لتصريف السائل النهائي من حوض التحليل اللاهوائي المدرج في المثال 7-2.

الحل:

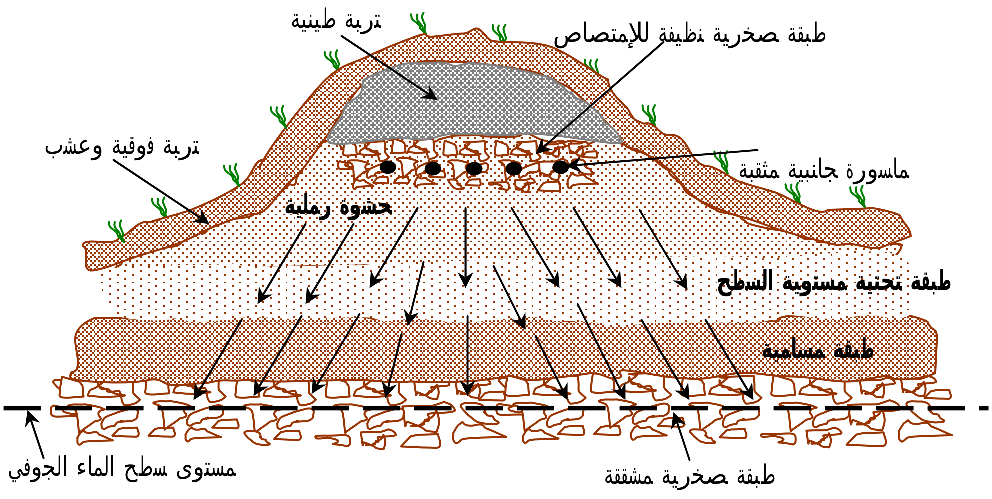
1- المعطيات: P = 8، Q = 105 لتر/يوم، i = 10 لتر/م^2/يوم.

2- أوجد التصرف الكلي للفضلات السائلة = 8×105 = 840 لتر.

3- أوجد المساحة المطلوبة لحفرة الإمتصاص = التصرف الكلي ÷ معدل تشرب التربة

= 840 ÷ 10 = 84 م^2

روابي البخر والنتح: تُستخدم روابي البخر والنتح في المناطق التي يكون بها مستوى الماء الجوفي قريب من سطح الأرض أو في المناطق التي لا تسمح مسامية التربة فيها باستخدام الأنماط الأخرى. ويجب وضع الرابية أو حوض البخر في مناطق لا تتعرض للفيضان، ويسهل تصريفها بالجاذبية الأرضية. ومن العوامل المؤثرة في هذه الطريقة: عوامل المناخ، وجيولوجية وطبغرافية المنطقة والغطاء النباتى. ويبين شكل 7-12 رسم تخطيطى لرابية البخر والنتح.



شكل 7-12 رابية البخر

5-7 تمارين عامة

3. أذكر أهم الطرق المستخدمة للتخاص من الفضلات والمخلفات السائلة المنزلية في الريف؟ أذكر محاسن وعيوب كل من هذه الطرق.
4. كيف يمكن المفاضلة بين الطرق التالية للتخاص من المخلفات السائلة:
   ز) مرحاض الحفرة التقليدd
   ح) مرحاض الحفرة المحسن المهواة.
   ط) المرحاض المائي.
   ي) مرحاض ريد.
   ك) حوض التحليل اللاهوائي.
   ل) شبكة الصرف الصحي.
6. أذكر أهم الجراثيم الممرضة التي يمكن أن تنشر من الحمأة الصادرة من حوض التحليل اللاهوائي.
7. أذكر طريقة عمل المرحاض الكيميائي.
8. تحدث بإيجاز عن كل مما يلي:
   ه) استخدام الفضلات السائلة المنزلية كأسمدة.
   و) تلوث المياه الجوفية بالمراحيض.
   ز) هضم الفضلات العضوية بحوض التعفن.
   ح) استخدام المبيدات في أحواض التحليل.
10. أذكر أهم مزايا حوض التحليل اللاهوائي.
11. كيف يمكن استخدام المعادلة التالية لتصميم حوض التحليل اللاهوائي لمدرسة معينة: $V = 90P+2000$؟
12. كيف يتم التخاص من السائل المعالج بحوض التحليل اللاهوائي؟
13. أيهما أفضل للتخاص من السائل النهائي المعالج بحوض التحليل اللاهوائي؟ ولماذا؟
   د) خندق التشرب.
   ه) بئر التشرب.
   و) رابية التبخر.

7-6 المراجع المصادر

1. Cairncross, S., and Fescham, R., "Environmental Health Engineering in the Tropics: An Introductory Text" 2nd Edi., John Wiley and Sons, Chechester, 1993.
2. Perkins, R.J., "Onsite Wastewater Disposal", Lewis Publishers, Chelsea, Michigan, 1989.
3. Kaplan, O. B., "Septic System Handbook", 2nd Edi., Publishers, Chelsea, Michigan, 1991.

4. عصام محمد عبد الماجد "الهندسة البيئية"، دار المستقبل للطباعة والنشر، عمان، الأردن، 1995.

5. البنك الدولي للإنشاء والتعمير، البنك الدولي، واشنطن.D.C ، المعلومات والتدريب في مجال الإمداد بالمياه والإصحاح المنخفضي التكاليف، مذكرات المشاركين، البنك الدولي وبرنامج الأمم المتحدة الإنمائي، 1986:

ج) مراحيض الحفرة المحسنة المهواة VIP، تمت الترجمة بالمكتب الإقليمي لشرق البحر المتوسط.

د) إصحاح المخلفات المحمولة بالماء.

8. Kalbermatten, J.M., Julius, D. S., Gunnerson, C. G., Mara, D.D., Appropriate Sanitaion Alternatives. A Planning and Design Manual, The World Bank, Washington, D. C., 1982.
9. Development Information Centre, US Agency for International Development, National Demonstration Water Project, Institute for Rural Water and National Environmental Health Association, Water for the World Series:
   f. Designing Septic Tanks, Technical Note No. SAN.2.D.3.
   g. Designing Non-conventional absorption disposal systems, Technical Note No. SAN.2.D.8.
   h. Constructing, operating and maintaining surface absorption systems, Technical Note No. SAN.2.C.1.
   i. Constructing, operating and maintaining non-conventional absorption systems, Technical Note No. SAN.2.C.8.
   j. Operating and maintaining septic tanks, Technical Note No. SAN.2.O.3.

16. بشير محمد الحسن وعصام محمد عبد الماجد "الصناعة والبيئة: معالجة المخلفات الصناعية"، معهد الدراسات البيئية، جامعة الخرطوم، الخرطوم، السودان، 1986.

17. Scott, J.S. and Smith, P.G., Dictionary of Waste and Water Treatment, Butterworths, London, 1981.
18. Abdel-Magid, I.M., Hago, A., Rowe, D.R., Modelling Methods for Environmental Engineers, CRC Press/Lewis Publishers, Boca Raton FL, 1996 (Under publication).
19. Metcalf and Eddy Inc., Wastewater engineering: treatment disposal reuse, 3rd Ed., Mc Graw-Hill Inc., New York, 1991.
20. Polprasert, C. and Rajput, V.S., Septic Tank and Septic Systems, Environmental Sanitation Reviews No. 718, Asian Institute of Technology, 1982.
21. Wagner, E., Lanoix, J., Excreta Disposal for Rural Areas and Small Communities, WHO Monograph No.39, 1958.
22. Mara, D., "Sewage treatment in hot climates", Wiley and Sons, Chichester 1980.
23. Nathanson, J.A., Basic Environmental Technology: Water Supply, Waste Disposal and Pollution Control, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersy, 1986.

الباب الثالث

مكافحة تلوث الهواء والضوضاء

الفصل الثامن: مكافحة تلوث الهواء

الفصل التاسع: مكافحة التلوث بالضوضاء والضجيج

الفصل الثامن

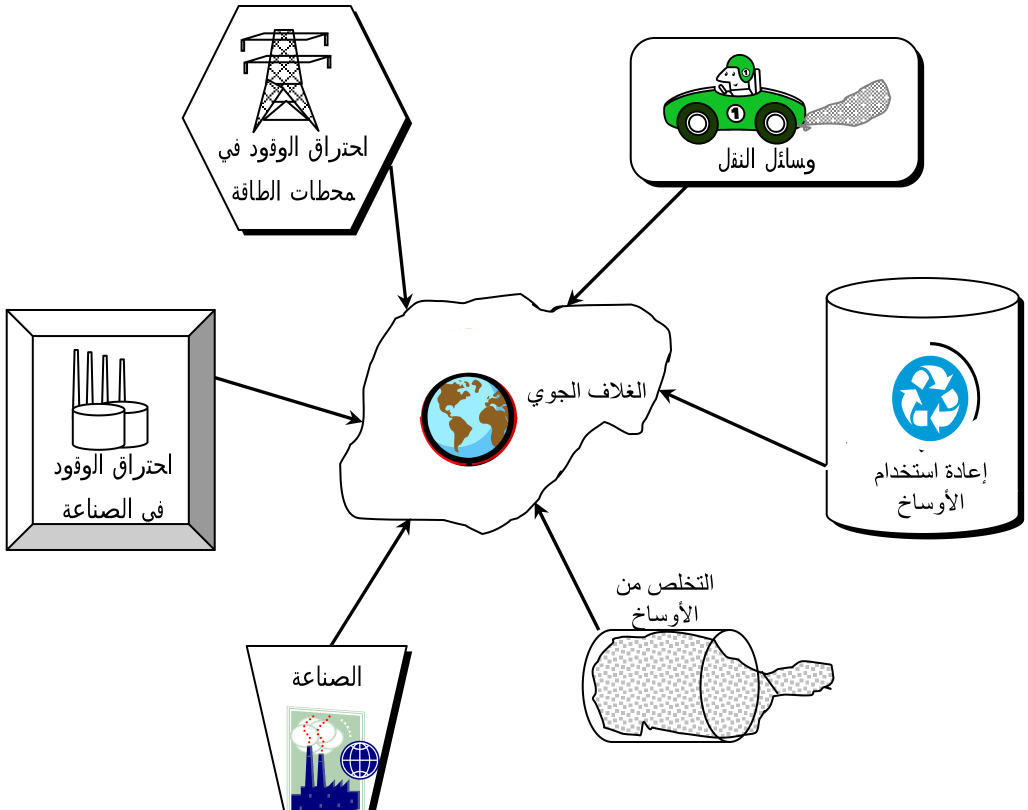
مكافحة تلوث الهواء

8-1 مقدمة

إن الهواء من أهم العناصر الأساسية والضرورية لاستمرار حياة كل الكائنات الحية من إنسان وحيوان وحشرات وغيرها ممن خلق المولى تبارك وتعالى. وقد يعيش الإنسان بدون ماء وغذاء لفترة من الزمن غير أنه لا غنى له من الهواء وأكسجينه. ومن المعروف أن رئة الإنسان ذي النشاط العادي تستقبل يومياً حوالي خمسة عشر كيلوجراماً من الهواء، الشيء الذي يجب معه عدم تعرضه لأي عناصر ملوثة أو محدثة للتلوث الجوي، لا سيما وباستطاعة الهواء تشتيت ونشر الملوثات في حيز كبير ومنطقة واسعة، ربما بعدت كثيراً عن مصدر التلوث ومنبعه، دون أي تقيد بالحدود الجغرافية أو السياسية أو الطبيعية أو ماشاكلها من قيود.

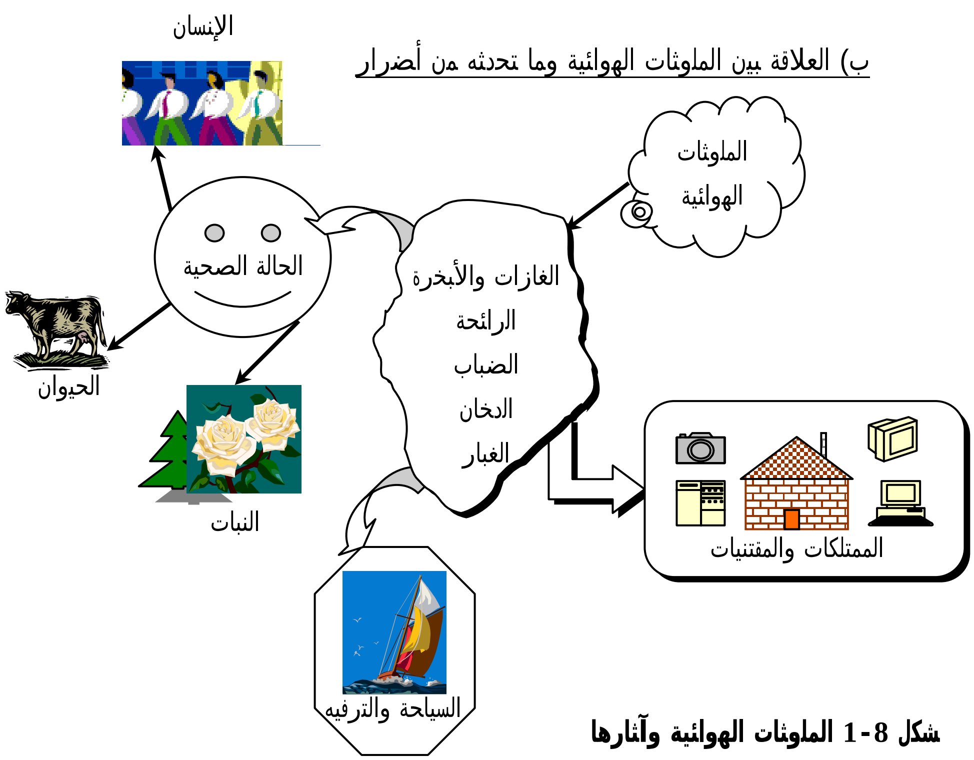
يقصد بتلوث الهواء وجود ملوثات له في الغلاف الجوي أو في الهواء الخارجي بتركيز مناسب، وبخواص معينة، ولفترة زمنية كافية، تهدد أو تضر حياة الإنسان وممتلكاته أو تؤثر على مملكتي الحيوان والنبات. وربما أضرت هذه الملوثات وأُثرت كثيراً في الإستفادة من أساليب التقانة الحديثة الهامة والأساسية لتقدم الشعوب ورقيها ونموها ورفاهتها. وقد أورد سيد سابق في فقه السنة {1} : روى أبو داود بإسناد حسن عن أبي هريرة قال: سمعت رسول ا صلى ا عليه وسلم يقول "**الريح من روح ا تعالى تأتي بالرحمة وتأتي بالعذاب، فإذا رأيتموها فلا تسبوها، وسلوا ا خيرها، واستعيذوا با من شرها**". وفي صحيح مسلم عن عائشة قالت: كان النبي صلى ا عليه وسلم إذا عصفت الريح قال: "**اللهم إنى أسألك خيرها وخير ما فيها وخير ما أرسلت به، وأعوذ بك من شرها وشر ما أرسلت به**". وقد أقترنت الريح بالعذاب كما في قوله تعالى "**ولئن أرسلنا ريحاً فرأوه مصفراً لظلوا من بعده يكفرون**" (51) الروم. وقوله جل جلاله "**فأرسلنا عليهم ريحاً صرصراً في أيامٍ نحسات لنذيقهم عذاب الخزي في الحياة الدنيا ولعذاب الأخرة أخزى وهم لا ينصرون**" (16) فصلت. وقوله تبارك وتعالى "**فلما رأوه عارضاً مستقبلَ أوديتهم قالوا هذا عارض ممطرنا بل هو ما استعجلتم به ريح فيها عذاب أليم**" (24) الأحقاف. وقوله جل شأنه "**وفي عاد إذ أرسلنا عليهم الريح العقيم**" (41) الذّاريات. وفي قوله تعالى "**إنا أرسلنا عليهم ريحاً صرصراً في يوم نحسٍ مستمر**" (19) القمر. وقوله جل جلاله "**وأما عاد فأهلكوا بريحٍ صرصرٍ عاتية**" (6) الحاقّة.

ومن أمثلة الملوثات الهوائية: الأتربة، والغازات، والضباب، والرائحة، والدخان، والضبخان، والأبخرة السامة، وما شاكلها من أنواع الملوثات المختلفة والمتعددة والمتجددة تجدد الصناعات والإبتكارات البشرية{2}. ويبين شكل 8-1أ المصادر الرئيسة للملوثات الهوائية. كما يمثل شكل 8-1ب العلاقة بين أنواع الملوثات الهوائية وما تحدثه من أضرار ومشاكل لمملكة الحيوان والنبات والأحياء المجهرية.



أ) المصادر الرئيسة لتلوث الهواء

ب) العلاقة بين الملوثات الهوائية وما تحدثه من أضرار

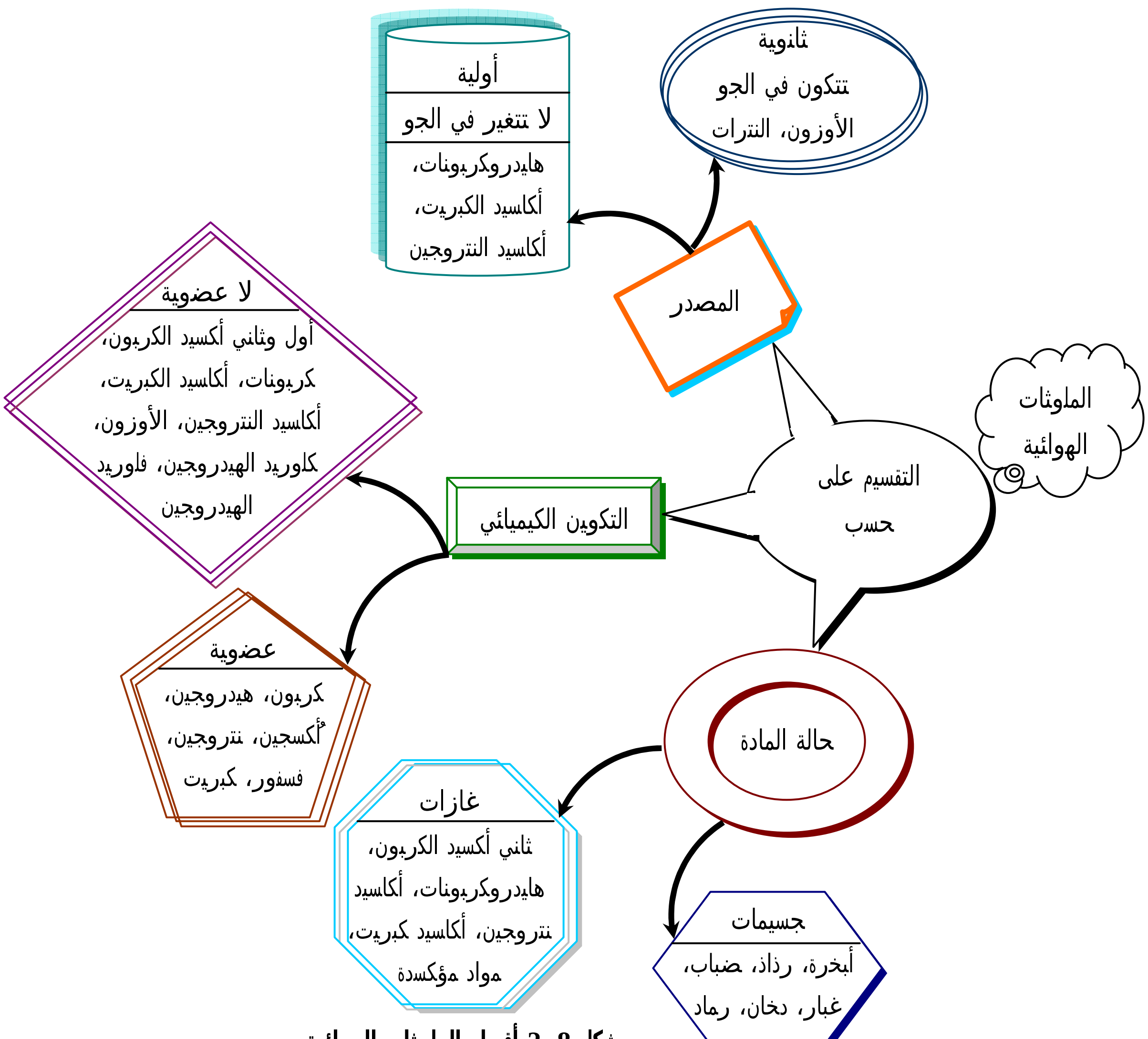


شكل 8-1 الملوثات الهوائية وآثارها

8-2 مصادر الملوثات الهوائية

يمكن تقسيم الملوثات الهوائية طبقاً لمصادرها إلى ملوثات من مصادر طبيعية وملوثات ذات منشأ صناعي. كما يمكن تقسيم هذه المصادر على حسب تكوينها الكيميائي إلى ملوثات عضوية وغير عضوية. وهناك تقسيم ثالث ينبثق من حالة المادة من غازية أو صلبة {2، 3}. ويبين شكل 8-2 تبسيط لهذه الأقسام الشائعة الاستعمال.

أما الملوثات الهوائية النابعة من المصادر الطبيعية Natural sources فتضم الهباء، والغبار، والأتربة، والرمل (خاصة في المناطق الجافة أو الصحراوية)، وحبيبات الدخان (الناتجة من الحرائق وثورات البراكين)، والأبخرة، والمتحوصلات الدقيقة جداً Spore formers ، والغازات الناتجة من التحلل اللاهوائي للمواد العضوية (مثل: غاز أول أكسيد الكربون، وغاز كبريتيد الهيدروجين وغاز الميثان)، والضباب (خاصة في المناطق الرطبة المنخفضة)، والهايدروكربونات في شكل تربين Terpenes من أشجار الصنوبر {2، 3}.



شكل 8-2 أقسام الملوثات الهوائية

وتضم الملوثات الهوائية الناتجة من المصادر الإصطناعية Anthropogenic أكاسيد الكبريت، وأكاسيد النتروجين، والهايدروكربونات، وأول أكسيد الكربون، والمواد العالقة. وعادة تنتج هذه الملوثات من وسائل النقل (مثل سيارات الإحتراق الداخلي والطائرات والقطارات والمواخر)، وحرق الوقود من المصادر الثابتة ومحطات توليد الطاقة الكهربائية، والصناعات القائمة (مثل الصناعات الكيميائية وصناعة الورق وتكرير البترول وصناعة الفلزات وصناعة الأسمنت والأسبستس والمحاجر والصناعات البتروكيميائية وغيرها من الصناعات) والتخلص من النفاية والمواد الصلبة (من المصادر المنزلية والتجارية والصناعية والزراعية) والحرائق، .. إلخ. ويوضح جدول 8-1 بعض الأمثلة للملوثات الهامة ومصادرها الرئيسة.

جدول 8-1 أمثلة لأهم الملوثات الغازية ذات المنشأ الصناعي {2، 4، 5، 6}

الملوث	المصدر
ثاني أكسيد الكبريت	محطات توليد الكهرباء، ومصافي أومحطات تكرير البترول، وصناعات الحديد والصلب، وصناعة الورق، وصناعة الكبريتيت، وحرق الفحم والنفط، وتنقية المعادن وصهرها وسباكتها.
ثالث أكسيد الكبريت	مصانع إنتاج حمض الكبريتVI ، وإنتاج الطوب (الطابوق) الصناعي
الكبريت والكبريتيد	محطات توليد الطاقة، وعمليات صهر المعادن
الدخان، الغبار، والأتربة	صناعات الحديد، ومحطات توليد الكهرباء، والمسابك، وصناعة الأسمنت
أول أكسيد الكربون	احتراق الوقود، وتبخر أكاسيد المعادن، وسيارات الغازولين
ثاني أكسيد الكربون	احتراق الوقود
أكاسيد النتروجين (الأزوت)	مصانع إنتاج حمض النتريك، وتوليد الكهرباء، والحديد والصلب، والأسمدة، والحرق تحت الحرارة العالية، وتنظيف المعادن، والمتفجرات، وإنتاج حمض الكبريتVI
الأمونيا (النشادر)	مصانع إنتاج النشادر والأسمدة
الهايدروكربونات	المكاورة محطات التنظيف والتجفيف
ميركبتانات	تكرير البترول وتصفيته
أكاسيد الخارصين	إستخراج النحاس
هيدروجين الكلور، الكلور	مصانع إنتاج الكلور، وإنتاج الأمونيا، وإنتاج الكروم، ومحطات تنقية المياه ومحطات معالجة الفضلات والمخلفات السائلة
سيانيد الهيدروجين	طلاء المعادن، وأفران الصهر، وأعمال الصباغة
فلور الهيدروجين	تصفية النفط (عامل مساعد)، وصناعة الزجاج، وإستخراج السيليكات، وناتج ثانوي عند الإنتاج الإلكتروليتي للألمونيوم

. المصدر: المرجع 5، منشور بإذن

.

.

.

.

أما تقسيم الملوثات الهوائية على حسب المصدر فيمكن تقسيمها إلى ملوثات أولية وأخرى ثانوية. تضم الملوثات الأولية تلك المواد التي تنفث مباشرة إلى الغلاف الجوي وتظل بالهيئة والشكل الذي نُفثت فيه دون أن يطرأ عليها أى تغير. ومن أمثلة هذه الملوثات: أكاسيد الكبريت SO_X ، وأكاسيد النتروجين NO_X ، والهايدروكربونات HC.
أما الملوثات الثانوية فتمثل تلك الملوثات المتكونة في الغلاف الجوي بفعل التفاعلات الكيميائية الضوئية Photochemical reactions أو بوساطة الحلمأة (التحلل بالماء Hydrolysis) أو بالأكسدة، ومن أمثلة هذه الملوثات: الأوزون ونترات البيروكسي أستيل (PAN) {2، 3}
وتضم المركبات العضوية الكربون والهيدروجين، كما وتحتوي على عناصر أخرى مثل الأوكسجين والنتروجين والفسفور والكبريت. ومن أمثلة هذه الملوثات: الهايدروكربونات، والألدهيد، وحمض الكاربوكسيل، والكحول، والاستر، والإيثر، والأمينات. أما المواد غير العضوية فتتمثل في أول وثاني أكسيد الكربون وأكاسيد الكبريت والنتروجين والأوزون وكبريتيد وفلوريد الهيدروجين.

يضم تقسيم حالة المادة الجسيماني Particulate تلك المواد (سائلة أو صلبة) الناعمة المنتشرة (مثل: الأبخرة والدخان والأتربة والرماد والرذاذ والضباب)، كما ويضم أيضاً تلك الجسيمات المترسبة من الغلاف الجوي. ويتكون الغبار Dust من جسيمات صلبة صغيرة تنشأ أثناء تحطيم بعض الكتل الكبيرة، أو أثناء عمليات السحق أو التهشيم أو الكسر أو الطحن أو النسف أو التفجير، أو بسبل مباشرة عن طريق نقل المواد (مثل الفحم والأسمنت)، أو كنواتج ثانوية لعمليات ميكانيكية (مثل نشر الأخشاب)، أو كمتبقي من عمليات ميكانيكية (مثل صهر الرمل). ولا ينتشرالغبار بسرعة، غير أنه يتعلق في الهواء أو مع الغازات الأخرى. وأحيانا يترسب الغبار تحت تأثير قوى الجاذبية الأرضية. ويقدر مقاس جسيمات الغبار بين 1 إلى 10000 ميكرومتر {2، 3}. والدخان Smoke عبارة عن جسيمات صلبة ناعمة ناتجة من الإحتراق غير الكامل للمواد العضوية (مثل: الفحم والخشب والتبغ). ويتكون الدخان من الكربون (كعنصر أساسي) بالإضافة إلى بعض العناصر الأخرى. وعادة يتراوح قطر حبيبات الدخان بين 5,. إلى 1 ميكرومتر{2، 3}. أما الأبخرة Fumes فهي عبارة عن جسيمات صلبة ناعمة، غالباً تكون أكاسيد معدنية فلزية (أكاسيد خارصين وأكاسيد رصاص). وتتكون الأبخرة من جراء تكثف أبخرة المواد الصلبة. وربما نتجت الأبخرة من تسامي المعادن أو تكلسها أو صهرها. ويتراوح مقاسها بين 03,. إلى3,. ميكرومتر. والجدير بالذكر أن الأبخرة يمكن تخثرها وترسيبها. يتكون الرذاذ Mist من الحبيبات أو القُطيرات السائلة المتكونة من تكثيف البخار، أو من جراء انتشار السائل، أو من تفاعلات كيميائية معينة (مثل: تكوين رذاذ حمض الكبريت IV) عادة يكون قطر حبيبات الرذاذ أقل من 10 ميكرومتر. ويطلق علي الرذاذ اسم الضباب fog عندما يزيد تركيز الرذاذ لدرجة كبيرة تعوق الرؤيا.

وبالإضافة لما ورد ذكره قد توجد أحياء مجهرية منتشرة في الغلاف الجوي، مثل الحيوانات الأوالي والبكتريا والحمات والطحالب والفطريات. وعادة تقل فترة عيش هذه الأحياء المجهرية في الغلاف الجوي نسبة لنقصان المواد الغذائية فيه، ووجود الأشعة فوق البنفسجية المنبثقة من الشمس والتي تعمل على القضاء عليها. غير أن هنالك أنواع من البكتريا والفطريات يمكنها التحور في شكل متحوصلات دقيقة مما يمكنها من العيش لمدة أطول وتحت ظروف قاسية.

3-8 آثار تلوث الهواء

إن بعض الغازات والمركبات (مثل: ثاني أكسيد الكبريت وكبريتيد الهيدروجين والكبريتات) قد توجد طبيعياً بنسب قليلة في الهواء الجوي. وتزداد المشاكل المترتبة على تلوث الهواء نتيجة لإزدياد درجة تركيز المواد الملوثة المنبعثة أو المنتشرة فيه. ويزيد من درجات تركيزها المناشط الصناعية وإزدياد الكثافة السكانية.، أو قد تزداد قيمها بصورة طبيعية (مثلاً يتكون كبيرتيد الهيدروجين عند التحلل الحيوي للمواد العضوية). ويعتمد هذا التأثر على عوامل مختلفة متداخلة مع بعضها البعض مثل: العوامل المناخية السائدة (مثل: درجة الحرارة والرطوبة وسرعة الرياح السائدة بالمنطقة)، وتكدس الصناعات، ومواصفات المداخن المستخدمة لنفث الملوثات (بالتركيز على طول المدخنة وسرعة تدفق الغازات منها)، والطبغرافية المحلية للمنطقة، ونوع المادة الملوثة وتركيزها ، والكثافة السكانية، والمتغيرات الثقافية والاجتماعية والبيئية والاقتصادية بالمنطقة.

وقد يترتب على مشاكل تلوث الهواء أضرار صحية أو مشاكل نفسية أوخسارة اقتصادية. ومن أهم الغازات والمواد الملوثة أكاسيد النتروجين، وأكاسيد الكربون، وأكاسيد الكبريت، والمواد العالقة.

أكاسيد النتروجين: Nitrogen oxides

يمكن أن تنتج أكاسيد النتروجين من محطات توليد الطاقة والمصانع ومن إحتراق الغازات داخل المركبات البترولية ومن الأكسدة الكهروكيميائية. وينتج أكسيد النتروجين NO من الأكسدة الحرارية للنتروجين الجوي كما موضح في المعادلة التالية والتي تعتمد بشدة على درجة الحرارة:

$$N_2 + O_2 = 2NO$$

وأكسيد النتروجين غاز عديم اللون غير مهيج، لكن يمكن أكسدته إلى ثاني أكسيد النتروجين NO_2. أما أكاسيد النتروجين الصادرة من محطات توليد الطاقة والمصانع فينتج عنها ثاني أكسيد النتروجين NO_2 (ذو اللون البني إلى البرتقالي) والذي له آثار وخيمة على الصحة العامة حتى عند درجات التركيز القليلة. وربما أتلف ثاني أوكسيد النتروجين الرئة، كما وأنه سام وتعادل سميته أربعة أضعاف سمية حامض النتريك وتبدأ السمية على درجة تركيز 5.،. ملجم/لتر. كما ويحطم ثاني أكسيد النتروجين الكلوروفيل (اليخضور) وبذا يغير لون أوراق النبات من الأخضر إلى الأصفر أو الأبيض في درجات تركيز 2 إلى 3 ملجم/لتر، وربما يحد من نمو النبات. كما وأن أكاسيد النتروجين والهايدروكربونات (الناتجة من إحتراق الغازات داخل المركبات البترولية) تتأكسد كيميائياً مع غازات الهواء وعند وجود ضوء الشمس لتكون العديد من الملوثات المختلفة. وقد تؤدي هذه الملوثات إلى تكوين الضبخان Smog ، أو الحد من الرؤية، أو تهيج العيون، أو تلحق أضراراً بالجهاز التنفسي. أما الأكسدة الكهروكيميائية فينتج عنها غازات مثل: الأوزون وثاني أكسيد النتروجين والبيروكسي استيلنيتريت. ومن آثار هذه الملوثات: زيادة تكرار الإصابة بداء الربو، وتهيج العيون، وتقليل كفاءة الفرد الرياضية، وأضرار رئة الطفل، وربما تسببت في حدوث بعض الأمراض المسرطنة{2، 5}.

المواد العالقة:

عادة تعمل شعيرات الأنف على حجز معظم الحبيبات العالقة المستنشقة ذات القطر الذي يربو عن 10 ميكرومتر من الدخول إلى الجهاز التنفسي. بينما تجد الحبيبات ذات الحجم الأصغر (تلك التي يقع قطرها بين 2 إلى 3 ميكرومتر) طريقها للرئة، حيث تمتصها خلايا معينة، وتعمل على حملها إلى الجهاز الليمفاوي. وتعتمد درجة ترسيب المواد العالقة في الجهاز التنفسي على حجم الحبيبات وشكلها وكثافتها. ومن الآثار الضارة للأتربة والحبيبات الصغيرة الحجم: تسببها في داء الربو والنزلات الشُعبية، وقد تزيد من مخاطر إلتهابات الرئة، وتهيج العيون والجهاز التنفسي، وتحد من الرؤية في درجات تركيز 25 ملجم/لتر. وتؤثر درجات تركيز 200 ملجم/لتر على صحة الإنسان {2، 5، 6}.

أكاسيد الكبريت Sulfur oxides :

ثاني أكسيد الكبريت SO_2 غاز لا لون له، وله رائحة نفاذة، سريع الذوبان ليكون حمض الكبريت Sulfurous acid H_2SO_3، وقد يجد طريقه بسهولة لدم الإنسان عند إستنشاقه، ومن ثم يؤثر على الجهاز التنفسي ويهيجه حتى عند درجات التركيز القليلة. وربما أدى هذا الغاز إلى الموت خاصة عند الأشخاص الذين يعانون من أمراض القلب أو إلتهابات الرئة وأمراضها ، وربما أهلك كذلك كبار السن إذا شاء ا تبارك وتعالى. وقد ينتج عن زيادة تركيز ثاني أكسيد الكبريت داء الربو والنزلات الشُعبية. كما وأن بعض أنواع النسيج تتأثر بالتلوث الهوائي ومثال لذلك تأثر النيلون عند تعرضه لغاز ثاني أكسيد الكبريت. أما أكاسيد الكبريت الأخرى فقد ينجم عنها أمراض القلب، والمشكلات النفسية لدى الأطفال، كما وأنها تتلف المحاصيل في درجات تركيز 03,. ملجم/لتر. وثنائي كبريتيد الكربون سام للأعصاب، وقد تنتج منه إضطرابات نفسية، وخدر، وفقدان للوعي {2، 5، 6}.

كبريتيد الهيدروجين Hydrogen sulfide, H_2S :

غاز كبريتيد الهيدروجين له رائحة البيض الفاسد على درجات التركيز القليلة، ولا رائحة له في درجات التركيز العالية. ينتج غاز كبريتيد الهيدروجين من جراء التفتيت الحيوي للمواد العضوية (خاصة في محطات المعالجة)، وعند التنقيب عن الغاز الطبيعي أو النفط. ويستخدم الغاز في الصناعة مثلاً لإنتاج عنصر الكبريت، أو حمض الكبريتVI ، أو لإنتاج الماء الثقيل (والذي يستخدم كمهدئ للنيوترونات في محطات الطاقة النووية). ولغاز كبريتيد الهيدروجين رائحة البيض الفاسد. وهو غاز مهيج حساس، وسام جداً وقاتل عند التعرض لدرجات تركيز عالية منه. ومن الخواص الأخرى للغاز أنه لا لون له، ويذوب في عدة سوائل مثل: الماء، والكحول، والأيثر، والكربونات القلوية، والبيكربونات. وهذا الغاز ضار بالجهاز العصبي، ومهيج للجهاز التنفسي عند إستنشاقه، ومهيج للعيون، كما وأنه سريع الإمتصاص بوساطة الدم داخل الرئة. وفي بداية التعرض للغاز تؤدي الكمية المستنشقة إلى سرعة التنفس (Hyperpnoea) ، والتي يتبعها خمول وعدم نشاط في الجهاز التنفسي .(Apnoea) أما في درجات التركيز العالية فقد يؤدي غاز كبريتيد الهيدروجين إلى الشلل الفوري. وربما ترتب على إستنشاق الغاز موت المصاب من جراء الإختناق (Asphyxia) ما لم يتم إسعافه عن طريق التنفس الصناعي وما فتئ القلب نابضا وبمشيئة الكريم المنان. وربما أدى وجود غاز كبريتيد الهيدروجين إلى حدوث حالات من القئ والصداع وفقدان الشهية والأرق عند تواجده بنسب بسيطة في البيئة المحيطة {2، 3، 4، 5}.

