

الهندسة البيئية

تأليف

د. عصام محمد عبد الماجد أحمد

جامعة السلطان قابوس - كلية الهندسة



دار
المستقبل للنشر والتوزيع
عمان - الأردن

الهندسة البيئية

تأليف

الدكتور عصام محمد محمد الماجد أحمد

جامعة السلطان قابوس

كلية الهندسة

١٩٩٥

دار

المستقبل للنشر والتوزيع

عمان ١١١١٨ الأردن

ص.ب. ١٨٤٢٤٨ تليفاكس ٦٥٨٢٦٣

حقوق الطبع محفوظة

١٤١٦ هـ - ١٩٩٥ م

رقم الايداع لدى دائرة المكتبة الوطنية

(١٩٩٥/٥/٤٦٤)

رقم التصنيف : ٦٢٤

المؤلف ومن هوفي حكمه : عصام محمد عبد الماجد

عنوان المصنف : الهندسة البيئية

روؤس الموضوعات : ١ - الهندسة المدنية

- ٢

رقم الايداع : (١٩٩٥ / ٥ / ٤٦٤)

الملاحظات : عمان : دار المستقبل

* - تم اعداد بيانات الفهرسة الاولى من قبل دائرة المكتبة الوطنية

دار

المستقبل للنشر والتوزيع

عمان ١١١١٨ الأردن

ص . ب . ١٨٤٢٤٨ تلفاكس ٦٥٨٢٦٣

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

عن وهو في عز وجل:

”رَبِّهِ اغْفِرْ لِي وَلِوَالِدَيَّ وَلِمَنْ دَخَلَ بَيْتِي مُؤْمِنًا وَلِلْمُؤْمِنِينَ وَالْمُؤْمِنَاتِ وَلَا تَزِدِ الظَّالِمِينَ إِلَّا تَبَارًا“ (٢٨) سورة نوح.

وقال صلى الله عليه وسلم:

”يَا أَيُّهَا النَّاسُ اتَّقُوا رَبَّ الَّذِي خَلَقَكُمْ مِنْ نَفْسٍ وَاحِدَةٍ وَخَلَقَ مِنْهَا زَوْجَهَا وَبَثَّ مِنْهُمَا رِجَالًا كَثِيرًا وَنِسَاءً، وَاتَّقُوا اللَّهَ الَّذِي تَسَاءَلُونَ بِهِ وَالْأَرْحَامَ إِنَّ اللَّهَ كَانَ عَلَيْكُمْ رَقِيبًا“ (١) سورة النساء.

وقال جل جلاله:

”وَوَصَّيْنَا الْإِنْسَانَ بِوَالِدَيْهِ إِحْسَانًا حَمَلَتْهُ أُمُّهُ كُرْهًا وَوَضَعَتْهُ كُرْهًا وَحَمَلُهُ وَفَصَالُهُ ثَلَاثُونَ شَهْرًا حَتَّىٰ إِذَا بَلَغَ أَشُدَّهُ وَبَلَغَ أَرْبَعِينَ سَنَةً قَالَ رَبِّ أَوْزِعْنِي أَنْ أَشْكُرَ نِعْمَتَكَ الَّتِي أَنْعَمْتَ عَلَيَّ وَعَلَىٰ وَالِدَيَّ وَأَنْ أَعْمَلَ صَالِحًا تَرْضَاهُ وَأَصْلَحْ لِي فِي ذُرِّيَّتِي إِنَّي تَبَتُّ إِلَيْكَ وَإِنِّي مِنَ الْمُسْلِمِينَ“ (١٥) سورة الأحقاف.

الإهداء

للى الأم الرؤوم أم سلمة والوالد العطوف محمد والزوجة الفضلى ليلي وفلذات الكبد لبنى وهشام ومحمد وتغريد وتسليم وآية أهدي هذا الجهد المتواضع.

المؤلف

سقط في رمضان ١٤١٥ هـ الموافق فبراير ١٩٩٥.

بسم الله الرحمن الرحيم كلمة الناشر

ملتفتي السعادة والاعتزاز عندما اتصل بي الدكتور عصام محمد عبد الماجد من أبناء السودان العزيز المدرس بكلية الهندسة بجامعة السلطان قابوس وطرح فكرة نشر هذا الكتاب باختياره لهذه الدار لتبني مؤلفه الهام وهو العربي المسلم الصافي الذي منحني شرف وثقة نشر الكتاب بدون معرفة سابقة واختياره لنا من بين الألوف من الناشرين العرب حملني هذه الأمانة الغالية .

ولما كان هذا الكتاب وهو الأول من نوعه الشامل لكل مرافق الحياة البيئية وسيكون موضع اهتمام لكل المدرسين والدارسين في وطننا العربي ، اعتبرت هذا التشريف من المؤلف مسؤولية من واجب الناشر القيام بها وهذا هو ما نصبوا اليه كناشرين عرب من دعم المؤلف الجيد لندعم مسيرة التعريب للعلوم كافة ولتبسيط ايصال المعلومة الى أبناء هذه الأمة العظيمة .

وما هو الكتاب بعد جهد متواصل من المؤلف استغرق عام كامل وتواصل هذا الجهد لي كناشر مدة عام أيضا وأمل أن أكون قد أدبت الأمانة وحملتها بكل شرف لتصل لكل من يخصه هذا الكتاب ويحقق الفائدة المرجوة منه لأبنائنا المهندسين في كل وطننا العربي مع اهداء خاص الى ابني المهندس المدني وائل فهيم مجدلاوي المغترب والذي يعمل ويقيم في فلوريدا بالولايات المتحدة الأمريكية لعله يجد فيه الفائدة العلمية وجهد المؤلف ووالده تجاه أمته ووطنه العربي الكبير ووافر التحية والاحترام لكل من بذل من جهد في اخراج هذا الكتاب ليرى النور .

مستهدين بالحديث النبوي الشريف " اذا مات ابن ادم انقطع عمله الا من ثلاث : صدقه جاريه ، او علم ينتفع به او ولد صالح يدعو له " صدق الرسول الكريم

والله نسأل التوفيق والسداد لما فيه خير هذه الأمة

عمان في ٢٣ / ٧ / ١٩٩٥

الناشر

فهميد سعيد مجدلاوي

دار المستقبل

بسم الله الرحمن الرحيم

شكر وتقدير

لم يكن لهذا الكتاب أن يرى النور بدون المساعدة والدعم من قبل العديد من الجهات والأفراد. ولا يسعنى إلا أن أخص بالشكر الجزيل وعظيم الإمتنان كل أفراد أسرتي الذين تحملوا الكثير وصبروا وصابروا وتفانوا أثناء مراحل الكتابة والطباعة والمراجعة والإخراج، فالشكر موصول للزوجة الفضلى ليلي صالح محمود لصبرها عند محاولة فتح طلاس خط اليد ثم طباعتها لمسودة الكتاب وعمل الرسومات الهندسية على الحاسوب، والشكر موصول للأبناء الأحباب الصغار محمد وتغريد للمساعدة فى الطباعة ونبذ الألعاب المحببة لديهم مؤثرين المشاركة الفعالة لإتمام هذا العمل الكبير .

كما نخص بالشكر أستاذنا المبجل أ. د. دفع الله عبد الله الترابى رئيس الهيئة العليا للتعبير والذي تكرم مشكوراً بمدنا بنسخ من المعاجم التى قامت اللجنة بوضعها وإجازتها .

كما ولا يفوتنا أن نخص بالشكر الأخ الأكرم فهم مجدلاوى مدير دار المستقبل للنشر والتوزيع لقبوله نشر الكتاب وتشجيعه المتصل وحثه الدائم والدؤوب لنا لإتمام السفر على أكمل وجه، وما بذله والأخوة العاملين بالدار من جهد مقدر لياتى الكتاب فى ثوبه القشيب .

والشكر موصول للأخ والصديق الصدوق د. عبد الواحد هجو محمد (كلية الهندسة، جامعة السلطان قابوس) لتشجيعه الدائم، وحثه، ومراجعته لما طلبناه منه، ولفتحه أبواب مكتبته الحافلة لنا، وللمساعدة اللامحدودة لنا للتعلم مع الحاسوب وسبر غوره وإصلاح أمره وتلافى هناته وعثراته ووقفاته المتكررة. والشكر موصول للأخوة الأجلاء د. أحمد حسام الدين حسن (المعهد العالى للصحة العامة، جامعة الإسكندرية) و د. علاء الدين الظواهري (كلية الهندسة، جامعة السلطان قابوس) للمراجعة والتعليق على بعض الفصول الأول من هذا الكتاب. والشكر والتقدير متصل لأساتذتنا الأفاضل أ. د. محمد فكرى عبد العزيز شلبى (كلية الهندسة، جامعة القاهرة) و د. حامد إبراهيم حامد (الامارات العربية المتحدة) للسماح بإعادة طباعة ورقتنا العلمية. والشكر موصول لأستاذنا وأخانا الأكرم د. عثمان أحمد حمد (كلية الهندسة، جامعة الامارات العربية المتحدة) ومدنا بما نحتاجه من مراجع ومصادر علمية عبر الحدود. ولا ننسى أن نخص بالشكر الأخ الفاضل د. الطاهر عثمان على (كلية الطب، جامعة السلطان قابوس) لصبره المطلق فى زيارتنا المكوكية له للرجوع الى مكتب قواميسه ومعاجمه العربية. وهناك العديد من الأخوة الكرماء الذين ساهموا وساعدوا بصورة أو بأخرى لإخراج هذا الكتاب نذكر منهم على سبيل المثال لا الحصر د. سوسن مصطفى عوض الكريم (كلية الطب، جامعة السلطان قابوس) وعبد الغفار حسين الحاج (كلية الطب، جامعة السلطان قابوس) و د. فاضل السعدونى (قسم علوم الأرض والبيئة، جامعة

والشكر موصول لجان بويل من دار نشر س. ر. س. الأمريكية وأ. د. دونالد ر. ر. مدير شركة رو للخدمات الهندسية لتفضلهم بالسماح لنا باستخدام شكل ٣ (أنواع الموانع على حسب خصائصها الإنشائية) فى الفصل الأول، وشكل ١٥ (رسم تخطيطى لنظافة مرشح رملى بالاجتراف الخلفى) فى الفصل الثانى، وشكل ٢٦ (مخطط يوضح وحدة التناضح العكسى فى محطة التحلية) فى الفصل الثانى، وشكل ٢٧ (رسم تخطيطى لعملية الفرز الغشائى الكهربائى أو عملية الديليزة) فى الفصل الثانى.

والشكر موصول لكين براون من قسم النشر بمنظمة المهندسين الميكانيكيين الأمريكية بنيويورك للموافقة على إعادة طبع شكل ٩ (معامل الاحتكاك لدفق مكتمل فى أنابيب دائرية) من المرجع الموضح فى الفصل الرابع من هذا الكتاب.

والشكر موصول لایل مارابيللو من جمعية المهندسين المدنيين الأمريكية لتكرمه بالسماح لنا باستخدام شكل ٥ (التغيرات اليومية فى الدفق والحاجة الحيا-كيميائية للأكسجين والمواد العالقة فى الفضلات المنزلية لمجموعة صغيرة) فى الفصل الخامس، وشكل ٩ (معامل الاحتكاك لدفق مكتمل فى أنابيب دائرية) فى الفصل الرابع، وجدول ٧ (حالة الكبريتيد لقيم مختلفة من دالة زيتا) فى الفصل الخامس.

كما ونخص بالشكر الدكتور ب. بتلر رئيس مكتب النشر بالإتابة، جنيف، منظمة الصحة العالمية لتفضله بالموافقة على إعادة طبع شكل ١٢ (أنماط استخدام الفضلات السائلة) وجدول ١٠ (الخطوط التوجيهية المقترحة للخواص الميكروبيولوجية عند استخدام الفضلات السائلة لعمليات الرى الزراعى) المستقاة من المرجع الموضح فى متن الفصل السابع من هذا الكتاب.

والشكر موصول لدار نشر بترورس هاينمان الأمريكية لتفضلهم بالسماح بإعادة طباعة شكل ٨ (بيانى معادلة هيزن-وليام للدفق خلال الأنابيب تحت الضغط) فى الفصل الخامس. والسماح أيضا بإعادة طباعة شكل ٦ (رسم كروكى لمرشح النضيف) فى الفصل السادس، وشكل ٥ (جهاز قياس زمن السحب الشعرى) من الفصل السابع.

والشكر موصول للأخ أ. د. يوسف أبو جديرى مدير معهد الدراسات البيئية، جامعة الخرطوم، السودان لتكرمه بالسماح لنا باستخدام شكل ٣ (وحدة الحماة النشطة فى محطة التنقية) فى الفصل السادس، وجدول ١ (خصائص الحماة المهضومة) فى الفصل السابع.

ويؤسفنا عدم تمكننا من كتابة هذه الفقرات على كل شكل أو رسم أو جدول كما طلبت دور النشر والوحدات المانحة لإستلامها مؤخرا بعد أن وجد الكتاب طريقه الى المطبعة فى صورته النهائية.

"رَبَّنَا لَا تُرْغِ قُلُوبَنَا بَعْدَ إِذْ هَدَيْتَنَا وَهَبْ لَنَا مِنْ لَدُنْكَ رَحْمَةً إِنَّكَ أَنْتَ الْوَهَّابُ". وسلام على المرسلين والحمد لله رب العالمين.

المؤلف

د. عصام محمد عبد الماجد أحمد

بسم الله الرحمن الرحيم

المقدمة

سبحان ربى العلى الأعلی الوهاب، والحمد لله الذى بنعمته تتم الصالحات، والسلام على أشرف المرسلین
سیدنا ونبینا محمد وعلى آله وصحبه ومن اتبع هدیه الى يوم الدين .

نبعت فكرة هذا الكتاب بعد أن قامت الدولة السودانية بإصلاح مسار التعليم العالی وتعريب مناهجه فى رجب من العام ١٤١٠ هـ الموافق فبراير ١٩٩٠، وبعد أن قامت الهيئة السودانية العلیا للتعريب بإصدار سلسلة المعاجم العلمیة المتخصصة. وعكفنا على تطوير أعمال ومجهودات قمنا بها فى مطلع الثمانينات فى مجال التألیف بلغة الضاد فى مشوارنا مع التعليم بلغة القرآن، فى محاولة لإثراء المكتبة العربیة بكتاب علمى متخصص فى العلوم البئیة. ودعم فكرة الكتاب إقتار المكتبة العربیة الى كتاب حدیث جامع، ومرجع علمى شامل یغطى الأسس النظریة والعملیة، ویجد الطالب فى ثناياه ما یرومه من مسائل وتمارين، تعینه على هضم الدروس والمحاضرات فى مضمار الهندسة البئیة .

ومن المتوقع أن یمتد من هذا الجهد المهندس المدنى والصحى والبیئى والكیمیائى بالإضافة الى العاملين فى طب المجتمع ومفتش الصحة العامة ومهندس التخطيط البیئى ووصیفه الزراعى وجمهور الدارسین والعاملین فى حقل الهندسة الصحیة، ولا غنى للباحث عنه. كما ووضع الكتاب متطرقا لموضوعات علمیة شتى تقید الأستاذ المدرس والطالب الجامعى أثناء تحضيره لرسالة الدبلوم الأوسط أو البكالریوس أو الدبلوم العالی أو الماجستیر. ومن المؤمل أن یفید الكتاب فى تدريس مواد الهندسة البئیة، والهندسة الصحیة، ومصادر وإمدادات المیاة، وتنقیة المیاة، ومعالجة الفضلات السائلة، ومكافحة التلوث وغيرها من مفردات وأسماء المساقات الدراسیة المختلفة إختلاف الجامعات وإهتماماتها البئیة. ویتوقع أن یساعد للكتاب فى تخطيط وتصمیم وتقویم وتشغیل محطات تنقیة المیاة ومعالجة الفضلات السائلة .

وتطرق الكتاب عبر أبوابه الثلاث، وفصوله التسع، الى الكثير من الموضوعات العلمیة الشیقة المتعلقة بإمدادات وتنقیة المیاة ومعالجة الفضلات والمخلفات السائلة ومكافحة تلوث الهواء .

یحتمى الباب الأول ثلاث فصول، شملت مصادر وثقافة وتوزیع المیاة ومدخلات الخواص والإمداد والتوزیع. إذ تناول الفصل الأول دورة الماء الطبیعیة، وخواص المیاة والفضلات السائلة من طبیعیة

(فيزيائية) وكيميائية وحيوية (بيولوجية) وأثرها على الصحة العامة، وأدرجت به التشريعات والمعايير والقوانين الخاصة بنوع الماء. وغطى الباب الثانى عمليات وتقانة تنقية المياه، لتواكب الإستخدامات والإمداد والتشريعات المتعلقة بها، مع التركيز على إختيار مصدر المياه، ووحدات التنقية الطبيعية والكيميائية والحيوية. وأبان الفصل الثالث أجديات علم المياه ونواميسها (الهيدرولوجيا) والمصادر السطحية والجوفية من منطلق الكم والنوع والعوامل المؤثرة عليها، وإنسياب المياه، وضروب الإستنباط ومشاكل التلوث المتوقعة وأنماط تقويمها والتخلص من مسبباتها. وعالج الفصل الرابع الطرق المتبعة لتخزين وتوزيع المياه للسكان بالريف والحضر، وتم التركيز على مشاكل التآكل والتحات .

وتفرد الباب الثانى بالنظر فى معالجة الفضلات والمخلفات السائلة وأنماط وأساليب التخلص النهائى وإعادة الإستخدام. إذ عالج الفصل الخامس مصادر المخلفات السائلة وطرق جمعها، مع التركيز على تصميم شبكات المجارى وصيانتها والمحافظة عليها. وتضمن الفصل السادس الطرق الملائمة لمعالجة الفضلات والمخلفات السائلة مع التركيز على طرق المعالجة الأولية والثانوية والثلاثية من حيث مشارب التصميم والصيانة للريف والمناطق المعزولة وللبدوى والحضر والمجتمعات ذات الكثافة السكانية العالية. وعمر الفصل السابع بطرق معالجة الرواسب والحماة الناجمة من وحدات التنقية والمعالجة المختلفة، وطرق التخلص منها والتشريعات الخاصة بالتخلص النهائى، وتلوث المسطحات المائية والبيئة البحرية، وأساليب معالجتها وحمايتها من الملوثات، وتم بحث المعايير والتشريعات والأحكام القانونية المتعلقة بأنماط التخلص النهائى من الفضلات والمخلفات السائلة .

أما الباب الثالث فقد أفرد لمقدمة موجزة عن تلوث الهواء تعلقت بأنواع وخواص ملوثات الهواء وضروب وأنماط التخلص والمكافحة لما فيه نقاء البيئة .

عمرت صفحات الكتاب بالأمثلة المحولة لكل فرع للتيان، كما ووضعت العديد من المسائل والتمارين النظرية والعملية لتزويد الفائدة وتكسب القارئ الخبرة المنشودة. وتضمن الكتاب العديد من الرسومات والأشكال الهندسية الإيضاحية والتصميمية. وتتوعد المصادر والمراجع المستفاد منها فى متن السفر عبر كل فصل من فصوله لزيادة الفائدة وإتمام الإفادة. كما وألحقت بالكتاب الملاحق العامة لبعض البيانات والجداول الهامة والتي لا غنى عنها لكل فصل من فصول الكتاب .

وللتعريب الجيد والإختيار الأمثل للمصطلحات العلمية العربية فقد إتبعنا - جهدنا - المعجم الهندسى الموحد، ومعجم الكيمياء الموحد، ومعجم الرياضيات الموحد، ومعجم الفيزياء الموحد (إنكليزى-عربى) الصادرة من الهيئة العليا للتعريب، التابعة لوزارة التربية والتعليم والبحث العلمى السودانية (والتي صدرت فى الخرطوم ١٤١٣ هـ - ١٩٩٢ م) بالنسبة للمفردات الهندسية، كما وإتبعنا المعجم الطبى الموحد (إنكليزى-عربى-فرنسى) لمجلس وزراء الصحة العرب ومنظمة الصحة العالمية وإتحاد الأطباء العرب والمنظمة العربية للتربية والثقافة والعلوم (الطبعة الثالثة، مزيدة ومنقحة، ميدليفانت، سويسرا، ١٩٨٣) فيما يتعلق بالمفردات الطبية والبيولوجية والميكروبيولوجية، وفى هذا مساعدة لتسهيل قراءة الكتاب وإتباع منهاجه لكل قراء اللغة العربية .

ونأمل أن يكون قد وفقنا المولى عز وجل فى هذه المحاولة لتوفير مادة دراسية هادفة ومفيدة .

ونرجو الله تبارك وتعالى أن يحفظنا ويحفظ أمة المسلمين راجين أن نكون قد حققنا الغاية المرجوة من وضع الكتاب والله من وراء القصد .

تم الكتاب بعون وتوفيق الله سبحانه وتعالى فى شهر رمضان ١٤١٥ من هجرة صاحب العز والشرف صلى الله عليه وسلم، بقلم العبد الضعيف عفا المولى عز وجل عنه وعن والديه والمسلمين أجمعين .

المؤلف

د. محمّد محمد عبد الماجد أحمد

الباب الأول

مصادر وتنقية وتوزيع المياه

- الفصل الأول : خواص المياه
- الفصل الثاني : تكنولوجيا تنقية المياه
- الفصل الثالث : الهيدرولوجيا وتلوث المياه
- الفصل الرابع : تخزين المياه وتوزيعها

الباب الأول

مصادر وتنقية وتوزيع المياه

الفصل الأول: خواص المياه

١-١ مقدمة

إن الماء من أهم العناصر الأساسية للحياة ويحكم تواجد المجتمعات والتقدم والنمو العمراني والحضري ومقومات وإقتصاديات النشاط الإنساني. ويمكن إيجاز أهمية الماء في الآتي:

١- وجود ونمو مملكة النبات والحيوان.

٢- من العوامل الأساسية لعمليات التمثيل الضوئي.

٣- مذيب للعديد من المواد العضوية والغير عضوية، ولذلك فقد أطلق عليه إسم المذيب العالمي.

٤- يشترك في التفاعلات الحيوية المختلفة Metabolism .

٥- من أهم السوائل الأساسية بالجسم، فمثلا يحتوي بروتوبلازم معظم الخلايا الحية على نسبة ٨٠ بالمائة ماء وأي نقصان في هذه النسبة له تأثير ضار. وإن العديد من التفاعلات الكيموحيوية تحدث في وجود الماء. وتحتوي البلازما في جسم الإنسان على نسبة ماء تتراوح ما بين ٦٥ إلى ٧٠ بالمائة من وزن الجسم. كما وإن نسبة الماء تختلف باختلاف العمر، إذ تقل بكبر الإنسان، فمثلا نجد أن نسبة الماء بالجسم تصل إلى ٩٧٪ من وزنه بعد ثلاثة أيام من الولادة، لتقل هذه النسبة إلى ٨١٪ بعد ثمانية أيام من الولادة، وتصل إلى ما بين ٦٥ إلى ٧٥٪ عند الشيخوخة. كما ونجد أن نسبة الماء بالجسم تختلف أيضا باختلاف الأعضاء والخلايا فمثلا توجد أعلى نسبة من الماء في خلايا الجهاز العصبي والمخ إذ تصل إلى ما بين ٨٢ إلى ٩٤ بالمائة، وأن أقل نسبة من الماء تصل إلى ٢٢ أو ٣٤ بالمائة تتواجد في العظام والخلايا الدهنية. ومن المعلوم أن تواجد الماء داخل جسم الإنسان يتحكم وينظم درجة حرارة الجسم بواسطة العرق والذي يتأثر بدرجة رطوبة الجو ونوع العمل والمدة الزمنية للعمل وصحة الفرد.

٦- يتواجد بكثرة في الأطعمة فمثلا نجد أن نسبة الماء في الفواكه تتراوح ما بين ٧٨ إلى ٩٧ بالمائة ، وتصل في الأسماك إلى ٨٠ بالمائة، أما في اللحم فتصل النسبة إلى ٧٢ بالمائة. وفي حالة النباتات نجد أن ما تحتاجه من كربوهيدرات تتحصل عليه باستخدام ثاني أكسيد الكربون والماء المتواجد في النسغ العام Raw sap. وعند وجود الطاقة اللازمة ومادة الكلوروفيل (الخضور) وضوء الشمس فيحدث التفاعل الوارد أدناه :



٧- يساعد الماء في إثبات المشاريع الزراعية والصناعية حيث يستخدم الماء في الآتي :

(أ) ري المزروعات وإنتاج المحاصيل والأطعمة.

(ب) إنتاج وتوليد الطاقة مثل الطاقة الهيدروليكية.

- (ج) إنتاج وتصنيع المنتجات والبضائع الصناعية.
- (د) للتبريد ونقل الحرارة وتحضير الحمامات للاستخدامات المتعددة مثل الطلاء الكهربائي Electroplating والرحلان الكهربائي Electrophoresis وغيرها .
- (هـ) للتخلص من المواد الغازية .
- (و) يدخل في عمليات ترطيب وتبريد الهواء وأبراج التهوية .
- (ز) مهم لإحتياجات الصحة العمومية والبيئية .
- ٨- يستخدم في أنماط الترفيه مثل السباحة وصيد الأسماك والتجديف والمناظر الخلابة على شواطئ الأنهار وغيرها .
- ٩- يستخدم في المواصلات ونقل المواد والملاحة البحرية .
- ١٠- يستخدم في التخلص النهائي من الفضلات والحماة .
- ١١- يستخدم في تربية الحيوانات، والنباتات المائية والبرمائية مثل تربية الأسماك وإصطياد الثروات المعدنية المائية : من أحجار كريمة ومعادن نفيسة وصيد الأصداف في الإستخدامات الصناعية وإنتاج الحديد البحري المرجاني { Coral reef وتربية النباتات ذات القيمة الإقتصادية أو تلك المستخدمة للزينة.

١-٢ دورة الماء الطبيعية

يبين الجدول رقم (١) تقديرات توزيع المياه في الغطاء المائي وتوجد منها ٠,٦٢ بالمائة فقط متاحة للإستخدام الإنساني تتركز في بحيرات الماء العذبة والأنهار والمياه الجوفية .

جدول (١)

توزيع المياه في المحيط المائي {١}

نوع المياه	النسبة المئوية للمياه في العالم	النسبة المئوية الماء العذب	النسبة المئوية للمياه السائل المتاح (عذب وغير متجمد)
<u>المياه الكلية</u>	١٠٠		
مالحة	٩٥		
عذبة	٥		
<u>المياه العذبة</u>			
متجمدة	٤	٨٠	
سائلة	١	٢٠	
<u>المياه العذبة السائلة</u>			
المياه الجوفية	٩٩,٠٠	١٩,٠٠	٩٨
البحيرات	١,٠٠	٢,٠٠	١
التربة	٢,٠٠	٤,٠٠	٢,٠٠
الأنهار	١,٠٠	٢,٠٠	١,٠٠
الغلاف الجوي	١,٠٠	٢,٠٠	١,٠٠
الحيوية	٥,٠٠٠	١,٠٠٠	٥,٠٠٠
(الغطاء النباتي)			

إن المياه في حالة حركة دائمة يشار إليها بدورة المياه الطبيعية . وخلال هذه الدورة فإن المياه تتبخر من الغطاء والمسطحات المائية ومن نتح النباتات ، لتجد طريقها إلى الغلاف الجوي ، حيث تتكثف المياه وتهطل إلى سطح الأرض في شكل أمطار وجليد وصقيع وغيرها من أنواع السقوط المائي . أما المياه على سطح التربة فجزء منها يشكل الجريان السطحي المتمثل في البحيرات والبرك والبحار والأنهار والخيران ، وجزء آخر من المياه ينساب مترشحا إلى باطن القشرة الأرضية ليكون خزانات المياه الجوفية والتي تجد طريقها عاجلا أو آجلا إلى سطح الأرض لتشكل الينابيع والعيون الطبيعية . وهذا الموجز المختصر يمثل في صورة مبسطة ما يطلق عليه دورة المياه الطبيعية . غير أن هذه الدورة ربما اختلفت وقطعت في أي جزء من أجزائها كما وأنه لا يوجد نظام موحد في الفترة الزمنية التي تأخذها هذه الدورة ، كما وأن كثافة وفترات الدورة تعتمد على العوامل الجغرافية وعوامل المناخ ومؤثراته {٢} . وكما هو موضح في جدول (١) فإن نسبة المياه المدرجة كمياه عذبة تصل إلى ما يقارب ٥ بالمائة فقط وأن ٦٢ . ٠ بالمائة من هذه المياه متاح للإستخدام البشري .

شكل (١) يبين رسم مبسط لدورة المياه الطبيعية

٣-١ مصادر المياه

تتقسم أهم مصادر المياه إلى ما يلي:

(أ) المياه السطحية: وينطوي تحت لوائها مياه البحيرات والبرك والبحار والأنهار والجدول الصغيرة والخيران والأودية . وتعتمد كمية المياه السطحية على عوامل عديدة متداخلة فيما بينها مثل تقديرات الأمطار الهاطلة بالمنطقة وتضاريس وطبوغرافية المنطقة والعوامل المؤثرة على الطقس من رياح وحرارة ورطوبة وتبخر .

(ب) المياه الجوفية: يتكون هذا المصدر أصلا من المياه السطحية المتسربة عبر التربة . وتعتمد كمية المياه في الخزان الجوفي على عوامل متداخلة مثل: كمية الأمطار ونسبة المياه المتسربة إلى التربة وطبوغرافية وجيولوجية المنطقة وأنواع الطبقات الحاملة للمياه . وعادة توجد المياه الجوفية في المسامات والشقوق وصدوع بنيات الأرض من صخور رسوبية ومتفتته وغيرها .

(ج) مياه الأمطار: وربما أمكن استخدام هذا المصدر من المياه بطرق مباشرة أو غير مباشرة . وتعتمد كمية المياه التي يمكن الحصول عليها من هذا المصدر على كمية الأمطار الهاطلة بالمنطقة وطبوغرافية المنطقة والغلاف النباتي والمدى الزمني وكثافة الأمطار وعوامل المناخ من رياح ورطوبة وحرارة ونفاذية الطبقات الأرضية والمنطقة الجابية لهذه الأمطار .

(د) المياه المعالجة: وهذه من المصادر الغير مباشرة وتأتي إما من تحلية المياه المالحة (سطحية كانت جوفية) أو من إعادة استخدام مياه المجاري بعد خضوعها لوحدات المعالجة المختلفة.

١-٤ خصائص المياه

إن معرفة خصائص وطبيعة المياه والفضلات السائلة هام للعديد من الأسباب منها :

(أ) تقدير درجة التلوث الماضية والحاضرة والمستقبلية .

(ب) التحكم في التدفق والتخلص النهائي .

(جـ) من المؤثرات والمعايير والتشريعات والقوانين .

(د) إنشاء وحدات التنقية والمعالجة .

(هـ) توفير كفاءة وحدات التنقية والمعالجة .

(و) وضع أساط مناسبة للقياس والتحكم .

(ز) تحديد طبيعة العينات .

(حـ) تساعد الإدارة المسؤولة على ضبط الجودة .

وتنقسم الخصائص إلى طبيعية وكيميائية وحيوية وإشعاعية.