أول أكسيد الكربون Carbon monooxide, CO :

غاز أول أكسيد الكربون سام، ولا لون له ولا رائحة له، وهو نتاج لعمليات حرق غير مكتملة. تزداد كمية أول أكسيد الكربون في الجو نتيجة العمليات الصناعية أو بوساطة الطرق الطبيعية. ومن أمثلة الطرق الصناعية المنتجة لأول أكسيد الكربون: الإحتراق غير الكامل للمواد البترولية (خاصة من عوادم السيارات) واحتراق المخلفات الصناعية. ومن أمثلة الطرق الطبيعية: البخار، وأكسدة غاز الميثان، والثورات البركانية، والحرائق، والعواصف الرعدية. ويزداد تركيز هذا الغاز في عادم السيارات خاصة عند ساعات الذروة. ومن العوامل المؤثرة: طبغرافية المنطقة والمباني وحالة الطقس. وغاز أول أكسيد الكربون سام جداً نسبة لقابلية إتحاده مع هيمجلوبين الدم مكونا كربوكسي هيمجلوبين. وهذا المركب المتكون أكثر ثباتاً من الأكسي هيمجلوبين بما يربو عن المائتي ضعف، ويؤثر سلباً على الجزئيات والكريات الحاملة للدم، وربما قاد إلى أضرار وخيمة طبقاً لحالة الإنسان الصحية، ومدة التعرض، ودرجة تركيز الغاز. ومن آثار الغاز الضارة: مخاطر لمرضى القلب عند درجات تركيز 30 ملجم/لتر، وتلف الجهاز العصبي الرئيس، وتقليل مقدرة الدم لحمل الأكسجين، وضغط الدم، وأثره على المرأة الحامل (الشيء الذي ربما أتى بمولود ناقص الوزن والنمو). ويبين الجدول رقم 8-2 بعض الآثار الفسيولوجية لأول أوكسيد الكربون.

جدول 8-2 بعض الآثار الفسيولوجية لأول أوكسيد الكربون{2، 5، 7}

درجة التركيز (ملجم/لتر)	الآثار والمخاطر المتوقعة
100	مسموح به لعدة ساعات
400 إلى 500	لا توجد مخاطر بعد مضى ساعة واحدة
600 إلى 700	بعض الأثر بعد مضى ساعة
1000 إلى 1200	آثار سيئة ولكن لا تنجم عنها أعراض خطرة بعد مضى ساعة
1500 إلى 2000	خطرة عند التعرض لمدة ساعة
4000 أو أكثر	شديدة الخطورة في مدة أقل من ساعة

المصدر: المرجع 5، منشور بإذن

ويمكن تلخيص الأضرار والمشاكل التي قد تحدث من جراء التلوث الهوائي في النقاط المذكورة أدناه {2، 3، 4، 5، 7}:

- مضايقات ومشاكل إستساغية: مثل عدم وضوح الرؤيا، والروائح الكريهة.
- مشاكل اقتصادية واجتماعية: مثل: زيادة معدل تلوث الملابس والأقمشة وتلف الأثاثات والجسور وغيرها من المنشآت (مما ينتج عنه زيادة تكاليف الإصلاح والصيانة والإزالة)، أو تلف المحاصيل (ومن العوامل المؤثرة في هذا المنحى درجة وحساسية النبات للتلوث، وخصائص الملوثات ودرجة التركيز وزمن التلوث)، ومرض أو نفوق الحيوانات النافعة والأليفة عند تعرضها لملوثات طبيعية أو مصنعة مثل ثاني أكسيد الكبريت والغازات الحمضية (مما يضر بالاقتصاد القومي).

- مخاطر أثرية: إذ قد يؤدي التلوث الهوائي إلى زيادة عوامل تعرية الحجارة في المنشآت، وتفتت المنشآت الأثرية والتاريخية والتراثية وتهديد بقاء التراث القومي.
- أضرار أمنية: ومثال لذلك الزيادة المطردة في معدلات حوادث السير والمرور (البري والبحري والجوي) الناتجة من جراء عدم وضوح الرؤية (أو إنعدامها) بسبب التلوث الهوائي.
- مشاكل صحية : وهذه المشاكل تتعلق بالأحياء من إنسان أوحيوان. وقد تحدث هذه المشاكل على المدى القصير أو تظهر آثارها على المدى المتوسط أو الطويل. ويبين جدول 8-3 المخاطر والآثار الصحية لبعض الملوثات والغازات.

جدول 8-3 الآثار الصحية لبعض الملوثات والغازات {2، 5، 6}

الغاز أو الملوث	المخاطر الصحية
الرصاص	يتراكم في الجسم، ربما أتلف مهمة هيمجلوبين الدم
الهايدروكربونات	تولد الضباب الدخاني، تؤثر على الرؤية عند درجات تركيز 0.15 إلى 0.25 ملجم/لتر
الأسبستس	يسبب مرض الأسبستس، ربما أتى ببعض الأمراض السرطانية
البيريوليوم	يتلف الرئة، يأتي بمرض البرليوسس عند درجات تركيز تربو على 1.،. ملجم/لتر
الأيثر	مخدر، سام، ربما أتى ببعض الأمراض السرطانية
الفلور	ينزع تكلس العظام، مهيج للجزء العلوي من الجهاز التنفسي، مهيج لقرنية العين، صداع، موت
فلوريد الهيدروجين	تسمم الماشية بالفلور ومركباته، مهيج قوي، مضر لكل خلايا الجسم، يضر الحمضيات والنباتات، يؤثر على أسنان وعظام الحيوانات
الكلور	مهيج للعيون والجهاز التنفسي
سيانيد الهيدروجين	يؤثر على الخلايا العصبية

المصدر: المرجع 5، منشور بإذن.

ومن الأهمية بمكان ذكر أن الملوثات داخل المباني تلعب دوراً أساسياً في كثير من المناطق. وقد تزداد تراكيز الملوثات داخل المباني إلى ضعف أو خمسة أضعاف درجات تراكيزها خارجها {15}. وتضم هذه الملوثات أول أكسيد الكربون وأكاسيد النتروجين وأكاسيد الكبريت والمواد الصلبة الصغيرة والأسبستس والأوزون والراديوم المشع. وتنتج هذه الملوثات من أجهزة الإحتراق، وتدخين السجار والتبغ، ومواد البناء، والأثاثات البلاستيكية، والستائر، ومواد التبريد، والأصباغ، والمنظفات وغيرها من مستحدثات الصناعة.

- مخاطر نباتية: تتفاوت الآثار الناتجة من الملوثات الهوائية على النباتات طبقاً لعوامل مختلفة ومتداخلة فيما بينها. ومن هذه العوامل: نوع النبات وعمره ومدى تأثره بالملوثات، وتركيز الملوث والزمن اللازم لإحداث الأعطاب. فمثلاً إنتاج الأثلين - من عوادم السيارات وإحتراق الغازات الطبيعية وبعض الصناعات

الكيميائية - يؤثر في أداء الهرمونات والإنزيمات النباتية، أو يحد من النمو، أو يغيرفيه خاصة في الألياف والزهور، وكمثال ذلك تلف الطماطم عند تعرضها للأثيلين لمدة **48** ساعة في درجة تركيز 1,. ملجم/لتر. وكذلك تؤثر مبيدات الحشائش في إتلاف الأوراق كما يحدث عندما يتعرض القطن أوالعنب لمبيد 4،2-د (2,4-D) بتركيز يقارب جزء في المليون. والجدير بالذكر أن حساسية النبات للملوثات الهوائية أكثر من تلك الموجودة عند الحيوان، مما حدا بجعلها معياراً للتكهن ومعرفة مدى التلوث وشدته. وتتفاوت حساسية النباتات للتلوث طبقاً لنوع النبات، فمثلاً ربما كان من الأجدى التحول من زراعة نبات الألفا ألفا (أبو سبعين) لزراعة القمح عند وجود كميات كبيرة من ثاني أكسيد الكبريت إلى نبات آخر يلائم التلوث الموجود أو يساعد على التخلص منه.

الأمطار الحمضية Acid rain :

حدثني د. الطاهر محمد الدرديري أن المطر اقترن في القران الكريم بالعذاب كما في قوله تبارك وتعالى "**وأمطرنا عليهم مطراً فانظر كيفَ كان عاقبةُ المجرمين**" (84) الأعراف. وفي قوله جل شأنه "**وإذ قالوا اللهم إن كان هذا هو الحق من عندك فأمطر علينا حجارةً من السمآء أو ائتنا بعذابٍ أليمٍ**" (32) الأنفال. وقوله جل شأنه "**فلما جآء أمرنا جعلنا عاليها سافلها وأمطرنا عليها حجارةً من سجيلٍ منضود**" (82) هود. وقوله تعالى "**فجعلنا عاليها سافلها وأمطرنا عليهم حجارةً من سجيلٍ**" (74) الحجر. وقوله وهو أصدق القائلين "**ولقد أتوا على القرية التي أمطرت مطر السوء أفلم يكونوا يرونها بل كانوا لا يرجون نشوراً**" (40) الفرقان. وقوله جل جلاله "**وأمطرنا عليهم مطرا فسآء مطر المنذَرين**" (173) الشّعراء. وقوله تعالى "**وأمطرنا عليهم مطراً فسآء مطر المنذرين**" (58) النّمل. وقال الحق تبارك وتعالى: "**فلما رَأوه عارضاً مستقْبِلَ أوديتهم قالوا هذا عارض ممطرنا بل هو ما استعجلتم به ريح فيها عذاب أليم**" (24) الأحقاف.

وقد ورد في صحيح البخاري الحديث 1255 الجزء السادس (كتاب التفسير) الباب 477 {16}: **حدثنا أحمد بن عيسى حدثنا ابن وهب أخبرنا عمرو أن أبا النضر حدثه عن سليمان بن يسار عن عائشة رضى الله عنها زوج النبي صلى الله عليه وسلم قالت ما رأيتُ رسولَ اللّه صلى الله عليه وسلم ضاحكاً حتى أرى منه لهواته إنما كان يتبسم قالت وكان إذا رأى غَيماً أو ريحاً عرِفَ في وجهه قالت يا رسولَ الله إن الناس إذا رأوا الغيم فرحوا رجاء أن يكون فيه المطر وأراك إذا رأيتَه عرِفَ في وجهك الكراهيةُ فقال يا عائشةُ ما يؤمنني أن يكون فيه عذاب عذب قوم بالريح وقد رأى قوم العذاب فقالوا هذا عارض ممطرنا.**

تزداد درجة التلوث الهوائي في بعض المناطق الصناعية مما يزيد معه تراكيز الغازات الحامضية مثل ثاني أكسيد الكبريت SO_2 ، وأكاسيد النتروجين NO_X. وبعد إطلاق هذه الغازات في الغلاف الجوي يتم تحويلها إلى كبريتات ونترات، والتي تتحد مع الماء لتكون أحماض الكبريت VI والهيدروكلور المخففة. ومن ثم تعود إلى الأرض في شكل ندى أو ضباب أو ضبخان أو رذاذ أو قطقطية (طبقة جليدية رقيقة) أو ثلج أو أمطار مكونة الأمطار الحمضيةAcid Rains . عادة تكون الأمطار النقية حمضية بعض الشيء، إذ لها رقم هيدروجيني في حدود 5.6. وهذا ناتج بسبب الإتزان بين مياه الأمطار وثاني أكسيد الكربون الموجود بالهواء، والذي تتم إذابته لدرجة معينة

في السقيط لينتج محلول مخفف من حمض الكربونيك. أما في حالة الأمطار الحمضية فقد يصل الرقم الهيدروجيني إلى 4 أو 3 في بعض الأحوال النادرة.

وتتفاوت نسبة الأمطار الحمضية من منطقة لأخرى طبقاً لمتغيرات عديدة منها: حجم الملوثات الهوائية وكميتها بالمنطقة، وعدد المناطق الصناعية وحجمها وكفاءتها، والغطاءين المائي والنباتي بالمنطقة، وطبغرافية وجغرافية وجيولوجية المنطقة، وعوامل الطقس والمناخ: مثل الرياح والحرارة والرطوبة والتبخر، وعدد السكان والكثافة السكانية، والنظم المتبعة لتقليل الملوثات والحد من نفثها إلى الغلاف الجوي.

ومن الآثار الضارة للأمطار الحمضية ما يلي ذوبانية المعادن السامة{2، 6}:

- ❖ تؤدي إلى تآكل وتحات المنشآت والمباني.
- ❖ تهدد المصادر المائية وما بها من كائنات حية (حيوانية ونباتية).
- ❖ أضرار بالإنسان ومنتجاته الزراعية والصناعية وما يمتلكه من حيوانات وغابات.
- ❖ إذابة المعادن (مثل الرصاص والنحاس) من أنابيب الماء البارد والساخن.
- ❖ إزدياد ذوبانية المعادن السامة في الماء الجوفي. ومن المعروف أن المياه الجوفية تتكون ببطء من المياه السطحية المنسابة عبر الصخور والتربة. وعندما تزداد حامضية المياه الجوفية يتطلب الوضع أن تعمل البلديات (المعتمدة في شربها على هذا المصدر) على موازنة الماء لدرجة مقبولة. أما سكان الريف فعادة يأخذون المياه الجوفية للإستهلاك مباشرة دونما التفكر في أمر الموازنة المطلوبة، ويقود هذا الوضع إلى زيادة تركيز المواد الموجودة مثل الرصاص والخارصين والألمونيوم والمعادن الثقيلة مما قد يؤثر على الصحة العامة، ويقود إلى الكثير من المشاكل الصحية، ومايتبعها من عواقب وخيمة.
- ❖ أضرار على السياحة ومناطق الترفيه والإستجمام على ضفاف البحيرات وشواطئ الأنهار، الشيء الذي قد يؤثر سلباً على الاقتصاد القومي.
- ❖ أضرار ومخاطر على بعض الأنواع من النباتات والحيوانات المحلية: فمن المعروف أن الملوثات يمكن حملها لمسافات شاسعة تقدر بمئات بله آلاف الكيلومترات طبقاً لنوع الرياح السائدة ويشار إلى هذا الوضع بالمدى الكبير لنقل الملوثات الهوائية. وهنالك بعض الأنواع من النباتات والحيوانات المحلية Biotaمثل الرخويات وتلك التي تضم الحيوانات ذات الدرع (مثل القواقع، والبطلينوس - حيوان من الرخويات يلتصق بالصخورLimpet - ، وبلح البحر، والمحار) تعتمد إعتماداً كثيراً على الكالسيوم لبناء درعها الخارجي الواقي لها. وبما أن الأمطار الحمضية تذيب بسهولة كربونات الكالسيوم وتتدخل في عملية أخذ الكالسيوم بوساطة هذه الكائنات، فعليه لا يمكن لهذه الكائنات العيش والنمو في هذه البيئة.

وتستدعي هذه الآثار الضارة للأمطار الحمضية أخذ الحيطة وتدبير الإدارة الناجعة للحيد منها ومنع حدوثها. وللأمطار الحمضية تداخلات معقدة مع الغلاف الجوي والتربة والماء والمترسبات وآثارها على الإنسان والحيوان والنبات والأحياء المجهرية. غير أنه لا توجد حلول سريعة، ويحتاج التنظيف إلى مدة طويلة من الزمن، وجهد

كبير، وتمويل ضخم، وإتباع التقانة الملائمة والمجدية، ووضع محطات دائمة للقياس المستمر ورصد الملوثات وتحركاتها، ووضع برامج مراقبة، وسن القوانين الرادعة ووضعها موضع التنفيذ {2}.

ولتفادي الخطورة الناجمة من التلوث الهوائي والأمطار الحمضية فربما أمكن إتمام ذلك عن طريق معالجة الغازات الناتجة من الصناعات ذات الأثر الكبير، وربما عن طريق استخدام وقود يحوي نسبة قليلة من الكبريت في وسائل النقل والمواصلات، أو بالتخلص من الكبريت أثناء تصفية النفط بالهدرجة Hydrogenation ، أو بإزالة ثاني أكسيد الكبريت بالمزج مع مادة ماصة مثل الجير أو الحجر الجيري، أوباللجوء إلى مستحدثات وأساليب التقانة الحديثة واستخدام الطاقة الجديدة والمتجددة، وترشيد استخدام التقانة المستخدمة وترفيع أساليبها حالياً، أو بعمل الكثير من هذه الأمثلة الواقية والمفيدة {2، 3، 4، 5، 6، 8}.

الأوزون: Ozone, O_3

قد ينتج الأوزون من عمليات الأكسدة الكهروكيميائية. ومن الآثار الضارة له ما يلى:

- إعاقة التنفس الطبيعي عند التعرض له في درجات تركيز 1,. ملجم/لتر لمدة ساعتين.
- تلف الرئة عند المرضى بها.
- غاز سام.
- مهيج.
- قد يتلف النباتات والممتلكات. (يغير الأوزون من لون أوراق النباتات (في الجزء العلوى منها) كما في العنب، وذلك عند تعرضه للأوزون في درجات تركيز حوالي 4,. ملجم/لتر. كما ويفقد النبات خلاياه عند التعرض للأوزون لمدة طويلة) {3}.

نقصان طبقة الأوزون:

إن وجدود الأوزون في طبقات الجو العليا (20 إلى 40 كيلومتر أو أكثر) يعمل كدرع واقي وحاجز مرشح للأشعة فوق البنفسجية. إذ أن زيادة تعرض الجلد للأشعة فوق البنفسجية يقود إلى الإصابة بسرطان الجلد.
يتكون الأوزون في الطبقة الجوية العليا (استراتوسفيرStratosphere) عندما تقوم الأشعة الفوق البنفسجية (ذات الطول الأقل من 242 نانومتر والصادرة من الشمس) بتحطيم الأكسجين الجزيئي إلى ذرات يمكنها التفاعل مع الأكسجين لتكوين الأوزون. وتستمر هذه العملية في وجود ضوء الشمس، وقد تقود إلى زيادة الأوزون في طبقة الجو العليا ما لم توازنها عمليات نقصان الأوزون وإنخفاضه. وتضم عمليات نقصان الأوزون بفعل الأشعة فوق البنفسجية والطيف المرئي ذات الموجة الطويلة (أكبر من 320 نانومتر)، وتضم أيضاً تفاعلات الأوزون الكيميائية مع الأكسجين وتداخلها مع أكاسيد النتروجين المفردة، والتي تأتي من إنتشار أكسيد النتروجينI، (N_2O) للأعلى من التربة، وتنتج هذه العملية 60 إلى 70 بالمائة من النقصان والإنخفاض. ويؤدي الإتزان بين عمليات تخليق الأوزون ونقصانه إلى زيادة طبقة الأوزون في الإستراتوسفير {2، 3، 9}.

يقوم الأوزون بإمتصاص الأشعة الشمسية ليؤدي إلى زيادة الحرارة في طبقة الإستراتوبوز Stratopause ، كما ويقوم بتقليل أشعة الشمس لرفع درجة الحرارة على سطح الأرض. كما وتقوم طبقة الأوزون بإزالة الأشعة فوق البنفسجية الضارة، وبذا تعمل على حماية الجلد وخلايا النبات، مواصلة عملها كدرع واقي {2،9}.

وتضم المواد التي تعمل على نقصان طبقة الأوزون: بعض الغازات العاملة لتغيير العمليات الكيميائية والتفاعلات المذكورة أعلاه، والكلورفلوركربون (مثل CF_2Cl_2 و $CFCl_3$) المستخدمة كدافع للأيرسول Aerosol propellants وفي عمليات التبريد. وتتراكم هذه المواد في الغلاف الجوي وتظل في حالة ثبات وإستقرار على الارتفاعات القليلة، غير أنها تتحطم في طبقة الإستراتوسفير باعثة الكلور الذي يتفاعل مع الأوزون. وقد أثبتت البحوث العلمية أن طبقة الأوزون قد تناقصت بنسبة 2.5 بالمائة في العقد الماضى عبر مستوى العالم {9}. ومنذ العام 1978 لوحظ أن تركيز الأوزون قل بدرجة كبيرة في قارة أنتاراكاتيكا، ربما بسبب مواد كلورفلوركربون وما زال هذا التدني مستمراً. ويؤدي الإنتاج المستمر لهذه المواد إلى النقصان الكبير في هذه الطبقة الواقية، مما يزيد من كمية الأشعة فوق البنفسجية التي تصل الأرض، الشيء الذي قد يزيد من حالات سرطان الجلد. كما وأن النقصان في تركيز الأوزون يقود إلى تبريد طبقة الإستراتوسفير مما قد يؤدي إلى تدفئة سطح الأرض، غير أن هذا الأثر قد تغطيه تغيرات أخرى.

أثر خاصية البيت الأخضر (الزجاجي Green house effect)

قد يؤدي إزدياد تركيز ثاني أكسيد الكربون عن المعدلات العادية في الغلاف الجوي إلى تغير في المناخ. وتقود الإهتزازات الداخلية ودورة ثاني أكسيد الكربون إلى إمتصاص الأشعة دون الحمراء. وبذا يقوم ثاني أكسيد الكربون في الهواء بإمتصاص جزء من الحرارة التي تعكسها الأرض عادة إلى الغلاف الجوي، ويقوم بإرجاعها مرة أخرى لسطح الأرض. وعليه لثاني أكسيد الكربون أثر يماثل أثر البيوت الزجاجية المستخدمة في الزراعة، إذ يقوم بحجز الحرارة التي يمكن أن تضيع بالإشعاع. ومن المحتمل أن يقود تراكم ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي إلى حجز كمية مناسبة من الحرارة لتسخين الأرض بصورة كبيرة مما قد يؤدي إلى إذابة بعض الجليد في القارات القطبية الجليدية. غير أنه لا يوجد دليل على أن هذا الإحتمال يمكن أن يحدث{10}. وتشير بعض الدراسات إلى أنه من المتوقع أن تضاعف تراكيز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي في منتصف أو أوائل القرن الحادى والعشرين، لترتفع درجات الحرارة العالمية إلى 2 إلى 3 درجات على مقياس كلفن، مما قد يؤدي إلى تغيير كبير في السقيط وتوزيع الجليد {8}.

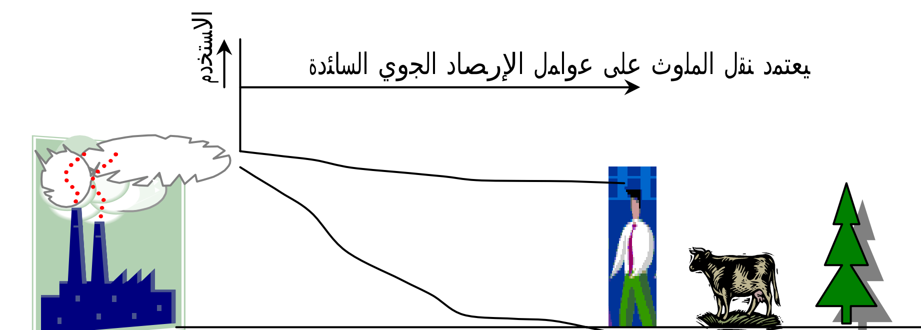
ومن المعايير التي يمكن أخذها في الإعتبار عند التفكر في التحكم وتجنب خاصية البيت الزجاجي: {2، 7، 8، 10}

- تقليل نفث ثاني أكسيد الكربون من العمليات الصناعية المتقدمة واستخدام الوقود الطمري Fossil fuel .
- الحد من إمداد النفط قد يسارع من استخدام نظم قليلة الكفاءة الإحترافية مما قد يفاقم من نفث تراكيز أكبر من ثاني أكسيد الكربون للغلاف الجوي.
- تحديد استخدام كلورفلورالكربون للتحكم في بعض الغازات المؤثرة على خاصية البيت الزجاجي (غير ثاني أكسيد الكربو).

- التحكم في عملية تبادلات كربون التربة والكربون الحيوي في التربة بالإضافة إلى ثاني أكسيد الكربون.
- منع القطع الجائر للغابات للاستخدام الزراعي لأنه يؤدي إلى استخدام الأرض كنظام تخزين كربوني قليل الكفاءة، كما وأن هذا الإجراء سيفاقم من الحرق وزيادة ثاني أكسيد الكربون.
- الإدارة الجيدة والمرشدة للأرض والمصادر الطبيعية.

4-8 انتشار الملوثات الهوائية

تؤثر عوامل الإرصاد الجوي بصورة كبرى على انتشار الملوثات الهوائية، وتحكم هذا الانتشار ثلاث عناصر تضم: مصدر التلوث، وحركة الملوث، والمستقبل للتلوث Recipient ، كما موضح في شكل 8-3. يؤدي التمدد المستمر للغلاف الجوي (في عمليات تبادل الحرارة) إلى ضغط الغازات مستخدماً في ذلك الطاقة الشمسية لإتمام هذه الحركة. كما وأن فرق الحرارة الدافعة بين خط الإستواء والقطبين يعطي الدورة الكلية الأولية للغلاف الجوي المحيط بالأرض.{2، 9}



شكل 8-3 انتشار الملوثات الهوائية

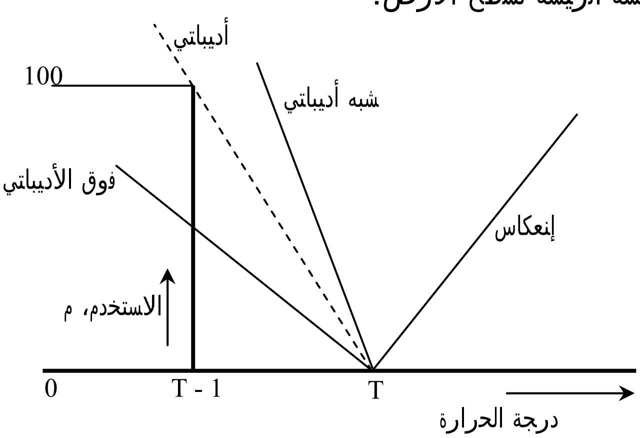
ومن أهم العوامل المؤثرة في حركة نقل الملوثات{2، 8، 9}: إتجاه وسرعة الرياح السائدة، والإضطراب، ودرجة الحرارة في الغلاف الجوي. وتعتمد سرعة الرياح جزئياً على خارطة الضغط الجوي. وعندما تكون منحنيات تساوي الضغط الجوي Isobars (الخطوط ذات الضغط المتساوي) متقاربة من بعضها البعض ينحدر ميل الضغط وتزيد سرعة الرياح نسبياً. أما عندما تكون خطوط تساوي الضغط الجوي متباعدة من بعضها تكون الرياح خفيفة، وربما تنعدم . ويتم انتشار الملوثات تحت عوامل الإضطراب عندما تنبعث في شكل ريشة Plume من مصدر مستمر أو في شكل نفخة (نفث متقطع Puff) من مصدر فوري {8}. وكلما زادت سرعة الرياح زاد الإضطراب الميكانيكي. وهذه الزيادة في الإضطراب الميكانيكي تسهل انتشار الملوثات ونشرها في الغلاف الجوي {9}. تتأثر سرعة الرياح واتجاهها والإضطراب في الطبقة الهوائية على ارتفاع كيلومتر واحد أعلى سطح الأرض (حيث تنفث معظم الملوثات) بصورة كبرى ببنية الغلاف الجوي الرأسي والتي يطلق عليها معدل إنقضاء الحرارة Lapse rate of temperature {8}. ويكون مقطع الهواء مستقراً لبعض درجات الحرارة وهذا يعني أن الهواء على ارتفاع معين تعمل عليه قوى طبيعية تجعله يميل إلى الاستقرار على ذلك الاستخدم. ويقلل الهواء المستقر من

انتشار الملوثات وتخفيفها. أما لبعض درجات الحرارة في مقاطع أخرى فيكون الهواء غير مستقر وفي هذه الحالة يحدث مزج رأسي سريع يساعد انتشار الملوثات ويحسن من نوع الهواء. ومن الواضح أن الاستقرار الرأسي للغلاف الجوي معيار مهم يساعد في إيجاد قابلية الغلاف الجوي لتخفيف المواد المبتعثة {2، 11}.

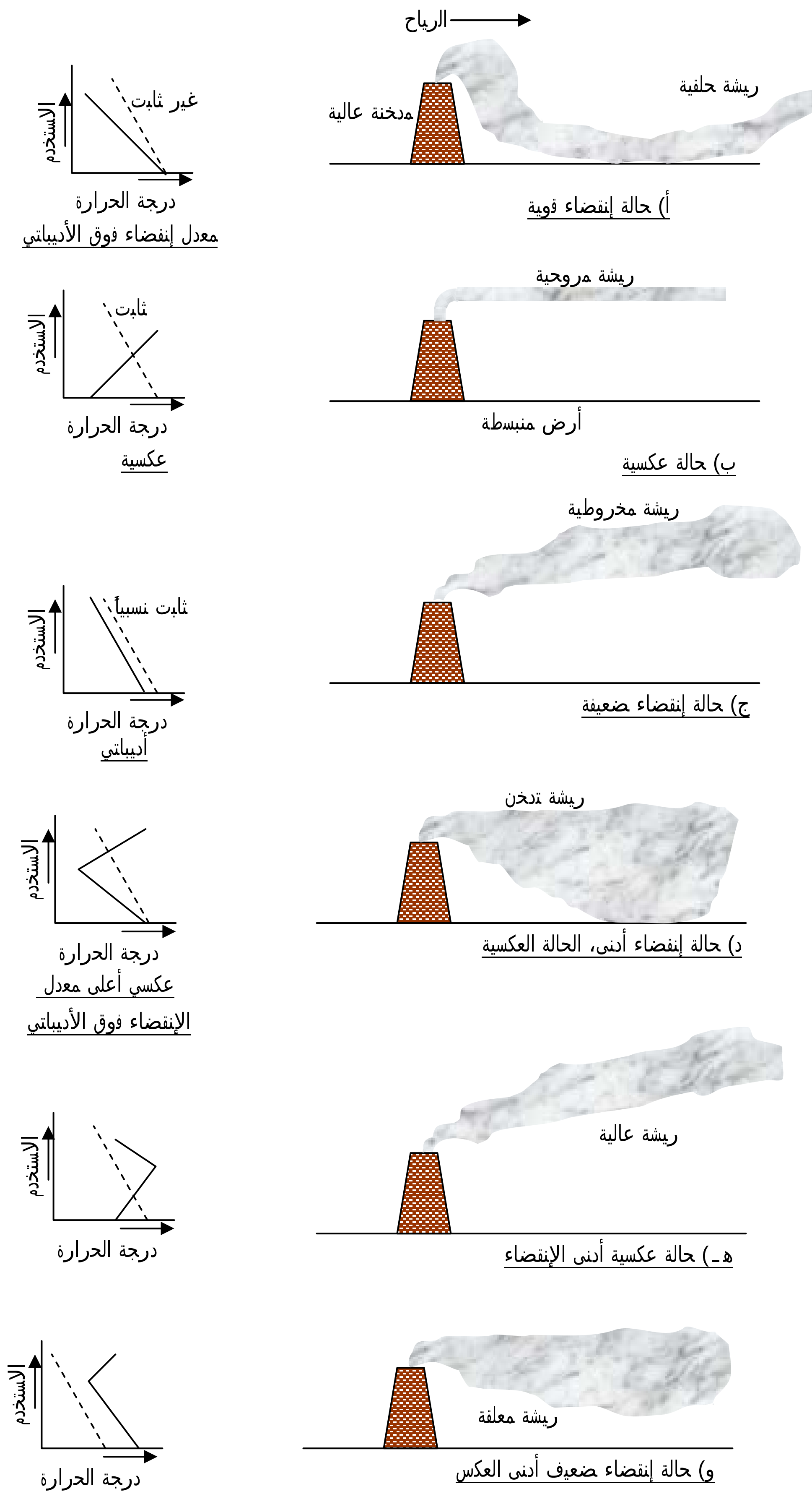
الانتشار الرأسي للملوثات:

عندما ترتفع كتلة من الهواء عبر غلاف الأرض الجوي يقل تأثير ضغط جزيئات الهواء المحيط عليها مما يجعلها تتمدد. ويؤدي هذا التمدد إلى نقصان حرارة كتلة الهواء. ويسمى معدل تبريد الهواء الجاف المرتفع إلى أعلى معدل الإنقضاء الجاف الأديباتي Dry adiabatic lapse rate ولا يعتمد على درجة حرارة الهواء السائد. والحالة الأديباتية تعني عدم وجود تبادل حرارة بين كتلة الهواء المعني والهواء المحيط بها. وتُسمى قياسات الحرارة والاستخدمات الحقيقية معدل الإنقضاء الموجود Prevailing lapse rates كما موضح في شكل 8-4، ومن ثم يمكن تعريف الحالات الآتية {2، 10}:

1. معدل إنقضاء معتدل Neutral lapse rate : وتحدث هذه الحالة عندما يكون معدل الإنقضاء الموجود مساوٍ لمعدل الإنقضاء الأديباتي، حيث تتولد حالة إتزان معتدل.
2. معدل إنقضاء فوق الأديباتي، أو معدل إنقضاء قويSuper adiabatic lapse rate : وتحدث هذه الحالة عندما تهبط درجة حرارة الغلاف الجوي إلى أكثر من درجة مئوية واحدة لكل مائة متر.
3. معدل إنقضاء شبه أديباتي، أو معدل إنقضاء ضعيف Subadiabatic lapse rate : ويتفرد بهبوط في الحرارة إلى أقل من درجة مئوية واحدة لكل مائة متر.
4. معدل إنقضاء عكسي Inversion : وهذه حالة خاصة لمعدل إنقضاء ضعيف، ويوجد فيها هواء ساخن فوق هواء بارد.
5. حالة تدخن Fumigation : وهذه حالة خطيرة، يتم فيها حجز الملوثات الهوائية تحت حالة عكس وتمزج بفعل معدل الإنقضاء الكبير.
6. الريشة الحلقية Looping plume : وهذه أيضاً حالة خطيرة نسبة للتركيز العالي للملوثات على سطح الأرض عند ملامسة الريشة لسطح الأرض.



شكل 8-4 معدل الإنقضاء الموجود



شكل 8-5 أشكال ريشة الدخان (ذيل الدخان)

وعادة يستغل نوع الريشة (ذيل الدخانSmoke trails) المنبعثة من المداخن ليتم التعرف على إتزان الغلاف الجوي. ويبين شكل 8-5 عدة أحوال للريشة وثبات الغلاف الجوي واستقراره طبقاً للتغير في الاستخدم ودرجة الحرارة.

نماذج انتشار الملوثات الهوائية

يمكن تعريف انتشار الملوثات الهوائية على أنه عملية نشر المواد المبتعثة على منطقة كبيرة تعمل على تخفيف تركيز هذه المواد الملوثة. أما نموذج الانتشار فهو عبارة عن وصف رياضي لعملية نقل الملوثات وانتشارها وإيجاد قيمها مقارنة بالمصدر وعوامل الرصد الجوي عبر فترة زمنية محددة. وتنتج محصلة الحسابات العددية تقديراً لتراكيز ملوث معين، في مناطق محددة، وفترات زمنية معروفة. ويتم التحقق من النموذج بقياس تركيز ملوث هوائي معين ومقارنة نتائج القياس مع القيم المحسوبة والمقدرة عن طريق النموذج، عبر استخدام معايير إحصائية معينة ومتفق عليها.

أما عوامل الرصد الجوي المطلوب إدراجها في النموذج الرياضي فتختلف باختلاف النموذج المفترض وتتداخل مع بعضها البعض ومن أمثلتها: إتجاه وسرعة الرياح، وثبات الغلاف الجوي، ومعدل الإنقضاء، وارتفاع الخلط الرأسي، ودرجة الحرارة. ويمكن تقسيم النماذج إلى نمادج قصيرة الأجل ونماذج مناخية.

أما النمادج قصيرة الأجل فيتم اختيارها لتحقيق أحد أو كل من الأهداف التالية:

- تقدير درجات تركيز الملوثات السائدة عندما يصعب عملياً أخذ عينة (مثلاً بالنسبة للأنهار والبحيرات أو عند الاستخدمات الشاهقة).
- تقدير الإنخفاض الطارئ المطلوب عند مصدر التلوث مقارنة بفترات ركود الهواء في حالة الإنذار من التلوث الهوائي.
- تقدير أكثر المناطق (فوق سطح الأرض) المحتمل تواجد أكبر تركيز للملوثات بها في المدى القصير، وذلك كجزء من خطة تقويم اختيار أنسب منطقة لوضع جهاز الرصد ومراقبة تلوث الهواء.

أما النماذج المناخية فتُستخدم لتقدير التراكيز المتوسطة عبر حقبة طويلة من الزمن، أو لتقدير التراكيز المتوسطة الموجودة في فترة زمنية محددة من اليوم لكل فصول السنة لمدة زمنية طويلة. وتُستخدم النماذج طويلة الأجل للمساعدة لتنمية تشريعات المواد المبتعثة أو تطويرها أو مراجعتها أو تعديلها {9}.

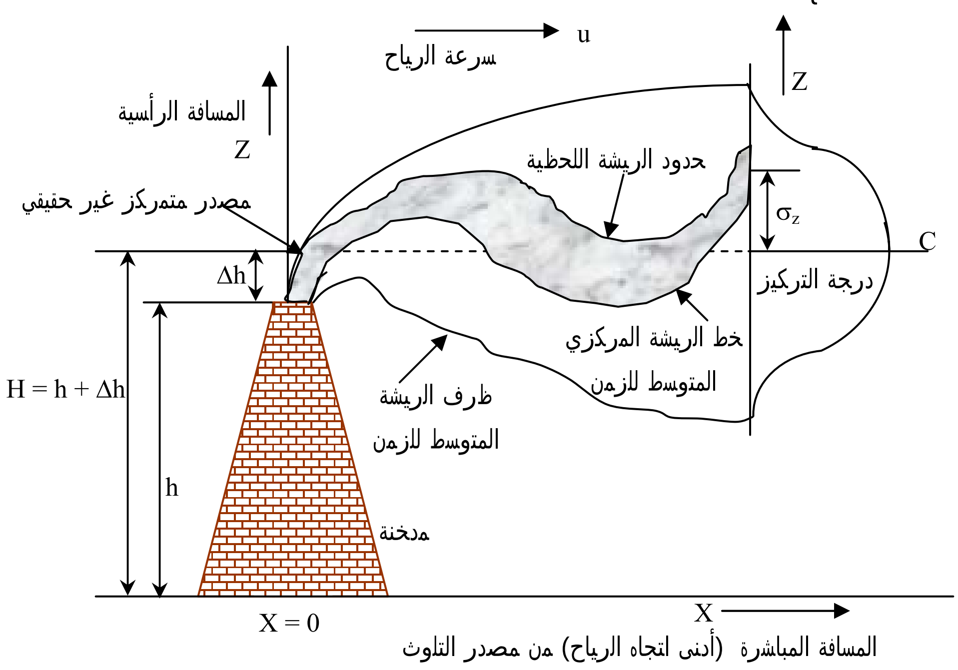
وهنالك العديد من نماذج الانتشار التجريبية المطورة مثل منحنى جوسيان والنموذج العددي والنموذج الإحصائي والنموذج الطبيعي والنموذج العقلاني. ويعتبر نموذج جوسيان من أكثرها استخداماً. أما النموذج العددي فيلجأ إليه عند وجود الملوثات المتفاعلة من مجموعة مصادر. والنموذج الإحصائي والعقلاني يلجأ إليه عند تعذر استخدام نموذج جوسيان والنموذج العددي. ويضم النموذج الطبيعي استخدام أنفاق الرياح وغيرها من نماذج الموائع {15}. وتعبر هذه النماذج عن صور رياضية لنقل الملوثات وانتشارها عبر منطقة معينة، كما وتقوم بتقدير درجة تراكيز الملوث في الريشة الدخانية أو في نقطة مرتفعة من سطح الأرض أعلى مصدر التلوث {2، 3، 15}.

نموذج جوسيان

تفترض معظم النماذج تقدير المتوسط الزمني للملوث أدنى إتجاه الرياح من مصدرها، باستخدام منحنى التوزيع الطبيعي أو منحنى جوسيان .Gaussian ويتحقق نموذج منحنى التوزيع الطبيعي الأساسي لمصدر وحيد التلوث (مثل المدخنة)، غير أنه يمكن تطوير النموذج ليخدم مصادر خطية (مثل المواد المبتعثة من سيارة في الطريق) أو لمصادر منطقة {11}. ومن أهم الإفتراضات المدرجة عند تحليل النموذج ما يلي {2، 10، 11}:

- استمرارية نفث الملوث من المصدر.
- عمليات الانتشار والإبتعاث تتبع حالة مستقرة أو مطردة Steady state (dC/dt = 0) .
- غالباً تتحرك الملوثات أدنى إتجاه الرياح.
- لا تتغير سرعة الرياح بالنسبة للزمن أو الاستخدم.
- الملوث محافظ، أي أنه لا يفقد بالإضمحلال، أو بالتفتيت، أو بالتفاعل الكيميائي، أو بالترسيب، ولا يحجز جزء منه عندما يصل إلى الأرض بل ينعكس جميعه.
- تعتبر الأرض مستوية تقريباً أو تعتبر المنطقة مفتوحة.
- تكون أكبر درجة تركيز لجزيئات الملوث على خط الريشة المركزي.
- تنتشر الجزيئات تلقائياً من مناطق التركيز العالية إلى مناطق التركيز المنخفضة.

ويبين شكل 8-6 رسم مبسط لنموذج جوسيان. وتوضح المعادلة 8-1 معادلة ريشة جوسيان لتركيز الغاز أو الإيرسول ذي القطر الأقل من 20 ميكرومتر والمحسوب على ارتفاع مستوى الأرض لمسافة (x) أدنى اتجاه الرياح{2، 3، 7، 9، 10، 11}.



شكل 8-6 نموذج جوسيان

$$C(x,y)=\frac{Q}{\pi u \sigma_y \sigma_z} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{H}{\sigma_z}\right)^2} \times e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2} \qquad 8\text{-}1$$

حيث:

$C(x,y)$ = درجة تركيز الملوث على سطح الأرض على النقطة (x, y) ، جم/م^3

(x,y) = إحداثيات المستقبل للملوثات الهوائية

Q = معدل المواد المبتعثة أو الملوثات، جم/ث

u = سرعة الرياح المتوسطة على ارتفاع المدخنة الفعال، م/ث

σ_y = الإنحراف المعياري الأفقي لتركيز الريشة، والتي تقدر للمسافات (x) أدنى اتجاه الرياح، م (انظر شكل 8-7)

σ_z = الإنحراف المعياري الرأسي لتركيز الريشة والتي تقدر للمسافات (x) أدنى إتجاه الرياح، م (انظر شكل 8-7).

H = ارتفاع المدخنة الفعال، م

أما ارتفاع المدخنة الفعال فيمكن تقديره من المعادلة 8-2.

$$H = h + \Delta h \qquad 8\text{-}2$$

حيث:

H = ارتفاع المدخنة الفعال، م

h = ارتفاع المدخنة الحقيقي أو الطبيعي، م

Δh = ارتفاع الريشة، م

y = المسافة مباشرة أدنى إتجاه الرياح من خط الريشة المركزي، م

x = المسافة الأفقية أدنى إتجاه الرياح عبر خط الريشة المركزي المتوسط من نقطة المصدر، م

وتوجد عدة معادلات وأنظمة لتقدير ارتفاع الريشة Dh ومن هذه المعادلات: معادلة ومسيس وكارسون، ومعادلة براينت-ديفدسن، ومعادلة كونكيو، ومعادلة برقز، معادلة هولاند. وتبين المعادلة 8-3 معادلة هولاند {3، 9، 12}.

$$\mathbf{\Delta h} = \frac{\mathbf{v_s d}}{\mathbf{u}}\left[1.5 + \left(2.68 \times 10^{-2}\,\mathbf{P}\right)\frac{\mathbf{T_s - T_a}}{\mathbf{T_s}} \times \mathbf{d}\right] \qquad 8\text{-}3$$

حيث:

Δh = ارتفاع الريشة أعلى المدخنة، م

v_S = سرعة غاز المدخنة، م/ث

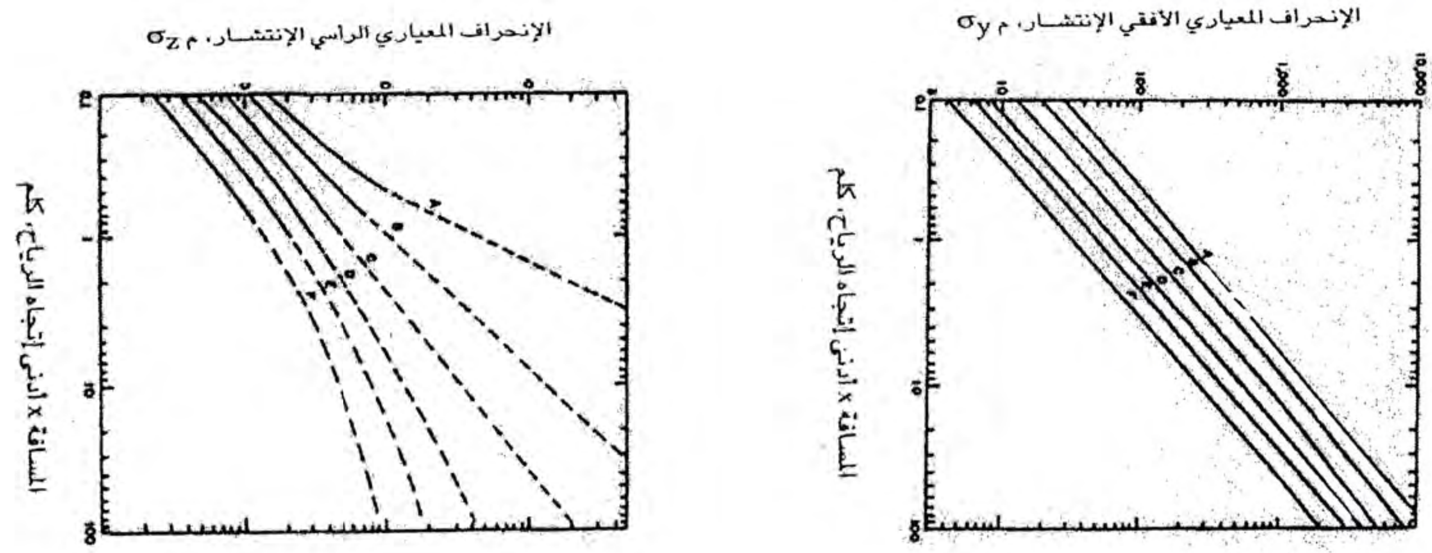
d = القطر الداخلي للمدخنة، م

u = سرعة الرياح، م/ث

P = الضغط البارومترd، كيلو باسكال

T_S = درجة حرارة غاز المدخنة، كلفن

T_a = درجة حرارة الهواء، كلفن



A = غير مستقر جدا
B = متوسط عدم الإستقرار
C = نسبيا غير مستقر
D = محايد
E = نسبيا مستقر
F = متوسط الإستقرار

شكل 8–7 معامل لإنتشار الريشة

Source : Vesilind, P.A., Peirce, J.J, & Weiner. R., Environmental Engineering, Butterworths, Boston, 1988

أما قيم الإنحراف المعياري σ_y و σ_z فتعتمد على إضطراب البنية أو الاستقرار للغلاف الجوي، هذا بالإضافة إلى اعتمادها على المسافة من المصدر. ويمكن تقسيم الاستقرار إلى مصنفات استقرار من (A) إلى(F) . ينسب (A) إلى حالة غلاف جوي غير مستقرة جداً فوق الأديباتي، ويعني القسم (B) حالة غلاف جوي غير مستقرة، وينسب القسم (C) إلى حالة غلاف جوي غير مستقرة نسبياً إلى حالة محايدة، وينسب القسم (D) إلى حالة غلاف جوي

مستقرة دون الأديباتي، ويعني القسم E حالة غلاف جوي مستقرة، أما القسم (F) فهو حالة غلاف جوي مستقرة جداً. ويوضح الجدول 8-4 مفتاح لأقسام الاستقرار وسرعات الرياح التي تتناغم وتتماسك مع بعضها البعض.

جدول 8-4 أقسام استقرار الغلاف الجوي {2، 3، 8، 9، 10، 11}

سرعة الرياح السطحية على ارتفاع 10 متر (م/ث)	النهار			الليل	
	الإشعاع الشمسي الساقط			مقدار العتمة	
	قوي	متوسط	قليل	معظمه عتمة	معظمه صافي
أقل من 2	A	A - B	B		
2 إلى 3	A - B	B	C	E	F
3 إلى 5	B	B - C	C	D	E
5 إلى 6	C	C - D	D	D	D
أكبر من 6	C	D	D	D	D

مفتاح:

A = غير مستقر جداً   B = متوسط عدم الاستقرار.

C = نسبياً غير مستقر.

D = محايد (لابد من افتراض أن حالة العتمة خلال النهار أو الليل بغض النظر عن سرعة الرياح).

E = نسبياً مستقر.   F = متوسط الاستقرار.

مثال 8-1

أوجد الاستخدم الفعال لمدخنة مصنع معين باستخدام البيانات المبينة في الجدول التالي:

المنشط	القيمة
ارتفاع المدخنة الطبيعي	140 متراً
قطر المدخنة الداخلي	0.8 متراً
سرعة غاز المدخنة	460 م/دقيقة
درجة حرارة غاز المدخنة	170°م
سرعة الرياح	175 م/دقيقة
درجة حرارة الهواء	18°م
الضغط البارومتري	110 كيلوباسكال

الحل:

1- المعطيات: v_s = 460 م/دقيقة (= 460 ÷ 60 = 7.67 م/ث)، d = 0.8 م، u = 175 م/دقيقة (= 175 ÷ 60 = 2.92 م/ث)، T_s = 170 °م، T_a = 18 °م، P = 110 كيلو باسكال.

2- أوجد درجات الحرارة بتقدير كلفن من المعادلة: $T_k = T + 273.16$

T_s = 170 + 273.16 443.16 كلفن

T_a = 18 + 273.16 = 291.16 كلفن

3- أوجد ارتفاع الريشة من المعادلة: $\Delta h = \frac{v_s d}{u}\left[1.5 + \left(2.68 \times 10^{-2} P\right)\frac{T_s - T_a}{T_s} \times d\right]$

$$\Delta h = \frac{7.67 \times 0.8}{2.92}\left[1.5 + \left(2.68 \times 10^{-2} \times 110\right)\frac{443.16 - 291.16}{443.16} \times 0.8\right]$$

Δh = 4.85 متراً

4- أوجد الارتفاع الفعال للمدخنة من المعادلة: $H = h + \Delta h$

H = 140 + 4.85 = 144.85 متراً

مثال 8-2

إذا علم أن معدل نفث الغاز في مثال 8-1 يساوي 1250 جراماً على الثانية، كم تبلغ درجة تركيز الغاز على الخط المركزي لمسافة 7 كيلومترات أدنى اتجاه الرياح بافتراض وجود حالة غلاف جوي معتمة.

الحل:

1- المعطيات: Q = 1250 جم/ث، v_s = 460 م/دقيقة، d = 0.8 م، u = 175 م/دقيقة، T_s = 170 °م، T_a = 18 °م، P = 110 كيلو باسكال.

2- بافتراض أن حالة الغلاف الجوي معتمة ومن جدول 8-4 يمكن تحديد حالة الاستقرار على أنها (D). أما تعبير الخط المركزي فيدل على أن y = صفر.

3- أوجد قيم الإنحراف المعياري من شكل 8-6 للمسافة 7 كيلومتر أدنى اتجاه الرياح ولحالة استقرار D

الإنحراف المعياري الأفقي للريشة، σ_y = 400 متراً.

الإنحراف المعياري الرأسي للريشة، σ_z = 115 متراً .

4- أوجد درجة التركيز باستخدام المعادلة:

$$\underline{C(x,y) = (Q/(pus_y s_z))\,[\exp(-2\,(H/s_z)^2)]\,\exp[-2\,(y/s_y)^2]}$$

$$C(x,y) = (1250 \div(p\times(175\div60)\times400\times115))\exp(-(144.85\div115)^2\div2)\exp(-(0\div400)^2\div2)$$

= 1.34 ملجم/م^3.

8-5 مكافحة تلوث الهواء

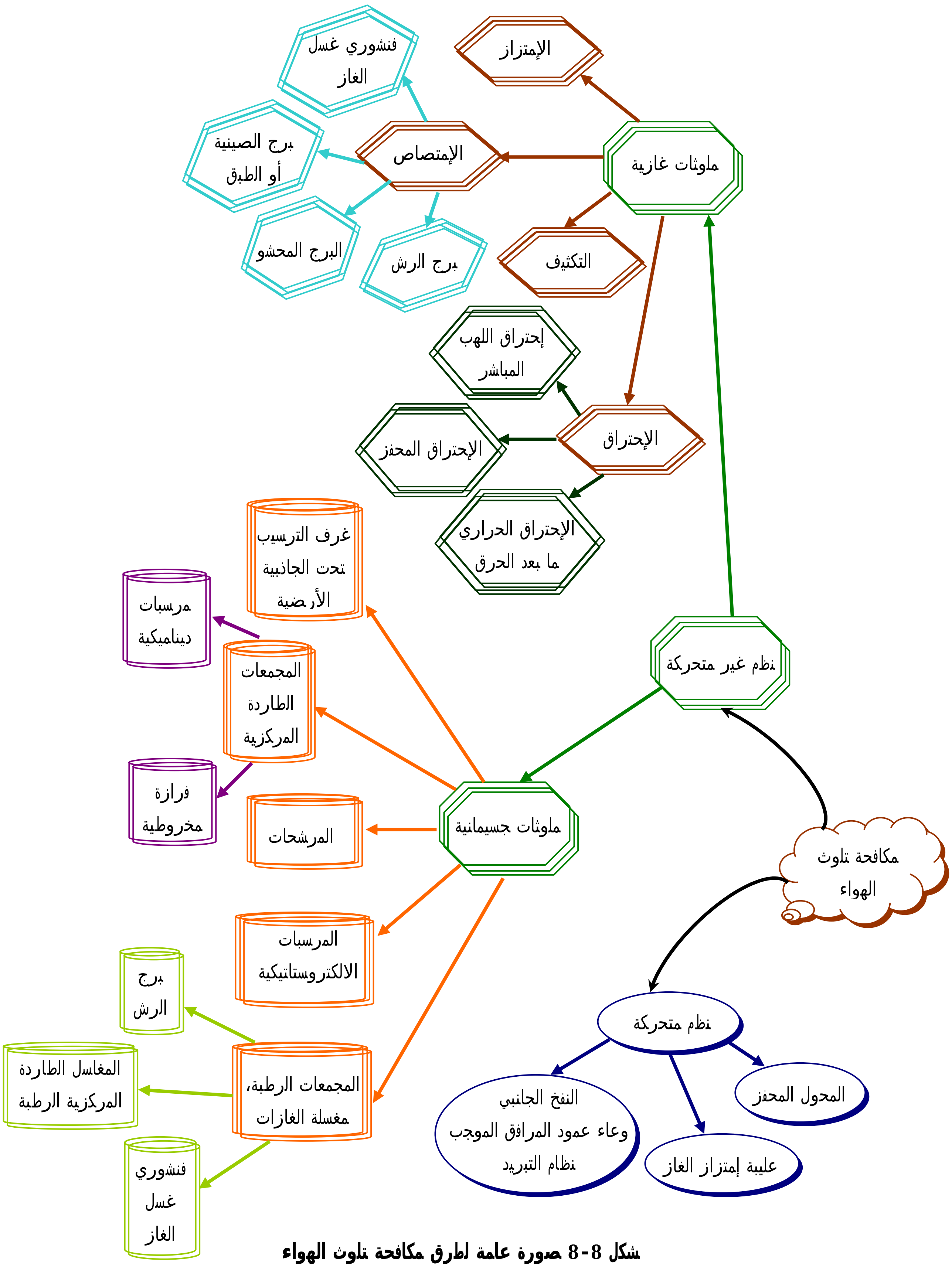
عادة تعمل سبل طبيعية متواجدة في الغلاف الجوي بعمليات النظافة الذاتية لما يدخل إلى الطبقة من ملوثات. وبدون هذه النظافة الذاتية لا تصلح الطبقة الجوية السفلى (التروبوسفير) لعيش الإنسان. وتضم عمليات النظافة الطبيعية عوامل عدة منها: التشتت والترسيب تحت الجاذبية والتلبد والإمتصاص والسقيط والإمتزاز. بفضل تيار

الرياح يقوم التشتت بتقليل درجة تركيز الملوثات في منطقة معينة. أما الترسيب تحت قوى الجاذبية فيقوم بإزالة الجسيمات ذات القطر الأكبر من 20 ميكرومتر في الغلاف الجوي. ويقوم التلبد بالمساعدة في إزالة الجسيمات ذات القطر الأقل من 0.1 ميكرومتر. أما الإمتصاص فيحدث أدنى مستوى السحب، ويساعد في تجميع الغازات والجسيمات لتسهل نظافتها أو كنسها مع الأمطار أو الضباب. أما الإمتزاز فيحدث أساساً في طبقة الإحتكاك في الغلاف الجوي، وهى الطبقة الأقرب إلى سطح الأرض. ويقوم الإمتزاز بالإستقطاب الإلكتروستاتي للغازات والسوائل أو الملوثات الصلبة لسطح ما حيث تتركز وتحجز فيه {2، 3}.

ومن أهم أهداف مكافحة تلوث الهواء منع تلوث الغلاف الجوي بأى ملوثات تحدث آثار أو مخاطر سلبية ضارة بالإنسان أو نشاطاته. وعليه يمثل منع إنتاج الملوثات أحسن السبل لمكافحة تلوث الهواء، فمثلاً يمكن منع نفث الملوثات الرصاصية من السيارات بحرق وقود خالي من الرصاص، كما ويمكن تقليل نفث أكاسيد النتروجين لدرجة كبيرة بإعادة تصميم المحركات {2، 8}.

8-6 طرق مكافحة تلوث الهواء

طرق مكافحة تلوث الهواء تضم تغيير وحدات عمل المنشأة الملوثة، وتغيير الوقود المستخدم، والتشغيل الجيد، وفي حالة إستعصاء تطبيق أي من هذه الطرق ينبغي التفكير في وقف الإنتاج وإغلاق المنشأة. أما سبل التحكم في التلوث الهوائي فتضم الإحتراق والإدمصاص والتكثيف. وتوجد العديد من الأجهزة التي تعمل في هذا الإطار العام لتحقيق التحكم والمكافحة المنشودة لما فيه المصلحة العامة. يبين شكل 8-8 صورة عامة لطرق مكافحة تلوث الهواء. ويمكن تقسيم الطرق التقليدية المتبعة لمكافحة تلوث الهواء إلى: طرق ضبط للملوثات الهوائية النابعة من المصادر الثابتة، وطرق ضبط لتلك الملوثات الناتجة من مصادر متحركة. كما ويمكن تقسيم طرق ضبط للملوثات الهوائية النابعة من المصادر الثابتة إلى قسمين آخرين يضمان: الطرق المتعلقة بمكافحة الملوثات الغازية، والطرق المتعلقة بمكافحة تلوث الجسيمات. ويعتمد هذا التقسيم على الفرق في مقاسات الملوثات، إذ أن جزيئات الغازات لها قطر يبلغ 0.1 نانومتر تقريباً، أما أقطار الجسيمات فتبلغ 0.1 ميكرومتر أو أكثر. ويبين شكل8-9 رسم تخطيطي لإحدى سبل التحكم في الملوثات المبتعثة.



شكل 8-8 صورة عامة لطرق مكافحة تلوث الهواء

أ) طرق ضبط التلوث الهوائي للمصادر الثابتة

ويمكن أن تقسم هذه الطرق إلى قسمين رئيسين يضمان: الملوثات الغازية وملوثات الجسيمات. أما طرق التحكم في التلوث الهوائي من الملوثات الغازية فتحوي: عمليات الإمتزاز وعمليات الإمتصاص أو غسل الغاز. وأما طرق التحكم في التلوث الهوائي من ملوثات الجسيمات فتضم: غرف الترسيب تحت الجاذبية، والمجمعات الطاردة المركزية (مثل الفرازات المخروطية والمرسبات الديناميكية)، والمرشحات النسيجية، والمجمعات الرطبة، والمرسبات الإلكتروستاتية.

أ-1 الملوثات الغازية Gaseous pollutants

من أهم الملوثات الهوائية الغازية: أكاسيد الكبريت SO_X ، وأكاسيد الكربون (خاصة أول أكسيد الكربون)، وأكاسيد النتروجين NO_X ، والغازات الحمضية العضوية وغير العضوية، والهايدروكربونات{3}. ويمكن تخفيض درجات تركيز الغازات غير المطلوبة بإحدى أو كل من الطرق الآتية {2، 8}:

تقليل أو منع إنتاج الغاز الملوث.

استخدام مواد تتفاعل مع الغازات الملوثة لإنتاج مواد أخرى غير ضارة ولا تشكل خطورة.

الإزالة المنتقاة للملوثات من نظام الغاز بوساطة الإمتصاص (أي نقل جزيئات الغاز إلى السائل).

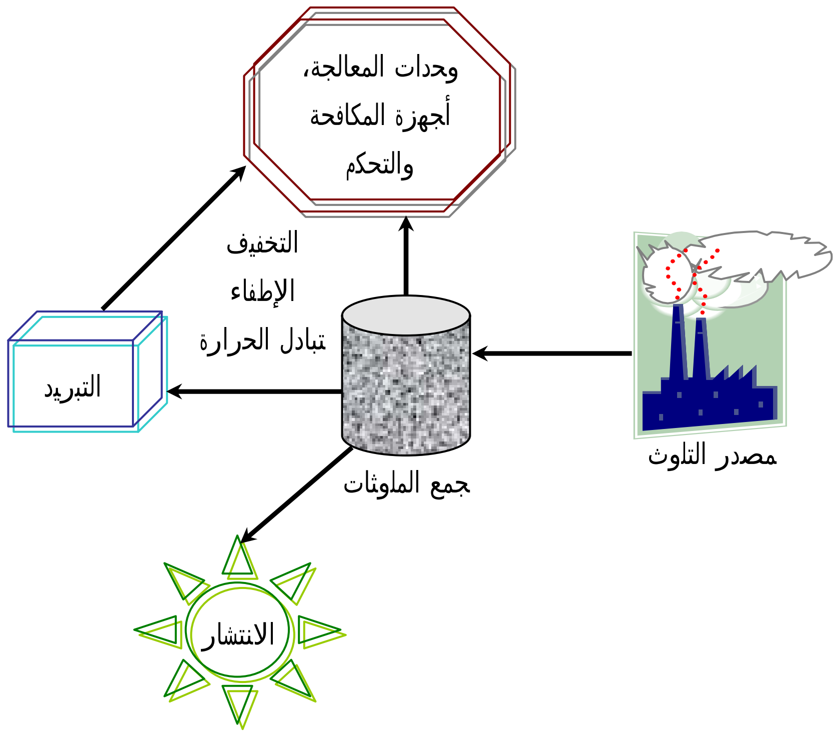
الإزالة المنتقاة للغاز الملوث بالإمتزاز (أي ترسيب جزيئات الغاز في سطح صلب).

عمليات الإمتزاز Adsorption processes

يمتز الغاز الملوث في مفارش أو مواد مازة صلبة، وذلك بتمرير الغاز عليها. وتُختار المادة المازة اعتماداً على قابليتها لتجميع الغاز المطلوب {3}. ويبين جدول 8-5 بعض الأمثلة للمواد المازة المستخدمة.

جدول 8-5 أمثلة لمواد مازة مختارة {2، 3، 8، 13}

نوع المادة المازة	أهم الاستخدامات
الكربون النشط	إزالة جزيئات الهيدروكربونات الخفيفة (الرائحة)، تنقية الغازات، إسترجاع المذيبات
الألومنيا النشطة	تجفيف الغازات والهواء والسوائل
بوكسيتBauxite (صخر يستخرج منه الألومنيوم)	معالجة أجزاء النفط، تجفيف الغازات والسوائل
فحم العظم Bone char	إزالة لون محلول السكر
تراب قصار Fuller's earth	تصفية الزيوت الحيوانية، وزيوت التزليق، والزيوت النباتية، والدهون والشمع
الماغنيسيا	معالجة الغازولين والمذيبات، إزالة الشوائب المعدنية من المذيبات الكاوية
جل (هلام) السليكا	تجفيف وتنقية الغازات، إزالة بخار الماء، وإزالة بعض الغازات القطبية



شكل 8-9 رسم تخطيطي لإحدى سبل التحكم في الملوثات الهوائية

أما المواد الصلبة التي يفضل استخدامها كمواد مازة فيجب أن تكون لها الخواص التالية {2، 13}:

- عالية المسامية.
- لها نسبة مساحة إلى حجم عالية.
- ذات بنية تسمح بحشوها في الأبراج.
- تقاوم الكسر
- يمكن تجديدها وإعادة استخدامها بعد تشبعها بجزيئات الغاز.

عمليات الإمتصاص (غسل الغاز)(Absorption devices (Scrubbing))

تنتهج عملية الإمتصاص نقل الكتلة المذاب فيها الغاز إلى المحلول. وربما تبعت عملية الإذابة تفاعلات مع بعض العناصر في المحلول. وما نقل الكتلة إلا عملية hانتشار يتحرك فيها الغاز الملوث من نقاط ذات تركيز عالٍ إلى نقاط ذات تركيز أقل {9}. ويتم إمتصاص الغازات الملوثة باستخدام محلول مختار في مغسلة رطبة، أو برج محشو، أو برج فقاعات. وعادة تضم الغازات، التي يتم التحكم فيها بعملية الإمتصاص، ثاني أكسيد الكبريت، وكبريتيد وكلوريد الهيدروجين، والكلور، والأمونيا، وأكاسيد النتروجين، والهيدروكربونات ذات درجة الغليان المنخفضة {13}.

ومن المواصفات المطلوبة للمواد الماصة أو المذيبة ما يلي {2، 3، 13}:

- o لها ضغط بخار قليل (لتخفيض الفاقد)

- لها درجة تجمد منخفضة.
- غير طيارة نسبياً.
- متواجدة بسهولة.
- غير أكالة (لتقليل ترميم الجهاز وتقليل تكلفة الصيانة).
- غير باهظة الثمن.
- غير سامة.
- غير قابلة للإشتعال.
- مأمونة كيميائياً.

ويبين جدول 8-6 بعض الأمثلة لمذيبات تستخدم في نظافة وغسيل الغازات.

جدول 8-6 أمثلة للمذيبات المنظفة للغازات {2، 3، 4}

المذيب	الاستخدام
الماء	يزيل ثاني أكسيد الكربون، والكلور، وكلوريد الهيدروجين، وفلوريد الهيدروجين
أمونيا وأمينات (زيلين، وثاني ميثيل أنيلين)	إزالة ثاني أكسيد الكبريت SO_2
ثاني إيثانولمين	إزالة كبريتيد الهيدروجين
الغازولين السائل	إزالة بخار الهايدروكربونات الخفيفة

الإحتراق أو الترميد Combustion or Incineration

تهدف عملية الإحتراق إلى تحويل الملوثات الهوائية (غالباً الهيدروكربونات أو أول أكسيد الكربون) إلى ثاني أكسيد الكربون غير الضار والماء. ولتحقيق أكبر كفاءة إحتراق (إنتاج أقل مركبات غير محترقة) فمن الواجب الحصول على مجموعة العناصر الأساسية للإحتراق والتي تضم :الأكسجين، ودرجة الحرارة، والإضطراب، والزمن {3}.

ويمكن تقسيم الإحتراق طبقاً لنوع المواد الملوثة المطلوب أكسدتها إلى ما يلي:

- ❖ إحتراق اللهب المباشر: Direct flame combustion ويتم فيه إحتراق الغازات الملوثة مباشرة في جهاز إحتراق بإضافة (أو بدون إضافة) وقود مساعد. وتستخدم هذه الطريقة في محطات إنتاج وتكرير النفط.
- ❖ الإحتراق الحراري (أو ما بعد الحرق(Thermal combustion (after burner: ويتم فيه تسخين الغاز الملوث مسبقاً. وعادة تتم عملية الإحتراق باستخدام مبادل حراري. ومن ثم يدخل الغاز المسخن مسبقاً إلى منطقة الإحتراق التي يوجد بها موقد مزود بالوقود الملحق.
- ❖ الإحتراق المحفز : Catalytic combustion ويستخدم فيه العامل المساعد ليزيد من معدل الأكسدة دون دخوله في التغير الكيميائي، مما يخفف من زمن المكث المطلوب للترميد.

التكثيف Condensation

يتم تكثيف ملوثٍ ما (على درجة حرارة معينة) إذا تم زيادة ضغطه الجزئي إلى أن يساوي أو يفوق ضغط بخاره على درجة الحرارة المعنية. كما ويحدث التكثيف إذا تم تخفيض درجة حرارة خليط من الغازات إلى درجة حرارة التشبع ليتساوى ضغط بخاره مع ضغطه الجزئي {3}.

ومن أسباب استخدام المكثفات في مكافحة الملوثات الغازية ما يلي:

- الاسترجاع الاقتصادي للنواتج المفيدة.
- إزالة الأجزاء التي يمكن أن تكون أكالة أو ضارة لأجزاء أخرى في النظام.
- تقليل حجم الغاز الخارج {13}.

أ-2 ملوثات الجسيمات Particulate contaminants

وهذه الطرق المتبعة لضبط التلوث الهوائي النابع من المصادر الثابتة النافثة للجسيمات يمكن تقسيمها إلى: غرف ترسيب تحت الجاذبية، ومجمعات طاردة مركزية (مثل: الفرازات المخروطية والمرسبات الديناميكية)، ومرشحات النسيج، والمجمعات الرطبة، والمرسبات الإلكتروستاتية.

غرف الترسيب تحت الجاذبية Gravitational settling chambers

غرف الترسيب تحت الجاذبية الأرضية بسيطة في تصميمها وإنشائها وأدائها، كما وأنها نظم تجميع رخيصة تستغل فيها قوى الجاذبية الأرضية لترسيب الحبيبات في حركتها الرأسية {8}. وعادة تستخدم هذه الطرق كمرحلة تنظيف أولية لحماية الأجهزة الأخرى التي تأتي بعدها من المواد الحارة والخشنة والأكالة {15}. غير أن كفاءة الغرف قليلة لإزالة الحبيبات الصغيرة {3}. ويمكن بوساطة غرف الترسيب إزالة الحبيبات الكبيرة والتي يزيد قطرها عن 100 ميكرومتر {10}. ويبين شكل 8-10 رسم تخطيطي لغرف الترسيب تحت الجاذبية.

أما كفاءة غرف الترسيب تحت الجاذبية فيمكن إيجادها{8} من المعادلة 8-4:

$$E = 100 *[1 - \exp(-g*d_p^2 *\rho_p*L/18*\mu*u*h)] \qquad 8\text{-}4$$

حيث:

E = كفاءة الإزالة(%)

g = عجلة الجاذبية الأرضية (م/ث^2)

d_p = قطر الحبيبة، (م)

ρ_p = كثافة الحبيبة (كجم/ م^3)

L = طول المجمع (م)

μ = درجة لزوجة الغاز الديناميكية (نيوتن×ث/م^2)

u = السرعة الأفقية للغاز والحبيبة عبر المجمع (م/ث)

h = ارتفاع المجمع (م)

مثال 8-3

أوجد قطر الجسيمات العالقة في مسار هوائي ملوث تحت الضغط الجوي باستخدام البيانات المدرجة في الجدول التالي:

المنشط	القيمة
درجة حرارة المسار الهوائي الملوث	160°م
سرعة تحرك الهواء الملوث عبر غرفة الترسيب	40 م/دقيقة
كفاءة إزالة الحبيبات بوساطة غرفة الترسيب	63 بالمائة
كثافة الحبيبات	2100 كجم/ م^3
طول غرفة الترسيب	3.5م
إرتفاع غرفة الترسيب	1.2م

الحل:

1- المعطيات: T = 160°م، u = 40 م/دقيقة (= 40÷60 = 0.67 م/ث)، E = 63%، ρ_p = 2100 كجم/ م^3،
L = 3.5 م، h = 1.2م.

2- أوجد درجة لزوجة الهواء طبقاً لدرجة الحرارة 160°م ، من جدول ج - 4 في الملاحق:
μ = 2.42×10^{-5} نيوتن×ث/م^2

3- أوجد قطر الحبيبات من معادلة الكفاءة: $E = 100 *[1 - \exp(-g*d_p^2*\rho_p*L/18*\mu*u*h)]$
$E = 100\times[1 - \exp\{-(9.81\times d_p^2 \times 2100\times 3.5) \div (18\times 2.42\times 10^{-5}\times(40 \div 60)\times 1.2)\}]$
وعليه: d_p = 69 ميكرومتر.

المجمعات الطاردة المركزية Centrifugal collectors:

تُستخدم مجمعات القوى الطاردة المركزية لفصل الحبيبات من نظام الغاز. وعادة تضم المجمعات الطاردة المركزية المستخدمة: الفرازة المخروطية والمرسبات الديناميكية{2، 3}.

الفرازات المخروطية:cyclone

الفرازات المخروطية من أكثر الأنظمة استخداماً لإزالة المواد الصغيرة من مسار الغاز لعدم إحتوائها على أجزاء متحركة وارخص تكلفة تشغيلها {15}. تعمل الفرازات المخروطية على تجميع الحبيبات ذات القطر الأكبر من 10 ميكرومتر. والفرازة المخروطية هي مجمع ذو قصور ذاتي خالٍ من الأجزاء المتحركة. ويتسارع الغاز الحامل للجسيمات الملوثة عبر حركة حلزونية تولد قوى طرد مركزية على الحبيبة. ومن ثم تندفع الحبيبات خارج الغاز الدائر وترتطم بجدار أسطوانة الفرازة، إلى أن تنزلق الحبيبة إلى قعر المخروط ليتم إزالتها عبر نظام صمام

محكم. ويبين شكل 8-11-أ أبعاد الفرازة المخروطية القياسية وحيدة الأسطوانة Standard single barrel cyclone.

أما كفاءة الفرازة المخروطية فيمكن تقديرها باستخدام المعادلة 8-5 {2، 3، 8، 9، 10}:

$$\mathbf{d_{50}} = \sqrt{\frac{\mathbf{9\mu B}}{\mathbf{2\pi N u_i}\left(\rho_p - \rho g\right)}} \qquad 8\text{-}5$$

حيث:

d_{50} = قطر القطع 50 بالمائة (قطر الحبيبة الذي تكون كفاءة التجميع عنده تعادل 50 بالمائة) (م)

μ = اللزوجة الديناميكية للغاز (باسكال×ث)

B = عرض مدخل الفرازة المخروطية (م)

N = عدد اللفات الخارجية الفعالة في الفرازة المخروطية (لفة)

u_i = سرعة الغاز الداخل (م/ث)

ρ_p = كثافة الجسيمات الملوثة (كجم/م^3)

ρ_g = كثافة الغاز (كجم/م^3) (عادة تُفترض مساوية صفر لصغرها مقارنة بكثافة الجسيمات الملوثة {10})

عادة تؤخذ عدد اللفات الفعالة {10} لتساوي 4 أو يمكن إيجادها من المعادلة 8-6.

$$N = (\pi/H)^* \, (2L_1 + L_2) \qquad 8\text{-}6$$

حيث:

N = العدد الفعال للفات الموجودة مستعرضا في الفرازة المخروطية (لفة)

H = طول المدخل (م)

L_1 = طول الأسطوانة (م)

L_2 = طول المخروط (م)

أما كفاءة الفرازة المخروطية لإزالة الجسيمات التي تكون أكبر من قطر القطع أو أصغر من 50 بالمائة (d_{50}) فيمكن إيجادها من شكل 8-11-ب، أو يمكن تقديرها من المعادلة 8-7.

$$E = 100/ \left(1 + (d\, d_{50}/d)^2\right) \qquad 8\text{-}7$$

حيث:

E = كفاءة تجميع الجسيمات بالفرازة المخروطية(%)

d_{50} = قطر القطع 50 بالمائة (قطر الحبيبة الذي تكون كفاءة التجميع عنده تعادل 50 بالمائة) (م)

d = قطر الجسيمات ذات المقاس المعين (ميكرومتر)

أما فقد الضغط عبر الفرازة المخروطية فيمكن تقديره من المعادلة 8-8.

$$\mathbf{\Delta P} = \frac{\mathbf{3950 \times K \times Q^2 \times p \times \rho}}{\mathbf{T}} \qquad 8\text{-}8$$

حيث:

ΔP = فقد الضغط عبر الفرازة المخروطية (متر ماء)

K = ثابت يعتمد على قطر الفرازة

P = الضغط (جو)

ρ = كثافة الغاز (كجم/م^3)

T = درجة الحرارة (كلفن)

مثال 8-4

فرازة مخروطية عرضها الداخلي 0.5 م بها 4 لفات فعالة، أُستخدمت لإزالة جسيمات صلبة متوسط قطرها 36 ميكرومتر وكثافتها 1400 كجم/م^3. علما بأن مسار الهواء يتحرك بسرعة 350 م/دقيقة ودرجة حرارته 400 °م، أوجد كفاءة الفرازة المخروطية لإزالة الجسيمات.