١-٤-١ الخصائص الطبيعية أو الفيزيائية

إن الخصائص الطبيعية للسوائل ناتجة من جراء قوى طبيعية، وعليه فإن معرفة وفهم الخصائص الطبيعية للماء والماء الراجع من الأهمية بمكان لتحديد ملائمة وكفاءة عمل وحدات التنقية والمعالجة وإمدادات المياه والتخلص النهائي من السوائل. إن الخصائص الطبيعية سهلة القياس والتحديد ومن أهم هذه الخصائص ما يأتي:

درجة الحرارة:

إن درجة الحرارة هي إحدى الخصائص الطبيعية التي توضح الكثير من المعلومات عن مصدر الماء وحالته . والتغيير في درجة الحرارة ربما كان لتغيرات موسمية أو يومية أو من جراء التخلص من المياه الساخنة أو نتيجة التخلص من الحماة والفضلات الصناعية أو من المحطات الحرارية مما ينتج معه تلوث حراري . وأهم مؤثرات إزدياد درجة الحرارة في المياه ما يلي :

(أ) زيادة التفاعلات الكيميائية ومعدلاتها، إذ أن زيادة درجة الحرارة تضاعف من معدلات تفاعلات الكائنات الحية الدقيقة لكل ١٠ درجات مئوية .

(ب) نقصان درجة تركيز الأكسجين الذائب .

(جـ) نقصان درجة ذوبانية الغازات .

(د) زيادة حاجة الأكسجين الحيا-كيميائي .

(هـ) زيادة معدلات التآكل والتحات .

(و) زيادة حساسية الكائنات المائية للمواد السمية الذائبة في البيئة المائية. فمثلا الزيادة في درجة الحرارة ينجم عنها تغيرات في أنواع الأسماك التي تعيش في الأنهار التي تتلقى فضلات ساخنة، كما وأن درجة الحرارة العالية يمكن أن تساعد في نمو النباتات المائية الغير مرغوبة وطفيليات مياه المجاري .

(ز) زيادة الطعم والرائحة .

(ح) تؤثر على الزمن اللازم للهضم والذي يعتمد على درجة الحرارة التي يعمل عليها جهاز الهضم .

ومن أهم العوامل التي تؤثر على درجة الحرارة ما يلي :

* التغير في دوائر العرض .

* الغطاء المائي والتربة .

* الغطاء النباتي .

* الارتفاع عن سطح البحر حيث تقل درجة الحرارة مع الارتفاع .

* تأثير المدن : إن كمية الحرارة السنوية الناتجة في المدن الكبيرة تعادل بالتقريب ثلث الإشعاع الشمسي الواصل إلى منطقة مماثلة .

مما ورد ذكره يتضح أهمية قياس ومراقبة درجة الحرارة لمصادر المياه والمياه الراجعة . وتبين المعادلة (١) علاقة درجات الحرارة المقاسة بالتدرج المنوي والفهرنهايت.

$$^{\circ}\text{F} = [9/5^{\circ}\text{C}] + 32 \quad (1) \quad ^{\circ}\text{C} = [5/9]^{\circ}\text{F} - 32$$

حيث:

C = درجة الحرارة مقاسة بالمنوي أو السنتغريد.

F = درجة الحرارة مقاسة بالفهرنهايت.

مثال (١)

ما هي درجات الحرارة المماثلة لدرجات ٤١ و ١٥٨ و - ٤٩ درجة فهرنهايت على التدرج المنوي ؟

الحل:

١- استخدم المعادلة رقم (١) لتقدير درجة الحرارة المقاسة بالفهرنهايت للحصول على ما يعادلها بالتدرج المنوي.

$$C = [5/9]^{\circ}\text{F} - 32 \quad (1)$$

٢- أوجد درجة الحرارة المماثلة للدرجة ٤١° ف :

$$C = 41 - 9 / (32 - 41) \times 5 = 50^{\circ}\text{منوية}.$$

٣- أعد الخطوات ١ و ٢ أعلاه لإيجاد درجات الحرارة المطلوبة :

$$C = 158 - 9 / (32 - 158) \times 5 = 70^{\circ}\text{منوية}.$$

$$C = -49 - 9 / (32 - 49) \times 5 = -45^{\circ}\text{منوية}.$$

العكارة

العكارة هي مقياس للمواد العالقة التي تؤثر على مسار حزمة ضوء عبر الماء. وعليه فإن العوامل التي تؤثر على إنتشار الضوء تؤثر بدورها على قياس العكارة ، ومن أهم هذه العوامل {٤،٣} :

- عدد وحجم وشكل الحبيبات .
- دليل إنكسار الحبيبات .
- طول موجة الضوء الساقطة من جهاز قياس العكارة .
- خواص ونوع جهاز القياس .

إن قياس درجة العكارة مؤشر هام لنوع السائل وللتحكم في أعمال وحدات المعالجة والتتقية المختلفة . وحيث أن الحبيبات الغروية لها مقاسات أكبر من متوسط طول موجة الضوء الأبيض ، فعليه فإنها تؤثر على مسار الضوء . وبهذا فإن الضوء المسقط على هذه الحبيبات ينكسر مما يجعل المشاهد الذي يقف في اتجاه عمودي على مسار حزمة الضوء يرى الحبيبة . وهذه الرؤية تسمى ظاهرة تندال. تستخدم هذه الظاهرة لإثبات وجود الحبيبات الغروية نسبة لأن المحاليل الحقيقية والمحاليل الخسنة لا تنتج هذه الظاهرة. كما وأن ظاهرة تندال مستخدمة كأحد المعايير الأساسية لقياس درجات العكارة الصغيرة في المياه المرشحة، وتدعى بالطريقة النيفلوميترية Nephelometric method .

إن العكارة في الماء تتجم بسبب المواد العالقة مثل الطين والغرين والصخور المتكسرة والمواد الصغيرة العضوية والغير عضوية والمواد العضوية الذائبة الملوثة وأكسيد المعادن الترابية وألياف الخضروات والبلانكتون وغيرها من الكائنات الحية الدقيقة . وتحتوي مياه المجاري على مجموعة كبيرة من المواد المكونة للعكارة .

العكارة هي تعبير للخواص الضوئية التي تجعل الضوء ينتشر ويمتص وليس توصيله في خطوط مستقيمة عبر العينة المراد قياس درجة عكارتها. ويستخدم جهاز قياس العكارة لمقارنة توصيل الضوء عبر حبيبات المحلول مع توصيل الضوء عبر محلول قياسي. وفي مجال تنقية المياه تصمم أجهزة قياس العكارة بحيث أن الضوء ينتشتت على زاوية ٩٠ درجة لمسار الضوء المسقط من مصدره. وقياس العكارة لا يعطي معلومات كاملة عن حجم وعدد وكتلة ونوع الحبيبات. فمثلا الحبيبات الصغيرة (أقل من ١، ٠ ميكرومتر) لا تنتشر الضوء المرئي. وعليه فإن المياه الحاوية على ألياف الاسبتس والفيروسات والمواد الدبالية ربما كانت حاوية على تراكيز عالية من هذه المواد غير أن درجة عكارتها ستكون قليلة. كما وأن الحبيبات الكبيرة مثل الطين والبلانكتون والتي لها قطر يعادل تقريبا طول الضوء المرئي تقوم بنشر الضوء بكفاءة أكثر، الشئ الذي ينتج منه درجات عكارة عالية .

تقاس العكارة بمقارنة عينة الماء مع محلول قياسي من السيليكا أو الكاولين أو الفورمازين المبلمر. ويعرف قياس العكارة في الماء بأحد طريقتين :

١- العكارة الناتجة من ١ ملجم/لتر من تربة فوللر Fuller's Earth العالقة في الماء .

٢- طول عمود الماء الذى يحجب ضوء الشمعة القياسية المحترقة والتي ينظر إليها رأسيا خلال العينة. وتسمى وحدة القياس وحدة شمعة جاكسون Jackson Candle Unit, JCU. إن قياس العكارة لعينة ماء رائقة أو لعينة من مياه المجاري المعالجة لا يشكل معضلة ما، غير أن العينة العالية العكارة ربما تحتاج إلى تخفيف لقياس درجة العكارة .

الطعم

من المفترض أن لا تحتوي مياه الشرب على طعم للإستساغة بواسطة المستهلك. إن الطعم والرائحة من الخواص التي يصعب قياسها. ووجود الطعم ربما كان من جراء الشوائب المذابة والتي غالبا ما تكون من أصل عضوى وجدت طريقها للماء. كما وأن هنالك مواد غير عضوية مؤثرة. ومثال للمواد العضوية الجالبة للطعم الفينول، والفينول المكلور، والزيت، والشحم، والدهن، والمواد الكربونية غير المشبعة. ومثال للمواد الغير عضوية الجالبة للطعم الأملاح الذائبة، والحديد، والمنجنيز، والكلوريدات، والغازات الناتجة من تفسخ المواد العضوية مثل كبريتيد الهيدروجين، وتنتج هذه الغازات بفعل الكائنات الحية الدقيقة مثل الطحالب والفطريات والبروتوزوا والبكتريا. ومن الممكن إنتاج الطعم والرائحة من جراء تفسخ النباتات المائية وأوراق الأشجار والأعشاب والحشائش والخضروات أو من النشاط الميكروبي ووجود المواد الكيميائية فى الفضلات الصناعية والمنزلية.

إن قياس الطعم صعب نسبيا كما وأن تقسيم الطعم يتبع الذوق فينقسم الى: حامض ولاذع ومر وحلو. ويمكن تحديده بسهولة وأمان بواسطة أي شخص بتذوق عينة من مياه الشرب، غير أن الفرد يحجم عن تحديد الطعم لمياه المجاري التي لم تخضع بعد للمعالجة.

الرائحة

دائما يكون المصدر الجيد للماء خال من الرائحة. ووجود الرائحة في الماء ربما كان بسبب الآتي:
(أ) تفسخ مركبات النيتروجين والفسفور والكبريت العضوية والغير عضوية .
(ب) تفسخ الطحالب والكائنات الحية الدقيقة .
(ج) إنتاج مواد مثل الأمونيا والكبريتات والكلور والسيانيد وكبريتيد الهيدروجين .

من السهولة بمكان إختبار الروائح ذات الصلة بمياه الشرب . إن الروائح الكريهة عادة ما تكون لها علاقة مع مياه المجاري التي لبثت مدة طويلة في المجاري، حيث البيئة اللاهوائية مما يغير معه لون الحمأة إلى الأسود وإنبثاق غاز كبريتيد الهيدروجين .

من أهم الآثار الناجمة من الروائح الكريهة : الإجهاد النفسى والصداع والإغماء والإستفراغ والإحباط الذهني والتعب وفقدان الشهية وصعوبة التنفس وتهيج العيون والأرق وقلة الإنتاج وإنخفاض كفاءة العمل. كما وأن إنتشار الروائح الكريهة لمسافات أبعد من محطات معالجة الفضلات ربما ينتج عنه نقصان في عائدات السوق والضرائب والبيع في المنطقة المتأثرة .

يركز قياس الروائح على الشدة والطبيعة والتحديد والمواصفة. ويبين جدول (٢) أهم أنواع الروائح الكريهة .

جدول (٢)
أهم أنواع الروائح الكريهة {٤}

نوع الرائحة	المواد المسؤولة عن الرائحة
أمونية	غاز النوشادر، الأمونيا
لحم متفسخ	الأمينات الثنائية والطحالب والبروتوزوا
برازية	مواد الأسكاتول
سمكية	$C_8 H_5 NH CH_3$
عشبية	الأمينات، الطحالب، البروتوزو
بيض فاسد	الطحالب
ملفوف (كرب) فاسد	كبريتيد الهيدروجين
ظربان (حيوان)	الكبريتيدات العضوية
	مركبتان Mercaptans

تتغير قيمة المشرف للرائحة Odour Threshold (حد الرائحة الأقل للمادة، والذي لا يمكن كشفه بأنف الإنسان) تغيراً كبيراً من شخص إلى آخر، غير أنه يمكن تحديدها بواسطة مجموعة من الأشخاص المدربين. وتقدر قيمة المشرف بأنها أقل درجة تركيز يتعرف عليها نصف عدد المجموعة المدربة . هنالك العديد من الطرق المستخدمة لتقليل الروائح الكريهة والطعم البغيض مثل :

- التحكم في الروائح عند المصدر .
- الإمتزاز بالكربون النشط .
- التهوية .
- التختثر (الترويب) والترشيح .
- الأزونة أو الكلورة .
- الأكسدة بمركبات الكلور (مثل الكلورامين وأكاسيد الكلور) .

اللون

تتكون الألوان في المياه من المصادر الآتية :

- مصادر طبيعية مثل مستخلصات حطام المواد العضوية مثل أوراق الأشجار والخشب وفحم المستنقعات .
- Peat .
- مصادر صناعية مثل فضلات المناجم وصناعة النسيج والورق والأصبغ .
- الحماة المنزلية .

إن اللون في المياه الطبيعية ينتج من العديد من الجزيئات العضوية الكبيرة . والماء المطلق لا لون له . واللون في الماء يتأتى من وجود أيونات معادن طبيعية 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. وتعد أحماض الدبال من أكبر مصادر اللون النباتية وهذه الأحماض تنتج اللون الأصفر البني، هذا بالإضافة إلى مواد الدباغة والدبال الناتج من تفسخ اللجنين lignin .

وينقسم اللون إلى الآتي:

(أ) اللون الظاهري: نسبة إلى وجود مواد في المحلول بالإضافة إلى مواد عالقة .

(ب) اللون الحقيقي: نسبة إلى وجود الخضروات ومستخلصات المواد العضوية الغروية. عادة ما ينتج اللون الحقيقي بفضل مواد في المحلول. أما اللون الظاهري فعادة ما يحدث من جراء المواد العضوية العالقة. كما وأن اللون يمكن أن يتأتى من العديد من المواد الكيميائية مثل الأصباغ والمعادن الذائبة كالحديد والمنجنيز ومن بقايا فضلات النباتات والحيوانات ومن المواد المتفتتة. ومن أهم المواد الملونة أحماض الدبال. والأحماض الدبالية عبارة عن مواد ناتجة من النباتات وهي مركبات متبلرة مع مجموعات كاربوكسيلية وفينولية وتوجد كجزيئات كبيرة أو كمواد غروية.

تزداد شدة اللون بازدياد الرقم الهيدروجيني. ويمكن إيجاد اللون بواسطة إحدى الطرق التالية :

• طريقة المقارنة النظرية للعينة مع محاليل ذات درجات لون معروفة بواسطة أنابيب نيسلر Nessler tubes أو بالمقارنة مع أقراص اللون الزجاجية المدرجة والمخصصة لقياس اللون .

• طريقة المطياف الضوئي Spectrophotometer .

• الجهاز الحقلى Field kit .

تعتمد وحدة اللون على محلول قياسي يحتوى على بلاتينات البوتاسيوم المكلورة وكلوريد الكوبالت المذابين في محلول حمض الهيدروكلور. ويستخدم المحلول الآتى لقياس اللون :

يذاب مقدار ٥٠٠ ملليجرام من بلاتينات البوتاسيوم المكلورة مع ٢٥٠ ملليجرام من كلوريد الكوبالت $CoCl_2$ مذابة في ١٠٠ مللتر من حمض الهيدروكلور المركز ومخففة الى لتر. هذا المحلول يمثل

٥٠٠ وحدة لون حقيقى TCU ويسمى أحيانا وحدة الهيزن Hazen. وبالنسبة لمياه الشرب فإن أعلى قيمة للون لا تتجاوز ١٥ وحدة لون حقيقى ، غير أن الوحدة المفضلة لها هي ٥ وحدات لون حقيقى.

والكثير من الفضلات الصناعية ذات لون عالى وبعضها يحتوى على مواد ملونة تقاوم التفكك الحيوى، ومثال لهذا النوع من الفضلات تلك الناتجة من لب الخشب والمحتوية على مشتقات اللجنين. ومن

المعروف أن الفضلات السائلة الحديثة ذات لون رمادى، غير أنه فى حالة تفسخ المواد العضوية بفعل الكائنات الحية الدقيقة وعند نقصان الأكسجين فإن اللون يتغير الى الأسود {٥} .

تدل البيانات المدونة أدناه على نسبة الإمتصاص المنوية لعينات أمونيا. أوجد درجة تركيز الأمونيا للعينة المجهولة .

تركيز الأمونيا فى العينة (ملجم/لتر)	نسبة الإمتصاص المنوية (%)
العينة الغفل	صفر
١	٦,٥
٢	١٣,٥
٣	٢٠
٤	٢٧
العينة المجهولة	٣٦
٦	٤٠

الحل:

- ١ - بافتراض أن شدة العينة ودرجة إمتصاص الضوء تتناسب طرديا مع درجة تركيز الأيونات فعليه يمكن عمل رسم بياني لدرجة تركيز الأمونيا مع نسبة الإمتصاص المنوية .
- ٢ - أوجد من الرسم البياني درجة تركيز العينة المجهولة المرادفة لنسبة إمتصاص منوية تساوى ٣٦ . ومن الرسم يمكن إيجاد درجة تركيز العينة المجهولة لتعادل ٤,٥ ملجم/لتر .

الموصلية الكهربائية Conductivity

الموصلية الكهربائية هى عبارة عن إصطلاح عددى لقابلية محلول مائى لحمل تيار كهربائى . وهذه القابلية تعتمد على عدة عوامل مثل :

- نوع ووجود الأيونات .
- درجة التركيز الكلية للأيونات .
- حركة وتكافؤ ودرجات تركيز الأيونات .
- درجة حرارة المحلول .

معظم محاليل الأحماض الغير عضوية والقواعد والأملاح عامة تكون لها موصلية كهربائية جيدة . 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 ما بين ٥,٢ الى ٢ ميكروموهوس/سم ، ويزداد مقدار الموصلية الى ما بين ٢ الى ٤ ميكروموهوس/سم بعد بضع أسابيع من تخزينها . وتعزى هذه الزيادة لإمتصاص ثنائى أوكسيد الكربون من الجو وإمتصاص الأمونيا بنسبة أقل .

إن الماء النقي موصل رديء للكهرباء كما وأن زيادة الشوائب والأملاح الذائبة فى الماء ترفع من مقدار الموصلية ، وعليه فتستخدم أحيانا الموصلية للماء لتبيان مدى نقاء الماء أو تلوثه ، وذلك لأن الموصلية تتناسب مع درجة تركيز المواد الصلبة كما هو موضح فى المعادلة ٢ .

(٢)

$$a \cdot EC = TDS$$

حيث:

a - حد ثابت.

EC = الموصلية الكهربائية للمحلول (ميكروموهوس / السم) .

TDS = درجة تركيز المواد الصلبة (ملجم / لتر) .

مثال {٣}

درجة تركيز المواد الصلبة لعينة من الماء تساوى ١٤٠٠ ملجم/لتر والموصلية الكهربائية لها تعادل ٢٠٠٠ ميكروموهوس/سم . أوجد الموصلية الكهربائية لعينة أخرى تحتوى على ٥٩٥٠ ملجم/لتر من المواد الصلبة .

الحل:

١ - استخدم المعادلة رقم ٢ لإيجاد الحد الثابت :

$$a = TDS/EC = 2000/1400 = 1.43$$

٢ - أوجد الموصلية الكهربائية للعينة الأخرى باستخدام القانون المدرج فى الخطوة ١ أعلاه :

$$EC_2 = TDS_2/a = 5950/1.43 = 4160.8 \text{ ميكروموهوس/سم}$$

الملوحة : Salinity

الملوحة عبارة عن المواد الصلبة الذائبة فى الماء بعد أن يتم تحويل كل الكربونات الى أكاسيد وتغيير كل البروميد واليوديد الى كلوريد وبعد أكسدة كل المواد العضوية. ويمكن إيجاد الملوحة من المعادلة ٣ .

(٣)

$$\text{ملو} = 1.805 \cdot \text{Chlorinity} + 0.03 \quad (\text{Salinity} = 0.03 + 1.805 \cdot \text{Chlorinity})$$

حيث:

ملو - درجة الملوحة للعينة (جم/كجم) .

كلو - الكلورة (جم/كجم) .

من مصادر الكلوريد فى المياه الطبيعية تتجم من :

- نض الصخور والتربة الحاوية على الكلوريد .
- من الفضلات السائلة الزراعية والصناعية والمنزلية .
- المياه المالحة خاصة فى المناطق الساحلية .

المواد الصلبة :

تعرف المواد الصلبة بأنها تلك المواد الكلية المتبقية عند التبخر والتجفيف عند درجة حرارة ١٠٣ الى ١٠٥ درجة مئوية {٦} .

وتقسم المواد الصلبة الى :

(أ) المواد الصلبة الذائبة : وهذه تتكون من الأملاح غير العضوية وبعض التركيزات للمواد العضوية فى المياه الصالحة للإستعمال. إن المياه التى تحتوى على كميات عالية من المواد الصلبة الذائبة لها قبول وإستساغة أقل ولا ترضى المستهلك نفسيا. أما المياه المحتوية على نسبة عالية من المعادن فهى غير مقبولة للعديد من الصناعات .

(ب) المواد الصلبة العالقة : بالنسبة للمياه تكون هذه المواد إما غير عضوية مثل الطين والغرين والتربة أو تكون عضوية مثل ألياف النبات والمواد الصلبة الحيوية كالأطحالب والبكتريا. وتعرف المواد الصلبة العالقة بأنها المواد الصلبة التى يمكن فصلها بالترشيح من خلال ورقة ترشيح. والمياه الحاوية على مواد صلبة عالقة غير مرغوبة للإستحمام، كما وأنها تمثل مناطق إمتزاز للمواد الكيميائية والحيوية.

(ج) المواد الصلبة الطيارة والثابتة: وهذه المواد تعطى مقياس لكمية المواد العضوية الموجودة فى العينة. ويتم هذا الإختبار بحرق المواد العضوية ومن ثم تحويلها الى ثانى أوكسيد الكربون والماء عند درجة حرارة متحكم بها وتصل الى ٥٥٠ درجة مئوية، وذلك بغية منع تحلل وتطاير المواد غير العضوية.

(د) المواد المترسبة: وهذه يقصد بها المواد العالقة والتى يمكن ترسيبها فى حالة سكون تحت تأثير قوى الجاذبية الأرضية.

أما بالنسبة لمياه المجارى فإن المواد الصلبة تقسم الى الأنماط المينة فى جدول ٣.

جدول (٣)

تقسيم المواد الصلبة {٧، ٨}

المواد الصلبة	مقاس الحبيبية = () ٦-١٠* متر
المترسبة	أكبر من ١٠٠
المفرطة الغروية	١٠٠ - ١
الغروية الحقيقية	١ -١
الذائبة	أقل من ٠.٠٠٠١

وأستخدم أقل مقاس (٦-١٠* متر) للمواد الصلبة الغروية الحقيقية لأنه يمثل المقاس الذى يبدأ من بعده التحكم فى صفات معظم الحبيبات بواسطة مكوناتها الكيميائية أكثر من المقاس والمساحة السطحية .

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

مثال (٤)

أوجد درجة تركيز المواد الصلبة الكلية والطيارة والثابتة لعينة ما مستخدما المعطيات التالية :

وزن البوتقة الفارغة = ٤٤,٩٣٤٢ جم

حجم العينة الموضوعة فى البوتقة والتي تم تبخيرها = ١٠٠ ملتر

وزن البوتقة الثابت مع وزن المواد الصلبة المجففة فى درجة حرارة ١٠٤ درجة مئوية = ٤٤,٩٦٤٢ جم

وزن البوتقة والمواد المجففة لدرجة حرارة ٥٥٠ درجة مئوية = ٤٤,٩٤٤٢ جم .

الحل:

١ - أوجد كتلة المواد الصلبة الكلية :

كتلة البوتقة + المواد الصلبة = ٤٤,٩٦٤٢ جم

كتلة البوتقة الفارغ = ٤٤,٩٣٤٢ جم

كتلة المواد الصلبة = ٠,٣٠٠ جرام = ٣٠٠ ملجم

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

$$= \frac{٣٠٠}{١٠٠} = ٣٠٠ / ١٠٠٠ \text{ ملجم/لتر} .$$

٣ - أوجد كتلة المواد الصلبة الثابتة :

كتلة البوتقة + المواد الصلبة الثابتة = ٤٤,٩٤٤٢ جم

كتلة البوتقة = ٤٤,٩٣٤٢ جم

كتلة المواد الصلبة الثابتة = ٠,١٠٠ جم = ١٠٠ ملجم/لتر

٤ - أوجد درجة تركيز المواد الصلبة الثابتة = $\frac{١٠٠}{١٠٠٠} = ١٠٠ / ١٠٠٠ \text{ ملجم/لتر}$

٥ - أوجد درجة تركيز المواد الصلبة الطيارة = تركيز المواد الصلبة الكلية - تركيز المواد الصلبة الثابتة .

$$= ٣٠٠ - ١٠٠ = ٢٠٠ \text{ ملجم/لتر} .$$

الكثافة :

تعرف كثافة السائل بأنها عبارة عن كتلته مقسومة على حجمه. وكثافة الماء عند درجة حرارة ٤° م

وتحت ضغط جوى ٧٦٠ ملم زئبق تعادل ١٠٠٠ كلجم/م^٣. ومقلوب الكثافة يسمى الوزن النوعى،

ويعرف بأنه حجم السائل الذى يحوى وحدة كثافته. أما نسبة كثافة المادة الى كثافة حجم مماثل من الماء

(فى الظروف القياسية) يسمى النقل النوعى .

النقل النوعى = كثافة السائل/كثافة الماء

(٤)

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

الإشعاعية :

الإشعاعية خاصية للذرات الموجودة فى نوى مواد معينة تشع منها جسيمات وتصدر عنها إشعاعات تتبع ظاهرة القبض على إلكترون من مدار ذرة أو عند خضوع ذرة للإنتشار اللحظى. تقسم الإشعاعية الى :
(أ) إشعاعية مصنعة : وهذه من صنع الإنسان وتنتج بواسطة قصف ذرة بجسيم أو عند التشعيع الكهرومغناطيسى.

(ب) إشعاعية مستحثة : وهذه الإشعاعية تتولد فى مادة ما بعد قصفها بنباترون جسيمات أخرى. ويتولد نتيجة لهذا النشاط إشعاعية طبيعية إذا ما تمت عبر تفاعلات ذرية طبيعية أو إشعاعية مستحثة إذا كانت هذه التفاعلات مسببة بواسطة الإنسان .

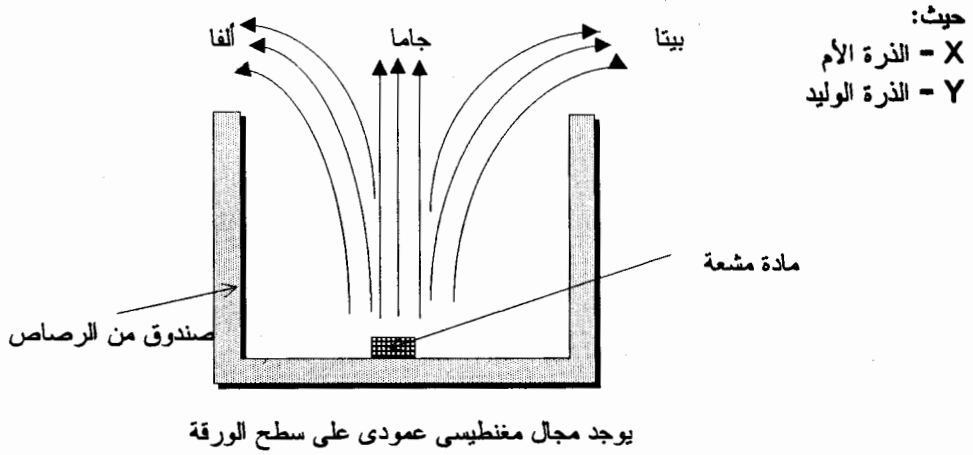
(ج) إشعاعية طبيعية : وهذه الخاصية الإشعاعية تحدث من قبل أكثر من ٥٠ مادة مشعة {٩}. ويقال أن ذراتها فى حالة غير مستقرة عندما تكون نسبة البروتونات والنيوترونات فى النواة مختلفة من النسب المعروفة للنوى المستقرة . وهذه النوى الغير مستقرة تنتج إعادة تنظيم ذرى لحظى منتجة ومحررة لطاقة على شكل جسيمات أو إشعاع كهرومغناطيسى .

يحتوى الإشعاع الجسمى على جسيمات ألفا وبيتا. أما الإشعاع الكهرومغناطيسى فيضم إنبعثات طاقة تسمى إنبعثات جاما (انظر شكل رقم ٢) .

وإنبعثات ألفا عبارة عن جسيمات تتحرك ببطء وقليلة نسبة الشحنة الكهربائية الى الكتلة. وإنبعثات ألفا عبارة عن ذرات هليوم فقدت إثنين من إلكتروناتها المدارية ، وبذا فإنها تحمل شحنة كهربائية موجبة. وتنفذ هذه الجسيمات من المادة المشعة بنفس السرعة تقريبا (تعادل ١٠ بالمائة من سرعة الضوء). إنبعثات ألفا يبلغ مداها بضع سنتيمترات فى الهواء، ويمكن إيقاف معظمها فى الهواء أو باستخدام صفيحة رقيقة من رقائق الألومنيوم أو بواسطة ورقة عادية. ولهذه الإنبعثات قوة تأين عالية فى حيز مداها.

أما جسيمات بيتا فلها سرعة كبيرة تتراوح بين ٣٠ الى ٩٩ بالمائة من سرعة الضوء ، كما وأنها عالية فى نسبة الشحنة الكهربائية الى الكتلة . وجسيمات بيتا عبارة عن سريان من الإلكترونات ذات الطاقة العالية المنبعثة من مصدر إشعاعى، وتسير بسرعات متباينة تقارب سرعة الضوء (٣ ١٠٠ م/ث). وتلك الجسيمات الأكثر طاقة قادرة على اختراق طبقة من الألومنيوم سمكها بضع ملليمترات. وطبيعة تأين جسيمات بيتا أقل كثيرا من جسيمات ألفا. وعندما ينبثق من ذرة مشعة جسيم ألفا أو بيتا فإنها تغير طبيعتها الكيميائية. وعندما ينبثق جسيم ألفا فإن رقم كتلة الذرة يقل بمقدار ٤، كما ويقل الرقم الذري بمقدار ٢ كما هو موضح فى المعادلة ٥ .

(٥)



شكل (٢)
انبعاثات المادة المشعة

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 الإشعاع فقدان جسيم ألفا من الراديوم ليتحول إلى رادون .
لما فقدان جسيم بيتا فلا يتبعه تغير في رقم الكتلة للذرة المشعة، غير أن الرقم الذري يزيد بواحد كما هو موضح في المعادلة ٦ .

(٦)



حيث:
e = جسيم بيتا (إلكترون).