الحل:

1- المعطيات: B = 0.5 م، N = 4، d = 36 ميكرومتر، ρ_p = 1400 كجم/م^3، u_i = 350 م/دقيقة (= 350÷60 = 5.83 م/ث)، T = 400°م.

2- أوجد من جدول ج - 4 في الملاحق درجتي اللزوجة والكثافة المرادفتين لدرجة حرارة 400 °م:

μ = 2.32×10^{-5} نيوتن.ث/م^2، والكثافة تساوي ρ_g = 0.52 كجم/م^3.

3- أوجد d_{50} من المعادلة: $$\mathbf{d_{50}} = \sqrt{\frac{9\mu B}{2\pi N u_i(\rho_p - \rho g)}}$$

$$\mathbf{d_{50}} = \sqrt{\frac{9\times 2.32\times 10^{-5}\times 0.5}{2\times\pi\times 4\times\frac{350}{60}\times(1400-0.52)}}$$

d_{50} = 22.6 ميكرومتر

4- أوجد نسبة $d \div d_{50}$ = 36 ميكرومتر ÷ 22.6 ميكرومتر = 1.6

5- أوجد كفاءة الفرازة المخروطية لإزالة الجسيمات E من شكل 8-10-ب طبقاً لنسبة $d \div d_{50}$ = 1.08

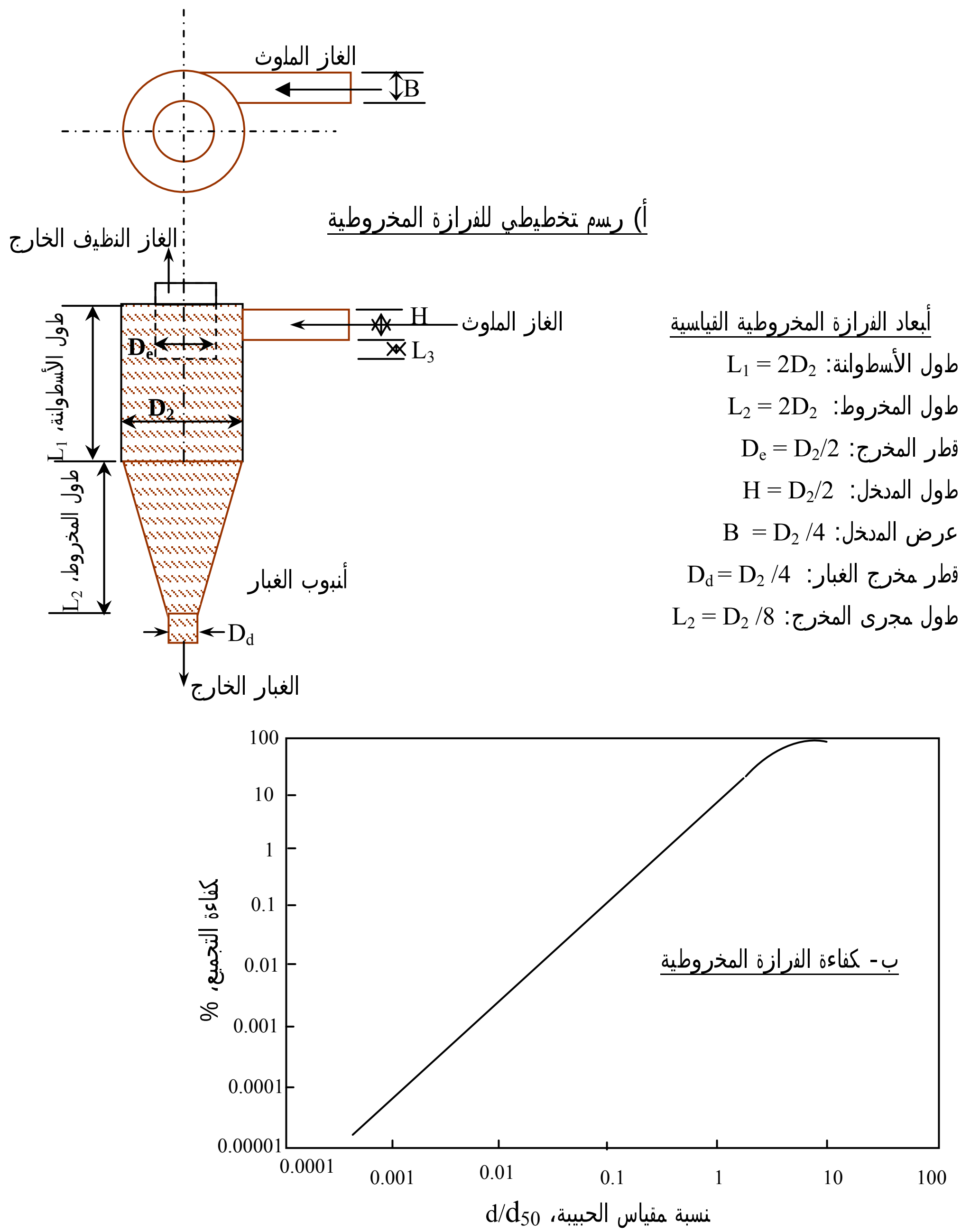
وعليه E = 72%.

6- كما يمكن إيجاد كفاءة الفرازة المخروطية لإزالة الجسيمات من المعادلة: $E = 100/\left(1 + (d_{50}/d)^2\right)$

وعليه: E = 100 ÷ (1 + (36 ÷ 22.6)^2) =72%.

المرسبات الديناميكية Dynamic precipitators

تعمل وحدات المرسبات الديناميكية على أسس الطرد المركزي بوساطة ريش دوارة لإزالة الملوثات الهوائية. وهذه الوحدات ذات كفاءة أعلى من كفاءة الفرازة المخروطية. وعند التشغيل يفضل تجنب وضع مواد ذات ألياف رطبة بها لأنها تعوق أداء المرسبات{2، 3}.

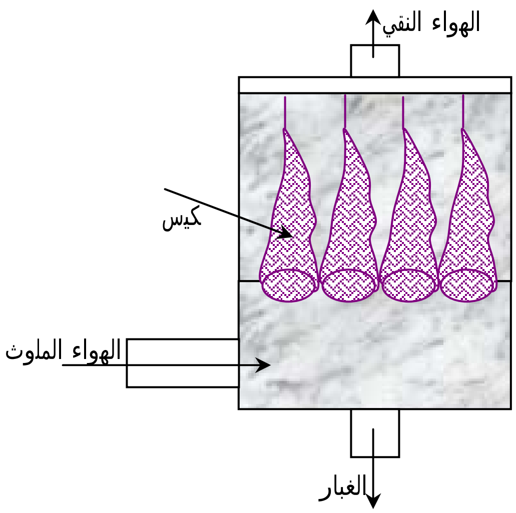


شكل 8-11 الفرازة المخروطية {1، 2، 8، 9، 11}

المرشحات (مجمعات النسيج والحصيرة الليفية أو مرشحات الكيس)

Filters (Fabric and fibrous mat collectors or Baghouse filters)

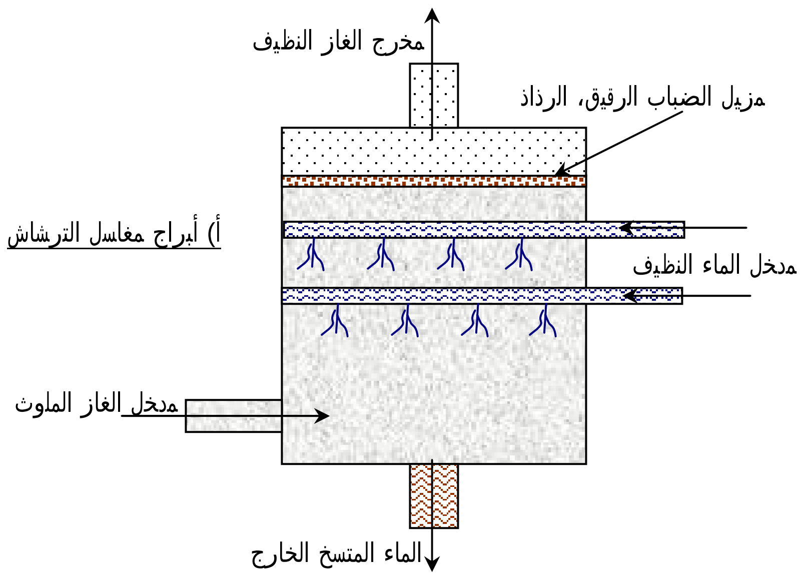
يماثل عمل مرشحات النسيج أداء منظفات شفط الأوساخ المنزلية .Vacuum cleaners وتُستخدم المرشحات لإزالة المواد الصلبة الجافة من مسار الغاز الجاف والذي على درجة حرارة قليلة تتفاوت بين صفر و 275°م {8}. وتُصنع مرشحات النسيج من قماش منسوج أو من لباد أو من قطن أوألياف زجاجية مخلقة (أنظر شكل 8-12). ويعتمد النسيج الذي تُصنع منه مرشحات النسيج على العوامل التشغيلية (مثل الضغط ودرجة الحرارة) والتآكل الكيميائي والطبيعي والعمر الإفتراضي وتكلفته{15}. وتختلف ملاءمة كل منها طبقاً لنوع الغاز ودرجة حرارة الجسيمات والخواص الكيميائية والفيزيائية. ويمكن بفضل هذه المرشحات إزالة 99 بالمائة من المواد التي يصل قطرها إلى 0.3 ميكرومتر.

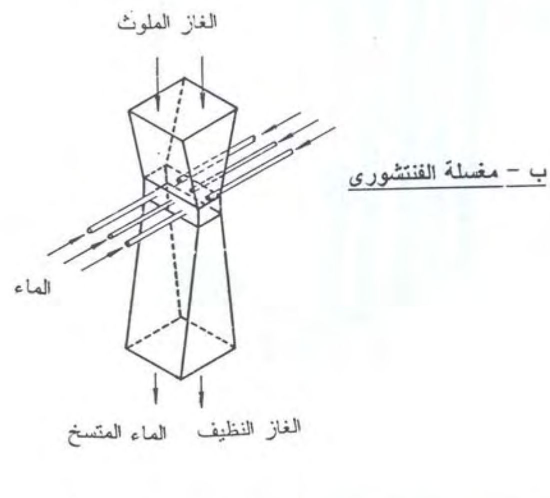


شكل 8-12 رسم تخطيطي لمرشح النسيج (الحصيرة الليفية)

المجمعات الرطبة (مغسلة الغازات) (Wet collectors (Scrubbers

تُصمم المجمعات الرطبة بغية زيادة مقاس الحبيبة الملوثة. وتتم هذه العملية باستخدام نقيطات الماء أو الطين السائل Slurry . وتوجد أنماط وتصاميم وأشكال مختلفة للمجمعات الرطبة، منها النظم التقليدية والفنتشورية (أنظر شكل 8-13) والمغاسل الطاردة المركزية وأبراج الرش (أنظر شكل 8-13) والأبراج المحشية. وتزيد مغاسل الغاز ذات الكفاءة العالية من تلامس الماء والهواء بفضل حركة عنيفة في مقطع ذي عنق ضيق يسمح بمرور الماء من خلاله. وعادة تزيد كفاءة مغسلة الغاز كلما زادت إصطدامات الغاز والماء، وكلما قلت فقاعات الغاز أو نقيطات الماء {10}. أما في مغسلة الفنتشوري فيصمم دفق الماء عبر مقطع عنق الفنتشوري، ويتم إدخال الماء تحت مسار ضغط عالي في إتجاه عمودي على إتجاه دفق الغاز. وبذا تتمكن مغسلة الفنتشوري من إزالة الجسيمات التي يزيد مقاسها عن 5 ميكرومتر {2، 10}.

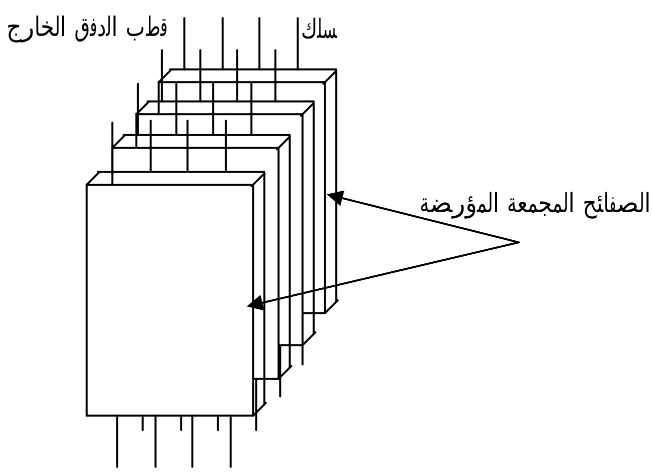




شكل ٨-١٣ رسم تخطيطي لبعض المجمعات والمغاسل الرطبة

المرسبات الإلكتروستاتية Electrostatic precipitators

تُصمم المرسبات الإلكتروستاتية من صفائح وأسلاك بالتناوب. ويتم تثبيت تيار كبير مباشر (يتراوح بين 30 إلى 100 كيلوفولت) بين الأسلاك والصفائح {15}. وهذه الحالة تنتج حقل أيوني بين السلك والصفيحة، وعندما يمر مسار الغاز، المحمل بالجسيمات والملوثات، بين السلك والصفيحة يتم تعلق الأيونات بالجسيمات، مما يجعلها تحمل شحنة كهربائية سالبة. ومن ثم ترتحل الجسيمات نحو الصفيحة الموجبة الشحنة لتلتصق بها. وتطرق الصفائح على فترات متكررة ليسمح بسقوط شريحة الجسيمات الملبدة إلى قادوس معين. والمرسبات الإلكتروستاتية ذات كفاءة عالية، وفقد ضغط قليل، وتُستخدم لتجميع الحبيبات الجافة والأحماض الأكالة من مسار غاز ساخن (يمكنها تحمل غازات على درجة حرارة 815°م {15}). ومن المستحب أن تكون سرعة الغاز خلال المرسب أقل من 1.5 متر على الثانية ليسمح برحيل الحبيبات وهجرتها، وعليه تسمح سرعة الترسيب الإنتهائية بحمل الشريحة إلى القادوس قبل خروجها من المرسب {2، 9}. ويبين شكل 8-14 رسم تخطيطي لمرسب الكتروستاتي.



شكل 8-14 رسم تخطيطي للمرسب الالكتروستاتي

تتبع علاقة الكفاءة ومقاس الحبيبة في المرسب الإلكتروستاتي دالة خطية المنحنى تماثل تلك الموضحة للفرازة المخروطية كما مبين في المعادلة 8-9.

$$E = 100(1 - e^{-Aw/Q}) \qquad 8\text{-}9$$

حيث:

E = كفاءة المرسب الإلكتروستاتي(%)

A = مساحة صفائح التجميع (م^2)

w = سرعة إنسياق Drift velocity الحبيبات المشحونة نحو قطب المجمع (سرعة هجرة أو رحيل الحبيبات)، (م/ث)

Q = معدل دفق مسار الغاز (م^3/ث)

ويمكن إيجاد سرعة الإنسياق من المعادلة 8-10.

$$w = a*d_p \qquad 8\text{-}10$$

حيث:

w = سرعة الإنسياق (م/ث)

d_p = مقاس الحبيبة (م)

a = ثابت

وعادة تكون سرعة إنسياق الحبيبات المشحونة نحو قطب المجمع في حدود 0.03 إلى 0.2 م/ث{1، 2، 9}.

مثال 8-5

أستخدم مرسب إلكتروستاتي لإزالة جسيمات من مدخنة تتحرك الغازات منها بمعدل 5 م^3/ث. سرعة إنسياق الحبيبات المشحونة نحو قطب المجمع تساوى 0.1 م/ث، وقطر الحبيبة المتوسط 0.5 ميكرومتر. أوجد مساحة الصفيحة اللازمة لإزالة 96 بالمائة من الحبيبات.

الحل:

1- المعطيات: Q = 5 م^3/ث، w = 0.1 م/ث، d_p = 0.5 ميكرومتر، E = 96%.

2- أوجد مساحة الصفيحة اللازمة لإتمام إزالة الجسيمات من المعادلة: $E = 100(1 - e^{-Aw/Q})$

$96 = 100(1- e^{-0.1\times A \div 5})$

وعليه يمكن إيجاد المساحة A = 161 م^2

ب- مصادر تلوث الهواء المتحركة Mobile sources

يقصد بمصادر تلوث الهواء المتحركة تلك التي لا تستقر في منطقة معينة مثل وسائل النقل. أما بالنسبة لمصادر التلوث من السيارات فإنها تشمل ما يلي {2، 10}:

- تبخر الهيدروكربونات من خزات الوقود.

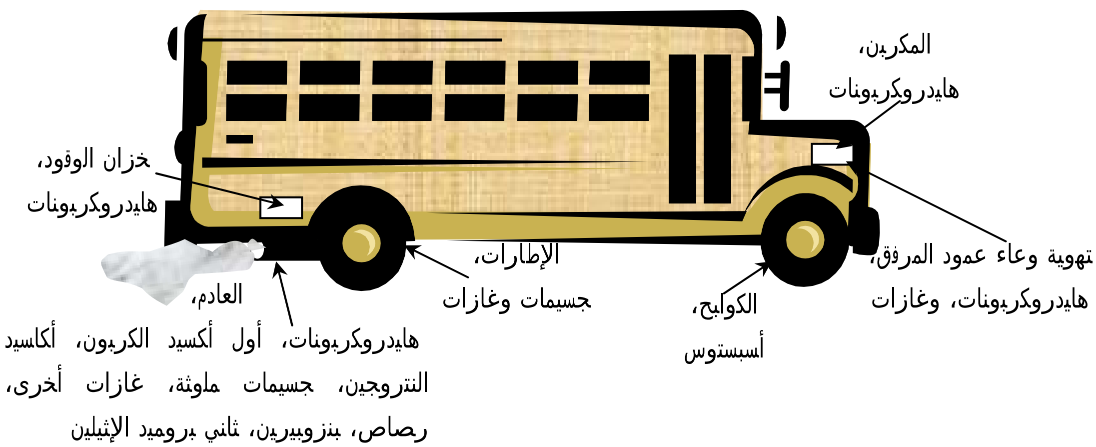
- تبخر الهيدروكربونات من المبخر (المكربنCarburetor) أو أداة مزج الهواء بمركبات البترول والبنزين.
- نفث الغازولين غير المحترق والهيدروكربونات المؤكسدة جزئياً من وعاء عمود المرفق Crankcase .
- نفث أكاسيد النتروجين NO_X والهيدروكربونات وأول أكسيد الكربون من العادم Exhaust .

ويبين شكل 8-15 رسم تخطيطي لأهم مناطق الملوثات الصادرة من السيارة. وبالنسبة للفقد المتبخر من خزان الوقود والمكربن فيمكن إزالته بتخزين الأبخرة المبتعثة في عليبة بها كربون نشط. وعادة تنتج الأبخرة عند بدء تشغيل أو غلق المحرك وعندما يبدأ الغازولين في المكربن في التبخر. وبعد ذلك يتم إزالة الأبخرة بالهواء لتحترق في المحرك. كما ويمكن إزالة المبتعثات من وعاء عمود المرفق بإغلاق التهوية للغلاف الجوي، وإعادة دوران الغازات المنبعثة في المشعب الداخل (وصلة بفتحات جانبية Manifold). وصمام وعاء عمود المرفق الموجب عبارة عن صمام فاحص يستخدم لمنع استمرار زيادة الضغط على العمود. أما بالنسبة للملوثات المبتعثة من العادم فتصعب مكافحتها والتحكم فيها، وهذا مما يؤسف له لاسيما وتصدر منها معظم الملوثات إذ تبلغ تراكيز الهيدروكربونات الصادرة منها 60 بالمائة، ويأتي عبرها كل أكاسيد النتروجين وأول أكسيد الكربون والرصاص المنبعث من السيارة {10}. وتزداد المشاكل عند إنخفاض الكفاءة التشغيلية للسيارة نسبة لظروف السياقة، أو لضعف الصيانة الدورية المطلوبة. وعامة تتدنى كفاءة تشغيل السيارات وتتفاقم مشاكل التلوث الهوائي من المواد المبتعثة منها عند الوقوف القصير المتقطع والمتكرر، والسياقة بسرعات بطيئة، وتكرار بدء التشغيل والوقوف {2،3}. ومن طرق مكافحة إبتعاث الملوثات من الإحتراق الداخلي بالمحرك ضبط المحرك Tune up ، وإعادة دوران غاز العادم، وتطوير المحرك، واستخدام المفاعلات المحفزة.

وعامة فمن أهم الخطى في طريق مكافحة تلوث الهواء والتحكم فيه تتمثل في وضع إستراتيجية لتقليل إنتاج الملوثات ومنعها. وبما أن نسبة كبيرة من الملوثات الهوائية تنتج من إحتراق الوقود الطمري، فلابد من ترشيد استخدام الطاقة في سبيل تقليل الملوثات. ومن المتوقع أن تأتي التقانة العلمية والتكنولوجيا الحديثة بما يساعد نحو إنتاج مرامد وأجهزة إحتراق تحسن من استخدام الوقود، وصنع سيارات أصغر وأخف لتقليل تلوث الهواء، أو استخدام مصادر أخرى بديلة مثل الطاقة النظيفة (شمسية، هوائية، نووية) أو استخدام وقود بديل نظيف.{2}

ويجب العمل على رفع الوعي البيئي بمخاطر الملوثات الهوائية عند الجمهور المثقف والعامة على حد سواء بغية حماية البيئة ونظافتها. وعادة تحتوي الإستراتيجية القومية للدولة برامج تثقيفية تقوم بإستحداثها وتطبيقها الوزارات والبلديات وجهات الإختصاص. ويتم إبرازها وتسليط الأضواء عليها عبر أجهزة الأعلام (مثل الصحف السيارة والتلفاز والمذياع والمسرح وغيرها من وسائل التقانة المرئية والمسموعة)، بالإضافة لاستخدام الكتيبات والدوريات والملصقات وغيرها من الوسائل المقروءة، في تكامل ومساندة مدروسة وواضحة المعالم بين الوحدات المختلفة، من خلال أطر ومشاريع وبرامج تخاطب الوعي البيئي. تركز هذه البرامج في - حملتها الإعلامية والدعائية - على المدارس والشباب والمرأة والمزارع والصناعي والعامل والسياسي في المؤسسات المختلفة. ومحدات هذه المجهودات تتضح بطبيعتها المنفصلة أحياناً والمستميلة أحياناً أخرى، وإفتقارها إلى الصفات التعليمية والاستساغية في جوانب أخرى. وعليه فلابد من التركيز على البرامج الهادفة لزيادة تثقيف المجتمع وتوعيته عبر نشر المفاهيم

البيئية الجيدة والتقانات الملائمة ومعايير التشريع ...الخ، وذلك بالاستفادة من كل السبل والإمكانيات والموارد المتاحة: من اجتماعية ودينية وثقافية واقتصادية وتعليمية وعقائدية{2، 14}.



شكل 8-15 رسم تخطيطي يبين أهم مناطق الملوثات الهوائية المنبعثة من السيارة

8-7 تمارين نظرية وعملية

8-7-1 تمارين نظرية

1. بين أهمية الهواء للحياة.
2. وضح مخاطر تلوث الهواء على ضوء الكتاب والسنة.
3. أذكر أهم الملوثات الهوائية بمنطقتك.
4. ما مصادر تلوث الهواء الرئيسة؟
5. عرف ما يلي: ملوثات المواد العضوية، الهباء، الغبار، الضبخان، والأبخرة.
6. ما المخاطر الصحية التي يمكن أن تنجم من وجود كل من الغازات التالية بتراكيز كبيرة في الغلاف الجوي المحيط بمنطقتك؟
   أ) ثاني أكسيد الكبريت.
   ب) أول أكسيد الكربون.
   ج) فلور الهيدروجين.
7. ما الفرق بين الملوثات الهوائية الأولية والملوثات الثانوية؟
8. ما أثر زيادة كلٍ من الآتي على الأحياء المجهرية؟

أ) أشعة الشمس فوق البنفسجية.

ب) المواد الغذائية (من كربون ونتروجين وفسفور).

ج) ثاني أكسيد الكربون.

9. أذكر عوامل الإرصاد الجوي المؤثرة في زيادة تراكيز كبريتيد الهيدروجين في الغلاف الغازي.
10. أيها أكثر تهيجاً للأعصاب: غاز أكسيد النتروجين أم غاز ثاني أكسيد النتروجين أم غاز الأكسجين؟
11. كيف يغير غاز ثاني أكسيد النتروجين لون أوراق النبات في درجات تركيز أعلى من 3 ملجم/لتر؟ ولماذا؟
12. ما نواتج الأكسدة الكهروكيميائية في الغلاف الجوي؟
13. كيف يتم حمل المواد العالقة الصغيرة الحجم إلى الجهاز الليمفاوي في الإنسان؟
14. أذكر نوع الرائحة الصادرة من كل من الغازات التالية:

أ) أكسيد الكبريت.

ب) كبريتيد الهيدروجين.

ج) ثاني أكسيد النتروجين.

د) أول أكسيد الكربون.

15. ما مصادر إنتاج غاز أول أكسيد الكربون؟
16. تحدث بإيجاز عن كلٍ مما يلي:

أ) الآثار الصحية الضارة لغاز أول أكسيد الكربون.

ب) المشاكل الاقتصادية الناتجة من الملوثات الهوائية.

ج) زيادة تركيز الفلور في جسم الإنسان أو نقصانه.

17. ما الملوثات الغازية التي يمكن أن توجد داخل المباني؟
18. ما أهم العوامل التي تقود إلى تكون الأمطار الحمضية؟
19. كيف تتفاوت نسبة الأمطار الحمضية من منطقة إلى أخرى؟
20. أذكر أهم الآثار الضارة للأمطار الحمضية؟ وكيف يمكن تداركها؟
21. كيف يزيد تركيز الأوزون في الغلاف المحيط؟ وما المضار التي تترتب على هذه الزيادة؟
22. كيف تنقص طبقة الأوزون المحيطة بالكرة الأرضية؟ وما الآثار المترتبة على نقصانها؟
23. تحدث بإيجاز عن خاصية البيت الأخضر. ووضح كيفية التحكم فيها.
24. ما أهم عوامل الأرصاد الجوي التي تؤثر على انتشار الملوثات الهوائية؟
25. عرف كل مما يأتي: معدل إنقضاء الحرارة، حالة التدخن، والريشة الحلقية.
26. وضح الفرق بين نماذج إنتشار الملوثات الهوائية قصيرة الأجل والنماذج المناخية.
27. ما أهم العوامل الواجب إدراجها في النماذج الرياضية لتقويم إنتشار الملوثات الهوائية؟
28. أذكر أهم الإفتراضات المدرجة عند تحليل نموذج جوسيان.
29. وضح كيف يمكن استخدام المعادلة $C(x,y) = (Q/(pms_ys_z))\ exp\ (-1/2(H/s_z)^2)\ exp\ (-1/2(y/s_y)^2)$ لإيجاد درجة تركيز الملوث على سطح الأرض على نقطة محدودة.

30. كيف يمكن استخدام معادلة هولاند لإيجاد ارتفاع المدخنة الفعال؟
31. كيف تتم عمليات النظافة الذاتية في الغلاف الجوي؟
32. ما الأهداف العامة لمكافحة تلوث الهواء؟
33. ما الفرق بين مكافحة تلوث الهواء والتحكم في الملوثات الهوائية؟
34. أذكر أهم خمسة طرق لمكافحة تلوث الهواء.
35. كيف يمكن ضبط التلوث الهوائي للمصادر؟
36. ما المواصفات المطلوبة لاختيار المواد المازة المستخدمة في التخلص من الملوثات الهوائية؟
37. ما الفرق بين الإمتزاز والإمتصاص؟ أعطى مثالاً لكلٍ منهما.
38. عرف كلاً مما يلي: غسل الغاز، والإحتراق المحفز، والتكثيف، ومغسلة الفنتشوري، وسرعة الإنسياق.
39. أكتب بإيجاز عن الآتي:
أ) كفاءة إزالة الملوثات بغرف الترسيب تحت الجاذبية.
ب) طريقة عمل الفرازة المخروطية للتخلص من الجسيمات الملوثة.
ج) مجمعات النسيج.
د) إزالة الملوثات الغازية الناتجة من السيارات.
ه) سبل رفع الوعي البيئي لجمهور العامة.

8-7-2 تمارين عملية

1. أوجد الطول الفعال لمدخنة من البيانات المدرجة في الجدول التالي:

المنشط	القيمة
سرعة خروج الغاز من المدخنة	20 كلم/ساعة
درجة حرارة الغاز	200°م
طول المدخنة الحقيقي	100 متراً
قطر المدخنة الداخلي	1.5متراً
الضغط البارومتري المؤثر	80 كيلوباسكال
درجة حرارة الهواء	20°م
سرعة الرياح	12 كلم/ساعة

(الإجابة: 106.8 متر)

2. أوجد درجة تركيز الخط المركزي على مسافة 3 كيلومتر لغاز ينفث بمعدل 3 كيلوجرام في الثانية بافتراض أن حالة الغلاف الجوي المحيط معتمة، مستخدماً البيانات المدرجة في الجدول التالي:

المنشط	القيمة
سرعة خروج الغاز من المدخنة	8 م/ث

درجة حرارة الغاز	180درجة مئوية
طول المدخنة الطبيعي	150 متراً
قطر المدخنة الداخلي	1.3 متراً
الضغط البارومتري	90 كيلوباسكال
درجة حرارة الغلاف الجوي المحيط	20°م
سرعة الرياح	5 م/ث

(الإجابة: 759 ميكروجرام/م^3)

3. أوجد كفاءة إزالة الحبيبات المترسبة في غرفة ترسيب تحت الجاذبية أبعادها 3×1.6 م للطول والارتفاع على الترتيب. أُستخدمت الغرفة لترسيب جسيمات ذات قطر 160 ميكرومتر من تيار غاز على درجة حرارة 300°م، وتحت ضغط جوي. علماً بأن سرعة تحرك الغاز 2 م/ ث في المجمع وكثافة الحبيبات 3600 كيلوجرام على المتر المكعب. (الإجابة: 79%)
4. أوجد كفاءة فرازة مخروطية ذات مقاسات قياسية وقطرها 60 سم، أُستخدمت لإزالة حبيبات ملوثة تنساب مع تيار هوائي على درجة حرارة 140 درجة مئوية. سرعة تدفق الغاز عبر الفرازة 2.4 متر على الثانية وكثافة الحبيبات 1600 كجم/م^3 وقطرها 11 ميكرومتر. (الإجابة: 87%)
5. يتدفق غاز يحمل جسيمات ملوثة عبر مرسب إلكتروستاتي طبقاً للبيانات المبينة في الجدول التالي:

البيان	المقدار
معدل إندفاق الغاز	8م^3/ث
سرعة إنسياق الحبيبات المشحونة نحو قطب المرسب	0.4 م/ث
كفاءة إزالة الحبيبات	75 %
قطر الحبيبة المتوسط	1ميكرومتر

أ) أوجد المساحة اللازمة للتخلص من الجسيمات الملوثة.

ب) ما مقدار الزيادة المطلوبة في مساحة المرسب بافتراض رفع كفاءته إلى 98 بالمائة. (الإجابة: 28 م^2، 50 م^2)

8-8 المراجع والمصادر

1. السيد سابق، " فقه السنة " الفتح الإعلامي العربي، القاهرة، الطبعة الخامسة الشرعية، مجلد 1-3، 1992.
2. عصام محمد عبد الماجد، " الهندسة البيئية "، دار المستقبل للطباعة والنشر، عمان، الأردن، 1995.
3. Peavy, H. S.; Rowe, D. R.; and Tchobanoglous, G. Environmental Engineering, McGraw-Hill Book Co., New York, 1985.
4. Salvato, J. A., Environmental Engineering and Sanitation, John Wiley and Sons, New York, 4th Edition, 1992.
5. بشير محمد الحسن وعصام محمد عبد الماجد، " الصناعة والبيئة: معالجة المخلفات الصناعية "، معد الدراسات البيئية، جامعة الخرطوم، الخرطوم، السودان، 1986.
6. Perry, R. H. Green, D. W., and Maloney, J. O., Edi., Perry's Chemical Engineers' Handbook, 6th Edi., McGraw-Hill Book Co., New York, 1985.
7. Rossano, A. T., Air Pollution Control-Guide Book for Management, McGraw-Hill Book Co., New York, 1974.
8. Henry, J. G. and Heinke, G. W., Environmental Science and Engineering, Prentice Hall, Englewood Cliffs, 1989.
9. Davis M. L. and Cornwell, D. A., Introduction to Environmental Engineering, McGraw-Hill Inter. Edi., Chemical Engng. Series, 2nd Edi., New York, 1991.
10. Vesilind, P. A., Peirce, J. J., Weiner, R. F., Environmental engineering, 2nd Ed., Butterworth-Heinemann, Boston, 1990.
11. Masters, G. M., Introduction to Environmental Engineering and Science, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1991.
12. Holland, J. Z., A Meteorological Survey of the Oak Ridge Area, (U. S. Atomic Energy Commission Report No. ORO-99), Washington, D.C., U. S. Government Printing Office, P. 540, 1953.
13. Stern, A. C., Boubel, R. W., Turner, D. B., and Fox, D. L., Fundamentals of Air Pollution, 2nd Edi., Academic Press INC., Orlando, Florida, 1984.
14. Abdel-Magid, I.M.; and El-Zawahry, A., Preconditions and Requirements for Successful Environmental Policies in the Sultanate of Oman, the Sudan and Egypt, paper presented at the Conference on Preconditions and Requirements for Successful Environmental Policies in the Arab World, from 3 to 5 May 1993, held in Irbid, Jordan, organized by the Earth and Environmental Science Department, the Yarmouk University; the National Program for Environmental Awareness and Information; and Friedreich Naumann Stiftung.
15. Abdel-Magid, I.M., Hago, A., Rowe, D.R., Modelling Methods for Environmental Engineers, CRC Press\Lewis Publishers, Boca Raton FL, 1996 (Under publication).
16. " صحيح البخاري "، شرح وتحقيق الشيخ قاسم الشماعي الرفاعي، دار القلم، بيروت، مجلد 1-9، 1997.

الفصل التاسع
التلوث بالضوضاء والضجيج

9-1 مقدمة

التلوث بالضوضاء والضجيج إحدى الملوثات القديمة ولها تاريخ طويل تتفاوت، وتتغير شدتها مع مفرزات التقانة والتقدم الحضرى والتكنولوجى.

يقصد بالصوت Sound الحركة التذبذبية ذات الموجة القصيرة في وسط مرن {1}. ويعمل الوسط المهتز على تغير كثافة وسرعة حبيبات الهواء، كما ويؤثر على الضغط عليها. وبذا يقوم كل عنصر من الهواء بنقل كمية الحركة والطاقة إلى العناصر المجاورة، مما يعمل على نقل التغير في الضغط وانتشاره في شكل موجات. وعلى درجات حرارة الغرفة ينتشر الصوت في الهواء بسرعة 340 متر/ثانية، أما في الماء فتصل سرعته إلى 1500 متر/ث، لتزداد بانتقاله عبر الحديد الصلب إلى 5000 متر/ث. وبما أن هذا الإنتشار ينتقل بدالة هندسية فإن أثره ينخفض مع المسافة من مصدر الصوت، كما ويتأثر الصوت ويتلاشى بتضاؤل موجة الصوت من الوسط المرسل لها {2}. وأهمية الصوت تتمثل فيما يلي:

- الإتصال بين الناس.
- الحصول على معلومات عامة من البيئة المحيطة.
- يعطي إنذاراً مبكراً.
- مصدر إنشراح ومتعة (مثلاً في حالة تلاوة القرآن).