ومثال لإشعاع بيتا تحول نظير اليورانيوم إلى نبتونيوم عندما تقصف نواة ذرة بجسيم مثل ألفا (He) أو بيتا (e) أو نيوترون (n) أو بروتون (H) أو ديوتيريوم (D)، فتقوم النواة بقبض الجسيم المقذوف. وكنتيجة لهذا فإن الذرة تتحول إلى عنصر جديد أو نظير للعنصر الأصلي . وعملية القبض يمكن أن يتبعها قذف جسيمات من نواة الذرة .
لما جسيمات جاما فإنها إشعاعات كهرومغناطيسية حقيقة تتحرك بسرعة الضوء . وهذه الأشعة تحتل حزمة بين الأشعة السينية بموجة قصيرة الطول، وعليه فإن لها قدرة كبيرة للإختراق. وأشعة جاما الحاقية على أكبر قدر من الطاقة، لها قدرة فائقة للتغلغل والإختراق مما يحتاج معه إلى عدة سنتمترات

الحاوية على أكبر قدر من الطاقة، لها قدرة فائقة للتغلغل والإختراق مما يحتاج معه إلى عدة ستمترات من الرصاص لتعمل كدرع لصدّها. أما كمية الطاقة الإشعاعية فيمكن تقديرها من صيغة أينشتاين للطاقة والكتلة كما موضح في المعادلة ٧ .

(٧)

$$E = mv^2$$

حيث:

$$E = \text{طاقة الإشعاعية المنبعثة (جم*سم/ ثانية/ إيرغ) .}$$

$$m = \text{كتلة الجسم (جم) .}$$

$$v = \text{سرعة الضوء} = 3 \times 10^{10} \text{ (م/ ثانية) .}$$

لكل عنصر إشعاعي فترة تسمى عمر النصف. ويعرف عمر النصف بالزمن اللازم لاضمحلال نصف كتلة الذرات في أي عينة من العنصر. ويبين جدول ٤ عمر النصف لعدد من الذرات المشعة .

جدول (٤)

بعض نظائر العناصر المشعة {٥}

العنصر	الرمز	عمر النصف	الجسيم المنبعث
بروم	Br 78	٦,٤ دقيقة	بيتا وجاما
الكربون	C ١4	٥٧٣٠ سنة	بيتا
كوبالت	Co 60	٥,٣ سنة	بيتا وجاما
سيزيوم	Cs ١37	٣٠ سنة	بيتا
فلور	F 131	٨ يوم	بيتا وجاما
هايدروجين	H 3	١٢,٣ سنة	بيتا
رصاص	Pb 214	٢٦,٨ دقيقة	بيتا
بوتاسيوم	K 40	١,٢٨ × ١٠ ^٩ سنة	بيتا
صوديوم	Na 24	١٥ ساعة	بيتا وجاما
فسفور	P 32	١٤,٣ يوم	بيتا
بولونيوم	Po 218	٣,٠٥ دقيقة	ألفا
راديوم	Ra 226	١٦٠٠ سنة	ألفا
استرونسيوم	Sr 90	٢٨,١ سنة	بيتا
ثوريوم	Th 234	٢٤,١ يوم	بيتا
يورانيوم	u 234	٢,٤٨ × ١٠ ^٦ سنة	ألفا
يورانيوم	U 238	٤,٥١ × ١٠ ^٩ سنة	ألفا

الوحدة الإشعاعية تسمى كوري، وتعرف بأنها عبارة عن عدد التلاشي الحادث في الثانية لجرام واحد من الراديوم النقي. ومعدل التلاشي للنواة يمكن تمثيله كما موضح في المعادلة ٨ .

$$\text{Log } n_t/n_0 = -k_t/2.303 \quad (٨)$$

حيث: n_0 = عدد النوى الموجودة في الزمن صفر

n_t = عدد النوى الموجودة في الزمن ن

k_t = ثابت التلاشي لتفاعل محدد

$$k_t = 0.693/t_{0.5}$$

(٩)

$t_{0.5}$ = عمر النصف للعنصر المعين.

الخصائص الإنسيابية للموانع (اللزوجة) Rheological Properties

والجهاز الأساسي لدراسة خاصية إنسياب الموانع والتغير فيها هو جهاز قياس اللزوجة. واللزوجة هي

إحدى الخواص الطبيعية السهلة القياس، وأضحى بليز أن الدلائل والسوائل الأخرى عندما تعمل عليها قوة

من قبل القص المقاوم يتناسب طردياً مع معدل القص كما موضح في المعادلة ١٠ .

(١٠)

$$\tau = F = -\mu \cdot A \cdot \frac{dv}{dy}$$

حيث:

τ = قوة قص (نيوتن) .

μ = لقص المقاوم (نيوتن / م^٢) .

A = المساحة المعرضة لقوى القص (م^٢) .

$\frac{dv}{dy}$ = معدل القص = ممال السرعة (/ ث) .

τ/μ = ثابت التناسب = معامل لزوجة المائع (نيوتن . ث / م^٢) .

عرف معامل اللزوجة الديناميكي بأنه قوة القص على وحدة المساحة المطلوبة لسحب طبقة واحدة من

سائل بوحدة سرعة عبر طبقة أخرى خلال وحدة مسافة في المائع، وتميز بالنيوتن* ثانية على المتر

م^٢.

عرف معامل اللزوجة الكينماتية بأنه نسبة اللزوجة الديناميكية للكثافة، وتميز بالمتر المربع على الثانية

م^٢/ث طبقاً للمعادلة ١١ .

(١١)

$$\mu = \mu/\rho$$

حيث:

μ = درجة اللزوجة الكينماتية (م^٢ / ث) .

μ = درجة اللزوجة الديناميكية (نيوتن . ث / م^٢) .

ρ = كثافة المائع (كجم / م^٣) .

الوحدة الإشعاعية تسمى كورى، وتعرف بأنها عبارة عن عدد التلاشي الحادث في الثانية لجرام واحد من الراديوم النقي. ومعدل التلاشي للنواة يمكن تمثيله كما موضح في المعادلة ٨ .

$$(٨) \quad \text{Log } n_t/n_0 = -k_t/2.303$$

حيث:

n_0 = عدد النوى الموجودة في الزمن صفر

n_t = عدد النوى الموجودة في الزمن ن

k_t = ثابت التلاشي لتفاعل محدد

$$(٩) \quad k_t = 0.693/t_{0.5}$$

$t_{0.5}$ = عمر النصف للعنصر المعين.

الخصائص الإنسيابية للموانع (اللزوجة) Rheological Properties

والجهاز الأساسي لدراسة خاصية إنسياب الموانع والتغير فيها هو جهاز قياس اللزوجة. واللزوجة هي إحدى الخواص الطبيعية السهلة القياس. أوضح نيوتن أن الماء والسوائل الأخرى عندما تعمل عليها قوة قص فإن القص المقاوم يتناسب طردياً مع معدل القص كما موضح في المعادلة ١٠ .

$$(١٠) \quad \tau = F = -\mu \cdot A \cdot dv/dy$$

حيث :

F = قوة القص (نيوتن) .

τ = القص المقاوم (نيوتن / م^٢) .

A = المساحة المعرضة لقوى القص (م^٢) .

dv/dy = معدل القص = ممال السرعة (/ ث) .

μ = ثابت التناسب = معامل لزوجة المائع (نيوتن . ث / م^٢) .

ويعرف معامل اللزوجة الديناميكي بأنه قوة القص على وحدة المساحة المطلوبة لسحب طبقة واحدة من المائع بوحدة سرعة عبر طبقة أخرى خلال وحدة مسافة في المائع، وتميز بالنيوتن*ثانية على المتر المربع.

ويعرف معامل اللزوجة الكينماتية بأنه نسبة اللزوجة الديناميكية للكثافة، وتميز بالمتر المربع على الثانية (م^٢/ث) طبقاً للمعادلة ١١ .

$$(١١) \quad \mu = \mu / \rho$$

حيث:

μ = درجة اللزوجة الكينماتية (م^٢ / ث) .

μ = درجة اللزوجة الديناميكية (نيوتن . ث / م^٢) .

ρ = كثافة المائع (كجم / م^٣) .

إن اللزوجة لسائل ما في درجة حرارة ثابتة من الخواص الطبيعية للسائل. وقد وجد أن علاقة الإجهاد للعديد من السوائل ومعدل القص ليست نسبة بسيطة. وهذه السوائل تسمى سوائل غير نيوتونية مثل الحماة المنبثقة بعد معالجة مياه المجارى.

والعوامل المؤثرة على درجة اللزوجة هي:

- التغير في درجة الحرارة: تقل لزوجة السوائل بزيادة درجة الحرارة، غير أن لزوجة الغازات تزداد بزيادة الحرارة .
- معدل تغير إجهاد القص .
- حالة الإنسياب والدفق للمائع .
- خواص المائع .

وتقسم الموانع بناء على إنسيابها ودرجة لزوجتها الى (أنظر شكل ٣) :

(أ) الموانع النيوتونية : وهذه الموانع لا تظهر بنية داخلية مترابطة، وعليه فيبدأ القص مباشرة مع عمل الإجهاد، ولا تعتمد اللزوجة على معدل القص .

(ب) موانع لا تعتمد على الزمن: وهذه الموانع يمكن تقسيمها الى عدة أقسام تحوى :
• اللدائن الكاذبة Pseudoplastic أو ترقيق القص: وهذه الموانع تصير أقل لزوجة بزيادة معدل القص .

• الموانع المتمددة Dilatant أو تغليظ القص : وهذه الموانع معاكسة لللدائن الكاذبة. وهذه الظاهرة غير شائعة كما ولها علاقة بالعوالق التى بها جسيمات متناثرة .

• اللدائن اللزجة Viscoplastic أو لدائن بنجهام Bingham : وفى هذه الموانع فإن الإجهاد مطلوب ليبدأ المائع فى الإنسياب عند وجود طور صلب للعوالق بدرجة تركيز مناسبة لتكوين بنية مستمرة وغير موجهة .

(ج) موانع تعتمد على الزمن: هذا النوع من الموانع يظهر آثار إنسياب معتمدة على الزمن. وهذه الآثار ربما كانت عكسية أنيا أو غير عكسية. كما ويمكن تقسيم هذا النوع من الموانع الى :

• موانع تكسوتروبية Thixotropic fluids: وهذه الموانع تحتوى على بنية يسهل كسرها مع الزمن وذلك عند قصها بمعدل معين حتى بلوغ الإتزان. إن القوى الداخلية التى تعمل على إعادة بناء البنية تساوى القوى العاملة عند حدوث الإتزان. تظهر فى هذا النوع من الموانع تخلف أنشوطى hysteresis عند زيادة معدل القص الى أن يصل أقصاه عندها يبدأ فى التناقص مع الزمن الى أن يصل الى أقل قيمة .

• الموانع الغير تكسوتروبية Anti-thixotropy أو الموانع المتلبنة Rheopexy : وهذه الموانع تعمل فى إتجاه معاكس للموانع التكسوتروبية .

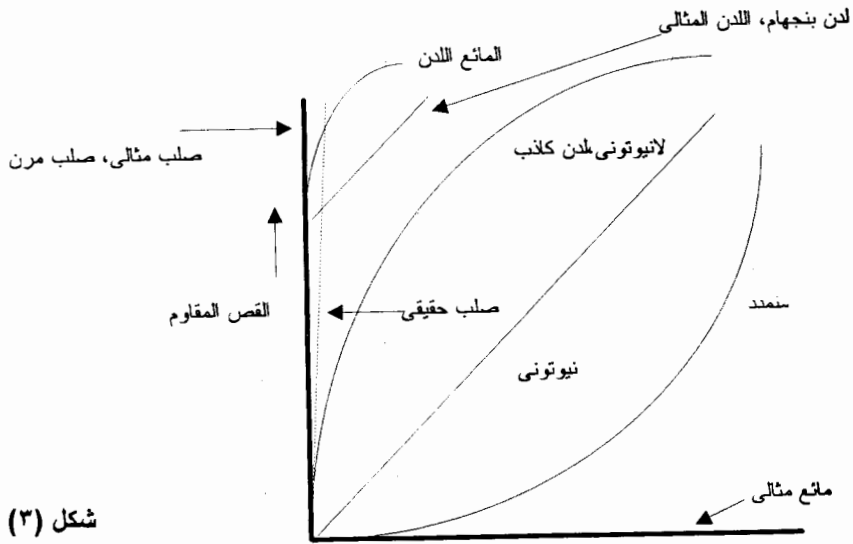
بالنسبة للحماة المهضومة الناتجة من عمليات معالجة مياه المجارى فقد وجد أنها عبارة عن سائل غير نيوتونى وله سلوك وخواص اللدائن الكاذبة ولدائن بنجهام مع وجود سلوك تكستوتروبي بسيط {١٠، ١١، ١٢} .

محتوى النداءة للحماة : Moisture content

تحتوى الحماة وماء المجارى القليل من المواد الصلبة، إذ قلما تزيد درجة تركيز المواد الصلبة للحماة الخام عن ٦ بالمائة، وفى معظم محطات المعالجة الابتدائية فإن درجة تركيز المواد الصلبة في الحماة لا تزيد عن ١ بالمائة {١٠}، وعليه فإن التكاليف المتعلقة بنقل الحماة غالبا ما يكون بسبب محتوى النداءة {١٣}. ويمكن إيجاد محتوى النداءة من المعادلة ١٢ .

محتوى النداءة = وزن الماء * ١٠٠ / وزن الحماة الرطبة

(١٢)



شكل (٣)

١-٤-٢ الخواص الكيميائية
معدل القص ، معدل السرعة أنواع الموائع على حسب خصائصها الإنسيابية {٥}

ومن أهم الخواص الكيميائية فى مجال المياه ما يلي :

الرقم الهيدروجيني (pH)

الرقم الهيدروجيني عبارة عن مقياس طبيعية حمضية أو قلوية المحلول، ويؤثر على مياه الشرب ومياه المجارى. ويمكن إيجاد الرقم الهيدروجيني باستخدام المعادلة ١٣ .

(١٣)

$$pH = - \log [H^+] = \log (1/[H^+])$$

حيث:

pH - الرقم الهيدروجيني

[H⁺] - درجة تركيز أيون الهيدروجين.

ويتراوح الرقم الهيدروجيني ما بين صفر و ١٤، حيث العدد ٧ يمثل درجة التعادل وما دون ٧ يعتبر حامض وما يعلو ٧ هو قلوي .

إن الرقم الهيدروجيني من الخواص الهامة للمياه الطبيعية ولمياه المجاري. وإن معظم الكائنات الحية تعيش في مدى رقم هيدروجيني ضيق وحر. كما وأنه يصعب معالجة مياه المجاري بالطرق الحيوية إذا كان الرقم الهيدروجيني غير مناسب لمعيشة البكتريا، وإذا لم يتم تغيير درجات التركيز قبل الصرف فإن ماء الصرف قد يغير الرقم الهيدروجيني في المياه الطبيعية {٤}. الرقم الهيدروجيني من أنسب الطرق للتحكم في النمو الحيوي. إن درجة تركيز أيون الهيدروجين تحدث تمسخ لأهم إنزيمات البروتين على الرقم الهيدروجيني القليل. لا تعيش معظم الكائنات الحية الدقيقة في رقم هيدروجيني أقل من ٤. غير أن القليل من البكتريا المؤكسدة للكبريتات يمكن وجودها في رقم هيدروجيني ١. كما وأن القليل جداً من الكائنات المجهرية يمكنها العيش في رقم هيدروجيني أعلى من ١١، وذلك لأنه عندما يزيد الرقم الهيدروجيني عن ٩، ٥ فإن أيون الهيدروكسيل يبدأ في استحداث تأثيرات سامة {٥}. ويمكن معالجة الرقم الهيدروجيني بإضافة حامض أو قلوي، كما في مجال تنقية المياه عندما تستخدم مركبات مثل حمض الكبريت وحمض الهيدروكلور HCl وثاني أكسيد الكربون وهيدروكسيد الكالسيوم وكربونات الصوديوم وهيدروكسيد الصوديوم .

مثال (٥)

أي من هذه المحاليل أكثر حامضية: محلول رقمه الهيدروجيني ٣,٥ أم محلول يحتوي على ٥...٠٠٠ ملجم أيون هيدروجين في اللتر ؟

الحل:

١- الرقم الهيدروجيني للمحلول الأول: ٣,٥ .

٢- أوجد الرقم الهيدروجيني للرقم الثاني :

$$\text{pH} = -\text{Log} [\text{H}^+] = -\text{Log} ٥/١٠٠٠ = ٣,٤$$

٣- بما أن الرقم الهيدروجيني للمحلول الثاني أكبر من المحلول الأول فإن المحلول الأول أكثر حامضية

القلوية

القلوية هي مقياس سعة المحلول المنظم Buffering capacity. وتنتج القلوية بسبب مركبات الفوسفات الكيميائية الذائبة من الصخور والتربة، وأهم الأيونات المسببة للقلوية أيونات الهيدروكسيل والكربونات والبيكربونات. وعادة تتكون هذه المركبات من كربونات وبيكربونات الصوديوم والبوتاسيوم والماغنسيوم والكالسيوم. كما وتساهم في القلوية أيونات أخرى مثل أيونات الفوسفات والسيلكون و PO_4^{3-} و HPO_4^{2-} ، PO_4^- ، HSiO_3^- ، H_2BO_3^- ، HS^- غير أنها تتواجد بدرجات تركيز قليلة .

وعادة تكون مياه المجارى قلوية ، وفى حالة عملية الهضم اللاهوائى فلا بد من وجود قلوية كافية لضمان عدم هبوط الرقم الهيدروجينى الى اقل من ٦.٢ وذلك لأن بكتريا الميثان لا تعمل فى درجة اقل من هذه الدرجة. وعندما تكون عملية الهضم مقبولة فإن القلوية عادة ما تتراوح بين ١٠٠٠ الى ٥٠٠٠ ملجم/لتر $CaCO_3$.

الحامضية

تعرف حامضية أى عينة بتلك التى لها رقم هايدروجينى اقل من ٧ . وتأتى الحامضية فى حالة المياه الملوثة من ثانى أوكسيد الكربون الذائب أو من الأحماض العضوية المنبتقة من التربة . كما وتتكون المياه الحامضية من جراء تلوث الهواء. وتسبب المياه الحامضية تفتت وتآكل الحديد والخرسانة .

عسر الماء

يعرف عسر الماء بعدم قابلية الماء لتكوين رغوة مع الصابون . وعسر الماء تسببه أيونات المعادن الموجبة ثنائية التكافؤ ، مثل أيونات الكالسيوم والمغنسيوم والإسترونيوم والحديد والمنجنيز (انظر جدول ٥) .

جدول (٥)

أهم الأيونات الموجبة التى تسبب عسر الماء وأهم الأيونات السالبة ذات الصلة بها

الشوارد (الأيونات) السالبة	الشوارد (الأيونات) الموجبة
HCO_3^-	Ca^{++}
NO_3^-	Fe^{++}
SO_4^{--}	Mg^{++}
Cl^-	Mn^{++}
SiO_3^-	Sr^{++}

ويمكن تقسيم عسر الماء الى :

- * عسر كربونى أو عسر مؤقت: ويحتوى على بيكربونات الكالسيوم وكربونات وبيكربونات المغنسيوم.
 - * عسر غير كربونى أو عسر دائم: ويحتوى على كبريتات وكلوريد كل من الكالسيوم والمغنسيوم .
- عندما تكون القيمة العددية لعسر الماء أكبر من مجموع الكربونات والبيكربونات القلوية يسمى عسر الماء الذى يعادل القلوية الكلية بعسر الكربونات، أما العسر الأكثر من هذا فيطلق عليه العسر الغير كربونى. وعندما يساوى العسر أو يكون اقل من القلوية الكلية، فإن كل العسر هو عسر كربونات، وينعدم حينها العسر الغير كربونى .

يمكن إيجاد عسر الماء {٦} من المعادلة ١٤.

حيث:

- عسر = عسر الماء مقاس بالملمكافى من كربونات الكالسيوم/لتر
 Ca^{++} = درجة تركيز أيون الكالسيوم مقاس بالملجرام/لتر .
 Mg^{++} = درجة تركيز أيون المغنسيوم مقاس بالملجرام/لتر .

يمكن إجمال الآثار الضارة لعسر الماء فى الآتى :

- فقدان إقتصادى لمستهلكى المياه بإزدياد إستهلاك الصابون .
- تكوين مترسبات فى أجهزة وتوصيلات المياه الساخنة والغلايات والمراجل والمعدات المنزلية وأحواض المطبخ وغسالات الصحون وأحواض غسيل الأيدى ومحطات توليد الكهرباء الحرارية .
- يتسبب فى صبغ الملابس والصحون وغيرها من الأوعية والمعدات المنزلية .
- يمكن أن تمكث بقايا مترسبات العسر والصابون فى فتحات الأحواض مما يكسبها ملمس الخشن غير المرغوب فيه .
- تعمل كملين ومسهل للمستهلكين الجدد للماء خاصة عند وجود كبريتات المغنسيوم .
- يسبب العسر إصابات معوية وجلدية فى بعض الحالات .

أما محاسن عسر الماء فتتمثل فى الآتى :

- يساعد فى نمو وتكلس الأسنان والعظام .
- يقلل من سمية أوكسيد الرصاص (المواسير المصنوعة من الرصاص) وذلك بترسيب كربونات الرصاص (ظاهرة ذوبانية السباكة) .
- الماء اليسر يشتبه فى أن له علاقة بأمراض القلب والشرابيين .
- قتل الجراثيم نسبة لعلو الرقم الهيدروجينى الناتج من عملية إزالة عسر الماء .
- إزالة الحديد .
- شبه الإزالة للمركبات العضوية .
- إنخفاض درجة تركيز العناصر السامة مثل الزئبق والرصاص والخاصين .

يبين جدول (٦) أدناه درجات عسر الماء طبقاً لمعايير قياسه ، مقدرة بالمليجرام كربونات كالسيوم على اللتر .

جدول (٦)
درجة عسر الماء {٣}

عسر الماء (ملجم/لتر CaCO_3)	درجة العسر
صفر - ٧٥	يسر
٧٥ - ١٥٠	معتدل اليسر
١٥٠ - ١٧٥	معتدل العسر
١٧٥ - ٣٠٠	عسر
أكثر من ٣٠٠	شديد العسر

الإيجاد عسر الماء الكلى تجرى التحاليل العيارية المناسبة طبقاً للطرق القياسية المتبعة {٦}. ويمكن التحكم فى عسر الماء بطرق عديدة أهمها الترسيب سواء بالغليان بالنسبة للعسر المؤقت أو بالطرق الكيميائية عن طريق الجير والصودا الكاوية بالنسبة للعسر المؤقت والدائم .

مثال (٦)

بعد تحليل عينة من الماء تم الحصول على النتائج الموضحة أدناه مقاسة بالملجم/لتر .

Na^+ - ٢٣	Cl^- - ٣٩
Ca^{++} - ٢٠	SO_4^{--} - ٤٨
Mg^{++} - ١١	القلوية - ٧٥ ملجم / لتر CaCO_3
Sr^{++} - ٢١ , ٩	

حول درجات التركيز المعطاة الى مللكافى/لتر .

(أ) إذا قبل خطأ تجربة فى حدود ١٠ بالمائة هل يمكن معه إعتداد النتائج أعلاه ؟

(ب) لرسم مخطط خطى Bar diagram لهذه العينة من الماء .

(ج) لوجد قيمة العسر الكلى والكربونى والغير كربونى للعينة .

(د) بين الإتحادات الكيميائية المحتملة للأيونات الموجبة والسالبة لهذه العينة .

الحل:

لوجد درجات تركيز العناصر مقدرة بالمللكافى على اللتر وذلك بقسمة درجات التركيز المعطاة الجرام/لتر على الوزن المكافى لكل عنصر كما موضح فى الجدول أدناه .

٢ - حول درجات التركيز المقدرة بالمكافئ/لتر المحسوبة فى الخطوة ١ أعلاه الى ملجم/لتر CaCO_3 ، وذلك بضرب درجات التركيز فى الوزن المكافئ لكربونات الكالسيوم .
الوزن المكافئ لكربونات الكالسيوم = الوزن الجزيئى/التكافؤ = $50 = 2 / (16 \cdot 3 + 12 + 40)$

المكونات	الوزن المكافئ	الوزن	مللمكافئ/لتر	ملجم/لتر CaCO_3
الأيونات الموجبة (كاتيون)				
Ca^{++}	٢٠	٢٠	١	٥٠
Mg^{++}	١٢,٢	١١	٠,٩	٤٥
Sr^{++}	٤٣,٨	٢١,٩	٠,٥	٢٥
Na^{++}	٢٣	٢٣	١	٥٠
			<u>٣,٤</u>	
الأيونات السالبة (أنيون)				
HCO_3^-	٦١	٩١,٥	١,٥	٧٥
SO_4^{--}	٤٨	٤٨	١	٥٠
Cl^-	٣٥,٥	٣٩	١,١	٥٥
			<u>٣,٦</u>	

٣ - أوجد قيمة عسر الماء :

العسر الكلى = مجموع (أيونات الكالسيوم + أيونات المغنسيوم + أيونات الإسترونسيوم)

$$\text{CaCO}_3 \text{ ملجم/لتر} = 1 + 0,9 + 0,5 = 2,4 \text{ مللمكافئ/لتر} = 2,4 \cdot 50 = 120 \text{ ملجم/لتر } \text{CaCO}_3$$

بما أن القلوية أقل من العسر الكلى فإن عسر الكربونات = القلوية = ٧٥ ملجم/لتر CaCO_3

وعليه فإن العسر الغير كربونى = العسر الكلى - عسر الكربونات = $120 - 75 = 45$ ملجم/لتر CaCO_3

٤ - أوجد الخطأ فى التجربة:

$$\text{خطأ التجربة} = \frac{\text{الكاتيونات} - \text{الأنيونات}}{\text{الكاتيونات}} = \frac{3,6 - 3,4}{3,6} = 0,0556 = 5,56\%$$

$$= \frac{\text{الأنيونات} - \text{الكاتيونات}}{\text{الأنيونات}} = \frac{3,4 - 3,6}{3,4} = -0,0588 = -5,88\%$$

وبما أن الخطأ أقل من ١٠ ٪ فعليه يمكن إعتداد النتائج المعطاة .

٥ - أرسم المخطط الخطى للماء كما هو مبين أدناه :

١ ١,٩ ٢,٤ ٣,٤

Ca^{++}	Mg^{++}	Sr^{++}	Na^+
HCO_3^-	SO_4^{--}	Cl^-	

١,٥ ٢,٥ ٣,٦

٦ - لوجد الاتحادات الكيميائية المحتملة للعيينة كما موضح فى الشكل أدناه :

CaCO_3	$\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$	MgSO_4	SrSO_4	SrCl_2	NaCl	
١	٠.٥	٠.٤	٠.٥	٠.١	٠.٩	٠.٢

تقوى عينة الماء على:

CaCO_3 ٥٠ ملجم/لتر =	١ مللمكافئ/لتر =	كربونات الكالسيوم
CaCO_3 ٢٥ ملجم/لتر =	٠.٥ مللمكافئ/لتر =	كربونات المغنسيوم
CaCO_3 ٢٠ ملجم/لتر =	٠.٤ مللمكافئ/لتر =	سلفات المغنسيوم
CaCO_3 ٢٥ ملجم/لتر =	٠.٥ مللمكافئ/لتر =	سلفات الإسترونسيوم
CaCO_3 ٥ ملجم/لتر =	٠.١ مللمكافئ/لتر =	كلوريد الإسترونسيوم
CaCO_3 ٤٥ ملجم/لتر =	٠.٩ مللمكافئ/لتر =	كلوريد الصوديوم

كسجين الذائب

كسجين الذائب فى مياه المجارى أو فى المياه بصورة عامة مهم للحياة المائية، غير أن درجة ذوبانية كسجين فى الماء قليلة. وكمية الأكسجين التى يمكن أن توجد فى الماء تعتمد على ذوبانية الغاز المضغط الجزئى للغاز فى الهواء ودرجة الحرارة ونقاء الماء وكمية ما به من شوائب .
ماء المشبع بالأكسجين طعم طيب ومذاق جيد ، غير أن الماء الخالى من الأكسجين له طعم مستحب .

١٥ - ليجاد درجة تركيز الغاز من المعادلة رقم ١٥ .

(١٥)

$$C_g = P_g \cdot MWR_g$$

= درجة تركيز الغاز فى حيز الغاز (جم/م^٣)

= الضغط الجزئى للغاز فى حيز الغاز (باسكال - نيوتن/م^٢) .

(١٦)

$$X_g \cdot K_H =$$

= جزء مول الغاز

(١٧)

$$X_g = n_g / (n_g +$$

= ثابت هنرى

= مولات الغاز

= مولات الماء

$$R_u = \text{الثابت العالمى للغاز} = ٨,٣١٤٣ \text{ جول/كيلفن}^\circ \text{مول}$$

$$T = \text{درجة الحرارة المطلقة (كيلفن)}$$

ودرجة تركيز الغاز عند التشبع توجد من المعادلة ١٨.

$$C_s = k_D \cdot C_g$$

حيث:

$$C_s = \text{درجة تركيز التشبع للغاز (جم/م}^3\text{)}$$

$$k_D = \text{معامل التوزيع.}$$

ويمكن حساب درجة تركيز الغاز عندما يتغير الضغط باستخدام المعادلة ١٩.

$$C' = C_s \cdot (P - p_w) / (760 - p_w)$$

حيث:

$$C' = \text{ذوبانية الغاز عند الضغط } P \text{ ودرجة الحرارة المعطاة (ملجم/لتر)}$$

$$C_s = \text{درجة تركيز الغاز عند التشبع (ملجم/لتر)}$$

$$P = \text{الضغط القياسى (البارومتري) (مم)}$$

$$p_w = \text{ضغط بخار الماء المشبع عند درجة حرارة الماء (مم), أنظر الجدول أدناه :}$$

جدول (٧)

ضغط بخار الماء {١٥، ١٠}

درجة الحرارة (م°)	كيلو باسكال	ضغط البخار مم زئبق
صفر	٠,٦١١	٤,٥٨
٥	٠,٨٧٢	٦,٥٤
١٠	١,٢٣	٩,٢١
١٥	١,٧١	١٢,٨
٢٠	٢,٣٣	١٧,٥
٢٥	٣,١٧	٢٣,٨
٣٠	٤,٢٤	٣١,٨

مثال (٧)

أوجد درجة تركيز التشبع لغاز الأكسجين المذاب فى عينة من الماء الغير مالح عند درجة حرارة ٢٠°
وضغط جوى يعادل ٧١٠ ملم زئبق، علما بأن درجة تركيز الأكسجين ٨,٦ ملجم/لتر.

الحل:

- ١ - المعطيات: $T = ٢٠^\circ \text{م}$ ، $P = ٧١٠ \text{ ملم}$ ، $C' = ٨,٦ \text{ ملجم/لتر}$.
- ٢ - من جدول (٧) ولدرجة حرارة ٢٠°م أوجد ضغط بخار الماء المتشبع $= ١٧,٥ \text{ ملم زئبق}$.
- ٣ - استخدم المعادلة ١٩ لإيجاد درجة تركيز الغاز عند التشبع :
$$٨,٦ = C_s - (٧١٠ - ١٧,٥) / (٧٦٠ - ١٧,٥) \times C_s$$

وعليه : $C_s = ٩,٢ \text{ ملجم/لتر}$

الحاجة للأكسجين : Oxygen Demand

الحاجة للأكسجين يقصد به كمية الأكسجين المطلوبة لموازنة المواد العضوية. واحتياجات الأكسجين يمكن حسابها بإحدى الطرق الآتية :

(أ) الحاجة الحيا-كيميائية للأكسجين : Biological Oxygen Demand

وهو قياس لدرجة التلوث بالمواد العضوية الموجودة في الماء. ويعرف بأنه كمية الأكسجين المطلوبة بواسطة الكائنات الحية الدقيقة لأكسدة الملوثات العضوية .