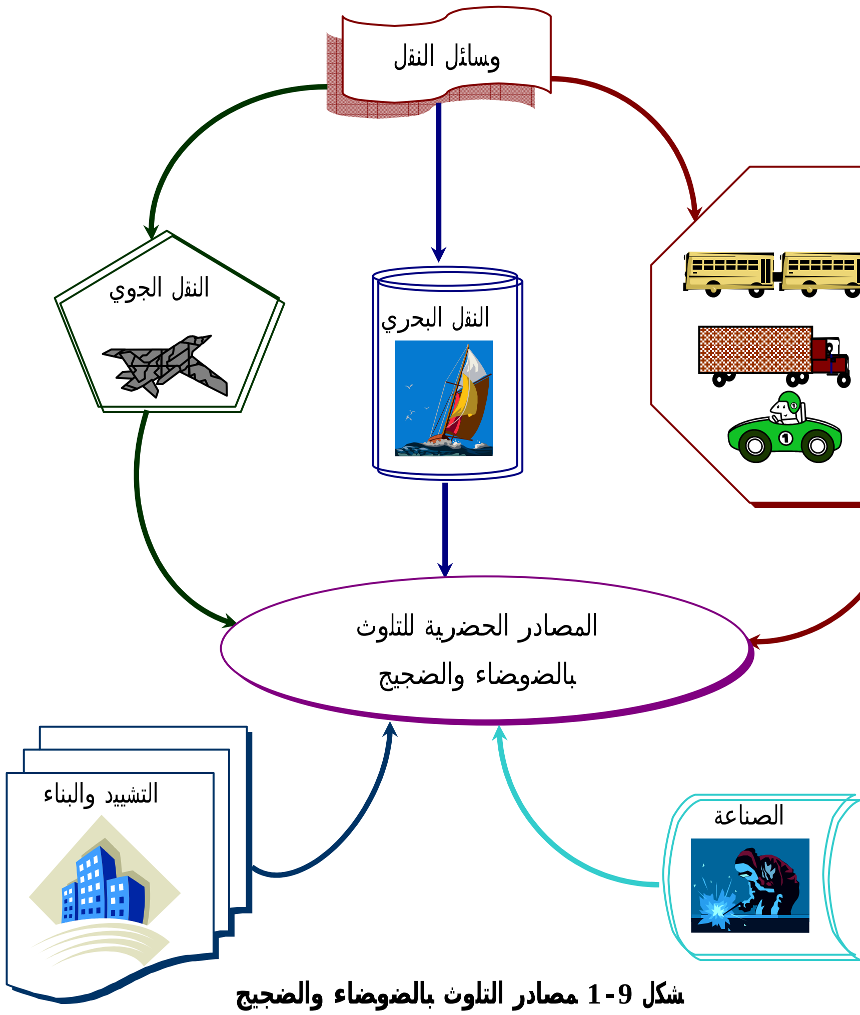
أما الضوضاء والضجيج Noise فهي عبارة عن الصوت الزائد غير المرغوب فيه {3}، كما في الأصوات الناتجة من مفرزات الحضارة مثل: الطائرات والآليات الصناعية، وأجهزة تكييف الهواء، والشاحنات، وغيرها الكثير.

ويبين شكل 9-1 بعض مصادر الأصوات في البيئة المحيطة. وبالنسبة لمنطقة حضرية يمكن أن تصدر الضوضاء من وسائل النقل (الطائرات والمطارات، والعبور السريع، والسيارات والشاحنات، والسكك الحديدية)، أو من المصانع المجاورة، أو من جراء التشييد والإنشاء، أو من المنازل (التبريد والتدفئة، وقطع الحشائش والأشجار، ونظافة السجاد والموكيت والتخلص من النفايات).

9-2 إنتقال الصوت

تُعرف الضوضاء على أنها الصوت غير المرغوب، أو الإضطرابات غير المرغوبة في نطاق تردد معين على قنوات الإتصال {4}. وتتم الإهتزازات المسموعة في وسط مرن على تردد وشدة تمكن الأذن البشرية من سماعها. وعادة تقع ترددات الصوت في مدى 20 إلى 20.000 تردد في الثانية (أو ما يعرف بالهرتز Hertz)، غير أن

مقدرة الأذن لسماع الأصوات في الأجزاء العليا من مدى التردد تقل بعمر الإنسان. وتسمى الإهتزازات التي يقل ترددها عن تردد الصوت بالأصوات الداخلية Intra Sounds ، كما ويطلق على الأصوات ذات التردد العالي إسم فوق الصوتية Ultra Sound {4}.



شكل 9-1 مصادر التلوث بالضوضاء والضجيج

والصوت هو عبارة عن نقل طاقة {2، 3} يصدر من الإهتزازات الميكانيكية للمادة الصلبة أو المائعة. وتنقل هذه الإهتزازات عبر الأثير الذي يوصلها إلى الأذن، والتي تعمل بدورها على نقلها إلى نظام الشعور والإحساس عند الإنسان، ليترجمها إلى ما يمكن فهمه {2}. وتتحكم في إهتزازات المادة كثافتها ودرجة مرونتها. وبسبب الترابط المرن في المادة يتم نقل الإهتزاازات المحلية إلى العناصر المحيطة. وهذه العملية (لنقل الإهتزازات عبر وسط كثيف) تشكل الإنتشار الموجي المرن المسؤول عن نقل الطاقة الميكانيكية أو ما يسمى بالصوتيات Acoustical. وهنالك صلة بين الموجة الصوتية والموجات المرنة في مدى تردد السمع العادي (أي في حدود 20 هيرتز إلى

20 كيلوهيرتز) أما الموجات التي تكون أدنى أو أعلى من هذا المدى فتُمثل الأصوات الداخلية والأصوات فوق الصوتية على الترتيب.

ويقصد بالموجة الصوتية أى إضطراب دوري في وسط أو فراغ. وفى حالة الموجات المتنقلة Travelling wave أو المتقدمة تنتقل الطاقة من نقطة إلى أخرى بوساطة الإهتزازات. والموجات الصوتية هي موجات طويلة يتم فيها ضغط الهواء وتخفيف الضغط عليها بالتناوب بالإزاحة في إتجاه الإنتقال {4}. ومن أهم خواص الموجة سرعة التنقل Speed of propagation، والتردد Frequency ، وطول الموجة Wave length والسعة Amplitude. أما سرعة تنقل الموجة فهي عبارة عن المسافة التي انتقلت خلالها الموجة بالنسبة للزمن. والتردد هو عبارة عن عدد الإضطرابات الكلية (أو عدد الدورات) في وحدة الزمن، وتقاس بالهرتز. أما طول الموجة فهو عبارة عن المسافة بين نقطتين متتاليتين عبرها. والسعة (المطال) هو عبارة عن أقصى مسافة للكمية المضطربة من القيمة المتوسطة.

وتتفاوت سرعة الصوت بإختلاف المواد ودرجة مرونتها، ونوع الموجة، والخواص الطبيعية للوسط الذي يتم فيه الإنتقال {2،3}. ويمكن تقدير السرعة من المعادلة 9-1.

$$C = l*F \qquad 9\text{-}1$$

حيث:

C = سرعة الصوت في وسط معين (م/ث).

l = طول الموجة (م)

F = التردد (دورة في الثانية، هيرتز)

مثال 9-1:

أوجد طول الموجة لصوت ينتقل من ماكينة علماً بأن التردد 60 دورة في الدقيقة وينتقل الصوت بسرعة 3 كيلومتر في الثانية.

الحل:

1- المعطيات: C = 3000 م/ث، F = 60 دورة/ث.

2- أوجد طول الموجة باستخدام المعادلة: l = C/F

وعليه: l = 3000 متر/ث ÷ 60 دورة/ث = 50 متراً

9-3 مخاطر التلوث بالضوضاء والضجيج

إرتبطت الصيحة بالعذاب في بعض آي الذكر الحكيم كما في قوله عز وجل "**وأخذَ الذين ظلموا الصيحةُ فأصبحوا في ديارهم جاثمين**" (67) هود. وقوله سبحانه وتعالى "**ولما جاء أمرنا نجينا شعيباً والذين آمنوا معه برحمة منا وأخذت الذين ظلموا الصيحةُ فأصبحوا في ديارهم جاثمين**" (94) هود. وقوله تعالى "**فأخذتهم الصيحةُ مشرقين**" (73) الحجر. وقول الحق تبارك وتعالى "**فأخذتهم الصيحةُ مصبحين**"(83) الحجر. وقوله عز وجل "**فأخذتهم**

الصيحةُ بالحق فجعلناهم غثاء فبعداً للقوم الظالمين" (41) المؤمنون. وقوله سبحانه وتعالى "**فكلا أخذنَا بذنبه فمنهم من أرسلنَا عليه حاصباً ومنهم من أخذته الصيحةُ ومنهم من خسفنَا به الأرض ومنهم من أغرقنَا وما كان ا ُ ليظلمهم ولكن كانُوا أنفسهم يظلمون**" (40) العنكبوت. وقوله تعالى "**إنا أرسلنَا عليهم صيحةً واحدةً فكانُوا كهشيم المحتظر**" (31) القمر. وتدبر في قول المولى عز وجل "**وإذَا رأيتهم تعجبك أجسامهم وإن يقولُوا تسمع لقولهم كأنهم خشب مسندةٌ يحسبون كل صيحة عليهم هم العدو فاحذرهم قاتلهم ا ُ أنى يؤفكون**" (4) المنافقون.

وقد أورد السيد سابق في فقه السنة "**روى الترمذي عن ابن عمر أن النبي صلى ا عليه وسلم كان إذا سمع صوت الرعد والصواعق قال: "اللهم لا تقتلنا بغضبك، ولا تهلكنا بعذابك، وعافنا قبل ذلك**" وسنده ضعيف.".

التعرض الطويل للضوضاء والضجيج بتردد معين قد ينجم عنه العديد من المخاطر منها ما يلي {1، 2، 4، 5 ،6، 7}:

- فقدان مؤقت للسمع والذي ينتهى في بضع ساعات أو أيام ويسمى الإزاحة المؤقتة لقيمة المشرف Temporary threshold Shift. ومثال لهذا يوجد في المصانع والفرق الموسيقية.
- Lدان دائم للسمع ويسمى إزاحة دائمة لقيمة المشرفthreshold Shift Permanent
- تأثير على القلب ونظام عمله وإيقاع ضرباته.
- تغيير في كثافة الدم.
- توسيع الأوعية الدموية.
- صعوبة في التركيز.
- إصابة بالصداع.
- هيوجية.Irritability
- إزعاج لأصحاب الأعمال الدقيقة (مثلا صناع الساعات)
- Lتأخر شفاء ونقاهة المرضى في المستشفيات.
- تكاليف التعويض، ومكافأة نهائية لخدمة أصحاب العاهات السمعية، وتكاليف حبوب النوم، وتكاليف الأدوية المهدئة، وتكاليف الزمن الضائع في العمل، وتكاليف مواد منع وحجب الصوت.
- منع الراحة والنوم.
- إضرار بالممتلكات.
- عذاب وألم ذهني (مثلاً ما يحدث من الطائرات النفاثة، والمكوك فوق الصوتي)
- تشويش على الحديث والعمل.
- إحداث ضوضاء وجلبة وإزعاج.
- آثار فسيولوجية.
- تعب.
- تأثير نفسي على الإنسان.
- تأخر أو منع الحصول على المعلومات.

❖ تأثير على العلاقات الإنسانية (قفل الأبواب والنوافذ، منع التحدث بصوت واضح أو الهمهمة، الرحيل من المنطقة السكنية)

ومن العوامل المؤثرة على السمع {1، 4، 7، 8}:

- الهرم: إذ يقل السمع بكبر عمر الإنسان Presbycusis (Presbyacusia) ويبدأ فقدان السمع من سن 20 في تردد أعلى من 3000 هرتز أثناء فترة عمل الإنسان في بيئة تزداد بها الضوضاء والصخب والضجيج.
- شدة الضوضاء البيئية ونوعها (مثل: الدراجات النارية، موسيقى الجاز وأجهزة الإستيريو)
- الإصابة والمرض.
- شدة التعرض للصوت وفترته ودرجته.

وتتفاوت أنواع فقدان السمع ومنها على سبيل المثال:

1. طنين Tinnitus ويمثل عدم مقدرة الأذن لسماع الأصوات الضعيفة أو حدوث قرع جرس بها. ومن أنواع الطنين:
   - ♦ الطنين الأذني Tinnitus aurium
   - ♦ الطنين العصبي Nervous Tinnitus
   - ♦ الطنين اللاإهتزازي Non vibratory Tinnitus
   - ♦ الطنين الإهتزازي Vibratory Tinnitus
2. خَطل السمع Paracusis وتسمع فيه الأصوات مغلوطة.
3. عدم الإدراك الجيد للحديث Speech misperception
4. ضرر فسيولوجي إذ يحدث تغير في محيط دورة الدم مما قد يحدث أضرار مباشرة (مثل: الإضطراب السمعي، وشوشرة الإتصال، وعدم إستقبال المعلومات، ومنع الراحة) أو أضرار غير مباشرة (مثل: الإزعاج وتدهور العلاقات بين الأفراد)

4-9 مقياس ديسبل Decibel scale

يقاس الصوت بوحدة الديسبل ذات المدى بين قيمة مشرف السمع (صفر ديسبل) إلى قيمة مشرف الألم (130 ديسبل). وقد أُستخدمت وحدة الديسبل لمقارنة مستوى طاقة الإشارات الصوتية أو الكهربائية. ورغماً عن أن الديسبل عشر البل، غير أنه أكثر استخداماً.

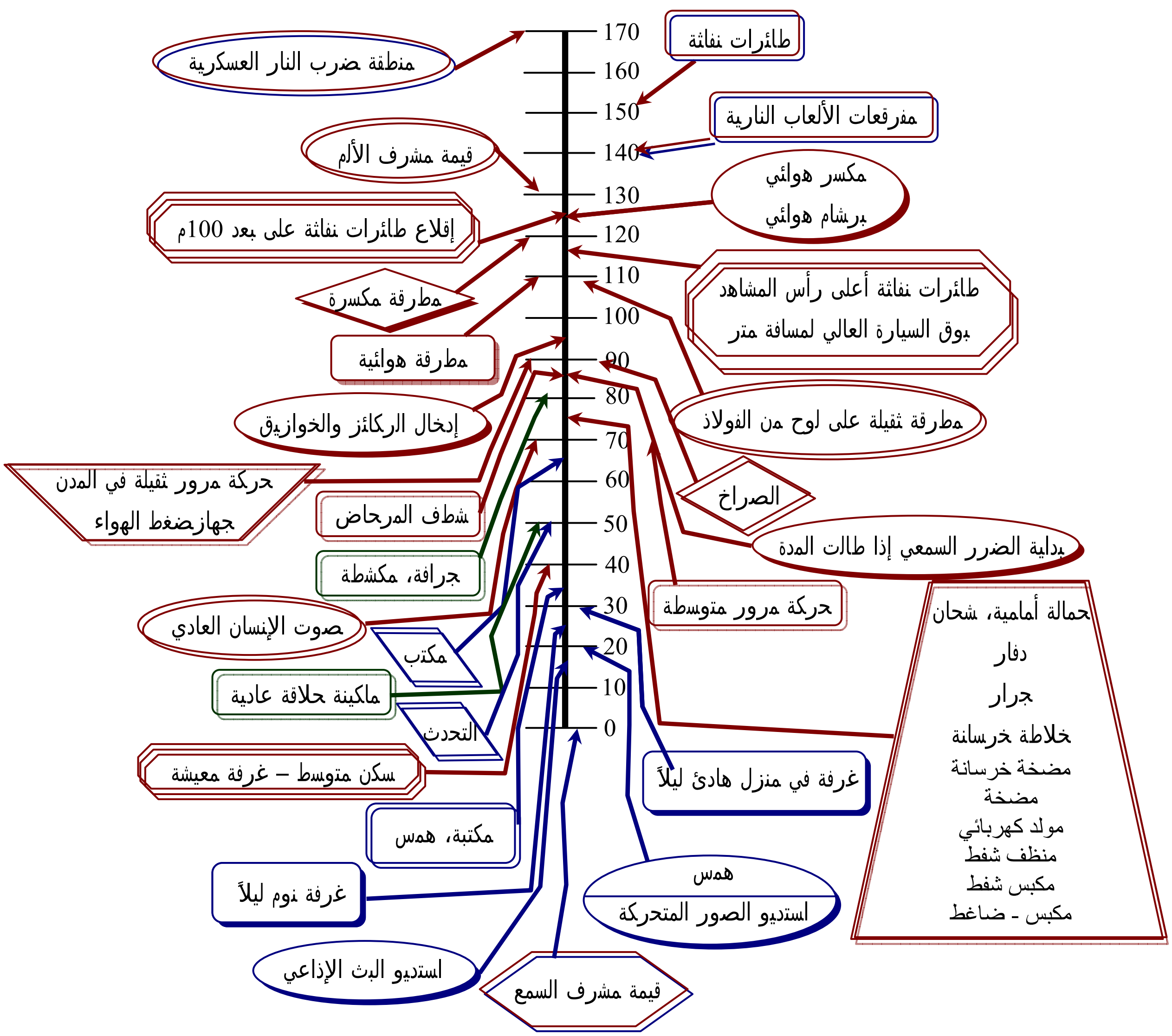
ومقياس أو تدرج الديسبل هو مقياس خوارزمي يستعمل في الصوتيات لإيجاد نسبة شدة الصوت أو نسب ضغطه. وهذا التدرج الخوارزمي مناسب للاستخدام لا سيما ودرجة السمع عند الإنسان تتراوح في مدى من 1 (بداية السمع) إلى 10^{12} بداية الألم). ويمثل الديسبل حوالي 26% زيادة في الصوت وهو أقل تغير يمكن أن تميزه الأذن

البشرية {4}. وقيمة المشرف تُعرف على أنها عدد الديسبل الذي يجب به زيادة شدة الصوت ليمكن سماعها (مقارنة بمستوى السمع صفر ديسبل) بوساطة أذن لم تتعرض سابقاً لأى مؤثر مؤذى {2}.

ومن أهم ميزات وحدة الديسبل ما يلي {1، 3، 8}:

- وصف شدة الطاقة لكمية فيزيائية أو مستواها.
- ضغط المقدار العددي المقاس لأعداد مناسبة يسهل استخدامها في تسجيل البيانات وجمع المعلومات.
- سهولة استخدامها في الصوتيات والطاقة الكهربائية وبعض استخدامات الطاقة الميكانيكية.

ويبين شكل 9-2 مخطط تدريجي لقياس الديسبل لبعض الأصوات في البيئة المحيطة.



شكل 9-2 تدرج الديسبل، {2، 3، 5، 6، 7}

تبين معادلة 9-2 طريقة لتقدير وحدة الديسبل لشدة الصوت من مصدر صوت وحيد {1، 3، 8}.

$$SPL = 20 \log (P/P_{ref}) \qquad 9\text{-}2$$

حيث:

SPL = مستوى ضغط الصوت (ديسبل dB)

P = ضغط الموجة الصوتية (باسكال)

P_{ref} = ضغط الموجة الصوتية القياسي (شدة أقل صوت يمكن سماعه) (عادة يساوي 20×10^{-6} باسكال)

مثال 9-2:

أوجد مستوى ضغط الصوت لموجة صوتية ذات ضغط 4 باسكال.

الحل:

1- المعطيات: P = 4 باسكال

2- أوجد مستوى ضغط الصوت باستخدام المعادلة: $SPL = 20 \text{ Log } (P/P_{ref})$

وعليه: = 20 لو $(4 \div 20\times10^{-6})$= 106 ديسبل

أما بالنسبة لحقول الصوت الناتجة من عدة مصادر مختلفة فيمكن إيجاد مستوى ضغط الصوت لها من المعادلة 9-3 {1، 6، 9}.

$$\mathbf{SPL = 10 \log\left(\sum_{i=1}^{N} 10^{\frac{SPL_i}{10}}\right)} \qquad 9\text{-}3$$

حيث:

SPL = مستوى ضغط الصوت الكلي (ديسبل)

SPL_i = مستوى ضغط الصوت لكل مصدر صوت رقم i

N = عدد المصادر الصوتية المؤثرة

مثال 9-3:

تعمل أربعة آليات في ورشة مصنع ويصدر عن كل منها مستوى ضغط صوت مقداره 90، 54، 88، و96 ديسبل على الترتيب. أوجد قيمة مستوى ضغط الصوت الصادر من الأربعة آليات عند عملها مجتمعة.

الحل:

1- المعطيات: قيمة مستوى ضغط الصوت لكل آلية: SPL_1 = 90، SPL_2 = 54، SPL_3 = 88، SPL_4 = 96

2- أوجد قيمة مستوى ضغط الصوت الكلي باستخدام المعادلة: $\mathbf{SPL = 10 \log\left(\sum_{i=1}^{N} 10^{\frac{SPL_i}{10}}\right)}$

وعليه: SPL = 10× لو $(10^{9} + 10^{5.4} + 10^{8.8} + 10^{9.6})$ = 29.1 dB

ويمكن أيضاً تقدير تجاوب الفرد للصوت من قانون ويبر وفشنر Weber & Fechner law. أما قانون ويبر فينص على أن أقل زيادة في التنبيه التي تنتج زيادة في الشعور (أو الإدراك) بها تتناسب مع مصدر التنبيه الموجود أصلاً. وقانون فشنر يدل على أن شدة تغير إدراك الإنسان تتناسب هندسياً مع الطاقة المسببة لهذا الشعور أو الإدراك {1، 3، 9}. ومن هذين القانونين يمكن تعريف الديسبل كما موضح في المعادلة 9-4.

$$SWL = 10 \text{ Log } (W/W_O) \qquad 9\text{-}4$$

حيث:

SWL = مستوى طاقة الصوت (ديسبل)

W = طاقة الموجة الصوتية (وات)

W_O = طاقة الصوت القياسية (عبارة عن أقل طاقة يمكن سماعها) وعادة تساوي 10^{-12} وات (بيكو وات)

وعادة يستخدم مستوى التعرض اليومي الشخصي للصوت Daily personal noise exposure Level (L_{EP},d)والذى يمكن إيجاده من المعادلة 9-5.

$$\mathbf{L_{EP}, d = 10 \log \left[\frac{1}{T_O} \int_0^{T_e} \frac{P_A(t)}{P_{ref}} \right]^2} \qquad 9\text{-}5$$

حيث:

L_{EP},d = مستوى التعرض اليومى الشخصى للصوت (ديسبل)

T_e = فترة تعرض الأشخاص تعرضاً شخصياً للصوت

T_O = طول اليوم العملي (عادة تؤخذ الفترة العملية لمدة 8 ساعات)

P_A (t) = قيمة تتغير مع الزمن لضغط الصوت التراكمي اللحظى لمنحنى A (باسكال)

P_{ref} = ضغط الصوت القياسي (=20×10^{-6} باسكال)

كما ويوجد معيار متوسط أسبوعي لمستوى التعرض الشخصي للصوت L_{EP},W للقيم اليومية المتعرض لها الشخص من الأصوات ويمكن تقديره من المعادلة 9-6 {1}.

$$\mathbf{L_{EP}, w = 10 \log \left[\frac{1}{5} \sum_{i=1}^{N} 10^{0.1(LEP,d)_i} \right]} \qquad 9\text{-}6$$

حيث:

L_{EP},w = المتوسط الأسبوعي لمستوى التعرض اليومي الشخصي للصوت (ديسبل dB (A) (على منحنى A))

$(L_{EP},d)_i$ = مستوى التعرض اليومي الشخصي للصوت((dB (A)

N = عدد أيام الدوام في الأسبوع

مثال 9-4:

يعمل عامل لمدة ستة أيام في الأسبوع ومستوى التعرض اليومي الشخصي للصوت على مدار هذه الأيام يساوي 80، 77، 84، 70، 94، 79 dB (A) على الترتيب. أوجد المتوسط الأسبوعي لمستوى التعرض اليومي الشخصي للضوضاء.

الحل:

1- المعطيات: $(L_{EP,d})_1 = 80$، $(L_{EP,d})_2 = 77$، $(L_{EP,d})_3 = 84$، $(L_{EP,d})_4 = 70$، $(L_{EP,d})_5 = 94$، $(L_{EP,d})_6 = 79$ ديسبل.

2- أوجد المتوسط الأسبوعي لمستوى التعرض اليومي الشخصي للضوضاء من المعادلة:

$$\mathbf{L_{EP}, w = 10 \log\left[\frac{1}{5}\sum_{i=1}^{N} 10^{0.1(LEP,d)_i}\right]}$$

وعليه:

$L_{EP,w} = 10$ لو $[(1\div5) \times (10^{8} + 10^{7.7} + 10^{8.4} + 10^{7} + 10^{9.4} + 10^{7.9})$

= 87.7 ديسبل.dB (A)

ومن المعروف أن مستوى الصوت يقل كثيراً بزيادة المسافة من مصدره {7} وتبين المعادلة 9-7 العلاقة بين مستوى الصوت والمسافة من مصدر صوت خطي.

$$SLP_B = SLP_A - 10 \text{ Log } (D_B/D_A) \qquad (9\text{-}7)$$

حيث:

SLP_A = مستوى الصوت على المسافة D_A من مصدره

SLP_B = مستوى الصوت على المسافة D_B من مصدره

مثال 9-5:

مستوى الصوت على مسافة 3 متراً والمنبعث من مصدر صوت معين يساوي 91 .dB (A) أوجد المسافة من مصدر الضوضاء التي يقل عندها مستوى الصوت إلى مقدار 86.dB (A)

الحل:

1- المعطيات: $D_A = 3$ متراً، $SLP_A = 91$ ديسبل، $SLP_B = 86$ ديسبل

2- أوجد المسافة المطلوبة باستخدام المعادلة: $SLP_B = SLP_A - 10 \text{ Log } (D_B/D_A)$

وعليه بتعويض القيم المعطاة من الخطوة 1 في المعادلة ينتج:

$86 = 10\times$ لو$(D_B \div 3)$

ومنها يمكن إيجاد $D_B = 9.5$ متراً

9-5 طرق قياس الضوضاء

توجد عدة طرق لتقدير الأصوات المرتفعة بأسلوب سهل ومتقن وفعال. ومن هذه الطرق {3، 10}:

أ) مجهر الصوت: (مايكروفون Microphone)

وهذا مبدل طاقة يعمل على تحويل تردد ضغط الصوت إلى إشارات كهربائية يسهل قياسها ومن أنواعه مجهر الصوت المكثف .Condenser microphone ويتكون المجهر المكثف من غشاء يستخدم كأحد أقطاب المكثف، ولوح إستقطاب موازٍ للغشاء وينفصل عنه بطبقة رقيقة من الهواء تعمل كقطب ثاني للمجهر. ويستقطب المجهر المكثف بوساطة شحنة بحيث أن تحدث الإهتزازات (في فتحة الهواء الناتجة من إزاحة الضغط للغشاء) تحدث إهتزازات مماثلة في فولتية المكثف.

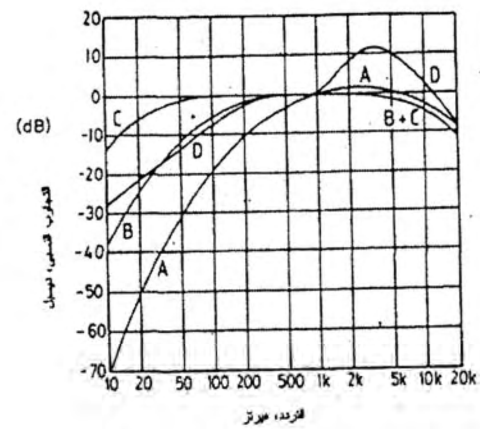
ب) شبكة الوزن:Weighting network

يتكون جهاز قياس الصوت من مايكروفون ومكبر ودائرة تردد (مرشح) وجهاز تسجيل النتائج. ويقوم الجهاز بترشيح ترددات معينة ليجعل التجاوب للصوت يماثل خواص السمع البشري. وقد أستخدمت عالميا ثلاثة مقاييس قياسية مبينة في شكل 9-3.

صممت دائرة الوزن (A) (انظر شكل 9-3) محاكاة للتجاوب الصادر من الأذن البشرية لمستوى أصوات ضعيفة. كما وضع المنحنى (B) لتقدير التجاوب للأذن على مستويات 55 إلى 85 ديسبل. أما المنحنى (C) فقد وضع لتقدير التجارب على مستوى أعلى من 385 dB {10}. يعطي منحنى (C) للتجاوب المستوى قيم تراكمية متساوية لكل قيم التردد، كما ويحاكي تجاوب الأذن لمستوى ضغط أصوات عالي. وهنالك أيضاً تقدير رابع (D) وضع لقياس الضوضاء الناتجة من الطائرات. وعادة يستخدم منحنى (A) لقياس التجاوب للضوضاء لأنه يماثل التجاوب من الأذن البشرية ولتفادي الخلط عند استخدام منحنيات كثيرة ومتعددة.

ج) مقياس مستوى الصوت:Sound level metre

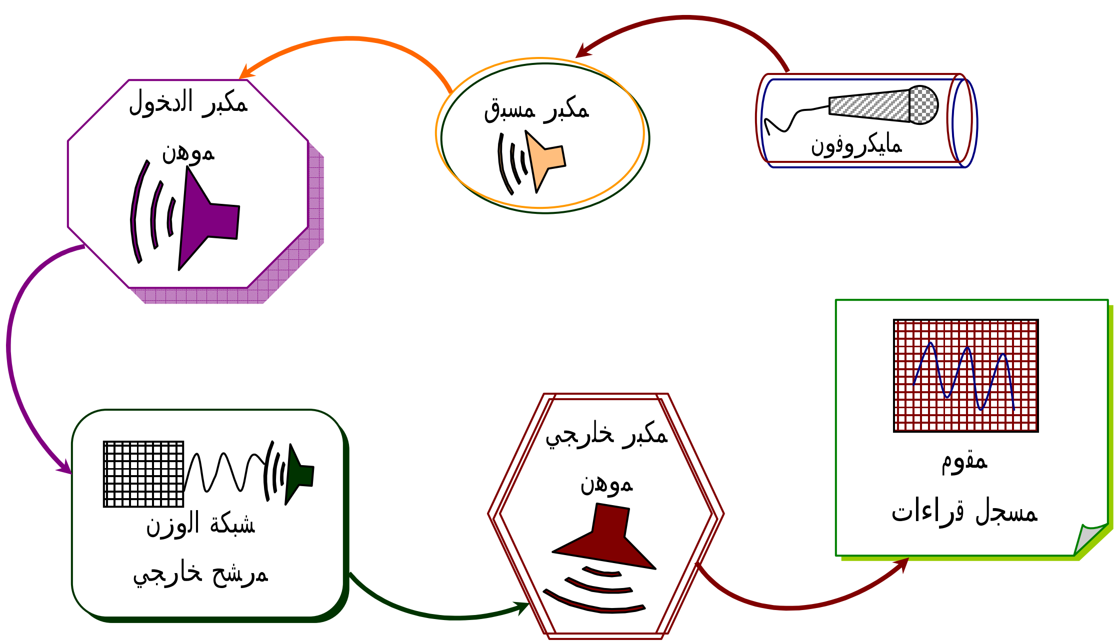
وهذا الجهاز يقيس مستوى ضغط الصوت في حقل صوتي. ويتكون من ميكرفون ومكبر وموهن ومقياس قراءة لتسجيل قيمة مستوى الصوت. ويقوم الجهاز بتحويل الصوت إلى إشارة كهربائية يسهل قياسها. (انظر شكل 9-4).



شكل 9-3 منحنيات مستوى الصوت

المصدر: المرجع 1، منشور بإذن

Source : Anderson, J.S. & Bratos-Anderson, M., Noise & its Measurement, Analysis, Rating & Control. Avebury Technical, Hants, England, 1993. Translated & reprinted by courtesy of the publisher Avebury Technical.



شكل 9-4 رسم تخطيطي لمقياس مستوى الصوت

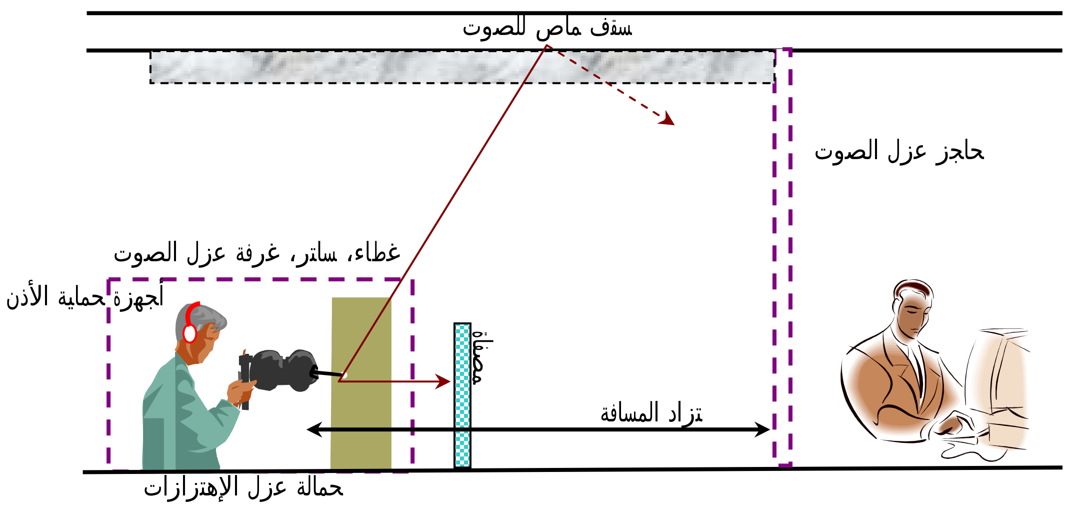
6-9 التحكم في بالضوضاء والضجيج

عادة يتم التحكم في الضوضاء والضجيج على ثلاثة مستويات تتم بتخفيض الصوت عند المصدر، أوقطع مسار الصوت، أوحماية المستقبِل. ومن العوامل المؤثرة في التحكم بالضوضاء: القوانين والتشريعات، والنواحي الاقتصادية، ومناحي التشغيل، والعوامل البيئية. وللتحكم في الصوت عبر الهواء عادة يبنى عائق بين مصدر الصوت والمستقبِل له وهذا يدعى الدرع الصوتي {2} Acoustic shielding ومن أمثلة العوائق المستخدمة: الغرابيل، وحظائر الصوت، والمباني، ومحرم (مسطاح) التربة، والأرض التي تحجب المصدر من المستقبِل.

ويهدف التحكم في التلوث بالضوضاء والضجيج إلى:

- الحد من الضوضاء أو منعها
- المحافظة على حالة الإنسان الصحية (الجسدية والعقلية والنفسية والاجتماعية والسلوكية)
- تغيير الآليات الباعثة للضوضاء بأخرى أكثر هدوءاً
- مراعاة مشاكل الضوضاء والضجيج والصخب عند التصميم والإنشاء.
- الحد من مشاكل الضوضاء على الحيوان والنبات.
- نظافة البيئة المحلية والمحافظة عليها.

ويبين شكل 9-5 أمثلة لبعض طرق التحكم في الصوت.



شكل 9-5 أمثلة لبعض طرق التحكم في الصوت

المصدر: المرجع 9، منشور بإذن

Source: Sound Research Laboratories, Noise Control in Industries, 3rd Edi., E. & F. N. Spon, An Imprint of Chapman & Hall, London, 1991. Translated & reprinted by courtesy of SRL Sound Research Laboratories Ltd.

والتحكم في الصوت من مصدره أو مسار إنتقاله أو عند مستقبِله يمكن أن يتم بعدة طرق منها:

أ) طرق التحكم في المصدر وفى هذا المنحنى يمكن:

- ♦ استخدام مصدر أكثر هدوءاً (مثلاً يمكن استخدام آليات وماكينات هادئة أو تغيير الماكينات الحالية).

- تقليل قوة السعة (المطال) للماكينة. وهذا يمكن إتمامه بتقليل الصدمات أو النبضات باستخدام قوى أبطأ، أو إستخدام مواد أنعم عند ملامستها للأسطح، أو بموازنة الأجزاء المتحركة، أو بتقليل الإحتكاك بالتزييت والتشحيم للكراسي والأجزاء المتحركة. أو إستخدام ماصات ديناميكية.
- تقليل التجاوب للصوت وهذا يمكن إتمامه:
  - o بزيادة فقدان الطاقة الداخلية للماكينة.
  - o بتغيير التردد الطبيعي للماكينة.
  - o بتخفيض كفاءة الإشعاع الصوتي.
- تغيير طريقة التشغيل: وهذه يمكن عملها عن طريق:
  - o برمجة تشغيل الماكينات لتخفيض مستوى الصوت.
  - o تقليل التشغيل الليلي أو منعه إذا كانت هنالك شكاوى من الجمهور.

ب) طرق التحكم في مسار الصوت : مثلاً يمكن وضع عوائق في مسار الصوت أو يمكن تغطية المصدر بمواد عازلة.

ج) طرق حماية المستقبل للصوت وهنا يتم حماية المستقبل للصوت مثلاً باستخدام سدادات الأذن وخوذات الرأس وغيرها من وسائل الحماية والإجراءات الوقائية.

يستخدم العزل الصوتي Sound insulation للتحكم في مسار نقل الصوت ويمكن تحقيقه ببناء حائط، أو وضع ألواح في مسار الصوت تفصل بين المصدر والمستمع. وقد أُستخدمت هذه الطريقة للتحكم في الأصوات المنقولة بالهواء، وفى مشاكل إنتقال الصوت من غرفة إلى الأخرى داخل المباني. ولكفاءة العزل ينبغي استخدام حوائط عريضة كثيفة من الطوب أو الخرسانة {1}.

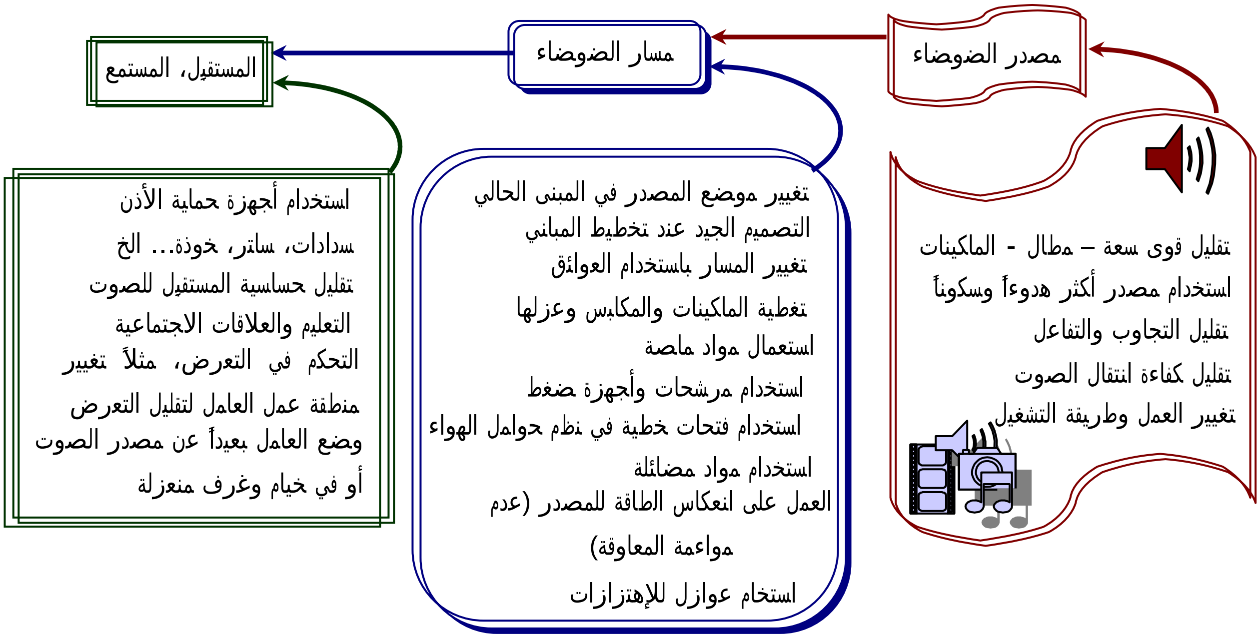
أما إمتصاص الصوت فيستخدم لتقليل مستوى إنعكاس الصوت في غرفة تضم مصدر الصوت والمستمع والتي يحتاج فيها إلى ترفيع حالة الصوتيات ويمكن استخدام الرصاص في هذا المنحى.

تُستخدم كاتمات الأصوات Silencers لتقليل الصوت المنتقل من خلال الفتحات والمسالك والمجارى للمستمع (مثلاً في مكيفات هواء الغرف) وهنالك نوعان من كاتم الصوت:

1. الكاتم المبدد للصوت :Dissipative silencer ويعمل هذا الكاتم لتبديد الطاقة الصوتية بتحويلها إلى أنواع أخرى من الطاقة غالبا تكون طاقة حرارية.
2. الكاتم المتفاعل Reactive silencer أو مرشح الصوت Acoushic filter أو(Muftler) وفيه يتم حصر الطاقة الصوتية داخل الحجرة أو النظام، ولا يسمح بمرورها من الجهة الأخرى للتأثير على المستقبل أو المستمع. وقد تم استخدام الكاتم المتفاعل في التهوية ونظم تكييف الهواء.

وعامة تستخدم كواتم الصوت للتحكم في الصوت الناتج من الأجهزة الميكانيكية والماكينات (الإحتراق الداخلي، الديزل) وفى مسار الهواء السريع {6}.

ويبين شكل 9-6 ملخص لأهم طرق التحكم من التلوث بالضوضاء والضجيج.



شكل 9-6 أهم الطرق للتحكم في التلوث بالضوضاء والضجيج، {5، 8}

المصدر: مرجع 8، منشور بإذن

Source: Crocker, M. J., Kessler, F. M., Noise Control Engineering, CRC Press, Inc., Boca Raton, Vol. II, 1982

9-7 تمارين نظرية وعملية

9-7-1 تمارين نظرية

1. عرف كلاً من الآتي: الصوت، الضوضاء والضجيج، الموجة الصوتية، التردد، الأصوات الداخلية والأصوات فوق الصوتية، مطال الموجة.
2. ما فائدة الصوت في حياة الإنسان؟
3. ما مسببات الضوضاء والضجيج في منطقتك؟
4. كيف ينتقل الصوت من وسط إلى آخر؟
5. تحدث بإيجاز عن كلٍ مما يأتي:
   - ♦ الحياة في منطقة معزولة من الأصوات.
   - ♦ مخاطر التلوث بالضوضاء والضجيج على الإنسان.
   - ♦ استخدام وحدة الديسبل لقياس مستوى الصوت.
   - ♦ التحكم في التلوث بالضوضاء والضجيج.
6. ما أهم العوامل التي تؤثر على مقدرة السمع واستمراريته؟

7. ما الفرق بين الطنين وخطل السمع؟

8. كيف يمكن استخدام المعادلة التالية لإيجاد متوسط التعرض اليومي الشخصي للصوت؟

$$L_{EP}, d = 10 \log \left[\frac{1}{T_O} \int_0^{T_e} \frac{P_A(t)}{P_{ref}} \right]^2$$

9. أي من الآتي يمثل خطراً على السمع ؟ ولماذا؟

أ) الطائرات النفاثة.

ب) بوق السيارة.

ج) منظف شفط الأوساخ المنزلي.

10. كيف يمكن قياس شدة الضوضاء والضجيج؟

11. ما الأهداف العامة من التحكم في التلوث بالضوضاء والضجيج؟

9-7-2 تمارين عملية

1. أوجد محصلة مستوى الصوت عند جمع قيم الديسبل التالية: 80، 55، 67، 84، 98، 72(A) dB . (الإجابة: 98 dB)

2. أوجد سرعة إنتقال الصوت من ماكينة ما بافتراض أن طول الموجة الصوتية 80 متراً وترددها 60 هيرتز. (الإجابة: 4.8 كيلومتر/ث)

3. أوجد مستوى ضغط الصوت لموجة صوتية ذات ضغط يساوي 6 باسكال. (الإجابة dB109.5)

4. تضم ورشة ميكانيكية 5 ماكينات تصدر كل منها صوتاً يقدر بحوالي 100، 60، 40، 78، و93 dB(A) على الترتيب. أوجد قيمة مستوى ضغط الصوت الصادر من الماكينات الخمس عند عملها سوياً. (الإجابة: dB100.8(A))

5. مستوى الصوت على مسافة 3 متراً قُدر بحوالي 89 dB(A) أوجد مستوى الصوت على مسافة 20 متراً من مصدر الصوت (الإجابة: dB80.8(A))

9-8 المراجع والمصادر

1. Anderson, J.S. and Bratos-Anderson, M., Noise and its Measurement, Analysis, Rating and Control, Avebury Technical, Hants, England, 1993.
2. Saenz, A.L., and Stephens, R.W.B. Edi., Noise Pollution: Effects and Control, Published on behalf of the Scope of the ICSU, by John Wiley and Sons, Schichester, 1986.
3. Vesilind, P.A., Peirce, J.J., Weiner, R., Environmental Engineering, 2nd Edi., Butterworths, Boston, 1982.
4. Isaac, A., Edi., Concise Dictionary of Physics, Oxford Science Publications, Oxford University Press, Oxford, 1985.
5. Crocker, M.J. and Kessler, F.M., Noise and Noise Control, CRC Press, Inc., Boca Raton, Vol. II, 1982

6. Thumann, A. and Miller, R.K., Fundamentals of Noise Control Engineering, The Fairmont Press Inc., Atlanta, Gerogia, Prentice Hall, New Jersey, 1986.
7. Nathanson, J.A., Basic Environmental Technology: Water Supply, Waste Disposal and Pollution Control, John Wiley and Sons, New York, 1986.
8. Faulkner, L.L. Edi., Handbook of Industrial Noise Control, Industrial Press, Inc., New York, 1976.
9. Sound Research Laboratories, Noise Control in Industry, 3rd Edi., E.&F.N.Spon, An imprint of Chapman & Hall, London, 1991.
10. Bies, D.A., and Hansen, C.H., Engineering Noise Control: Theory and Practice, Unwin Hyman, London, 1988.
11. Kamboj, N.S., Control of Noise Pollution, Deep and Deep Publications, New Delhi, 1993.

الباب الرابع

التشريعات والقوانين والخطوط التوجيهية

الفصل العاشر
التشريعات والقوانين والخطوط التوجيهية

10-1 مقدمة

للتشريعات والقوانين والأحكام والخطوط التوجيهية المتعلقة بمكافحة التلوث والتحكم فيه أهداف ودوافع محددة ومدروسة تصلح للتبني في أي منطقة، غير أن التطبيق لها تحكمه ضوابط ومعايير ومتغيرات تختلف من منطقة لأخرى طبقاً لما يلي:

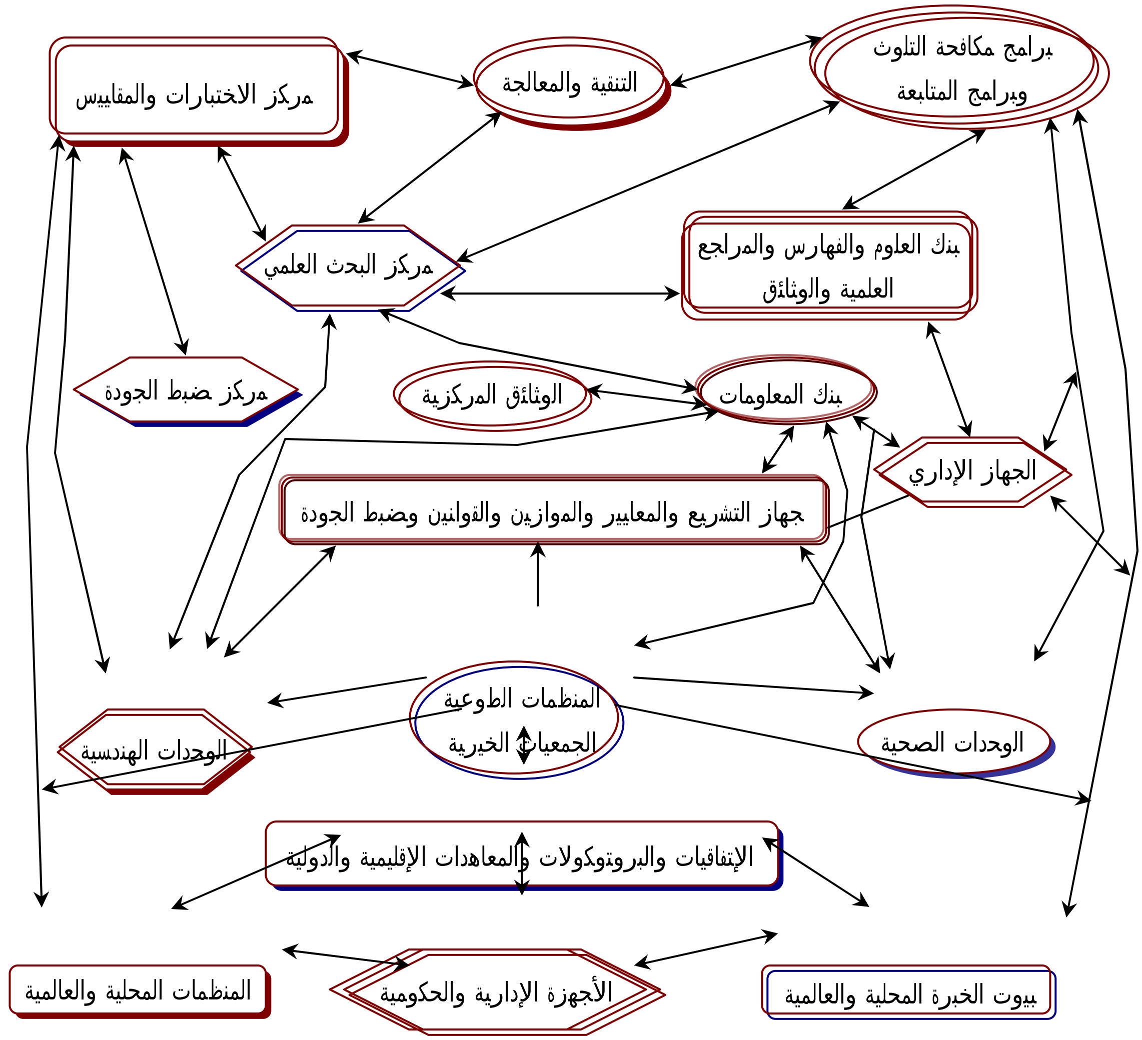
- الظروف والمتغيرات الاجتماعية.
- المعايير الإدارية والإجرائية.
- التقاليد و الموروثات والمعتقدات المحلية.
- التنمية المحلية المستدامة والأهداف العامة المنوطة بها.
- النواحي الاقتصادية والمالية.
- درجة العون الذاتي والمشاركة الشعبية.
- التقانة الموجودة والكادر الفني المؤهل.

ولا يكفي وضع التشريعات والأحكام دونما متابعة تطبيقها والعمل على هديها وتطويرها والحرص عليها. ويتطلب هذا الإجراء إنشاء المعامل والمخابر المركزية وتحديثها للفحص وكشف درجة التلوث، ومدى خطورته، وكيفية محاربته، ومنع تكراره بصفة دورية مستمرة على مدار العام. كما ويتطلب سن التشريع وتطبيقه ووجود الجهاز الإداري المؤهل والذي يعمل في تناغم وتنسيق مع جهات الفحص و التجارب. وبهذا المفهوم التكافلي يتسنى تحقيق بيئة عمل صالحة وخالية من التلوث أو قليلة التلوث. ويبين شكل 10-1 تصور لنوع التعاون والتآزر المطلوب بين الفئات المختلفة العاملة في مجال مكافحة التلوث والمحافظة على البيئة.

10-2 التشريعات والمعايير والقوانين المائية

إن تحديد مواصفات الماء في مصدره ومورده أو تحديدها للاستهلاك العام تحكمه أغراض ودواعي الاستعمال والتي تضم: الشرب، والنظافة الشخصية، والتبريد، والزراعة والري، والصناعة، وسقي الحيوانات، والترفيه والإستجمام، وغيرها من ضروب الاستعمال التليدة والمستحدثة والمتجددة. كما وتحكم المواصفات متغيرات أخرى متداخلة مع بعضها البعض وتضم: خواص الماء الخام، والتقانة المتاحة محلياً، والمخاطر الصحية المتوقعة، وسهولة الحصول على الماء النقي واستمراريته وإمكانيته.

وبالنسبة لماء الشرب يجب خلوه من الجراثيم الممرضة أو السموم التي تؤثر كمياتها على الصحة العامة على المدى القريب أو البعيد (أي أن تكون المواصفات مقبولة من المنطلق الحيوي والكيميائي). كما يجب أن تكون المياه مستساغة من ناحية الطعم واللون والرائحة وما شاكلها من الخواص الطبيعية.



شكل 10-1 أسلوب التعاون بين الجهات المختلفة للحفاظ على بيئة خالية من التلوث، {9، 10}

10-2-1 الخطوط التوجيهية لماء الشرب المعدة بوساطة منظمة الصحة العالمية

قامت منظمة الصحة العالمية بوضع مؤشرات وخطوط توجيهية لضمان إمداد المستهلك بماء جيد المواصفات والخواص ويصلح للشرب. ويبسط جدول 10-1 هذه المؤشرات للماء الشروب. وقد ركزت المؤشرات على الخواص البكتيريولوجية والميكربيولوجية (الحيوية) لما لها من أثر على صحة المستهلك. ثم تعرضت المؤشرات للنواحي الكيميائية لتسببها في المخاطر الصحية بعد التعرض لها لفترة زمنية طويلة. كما وركزت الخطوط التوجيهية على المواد الكيميائية التراكمية مثل المعادن الثقيلة والمواد المسرطنة. وعلى ضوء هذه المؤشرات يمكن أن تقوم كل دولة بوضع معاييرها ومواصفاتها وقوانينها لماء الشرب طبقاً للظروف البيئية والمناخية والثقافية والإجتماعية والنواحي الاقتصادية السائدة فيها.

ومن السمات الرئيسة للخطوط التوجيهية لمنظمة الصحة العالمية ما يلي: {1، 3،2، 4}

❖ يمثل الخط التوجيهي مقدار الملوث ودرجة تركيزه الذي لا ينتج عنه خطر صحي واضح للمستهلك.

- ❖ تركز الخطوط التوجيهية على معرفة نوع مياه الشرب وخصائصها بما يضمن جودتها للاستهلاك البشري لكل الاستخدامات المنزلية (بما فيها النظافة الشخصية) والإحتياجات الصناعية. غير أن هنالك بعض الاستخدامات الخاصة التي تتطلب جودة أعلى للمياه مثل غسيل الكلي.
- ❖ يعتمد الخط التوجيهي كمؤشر للكشف عن أسباب الزيادة في تركيز الملوث، وذلك بغية أخذ الإحتياطات والتدابير والمعالجة اللازمة، كما ويستفاد منهاعند التشاور مع جهات الإختصاص لإسداء النصح فيما يتعلق بالصحة العامة.
- ❖ وضع الخط التوجيهي للمحافظة على الصحة عند استخدام الماء على المدى الطويل.
- ❖ عند وضع المعايير والتشريعات الوطنية لمياه الشرب (بالإعتماد على الخطوط التوجيهية) لا بد من الأخذ في الإعتبار العديد من العوامل: مثل جغرافية البيئة المحلية، والنواحى الاقتصادية والإجتماعية، والتقدم الصناعي بالمنطقة، والحمية الغذائية، وغيرها من المؤثرات الهامة عند التعرض للماء أو عند استخدامه. وربما أنتجت هذه العوامل تشريعات قومية تختلف في جوهرها عن هذه الخطوط التوجيهية.
- ❖ في حالة وجود أي من الإشريكية القولونية أو القولونيات الكلية يجب إجراء التحقيق الفوري. وأقل عمل يجب القيام به في حالة وجود بكتريا القولونيات الكلية هو إعادة أخذ العينة. وفى حالة إكتشاف وجود هذه البكتريا مرة أخرى يجب معرفة المسبب لها بإجراء تحقيق فورى آخر.
- ❖ رغماً عن أن الإشريكية القولونية هى أفضل مؤشر للتلوث البرازي، غير أن الكشف عن بكتريا القولونيات المحتملة للحرارة يعتبر بديلاً مقبولاً. ولا ينبغي قبول مؤشرات بكتريا القولونيات الكلية في المناطق الريفية (خاصة في الدول النامية) نسبة لإحتمال تواجد بكتريا أخرى في المصادر غير المعالجة. وقد لاحظت الخطوط التوجيهية إنتشار التلوث البرازي في معظم مصادر الماء الريفية في الدول النامية، ولذا تنصح الخطوط جهات الإختصاص بوضع خطة أهداف متوسطة المدى لتحسين إمدادها المائي.

يوضح جدول 10-1 ملخص عام موجز للخطوط التوجيهية لمنظمة الصحة العالمية، والتي تحتوي على درجات التركيز الكلية الخاصة بكل مادة. وبناءاً على ضوء نتائج آخر دراسات لا يفترض أن تأتي القيم الموضحة بالجدول 10-1 بأى خطر صحي للمستهلك. أما الإفتراضات المتبعة لتقدير الخط التوجيهي فقد أخذت في إعتبارها أن متوسط وزن المستهلك 60 كيلوجرام ويستهلك حوالى 2 لتر من الماء يومياً.

جدول 10-1 ملخص موجز للخطوط التوجيهية لمنظمة الصحة العالمية لماء الشرب{1، 2، 3، 4}

<u>أ) النوعية البكتيرولوجية:</u>

الكائن الحي	الخط التوجيهي العدد لكل 100 مللتر
كل المياه المستخدمة للشرب:	
الإشريكية القولونية أو بكتريا القولونيات المحتملة للحرارة	لا توجد في أي عينة
المياه النقية الداخلة إلى شبكة التوزيع	
الإشريكية القولونية أو بكتريا القولونيات المحتملة	لا توجد في أي عينة

للحرارة	
بكتريا القولونيات (الكلية)	لا توجد في أي عينة
<u>المياه النقية داخل شبكة التوزيع</u>	
الإشريكية القولونية أو بكتريا القولونيات المحتملة للحرارة	لا توجد في أي عينة
بكتريا القولونيات (الكلية)	لا توجد في أي عينة. كما لا توجد في 95% من العينات المأخوذة طيلة مدة 12 شهراً في حالات الإمدادات الكبرى وعند تحليل عدد مناسب من العينات

<u>ب) المواد الكيميائية المؤثرة على الصحة:</u>

(1)المواد غير العضوية

العنصر	ملجم /لتر	العنصر	ملجم /لتر
أنتيمون	0.005	رصاص	0.01
زرنيخ	0.7	زئبق	0.001
بورون	0.3	موليبدنوم	0.07
كادميوم	0.003	نيكل	0.02
كروم	0.05	نترات (NO_3-)	50
نحاس	2	نتريت (NO_3-)	3
سيانيد	0.07	سيلينيوم	0.01
فلور	1.5		

<u>(2)المواد العضوية المؤثرة على الصحة</u>

	ميكروجرام/لتر
<u>ألكانات المكلورة</u>	
رباعى كلوريد الكربون	2
ثنائى كلور إيثان	20
2،1 ثنائي كلور إيثلين	30
1,1,1 ثلاثي كلور إيثان	2000
<u>إيثين مكلور</u>	
كلوريد الفينيل	5
1,1 ثنائي كلور إيثين	30
2،1 ثنائي كلور إيثين	50
ثلاثي كلور إيثين	70
رباعي كلور إيثين	40

<u>الهيدروكربونات العطرية</u>

بنزين	10
تولوين	700
زايلين	500
إثيل بنزين	300
ستيرين	20
بنزو (أ) بيرين	0.7
<u>البنزين المكلور</u>	
أحادى كلور بنزين	300
2،1 ثنائي كلور بنزين	1000
4،1 ثنائي كلور بنزين	300
ثلاثي كلور بنزين (الكلي)	20
<u>متعددة</u>	
سداسي كلور بيوتادايين	0.6
<u>(3)المبيدات</u>	
	ميكروجرام/لتر
ألاكلور	20
ألديكارب	10
ألدرين/ ثنائي ألدرين	0.03
بنتازون	30
كلوردين	0.2
د.د.ت	2
4،2، د	30
2،1-ثنائي كلور البروبان	20
سباعي الكلور وفوق أكسيد سباعي الكلور	0.03
سداسي كلور بنزين	9
لندين	2
ميثوكسيد كلور	20
خماسي كلور فينول	9
برمترين	20
بروبانيل	20
ثلاثي الفلورالين	20

(4)المطهرات ونواتج التطهير

	مليجرام/لتر
أحادي كلورامين	3
كلور	للتطهير الجيد ينبغى وجود متبقي للكلور الحر 0.5 # ملجم/لتر بعد زمن مكث 30 دقيقة لرقم هيدروجيني أكبر من 8
برومات	25
6،4،2-ثلاثي كلور فينول	200
ثلاثي هالوجين الميثان	
بروموفورم	100
ثنائي بروم كلور الميثان	100
ثنائي كلور بروم الميثان	60
كلوروفورم	200
أحماض الخل المكلورة	
ثنائي كلور حمض الخل	50
ثلاثي كلور حمض الخل	100
اسيتو نتريلات مهلجنة	
ثنائي كلور اسيتو نتريلات	90
ثنائي بروم اسيتو نتريلات	100
ثلاثي كلور اسيتو نتريلات	1

ج) المواد التي ربما أثارت شكوى من المستهلك

خواص طبيعية:

اللون	15 TCU
الطعم والرائحة	يجب قبولها
درجة الحرارة	يجب قبولها
العكارة	5 NTU

مواد غير عضوية

	ملجم/لتر
ألمونيوم	0.2
أمونيا	1.5
كلوريد	250
نحاس	1

كبريتيد الهيدروجين	0.05
حديد	0.3
منجنيز	0.1
صوديوم	200
كبريتات	250
المواد الصلبة الكلية	1000
خارصين	3
<u>مواد عضوية</u>	
	<u>ميكروجرام/لتر</u>
تولوين	24 إلى 170
زايلين	20 إلى1800
أثيل بنزين	2 إلى 200
ستيرين	4 إلى 2600
أحادي كلور بنزين	10إلى 120
2،1- ثنائ كلور بنزين	1 إلى 10
4،1- ثنائي كلور بنزين	0.3 إلى 30
ثلاثي كلور بنزين (الكلي)	5 إلى 50
<u>مطهرات ونواتج التطهير</u>	
كلور	600 إلى 1000
<u>كلور فينول</u>	
2- كلور فينول	0.1 إلى 10
4،- ثنائي كلور فينول	0.3 إلى 40
4،6،2- ثلاثي كلور فينول	2 إلى 300
<u>د) المواد الإشعاعية</u>	
إجمالي نشاط ألفا	0.1 بيكوكورى/لتر
إجمالي نشاط بيتا	1بيكوكورى/لتر

<u>هـ) المواد الكيميائية التي لا تؤثر على الصحة في درجات التركيز الموجودة في مياه الشرب</u>

الأسبستس الفضة القصدير	غير مهم إعطاء خط توجيهي مبني على الأسس الصحية لهذه المركبات لأنها لا تمثل خطر على صحة الإنسان في درجات التركيز الموجودة في مياه الشرب

10-2-2 المواصفات القياسية العمانية لمياه الشرب

أعدت المديرية العامة للمواصفات والمقاييس بوزارة التجارة والصناعة بمسقط: سلطنة عمان مشروع المواصفة القياسية العمانية لمياه الشرب. ومن أهم سماته التركيز على الخواص الطبيعية والكيميائية والحيوية لمياه الشرب على حسب ما مبين في جدول 10-2.

جدول 10-2 المواصفة القياسية العمانية لمياه الشرب {5}

<u>الخواص الفيزيائية:</u> يجب أن تكون مياه الشرب عديمة اللون والطعم والرائحة وخالية من العكارة وذلك بصفة عامة.

<u>الخواص الكيميائية:</u>

المواد السامة: يجب ألا تزيد نسبة المواد المذكورة بعد على الحدود الموضحة فيما يلي:

المادة	أقصى ما يمكن السماح به (ملجم/لتر)
الرصاص(Pb)	0.1
السيلينيوم(Se)	0.01
الزرنيخ(As)	0.05
الكادميوم(Cd)	0.01
السيانيد(CN)	0.05
الزئبق(Hg)	0.001

المواد الكيميائية التي لها تأثير خاص على الصحة: يجب ألا تزيد نسبة المواد المذكورة بعد على الحدود الموضحة فيما يلي:

المادة	أقصى ما يمكن السماح به (ملجم/لتر)
الفلوريدات(F)	0.8
النترات(NO_3)	45

المواد الكيميائية التي تؤثر على صلاحية المياه للشرب: يجب ألا تزيد نسبة المواد المذكورة بعد على الحدود الموضحة أدناه:

المادة	المسموح به (ملجم/لتر)	أقصى ما يمكن السماح به (ملجم/لتر)
الأملاح الذائبة الكلية	500	1500
النحاس (Cu)	0.05	1.5
الحديد (Fe)	0.1	1.0
الماغنسيوم(Mg)	لا يزيد على 30 ملجم/لتر إذا كانت نسبة الكبريتات 250 ملجم/لتر. أما إذا كانت نسـبة الكبريتات أقـل من ذلك فإنه يسمح بنسبة ماغنسيوم 150 ملجم/لتر.	

المنجنيز(Mn)	0.05	0.5
الخارصين(Z)	5.0	15
الكالسيوم(Ca)	75	200
الكلوريد(Cl)	200	600
الكبريتات (SO_4)	200	400
المركبات الفينولية (مقدرة كفينولات)	0.001	0.002
العسر الكلي ($CaCO_3$)	100	500
الرقم الهيدروجيني	7 إلى 8.5	6.5 إلى 9.2

الكلور المتبقي

الحد الأدنى للكلور المتبقي اللازم للتطهير الفعال لمياه الشرب: يجب ألا تقل نسبة الكلور المتخلف في المياه المعالجة عن 0.2 إلى 0.5 ملجم/لتر.

الخواص البكتريولوجية:

المياه المعالجة:

أ) يجب ألا تحتوى أي عينة من المياه (100 مل) على بكتريا قولونية.

ب) يجب ألا تزيد الأحياء المجهرية للمجموعة القولونية في أي عينة على 10 لكل 100 مل من المياه المختبرة.

ج) على مدى أي عام يجب ألا تحتوي 95% من العينات المختبرة (العينة الواحدة 100 مل) على أي أحياء مجهرية .

المياه غير المعالجة:

أ) يجب ألا تحتوي أي عينة من المياه (100 مل) على بكتريا قولونية.

ب) يجب ألا تزيد الأحياء المجهرية للمجموعة القولونية في أي عينة على 10 لكل 100 مل من المياه المختبرة.

10-3 التشريعات والمعايير والقوانين المتعلقة بالفضلات والمخلفات السائلة

يؤدي عدم وجود التشريعات والأوامر الخاصة بحماية البيئة إلى عشوائية صرف المخلفات والفضلات الضارة والمواد الملوثة مما قد يولد تلوثاً يصعب إدراكه ومعالجته. كما وأن غياب التشريع الهادف والمعايير الملزمة يجعل من السهل على المتسببين في تلوث البيئة التخلص مما لديهم من مخلفات بأي صورة من الصور دونما إهتمام لما قد يتمخض عنه فعلهم من دمار سريع أو بطئ الحدوث.

وعادة تُتخذ المعايير المنوط بها تحديد الملوثات أو التخلص من التلوث بناءاً على أسس اجتماعية وقانونية ومفردات اقتصادية تتداخل كثيراً فيما بينها. وتهدف هذه الأسس إلى ما يلي {3}:

تجنب أي مخاطر واضحة تؤثر على صحة الإنسان والحيوان والنبات على المدى القريب والبعيد.

- منع التلوث البيئي أو تقليله.
- منع توالد أي ناقل للجراثيم ضار بسكان المنطقة المجاورة.
- الحد من انتشار الملوثات أو النشاط التلوثي لمدى كبير.

- مواكبة التشريعات والقوانين والأعراف والتقاليد والمعتقدات السائدة بالمنطقة.

عند وضع التشريع للمواد والملوثات الضارة لابد من ملاحظة ما يلي:

- درجة تركيز الملوثات في الماء والطعام والهواء والبيئة المحيطة.
- طريقة دخول الملوثات إلى السلسلة الغذائية للإنسان.
- درجة تعرض الفرد للملوثات ومداه.
- عادات الأكل لدى المجموعة السكانية المتأثرة والمتاخمة لمصدر التلوث.
- التقاليد والعادات المؤثرة السائدة بالمنطقة.
- تحديد المجموعة السكانية الأكثر تعرضاً للتلوث من جراء عادات استهلاك الطعام أو التعرض للماء بصورة مباشرة أو غير مباشرة.
- الأثر المركب للملوثات على الفرد المتأثر وأثر كل ملوث على حدة.
- الخواص الطبيعية والكيمائية والحيوية للملوثات.
- درجة السمية ومقدار التعرض الملائم دون استحداث لأي مخاطر أو أمراض أو ما شاكلها.

10-3-1 التشريعات والأحكام والمعايير والقوانين المتعلقة بإعادة استخدام الماء للري

عادة توضع معايير مختلفة طبقاً لغرض وطرق استخدام السائل النهائي المعالج. ومن المعروف أن استخدام الماء للزراعة وري المحاصيل من أكبر أساليب الاستهلاك، ومن هذا المنطلق فقد أقتضى واقع الحال وشح الماء في عدة مناطق استخدام مياه الصرف الصحي المعالجة بطرق مباشرة أو غير مباشرة للري. غير أنه ينبغي توخي الحذر عند ري المحاصيل التي تؤكل نيئة وغير مطهية.

ومن المعايير التي أُتبعت للماء المستخدم للري تحديد القيمة الحيا-كيميائية للأكسجين وتحديد قيمة درجات تركيز المواد الصلبة العالقة في السائل النهائي المعالج. غير أن المناحي البكترولوجية تشكل الخطر الحقيقي للصحة العامة. ولذا فقد حددت قيمة كائنات القولونيات *Coliform* organisms بحيث أن لا تتجاوز 23 أو 2.2 قولونيات على 100 مللتر في بعض المعايير لبعض الدول، وفى دول أخرى تم تحديد رقم القولونيات الكلية في حدود 100 كائن على 100 مللتر عند استخدام المياه لري المحاصيل في نظم ري غير محددة Unrestricted irrigation . (وكائنات القولونيات هي فصيلة من البكتريا توجد في السبيل المعوؤ لذوات الثدؤ وهي تنتمؤ إلى الإمعائيات، وبعض من هذه الكائنات خاصة القولونيات البرازية *Faecal coliforms* عادة توجد في براز الإنسان وروث الحيوان وتستخدم كمؤشر للتلوث البرازي).

ومن الملاحظ في غالبية التشريعات تحديد أقصى عدد للقولونيات البرازية لوجود علاقة بينها وبين الجراثيم، وذلك لتشابه خواص معيشتها البيئية، ومعدل إزالتها أو فنائها في محطات المعالجة. غير أنه لا ينبغي الاعتماد على العدد الكلي للقولونيات لتحديد التلوث البرازي، وذلك لأن كل القولونيات ليست من مصدر برازي خاصة في المناطق ذات المناخ الدافئ، إذ أن نسبة كبيرة منها من أصل غير برازي. كما وأن القولونيات البرازية ليست مؤشر جيد لوجود تلوث بالحمات أو بالحيوانات الأوالي أو الديدان. وبيض الديدان له علاقة كبيرة وأثر عظيم على

الصحة العامة والخطر من احتمال انتشار الأمراض عند استخدام المياه للري في المناطق الموبوءة بأمراض الديدان.

ويبين جدول 10-3 الخطوط التوجيهية العامة الأمريكية للملوحة في المياه المستخدمة للري، ومن المعروف أن المحاصيل تختلف كثيراً في مدى تحملها للتغيرات في درجة الملوحة أو المواد الصلبة الذائبة. وقد أوضحت الخطوط التوجيهية أن هذه المعايير مهمة للمناطق الجافة وشبه الجافة.

جدول 10-3 الخطوط التوجيهية العامة الأمريكية للملوحة في المياه المستخدمة للري{21}

التقسيم	المواد الصلبة الذائبة (ملجم/لتر)	الموصلية الكهربائية (مللموهوز/سم)
المياه التي لم يلاحظ منها مشاكل خطيرة	500	0.75
المياه التي لها تأثير خطر على المحاصيل الحساسة	500 إلى 1000	0.75 إلى 1.5
المياه التي لها مردود سالب للعديد من المحاصيل وتحتاج إلى نظم إدارية متأنية	1000 إلى 2000	1.5إلى 3
المياه التي يمكن استخدامها للنباتات المتحملة في تربة مسامية مع وجود نظم إدارية متأنية	2000 إلى 5000	3 إلى 7.5

يبين جدول 10-4 أعلى درجات تركيز للعناصر الثقيلة في المياه المستخدمة للري بالتركيز على المعادن الثقيلة والمواد السامة طبقا لنوع التربة والمدى الزمنى.

جدول 10-4 أعلى درجات تركيز للعناصر الثقيلة في المياه المستخدمة للري {4، 24، 25}

العنصر	المياه المستخدمة باستمرار في التربة (ملجم/لتر)	للاستخدام لمدى 20 سنة في تربة ناعمة النسيج ذات رقم هيدروجيني 6 إلى 8.5
الألمنيوم	5	20
الزرنيخ	0.1	2
البيريليوم	0.1	0.5
الكادميوم	0.01	0.05
الكروم	0.1	1
الكوبالت	0.05	5
النحاس	0.2	5
الفلور	1	15
الحديد	5	20
الرصاص	5	10
النيكل	0.2	2
السيلينويم	0.02	0.02

الفاناديوم	0.1	1
الخارصين	2	10
المنجنيز	0.2	10

مواصفات منظمة الصحة العالمية لإعادة استخدام الماء للري

يبين جدول 10-5 المواصفات والدلائل النوعية الميكروبيولوجية الموصى بها من قبل منظمة الصحة العالمية لاستعمال المخلفات السائلة في الزراعة {6، 7}. وبالرجوع إلى جدول 10-5 يمكن تقسيم المحاصيل على حسب تعرض المجموعة لها والدرجة الصحية المطلوبة كما يلي {3 ،6، 7}:

مجموعة I : تعني أن الحماية مطلوبة للمستهلكين وعمال الزراعة والجمهور. وهذه المجموعة تضم المحاصيل التي يمكن أن تؤكل نيئة، والفواكه التي تم ريها بالرش، والحشائش في الحقول والبساتين والميادين العامة ودور الرياضة.

مجموعة II : وتطلب الحماية فقط لعمال الزراعة. وهذه المجموعة تضم محاصيل الذرة والمحاصيل الصناعية (مثل القطن وليف السيزال الذي تتخذ منه الحبال) ومحاصيل الأطعمة المعلبة ومحاصيل العلف والمراعي والأشجار. وفي بعض الحالات يمكنها أن تضم الخضروات التي لا تؤكل نيئة مثل البطاطا، أو تلك الخضروات التي تنمو أعلى سطح الأرض مثل الفلفليات، وفي هذه الأحوال لابد من التأكد من عدم تلوث المحصول بالري بالترشاش أو بالوقوع على الأرض، كما وأن تلوث المطبخ بهذه المحاصيل قبل الطبخ لا يأتي بمخاطر صحية. ولتحقيق المعايير والمواصفات والتشريعات لا بد من تكاتف الوحدات المختلفة العاملة بالدولة وتعاونها لتحقيق الأهداف المنشودة وتوخى السلامة العامة والمحافظة عليها.

مجموعة III : لا تطلب حماية. وهذه المجموعة تضم ري المحاصيل في مناطق معينة بالنسبة للمجموعة II عندما لا يتعرض العمال والجمهور لها.

وينبغي تعديل جدول 10-5 ليلائم الأبحاث الطبية المحلية والعادات والتقاليد والموروثات والنواحي الاجتماعية والتثقيفية والبيئية والدينية بالمنطقة. ويمكن أخذ معايير إضافية متى ما اقتضى واقع الحال ذلك. كما ويمكن إعطاء مرونة أكبر للخطوط التوجيهية في غياب المشكلة المعنية المتعلقة بنوع معين من الجراثيم غير الموجودة بالمنطقة {3}.