(ب) قيمة البيرومنجنات :

وهي عبارة عن الأكسدة الكيميائية لعينة ما باستخدام محلول بيرومنجنات البوتاسيوم .

(ج) الحاجة الكيميائية للأكسجين :

وهي تعنى الأكسدة الكيميائية لعينة من الماء باستخدام حمض الكبريت $(\text{VI}) \text{H}_2\text{SO}_4$ وثنائي كرومات البوتاسيوم .

مخبرات الذائبة :

تتوزع المياه الطبيعية على غازات ذائبة بدرجات تركيز مختلفة اعتمادا على ذوبانية كل غاز في الماء .
وعندما تكون بيئة الماء لاهوائية عند وجود نشاط ميكروبي فيتواجد غاز الأمونيا وكبريتيد الهيدروجين وغاز الميثان .

كلوريد :

مصادر الكلوريد في المياه الطبيعية ما يلي :

- نض الكلوريد من الصخور والتربة .
- إقحام وزحف المياه المالحة على المياه الجوفية خاصة في المناطق الساحلية .
- تصريف الفضلات السائلة الزراعية والصناعية والمنزلية .
- تسرب المياه الجوفية المالحة لأنابيب المياه الأرضية وشبكات المجارى .

كلوريد في صورة أيون الكلوريد Cl^- أحد أهم الأيونات غير العضوية الموجودة في الماء ومياه المجارى . وفي المياه الصالحة للإستعمال فإن الطعم المالح الناتج من الكلوريد يتغير طبقا للخواص

الكيميائية للماء. فمثلا بعض المياه التي تحتوى على ٢٥٠ ملجم/لتر أيون كلوريد لها طعم مالح واضح خاصة إذا ما كان الكاتيون الموجود هو الصوديوم. غير أن هذا الطعم المالح لا يوجد فى مياه تحتوى على درجات تركيز ١٠٠٠ ملجم/لتر من أيون الكلوريد إذا كانت الكاتيونات الموجودة هي الكالسيوم أو الماغنسيوم {٦} .

وبدرجة تركيز الكلوريد تزيد فى مياه المجارى عنها فى الماء الخام، وذلك نسبة لأن كلوريد الصوديوم يمثل جزء أساسى واعتيادى فى الطعام، كما وأنه يمر دون أى تغير فى الجهاز الهضمى. والجدير بالذكر أن الدرجات العالية من تركيز الكلوريد ضارة للمواسير المعدنية والإنشاءات والنباتات . وعند إستخدام ثنائى أوكسيد الكلور فى كلورة الماء عند التنقية يتكون أيون الكلوريت كناتج ثانوى ومن المعلوم أن هذا الأيون يسبب مرض زرقة الأطفال Methemoglobinemia .

النتروجين :

يتواجد النتروجين فى الماء ومياه المجارى فى أربع مصادر رئيسية وهي :

(١) النتروجين العضوي : وهذا متحـد عضويا فى حالة الأكسدة. والنتروجين العضوي يشمل مركبات عضوية مثل: الأحماض الأمينية والبروتينات واليوريا والببتيد والحمض النووي بالإضافة الى العديد من المواد العضوية المصنعة .

(ب) الأمونيا أو التشادر : وهذا يوجد طبيعيا على سطح مياه المجارى غير أنه يوجد بدرجات قليلة فى المياه الجوفية، لأنه يمتز لحبيبات التربة والطين ولا يفض بسهولة من التربة. وينتج 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 فى المجالات الصناعية . والنتريت يمكنه تكوين حمض النتروجين Nitrous acid (II) فى بيئة حمضية. وهذا الحمض يمكن أن يتفاعل مع الأمينات لتكوين مركبات معظمها تعد من المواد المسرطنة .

(د) النترات (V) : وتنتج النترات من أكسدة الأمونيا. ومن المعروف أن كميات النترات العالية فى الماء (أكثر من ١٠ ملجم/لتر نترات نتروجين) يمكن أن تسبب مرض زرقة الأطفال عند الأطفال الذين يقل عمرهم عن ٦ أشهر. وعادة توجد النترات بكميات بسيطة فى المياه السطحية، غير أنها قد توجد بكميات كبيرة فى المياه الجوفية .

المعادن السامة :

درجة السمية للمعادن تتفاوت مع مؤثرات عديدة مثل: درجة تركيز المادة وفترة التعرض ودرجة الحرارة ونوع المعدن. ومن المعادن ذات السمية: الرصاص والنحاس والقضة والكروم والزرنيخ واليورون. ولابد من معرفة كمية هذه المعادن خاصة عند استخدام طرق المعالجة الحيوية فى محطات المعالجة. وهناك معادن أخرى تؤثر بسميتها مثل: النيكل والمنجنيز والزنك .

مواد التغذية أو المواد الحيوية المنبهة : Biostimulants

من أهم المواد الغذائية في النشاط الحيوى النتروجين والفسفور إضافة الى بعض العناصر التي يحتاج إليها بكميات قليلة جدا مثل: الحديد والبوتاسيوم والمغنيسيوم والكالسيوم والكوبالت والنحاس والكبريت والخرصين. ولمعالجة ماء المجاري لا بد من إيجاد التوازن الغذائي المناسب للكائنات الحية لتقوم بعملها في تنقية المواد العضوية .

البروتينات :

البروتينات عبارة عن عناصر عضوية آزوتية (نتروجينية)، لها أوزان جزيئية عالية، وتوجد في المملكة الحيوانية وبدرجة 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 جدا في الفول واللحوم الهزيلة. يتكون البروتين من مجموعات ضخمة من الأحماض الأمينية، متحدة مع روابط ببتيد.

وتضم الكربون والهيدروجين والأكسجين والنتروجين والكبريت وأحيانا الفسفور. والبروتينات معقدة في تركيبها الكيميائي، وغير ثابتة، وبعضها قابل للذوبان في الماء، وبعضها غير قابل للذوبان فيه. ويتراوح وزن الجزيء منها ما بين ٢٠ ألف إلى ٢٠ مليون. ويتم تحليل البروتينات بفضل البكتيريا، مما ينتج عنه

نواتج كربية {٥، ١٦، ١٧، ١٨} - فمثلا عند معالجة الحمأة فإن البروتينات يمكن حلماتها Hydrolysis في بولى ببتيد، ومن ثم إلى أحماض أمينية ، والتي تنفقت إلى أمونيا وكبريتيد الهيدروجين ومركبات عضوية بسيطة {٥} - وقد وجد أن المواد المحتوية على البروتين تمثل جزء كبير من الحمأة والمخلفات الثقيلة. كما وأن حبيبات الحمأة (إذا لم تكن مكونة من بروتين) تكون مغطاة بطبقة من البروتين تحكم تحللها الطبيعي والكيميائي. ويتراوح تركيز البروتين ما بين ١٥ - ٣٠ بالمائة من المواد العضوية الموجودة في الحمأة المهضومة Digested Sludge ، و ٢٨ - ٥٠ بالمائة في حالة الحمأة النشطة Activated Sludge {١١، ١٩، ٢٠} .

لحوم والزيت :

لحوم والشحوم مركبات لا تذوب في الماء ، لكنها تذوب في مذيبات عضوية مثل البترول والبنزين والبنزول والإيثر Ether، وهي مركبات استر الكحول أو الجليسرول والأحماض الدهنية، وتتكون من الكربون والهيدروجين والأكسجين بنسب مختلفة. والشحوم والزيت أكثر ثباتا ضد التحلل البكتيري من المركبات العضوية، غير أنه يسهل تحطيمها بالأحماض المعدنية ، الشيء الذي يكون معه من الأحماض الدهنية .

تتكون الزيوت والشحوم المعالجة الحيوية، كما وأنها تكون مناظر غير مستحبة عندما يتم التخلص منها في أحواض التهوية أو السواحل . وعند تواجدها بكميات كبيرة - عند تنقية المياه - فإنها تسد الفتحات ومسام المادة المرشحة، كما وأنها تغطي حوائط أحواض الترسيب، وتتفكك لتزيد من كمية الحمأة الناتجة. وتتأثر سلبا مرشحات النضيف وأحواض الحمأة النشطة وذلك لأن الشحوم تحد

من النشاط والنمو الحيوي مما يحول دون إنتقال الأكسجين من السائل إلى داخل الخلية الحية، وعليه فمن الواجب إستخلاصها قبل البدء فى مرحلة المعالجة الحيوية {٢١} .

الكربوهيدرات :

مواد عضوية تجمع المواد النشوية والسيلولوزية والسكر . وتتركب من الكربون والهيدروجين والأكسجين . وتوجد بكثرة فى الطبيعة فى ممالك الحيوان والنبات . بعض الكربوهيدرات يذوب فى الماء مثل السكر والآخر غير قابل للذوبان فيه كالنشأ مثلا . ويمكن تصنيف الكربوهيدرات لسكر بسيط (أحادى السكر) وسكر معقد (ثنائى السكر أو متعدد السكر) . وتعتبر وظيفة الكربوهيدرات فى الحيوانات العليا هى أن تعمل مصدرا للطاقة لاسيما وأن البكتريا تستهلك الكربوهيدرات لتخليق الشحوم والبروتينات والطاقة . وبما أن معظم الكربوهيدرات فى ماء المجارى فى شكل جزيئات كبيرة الحجم مما يعوق تغلغلها إلى غشاء خلية الكائنات الحية الدقيقة، فإن البكتريا تقوم بتفكك هذه الجزيئات الكبيرة إلى أجزاء سهلة الإنتشار داخل الخلية، وبذا يسهل تحليلها . وتقوم البكتريا بحلماة الكربوهيدرات إلى سكر سهل الذوبان وبروتينات وأحماض أمينية وشحوم . وبإطراد التحلل الهوائى يتكون ثانى أكسيد الكربون والماء . أما فى حالة عدم وجود الأكسجين فإن الناتج الثانوى لعملية تحلل الكربوهيدرات بالبكتريا فهى أحماض عضوية وكحول وغازات : مثل ثانى أكسيد الكربون والميثان وكبريتيد الهيدروجين . والجدير بالذكر أن تكوين الأحماض العضوية بنسب كبيرة يؤثر سلبا على النشاط والنمو الحيوى فى مياه المجارى وذلك بسبب إنخفاض الرقم الهيدروجينى .

الفينول :

مجموعة من المركبات الأروماتية، لها واحد أو أكثر من مجموعة الهيدروكسيل متصلة بحلقة بنزين . يمكن الحصول على الفينول من قطران الفحم، ويلجأ للتصنيع للحصول على كميات كبيرة منها . وجود الفينول فى مياه المجارى ربما كان 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 وذلك نسبة لتكوين الكلوروفينول .

إختبار حاجة الأكسجين الحيا-كيميائى : Biological Oxygen Demand (BOD)

هذا المعيار لقياس كمية الأكسجين المستهلكة بواسطة الكائنات الحية الدقيقة عند أكسدتها الهوائية للمواد العضوية . ويستخدم هذا المعيار فى :

- ١) تحديد كمية الأكسجين التقريبية المطلوبة لتفتيت المواد العضوية الموجودة بالطرق الحيوية .
- ٢) تصميم محطات المعالجة .
- ٣) قياس كفاءة طرق المعالجة المختلفة .

إن الأكسدة الحيوية طريقة بطيئة ، وتتطلب (نظريا) زمن لانهاى لتبلغ مداها المطلوب . وعادة يتم الإختبار عند درجة حرارة ٢٠°م ولمدة ٥ أيام . وأخذت درجة الحرارة هذه لأنها تمثل متوسط درجة

حرارة الأنهار ذات السرعة البطيئة في المناخ المعتدل ، كما ويمكن مماثلتها في المختبر في جهاز الحضانة. وتصل الأكسدة غالبا إلى ٩٥-٩٩ بالمائة في مدة ٢٠ يوما . وتتراوح الأكسدة ما بين ٦٠-٧٠ بالمائة في مدة الخمسة أيام المعمول بها في الاختبار. عند إجراء الاختبار فإن النتائج تكون مختلفة باختلاف درجة الحرارة نسبة لأن معدلات التفاعلات الحيوية تعتمد على درجة الحرارة. يحتاج الاختبار إلى عزل الضو في مدة الحضانة لمنع الطحالب الموجودة في العينة من إنتاج الأكسجين .

نفترض (لأغراض عملية) أن حاجة الأكسجين الحيا-كيميائي تتبع تفاعل من الدرجة الأولى . وفي مثل هذه التفاعلات فإن معدل الأكسدة يتناسب طرديا مع درجة تركيز المواد العضوية المتبقية والقابلة للتحلل عند وجود النوع الأمثل من الكائنات الحية الدقيقة المطلوبة لإتمام الأكسدة. وتحكم كمية المواد العضوية هذا التفاعل. ويمكن تمثيل هذا التفاعل كما موضح في المعادلة ٢٠ .

$$dL/dt = -kL \quad (٢٠)$$

حيث :

L - كمية المواد العضوية المتبقية في العينة (ملجم / لتر) .

t - الزمن (يوم) .

k - ثابت التفاعل (/ يوم) .

ويتمكّل المعادلة ٢٠ ينتج :

$$L_t/L_0 = e^{-k \cdot t} = 10^{-k_1 t} \quad (٢١)$$

حيث :

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

L_0 - حاجة الأكسجين الحيا-كيميائي المتبقية عند الزمن صفر .

- الكمية النهائية أو الكلية لحاجة الأكسجين الحيا-كيميائي .

k_1 - ثابت تفاعل الدرجة الأولى = ثابت معدل التفاعل .

$$k_1 = 0.4343 \quad (٢٢)$$

ملاحظة فمن الأهمية معرفة كمية الأكسجين المأخوذة والتي تعادل القيمة الموضحة في المعادلة رقم ٢٣

$$BOD_t = L_0 - L_t = L_0(1 - 10^{-k_1 t}) \quad (٢٣)$$

كمية الأكسجين الحيا-كيميائي في مدة خمسة أيام يمكن إيجادها كما مبين في المعادلة ٢٤ .

$$BOD_{5^{20}} = L_0(1 - 10^{-5k_1}) = L_0(1 - 10^{-k_1}) \quad (٢٤)$$

الشكل (٤) إستخدام هذه المعادلات.

L_0 - حاجة الأكسجين الحيا-كيميائى النهائية .

المعادلة رقم ٢٦ تمثل خطا مستقيما معادلته تتوافق مع الصورة العامة المبينة فى المعادلة ٢٧ .

$$y = a + bx$$

(٢٧)

بحيث أن :

$$y = (t/BOD)^{1/3}$$

(٢٨)

$$a = (k'L_0)^{-1/3}$$

(٢٩)

$$b = k'^{2/3}/6L_0^{1/3}$$

(٣٠)

وعليه يمكن رسم y كدالة فى x ، ومن الرسم فإن ميل الخط المستقيم يمثل b ، ويقطع المحور الصادى فى a . ومن ثم يمكن إيجاد قيمة k' وقيمة L_0 كما موضح فى المعادلات ٣١ و ٣٢ .

$$k' = 6b/a$$

(٣١)

$$L_0 = 1/k'a^3$$

(٣٢)

لو :

$$(t/BOD)^{1/3} = (2.3k_1L_0)^{-1/3} + [k_1^{2/3}]t/[3.43L_0^{1/3}]$$

(٣٣)

حيث :

$$k_1 = 2.61b/a$$

(٣٤)

$$k_1 = \text{ثابت معدل التفاعل (للأساس ١٠)}$$

$$L_0 = 1/(2.3k_1a^3)$$

(٣٥)

كلما زادت كمية الملوثات فى ماء المجارى، كلما زادت شدة التلوث فيه، وبالتالي تزداد قيمة حاجة الأكسجين الحيا-كيميائى أو حاجة الأكسجين الكيميائى كما مبين فى الجدول رقم ٨ .

جدول (٨)

درجة التلوث للفضلات السائلة مقروءة بحاجة الأكسجين {٢٣، ٢٢، ٥، ٤}

الشدة	حاجة الأكسجين الحيا-كيميائى (ملجم/لتر)	حاجة الأكسجين الكيميائى (ملجم/لتر)
ضعيف	أقل من ٢٠٠	أقل من ٤٠٠
متوسط	٢٠٠ - ٣٥٠	٤٠٠ - ٧٠٠
قوى	٣٥١ - ٥٠٠	٧٠١ - ١٠٠٠
قوى جدا	أكبر من ٥٠٠	أكبر من ١٠٠٠

- من المحددات لإختبار حاجة الأكسجين الحيا-كيميائى ما يلى :
- الحاجة الى أعداد كبيرة من البكتريا المتعددة والنشطة .
- الحاجة الى معالجة أولية خاصة عند التعامل مع فضلات سامة، كما وأنه لا بد من تقليل أثر بكتريا النترة .
- يقيس الإختبار فقط المواد العضوية القابلة للتفسخ .
- لا يحتوى الإختبار على دقة متكافئة بعد استخدام المواد العضوية المذابة فى المحلول .
- يحتاج الى زمن أطول لعمل الإختبارات والحصول على النتائج .
- فترة الخمسة أيام قد تطابق وقد لا تطابق النقطة التى تقل فيها المواد العضوية الذائبة والموجودة فى المحلول .

حاجة الأكسجين الكيميائى :

إختبار حاجة الأكسجين الكيميائى يعتمد على الأكسدة بالحض مع ثنائى كرومات البوتاسيوم. ويضاف فى الإختبار مقدار محسوب من ثنائى كرومات البوتاسيوم ويتم غلى العينة المحمضة لمدة ساعتين ثم تبرد ومن ثم يتم تقدير كمية ثنائى الكرومات المتبقية بالمعايرة مع ٢٥.٠ محلول عيارى من كبريتات حديد (III) الأمونيوم باستخدام دليل الفيروين لتحديد نقطة النهائية للمعايرة. وبصورة عامة فإن نتائج حاجة الأكسجين الكيميائى أكبر من حاجة الأكسجين الحيا-كيميائى، لاسيما ويقوم الإختبار بأكسدة المواد بطينة التحلل الحيوى كالحشوم واللجنين مثلا {٢٤} .

١ - ٤ - ٢ الخواص الحيوية والبكتريولوجية

Biological & Bacteriological Characteristics

تنقسم الكائنات الحية الى ثلاثة ممالك تضم مملكة النبات Plantae ومملكة الحيوان Animalia ومملكة الكائنات الحية الدقيقة Protista. وهذه الأخيرة تضم وحيدة الخلية والخلايا البسيطة ومتعددة الخلايا. ويلعب علم الميكروبيولوجى دورا أساسيا فى التقانة والحياة العامة كما ولها دور بارز فى الآتى:

- * صناعة الطعام مثل تخمير العجين لعمل الخبز بواسطة الفطرية السكرية الجعوية *Saccharomyces cerevisiae* وتحضير الخل بمساعدة بكتريا الحمض الخلى، وصناعة الجبن والزبد بمساعدة بكتريا الحمض اللبنى والعصيات الملبنة (عصيات اللاكتوز) *Lactobacilli*.
- * الصناعات الكيميائية كما فى صناعة الأسيتون والبيتانول بواسطة المطثية استوبوتيليك *Colstridium aceto-butylicum* وصناعة بعض الأحماض العضوية كحمض الليمون Citric acid والحمض الجلوكونى *Gluconic acid* التى تنتج بواسطة الرشاشية السوداء *Aspergillus niger*، وإنتاج بعض الإنزيمات مثل إنتاج إنزيم ستربتوكيناز *Streptokinase* بواسطة العقدية الحالة للدم *Streptococcus hemolyticus* وإنزيم انفيرتاس *Invertas* الذى تنتجه الفطريات مثل الفطرية السكرية الجعوية *Saccharomyces cervisiae*.

- معالجة الأمراض المعدية وغيرها من تلك التي تصيب الإنسان والحيوان والنبات، مثل المعالجة بالمواد الكيميائية كالهormونات والمضادات الحيوية. وأيضا إنتاج البنسلين بواسطة مصنفات المكنسية *Penicillium spp* وتحضير الاستربتوميسين *Streptomycin* بواسطة الاستربتوميسين *S. aureofaciens, S. rimousus*.
- معالجة الفضلات وتنقية المياه بالطرق الحيوية .
- إنتاج مواد التغذية المساعدة كغذاء للطيور والحيوانات .
- لمداخلات الزراعية لتثبيت النتروجين فى التربة والبذور والتحكم الحيوى فى الحشرات والأعشاب وغيرها .
- موازنة الفضلات والمخلفات وإنتاج الأسمدة والوقود وغاز الميثان والغذاء والعلف .
- تنقية الذاتية للنهار ومجارى المياه السطحية والتي استقبلت مياه المجارى أو الفضلات الصناعية المسئلة الملوثة .

تجربى التجارب والقياسات البكتريولوجية للماء لتحديد أفضل المعايير لسلامة وصلاحية المياه. وهناك أنواع من الكائنات الحية الدقيقة يعزى اليها الطعم البغيض فى الماء والروائح الكريهة، وأنواع أخرى تساعد فى تآكل الخرسانة والمعادن المصنوع منها المنشآت، كما ويؤدى تكاثر الكائنات الدقيقة الى تغير فى نوع الماء وتلوث البيئة المائية . وتوجد أنواع أخرى تسبب الأمراض. وعليه لا بد من تحديد نوع وكمية الميكروبات فى الماء للتمكن من إزالتها والقضاء عليها. غير أن هنالك أسباب عملية وعلمية يصعب معها فصل التحاليل المتكاملة لتحديد وجود كل كائن على حدة. ولذا فقد اصطلح عالميا على تحديد استخدام مؤشر، عند وجوده يزيد احتمال وجود كائنات دقيقة أخرى ضارة. وهذا الكائن المؤشر من عائلة البكتريا القولونية ويعرف بالإشريكية القولونية *Escherichia coli*. وإذا ظهر فى الاختبار الحيوى وجود هذه البكتريا فغالبا ما تكون هذه المياه ملوثة بالفضلات البشرية مما يستدعى تنقية الماء قبل شربه . وقد استدعى الضرورة أحيانا إجراء تحاليل أخرى لنوع معين من البكتريا أو الفيروسات أو غيرها من مسببات المرض . ويمكن تقسيم الأمراض ذات الصلة بالمياه الى الآتى :

(أ) الأمراض المحمولة بالمياه **Water-borne diseases** : وهذه الأمراض ناجمة من وجود جرثومة المرض بالماء. ومعظم هذه الجراثيم تصل الى الماء نتيجة التلوث بالفضلات البشرية والحيوانية بطرق مباشرة أو غير مباشرة. أمثلة هذه الأمراض : الكوليرا (الهيضة) و حمى التيفود والدستاريا الباسلية (الزحار الباسيلي) وإلتهاب الكبد المعدى (اليرقان) وإصابات الإسهال والجارديا .

(ب) الأمراض الناجمة عن عدم الفصل بالماء أو عدم وجوده **Water-washed disease** : وهذه الأمراض نتيجة لعدم الاستخدام الأمثل للماء أو لقلة إستعماله للصحة العامة والنظافة الشخصية . وأمثلة هذا النوع من الأمراض : إلتهابات الجلد والعيون (التراكوما والرمم الصديدي) والدستاريا الأميبية والباراتيفويد والأنكلستوما

(ج) الأمراض المتمركزة في الماء **Water-based diseases**: جزء من حياة الميكروب وناقل المرض يأخذ مجراه في حيوان مائي لحين ملامسة جلد الإنسان أو ولوجه من خلال العين والأنف والأنز وفتحات المخارج . مثال لهذه الأمراض : البلهارسيا والفرنديت Guinea worm والدودة الشريطية .

(د) الأمراض وثيقة الصلة بالماء **Water-related diseases**: وهذه الأمراض تعتمد في وسائل إنتشارها على حيوانات أو حشرات أو غيرها من ناقلات المرض التي تعيش في الماء أو بالقرب منه . ويقوم ناقل المرض بعض أو مص دم الضحية، كما وتقوم القواقع بلفظ يرقات تسبح بحرية في الماء، ثم تخترق الجلد عند الملامسة أو بالطرق المباشرة. ومن أهم هذه الأمراض : الحمى الصفراء التي تنقلها بعوضة آيدس إيجبتاي ومرض الفلاريا والملاريا اللذان ينقلهما البعوض وعمى الجور الذي تنقله ذبابة الذكاء (السيموليم) ومرض النوم الذي تنقله ذبابة التسي تسي .

١ - ٥ التشريعات والمعايير والقوانين المتعلقة بنوعية المياه :

إن تحديد مواصفات الماء كمصدر ، أو للإستهلاك الإنسانى تحكمه أغراض ونواعى الإستعمال سواء كان ذلك للشرب أو الزراعة أو الصناعة أو غيرها من ضروب الإستعمال المتعددة . بالنسبة لمياه الشرب فيجب ان لا تحتوى المياه على جراثيم أو سموم تركيزاتها تؤثر على الصحة العامة. كما يجب أن تكون المياه مستساغة من ناحية الطعم واللون والرائحة . وقد ترجمت هذه المواصفات الى مؤشرات وخطوط توجيهية بواسطة منظمة الصحة العالمية كما موضح فى جدول ٩. ومن الملاحظ التركيز على الخواص البكتيريولوجية والميكروبيولوجية (الحيوية) وذلك توخيا للسلامة الصحية للمستهلك. وتأتى فى المقام الثانى النواحي الكيميائية وذلك لأنها تتسبب فى مخاطر صحية بعد التعرض لها لفترة زمنية طويلة. كما وركزت الخطوط التوجيهية على المواد الكيميائية التراكمية مثل المعادن الثقيلة والموان المسرطنة. وعلى ضوء ذلك يمكن أن تقوم كل دولة بوضع معاييرها ومواصفاتها طبقا للظروف البيئية والمناخية والثقافية والإجتماعية والنواحي الاقتصادية السائدة بها .

إن طبيعة الخطوط التوجيهية لمنظمة الصحة العالمية لها السمات التالية: {٢٥، ٢٦}

- ١- يمثل الخط التوجيهي درجة التركيز أو العدد للملوث الذي لا ينتج عنه خطر صحى واضح للمستهلك
- ٢- تركز الخطوط التوجيهية على معرفة نوع وخصائص مياه الشرب بما يضمن جودتها للإستهلاك البشرى لكل الإستخدامات المنزليه العادية متضمنه النظافة الشخصية وأيضا الإحتياجات الصناعية وهناك بعض الإستخدامات الخاصة تتطلب جودة أعلى للمياه مثل غسيل الكلى .
- ٣- يعتمد الخط التوجيهي كمؤشر للكشف عن أسباب الزيادة فى التركيزات، وذلك بغية أخذ الإحتياطات اللازمة والمعالجة كما وأنه يستخدم للمشاوره مع جهات الاختصاص للنصح فيما يتعلق بالصحة العامة.
- ٤- لقد وضع الخط التوجيهي للمحافظة على الصحة عند إستخدام الماء للمدى الطويل .

٥- عند وضع المعايير والتشريعات الوطنية لمياه الشرب (معتمدة على هدى الخطوط التوجيهية) لا بد من الأخذ في الاعتبار العديد من العوامل: مثل جغرافية البيئة المحلية والنواحي الاقتصادية والاجتماعية والصناعية والحمية الغذائية وغيرها من المؤثرات الهامة عند التعرض للماء. وربما أنتجت هذه العوامل تشريعات قومية مختلفة عن الخطوط التوجيهية .

يوضح الجدول ٩ ملخص موجز وعماماً للخطوط التوجيهية لمنظمة الصحة العالمية والتي تحتوى على درجات التركيز الكلية الخاصة بكل مادة. والقيم الموضحة بالجدول لا تأتى بأى خطر صحى للمستهلك. أما الإقتراضات المتبعة لتقدير الخط التوجيهى تأخذ فى إعتبارها أن متوسط وزن المستهلك ٦٠ كيلوجرام يستهلك حوالى ٢ لتر من الماء يومياً.

جدول (٩)

ملخص موجز للخطوط التوجيهية لمنظمة الصحة العالمية {٢٦، ٢٥}

التوعية البكتيولوجية:

الخط التوجيهى	الحى
المياه المستخدمة للشرب:	العدد لكل ١٠٠ مللتر
عريكة القولونية أو بكتريا القولونيات المحتملة للحرارة	لا توجد فى أى عينة
ماء التنقية الداخلة إلى شبكة التوزيع	
عريكة القولونية أو بكتريا القولونيات المحتملة للحرارة	لا توجد فى أى عينة
روا القولونيات (الكلية)	لا توجد فى أى عينة
ماء التنقية داخل إلى شبكة التوزيع	
عريكة القولونية أو بكتريا القولونيات المحتملة للحرارة	لا توجد فى أى عينة
روا القولونيات (الكلية)	لا توجد فى أى عينة
	لا توجد فى أى عينة. كما لا توجد فى
	٩٥٪ من العينات المأخوذة طيلة مدة
	١٢ شهر فى حالات الإمدادات
	الكبرى وعند تحليل عدد مناسب من العينات.

المواد الكيميائية المؤثرة على الصحة:

المواد الغير عضوية

الحد الأقصى	ملجم /لتر	العنصر	ملجم /لتر
نحاس	٠,٠٠٥	نحاس	١,٠٠٠
منجنيز	٠,٠١	منجنيز	٠,٥
زنك	٠,٠٧	زنك	٠,٠٠١
موليبدينوم	٠,٠٣	موليبدينوم	٠,٠٧

كادميوم	٠,٠٠٣	نيكل	٠,٠٠٢
كروم	٠,٠٠٥	نترات (NO_3^-)	٥٠
نحاس	٢	نتريت (NO_2^-)	٣
سيانيد	٠,٠٠٧	سيلينيوم	٠,٠٠١
فلور	١,٥		

ج) المواد العضوية المؤثرة على الصحة

ميكروجرام/لتر

الكانات المكلورة	
رباعي كلوريد الكربون	٢
ثنائي كلور إيثان	٢٠
٢,١ ثنائي كلور إيثان	٣٠
١,١,١ ثلاثي كلور إيثان	٢٠٠٠
إيثين مكلور	
كلوريد الفينيل	٥
١,١ ثنائي كلور إيثين	٣٠
١,٢ ثنائي كلور إيثين	٥٠
ثلاثي كلور إيثين	٧٠
رباعي كلور إيثين	٤٠
الهيدروكربونات العطرية	
بنزين	١٠
تولوين	٧٠٠
زايلين	٥٠٠
إثيل بنزين	٣٠٠
ستيرين	٢٠
بنزو (أ) بيرين	٠,٧
البنزين المكلور	
أحادي كلور بنزين	٣٠٠
١,٢ ثنائي كلور بنزين	١٠٠٠
١,٤ ثنائي كلور بنزين	٣٠٠
ثلاثي كلور بنزين (الكل)	٢٠
متعددة	
سداسي كلور بيوتاديين	٠,٦

د) المبيدات

ميكروجرام/لتر

ألدرين/ثنائي ألدرين	٠,٠٣
الكلوردين	٠,٢
د,٤,٢	٣٠

٢	د.د.ت
١	لندين
	<u>هـ) المطهرات ونواتجها</u>
مليجرام/لتر	احادى كلورامين
٣	كلور
٥	بروموفورم
١٠٠	كلوروفورم
٢٠٠	
	<u>و) المواد التي ربما أثارت شكوى من المستهلك</u>
	<u>مناشط طبيعية:</u>
TCU ١٥	اللون
مقبولة	الطعم والرائحة
مقبولة	درجة الحرارة
NTU ٥	العكارة
	<u>مواد غير عضوية</u>
ملجم/لتر	المونيوم
٠,٢	أمونيا
١,٥	كلوريد
٢٥٠	نحاس
١	كبريتيد الهيدروجين
٠,٠٥	حديد
٠,٣	منجنيز
٠,١	

١ - ٦ تمارين عامة

١ - ٦ - ١ تمارين نظرية:

- (١) ما هي أهم المعايير الهامة لإنتاج نوع جيد من مياه الشرب ؟
- (٢) أذكر أهم الخواص الطبيعية للمياه النقية .
- (٣) أذكر أهم الخواص الكيميائية المؤثرة على إدارة نوع المياه .
- (٤) أكتب نبذة موجزة عن الطعم والرائحة في نظم إمداد المياه. وأذكر أهم طرق إزالتها .
- (٥) ماهي وحدات قياس اللون ؟
- (٦) ما هي المركبات الجالبة للون في الماء ؟
- (٧) كيف يمكن إزالة أو تقليل اللون من الماء ؟
- (٨) ما هي الاعتراضات التي يمكن أن توجه لوجود المواد الصلبة أو الكلوريد أو الكبريتات أو الفلور أو عسر الماء عندما توجد بتركيز عالية فيه ؟
- (٩) أذكر أهم الانبعاثات الإشعاعية من مادة مشعة .
- (١٠) أذكر أهم الطرق المتاحة للتخلص من النفايات المشعة .
- (١١) ماهي العوامل المؤثرة على الرقم الهيدروجيني ؟
- (١٢) عرف عسر الماء، وأذكر مناقب ومثالب الماء العسر .
- (١٣) ما محاسن ومساوى إزالة عسر الماء ؟
- (١٤) أذكر طرق إزالة عسر الماء. أى من هذه الطرق تختار لبلدتك؟ ولماذا ؟
- (١٥) هل تحبذ إزالة عسر الماء لبلد نامى؟ لماذا ؟
- (١٦) أذكر العوامل المؤثرة على ذوبانية الغاز في الماء .
- (١٧) لماذا لا يتم تحويل كل المواد العضوية الموجودة في الفضلات السائلة الى ثاني أوكسيد الكربون والماء عبر عمليات المعالجة الحيوية ؟
- (١٨) ماهي معوقات إختبار حاجة الأكسجين الحيا-كيميائي ؟
- (١٩) ما أهمية قياس كل من حاجة الأكسجين الحيا-كيميائي وحاجة الأكسجين الكيميائي للماء ومياه المجارى ؟
- (٢٠) لماذا يستخدم قياس حاجة الأكسجين الحيا-كيميائي لمقارنة درجات التلوث ؟
- (٢١) لماذا تؤخذ فترة الحضانة والترخيم ٥ أيام وتحت درجة حرارة ٢٠° م في إختبار حاجة الأكسجين الحيا-كيميائي ؟
- (٢٢) ماهي بكتريا القولونيات؟ وما أهميتها لمياه الشرب ؟

١ - ٦ - ٢ تمارين عملية

- (١) أوجد درجة الحرارة التى تتساوى فيها قراءتى مقياسى الحرارة (الفهرنهايت والمنوى) ؟
(الإجابة: ٤٠-).
- (٢) ما ناتج قذف جسيمات ألفا من نواة ^{222}Ra ؟ (الإجابة: ^{222}Ra).
- (٣) نصف العمر لنواة مشعة يساوى ٨ أيام. كم المدة اللازمة لتخزين عينة تحتوى على ٢٠ وحدة إشعاع من هذه النواة حتى يقل إشعاعها ويصل الى ٢.٠ وحدة؟ (الإجابة: ٥٣ يوم).
- (٤) أوجد الوزن المكافى لكل من هذه المركبات : حمض الهيدروكلور وحمض الكبريت (VII) وبيكربونات الصوديوم وأيون النترات (V). (الإجابة: ٥، ٣٦، ٤٩، ٨٤، ٦٢).
- (٥) يتفاعل العنصر أ مع العنصر ب طبقاً للمعادلة التالية :

$$\text{أ} + ٢\text{ب} \rightleftharpoons \text{ج} + \text{د}$$
أحسب النسبة المئوية من عنصر أ التى سوف تدخل فى التفاعل علماً بأن درجة تركيز العنصرين (أ) و (ب) عند بداية التفاعل تساوى ٣، ٥ مول/لتر على الترتيب، وأن ثابت التفاعل يساوى الوحدة. (الإجابة: ٥٣ %).
- (٦) أوجد درجة تركيز أيون الهيدروكسيل (بالمليجرام/لتر) لعينة ما علماً بأن الرقم الهيدروجينى لها يعادل ٤، ٨. (الإجابة: ٠.٠٤ ملجم/لتر).
- (٧) نتائج إختبار عينة من الماء كما موضحة أدناه (التركيزات مقدرة بالمليجرام على اللتر) :
 $\text{Na}^{++} = ١٥$ ، $\text{K}^{+} = ٢٥$ ، $\text{Ca}^{++} = ١٠$ ، $\text{Mg}^{++} = ١٢$ ، $\text{Sr}^{++} = ٦$ ، $\text{Cl}^{-} = ٣٥$ ، $\text{HCO}_3^{-} = ٧٠$ ، $\text{SO}_4^{--} = ٢٠$ ، $\text{NO}_3^{-} = ١٥$. أوجد :
أ - العسر الكلى للماء .
ب - عسر الكربونات .
ج - أرسم المخطط الخطى للعينة .
د - أوجد مقدار الخطأ فى التجربة بافتراض أن الخطأ المقبول يجب ألا يتجاوز ١٠ بالمائة .
هـ - أذكر الاتحادات المقترحة للكاتيونات والأنيونات للعينة. (الإجابة : ٧٥ ملجم/لتر CaCO_3 ، ٥٨ ملجم/لتر CaCO_3 ، ٤ %).
- (٨) أخذت عينة من مياه سطحية وأشار الإختبار الحقلى الى النتائج المدرجة أدناه :
كالسيوم = ٦٠ ملجم/لتر ، ماغنسيوم = ٤٥ ملجم/لتر ، صوديوم = ٤٦ ملجم/لتر ، كلوريد = ٧١ ملجم/لتر ، القلوية = ٣٦٦ ملجم/لتر CaCO_3 ، كبريتات = مجهول .
أ) — افتراض أنه لا يوجد خطأ فى القياس عدا فقدان نتيجة الكبريتات، وأن كل القلوية عبارة عن بيكربونات، أوجد قيمة الكبريتات المجهولة .
ب) أوجد قيمة العسر الكلى والعسر غير الكربونى للعينة مقاسة بالمليجرام/لتر CaO .

(ج) أرسم المخطط الخطى للعينة .

(د) ماذا تستنتج من هذه المسألة؟ (الإجابة: ٦, ٣٣ ملجم/لتر ، ٦, ١٨٧ ملجم/لتر CaO ، ٦, ١٩ ملجم/لتر CaO) .

(٩) أوجد قيمة تركيز التشبع للأكسجين المذاب فى الماء والذي يحتوى على ٥٠٠٠ ملجم/لتر من أيون الكلوريد عند درجة حرارة ٢٠° م وتحت ضغط جوى يعادل ٧٣ سم زئبق . (الإجابة: ٨, ٣٥ ملجم/لتر) .

(١٠) أوجد قيمة حاجة الأكسجين الحيا-كيميائى (BOD_5) درجة حرارة ٢٥° م علما بأن قيمة حاجة الأكسجين الحيا-كيميائى فى فترة حضانة ٥ أيام وعند درجة حرارة ٢٠° م تعادل ٢٠٠ ملجم/لتر وأن قيمة ثابت التفاعل (لأساس θ) يساوى ٢,٠ على اليوم. وأوجد قيمة الأكسجين الحيا كيميائى فى فترة حضانة ٥ أيام ودرجة حرارة ٢٥° م . وأوجد قيمة حاجة الأكسجين الحيا-كيميائى بعد فترة حضانة ثلاثة أيام وعند درجة حرارة ٢٠° م . (الإجابة: ٢٢١, ١٤٣ ملجم/لتر) .

(١١) حاجة الأكسجين الحيا-كيميائى قيست بعد يوم وبعد يومين ووجدت القيم ٨٠ و ١٣٦ ملجم/لتر على الترتيب . أوجد قيمة ثابت التفاعل وحاجة الأكسجين الحيا-كيميائى بعد مضي ٥ أيام مستخدما معادلة التفاعل من الدرجة الأولى. (الإجابة: ٣٦,٠٠ /يوم، ٢٦٥ ملجم/لتر) .

(١٢) فى قياس حاجة الأكسجين الحيا-كيميائى لعينة مخففة من ماء المجارى وجدت النتائج أدناه :

الزمن	حاجة الأكسجين الحيا-كيميائى (ملجم/لتر)
١	٥٢
٢	٩١
٣	١١٤
٤	١٣٤
٥	١٤٢
٦	١٤٥

(أ) أرسم منحنى حاجة الأكسجين الحيا-كيميائى مع الزمن.

(ب) أوجد ثابت معدل التفاعل وقيمة حاجة الأكسجين الحيا-كيميائى النهائية مستخدما طريقة توماس .

(ج) أوجد قيمة ثابت معدل التفاعل للأساس ١٠. (الإجابة: ٣٧,٠٠ /يوم، ١٧١ ملجم/لتر، ١٦,٠٠ /يوم) .

1.8 References

- 1) UNESCO, FAO Working Group on the International Hydrological Decade "Man's influence on the hydrological cycle", FAO, Irrigation and Drainage Paper, Special Issue 17, Rome, 1973.
- 2) Wilson, E. M., "Engineering Hydrology", 3rd Ed., Macmillan Education, Hong Kong, 1987.
- 3) Berger, B. B. Ed., "Control of organic substances in water and wastewater", Noyes Data Co., New Jersey 1987.
- 4) *Metcalf and Eddy Inc., "Wastewater engineering: treatment disposal reuse", 3rd Ed., McGraw-Hill, New York, 1991.*
- 5) Rowe, D. R. and Abdel-Magid, I. M., "Wastewater Reclamation and Reuse", *Lewis Publication Co. Ltd., 1995*.
- 6) "Standard methods for the examination of water and wastewater", 18th Ed., American Public Health Association, Washington, D.C., 1992.
- 7) 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., 50, 1932, 255T, 349T.
- 8) Rudolfs, W. and Palmat, J. L., "Colloids in sewage I: Separation of sewage colloids with the aid of the electron microscope", Sew. and Indus. Wastes, 24(3), 1952, 247-56.
- 9) "Radiological Health", U.S. Department Health Education and Welfare, U.S. Printing Office, Washington, D.C., 1970, 413-441.
- 10) Nebiker, J. H., "Dewatering of sewage sludge on granular materials", Envir. Engng. Report No. EVE-8-68-3, 1968.
- 11) 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.
- 12) Abdel-Magid, I. M. "The influence of additives on the rheological properties of sewage sludges", Sudan Engng. Soci. J., 26, 1984, 31.
- 13) Taylor, G., "Some humus sludge conditioning experiments", J. Proc. Inst. Sew. Purif., 1957, 242.
- 14) Popel, H. J., "Aeration and Gas Transfer", Delft University of Technology, Herdurd, The Netherlands, 1976.
- 15) Vennard, J. K. and Street, R. L., "Elementary Fluid Mechanics", John Wiley and Sons, New York, 5th Ed., 1976.

1.8 References

- 1) UNESCO, FAO Working Group on the International Hydrological Decade "Man's influence on the hydrological cycle", FAO, Irrigation and Drainage Paper, Special Issue 17, Rome, 1973.
- 2) Wilson, E. M., "Engineering Hydrology", 3rd Ed., Macmillan Education, Hong Kong, 1987.
- 3) Berger, B. B. Ed., "Control of organic substances in water and wastewater", Noyes Data Co., New Jersey 1987.
- 4) Metcalf and Eddy Inc., "Wastewater engineering: treatment disposal reuse", 3rd Ed., McGraw-Hill, New York, 1991.
- 5) Rowe, D. R. and Abdel-Magid, I. M., "Wastewater Reclamation and Reuse", Lewis Publication Co. Ltd., 1995.
- 6) "Standard methods for the examination of water and wastewater" 18th Ed., American Public Health Association, Washington, D.C., 1992.
- 7) 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.
- 8) Rudolfs, W. and Palmat, J. L., "Colloids in sewage I: Separation of sewage colloids with the aid of the electron microscope", Sew. and Indus. Wastes, 24(3), 1952, 247-56.
- 9) "Radiological Health", U.S. Department Health Education And Welfare, U.S. Printing Office, Washington, D.C., 1970, 413-441.
- 10) Nebiker, J. H., "Dewatering of sewage sludge on granular materials", Envir. Engng. Report No. EVE-8-68-3, 1968.
- 11) 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.
- 12) Abdel-Magid, I. M. "The influence of additives on the rheological properties of sewage sludges", Sudan Engng. Soci. J., 26, 1984, 31.
- 13) Taylor, G., "Some humus sludge conditioning experiments", J. Proc. Inst. Sew. Purif., 1957, 242.
- 14) Popel, H. J., "Aeration and Gas Transfer", Delft University of Technology, Herdurd, The Netherlands, 1976.
- 15) Vennard, J. K. and Street, R. L., "Elementary Fluid Mechanics", John Wiley and Sons, New York, 5th Edi., 1976.

- 16) Abdel-Magid, I. M. and ElHassan, B. M. "Water supply in the Sudan, Khartoum University Press ,Sudan National Council for Research, Khartoum 1986 (Arabic).
- 17) Abdel-Magid, I. M. "Water treatment and sanitary engineering"; Khartoum University Press, Khartoum, 1986 (Arabic).
- 18) ElHassan, B. M. and Abdel-Magid, I. M., "Environment and Industry: Treatment of Industrial Wastes", Institute of Environmental Studies, Khartoum University, Khartoum, 1986.
- 19) Coackley, P. and Allos, R., "The drying characteristics of some sewage sludges", J.Proc. Inst. Sew. Purif., 6, 1962, 557.
- 20) Coackley, P. "The theory and practice of sludge dewatering", J.Instn. Pub. Health Engrs., 64(1), 1965, 34.
- 21) Sawyer, C. N. and McCarty, P. L.;"Chemistry for environmental engineering", McGraw-Hill Kogakusha Ltd., Tokyo, 1978.
- 22) Abdel-Magid, I. M. "Selected problems in wastewater engineering", Khartoum University Press, National Research Council, Khartoum, 1986.
- 23) Mara, D., "Sewage treatment in hot climates", Wiley and Sons, Chichester, 1980.
- 24) Adams, V. D., Water And Watewater Examination Manual, Lewis Publishers, Chelsea, MI, 1990, 54-56, 75, 79.
- 25) WHO, Guidelines for Drinking Water Quality, Volume 1: Recommendations, WHO, Geneva, 1993.
- 26) 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.

الفصل الثانى

تكنولوجيا تنقية المياه

٢ - ١ مقدمة

الماء هو عصب الحياة، وليس هنالك ما هو أشمل وأكمل وأصدق من قول المولى عز وجل فى سورة الأنبياء الآية ٣٠ " أولم ير الذين كفروا أن السموات والأرض كانتا رتقا ففتقناهما وجعلنا من الماء كل شئ حى أفلا يؤمنون " . صدق الله العظيم .

ولا يخفى على أحد الدور الهام والأساسى للماء فى حياة الفرد العادية ومعيشته اليومية كما وأن الماء يلعب دورا أساسيا فى تقدم الشعوب ورخائها ونماتها وإزدياد الصناعة والزراعة والعمران عندها. وربما أدى شح الماء الى تطاحن الشعوب ونشوب الأزمات السياسية والحروب بينها عند إقتتالها على الموارد المائية الموجودة. وقد شهد التاريخ ومافئى الكثير من هذه الأحداث المحزنة والمؤلمة. وترشيد الماء وحسن إستخدامه فيه المنفعة الراهنة والحاضرة والمستقبلية. وديننا الحنيف يحث على الإقتصاد فى إستعمال الماء، فقد ورد فى فقه السنة للسيد سابق (الصادر من مكتبة الخدمات الحديثة والموزع من دار القبلة للثقافة الإسلامية بجدة المجلد الأول ص ٤٧) أنه روى عن عبدالله بن عمر رضى الله عنهما أن النبى صلى الله عليه وسلم، مر بسعد وهو يتوضأ، فقال: ما هذا السرف يا سعد؟ فقال: وهل فى الماء سرف؟ قال: نعم، وإن كنت على نهر جار". رواه أحمد وابن ماجه وفى سننه ضعف. والإسراف يتحقق بإستعمال الماء لغير فائدة شرعية، كأن يزيد فى الغسل عن الثلاث، ففى حديث عمرو بن شعيب عن أبيه عن جده رضى الله عنهم قال: "جاء أعرابى الى النبى صلى الله عليه وسلم، يسأله عن الوضوء فأراه ثلاثا ثلاثا، قال "هذا الوضوء" من زاد على هذا فقد أساء وتعدى وظلم" رواه أحمد والنسائى وابن ماجه وابن خزيمة بأسانيد صحيحة، وعن عبدالله بن مغفل رضى الله عنه قال: سمعت النبى صلى الله عليه وسلم، يقول: "أنه سيكون فى هذه الأمة قوم يعتدون فى الطهور والدعاء". رواه أحمد وأبو داود وابن ماجه، قال البخارى: كره أهل العلم فى ماء الوضوء أن يتجاوز فعل النبى صلى الله عليه وسلم. لحديث أنس رضى الله عنه قال: "كان النبى صلى الله عليه وسلم، يغتسل بالصاع الى خمسة أمداد، ويتوضأ بالمد". متفق عليه. وذكر السيد سابق أن الصاع أربعة أمداد، وأن المد ١٢٨ درهما وأربعة أسباع الدرهم (٤٠٤ سم ٣) .

وعلاقة الماء والصحة العامة ترجمت فى العديد من الدراسات والمحاور البيئية. ومن ثم فطن الإنسان الى أهمية تنقية الماء والمحافظة عليه قبيل إستخدامه لأغراضه المختلفة. ويتناول هذا الفصل عملية تنقية المياه والأنماط والطرق المستخدمة للحصول على مياه نقية تواكب التشريعات والمعايير التى تحافظ على الصحة العامة وسلامة الفرد وممتلكاته .

٢ - ٢ إختيار مصدر المياه

توجد العديد من أنواع مصادر المياه على كوكب الأرض، غير أنه يمكن إجمالها فى ثلاث صور تضم : مياه الأمطار والمياه السطحية والمياه الجوفية. ومن الأهمية بمكان معرفة خصائص المصدر، وكمية المياه به ومدى إمكانية إيفائه بالكميات المطلوبة من المياه، وإستمرارية المصدر، وطاقته الإنتاجية، ونوع المياه به، وقرب المصدر أو بعده من منطقة الإستهلاك، ورغبة جمهور المستهلكين فى إستخدام المصدر .

وتستخدم مياه الأمطار بطرق مباشرة أو غير مباشرة بواسطة المواطنين. وتعتمد كمية المياه التى يمكن الحصول عليها على شدة الأمطار وزمن هطولها وفترة الهطول، والعوامل المناخية المؤثرة على الأمطار ، وطريقة تجميع المياه وحفظها، وسبل الإستخدام ومضارها، ونوعية المياه المجمعة . أما المياه السطحية فتشكل النسبة الكبرى للحصول على المياه ، وتضم فى مجملها الأنهار والبحيرات والبرك والأنهار الصغيرة والخيران الموسمية والدائمة والبحار .

وتتفاوت كمية المياه بالمصدر طبقا لنوع المصدر، وكمية الأمطار الهاطلة بالمنطقة، ومقدار الجريان السطحي، وطبغرافية وجيولوجية وجغرافية المنطقة ، والظروف المناخية المحيطة ، والنسبة المصرح بإستغلالها من هذه المياه لا سيما وغالبا ما تشترك العديد من الدول فى مصدر من مصادر المياه وتحدد الإتفاقيات الثنائية والمشاركة كمية المياه التى يمكن أن تستغل. وعادة فإن إستخدام المياه السطحية تحكمه نوع المياه، ودرجة التلوث الموجودة، وإمكانية تنقيتها بالموارد والإمكانات المحلية المتاحة، ومدى مواكبة التنقية للتشريعات المنظمة للإستخدام. ولا بد من توخى الحذر وأخذ الحيطة عند إستخدام المياه السطحية لتفادى مشاكل التلوث بها ولعدم مضاعفة الملوثات الموجودة أو الأتيان بأخرى تصعب إزالتها من المصدر. ولا بد من أخذ العوامل الصحية فى الحسبان عند تصميم وإجازة وإنشاء المشاريع التتموية. تعتبر المياه الجوفية من أفضل المصادر للإستهلاك نسبة لنوع المياه وجودتها مقارنة بالمياه السطحية خاصة عند غياب التلوث وعند وجود الكميات الكافية من المخزون الجوفي .

أما عملية إختيار المصدر المائي الملائم فتتم بالإعتماد على عدة عوامل مؤثرة ومتداخلة فيما بينها مثل : درجة القبول للمصدر من قبل جمهور المستهلكين، كمية ونوع المياه بالمصدر، وسبل استخدام المصدر، وتكلفة الإنتاج والتوزيع، وقرب المصدر من منطقة الإستهلاك، والطاقة المستهلكة، ووجود التقانة المحلية الملائمة وأساليب وأطر التدريب، ووجود العمالة ومتطلبات التشغيل والصيانة والترميم، وإمكانية التنمية والزيادة على المدى القصير والطويل .

كما ويمكن استخدام أكثر من مصدر للإيفاء بالإحتياجات وتعتمد النسبة المئوية لإستخدام كل مصدر على العوامل الإقتصادية والفنية والإجتماعية والبيئية وعوامل التقانة فى المقام الأول. ويبين شكل ١ نظام إقتراضى يمكن إتباعه لإنتقاء مصدر الماء لمجموعة من السكان. كما ويمكن إتباع المنهاج المرسوم فى شكل ٢ لإختيار مصدر المياه.

٢-٣ أهداف تنقية المياه

من الأهداف العامة لتنقية المياه ما يلي :

- ١- إزالة المواد العالقة أو الطافية الموجودة بالمياه .
- ٢- إزالة المواد الغروانية والمواد ذات الحجم الصغير مثل: الطين والرمل .
- ٣- إزالة المواد الصلبة الذائبة العضوية وغير العضوية .
- ٤- إزالة الغازات الذائبة مثل كبريتيد الهيدروجين وثاني أكسيد الكربون والأمونيا .
- ٥- إزالة العناصر الجالبة للون و المذاق والرائحة في الماء .
- ٦- إزالة الدهون والشحوم والزيوت .
- ٧- إزالة البكتيريا والفيروسات والجراثيم الضارة بصحة الفرد .
- ٨- الإيفاء بمتطلبات نوع المياه من أجل العمليات الصناعية أو الطبية أو المنزلية أو الزراعية أو غيرها .
- ٩- الحد من تلوث المياه .
- ١٠- إعادة استخدام ودوران المياه .
- ١١- مواكبة وتطبيق التشريعات والقوانين السارية ذات الصلة بالمنطقة .

٢-٤ وحدات تنقية المياه الطبيعية

٢-٤-١ المصافي

المصافي عبارة عن أجهزة تستخدم في محطات التنقية والمعالجة لأحد أو كل من الأسباب الآتية :

- ١- إزالة المواد الخشنة والمواد الصلبة العالقة والمواد الطافية .
- ٢- منع قفل وانسداد الأنابيب .
- ٣- منع تهشم أو تحطيم أو تآكل المضخات والأجزاء الميكانيكية المتحركة الأخرى الموجودة بالمحطة .
- ٤- تخفيف الأحمال والملوثات على وحدات المعالجة التالية لها .

والمواد الواجب فصلها بالمصافي تتكون من : أوراق الأشجار، الخرق ، مواد من الخضروات، أحجار مكسرة، أغصان الأشجار، عيدان وأخشاب، وغيرها من الأجسام الكبيرة والتي لا تشكل مخاطر أو روائح غير مستحبة .

وتصنف المصافي بعدة طرق {٣، ٦، ٧، ٨، ٩، ١٠، ١١، ١٢، ١٣، ١٤} . فمثلا طبقا لطبيعة ودورة العمل تصنف المصافي الى مستمرة أو متقطعة ، كما وتقسّم طبقا لنظام التنظيف المتبع الى يدوية أو شبه يدوية أو آلية . وأيضا يمكن تقسيم المصافي على حسب فتحات المصفاة كما مبين في الجدول (١) .

جدول (١)

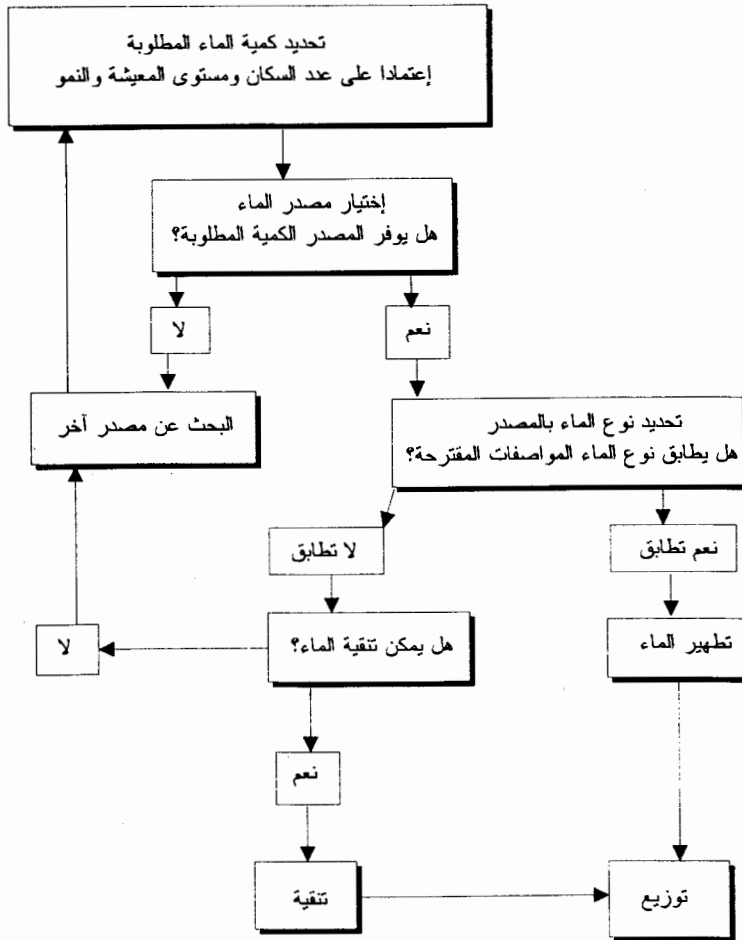
تقسيم المصافي حسب مقاس فتحات المصفاة {٢}

المصفاة	مقاس فتحات المصفاة (مللمتر)
دقيقة جدا (ميكرومترية)	٠,٠٢ إلى ٠,٠٦
دقيقة	١ إلى ٢٠
متوسطة	٢٠ إلى ٤٠
كبيرة	أكبر من ٤٠٠

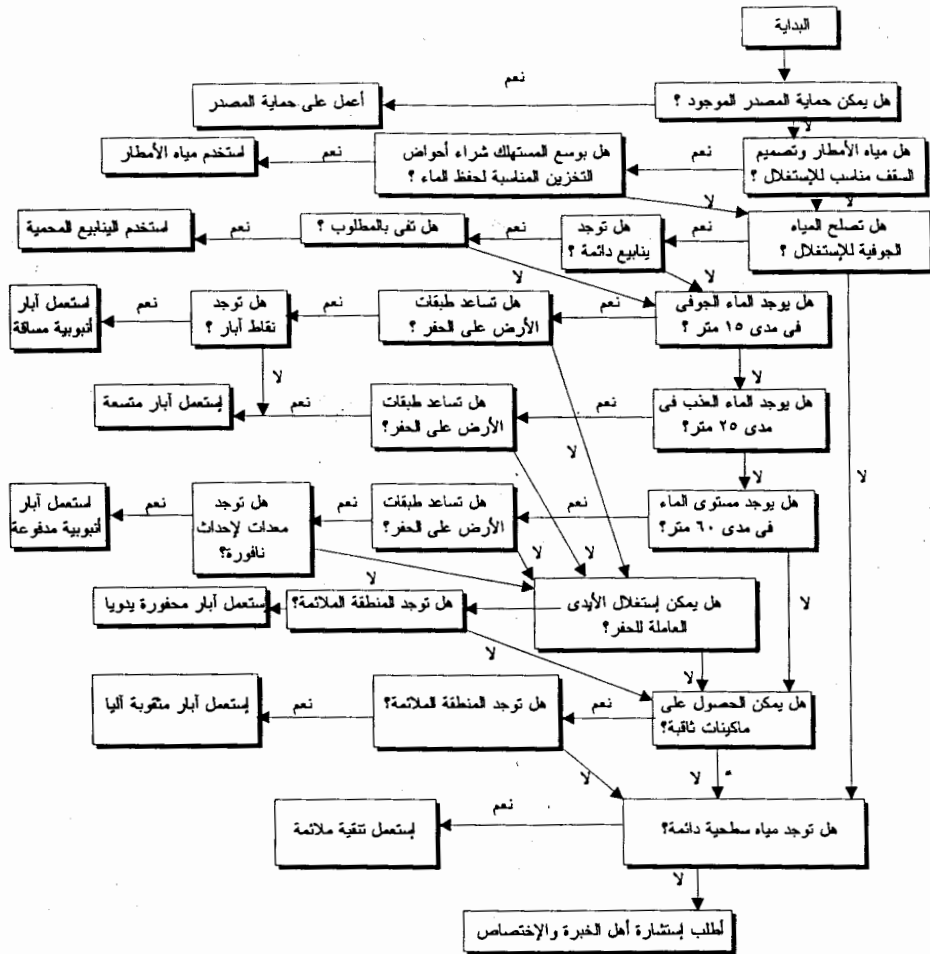
كما ويمكن تقسيم المصافي على حسب شكلها الى حاجز (راك) وقضبان وشباك . ويمكن أيضا تقسيم المصافي على حسب حالة سطح المصافي ما إذا كان ثابتا أم متحركا. (انظر شكل ٣) {٢}. أما مصافي الحاجز (راك) أو ما يعرف بالمصافي الثابتة Rack, bar, fixed screens فهي من أبسط أنواع المصافي ومن أكثرها إستخداما فى محطات تنقية المياه. وتتكون هذه المصافي من حواجز معدنية متوازية تبعد عن بعضها بمقادير ثابتة حسب نوع المصافي ما إذا كانت خشنة أم ناعمة. وتوضع الأنواع الخشنة قبل الناعمة للحيلولة دون تحطم نسيج الشباك الناعمة بالمواد الكبيرة الحجم أو تهشمها من جراء فقد السميت عند إنسداد فتحات المصفاة بالمواد المحجوزة فيها. وبالنسبة لمحطات تنقية المياه الصغيرة فيمكن نظافة المصافي بالطرق اليدوية أما بالنسبة للمحطات الكبيرة فيتم التنظيف بالطرق الآلية.