اللائحة الخاصة بإعادة استخدام مياه الصرف وتصريفها في سلطنة عمان

عنت اللائحة الخاصة بإعادة استخدام مياه الصرف وتصريفها في سلطنة عمان بتصريف مياه الصرف والحمأة إلى أماكن تحددها وزارة البلديات الأقليمية والبيئة. ويبين جدول 10-6 الحد الأقصى لتركيزات المواد الصلبة المسموح بها في الحمأة المستخدمة في الزراعة. كما ويوضح جدول 10-7 معايير مياه الصرف للحدود القصوى المسموح بها. أما جدول 10-8 فيعني بإعادة استخدام مياه الصرف لمجالات التطبيق المبينة في جدول 10-7.

جدول 10-5 الخطوط التوجيهية المقترحة للخواص الميكروبيولوجية عند استخدام الفضلات السائلة لعمليات الري الزراعي {6، 7}

القسم	حالات إعادة الاستخدام	المجموعة المعرضة	الدودة الممسودة المعوية الدودة المدورة – ب* متوسط حسابي عدد البيض لكل لتر – ج*	القولونيات البرازية متوسط العدد الهندسي لكل مائة مللتر ج*	المعالجة المتوقعة للفضلات السائلة التي تأتي بالنوعية الميكروبيولوجية المتوخاة
I	ري المحاصيل التي يمكن أن تؤكل نيئة وغيرمطبوخة، ري الميادين الرياضية، ري الميادين والحدائق العامة- د*	عمال، مستهلكين، جمهور	أقل من أو يساوي 1	أقل من أو يساوي 1000 د*	تُصمم برك موازنة على التوالي للإيفاء بالنوعية الميكروبيولوجية المحددة أو تُستخدم أنماط معالجة أخرى مكافئة
II	ري محاصيل الحبوب، ري المحاصيل الصناعية، ري محاصيل العلف ري المراعي، سقي الأشجار- هـ*	عمال	أقل من أو يساوي 1	لا يوجد خط توجيهي مقترح	الحفظ في برك موازنة لمدة 8 إلى 10 أيام، أو أي أسلوب مكافئ آخر لإزالة الديدان والقولونيات البرازية
III	ري المحاصيل في مناطق معينة بالنسبة للمجموعة II عندما لا يتعرض العمال والجمهور لها	لا يوجد	لا يوجد	لا يوجد	معالجة مبدئية كما هي مطلوبة بتقانة الري، غير أنه لا يستخدم أقل من الترسيب المبدئي

المفتاح:

أ* في حالات معينة لا بد من تغيير الخطوط التوجيهية طبقاً للمعايير الوبائية والاجتماعية والثقافية والعوامل البيئية.

ب* الصفر الخراطيني والديدان الشصية.

ج* أثناء فترة الري.

د* نسبة للحدائق العامةوحدائق الفنادق من الأنسب وضع خط توجيهي أكثر صرامة مثلاً أقل من أو يساوي 200 قولونيات برازية لكل 100 مللتر نسبة لملامسة الجمهور لها.

هـ* في حالة ري أشجار الفواكه لا بد من وقف الري لمدة أسبوعين قبل جني الفواكه كما ويمنع أخذ الفواكه الملقاة على الأرض كذلك يمنع استخدام الري بالترشاش

المصدر: مرجع 6، منشور بإذن

جدول 10-6 إعادة استخدام الحمأة في الزراعة (شروط الاستخدام في الأرض) {8}

المعادن	الحد الأقصى للتركيزات (ملجم/كجم من المواد الصلبة الجافة)	أقصى معدل للاستخدام (كجم/هكتار*)	الحد الأقصى للتركيزات المسموح بها في التربة (جم/كجم من المواد الصلبة الجافة)
الكادميوم	20	0.15	3
الكروم	1000	10	400
النحاس	1000	10	150
الرصاص	1000	15	30
الزئبق	10	0.1	1
الموليبدنيوم	20	0.1	3
النيكل	300	3	75
السيلينويم	50	0.15	5
الزنك	3000	15	300

يجب أن تكون هناك فترة ثلاثة أسابيع كحد أدنى بعد نشر الحمأة وذلك قبل البدء في الرعي أو حصاد الأعلاف

يحظر استخدام الحمأة:

- في التربة أثناء نمو الخضروات أو حصاد الفواكه القريبة من الأرض مع إستثناء أشجار الفاكهة المرتفعة.
- خلال ستة أشهر سابقة على حصاد الفواكه أو الخضروات التي تنمو بالإتصال المباشر بالتربة والتي تؤكل طازجة عادة.
- في التربة التي يبلغ فيها الرقم الهيدروجيني أقل من 7.
- على أساس متوسط عشر سنوات الرقم الهيدروجيني أقل من 7.

جدول 10-7 معايير مياه الصرف (الحدود القصوى المسموح بها)

(ملجم/ لتر ما لم ينص على غير ذلك) {8}

المـــــادة	المعيار (أنظر جدول 10-8)	
	أ	ب
الحاجة الحيا-كيميائية للأكسجين (5 أيام عند 20 درجة مئوية)	15	20
الإحتياج الكيميائي للأكسجين	150	200
المواد الصلبة العالقة	15	30
المواد الصلبة الذائبة الكلية	1500	2000
التوصيل الكهربائي (مايكروسيمنز/سم)	2000	2700
نسبة (SAR) (مدى تأثير الصوديوم على إمتصاص التربة)	10	10
الرقم الهيدروجيني (في حدود)	6 إلى 9	6 إلى 9
الألمنيوم (على شكل ألمنيوم)	5	5
الزرنيخ (على شكل زرنيخ)	0.1	0.1

الباريوم (على شكل باريوم)	1	2
البريليوم (على شكل بريليوم)	0.1	0.3
البورون (على شكل بورون)	0.5	1
الكادميوم (على شكل كادميوم)	0.01	0.01
الكلوريدات (على شكل كلوريد)	650	650
الكروم (على شكل الكروم الكلي)	0.05	0.05
الكوبلت (على شكل كوبلت)	0.05	0.05
النحاس (على شكل نحاس)	0.5	1
السيانيد (على شكل سيانيد)	0.05	0.1
الفلوريدات (على شكل فلوريد)	1	2
الحديد (على شكل الحديد الكلي)	1	5
الرصاص (على شكل رصاص)	0.1	0.2
الليثيوم (على شكل ليثيوم) .	0.07	0.07
المغنيسيوم (على شكل مغنيسيوم)	150	150
المنجنيز (على شكل منجنيز)	0.1	0.5
الزئبق (على شكل زئبق)	0.001	0.001
الموليبدنيوم (على شكل موليبدنيوم)	0.01	0.05
النيكل (على شكل نيكل)	0.1	0.1
نيتروجين النشادر (على شكل نيتروجين)	5	10
نيتروجين النيترات (على شكل نترات)	50	50
النيتروجين العضوي (كيلدال) - (على شكل نيتروجين)	5	10
الزيوت والشحوم (على شكل مستخلص كلي)	0.5	0.5
الفينولات (الكلية)	0.001	0.002
الفوسفور (على شكل فوسفور)	30	30
السلنيوم (على شكل سلنيوم)	0.02	0.02
الفضة (على شكل فضة)	0.01	0.01
الصوديوم (على شكل صوديوم)	200	300
الكبريتات (على شكل كبريتات)	40	40
الكبريتيدات (على شكل كبريتيد)	0.1	0.1
الفناديوم (على شكل فناديوم)	0.1	0.1
الزنك (على شكل زنك)	5	5
عدد عصيات القولون البرازية (في كل 100ملليتر)	200	1000
عدد بويضات الدودة الشريطية الحية (في كل 100ملليتر)	1 >	1 >

جدول 10-8 إعادة استخدام مياه الصرف{8}

مجالات تطبيق المعايير أ و ب (الجدول رقم 10-7)

	(أنظر الجدول رقم 10-7)	
	أ	ب
المحاصيل	الخضروات والفواكه المحتمل أكلها طازجة خلال أسبوعين من الري	لخضروات المطبوخة أو التي تُصنع. الفواكه إذا لم تروى خلال أسبوعين من حصادها. الأعلاف والغلال والحبوب
الحشائش ومناطق الزينة	الحدائق العامة. أعشاب حدائق الفنادق. المناطق الترفيهية المناطق والبحيرات التي يرتادها الجمهور. (ويستثنى من ذلك الأماكن التي قد تستخدم للصلاة أو الوضوء)	المراعي والمناطق التي لايرتادها الجمهور
تغذية الخزانات الجوفية	جميع أن,اع تغذية الخزان الجوفي المراقبة	
أساليب الري	الري بالرشاشات أو أساليب الري الهوائية الأخرى التي لا يسمح بها في المناطق التي يرتادها الجمهور إلا في أوقات محددة	
أي تطبيقات أخرى لإعادة الاستخدام	تخضع لموافقة الوزارة	

.

10-3-2 التشريعات والأحكام والمعايير والقوانين المتعلقة بإعادة استخدام الماء لتغذية المخزون الجوفي

يبين جدول 10-9 التشريعات الأمريكية لإعادة استخدام الماء لتغذية المخزون الجوفي. وقد تم التركيز في هذه التشريعات على المواد السامة والأحياء المجهرية الممرضة والمواد غير العضوية.

جدول 10-9 تشريعات إعادة استخدام الماء لتغذية المخزون الجوفي

المنشط	القيمة (ملجم/لتر)
زرنيخ	0.05
عدد بكتريا القولونيات البرازية	23/ 100 مللتر
باريوم	2
بورون	0.02
كادميوم	0.01
كلوريد	0.05
كروم	0.15
نحاس	2
سيانيد	0.2
حديد	0.1
رصاص	0.05

منجنيز	0.1
زئبق	0.01
نيتروجين - أمونيا	5
نترات(NO_3^-)	10
نتريت(NO_2^-)	0
سيلينيوم	0.01
فضة	0.1
خارصين	10
الرقم الهيدروجيني	5 إلى 9
الحاجة الحيا-كيميائية للأكسجين	10
المواد الصلبة العالقة	10
الرائحة	لا توجد
الزيوت والشحوم	لا توجد
الأكسجين	هوائي

10-3-3 التشريعات والأحكام والمعايير والقوانين المتعلقة بإعادة استخدام الماء للترفيه

تُبنى التشريعات والأحكام والمعايير والقوانين المتعلقة بإعادة استخدام الماء للترفيه على نوع الاستخدام ودرجة التلامس بين الماء ومرتاد المنطقة ودرجة تركيز المواد الملوثة الموجودة بالمنشأة. وتضم مناطق الترفيه: السباحة والتجديف والسباق المائي والصيد. وبالنسبة للسباحة يمكن أن تأتي الملوثات من مستخدم المسبح (كريم، مستحضرات تجميل، مساحيق، أصباغ، دهان، عرق، زهم (مادة دهنية يفرزها الجلد {34}) مخاط، لعاب، أجزاء برازية، بول، أجزاء جلد)، أو من الهواء المحيط (غبار، حبيبات وجسيمات صلبة)، أو من المنطقة المحيطة. وعادة تُقسم التشريعات إلى ثلاثة محاور تضم: مناطق الترفيه التي بها تلامس أولي، ومناطق الترفيه التي بها تلامس ثانوي، ومناطق الترفيه التي لا يحدث فيها تلامس بين المستخدم والماء. تضم المناطق الأولى: السباحة والاستحمام والتزلج على الماء والتي يحدث فيها تلامس مباشر ولفترة من الزمن بين المستخدم والماء مع إحتمال شرب كمية من الماء أثناء التواجد فيه. أما المناطق الثانية فتشمل: التجديف والصيد وري ملاعب الجولف والمعسكرات. والمناطق الأخيرة تضم: نوافير الماء وتربية الأحياء المائية ومناطق الترفيه المحصورة. ويبين جدول 10-10 مقترح لنوع الماء المستخدم للترفيه في مناطق الترفيه التي بها تلامس أولي وتلك المناطق التي يتوقع أن يحدث بها تلامس ثانوي.

جدول 10-10 التشريعات للماء المستخدم للترفيه {4، 22، 23}

المنشط	تلامس أولي	تلامس ثانوي
النمو الحيوي	لا يوجد	لا يوجد
عدد بكتريا القولونيات البرازية	2.2/ 100 مللتر	2.2/ 100 مللتر
الأكسجين الكيميائي (ملجم/لتر)	30	60
المواد الطافية وطبقة الخبث	لا يوجد	لا يوجد
الرائحة	لا يوجد	لا يوجد
الزيوت والشحوم	لا يوجد	لا يوجد
الأكسجين الذائب (ملجم/لتر)	10	هوائي
الرقم الهيدروجيني	6.5 إلى 8.3	6.5 إلى 8.3
المواد الصلبة المترسبة	لا توجد	لا توجد
المواد الصلبة العالقة	5	-
درجة الحرارة (°م)	15 إلى 35	
العكارة	1	5

10-3-4 التشريعات والأحكام والمعايير والقوانين المتعلقة بإعادة استخدام الماء للصيد

يبين جدول 10-11 المعايير المقترحة للأنهار المستخدمة لصيد الأسماك.

جدول 10-11 المعايير المقترحة للأنهار المستخدمة لصيد الأسماك {4، 23، 25}

المنشط	المعيار المقترح
ثانى أكسيد الكربون	أقل من 12 ملجم/لتر
الرقم الهيدروجيني	6.5 إلى 8.5
الأمونيا	أقل من 1 ملجم/لتر
العناصر الثقيلة	
النحاس	أقل من 0.02 ملجم/لتر
الزرنيخ	أقل من 1 ملجم/لتر
الرصاص	أقل من 0.1 ملجم/لتر
السيلينيوم	أقل من 0.1 ملجم/لتر
السيانيد	أقل من 0.012 ملجم/لتر
الفينول	أقل من 0.02 ملجم/لتر
المواد الصلبة الذائبة	أقل من 1000 ملجم/لتر
المطهرات	أقل من 0.2 ملجم/لتر
الأكسجين الذائب	أكبر من 2 ملجم/لتر
المبيدات الحشرية:	
د.د.ت	أقل من 0.002 ملجم/لتر

أندرين	أقل من 0.004 ملجم/لتر
مالاثيون	أقل من 0.160 ملجم/لتر

المصدر: المرجع 25، منشور بإذن

4-10 التشريعات والأحكام والمعايير والقوانين المتعلقة بالبيئة البحرية

يعتمد وضع التشريع والمعايير القانونية للتخلص من الملوثات وتحجيمها بغية المحافظة على البيئة البحرية على النواحي الاقتصادية المتاحة، وما يلزم من استخدام لتكنولوجيا تتبسط أو تتعقد طبقاً لمستوى المحافظة المناط به مجاراة التشريع للحيد من التأثير السلبي على المجتمع والبيئة محلياً وإقليمياً ودولياً.

وللحيلولة دونما تلوث البحار أو تقليل الآثار والمخاطر التي تنبثق من جراء صب الملوثات بها لا بد من {3، 9، 35}:

- تحديد عمق الموضوع عن طريق المؤتمرات والندوات العلمية المختصة على المستويات المحلية والأقليمية
- والدولية
- عقد ورش العمل والدورات العلمية لتدريب العمال المهرة وزيادة كفاءة الكوادر الفنية
- قيام المنظمات والجمعيات (الرسمية و الشعبية) العاملة لحماية البيئة وإيجادها
- وضع الخطط المبرمجة والمنهجية لصد التلوث
- وضع التشريعات اللازمة للحد من مدى تفاقم التلوث أو حدوثه أو إستشرائه والإصرار على تنفيذ هذه التشريعات

أما فيما يتعلق بوضع التشريعات فلابد من وضع مؤشرات لنوع التشريعات المتطلبة وأقسامها ، والتي يمكن تقسيمها إلى ثلاثة أقسام رئيسية {3، 9-19} تضم القانون الدولي لحماية البحار، والتشريعات والأحكام على المستوى الدولي، والتشريعات والأحكام والمعايير على المستوى الإقليمي.

أما في القانون الدولي لحماية البحار فتوجد عدة مؤشرات تلعب دوراً كبيراً في تحديدها وتحييدها ومنها:

- حرية استخدام البحار.
- الحقوق المكتسبة للمياه الإقليمية وانتهاكها.
- المعايير العامة للقانون الدولي للأنهار (في حالة وجوده أو التوقيع على المعاهدات والبروتوكولات الدولية)
- المقومات العامة للمسئولية، ومنها:
  - الجهل أو الأخطاء لمحدث التلوث.
  - المعرفة بالمخاطر والمشاكل الناجمة من التلوث.
  - الخبرة والكفاءة والمعرفة العلمية.
  - طبيعة المصاب من التلوث.
  - البرهان التطبيقى والمنطقى والمؤسس المطلوب والمنشود عند حدوث التلوث.
  - المصالح الفردية والعالمية وتداخلها طبقا للمعايير الاجتماعية وغيرها.

- حق الدفاع عن النفس وحق البقاء والوجود والحوجة.

ويمكن تقسيم التشريعات والأحكام على المستوى الدولي إلى عدة أقسام طبقاً لنوع التلوث السائد والمعرفة بالملوثات. كما وأن هذه التشريعات تتغير بناءاً على درجة التلوث ومخاطره ومفرزات التكنولوجيا من ملوثات جديدة. ومن أهم التشريعات المطلوبة في هذا المنحى: التلوث من السفن، والتلوث من جراء دفن الأوساخ والفضلات وطمرها، والتلوث من جراء العمليات البحرية والغلاف القاري، والتلوث من العمليات العسكرية البحرية، والتلوث بطرق غير مباشرة أخرى.

أما التلوث من السفن فيضم: التلوث الزيتي، والتلوث الكيميائي بالأوساخ و الفضلات وغيرها من مواد سامة وضارة، والتلوث النووي من السفن ذات المفاعلات النووية ، أو تلك التي تحمل مواد مشعة.

أما التلوث من جراء دفن الأوساخ والفضلات وردمها فيتضمن الأوساخ الإشعاعية، والمخلفات بصورة عامة.

والتلوث من العمليات العسكرية البحرية يتضمن: العمليات النووية والعمليات الحيوية ومعدات الدمار والردع السامة.

أما التشريعات والأحكام والمعايير على المستوى الإقليمي فينبغى أن تحوي:

- التضامن والتعامل المشترك عند حوادث التلوث الزيتي.
- التلوث من جراء المواد المشعة.
- دفن الملوثات في البحار وردمها.
- التلوث من جراء مصادر ذات أصول صادرة من اليابسة.
- لتلوث بفعل العمليات والإستكشافات الواقعة على الغلاف القاري وعبر البحار.
- التكاتف المطرد للتحكم في نقاء البيئة البحرية.
- تحكم غير مباشر يدرج فيه التحكم في تلوث مياه اليابسة والهواء والإنتاج المحلي للملوثات.

وتعتمد التشريعات على المستوى المحلي على التقدم العلمي، والنمو الحضاري للمنطقة وما بها من عوامل تكنولوجية، وما تحتويه من أدوات وسبل قياسية وأجهزة مخبرية وكفاءات بشرية ومهارات فنية، والنواحي الاقتصادية والاجتماعية السائدة. ويمكن أن تضم ما يلي من التشريعات:

1. تشريعات عامة لحماية البيئة المحلية.
2. تشريعات رصد التلوث الزيتي أو غير الزيتي من السفن و ماخرات البحار.
3. تشريعات دفن الملوثات المشعة أو المواد السامة الأخرى في البحار.
4. تشريعات للتلوث الناجم من الغلاف القاري وقعر البحار من جراء المناجم والإستكشافات والعمليات المطردة بالمنطقة.
5. تشريعات للتلوث من مواد أخرى من اليابسة.

6. تشريعات لأي تلوث ثانوي للبحار عبر الأنهار والمسطحات المائية داخل اليابسة أو تلوث الغلاف الجوي، أو من جراء الصناعة وأسس الإنتاج أو التخلص من الفضلات والمخلفات البشرية والحيوانية والزراعية والتجارية وما ماثلها.
7. تشريعات للحد من التجارب النووية في البحار.

10-5 اللائحة الخاصة بإدارة المخلفات الخطرة في سلطنة عمان

وتختص هذه اللائحة الصادرة من وزارة البلديات الإقليمية والبيئة {20} بأي مخلفات تنتج عن الأنشطة التجارية أو الصناعية أو الزراعية أو أية أنشطة أخرى وتكون بحكم طبيعتها وتكوينها وكمياتها، أو نتيجة لأى سبب آخر، خطرة أو تشكل خطورة محتملة على صحة الإنسان أو النبات أو الحيوان أو الهواء أو التربة أو المياه، وتشمل المواد المتفجرة أو المشعة أو القابلة للإشتعال أو المسببة للأمراض والتي يصدر بها قرار من وزير البلديات الأقليمية والبيئة. ومن أهم سمات هذه اللائحة ما يلي:

- تحديد الشخص المرخص له بوساطة الوزارة لنقل المخلفات الخطرة، والمتسبب في إفرازها.
- تحديد موقع المعالجة التحضيرية وموقع طمر المخلفات الخطرة وأسلوب التخلص النهائي منها.
- عدم جواز خلط المخلفات الخطرة مع أية فئة أخرى من المخلفات أو التخلص منها في المجاري العامة أو غيرها من شبكات المجاري الداخلية أو الخارجية أو نظم التصريف دون ترخيص من الوزارة.
- جواز إعادة استخدام المخلفات الخطرة أو مكوناتها عند نقطة الإفراز أو في أي مكان آخر بمراعاة أحكام هذه اللائحة، وفى حالات حصر إعادة الاستخدام في نقطة الإفراز دون غيرها لا يلتزم المتسبب في إفراز المخلفات الخطرة بإعداد بيان بالتفاصيل.
- إلزام المتسبب في إفراز المخلفات الخطرة بتخزين المخلفات في مخازن معتمدة داخل مرافقه حتى يتم نقلها وفقاً لشروط الترخيص الصادر من الوزارة.
- جواز فحص أية عملية تتضمن إفراز المخلفات الخطرة أو أي نشاط يتعلق بذلك، أو إجراء أية إختبارات أو تحريات تكون ضرورية ومناسبة لتطبيق أحكام هذه اللائحة من قبل الموظفين الذين يصدر بتحديدهم قرار من الوزير دون إخطار مسبق.
- حظر إستيراد المخلفات الخطرة ودخولها إلى السلطنة أو تصديرها إلى الخارج إلا بإذن من الوزير ويصدر هذا الإذن بعد الإتصال بالجهات الحكومية المعنية والحصول على موافقتها وفقاً لأحكام قانون حماية البيئة ومكافحة التلوث.
- إلزام وزارة البلديات الأقليمية والبيئة الحصول على موافقة وزارة الصحة قبل إصدار أي ترخيص فيما يتعلق بجميع المشاريع التي تتضمن جمع المخلفات الخطرة من حيث نقلها وتخزينها ومعالجتها التحضيرية والتخلص منها.

10-6 التشريعات والأحكام والمعايير والقوانين المتعلقة بالمعايير الهوائية ومكافحة تلوث الهواء

عادة يتم وضع التشريعات الهوائية لحالات الهواء السائد (المحيط بالمنطقةAmbient air conditions) {3، 25، 26}. وتهدف التشريعات الهوائية إلى حماية الإنسان والحيوان والنبات والممتلكات. ويمكن تقسيم التشريعات إلى عدة محاور منها التشريعات الأولية (الرئيسة) والتشريعات الثانوية.

تختص التشريعات الأولية أو الرئيسة بمعدلات الهواء المهمة ونوعه مع أخذ هامش للسلامة لحماية الصحة العامة، غير أن هذه التشريعات لاتمنع حدوث الآثار الضارة من تلوث الهواء {27}.

أما التشريعات الثانوية فهي تعمل على حماية الأفراد، حتى ذوي الحساسية منهم، بما فيهم كبار السن والأشخاص الذين لهم مشاكل وأمراض في الجهاز التنفسي {28}، كما وتقوم هذه التشريعات بالحماية من آثار النظم الأخرى {29}. وتوضع التشريعات للعديد من العينات لمدة متوسطة من الزمن، لإعتماد الآثار الناجمة على درجة تركيز الملوث وزمن التعرض.

كما ويمكن تقسيم التشريعات إلى:

- تشريعات ذات مدى محتمل Tolerable range تختص بدرجات التركيز التي تملي الوقف الفوري للتلوث.
- تشريعات ذات مدى مقبول (أو مسموح بهAcceptable range) ليعطي هذا المدى حماية مناسبة ضد الآثار الضارة.
- تشريعات ذات مدى مرغوب Desirable range ليعطي هذا المدى أهداف عامة مستقبلة لنوع الهواء، كما ويأتي بأساسيات سياسة عدم التلوث للمناطق غير المتعرضة للتلوث بالمنطقة.

كما ويمكن تقسيم التشريعات بصورة عامة إلى {3، 28}:

1. تشريعات نوع الهواء السائد Ambient air quality standards وهذه تخص التراكيز المقبولة للملوثات الهوائية.
2. تشريعات الإنبعاث :Emission standards وهذه تخص المعدلات المسموح بها والتي يتم على ضوئها إطلاق الملوثات من مصادر إنتاجها. وعادة توضع هذه التشريعات للمصادر الجديدة، أو عند إجراء تعديلات على المصادر الثابتة، مثل محطات إطلاق طاقة الوقود الطمري، والمرامد، ومحطات الأسمنت البورتلاندي، ومحطات حمض النتريك، ومصافي النفط، ومحطات معالجة الفضلات السائلة، والمصهورات المختلفة.

أما التشريعات الوطنية أو المحلية فيتم صياغتها للمواد السائدة لملوثات الأداء Criteria pollutants ، مثل أول أكسيد الكربون، والرصاص، وأكسيد النتروجين، والأوزون، وثاني أكسيد الكبريت، والجسيمات التي يقل قطرها عن أو يساوي 10 ميكرومتر. ومن الواجب مراجعة ملوثات الأداء باستمرار، وإتمام تعديلها على حسب المعلومات والبيانات العلمية والبحثية المتاحة.

10-6-1 دليل تشريعات الملوث Pollutant standards index PSI

من المفترض أن يطور دليل تشريعات الملوث ليكامل عدة عوامل معقدة تشكل في مجملها خواص الهواء ونوعه {30}. وعادة يستخدم الدليل لإيضاح التقويم اليومي العام عن نوع الهواء للجمهور. ويضم الدليل القياسات السائدة لأهم ملوثات الأداء في صورة أرقام محددة. فمثلاً نجد أن الدليل الذي وضعته جمعية حماية البيئة الأمريكية يربط خمس من الملوثات تضم: أول أكسيد الكربون، وثاني أكسيد الكبريت، والجسيمات الكلية العالقة، والمواد المؤكسدة الكيميائي-ضوئياً أو الأوزون، وثاني أكسيد النتروجين كما موضح في جدول 10-12. ويقال أن نوع الهواء جيد عندما يكون المقياس السائد لكل ملوثات الأداء لها دليل تشريعات ملوث يساوي 50 أو أقل. كما ويبين جدول 10-12 ملخص مختصر للأثر الصحي المتعلق بعدة مستويات لدليل تشريعات الملوث.

جدول 10-12 دليل تشريعات الملوثات ومواصفات نوع الهواء والآثار الصحية المترتبة علية {3، 28، 30}

دليل تشريعات الملوثات	الوصف	الأثر الصحي	التحذير
من صفر إلى 50	جيد	-	-
من 51 إلى 100	متوسط	-	-
من 101 إلى 199	غير صحي	زيادة معتدلة في الأعراض عند الأشخاص القابلين للتأثر، كما وتظهر أعراض تهيجات عند الأشخاص الأصحاء	لا بد أن يقلل مرضى القلب ومرضى الجهاز التنفسي من بذل أي مجهود عضلي أو ممارسة النشاط خارج المنزل
من 200 إلى 299	غير صحي بدرجة أكبر	زيادة كبيرة في الأعراض ونقصان التمارين المحتملة عند مرضى القلب ومرضى الرئة، كما وتنتشر الأعراض عند الأصحاء	يقبع كبار السن ومرضى القلب والرئة داخل المنازل، ويقلل النشاط العضلي
من 300 إلى399	خطر	حدوث بعض الأمراض بالإضافة إلى زيادة كبرى في الأعراض ونقصان التمارين المحتملة عند الأصحاء	يقبع كبار السن والمرضى داخل المنازل ويمتنعوا عن بذل التمارين العضلية ويمتنع جمهور الناس عن النشاط خارج المنزل
من 400 أو أكثر	خطر	ربما حدث موت للمرضى وكبار السن، أعراض ضارة للأشخاص الأصحاء تؤثر على نشاطهم العادي	يقبع كل الناس داخل المنازل، وتغلق النوافذ والأبواب، ويقلل كل الأشخاص التمارين العضلية ويتجنبوا حركة المرور

10-6-2 لائحة التحكم في ملوثات الهواء في سلطنة عمان

أبانت لائحة التحكم في ملوثات الهواء {31} أنها صيغت للتحكم في التلوث الناتج من مصادر ثابتة للمحافظة على صحة وسلامة ورفاهية الإنسان والمساهمة في التخطيط السليم للبلاد بإتباع أفضل الوسائل العلمية والتي تأخذ في الإعتبار الإمكانات التكنولوجية والإعتبارات المالية والظروف المحلية. وعرفت اللائحة تلوث الهواء على أنه وجود أي مادة أو مواد في الهواء بكميات محسوسة أو لأمد تؤدي إلى تغير في الخواص الطبيعية أو البيولوجية وتعود بالضرر على الإنسان والحيوان والنبات والمباني وتؤدي إلى عدم التمتع بطيب الحياة أو الممتلكات. ومن أهم سمات هذه اللائحة:

- منع إنبعاث المواد الضارة والكريهة من مكان إنتاجها إلا بعد المعالجة المقبولة.
- منع الإنبعاث المقصود للدخان القاتم من أي موقع.
- تحديد تركيز الإنبعاث من الأفران المنزلية المصرح بها وكيفية قياسها.
- ارتفاع المداخن الصناعية.
- وضع ضوابط التفتيش والمراقبة.
- تحديد الأعمال التي تتعرض فيها اللائحة لمعايير مثل: أعمال التحجير، وأعمال الأسبستوس، وأعمال الأسفلت، وأعمال النحاس، ومحارق النفاية والفضلات، وصناعات الأسمنت، والصناعات الخزفية، وصناعات الرصاص، وأعمال الجير، والصناعات البترولية، ومحطات القوى الكهربائية، وأعمال داي ايزوسيانيت. ويمثل جدول 10-13 المعايير العامة لإنبعاث الحبيبات والغبار للأعمال المبينة سابقا. وقد أوضحت اللائحة أن هذه المعايير تمثل معايير رقمية للإنبعاث في الهواء التي يمكن قياسها بالأجهزة، وأن هناك مصادر كثيرة للإنبعاثات الشاردة والتي لا يمكن قياسها ولكن يحكم عليها بوساطة النظر والتي تحدد بوساطة المراقبين المرخص لهم وتكون المتطلبات في حالة إنبعاث أتربة شاردة ألا تكون مرئية أو محسوسة.

10-7 اللائحة العمانية للتحكم في التلوث بالضوضاء في البيئة العامة

حددت اللائحة العمانية للتحكم في التلوث بالضوضاء في البيئة العامة {32} مصادر الضوضاء الخارجية في أربعة محاور تضم:

1. الوحدات الصناعية والأشغال العامة (تشمل المصانع والتجهيزات التجارية المشابهة، وأعمال التجميع والفك والإصلاح، وكذلك الأشغال العامة ومحطات الطاقة الكهربائية، ومنشآت الإستخلاص والضخ وتحلية المياه وتكرير النفط والغاز، ومعالجة مياه المجارى وغيرها).
2. طرق المواصلات (تشمل وسائل المواصلات التي تعمل بالمحركات في المدن على الطريق العامة والمحلية وغيرها).
3. المطارات (تشمل العمليات الأرضية في المطارات الخاصة بالطيران التجاري والعام مثل عمليات النقل، ويشمل ذلك السيارات التي تخدم الطائرات وتختبرها والمعدات والتجهيزات وغيرها وكذلك التجهيزات مثل الورش وماكينات الاختبار ومحطات الوقود وغيرها).
4. عمليات النقل الجوي التجاري والنقل الجوي العام (تشمل أي عمليات بدءاً من تحرير الفرامل مباشرة قبل الإقلاع حتى الإبتعاد عن المدرج بعد الهبوط).

جدول 10-13 المعايير العامة لإنبعاث الحبيبات والغبار للأعمال المجدولة {31}

المنشط	معايير الإنبعاث
1- عام:	
غبار أو حبيبات لا يصرف دخان غامق ناتج عن الحرق يساوي أو يزيد على الدرجة (1) من مقياس رينجلمان (20% عتامة)	0.05 جم/متراً مكعباً هواء
2- أعمال التحجير:	
الجزيئات	0.05 جم/$م^3$
3- أعمال الأسبستوس:	
أسبستوس كريستدولت	إذا لم يمنع الإنبعاث كلية فلا يجوز أن يزيد على 0.2 ألياف/ملليلتر هواء في خلال مدة لا تقل عن 10 دقائق.
أسبستوس كريسوتيل واموزيت	لا يزيد الإنبعاث على 0.5 الياف/ملليلتر هواء وتكون متوسط 10 دقائق. أخذ عينات على مدى أربع ساعات على ألا تزيد مدة أخذ أي عينة على 10 دقائق في أي وقت عن 12 ألياف/مليلتر. الجزيئات الكلية 0.05 جم/ $م^3$
4- أعمال الأسفلت:	
أبخرة البيتومين	0.03 جم/ $م^3$
الجزيئات	0.05 جم/ $م^3$
5- صناعات الأسمنت:	
كبريتيد الهيدروجين	منعـدم
6- صناعات الخزف:	
الجزيئات	0.05 جم/ $م^3$
7- صناعات النحاس:	
الجزيئات الكلية	0.2 جم/ $م^3$
مركبات النحاس منسوبة إلى نحاس	0.1 جم/ $م^3$
مركبات الزنك منسوبة إلى زنك	0.1 جم/ $م^3$
مركبات الكادميوم منسوبة إلى كادميوم	0.02 جم/ $م^3$
معدل الإنبعاث من المكان	لا يزيد عن 1 كجم/ساعة محسوبة كادميوم
الرصاص أو مركباته منسوبة إلى رصاص	0.03 جم/ $م^3$
معدل الإنبعاث من المكان	لا يزيد عن 3 كجم/ساعة محسوبة رصاص
8- أعمال المحارق:	
كلوريد الهيدروجين	0.2 جم/ $م^3$
فلوريد الهيدروجين	0.1 جم/ $م^3$
أكاسيد النتروجين محسوبة إلى ثاني أكسيد النتروجين	0.2 جم/ $م^3$
مركبات الفوسفور محسوبة إلى خامس أكسيد الفسفور	0.05 جم/ $م^3$
كبريتيد الهيدروجين	5 جزء في المليون بالحجم

جزيئات كلية	0.1 جم/ م^3

9- صناعات الرصاص:

الرصاص أو أحد مركباته منسوبة إلى الرصاص	0.03 جم/ م^3
معدل الإنبعاث من المكان	لا يزيد عن 3 كجم/ساعة محسوبة رصاص
جزيئات كلية	0.05 جم/ م^3

10- أعمال الجير:

جزيئات منبعثة من الأفران	0.1 جم/ م^3
جزيئات منبعثة من عمليات إطفاء الجير	0.1 جم/ م^3
جزيئات منبعثة من عمليات ملحقة	0.05 جم/ م^3

11- الصناعات البترولية:

جزيئات منبعثة من محفزات التكرير	0.1 جم/ م^3
أول أكسيد الكربون من محفزات التكرير	0.5 % بالحجم
وحدات إسترداد الكبريت الحد الأدنى	95 % كفاءة
كبريتيد الهيدروجين	5 جزء في المليون بالحجم

12- محطات القوى الكهربائية:

دقائق ناتجة من حرق الفحم أو وقود الزيت منسوبة إلى ظروف تشغيل 12% ثاني أكسيد كربون	0.1 جم/ م^3

13- أعمال داى أيزوسيانيت:

داي أيزوسيانيت المتطايرة أو جزء في المليون بالحجم داى أيزوسيانيت في صورة جزيئات	0.001 جم/ م^3

ويبين جدول 10-14 حدود الضوضاء الناجمة عن الوحدات الصناعية والأشغال العامة بالنسبة لمدة زمنية معينة لكل من (أ) و (ب) و (ج) على أساس مستوى ضغط الصوت المستمر المعادل لتعديل (أ) (تعديل (أ) هو مرشح صوت لقياس مستوى الأصوات العادية)

جدول 10-14 حدود الضوضاء الناجمة عن الوحدات الصناعية والأشغال العامة {32}

نوع المنطقة	الحدود المعادلة والمدة الزمنية ديسبل (أ) على إمتداد الفترة الزمنية		
	أ	ب	ج
المساكن الريفية وأماكن الترفيه	45	40	35
المناطق السكنية بالضواحي	50	45	40
المناطق السكنية الحضرية	55	50	45

المناطق السكنية الحضرية مع بعض ورش العمل ومراكز المدن	60	55	50
المناطق الصناعية والتجارية	70	70	70

أ) أيام العمل - نهار: بعد الساعة السابعة صباحاً حتى الساعة السادسة مساء بالتوقيت المحلي.

ب) أيام العمل - مساء: بعد الساعة السابعة مساء حتى الساعة الحادية عشر ليلاً بالتوقيت المحلي.

ج) أيام العطلات وأثناء الليل: بعد الساعة الحادية عشر ليلاً حتى الساعة السابعة صباحاً بالتوقيت المحلي.