ومن المنظور الهندسى يعمل على ألا تقل سرعة دفع الماء الداخلى الى المصفاة عن ٠,٣ إلى ٠,٥ متر/الثانية لكيلا تترسب المواد العالقة والرمل، ولأقل سرعة علاقة مع مقاس وكثافة الشوائب وسرعة دفع المياه. كما ولا تزيد السرعة عبر فتحات المصفاة عن حد أقصى يتراوح بين ٠,٧ الى ١ متر/الثانية لمنع عبور المواد الرخوة عبر فتحات المصفاة. والمصافي التى تكون فى شكل شباك فإن فتحاتها تكون فى شكل مربعات تتفاوت أضلاعها ما بين ١ الى ٢٥ ملم على حسب الخواص التصميمية والإحتياجات. ويتم إستخدام هذه الأنواع من المصافي فى المواضع المتوقع فيها كميات كبيرة من المواد الصلبة الدقيقة. وعادة تنظف مصافي الشباك بالطرق اليدوية.

ونسبة لحجز المواد على سطح المصفاة فإن فتحات المصفاة ثقفل بعد مضى مدة من الزمن، مما يزيد معه المقاومة ضد إندفاق الماء، وبذا يزيد فقد السميت الى درجة ربما هددت نسيج المصفاة بالدمار. ومن هذا المنطلق فمن المستحسن إختيار مواد قوية وجيدة لصنع المصفاة. ويعمل على إستمرار ومواظبة النظافة اليدوية لتقليل المقاومة، أو ربما أمكن تقليل المقاومة بوضع مصرف آخر على المصفاة لمساعدة مرور إنسياب الدفق دون المرور على سطح المصفاة فى بعض الحالات {٤}. ويتم عملية النظافة لى لا يقل فقد السميت عن ٠,٥ مترا.



شكل (٢)
إختيار مصدر المياه {٢}



شكل (١)
إستقاء مصدر الماء { ٢٠١ }

أما مصفاة الطبل Drum screen فهي عبارة عن مصفاة مستمرة، تتكون من طبل أجوف قطره يتراوح بين ٢ إلى ٥ أمتار. ويدور الطبل حول محوره الأفقى. وتتساب المياه عبر أحد طرفى الطبل لتخرج عبر فتحات المصفاة نسبة لأن الطرف الآخر مغلق وعندما يدور الطبل فى محوره فإن المواد المحبوزة يتم أخذها بعيدا عن سطح المياه لتخزن فى حوض تجميع. ويتم نظافة المصفاة من ما علق بها من مواد بواسطة نافورة من المياه .

أما مصفاة السير فتعمل من شبك من أسلاك مرنة مربوطة مع بعضها أو من مواد أخرى. وتتم النظافة فى المصافى الدقيقة بواسطة إهتزازات السير .

وفى محطات تنقية المياه يمكن أن يتم التخلص من المواد المحبوزة بالمصافى فى المحطة بالدفن فى الأرض أو تؤخذ للدفن الصحى . أما فى محطات معالجة الفضلات السائلة فعادة تكون المواد المحبوزة مغطاة بمواد عضوية ربما نتجت عنها روائح غير مستحبة، أو مخاطر من نوع ما، مما يقتضى معه التخلص الفورى والصحى منها فى مدافن صحية أو بالحرق المقتن فى المرامد الصحية .

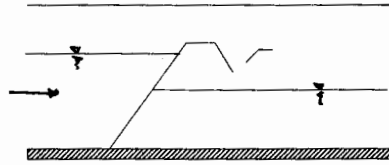
٢ - ٤ - ٢ الترسيب والطفو

الترسيب هو عبارة عن عملية تنقية يتم فيها فصل المواد الصلبة والعالقة والحبيبات كبيرة الحجم ذات الكثافة العالية بالترسيب تحت تأثير الجاذبية الأرضية. وتوضع المياه المراد تنقيتها فى حوض ترسيب لفترة طويلة من الزمن. ونسبة لأن مساحة مقطع الحوض عادة تكون كبيرة فإن سرعة الترسيب تكون قليلة. وبذا فإن الحبيبات ذات الكثافة الأعلى من السائل المحيط تترسب الى القعر، أما الحبيبات ذات الكثافة القليلة فتصعد الى سطح الحوض ليتم فصلها بعملية الطفو، مكونة طبقة الخبث أعلى الحوض Scum .

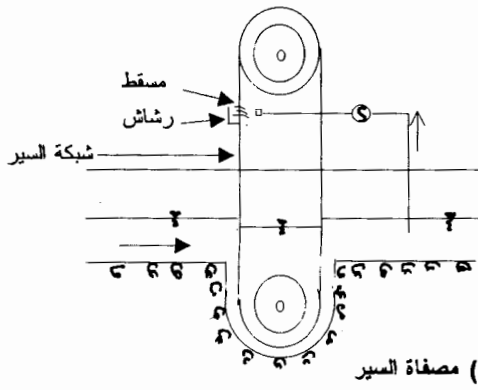
وتستخدم عملية الترسيب فى مجال تنقية الماء ومعالجة الفضلات السائلة لأسباب متعددة منها :

- ١- التخلص من الحبيبات الصلبة غير العضوية .
 - ٢- إزالة المواد الصلبة وتقليل درجات تركيزها .
 - ٣- إزالة النمو الحيوى بعد المعالجة الثانوية فى محطات معالجة الفضلات السائلة .
 - ٤- إزالة المتلبدات الكيميائية .
 - ٥- تغليظ المواد فى مغلط الحمأة Sludge thickener .
- وتؤثر فى عملية الترسيب عدة عوامل تتداخل مع بعضها مؤثرة سلبا أو إيجابا على عملية الترسيب ومنها :

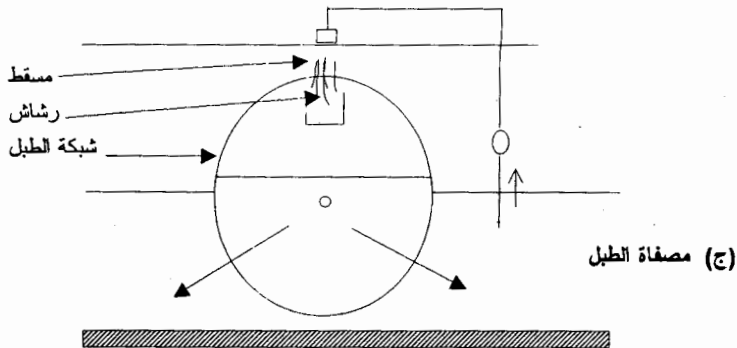
- حجم الحبيبات المراد ترسيبها .
- الثقل النوعى للحبيبات المترسبة .
- كمية ونوع ودرجة تركيز وشكل الحبيبات .
- زمن المكث المعطى لإتمام عملية الترسيب .



(أ) مصفاة القضبان



(ب) مصفاة السير



(ج) مصفاة الطبل

شكل (٣) بعض أنواع المصافي {٣،٢}

- سرعة دفق الماء عبر الحوض .

- سرعة ترسيب الحبيبات .

- الخواص الطبيعية للماء (مثل درجة الحرارة، اللزوجة، وغيرها) .

- التفاعلات والتغيرات الكيميائية والحيوية بين الحبيبات والساقل الذى يتم فيه الترسيب .

- الظروف المحيطة بعملية الترسيب .

ويمكن زيادة كفاءة عملية الترسيب بإضافة مواد مساعدة مثل الطين أو اللينتونيت أو بعض المفتتات الضغيرة أو بإضافة مواد كيميائية (طبيعية ومصنعة) للماء الخام. كما ويمكن زيادة كفاءة عملية الطفو بتمرير هواء أو غاز الكلور مثلا عبر قعر الحوض .

وتوجد أشكال عديدة لأحواض الترسيب تقسم على حسب نظام التشغيل الى تشغيل مستمر أو متقطع، كما يمكن أن تقسم على حسب شكلها الهندسى الى دائرى ومربع ومستطيل، وتقسم أيضا على حسب إتجاه سرعة دفق وسريان المياه خلالها الى دفق أفقى ودفق قطرى ودفق رأسى. كما ويتم تقسيم الترسيب الى نوعين رئيسيين هما ترسيب إبتدائى (بعد التصفية وإزالة المواد غير العضوية)، وترسيب نهائى يستخدم فى محطات معالجة الفضلات السائلة بعد المعالجة الحيوية .

وتصعب المفاضلة بين أنواع أحواض الترسيب غير أن الأحواض التى تعمل بإستمرار تستخدم لمحطات تنقية المياه ذات السعة الكبيرة. ويمكن مفاضلة الأحواض الدائرية أو المربعة أو المستطيلة من حيث تكلفة الإنشاء ومعايير وأسس التصميم. وعامة فإن إختيار أى من الأنواع المختلفة لأحواض الترسيب يبنى على خبرة المصمم والمعايير الاقتصادية والاجتماعية {٢} . ويبين شكل (٤) بعضا من أنواع أحواض الترسيب {٢، ٣، ٤، ٥، ٦، ٧، ١٣} .

وتعتبر أحواض الترسيب أفقية الدفق من أفضل الأنواع للتخلص من المواد المتفردة والحبيبات المتقطعة Discrete. وتفضل الأحواض الضحلة الطويلة والضيقة لزيادة كفاءة إزالة المواد الصلبة لنفس السعة وحجم الحوض. غير أن أحواض الترسيب الدائرية تفضل إعتادا على البيئة المحلية لعدة أسباب منها :

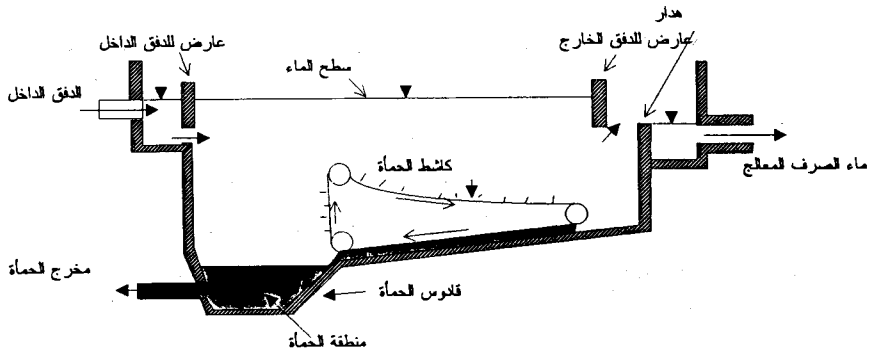
١- أنها تستخدم الأرض المتاحة بطريقة أفضل .

٢- توفر من التكلفة الكلية للإنشاء وتقلل من المواد المستخدمة للإنشاء .

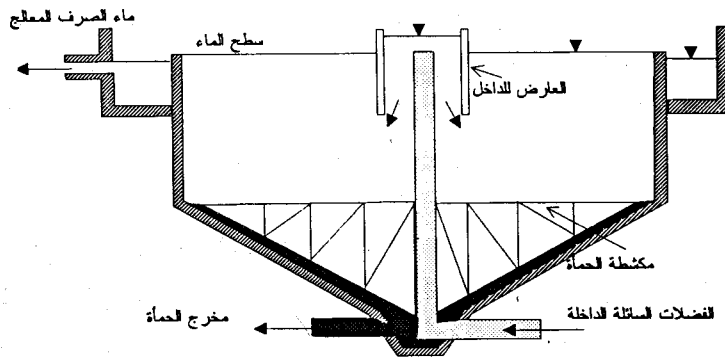
٣- تعطى مجالا أفضل لإنتقاء مواد دائمة مثل الخرسانة سابقة الإجهاد لإزالة الحبيبات المتلبدة .

كما وتم الحصول على نتائج أحسن بإستخدام الأحواض ذات الإندفاق الرأسى والتى لها عمق أكبر، ومدخل أكثر إتقانا لتنظيم دخول الماء مقسما بانتظام على كل مساحة الحوض لزيادة كفاءة الترسيب {٦، ١٤، ١٥، ١٦، ١٧} .

وظاهرة الترسيب تنقسم الى عدة أقسام إعتادا على نوع وشكل وحجم وكثافة الحبيبات المترسبة ، وخواص سائل الترسيب. ومن هذه الأنواع الترسيب المتفرد أو المتقطع ، والترسيب المعاق ، والترسيب المتلبد ، والترسيب المنضغط .



رسم تخطيطي لحوض ترسيب مستطيل أفقي، الدفع



رسم تخطيطي لحوض ترسيب دائري

شكل (٤) بعض أنواع أحواض الترسيب

يتم الترسيب المتفرد أو المتقطع Discrete settling عندما تضحل قوى التجمع الطبيعية. وفي خلال فترة الترسيب تتبع كل حبيبة عالقـة مسارها بسرعة منتظمة دونما حدوث أى تغيير فى حجمها أو شكلها أو كثافتها، ولا يحدث أى إختلاط أو إتحاد بين هذه الحبيبات والحبيبات الأخرى فى المحلول، كما ولا تعوق جدران الحوض عملية الترسيب. ومثال لهذا النوع من الترسيب ترسيب حبيبات الرمل وترسيب الحبيبات الصلبة غير العضوية .

أما الترسيب المعاق أو ترسيب المنطقة Hindered (zone) settling فيحدث عندما تأتى الكثافات العالية بتداخل الحبيبات مع بعضها وتقاربها بحيث أن إزاحة الماء من إحدى الحبيبات يؤثر فى السرعة النسبية للحبيبات المجاورة. ومن خواص هذا النوع من الترسيب وجود قوى بين الحبيبات تؤثر على خواص ترسيب الحبيبات المجاورة، وأن الحبيبات تهبط بنفس سرعة الترسيب، كما وأن الترسيب يحدث لمجموعة أو كتلة من الحبيبات يمكنها الترسيب كوحدة، وتظل الحبيبات فى مناطق ثابتة بالنسبة لبعضها البعض . ويمكن تقدير الترسيب المعاق من المعادلة ١، والتي تتحقق لرقم رينولد أقل من ٠.٢ كما هو الحال فى الترسيب المعاق {١١} .

(١)

$$v/v = (1 - C_v)^{4.65}$$

حيث :

$$v' = \text{سرعة الترسيب المعاق (م/ث)} .$$

$$v = \text{سرعة ترسيب الحبيبة (م/ث)} .$$

$$C_v = \text{النسبة الحجمية} = \text{حجم الحبيبات} / \text{الحجم الكلى للعالق} .$$

أما الترسيب المتلبد Flocculant settling فيحدث عندما تتمكن قوى طبيعية من تقارب الحبيبات وتجاذبها وإتحادها لتترسب كوحدة ، وبذا يحدث تغير فى شكل وحجم ووزن الحبيبة المترسبة . ويزداد هذا النوع من الترسيب بازدياد عمق حوض الترسيب وزيادة زمن المكث بالحوض .

أما الترسيب المنضغط Compression settling فتترسب فيه الحبيبات مكونة بنية محددة، ويتم الترسيب بضغط الحبيبات على بعضها البعض .

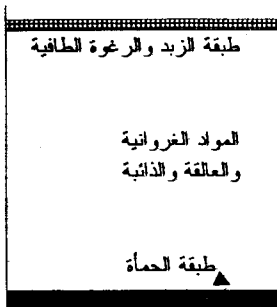
نظرية الترسيب للترسيب المتفرد أو المتقطع Class I settling :

عند وضع حبيبة فى سائل أقل منها كثافة فإنها تتسارع بعجلة الى أن تبلغ سرعة منتظمة بعدها يتساوى الوزن المغموـر مع قوى الإعاقة الإحتكاكية كما موضح فى المعادلة ٢، أنظر شكل (٥) .

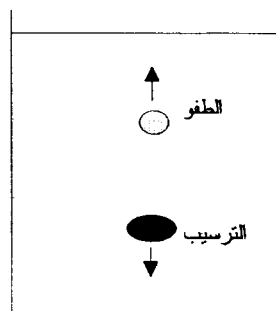
أ - القوى العاملة على الترسيب المنفرد للحبيبات



للزمن t



للزمن صفر



ب - الترسيب والطفو

ترسيب الحبيبات شكل (٥)

الوزن المغمور (وزن الحبيبة - قوى الدفع) - قوى الإعاقة الاحتكاكية

(٢)

$$V \cdot g \cdot (\rho_s - \rho) = \rho \cdot C_D \cdot A (v^5/2)$$

حيث:

V - حجم الحبيبة (m^3) .

g - عجلة الجاذبية الأرضية (m/s^2) .

ρ_s - كثافة الحبيبة (kg/m^3) .

ρ - كثافة سائل الترسيب (kg/m^3) .

C_D - معامل الإعاقة الاحتكاكية (معامل السحب) ، ويعتمد على رقم رينولد ومعامل الحبيبة

(انظر شكل ٦) .

A - مساحة مقطع الحبيبة (m^2) .

v - سرعة الترسيب المنتظمة للحبيبة (m/s) .

ويعتمد معامل الإعاقة الاحتكاكية على نوع التدفق ما إذا كان تدفقا مضطربا أم تدفقا صفحيا أم بين ذلك . وبالنسبة للتدفق الصفحي الرأسى يقل رقم رينولد عن ٠,٥ ويمكن إيجاد معامل الإعاقة الاحتكاكية من المعادلة ٣ .

(٣)

$$C_D = 24/Re$$

حيث :

C_D - معامل الإعاقة الاحتكاكية .

Re = رقم رينولد .

يمكن إيجاد رقم رينولد (النسبة بين قوى القصور الذاتي inertia وقوى اللزوجة) من المعادلة ٤ .

(٤)

$$Re = \rho \cdot v \cdot d / \mu$$

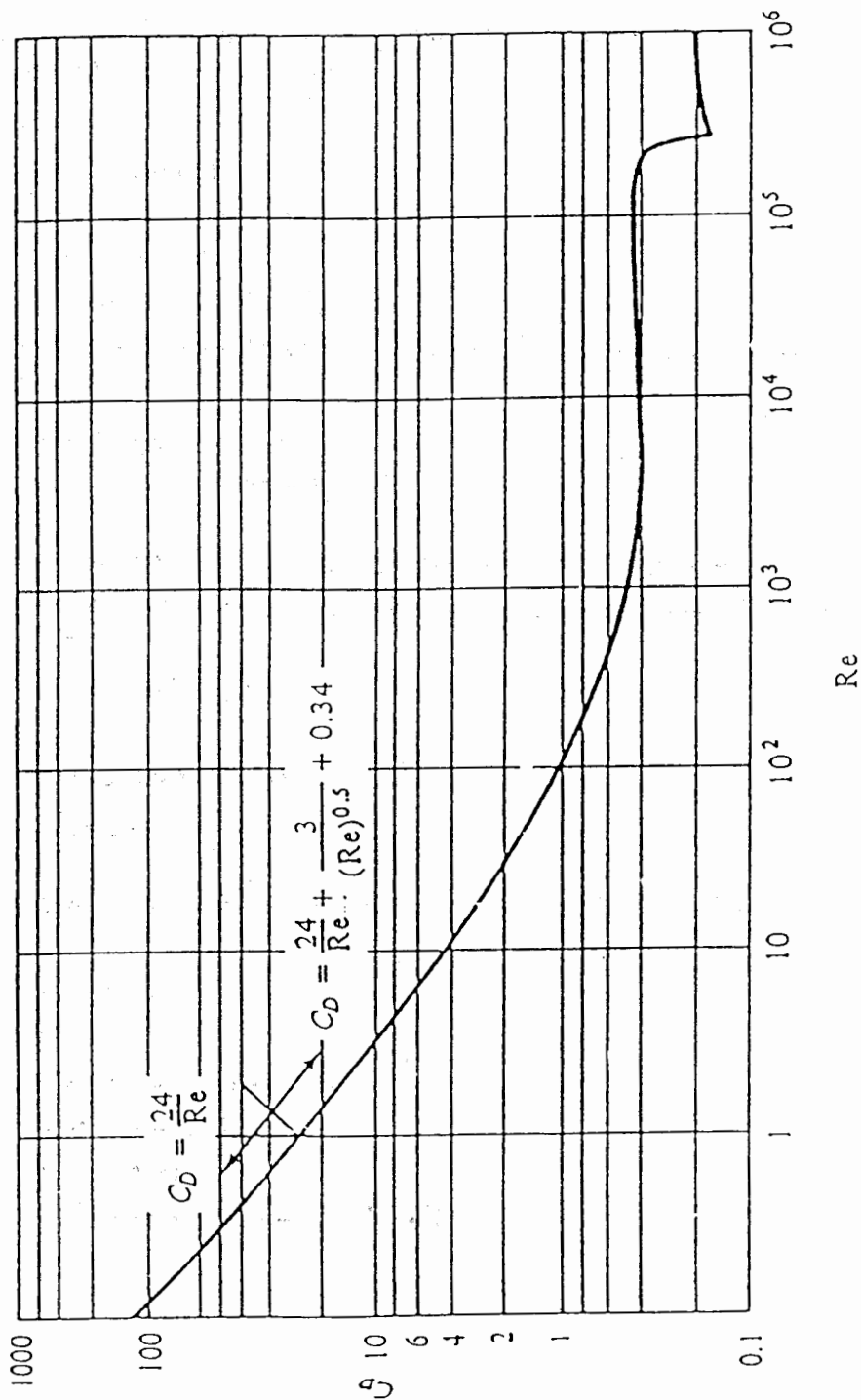
حيث :

ρ - كثافة سائل الترسيب (kg/m^3) .

v - سرعة الترسيب (m/s) .

d - قطر الحبيبة (m) .

μ - درجة لزوجة سائل الترسيب (نيوتن*ث/م^٢) .



شكل (٦) تغير معامل السحب للكريات مع رقم رينولد {١٧}

وبافتراض أن الحبيبة المترسبة كروية الشكل وتترسب تحت دفع صفحي فيمكن إيجاد سرعة الترسيب من قانون استوك كما موضح في المعادلة ٥ .

$$v = g \cdot d^2 \cdot (s.g. - 1) / 18 \cdot \eta \quad (٥)$$

حيث :

v = سرعة الترسيب المنتظمة للحبيبة (م/ث) .

g = عجلة الجاذبية الأرضية (م/ث^٢) .

d = قطر الحبيبة الكروية الشكل (م) .

$s.g.$ = الكثافة النوعية للحبيبة .

η = درجة اللزوجة الكينماتكية (م^٢/ث) .

أما في حالة الترسيب الذي يحدث عند دفع بين الصفحي والمضطرب فإن رقم رينولد يحسب على حسب المعادلة ٦ .

$$10^4 > Re > 0.5 \quad (٦)$$

وعليه فيحسب معامل الإعاقة الاحتكاكية على حسب المعادلة ٧ .

$$C_D = (24/Re) + (3/\sqrt{Re}) + 0.34 \quad (٧)$$

حيث :

C_D = معامل الإعاقة الاحتكاكية .

Re = رقم رينولد .

كما يمكن إيجاد سرعة الترسيب في هذه الحالة كما مبين في المعادلة ٨ .

$$v = \sqrt{\{[4g \cdot d \cdot (s.g. - 1)] / 3 \cdot C_D\}} \quad (٨)$$

وبالنسبة للدفع المضطرب فإن رقم رينولد يكون كما موضح في المعادلة ٩ .

$$500 < Re < 10^4 \quad (٩)$$

ويمكن أخذ معامل الإعاقة الاحتكاكية كما مبين في المعادلة ١٠ .

$$C_D = 0.4 \quad (١٠)$$

وعليه فإن سرعة الترسيب بالنسبة للدفع المضطرب يمكن إيجادها من المعادلة ١١ .

$$v = \sqrt{[3.3g \cdot d \cdot (s.g. - 1)]} \quad (١١)$$

مثال (١)

تترسب حبيبات صلبة في ماء على درجة حرارة 15°C . أوجد سرعة ترسيب الحبيبات علما بأن كثافتها النوعية تعادل ١.١ وقطرها المتوسط يعادل ٠.٠٤ ملم .

الحل:

١- المعطيات : $s.g. = 1.1, d = 0.04$ ملم .

٢- أوجد قيمة اللزوجة الكينماتيكية من جدول (ج) لدرجة الحرارة 15°C . لتساوى

$$v = 1.1 \times 10^{-6} \times 1.146 = 1.26 \times 10^{-6} \text{ م}^2/\text{ث}.$$

٣- افترض أن الترسب يحدث طبقا لـ ستوك ، وعليه أوجد سرعة الترسب من المعادلة

$$v = g \cdot d^2 \cdot (s.g. - 1) / 18 \nu$$

$$v = \frac{1.1 \times 10^{-6} \times 1.146 \times 18}{1.1 \times 10^{-6} \times 1.146 \times 18} = 1.1 \times 10^{-6} \times 1.146 \times 18 = 1.26 \times 10^{-6} \text{ م}^2/\text{ث}.$$

٤- راجع رقم رينولد على ضوء هذه السرعة من المعادلة

$$Re = v \cdot d / \nu$$

$$Re = \frac{1.1 \times 10^{-6} \times 1.146}{1.26 \times 10^{-6}} = 1.1 \times 10^{-6} \times 1.146 = 1.26 \times 10^{-6}$$

وبما أن رقم رينولد يقل عن ٠.٥ فيذا يكون الافتراض صحيحا للدفق الصفحي الذي يتحقق عنده قانون ستوك .

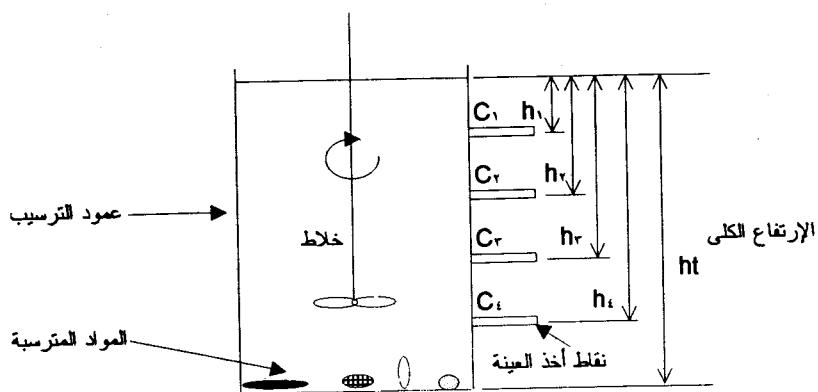
أما بالنسبة للحياة العملية فيصعب تحديد حجم ووزن وشكل الجسيمات المترسبة ، وعليه فإن درجة الترسب تحسب بعمل تجربة مخبرية . وفي هذا الاختبار يستعمل عمود أسطواني ذو مقطع منتظم وبه فتحت منتهية بصنابير على أبعاد معروفة . ويستعمل حمام مائي يمكن الحصول على درجة حرارة ثابتة . ويملأ العمود الأسطواني (أنظر شكل ٧) بالمحلول بعد الخلط الجيد وبعد معرفة درجة تركيز المواد العالقة به (C_0) . وبأخذ عينات عبر الصنابير في زمن معين توجد درجات التركيز ($C_1, C_2, \dots, C_n$) للأبعاد المختلفة ($h_1, h_2, \dots, h_n$) وعليه فإن الجسيمات ذات سرعة الترسب الأكبر من $v_1 = h_1/t_1$ تترسب بعد أخذ العينة وبقية الجسيمات تكون سرعتها أقل من v_1 ، وعليه فإن نسبة الجسيمات المترسبة X_1 والتي تكون سرعة ترسيبها أقل من v_1 يمكن إيجادها من المعادلة ١٢ .

(١٢)

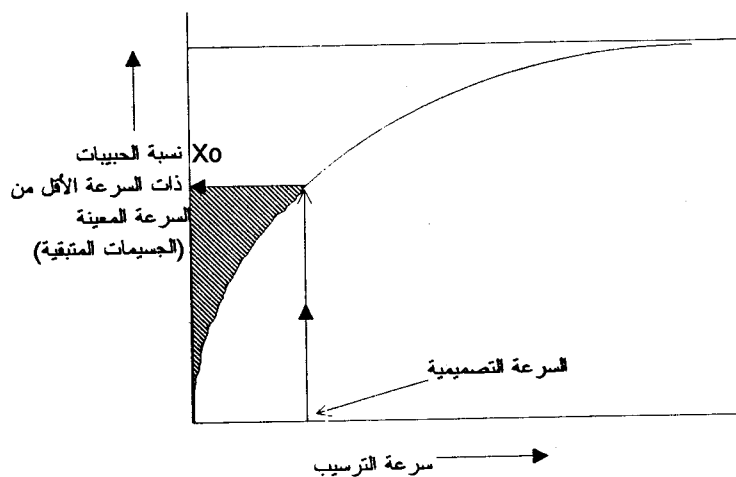
$$X_1 = C_1/C_0$$

وبإعادة التجربة لفترات زمنية مختلفة يمكن رسم مخطط بياني لخواص المواد العالقة كما موضح في شكل (٨) . ومن الشكل (٨) أنه يمكن إيجاد الإزالة الكلية في الحوض ذي الإنتفاق الأفقي والتي كما موضحة بالمعادلة ١٣ .

$$X_T = 100 - X_0 + (1/v_{s0}) \cdot \int_0^{X_0} v \cdot dx$$



شكل (٧) جهاز عمود الترسيب



شكل (٨) منحنى التوزيع المتردد التراكمي

و يمثل حد التكامل المساحة المظللة فى الشكل (٨). وبالنسبة للترسيب المتفرد وفى حوض سرعة ترسيب الماء فيه v_{so} (والتي تصل الى قعر الحوض ذى الارتفاع h_T) فإن هذه السرعة يمكن إيجادها من المعادلة ١٤.

$$(١٤) \quad v_{so} = h_T/t = (V/A)/(V/Q) = Q/A$$

ولإدراج الظروف العملية غير المثلى فيتم تقليل سرعة الترسيب التصميمية المحسوبة من جهاز عمود الترسيب بمعامل يتراوح بين ٠,٦٥ الى ٠,٨٥. كما وأن زمن المكث بحوض الترسيب يزداد بضره فى معامل يتراوح بين ١,٢٥ الى ١,٥ طبقاً لنتائج وتجارب فعلية عديدة أجريت لعدد من أحواض الترسيب {٨}.

مثال ٢:

تضم محطة معالجة أربعة أجهزة ترسيب لتعالج دفق ينساب بمعدل ٢٠ متراً مكعباً على الدقيقة. قطر كل من أجهزة الترسيب الدائرى ٢٠ متراً. وقد أشارت التجارب المخبرية على جهاز عمود الترسيب الى النتائج المدرجة فى الجدول المبين أدناه :

عمق العينة (متر)	درجة تركيز المواد الصلبة العالقة المزالة (ملجم/ لتر)				
	زمن المكث (زمن الترسيب) (ساعة)				
	٦	٣	٢	١	صفر
٠,٥	٢٨١	٢٧٣	٢٦١	١٩٧	٢٩٠
١	٢٧٦	٢٤١	٢٠٠	١٠٧	٢٩٠
١,٥	٢٥٥	٢٠٣	١٢٢	٨٧	٢٩٠
٢	٢٤٧	١٦٠	١١٠	٨٤	٢٩٠
٢,٥	٢٢٣	١٢٨	٩٣	٨١	٢٩٠

أوجد كفاءة حوض الترسيب الكلية لإزالة المواد الصلبة العالقة وأوجد مقدار المواد الصلبة الكلية فى السائل النهائى الخارج من حوض الترسيب .

الحل:

- المعطيات: $N = ٤$ حوض ، $Q = ٢٠$ م^٣/دقيقة ، $D = ٢٠$ م، بيانات عمود الترسيب .
- أوجد سرعة الترسيب والنسبة المنوية للمواد الصلبة المتبقية فى السائل الخارج من نقاط أخذ العينة فى عمود الترسيب للفترة الزمنية المختلفة كما مبين أدناه :

سرعة الترسيب = عمق نقطة أخذ العينة ÷ زمن المكث
 النسبة المئوية للمواد الصلبة المتبقية في السائل الخارج (النسبة المئوية للمواد الصلبة العالقة التي لها
 سرعة ترسيب أقل من السرعة المعنية) = ١٠٠ - النسبة المئوية للمواد الصلبة المزالة
 ويوضح الجدول أدناه هذه النتائج

العمق (ملم)	الزمن (ث)	السرعة (ملم/ث)	المواد الصلبة المزالة (%)	النسبة المئوية للمواد العالقة التي لها سرعة أقل من السرعة المعنية (%)
٥٠٠	٣٦٠٠	٠,١٣٩	٦٨	٣٢
٥٠٠	٧٢٠٠	٠,٠٦٩	٩٠	١٠
٥٠٠	١٠٨٠٠	٠,٠٤٦	٩٤	٦
٥٠٠	٢١٦٠٠	٠,٠٢٣	٩٧	٣
١٠٠٠	٣٦٠٠	٠,٢٧٨	٣٧	٦٣
١٠٠٠	٧٢٠٠	٠,١٣٩	٦٩	٣١
١٠٠٠	١٠٨٠٠	٠,٠٩٣	٨٣	١٧
١٠٠٠	٢١٦٠٠	٠,٠٤٦	٩٥	٥
١٥٠٠	٣٦٠٠	٠,٤١٧	٣٠	٧٠
١٥٠٠	٧٢٠٠	٠,٢٠٨	٤٩	٥٨
١٥٠٠	١٠٨٠٠	٠,١٣٩	٧٠	٣٠
١٥٠٠	٢١٦٠٠	٠,٠٦٩	٨٨	١٢
٢٠٠٠	٣٦٠٠	٠,٥٥٦	٢٩	٧١
٢٠٠٠	٧٢٠٠	٠,٢٧٨	٣٨	٦٢
٢٠٠٠	١٠٨٠٠	٠,١٨٥	٥٥	٤٥
٢٠٠٠	٢١٦٠٠	٠,٠٩٣	٨٥	١٥
٢٥٠٠	٣٦٠٠	٠,٦٩٤	٢٨	٧٢
٢٥٠٠	٧٢٠٠	٠,٣٤٧	٣٢	٦٨
٢٥٠٠	١٠٨٠٠	٠,٢٣١	٤٤	٥٦
٢٥٠٠	٢١٦٠٠	٠,١١٦	٧٧	٢٣

٣- أرسم منحنى التوزيع المتردد التراكمي برسم النسبة المئوية للمواد المتبقية في السائل الخارج من
 الحوض مع سرعة الترسيب كما موضح في شكل حل مثال ٢ .

٤- أوجد الدفق المناسب لكل حوض = الدفق الكلي ÷ عدد الأحواض

$$= (٢٠ ÷ ٦٠) = ٤ ÷ ٠,٠٨٣ م^٣/ث .$$

٥- أوجد مساحة كل حوض من المعادلة $A = (\pi/4) * D^2$

$$A = \pi \times (٤ ÷ ٣,١٤) = ٢٢٠,٢ م^٢ .$$

٦- أوجد سرعة الترسيب التصميمية للحبيبات من المعادلة $v_s = Q/A$

$$v_s = ٢٢٠,٢ ÷ ٠,٠٨٣ = ٢٦٥,٦٥ م/ث$$

$$= ٠,٢٦٥ ملم/ث .$$

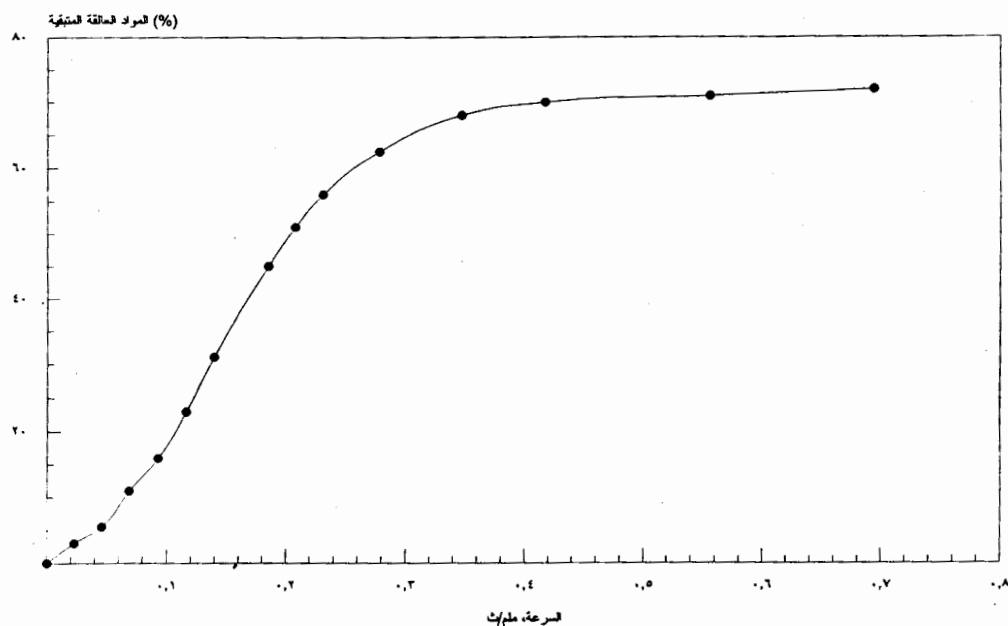
٧- أوجد من منحنى التوزيع المتردد التراكمى وللسرعة التصميمية التى تعادل ٠.٢٦٥ ملم/ ث قيمة $X_0 = 65\%$

٨- أوجد الكفاءة الكلية لحوض الترسيب من المعادلة

$$X_T = 100 - X_0 + (1/v_s) * \int v * dX$$

حيث يمكن إيجاد جزء التكامل من إيجاد المساحة بين المحور الصادى ومنحنى التوزيع المتردد التراكمى والخط الأفقى من نقطة تقاطع المنحنى والسرعة التصميمية ليساوى $3-1.0 \times 8.73$ ، ويمكن إيجاد المساحة بالتقريب من الرسم البيائى أو باستخدام نظرية سمسون أو نظرية نيوتن-رافسون أو باستخدام الممساح ، وبذا يمكن إيجاد الكفاءة الكلية للحوض

$$X_T = 100 - 65 + (1/0.265) * (3-1.0 \times 8.73) = 70\%$$



شكل حل مثال ٢

٩- أوجد قيمة تركيز المواد الصلبة فى السائل المنبثق من حوض الترسيب من المعادلة

$$C_e = C_0(1 - X_T)$$

$$C_e = 290 - (1 - 0.7) \times 87 \text{ ملجم/ لتر.}$$

ومن الأهمية بمكان ذكر أن كفاءة حوض الترسيب تتأثر ببعض العوامل منها على سبيل المثال لا الحصر:

(أ) أثر الإندفاق المضطرب :

عوملت كفاءة الترسيب على أساس أن الترسيب يحدث بصورة مثالية. غير أنه فى حالات الدفق المضطرب تتواجد مركبات سرعات عرضية، الشئ الذى يقود الى تشتت مسار الجسيمات مما يقلل من كفاءة الحوض. ولتحقيق إندفاق صفحى فلا بد أن يكون رقم رينولد ما بين ٥٨٠ الى ٢٠٠٠ بالنسبة للإندفاق الأفقى، وهذا يعتمد على طريقة إنشاء مدخل الحوض، ونوع وخواص أجهزة إزالة الحمأة، ووجود الأعمدة والعوارض والحوائط الخشنة، وغيرها من العوامل التى تقلل إندفاق الماء. ورقم رينولد عبارة عن النسبة بين قوى القصور الذاتى وقوى اللزوجة. ويمكن إيجاده من المعادلة ١٥ .

$$Re = \rho * v_H * r_H / \mu = v_H * r_H / \nu \quad (١٥)$$

حيث:

Re = رقم رينولد .

ρ = كثافة السائل (كجم/م^٣) .

v_H = سرعة الدفق الأفقية (م/ث) .

r_H = نصف القطر الهيدرولى (م) .

μ = درجة اللزوجة الديناميكية (نيوتن*ث/م^٢) .

ν = درجة اللزوجة الكينامتيكية (م^٢/ث) .

وبالنسبة لحوض مستطيل ذو معدل دفق أفقى (انظر شكل ٩) تحسب السرعة الأفقية من المعادلة ١٦ .

$$v_H = Q/A = Q/B * h \quad (١٦)$$

حيث:

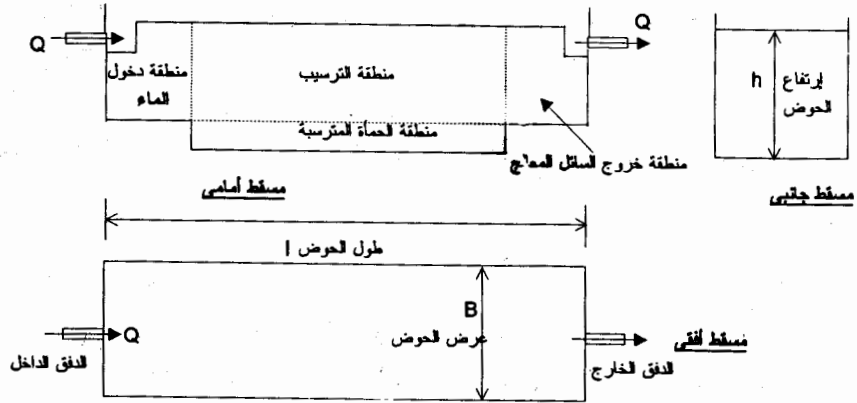
v_H = سرعة الدفق الأفقية (م/ث) .

Q = دفق الماء الى حوض الترسيب (م^٣/ث) .

A = مساحة الحوض العمودية على السرعة الأفقية (م^٢) .

B = عرض حوض الترسيب (م) .

h = عمق إرتفاع حوض الترسيب (م) .



شكل (٩) رسم تخطيطي لحوض ترسيب مستطيل أفقي الدفق

أما نصف القطر الهيدروليكي فهو عبارة عن نسبة المساحة الى المحيط المبطل كما مبين في المعادلة (١٧)

$$(١٧) \quad r_H = A/w_p = Bh/(B + 2h)$$

حيث :

r_H = نصف القطر الهيدروليكي (م) .

A = مساحة مقطع الحوض العمودي على الإنتفاق الأفقي (م^٢) .

w_p = المحيط المبطل (م) .

وبأخذ المعادلات (١٦) و (١٧) في الاعتبار فيمكن إعادة كتابة المعادلة (١٥) لتقرأ كما موضح في المعادلة (١٨) .

$$(١٨) \quad Re = Q/v^*(B + 2h)$$

كما يمكن أخذ المعادلة (١٢) في الاعتبار كما مدرج في المعادلة (١٩) .

$$(١٩) \quad v_s = Q/A = Q/BL$$

حيث :

L = طول حوض الترسيب (م) .

وعليه يمكن كتابة المعادلة (١٨) لتقرأ

$$(٢٠) \quad Re = v_s * B * L / v^*(B + 2h)$$

واللحصول على دفق صفحي فلا بد من تقليل رقم رينولد . وتبين المعادلات (١٨) و (٢٠) أن رقم رينولد يمكن تقليله بعمل التالي :

- تقليل دفق الماء الى الحوض .
- زيادة عرض الحوض .
- زيادة عمق الحوض .
- تقليل طول الحوض .

وهذا يعنى أنه لتقليل مشاكل الدفق المضطرب يتطلب أن يكون حوض الترسيب عريض وعميق وقصير .

ب) الجرف (النحر) التحتى :

تعتمد كفاءة الترسيب فى حالة الترسيب البسيط أو المتفرد على سرعة الترسيب ولا تعتمد على عمق الحوض . غير أنه عندما يقل عمق الحوض تزداد سرعة الإندفاع الأفقية لدرجة أنها تجرف معها المترسبات من قعر الحوض . وهذا الجرف يبدأ على سرعة معينة تسمى سرعة الجرف SCOUR velocity . وتبدأ سرعة الجرف عندما تتساوى قوى القص الهيدروليكي (بين الماء المندفق والحبيبات المترسبة) وقوى الاحتكاك الميكانيكي (بين المترسبات فى قعر الحوض) . ويمكن إيجاد سرعة الجرف كما موضح فى المعادلة (٢١) .

$$v_{sc} = \sqrt{(40/3) * (s.g. - 1) * g * d} \quad (٢١)$$

حيث :

v_{sc} = سرعة الجرف (م/ث) .

$s.g.$ = الكثافة النوعية للحبيبات المترسبة (لا بعدى) .

g = عجلة الجاذبية الأرضية (م/ث^٢) .

d = قطر الحبيبات المترسبة (م) .

والنقصان فى كفاءة الترسيب بواسطة الجرف التحتى لا تشكل أى مخاطر ما دامت سرعة الترسيب أقل من سرعة الجرف . ويمكن منع إعادة تعليق المواد الصلبة بعمل عوارض Baffles فى حوض الترسيب .

ج) توزيع السرعة غير المنتظم ودائرة القصر :

نفترض مثاليا أن السرعة منتظمة على المساحة العمودية على اتجاه الدفق . غير أن قوى الاحتكاك عبر الجدران وأرضية الحوض تقلل من سرعة الماء . ويلاحظ أن السرعة تقل بالقرب من حدود الحوض وتزيد عن المتوسط فى منتصف الحوض . غير أن هذا التوزيع غير المنتظم للسرعة يؤثر بدرجة قليلة على كفاءة الترسيب . ونسبة للتغير فى السرعة الأفقية للماء المنساب عبر الحوض فإن بعض الحبيبات تحصل الى مخرج الحوض فى زمن أقل من الزمن النظرى للمكث ، والبعض الآخر يأخذ زمنا أطول وهذه

الظاهرة تعرف بدائرة القصر {١٤}. وتنقص كفاءة الترسيب بصورة مباشرة عندما تتكون فى الحوض مناطق راكدة أو مناطق بها تيار دوامى Eddy current وهذه تنتج مثلاً بسبب عدم تساوى توزيع الماء الداخلى الى الحوض، أو بسبب الرياح التى تأتى بتيارات على سطح الحوض. ويمكن تقليل مشاكل دائرة القصر بعدة طرق منها: استخدام حوض ذى تصميم جيد وممتاز، والتأكد من إنتظام وتساوى دخول وإنبثاق الماء عبر عرض وعمق الحوض، ومنع وجود مناطق تعلو فيها سرعة الدفق فى منطقة الدخول، وبواسطة المزج الجيد والمتجانس لمحتويات الحوض. ويمكن تحقيق الإلتزان بزيادة نسبة قوى القصر الذاتى وقوى الجاذبية، أو ما يعرف برقم فرود Froude number والذى يمكن إيجاده من المعادلة ٢٢.

$$Fr = v_H^2 / g \cdot r_H \quad (٢٢)$$

حيث :

Fr - رقم فرود .

v_H - سرعة الإندفاق الأفقية (م/ث) .

g - عجلة الجاذبية الأرضية (م/ث^٢) .

r_H - نصف القطر الهيدرولى (م) .

وبتعويض المعادلات ١٦ و ١٧ و ١٩ يمكن إعادة كتابة المعادلة ٢٢ كما موضح فى المعادلة ٢٣

$$Fr = [Q^2 \cdot (B + 2h)] / (g \cdot B \cdot h_i) = [v_s^5 \cdot L^5 \cdot (1 + 2h/B)] / g \cdot h; \quad (٢٣)$$

ومن المعادلة ٢٣ يتضح أن تحقيق الإلتزان عبر زيادة رقم فرود يمكن أن تتم بإحدى هذه الصور:

- * زيادة الماء الداخلى لحوض الترسيب .
- * تقليل عرض الحوض .
- * تقليل عمق الحوض .
- * زيادة طول الحوض .

وهذا يعنى أنه لتحقيق الإلتزان داخل حوض الترسيب فمن الأنسب تصميم حوض ضيق وضحل وطويل. وهذا الشرط يعاكس كلية شرط تفادى الإندفاق المضطرب. وعليه فمن المتبع أخذ أرقام كبيرة لفروود ولكنها ليست بالكبر الذى يولد معه مخاطر الإندفاق أو الجرف التحتى. وقد وجد من كثير من التجارب أن أنسب قيمة لرقم فرود {١٤} كما موضح فى المعادلة ٢٤ .

$$Fr \geq 10^{-5} \quad (٢٤)$$

مثال ٣ :

يراد معالجة محلول عالق في حوض ترسيب أفقى، عرضه ٨ متراً، وطوله ٢٥ متراً، وإرتفاعه ١,٥ متراً. أدخل العالق الى حوض الترسيب بمعدل دفق يساوى ١٠ متراً مكعباً على الدقيقة. بافتراض أن الترسيب مثالى أوجد قيمة رقم فروود ورقم رينولد للإندفاق الأفقى للماء الذى تبلغ درجة حرارته ٢٠ م° .

الحل :

١- المعطيات: $B = ٨$ م، $L = ٢٥$ م، $h = ١,٥$ م، $Q = ١٠$ م^٣/دقيقة، $T = ٢٠$ م° .

٢- أوجد قيمة الكثافة الكينامتيكية من جدول (ج) لدرجة حرارة ٢٠ م° لتساوى

$$\nu = ١,٠١١ \times ١٠^{-٦} \text{ م}^٢/\text{ث} .$$

٣- أوجد نصف القطر الهيدروليكي من المعادلة

$$r_H = Bh / (B + 2h)$$

$$r_H = (١,٥ \times ٨) / (٨ + ١,٥ \times ٢) = ١,١ \text{ م}$$

٤- أوجد سرعة الدفق الأفقى للماء من المعادلة

$$v_H = Q / Bh$$

$$v_H = (١٠ / (٨ \times ١,٥)) = ١,٣٩ \text{ م/ث} .$$

٥- أوجد قيمة رقم رينولد من المعادلة

$$Re = v * r_H / \nu$$

$$Re = (١,٣٩ \times ١,١) / (١,٠١١ \times ١٠^{-٦}) = ١٥١٢٤$$

وهذا الرقم يتجاوز كثيراً ٢٠٠٠ وبذا فمن المتوقع حدوث مشاكل الدفق المضطرب، وعليه يستحسن عمل عوارض للحوض .

٦- أوجد قيمة رقم فروود من المعادلة

$$Fr = v_H^2 / g * r_H$$

$$Fr = (١,٣٩^2) / (٩,٨١ \times ١,١) = ٠,١٨$$

وبما أن رقم فروود أكبر من ١٠-٥ ، فعليه ليس هنالك مشاكل إتزان .

الترسيب المتبلد

عندما يترك عالق من الجسيمات المختلفة الكثافة لترسب، فإن لكل حبيبة سرعة ترسيب مختلفة عن الحبيبات الأخرى، وعليه فإن الحبيبات ذات السرعة الأقل (أقل كثافة) تلتحق بها الحبيبات ذات السرعة الأكبر (حجم أو وزن أكبر). وهذه الحالة تولد العديد من التصادمات التى تؤدى الى إتحاد الحبيبات وتكوينها للمتبلدات، عندما تسمح الظروف بذلك. وكفاءة الترسيب تزيد بنقصان سرعة الترسيب التصميمية للحوض، كما وأنها تزيد بزيادة عمق الحوض لمثل هذا النوع من الترسيب. وعامة فإن سرعة

الترسيب للحبيبات المتلبدة تعتمد على عوامل عدة من أهمها: سرعة الدفق وإنسياب الماء عبر الحوض، وزمن المكث (زمن الترسيب)، وعمق الحوض. ومع هذا النوع من الترسيب فإن عوامل الجرف التحتى 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 الى قعر الحوض. كما وأن التشتت يزيد من تجمع الحبيبات الصغيرة الحجم لتكون متلبدات تهبط بسرعة أعلى. وعليه فإن المحصلة الكلية للدفق المضطرب ليست كبيرة. ويمكن إستخدام جهاز عمود الترسيب لدراسة الترسيب المتلبد. ومن نتائج 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 فى المعادلة ٢٥.

$$(٢٥) \quad R_T = (\Delta h_1/h_t) \cdot (R_1 + R_2)/2 + \dots + (\Delta h_n/h_t) \cdot (R_n + R_{n+1})/2$$

حيث :

R_T - الإزالة الكلية للمتلبدات (%).

Δh_i - عمق نقطة أخذ العينة رقم i (م).

n - عدد نقاط أخذ العينات.

h_t - إرتفاع الحوض الكلى (م).

مثال ٤:

وجدت البيانات التالية من جهاز عمود ترسيب . إذا كانت درجة تركيز المواد الصلبة الداخلة للحوض تعادل ١٨٨ ملجم/ لتر. أوجد الإزالة الكلية لحوض الترسيب المتلبد الذى عمقه ١,٥ مترا، وزمن المكث فيه ٨٠ دقيقة . وأوجد درجة تركيز المواد الصلبة العالقة فى السائل الخارج من حوض الترسيب .

زمن المكث (دقيقة)	النسبة المئوية لإزالة المواد الصلبة العالقة (ملجم/ لتر)		
	العمق ١ م	٠,٥ م	١,٥ م
١٠	٤	٥	٤
٢٠	٦	٧	٥
٤٠	٨	٤٠	٧
٦٠	٢٢	٦٥	٩
٨٠	٤٥	٧٥	١٧
٩٠	٥٣	٨٠	٣٠
١٠٠	٦٠	٨٥	٣٧
١١٠	٧٠	٩٥	٥٠

الحل:

١- المعطيات: $C_0 = 188$ ملجم/ لتر، $h = 1.5$ م، $J = 80$ دقيقة .

٢- أرسم خطوط التركيزات المتساوية للبيانات المعطاة برسم عمق الحوض والزمن مع النسبة المئوية

للمواد الصلبة العالقة المزالة كما موضح في الرسم لحل مثال ٤ .

٣- أرسم خط رأسى من الزمن ٨٠ دقيقة ليقطع الخطوط على مسافات تبعد من بعضها بمقادير Δh .

٤- أوجد الإزالة الكلية باستخدام المعادلة

$$R_T = \sum_{i=1} (\Delta h_i / h_t) * (R_i + R_{i+1}) / 2$$

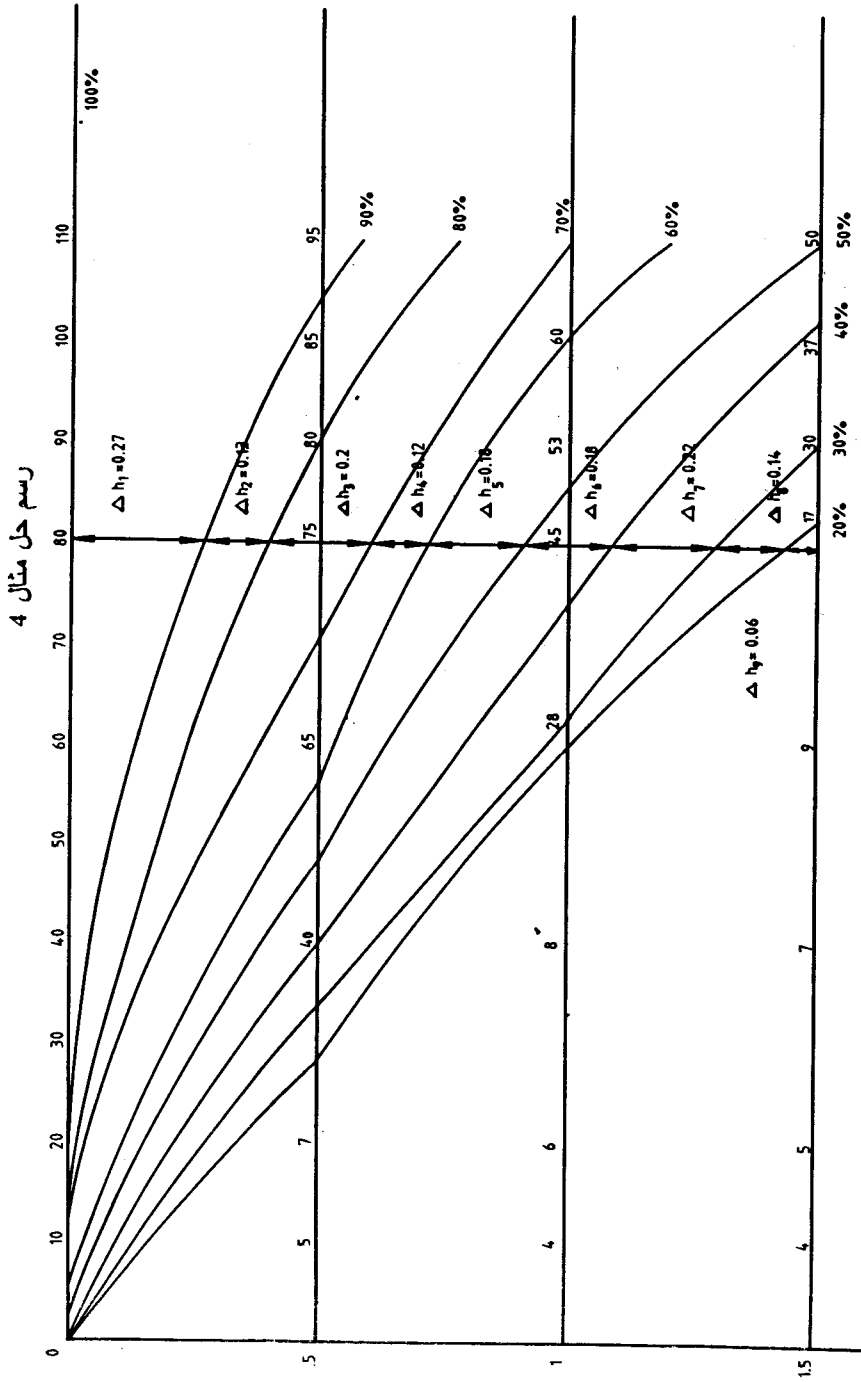
$$R_T = 60 \% .$$

٧- أوجد درجة تركيز المواد الصلبة العالقة فى السائل الخارج من حوض الترسيب طبقا للمعادلة

$$C_e = C_0 * (1 - R_T)$$

$$\therefore C_e = 188 * (1 - 0.6) = 75 \text{ ملجم/ لتر} .$$

العمق (د)



الزمن (دقيقة)

٢ - ٤ - ٣ التلبد والترويب Flocculation & Coagulation

التلبد والترويب من العمليات الهامة فى وحدات تنقية الماء ومعالجة الفضلات السائلة ، والتي تستخدم للتخلص من المواد الغروانية التي تأتى باللون والعكارة. وعادة تنسب العكارة الى وجود كميات قليلة من الطين الغروى العالق وبعض المعادن والمواد العضوية. أما اللون فيأتى من هايدروكسيد المعادن الغروية، وعادة ينسب الى مركبات عضوية معقدة تسمى بالأحماض الفولفية Fulvic acids. وفى المحاليل المخففة نسبيا فإن بعض الحبيبات لا تتصرف كجسيمات منفصلة أو متفردة، غير أنها تتصادم مع بعضها ، وتتحد أثناء ترسيبها وبذا تزيد سرعتها. وعملية التلبد تعتمد على فرصة إلتقاء الحبيبات ، والدفق السطحي ، وعمق الحوض ، وميل السرعة فى النظام، ودرجة تركيز الجسيمات ، ومقاس الحبيبات، وخواص السائل (درجة الحرارة، الرقم الهايدروجينى، الأيونات، العكارة) ، نوع وطبيعة وخواص المروبات ، وزمن وسرعة الترويب .

ولزيادة فعالية عملية التلبد تضاف الى الماء الخام كميات بسيطة من مواد كيميائية مربية مثل كبريتات الألمونيوم وكلوريد الحديد . وبعدها يبدأ التلبد وتزداد كفاءة الترسيب . وعملية الترويب والتلبد فعالة لإزالة الحبيبات صغيرة الحجم والمواد المسببة للعكارة والبكتريا. وتنقسم المروبات Coagulants الى عضوية وغير عضوية أو الى طبيعية وصناعية.

ومن أهم أمثلة المروبات :

(أ) مروبات الألمونيوم مثل : كبريتات الألمونيوم $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ ، وشب النشادر، وشب البوتاسيوم، وألومينات الصوديوم $NaAlO_2$.

(ب) مروبات الحديد وتضم الكوبراس المكور
 $Fe_2(SO_4)_3 + FeCl_3 \cdot 7H_2O + Cl_2$ ، Chlorinated copperas $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ ، وكلوريد الحديد (III) $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ ، وكبريتات الحديد (III) $Fe_2(SO_4)_3 \cdot 7H_2O$ ، وكبريتات الحديد (II) $FeSO_4 \cdot 7H_2O$.

(ج) مساعادات المروبات مثل السيلكا النشطة، والمواد المخثرة (مثل طين البنتونيت، ودقيق السيلكا، والحجر الجيرى، والكربون النشط)، والمواد المؤكسدة (مثل الكلور، وبرمنجنات البوتاسيوم، والأوزون)، والمواد متعددة الكتروليت .

والحبيبات التي تزال بواسطة المروبات يمكن تقسيمها الى قسمين رئيسيين هما مواد محبة (شغوفة) للماء Hydrophilic، ومواد كارهة للماء Hydrophobic. أما المواد الشغوفة بالماء فتتفاعل لحظيا مع الماء فتكون عالق يمكن إعادة إزالة الماء منه وإضافة للماء له بسهولة، ومن هذه المركبات النشا المذاب، والصمغ، والصابون، والمنظفات المصنعة، والدم Blood serum، والبروتين. وهذه المواد تصعب إزالتها بطرق المعالجة التقليدية.