ويبين جدول 10-15 حدود الضوضاء الناجمة عن طرق المواصلات بالنسبة لمدة زمنية معينة لكل من (أ) و (ب) و (ج) على أساس مستوى ضغط الصوت المستمر المعادل لتعديل (أ)

جدول 10-15 حدود الضوضاء الناجمة عن طرق المواصلات {32}

نوع المنطقة	الحدود المعادلة والمدة الزمنية ديسبل (أ) على إمتداد الفترة الزمنية		
	أ	ب	ج
المساكن الريفية وأماكن الترفيه	60	55	50
المناطق السكنية بالضواحي	65	60	55
المناطق السكنية الحضرية	65	60	55
المناطق السكنية الحضرية مع بعض ورش العمل ومراكز المدن	65	60	55
المناطق الصناعية والتجارية	70	65	60

ويبين جدول 10-16 حدود الضوضاء الناجمة عن المطارات بالنسبة لمدة زمنية معينة لكل من (أ) و (ب) و (ج) على أساس مستوى ضغط الصوت المستمر المعادل لتعديل (أ).

جدول 10-16 حدود الضوضاء الناجمة عن المطارات{32}

نوع المنطقة	الحدود المعادلة والمدة الزمنية ديسبل (أ) على إمتداد الفترة الزمنية		
	أ	ب	ج
المساكن الريفية وأماكن الترفيه	45	40	35
المناطق السكنية بالضواحي	50	45	40
المناطق السكنية الحضرية	55	50	45
المناطق السكنية الحضرية مع بعض ورش العمل ومراكز المدن	60	55	50
المناطق الصناعية والتجارية	70	70	60

ويبين جدول 10-17 حدود الضوضاء الناجمة عن عمليات النقل الجوى التجارى والنقل الجوى العام على أساس مستويات النهار والمساء والليل وحدود النهار والمساء وحدود النهار والمساء والليل والمتوسط على إمتداد عام.

جدول 10-17 حدود الضوضاء الناجمة عن عمليات النقل الجوى التجارى والنقل الجوى العام

نوع المنطقة	حدود النهار والمساء والليل والمدة الزمنية، ديسبل (أ) على إمتداد الفترة الزمنية
المساكن الريفية وأماكن الترفيه	50
المناطق السكنية بالضواحي	55
المناطق السكنية الحضرية	55
المناطق السكنية الحضرية مع بعض ورش العمل ومراكز المدن	55
المناطق الصناعية والتجارية	60

كما وتوجد لائحة للتحكم في التلوث بالضوضاء في بيئة العمل {33} تحكم الأصوات الناجمة عن مصادر داخلية في منطقة العمل وتؤثر عكسياً على نوعية الحياة العملية للعمال القائمين بالعمل، وحددت اللائحة مستوىالضوضاء الذي يتعرض له العامل في ورش العمل تحت كل ظروف التشغيل.

ومما يجدر ذكره في هذا المقام أن ديننا الحنيف يمنع الظلم بجميع صوره. أفلا يندرج إنتاج الملوثات ونفثها في بيئة الناس عن قصد تحت طائلة ظلم الإنسان لأخيه الإنسان؟

وقال المولى عز وجل في محكم التنزيل "**إن الذين كفروا وظلموا لم يكن الله ليغفر لهم ولا ليهديهم طريقاً** (168) النساء .وقال المولى جل شأنه" **ولا تحسبن الله غافلاً عما يعملُ الظالمون إنما يؤخرهم ليوم تشخص فيه الأبصارُ** (42) **مهطعين مقنعي رؤسهم لا يرتد إليهم طرفهم وأفئدتهم هوآء** (43) **وأنذر الناس يوم يأتيهم العذاب فيقولُ الذين ظلموا ربناَ أخرنا إلى أجلٍ قريبٍ نُجب دعوتك ونتبع الرسلَ أو لم تكونوا أقسمتم من قبلُ ما لكم من زوالٍ** (44) **وسكنتم في مساكن الذين ظلموا أنفسهم وتبين لكم كيفَ فعلنا بهم وضربنا لكم الأمثالَ** (45) **وقد مكروا مكرهم وعند الله مكرهم وإن كان مكرهم لِتزولَ منه الجبالُ** (46) **فلا تحسبن الله مخلفَ وعده رسله إن الله عزيز ذو انتقام**" ابراهيم. وقال سبحانه وتعالى "**وعنت الوجوه للحي القيوم وقد خاب من حملَ ظلماً**" (111) طه.

وقد َأورد البخاري {36} في صحيحه في البابِ 427 الحديث 659 كتاب المظالم والغصب "**حدثنا إسحاقُ بن ِإبراهيم قال أخبرنا معاذُ بن هشامٍ قال حدثني أبي عن قَتَادةَ عن أبي المتَوكل الناجِي عن أبي سعيد الخُدري رضي ا عنه عن رسول ا ـ صلى ا عليه وسلم قال إذا خاص المؤمنون من النار حبسوا بقنطرة بين الجنة والنار فيتقاصون مظالم كانتْ بينهم في الدنْيا حتى إذا نُقوا وهذبوا أذن لهم بدخول الجنة فوالذي نفس محمد صلى ا عليه وسلم بيده لأحدهم بمسكنه في الجنة أدل بمنزله كان في الدنْيا**." وقال يونس بن محمدٍ حدثنا شيبان عن قتادةَ قال حدثنا أبو المتوكل.

وجاء في صحيح البخاري {36} باب 439 الحديث 671 كتاب المظالم والغصب "**حدثنا أبو اليمان قال أخبرنا شعيب عن الزهري قال حدثني طلحةُ بن عبدا ـ أن عبدالرحمن بن عمرو بن سهل قال أخبره أن سعيد بن زيد رضى ا ُ عنه قال سمعتُ رسولَ ا ـ صلى ا ُ عليه وسلم يقولُ من ظلم من الأرض شيئاً** طُوقَه من سبع أرضين."

وجاء في صحيح البخاري {36} باب 551 الحديث 899 كتاب الأدب "**حدثنَا عاصم بن علّيٍ حدثنَا إبن أبي ذئبٍ عن سعيد عن أبي شريح أن النبي صلى ا ُ عليه وسلم قال وا ـ لا يؤمن وا ـ لا يؤمن وا ـ لا يؤمن قيلَ ومن يا رسولَ ا ـ قالَ الذي لا يأتمن جاره بوائقه. تابعه شبابةُ وأسد بن موسى. وقالَ حميد بن الأسود وعثمان بن عمر وأبو بكر** بن عياشٍ وشعيب بن إسحاقَ عن إبنِ أبي ذئبٍ عن المقبري عن أبي هريرةَ."

وجاء في صحيح البخاري {36} باب 428 الحديث 660 كتاب المظالم والغصب "**حدثنا موسى بن إسماعيلَ قال حدثنا همام قالَ أخبرني قتادةُ عن صفوان بن محرز المازني قالَ بينما أنَا أمشِ مع ابنِ عمر رضى ا ُ عنهما آخذٌ بيده إذْ عرض رجلٌ فقالَ كيفَ سمعتَ رسولَ ا ـ صلى ا ُ عليه وسلم في النجوى فقالَ سمعت رسولَ ا ـ صلى ا ُ عليه وسلم يقولُ إن ا َ يدني المؤمن فيضع عليه كنَفَه ويستره فيقولُ أتعرفُ ذنب كذَا أتعرفُ ذنب كذَا فيقولُ نعم أي رب حتى إذَا قرره بذنوبه ورأى في نفسه أنه هلك قالَ سترتُها عليك في الدنيا وأنَا أغفرها لك اليوم فيعطى كتاب حسناته وأما الكافر والمنافقون (فيقولُ الأشهاد هؤلاء الذين كذبوا على ربهم ألا لعنةُ ا ـ على الظالمين)**."

وجاء في صحيح البخاري {36} باب 4 الحديث 9 كتاب الإيمان "**حدثنا آدم بن أبي إياس قالَ حدثنا شعبةُ عن عبدا ـ بن أبي السفر وإسماعيلَ عن الشعبي عن عبدا ـ بن عمرو رضى ا ُ عنهما عن النبي صلى ا ُ عليه وسلم قالَ المسلم من سلم المسلمون من لسانه ويده والمهاجر من هجر ما** نهى ا ُ عنه. قالَ أبو عبدا ـ وقالَ أبو معاويةُ حدثنا داود عن عامرٍ قالَ سمعتُ عبدا ـ عن النبي صلى ا ُ عليه وسلم وقالَ عبد **الأعلى عن داود عن عامر عن عبدا ـ عن النبي صلى ا ُ عليه وسلم**."

وجاء في صحيح البخاري{36} باب 7 الحديث 12 كتاب الإيمان "**حدثنا مسدد قالَ حدَثنا يحيى عن شعبةَ عن قتادةَ عن أنسٍ رضى الله عنه عن النبي صلى ا ُ عليه وسلم وعن حسينٍ المعلمِ قالَ حدثنا قتادةُ عن أنسٍ عن النبي صلى ا ُ عليه وسلم قالَ لا يؤمن أحدكم حتى يحب لأخيه ما يحب لنفسه**."

وجاء في صحيح البخاري {36} باب 429 الحديث 661 كتاب المظالم والغصب "**حدثنا يحيى بن بكير قالَ حدثنا الليثُ عن عقيلٍ عن ابنِ شهابٍ أن سالماً أخبره أن عبدا ـ بن عمر رضى ا ُ عنهما أخبره أن رسولَ ا ـ صلى ا ُ عليه وسلم قالَ المسلم أخُو المسلم لا يظلمه ولا يسلمه ومن كان في حاجة أخيه كان ا ُ في حاجته ومن فرج** عن مسلمٍ كربةً فرج ا ُ عنه كربةً من كربات يومِ القيامة ومن ستر مسلماً ستره ا ُ يوم القيامة."

قال الحق سبحانه وتعالى "**ومن أظلم ممن ذكر بآيات ربه فأعرض عنها ونسى ما قدمت يداه إنا جعلنا على قلوبهم أكنةً أن يفقهوه وفى آذانهم وقراً وإن تدعهم إلى الهدى فلن يهتدوا إذاً أبداً**" (57) الكهف.

وقال سبحانه وتعالى " **فمن تاب من بعد ظلمه وأصلح فإن الله يتوب عليه إن الله غفور رحيم**" (39) المائدة.
وقال الحق تبارك وتعالى "**من جآء بالحسنة فله عشر أمثالها ومن جآء بالسيئة فلا يجزى إلا مثلها وهم لا يظلمون**" (160) الأنعام.

"اللهم أنتَ ربي لا إله إلا أنتَ خلقتني وأنا عبدك وأنا على عهدك ووعدك ما استطعتُ أعوذُ بك من شر ما صنعتُ أبوء لك بنعمتك علي وأبوء بذنبي فاغفر لِي فإنه لا يغفر الذنوب إلا أنتَ."

"اللهم إنى أعوذُ بك من الكسل والهرمِ والمأثم والمغرمِ ومن فتنة القبرِ وعذابِ القبرِ ومن فتنة النارِ وعذابِ النارِ ومن شر فتنة الغنَى وأعوذُ بك من فتنة الفقرِ وأعوذُ بك من فتنة المسيح الدجال اللهم اغسلْ عني خطاياي بماءِ الثلج والبرد ونق قلبي من الخطايا كما نقيت الثوب الأبيض من الدنس وباعد بيني وبين خطاياي كما باعدتَ بين المشرق والمغربِ."

10-7 تمارين عامة

1. أذكر أهم العوامل المؤثرة في تطبيق التشريعات المتعلقة بمكافحة التلوث.
2. ما أهمية وضع التشريعات والمعايير والقوانين المائية؟
3. ما أهم العوامل الواجب وضعها في الحسبان عند سن التشريعات المائية؟
4. ما أهم السمات الرئيسة للخطوط التوجيهية المعدة بوساطة منظمة الصحة العالمية؟
5. كيف يمكن الإستفادة من الخطوط التوجيهية لمنظمة الصحة العالمية لوضع التشريعات المائية لمنطقة معينة؟
6. عرف الآتي: خط توجيهي، الإشريكية القولونية، القولونيات البرازية، القولونيات الكلية، الكلور المتبقي، وزهم.
7. ما المشاكل التي يمكن أن تتأتى من وجود كل مما يلي بدرجات تركيز كبيرة في مياه الشرب؟
   أ) النحاس.
   ب) الزئبق.
   ج) النترات.
   د) المنجنيز.
8. كيف تختلف المواصفات القياسية العمانية لمياه الشرب عن الخطوط التوجيهية لمنظمة الصحة العالمية؟ وكيف يمكن تطويرها؟
9. ما فوائد وضع تشريعات تتعلق بالتخاص من الفضلات والمخلفات السائلة؟
10. أذكر أهم العوامل المؤثرة عند سن التشريعات المتعلقة بالتخاص من السائل النهائي المعالج.
11. حدد أهم السمات الرئيسة لمواصفات منظمة الصحة العالمية المتعلقة بإعادة استخدام الماء للري.
12. تحدث بإختصار عن كل مما يأتي:
- مقارنة اللائحة الخاصة بإعادة استخدام مياه الصرف وتصريفها في سلطنة عمان، مع مواصفات منظمة الصحة العالمية لإعادة استخدام الماء للري.
- أهمية وضع تشريعات لإعادة استخدام الماء لتغذية المخزون الجوفي.
- تشريعات إعادة استخدام الماء في أحواض سباحة الأطفال.
- التشريعات والأحكام المتعلقة بتلوث البحار بناقلات النفط.
13. أذكر الطرق التي يمكن أن تنتشر بها الأمراض من حوض السباحة. وأعط أمثلة لهذه الأمراض.
14. ما فائدة وضع تشريع للمبيدات الحشرية في المعايير المقترحة للأنهار المستخدمة لصيد الأسماك؟
15. ما أهم ملوثات البحار؟ وكيف يمكن منعها أو تقليلها؟
16. ما أهم مميزات وأوجه قصور اللائحة الخاصة بإدارة المخلفات الخطرة في سلطنة عمان؟
17. عرف كلاً مما يأتى: الهواء السائد، تشريعات المدى المرغوب الهوائية، تشريعات الإنبعاث، ودليل تشريعات الملوث.
18. ما أهم سمات لائحة التحكم في معوقات الهواء العمانية؟
19. ما أهمية وضع تشريع للملوثات الصادرة من أعمال الأسبستوس، وصناعة الأسمنت؟
20. ما مصادر الضوضاء التي عالجتها اللائحة العمانية للتحكم في التلوث بالضوضاء في البيئة العامة؟
21. كيف يمكنك الإستفادة من الكتاب والسنة لتوعية المجتمع وتثقيفه لتقليل التلوث الهوائي بمنطقتك؟

10-8 المراجع والمصادر

1. WHO, Guidelines for Drinking Water Quality, Volume 1: Recommendations, WHO, Geneva, 1993.
2. Gorchev,H.G. and Ozolins,G., WHO Guidelines for Drinking Water Quality, A paper presented at the International Water Supply Association Congress, 6-10 Sept. 1982, Zurich, Switzerland.
3. عصام محمد عبد الماجد "الهندسة البيئية"، دار المستقبل للطباعة والنشر، عمان، الأردن، 1995.
4. Rowe, D. R. and Abdel-Magid, I. M., Wastewater Reclamation and Reuse, CRC Press\Lewis Publishers, Boca Raton, 1996 (under publication).
5. المديرية العامة للمواصفات والمقاييس، وزارة التجارة والصناعة " المواصفات القياسية العمانية لمياه الشرب"، رقم 8، 1978، مسقط، سلطنة عمان.
6. WHO Scientific Group, Health Guidelines for the Use of Wastewater in Agriculture and Aquaculture, WHO, Technical Report Series 778, WHO, Geneva, 1989.
7. تقرير مجموعة علمية بمنظمة الصحة العالمية، "الدلائل الصحية لاستعمال المخلفات السائلة في الزراعة وتربية الأحياء المائية" سلسلة التقارير التقنية رقم 778، منظمة الصحة العالمية، جنيف، 1990. الطبعة العربية صدرت عن المكتب الإقليمي لشرق البحر المتوسط، الإسكندرية، مصر، 1990.
8. Ministry of Regional Municipalities and Environment, Ministerial Decision 145/93 dated 13th June 1993, Regulations for Wastewater Reuse and Discharge, Muscat, Sultanate of Oman.
9. عصام محمد عبد الماجد وحامد ابراهيم حامد ومحمد فكرى شلبى "تلوث البيئة البحرية أسبابها ومخاطرها وتشريعات الحماية منها"، ورقة علمية عرضت في مؤتمر حماية البئية البحرية الذي أقامته كلية الشريعة والقانون بجامعة الأمارات العربية المتحدة، العين، في الفترة 26 إلى 27 أبريل 1989.
10. Goldberg, E. D., The Health of the Oceans, The UNESCO Press, Paris, 1976.
11. Nisebt, I. C. T., and Sarofim, A. F., Rate and Routes of Transport of PCB's in the Environment, Environmental Health Perspectives, Vol., 1, 1972, 21-38.
12. Peirson, D. H.; Gawse, P. A.; Salmon, L.; and Cambray, R. S., Trace Elements in the Atmosphere Environment, Nature, Vol. 241, 1973, 252-256.
13. Albone, E. S., Eglinton, G., Evans, N. C., Hunter, J. M., and Rhead, M. M., Fate of DDT in Severn Sediments, J. Environ. Sci. Technolo., Vol. 6, 1972, 914-919.
14. Llod-Jones, C. P., The Evaporation of DDT, Nature, Vol. 229, 1971, 65-66.
15. Blamer, M. and Sass, J., Oil Pollution: Persistence and Degradation of Spilled Fuel Oil, Science, Vol. 167, 1972, 1120-1122.
16. Finch, J., The Planning and Organization of Industrial Wastes Control Programs Industrial Wastes Guide No. 1, WHO, wd70.6.
17. Johnson, R. Edi., Marine Pollution, Academic Press, London, 1976.
18. Shumway, D. L., and Palensky, J. R., Impairment of the Flavour of Fish by Water Pollutants, E. P. A. R3-73-010, Feb., 1973.
19. Bridgewater, A. V., and Mumford, C. J., Waste Recycling and Pollution Control Handbook, George Godwin Ltd., London, 1979.

20. Ministry of Regional Municipalities and Environment, Ministerial Decision 18/93 dated 2nd February 1993, Regulations for the Management of Hazardous Waste, Muscat, Sultanate of Oman.
21. USEPA, Evaluation of Land Application Systems, Office of Water Program Operations, EPA-430/9-75-001, U.S. environmental Protection Agency, Washington, D.C. 20460, 25, 1975.
22. WPCF, Water Reuse, Manual of Practice SM-3, 2nd Edi., Water Pollution Control Federation, Alexandria, VA, 78, 201, 1989.
23. Lieuwen, A. Effluent Use in the Phoenix and Tucson Metropolitan Area, Water resources Research Centre, University of Arizona, Phoenix, 20, 1990.
24. Ayers, R.S. and Westcot, D.W., Water Quality for Agriculture, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 7, 11, 54, 69, 1976.
25. بشير محمد الحسن وعصام محمد عبد الماجد "الصناعة والبيئة: معالجة المخلفات الصناعية"، معهد لدراسات البيئية، جامعة الخرطوم، الخرطوم، السودان، 1986.
26. Vesilind, P. A., Peirce, J. J., Weiner, R. F. Environmental engineering, 2nd Ed., Butterworth-Heinemann, Boston, 1990.
27. Stern, A. C., Boubel, R. W., Turner, D. B., and Fox, D. L., Fundamentals of Air Pollution, 2nd Edi., Academic Press INC., Orlando, Florida, 1984.
28) Davis, M. L., and Cornwell, D. A., Introduction to Environmental Engineering, McGraw Hill Inc., New York, 2nd Edi., Chemical Engineering Series, 1991.
29. Henry, J. G. and Heinke, G. W., Environmental Science and Engineering, Prentice Hall, Englewood Cliffs, 1989.
30. Peavy, H. S.; Rowe, D. R.; and Tchobanoglous, G. Environmental Engineering, McGraw-Hill Book Co., New York, 1985.
31. Ministry of Regional Municipalities and Environment, Ministerial Decision 5/86 dated 17th May 1986, Regulations for Air Pollution Control from Stationary Resources, Muscat, Sultanate of Oman.
32. وزارة البلديات الأقليمية والبيئة "لائحة التحكم في التلوث بالضوضاء في البيئة العامة"، قرار وزاري رقم 94/79، مسقط، سلطنة عمان.
33. وزارة البلديات الأقليمية والبيئة "لائحة التحكم في التلوث بالضوضاء في بيئة العمل"، قرار وزاري رقم 94/80، مسقط، سلطنة عمان.
34. عبد الفتاح الحسينى الشيخ "الهدى الصحى" سلسلة للتثقيف الصحى من خلال تعاليم الدين، منظمة الصحة العالمية لإقليم شرق البحر المتوسط، 1988.
35. Abdel-Magid, I.M.; and El-Zawahry, A., Preconditions and Requirements for Successful Environmental Policies in the Sultanate of Oman, the Sudan and Egypt, A paper presented at the Conference on Preconditions and Requirements for Successful Environmental Policies in the Arab World, from 3 to 5 May 1993, held in Irbid, Jordan, organized by the Earth and Environmental Science Department, the Yarmouk University; the National Program for Environmental Awareness and Information; and Friedreich Naumann Stiftung.
36. "صحيح البخاري" شرح وتحقيق الشيخ قاسم الشماعى الرفاعى، دار القلم، بيروت، مجلد 1-9، 1987.

Active metals — Nonmetals

1A 1	2A 2	3B 3	4B 4	5B 5	6B 6	7B 7	8	8B 9	10	1B 11	2B 12	3A 13	4A 14	5A 15	6A 16	7A 17	8A 18
1 H 1.0079																	2 He 4.00260
3 Li 6.941	4 Be 9.01218											5 B 10.81	6 C 12.011	7 N 14.0067	8 O 15.9994	9 F 18.998403	10 Ne 20.179
11 Na 22.98977	12 Mg 24.305											13 Al 26.98154	14 Si 28.0855	15 P 30.97376	16 S 32.06	17 Cl 35.453	18 Ar 39.948
19 K 39.0983	20 Ca 40.078	21 Sc 44.9559	22 Ti 47.88	23 V 50.9415	24 Cr 51.996	25 Mn 54.9380	26 Fe 55.847	27 Co 58.9332	28 Ni 58.69	29 Cu 63.546	30 Zn 65.38	31 Ga 69.72	32 Ge 72.61	33 As 74.9216	34 Se 78.96	35 Br 79.904	36 Kr 83.80
37 Rb 85.4678	38 Sr 87.62	39 Y 88.9059	40 Zr 91.22	41 Nb 92.9064	42 Mo 95.94	43 Tc (98)	44 Ru 101.07	45 Rh 102.9055	46 Pd 106.42	47 Ag 107.8682	48 Cd 112.41	49 In 114.82	50 Sn 118.69	51 Sb 121.75	52 Te 127.60	53 I 126.9045	54 Xe 131.29
55 Cs 132.9054	56 Ba 137.33	57 *La 138.9055	72 Hf 178.49	73 Ta 180.9479	74 W 183.85	75 Re 186.207	76 Os 190.2	77 Ir 192.22	78 Pt 195.08	79 Au 196.9665	80 Hg 200.59	81 Tl 204.383	82 Pb 207.2	83 Bi 208.9804	84 Po (209)	85 At (210)	86 Rn (222)
87 Fr (223)	88 Ra 226.0254	89 †Ac 227.0278	104 Rf (261)	105 Ha (262)	106 Unh (263)	107 Uns (262)		109 Une (266)									

Transition metals: groups 3B (3) to 2B (12)

* Lanthanide series	58 Ce 140.12	59 Pr 140.9077	60 Nd 144.24	61 Pm (145)	62 Sm 150.36	63 Eu 151.96	64 Gd 157.25	65 Tb 158.9254	66 Dy 162.50	67 Ho 164.9304	68 Er 167.26	69 Tm 168.9342	70 Yb 173.04	71 Lu 174.967
† Actinide series	90 Th 232.0381	91 Pa 231.0359	92 U 238.0289	93 Np (237)	94 Pu (244)	95 Am (243)	96 Cm (247)	97 Bk (247)	98 Cf (251)	99 Es (252)	100 Fm (257)	101 Md (258)	102 No (259)	103 Lr (260)

The larger and smaller labels reflect two different numbering schemes in common usage.

شكل ش – 1 الجدول الدورى للعناصر

(Manahan, S.E., Fundamentals of Environmental Chemistry. Lewis Publishers, Boca Raton, 1993. Courtesy of the publisher CRC Press. Inc.)

جدول ج –1

بعض الخواص الطبيعية للماء

منشور بإذن من المصدر التالي

Van der Leeden, F. ; Troise, F.L. & Todd, D.K., The water encyclopedia, 2nd Edi., Lewis Pub., Chelsea, 1991

درجة الحرارة (مئوية)	الكثافة كجم/م مكعب	درجة اللزوجة الكينامتكية $\mu \times 10^{-3}$ = نيوتن* ث/متر مربع	درجة اللزوجة الكينامتكية $\nu \times 10^{-6}$ = متر مربع/ث	الوزن النوعي كيلو نيوتن/متر مكعب	التوتر السطحي $\sigma \times 10^{-2}$ = نيوتن/متر
صفر	999,8	1,792	1,792	9,807	7,56
2	999,9	1,674	1,674	9,807	7,54
4	1000	1,568	1,568	9,808	7,51
5	999,9	1,519	1,519	9,807	7,49
6	999,9	1,473	1,473	9,807	7,48
7	999,9	1,429	1,429	9,807	7,46
8	999,8	1,378	1,388	9,806	7,45
9	999,7	1,348	1,348	9,805	7,43
10	999,7	1,31	1,31	9,805	7,42
11	999,6	1,274	1,274	9,804	7,41
12	999,5	1,239	1,24	9,803	7,39
13	999,4	1,206	1,207	9,802	7,38
14	999,2	1,175	1,176	9,801	7,36
15	999	1,145	1,146	9,8	7,35
16	998,9	1,116	1,117	9,799	7,33
17	998,8	1,087	1,089	9,795	7,32
18	998,6	1,06	1,062	9,793	7,31
19	998,4	1,034	1,036	9,791	7,29
20	998,2	1,009	1,011	9,789	7,28
25	997,1	0,895	0,898	9,778	7
30	995,7	0,8	0,804	9,765	7,12
35	994,1	0,721	0,725	9,749	7,04
40	992,2	0,656	0,661	9,731	6,96
45	990,2	0,599	0,605	9,711	6,88
50	988,1	0,549	0,556	9,69	6,79
55	985,7	0,506	0,513	9,666	6,71
60	983,2	0,469	0,477	9,642	6,62
65	980,6	0,436	0,444	9,616	6,53
70	977,8	0,406	0,415	9,589	6,44
75	974,9	0,38	0,39	9,56	6,35
80	971,8	0,357	0,367	9,53	6,26
85	968,6	0,336	0,347	9,499	6,17
90	965,3	0,317	0,328	9,467	6,08
95	961,9	0,299	0,311	9,433	5,99
100	958,4	0,284	0,296	9,399	5,89

* Van der Leeden, F. ; Troise, F.L. & Todd, D.K., The water encyclopedia, 2nd Edi., Lewis Pub., Chelsea, 1991.
* Munson, B.R., Young, D.F., & Okiishi, T.H., Fundamentals of fluid mechanics, John Wiely & Sons, New York, 1991.
* Davis, M.L. & Cornwell, D.A., Introduction to environmental engineering, McGraw-Hill Inter. Editions, Chemical Engng. Series, 2nd Edi., McGraw-Hill, Inc., 1991.

جـــدول ج-2

قيم تركيز التشبع للأكسجين الذائب في الماء والمعرض لمياه مشبعة بهواء يحتوي على 20,9٪ أكسجين وتحت ضغط يعادل 760 ملم زئبق

درجة الحرارة (مئوية)	كميـــة الكلوريـد الذائـب فـي المـاء (ملجـم/لتـر)				الفـروق لكـل 100 ملجـم كلوريـد
	صفر	5000	10000	20000	
صفر	14,6	13,8	13	11,3	0,017
1	14,2	13,4	12,6	11	0,016
2	13,8	13,1	12,3	10,8	0,015
3	13,5	12,7	12	10,5	0,015
4	13,1	12,4	11,7	10,3	0,014
5	12,8	12,1	11,4	10	0,014
6	12,5	11,8	11,1	9,8	0,014
7	12,2	11,5	10,9	9,6	0,013
8	11,9	11,2	10,6	9,4	0,013
9	11,6	11	10,4	9,2	0,012
10	11,3	10,7	10,1	9	0,012
11	11,1	10,5	9,9	8,8	0,011
12	10,8	10,3	9,7	8,6	0,011
13	10,6	10,1	9,5	8,5	0,011
14	10,4	9,9	9,3	8,3	0,01
15	10,2	9,7	9,1	8,1	0,01
16	10	9,5	9	8	0,01
17	9,7	9,3	8,8	7,8	0,01
18	9,5	9,1	8,6	7,7	0,009
19	9,4	8,9	8,5	7,6	0,009
20	9,2	8,7	8,3	7,4	0,009
21	9	8,6	8,1	7,3	0,009
22	8,8	8,4	8	7,1	0,008
23	8,7	8,3	7,9	7	0,008
24	8,5	8,1	7,7	6,9	0,008
25	8,4	8	7,6	6,7	0,008
26	8,2	7,8	7,4	6,6	0,008
27	8,1	7,7	7,3	6,5	0,008
28	7,9	7,5	7,1	6,4	0,008
29	7,8	7,4	7	6,3	0,008
30	7,6	7,3	6,9	6,1	0,008

Source : * Hammer, M.J., Water & Wastewater Technology, 2nd Edi., Wiley, New York, 1986
* Steel, E. W. & McGhee, T.J., Water Supply & Sewerage, McGraw-Hill International Book Co., London, 1984, 7th reprinting.
* Whipple, G.C. & Whipple, M.C., Solubility of Oxygen in Sea Water, JACS, 33, 1911, 362
* Abdel-Magid, I.M., Selected Problems in Wastewater Engineering, Khartoum University Press, National Council for Research, Khartoum, 1986.

جدول ج –3

ضغط بخار الماء المشبع بدلالة الحرارة

المصدر : منشور بإذن

Wilson, E.M., Engineering Hydrology, Macmillan Education, 3rd Edi., Houndmills, 1983

ضغط البخار المشبع (ملم زئبق)										درجة الحرارة (مئوية)
0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0,0	
									2,15	10–
2,17	2,29	2,21	2,22	2,24	2,26	2,27	2,29	2,3	2,32	9–
2,34	2,36	2,38	2,4	2,41	2,43	2,45	2,47	2,49	2,51	8–
2,53	2,55	2,57	2,59	2,61	2,63	2,65	2,67	2,69	2,71	7–
2,73	2,75	2,77	2,8	2,82	2,84	2,86	2,89	2,91	2,93	6–
2,95	2,97	2,99	3,01	3,04	3,06	3,09	3,11	3,14	3,16	5–
3,18	3,22	3,24	3,27	3,29	3,32	3,34	3,37	3,39	3,41	4–
3,44	3,46	3,49	3,52	3,54	3,57	3,59	3,62	3,64	3,67	3–
3,7	3,73	3,76	3,79	3,82	3,85	3,88	3,91	3,94	3,97	2–
4	4,03	4,05	4,08	4,11	4,14	4,17	4,2	4,23	4,26	1–
4,29	4,33	4,36	4,4	4,43	4,46	4,49	4,52	4,55	4,58	0–
4,89	4,86	4,82	4,78	4,75	4,71	4,69	4,65	4,62	4,58	0
5,25	5,21	5,18	5,14	5,11	5,07	5,03	5	4,96	4,92	1
5,64	5,6	5,57	5,53	5,48	5,44	5,4	5,37	5,33	5,29	2
6,06	6,01	5,97	5,93	5,89	5,84	5,8	5,76	5,72	5,68	3
6,49	6,45	6,4	6,36	6,31	6,27	6,23	6,18	6,14	6,1	4
6,96	6,91	6,86	6,82	6,77	6,72	6,68	6,54	6,58	6,54	5
7,46	7,41	7,36	7,31	7,25	7,2	7,16	7,11	7,06	7,01	6
7,98	7,93	7,88	7,82	7,77	7,72	7,67	7,61	7,56	7,51	7
8,54	8,48	8,43	8,37	8,32	8,26	8,21	8,15	8,1	8,04	8
9,14	9,08	9,02	8,96	8,9	8,84	8,78	8,73	8,67	8,61	9
9,77	9,71	9,65	9,58	9,52	9,46	9,39	9,33	9,26	9,2	10
10,45	10,38	10,31	10,24	10,17	10,1	10,03	9,97	9,9	9,84	11
11,15	11,08	11	10,93	10,86	10,79	10,72	10,66	10,58	10,52	12
11,91	11,83	11,76	11,68	11,6	11,53	11,75	11,38	11,3	11,23	13
12,7	12,62	12,54	12,46	12,38	12,96	12,22	12,14	12,06	11,98	14
13,54	13,45	13,37	13,28	13,2	13,11	13,03	12,95	12,86	12,78	15
14,44	14,35	14,26	14,17	14,08	13,99	13,9	13,8	13,71	13,63	16
15,38	15,27	15,17	15,09	14,99	14,9	14,8	14,71	14,62	14,53	17
16,36	16,26	16,16	16,06	15,96	15,96	15,76	15,66	15,56	15,46	18
17,43	17,32	17,21	17,1	17	16,9	16,79	16,68	16,57	16,46	19
18,54	18,43	18,31	18,2	18,08	17,97	17,86	17,75	17,64	17,53	20
19,7	19,58	19,46	19,35	19,23	19,11	19	18,88	18,77	18,65	21
20,93	20,8	20,69	20,58	20,43	20,31	20,19	20,06	19,94	19,82	22
22,23	22,1	21,97	21,84	21,71	21,58	21,45	21,32	21,19	21,05	23
23,6	23,45	23,31	23,19	23,05	22,91	22,76	22,63	22,5	22,27	24
25,08	24,94	24,79	24,64	24,49	24,35	24,2	24,03	23,9	23,75	25
26,6	26,46	26,32	26,18	26,03	25,89	25,74	25,6	25,45	25,31	26
28,16	28	27,85	27,69	27,53	27,37	27,21	27,05	26,9	26,74	27
29,85	29,68	29,51	29,34	29,17	29	28,83	28,66	28,49	28,32	28
31,64	31,46	31,28	31,1	30,92	30,74	30,56	30,38	30,2	30,03	29
33,52	33,33	33,14	32,95	32,76	32,57	32,38	32,19	32	31,82	30

جدول ج –4 خـواص الهـواء علـى الضغط الجـوي القياسـي 101325 باسكال

درجة الحرارة °م	الكثافة كجم / م^2	الوزن النوعي نيوتن / م^2	درجة اللزوجة	
			الديناميكية نيوتن* ث / م^2	الكيناماتكية م^2/ث
50–	1,58	15,5	10^{-5} x 1,57	10^{-5} x 1,01
40–	1,51	14,85	10^{-5} x 1,54	10^{-5} x 1,04
20–	1,4	13,68	10^{-5} x 1,61	10^{-5} x 1,16
10–	1,34	13,2	10^{-5} x 1,67	10^{-5} x 1,24
0	1,29	12,67	10^{-5} x 1,71	10^{-5} x 1,32
5	1,27	12,45	10^{-5} x 1,73	10^{-5} x 1,36
10	1,25	12,23	10^{-5} x 1,76	10^{-5} x 1,41
15	1,23	12,01	10^{-5} x 1,8	10^{-5} x 1,47
20	1,2	11,81	10^{-5} x 1,82	10^{-5} x 1,51
25	1,18	11,61	10^{-5} x 1,85	10^{-5} x 1,56
30	1,17	11,43	10^{-5} x 1,86	10^{-5} x 1,6
35	1,14	11,09	10^{-5} x 1,88	10^{-5} x 1,63
40	1,13	11,05	10^{-5} x 1,91	10^{-5} x 1,69
50	1,11	10,88	10^{-5} x 1,95	10^{-5} x 1,79
60	1,06	10,4	10^{-5} x 2	10^{-5} x 1,89
70	1,03	10,09	10^{-5} x 2,04	10^{-5} x 1,99
80	1	9,81	10^{-5} x 2,09	10^{-5} x 2,09
90	0,97	9,54	10^{-5} x 2,13	10^{-5} x 2,19
100	0,95	9,28	10^{-5} x 2,17	10^{-5} x 2,29
120	0,9	8,82	10^{-5} x 2,26	10^{-5} x 2,51
140	0,85	8,38	10^{-5} x 2,34	10^{-5} x 2,74
160	0,81	7,99	10^{-5} x 2,42	10^{-5} x 2,97
180	0,78	7,65	10^{-5} x 2,5	10^{-5} x 3,2
200	0,75	7,32	10^{-5} x 2,51	10^{-5} x 3,4
220	0,72	7,02	10^{-5} x 2,61	10^{-5} x 3,7
240	0,69	6,75	10^{-5} x 2,7	10^{-5} x 4
260	0,66	6,5	10^{-5} x 2,72	10^{-5} x 4,2
280	0,64	6,26	10^{-5} x 2,82	10^{-5} x 4,5
300	0,62	6,04	10^{-5} x 2,98	10^{-5} x 4,84
400	0,52	5,14	10^{-5} x 3,32	10^{-5} x 6,34
500	0,46	4,48	10^{-5} x 3,64	10^{-5} x 7,97
600	0,4	3,92	10^{-5} x 3,9	10^{-5} x 9,75
700	0,36	3,53	10^{-5} x 4,21	10^{-5} x 11,7

المصدر : عصام محمد عبد الماجد، الهندسة البيئية، دار المستقبل للنشر والتوزيع، 1995

* Henry, J.G. & Heinke, G.W., Environmental scinece & engineering, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1989.
* Munson, B.R., Young, D.F., & Okiishi, T.H., Fundamentals of fluid mechanics, John Wiely & Sons, New York, 1990.
* Blevins, R.D., Applied fluid dynamics handbook, Van Nostrand Reinhold Co., Berkshire, 1984.
* Blake, L.S. Edi., Civil engineer's reference book, Butterworths, London, 1986.