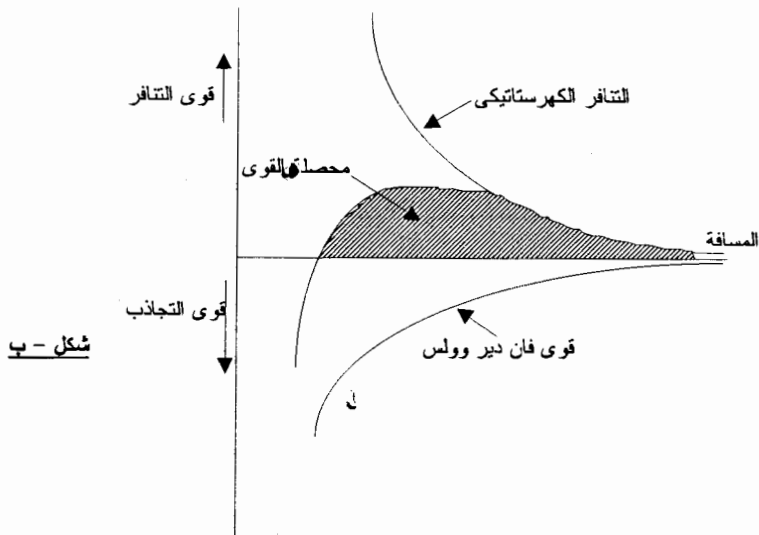
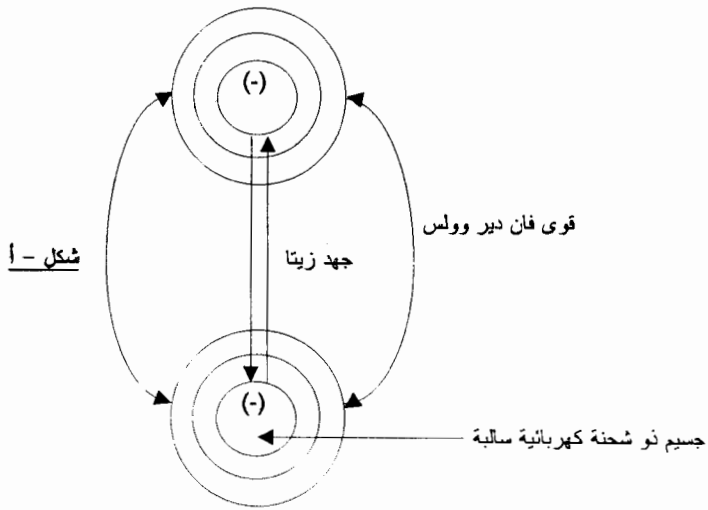
أما المواد الكارهة للماء فلا تتشتت مرة أخرى لحظيا عند إزالة الماء منها. ولا توجد قوى كبرى تربط الجسيمات مع الماء، كما ويعتمد الإتزان على التناثر . ومثال لهذه المواد معظم المواد غير العضوية والعضوية في الماء الطبيعي العكر، وغرويات أكاسيد الفلزات .

أما العوالق الغروانية فهي من أكثر المكونات للعوالق المتزنة في الماء. وعليه فخواص الجسيمات الغروانية من الأهمية بمكان . وهذه الجسيمات الغروانية أكثر تعقيدا في أشكالها من الجسيمات الكروية الشكل. وتؤثر هذه الخاصية كثيرا على خواصها. ومن الأشكال التي يمكن أن تتواجد: أشكال الكرة، والأهليلجي، والصفیحة، والقضيب، والشعيرة {١٨} . ومن الخواص العامة للعوالق الغروانية :

- * لا تزال بعملية الترشيح العادية.
- * يعوق حجمها الصغير (١ نانومتر الى ١ ميكرومتر) من مشاهدتها وكشفها بالمجهر العادي.
- * تمنع الإصطدامات الكثيرة بين الحبيبات (حركة براون Brownian motion) ترسبها تحت قوى الجاذبية الأرضية .
- * للمواد الغروية قابلية للتلدب والترسيب .
- * تقوم الجسيمات الغروانية بتشتت الضوء (ظاهرة تندال Tyndall effect) .
- * نسبة المساحة السطحية للغروانيات الى نسبة الحجم كبيرة مما يجعل القوى الكيميائية السطحية أكثر أهمية .
- * نظام الغروانيات نظام مستقر .

ومن أهم المؤثرات السطحية بالنسبة للجسيمات الغروانية الإمتزاز (أو قابلية المادة للتجمع على السطح) ، والخواص الكهر-حركية Electrokinetic (أو قابلية سطح الجسيم الملامس للماء لتملك شحنة كهربائية) .

أما القوى التي تربط الحبيبات المتجمعة مع بعضها البعض فهي إما قوى كولوم $Columbic\ forces$ ، أو قوى لندن-فان دير وول $London-Van\ der\ Waal's\ forces$. وتظهر قوى كولوم من الشحنات الموجبة أو السالبة الكلية الموجودة على الحبيبات الأولية . ويمكن أن تكون قوى كولوم جاذبة أو طاردة. ويتناقص مقدار قوى كولوم بمربع المسافة بين الجسيمات {١٨} . أما قوى فان دير وول فتظهر من أداء إلكترونات النوى أو جزيئات النظام. وتكون قوى فان دير وول دائما قوى تجاذب تؤثر على مسافات صغيرة جدا. وتتسبب قوى فان دير وول من نقل الشحنات الإلكترونية داخل الجسيمات المحايدة . وهذا الفعل يركز الشحنات الموجبة على جهة من الحبيبة، ويركز الشحنات السالبة في الجهة المعاكسة من الحبيبة. وتسمى هذه الظاهرة بالإستقطاب $Polarization$. ويقوم الإستقطاب بإنتاج قوى جذب بين الحبيبات. وتتناقص قوى الجذب هذه مع مكعب المسافة بين الحبيبات. وعليه فإن قوى فان دير وول تؤثر لمسافة صغيرة جدا بين الجسيمات {١٨} . يبين شكل (١٠) القوى العاملة بين الجسيمات الغروانية .



شکل (١٠) القوى العاملة بين الجسيمات ذات الشحنة الكهربائية

ولكى يتم تلبد الحبيبات تعمل بعض الوسائل على حمل الحبيبات لتلامس بعضها البعض ، ومن هذه الوسائل حركة براون ، والترسيب التفاضلى بين الحبيبات ، وقوى القص . أما حركة براون العشوائية فهي ثابتة ولا يمكن التحكم فيها، غير أنها لا تؤثر كثيرا على الترسيب لأن المسافات المتوسطة الحادثة تتساوى فى جميع الجهات. أما التلبد والترسيب التفاضلى فيحدث فقط فى أثناء عملية الترسيب. وإذا كانت الحبيبات العالقة أحادية التشنت ، فتترسب كل حبيبة بنفس سرعة الترسيب ، ولا يتم ترسيب حبيبة أسرع من الإخريات. وعليه فلا توجد فرص تلامس مما لا ينتج تلبدا كثيرا .

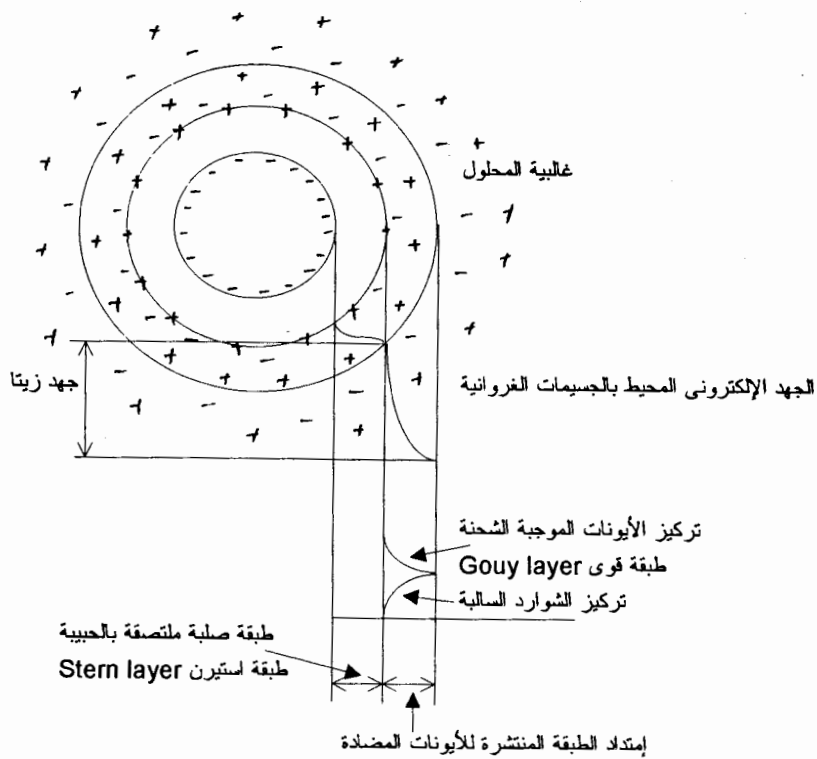
أما إذا كان النظام متعدد التشنت ، فتترسب الحبيبات الكبيرة بسرعات ترسيب أكبر من سرعة ترسيب الحبيبات الصغيرة، وعليه فهناك فرصا أكبر للتصادم بين الحبيبات. وأحد القوى التى تمنع تلبد الجسيمات يتعلق بوجود الشحنة على سطحها. ونسبة لأن الحبيبات تحمل شحنات كهربائية متماثلة، فإنها تنفر من بعضها البعض. ويقال هذا 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 وتلبدها.

إن الحبيبات الغروانية والمواد الصلبة العالقة المتواجدة فى الماء تحمل شحنة كهربائية سالبة. وهذه الشحنة تحت شحنات موجبة فى 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-حركى Electrokinetic potential، أو الرحلان الكهربى Electrophoretic mobility، أو جهد زيتا Zeta potential .

وللتخلص من الجسيمات الغروانية لا بد من تقليل الرحلان الكهربى للتخلص من قوى التنافر بين الجسيمات التى تحمل شحنات كهربائية سالبة، إذ تعمل قوى التنافر على منع الجسيمات من الوقوع فى التلبدات. وتقليل الرحلان الكهربى، أو جهد زيتا يساعد كثيرا فى ترسيب المواد الغروانية الكارهة للماء .

يبين شكل (١١) أساسيات الرحلان الكهربى، أو جهد زيتا. وتحمل الحبيبة الموضحة شحنة كهربائية سالبة، ويتمركز حول سطحها الخارجى مجموعة من الأيونات السالبة . وتقوم الشوارد السالبة على سطح الجسم الغروانى بجذب طبقة حولها من الأيونات الموجبة . وتأتى هذه الأيونات الموجبة إما من المحلول العالق أو من سطح الجسم الغروانى . وتقوم قوى الجذب الإلكتروستاتيكية (الكهربية الساكنة) بجذب هذه الشوارد . وتتوزع هذه الأيونات منتظمة فى كل المحلول بواسطة حركة براون، أو بواسطة التحريك الحرارى. ويسمى هذا النظام المشحون (سطح الجسم الغروانى والأيونات حوله) بالطبقة الكهربائية الثنائية { ١١، ١٢، ١٩ } .

ويتم جذب عدد من الأيونات الموجبة عندما تزداد الشحنة السالبة على الجسم الغروانى . ويسمح هذا التجاذب بالتصاق الشحنات على سطح الجسم الغروانى مكونا طبقة كثيفة مرتبطة بقوة تسمى طبقة استيرن Stern layer. وتنتج هذه الطبقة تعادل جزئى للشحنات وللقوى الكهروستاتيكية الجاذبة للجسم. ويقود هـ ذا التعادل الجزئى لبقية



شكل (١١) أساسيات الرحلان الكهربائي، جهد زيتا {١٩، ١٢، ١١}

الأيونات الى تنافرها وحجزها بالقرب من الجسم مكونة الجزء المنتشر من الطبقة الثنائية أو ما يسمى بالطبقة المنتشرة Diffuse layer . ينجذب الجسم الغرواني الأوسط بقوة بسبب المسافة وبسبب وجود الأيونات المضادة. وتقوم الأيونات المعاكسة المجاورة بتبادل شحنتها الموجبة وبذا تعمل على حماية الأيونات الأخرى الواقعة على مسافة منها. وبهذه الطريقة تحجز الأيونات المعاكسة المعادلة بقوة بالقرب من الجسم الغرواني ، كما وتطرد الأيونات السالبة لأى أملاح موجودة من جوار الجسم الغرواني . يعتمد سمك الطبقة المنتشرة على درجة تركيز الأملاح الموجودة فى المحلول . كما وأن طول الطبقة ينقص الى بضع أنقسترومات بزيادة تركيز الأملاح .

ويمكن تعريف جهد زيتا على إنه ذلك الجهد على السطح، والذي يقوم بفصل الجزء المتحرك من الطبقة الثنائية عن الطبقة المنتشرة . 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 ٢٦.

$$(٢٦) \quad ZP = (4\pi B q^+) / D_I$$

حيث :

- ZP = جهد زيتا (فولت) .
 B = سمك الطبقة الجدارية Boundary layer .
 q^+ = الشحنة فى الجسم الغرواني .
 D_I = ثابت العزل Dielectric constant .

أما الرحلان الكهربائى فيمكن تعريفه بمعدل حركة الجسم الى القطب تحت جهد كهربائى ، ويمكن إيجاده من المعادلة ٢٧ .

$$(٢٧) \quad U = (y \cdot A) / (t \cdot i \cdot R_s)$$

حيث :

- U = الرحلان الكهربى Electrophoretic mobility (متر/ث×فولت×م) .
 y = المسافة المقطوعة فى الزمن t (م) .
 A = مساحة المقطع (م^٢) .
 i = كثافة التيار (أمبير) .
 R_s = المقاومة النوعية للمحلول العالق (أوم×م) .

وعمليا نفترض علاقة بين جهد زيتا والرحلان الكهربائى كما مبين فى المعادلة ٢٨ .

$$(٢٨) \quad ZP = (4\pi F \cdot U) / D_I$$

حيث :

F- درجة اللزوجة الديناميكية (نيوتن/م²) .

ويستخدم جهد زيتا عادة للتحكم فى عملية الترويب لقياس الشحنة الكهر-حركية التى تحيط بالمواد الصلبة الغروانية. ولمعظم الغروانيات فإن جهد زيتا يكون فى حدود ٣٠ الى ٦٠ مللى فولت .
وتتراوح قيمة الرحلان الكهربائى بين ١٠×٤- الى ١٠×٤- م/ث×فولت×سم بالنسبة للمياه الطبيعية.
ويقاس الرحلان الكهربائى بمشاهدة حركة الجسيمات تحت تأثير حقل تيار كهربائى بواسطة المجهر .
ولدراسة وتحديد كفاءة عمل الترويب يستخدم اختبار الوعاء Jar test. ومن الأهداف العامة لهذا الاختبار:

- تحديد كفاءة عمل المروبات المختلفة .
 - تحديد الجرعة الأمثل Optimum dose لعملية الترويب .
 - إيجاد الرقم الهيدروجينى الأمثل لعملية الترويب .
 - تحديد أفضل وأكفا نمط للعديد من المروبات المختلفة .
- وطريقة الاختبار يمكن تلخيصها فى النقاط التالية :
- ١- تملأ ٦ كؤوس سعة ٢ لتر بمقدار معلوم من العينة المراد اختبارها .
 - ٢- يضاف المروب لكل كأس .
 - ٣- يتم خلط سريع بالتقليب لأقصى سرعة (١٠٠ دورة على دقيقة) لمدة دقيقة .
 - ٤- يتم تلبد العينة بمعدل خلط حوالى ٢٠ الى ٧٠ دورة فى الدقيقة لمدة تتراوح بين ١٠ الى ٣٠ دقيقة .
 - ٥- يسجل زمن تكوين المتلبدات فى كل كأس .
 - ٦- يوقف التقليب وتسجل طبيعة المتلبدات، وشفافية الماء الفوقى، وخواص ترسيب المتلبدات، ودرجة العكارة أو تركيز المواد الصلبة .

ويبين الجدول (٢) الرقم الهيدروجينى الأمثل لبعض المروبات

جدول (٢)

الرقم الهيدروجينى الأمثل لبعض المروبات المختارة {١١}

الرقم الهيدروجينى	المروب
٤ الى ٧	الشب
٣,٥ الى ٣,٦ (وأكثر من ٨,٥)	الكبراس المكثور
٣,٥ الى ٦,٥ (وأكثر من ٨,٥)	كلوريد الحديد (II)
٣,٥ الى ٧ (وأكثر من ٩)	كلوريد الحديد (III)
٨,٥ وأكثر	كبريتات الحديد (II)

أما التلبد للجسيمات الغروانية فيتم على مرحلتين تسمى الأولى التلبد حول الحركى Perikinetic flocculation ، ويدعى الثانى التلبد المتحرك فى نفس الاتجاه Orthokinetic flocculation . إن التلبد حول الحركى يمثل المرحلة الأولى من التلبد . وفى هذا النوع تلتصق الجسيمات ببعضها البعض أثناء حركتها العشوائية تحت تأثير حركة براون . وتتناسب الفرصة لأى تصادم بين الحبيبات مع درجة تركيز الحبيبات، وعليه فإن هذا التلبد يكون سريعا فى المحاليل المركزة . والزمن المطلوب لإتمام هذه المرحلة من التلبد نقل عن الدقيقة . ويمكن تمثيل معدل التلبد حول الحركى كما مدرج فى المعادلة ٢٩ .

$$(٢٩) \quad I_{pk} = 8 \pi * C_{DM} * d * n^5$$

حيث :

I_{pk} - معدل التلبد حول الحركى .

C_{DM} - معامل الإنتشار .

d - المقياس الأولى للجسيم .

n - عدد التصادمات .

أما التلبد المتحرك فى نفس الاتجاه فيمثل المرحلة الثانية من التلبد . وفيه تتحرك الجسيمات مع بعضها البعض بواسطة حركة الماء الهادئة . ويعتمد معدل التلبد على طبيعة الجسيمات، ومقاسها، وتركيز المواد الصلبة، وميل سرعة القس للسانل . ويمكن تقدير التلبد المتحرك فى نفس الاتجاه من المعادلة ٣٠ .

$$(٣٠) \quad I_{orth} = (4 * G * n^2 * r^3) / 3$$

حيث :

I_{orth} - التلبد المتحرك فى نفس الاتجاه .

G - ميل السرعة (على ثانية) .

n - عدد التصادمات مع الحبيبات فى وحدة الزمن .

r - نصف قطر الحبيبة الكروية (م) .

وفى جهاز التلبد فإن ميل السرعة ينجم بواسطة بدالات دوارة . وعليه فإن الحبيبات ذات المسار السريع يمكن أن تلحق وتضطدم مع الحبيبات ذات المسار البطئ الإنتفاق . ويمكن إيجاد القدرة اللازمة لتحريك البديل عبر المانع من المعادلة ٣١ .

$$(٣١) \quad w = \rho * C_D * (A * v^3 / 2)$$

حيث :

w - القدرة اللازمة لدفع البديل عبر المانع (جول/ث) .

ρ - كثافة المائع (كجم/م^٣) .

C_D - معامل السحب .

A - مساحة البدال (م^٢) .

v - سرعة البدال مقارنة بالمائع (م/ث) .

عادة تكون القدرة المطلوبة في حدود ٢ الى ٥ كيلوات على المتر المكعب على الدقيقة .

ويمكن إيجاد ميل السرعة الناتج من القدرة الداخلة كما موضح في المعادلة ٣٢ .

$$G = \sqrt{(w/\mu \cdot V)} \quad (٣٢)$$

حيث :

G - ميل السرعة (على الثانية) .

μ - درجة اللزوجة الديناميكية (نيوتن×ث/م^٢) .

V - حجم الحوض (م^٣) .

ويعتمد ميل السرعة الذى يقع بين ٣٠ الى ٦٠ (على الثانية) على التصميم الهندسى {٢٠} . وبما أن الزمن من المعايير المهمة في عملية التلبد، فعادة في التصميم الهندسى تؤخذ مقادير $G \cdot t$ لتقع في حدود ١٠×١٤ الى ١٠×١٠ حيث t هي زمن المكث في جهاز الترويب .

مثال ٥ :

تستخدم محطة جهاز ترويب لمساعدة عملية الترسيب بها، لحوض الترسيب الخواص التالية :

القيمة	المنشط
٢٠ م	درجة حرارة المائع
١,٧	معامل السحب للبدال المستطيل
٠,٦ م/ث	سرعة طرف البدال
٦٠ على الثانية	ميل السرعة
٣٠٠٠ متر مكعب	حجم جهاز الترويب

لوجد القدرة المطلوبة للنظام ومساحة البدال لإتمام عملية الترويب مستخدما سرعة نسبية للبدال تساوى خمسة وسبعون بالمائة من سرعة طرف البدال .

الحل :

١- المعطيات: $T = ٢٠ م$ ، $C_D = ١,٧$ ، $v_p = ٠,٦ م/ث$ ، $G = ٦٠ م/ث$ ، $V = ٣٠٠٠ م$.

٢- أوجد درجة اللزوجة الديناميكية والكثافة من جدول (ج) لدرجة الحرارة ٢٠ م

$\mu = ١٠ \times ١,٠٠٩$ - نيوتن×ث/م^٢ ، $\rho = ٩٩٨,٢$ كجم/م^٣ .

٣- أوجد متطلب القدرة النظرية باستخدام المعادلة

$$w = \mu * G^2 * V$$

$$w = 1.009 \times 10^{-3} \times (20)^2 \times 3000 = 12.09 \text{ كيلووات} .$$

٤- أوجد سرعة البدال = $0.75 \times (\text{سرعة طرف البدال})$

$$= 0.75 \times 0.45 \text{ م/ث} .$$

٥- أوجد مساحة البدال المطلوبة من المعادلة

$$A = (2w) / (\rho * C_D * v^3)$$

$$A = (2 \times 12.09) / (1000 \times 1.05 \times (0.75)^3) = 1.42 \text{ م}^2 .$$

أما طرق تغذية المروبات فيمكن أن تتم بأحد هذه الطرق :

- * تغذية جافة : وهذا نظام تشغيلى بسيط يحتاج الى مساحة صغيرة نسبيا . كما وأن آلات التغذية غير باهظة الثمن، غير أنه يصعب التحكم فى جرعة المروب {٥} .
- * تغذية رطبة : وفى هذه الحالة يتم تحضير محلول من المروب بالجرعة المطلوبة ويحفظ فى حوض ، ثم يترك لينساب من الحوض الى قناة الخلط . ويمكن التحكم فى جرعة المروب بسهولة بواسطة أجهزة آلية، غير أن المواد الكيميائية الحارقة تؤثر على النظام وتجلب المشاكل {٢١} .

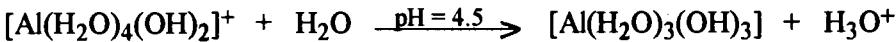
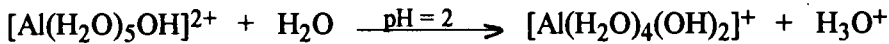
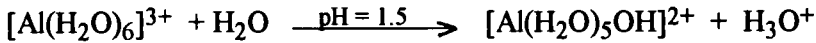
إن عمل وأداء المروبات المعدنية معقدا جدا ، غير أنه يمكن تلخيص عملها فى هذه الخطوات {١١} :

- ١- إذابة الملح : إن إذابة الملح تقلل من جهد زيتا بتغيير تركيز الأيونات فى الطبقة المحصورة . ويمكن تمثيل التفاعلات الحادثة لإذابة مروب بإذابة كبريتات الألمونيوم كما موضح فى المعادلة أدناه :

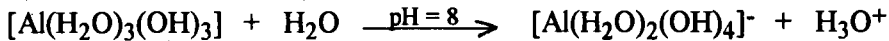


- ٢- الحلمأة (الإذابة بالماء) Hydrolysis : الحلمأة تعنى إنتاج هايدروكسيدات معقدة عالية الشحنة من

جسيمات المعدن وحجز الحبيبات المتفردة فى المترسب الكيميائى . وكمثال لذلك :

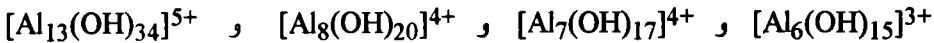


وعلى رقم هايدروجينى عالى ، مثلا رقم هايدروجينى يعادل ٨ ينتج التفاعل الممثل أدناه :

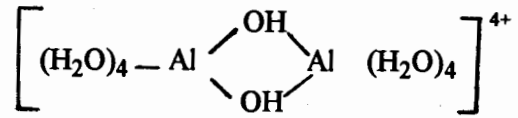


وبذا تزداد القلوية بزيادة الرقم الهيدروجينى .

- ٣- تكوثر البلمرة Polymerization : تجمع نواتج الحلمأة لتكون جزيئات مختلفة مثل :



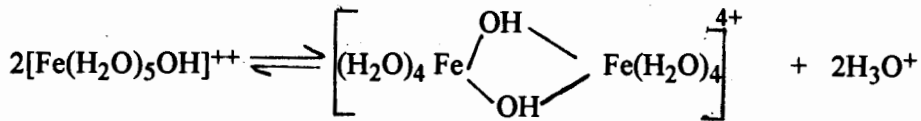
وفى الواقع يمكن تمثيل تكوين الأنواع متعددة النووية Polynuclear كما فى النموذج الموضح أدناه



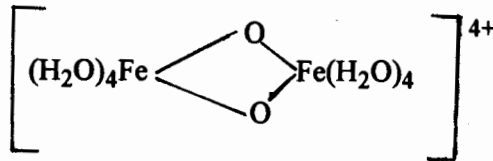
وهذه العمليات المعقدة يمكن تبسيطها فى المعادلة التالية



وبالنسبة لحلمأة أملاح الحديد فيمكن تمثيلها كما يلى :

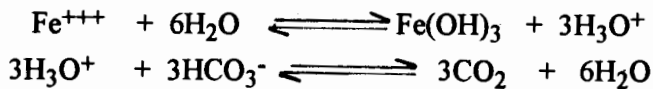


وتسمى بنزع الماء Olation, dehydration .



وتسمى إضافة الماء Oxolation, depeptonation .

ويمكن تمثيلها بصورة مبسطة كما موضح أدناه :



وعليه تكون معادلة التفاعل الكلى كما يلى:



٢ - ٤ - ٤ التهوية

يمكن تعريف التهوية على أنها الطريقة التي يلامس فيها الهواء سطح الماء لزيادة نقل جزيئات الهواء عبر الماء . وتهدف هذه العملية المصطنعة الى :

- زيادة الأكسجين الى المياه الجوفية لأكسدة الحديد والمنجنيز المذابين لتسهيل إزالتها .
- التخلص من كبريتيد الهيدروجين للحيلولة دونما حدوث طعم ورائحة ولتقليل تآكل الفلزات وتفتيت الخرسانة .
- إزالة ثنائي أكسيد الكربون لتقليل درجة تآكل الماء للمواد ولموازنة الرقم الهيدروجيني .
- إزالة غاز الميثان وتقليل مخاطر الحريق .
- إزالة الزيوت الطيارة ومثيلاتها مسببة الطعم والرائحة .
- إزالة غاز الأمونيا من المياه الراجعة لتقليل مخاطرها على الأنهار والبحيرات .

ومما يجدر ذكره أن عملية التهوية لا بد أن تكون مستمرة لتجديد السطح مع توخي أقل التكاليف خاصة تكاليف الطاقة . كما وتوجد مجموعة من أجهزة التهوية مثل التهوية الفقاعية ، والتهوية بالمساقط المائية الصناعية . وهذه الأخيرة تعتمد على فارق الضغط وتتكون من مجموعة من الدرجات والتي تنتشر الماء في شرائح وبذا تسهل تهويته . كما يمكن إتمام عملية التهوية بالتهوية الميكانيكية، وفيها ينتشر الهواء في شكل فقائيع فوق السطح، وهي ذات مساحة سطح كبيرة . {٤، ٦، ٧، ١٣، ٢٢، ٢٣، ٢٤، ٢٥، ٢٦} إن أجهزة التهوية بالمساقط في الغالب الأعم لا تحتاج الى إصلاح كبير كما ولا تحتاج لإهتمام كبير كأجهزة التهوية الأخرى .

يبين الشكل (١٢) بعض أنواع أجهزة التهوية .

تعتمد كمية الغاز الذي يمكن إذابته في الماء على عدة عوامل منها: طبيعة الغاز، ودرجة تركيز الغاز في حيز الغاز، ودرجة حرارة الماء ، وكمية الشوائب الموجودة في الماء . عندما تزداد درجة الحرارة تزداد قابلية ذوبانية الغاز . وكلما زادت كمية الشوائب في الماء كلما قلت قابلية الغاز للذوبان . وعندما تزداد درجة تركيز الغاز في حيز الغاز، كذلك تزداد درجة تركيز الغاز للتشبع في الماء طبقاً للعلاقة الموضحة في المعادلة ٣٣ .

(٣٣)

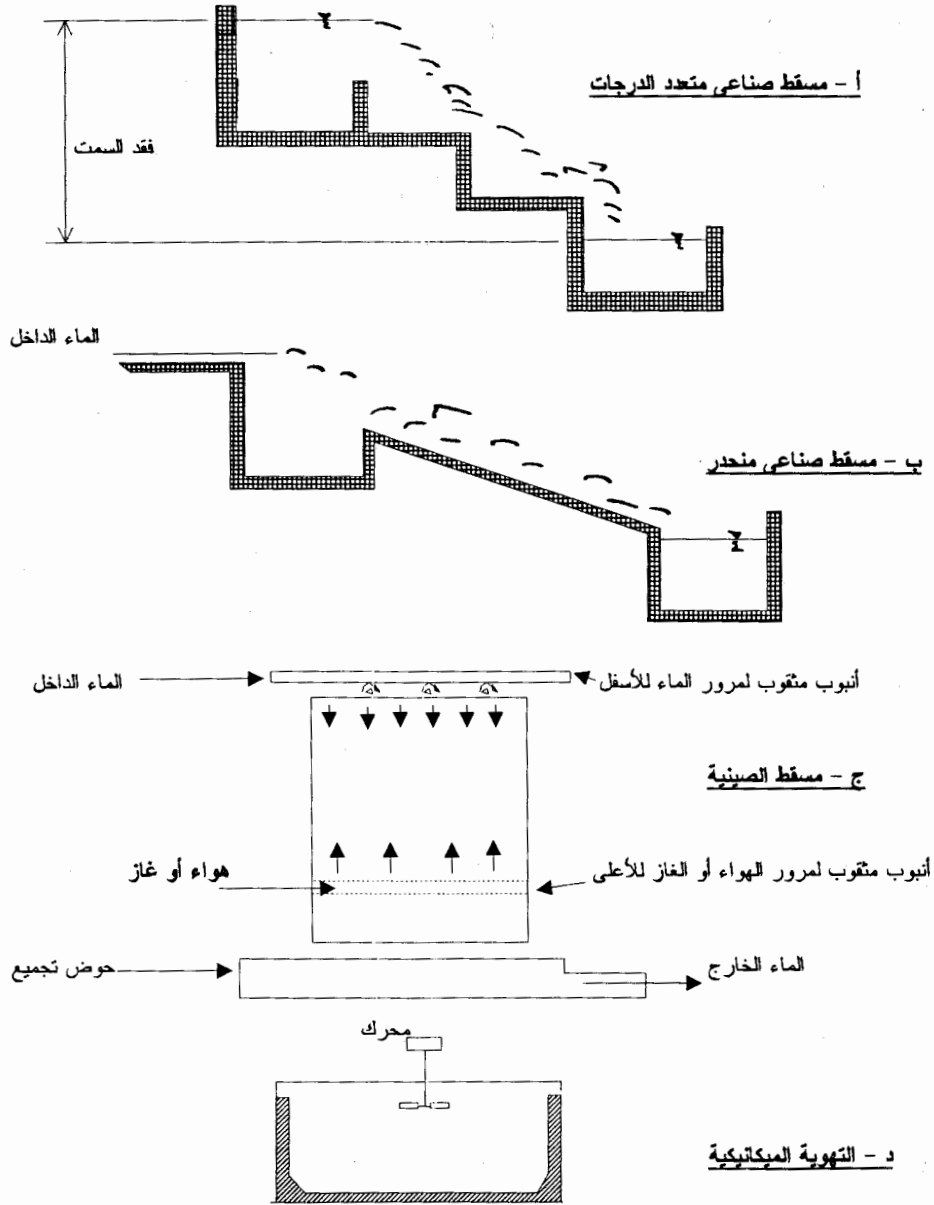
$$C_s = k_D * C_g$$

حيث :

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

k_D = معامل التوزيع، ويعتمد مقداره على طبيعة الغاز والسائل، ودرجة الحرارة. (انظر جدول (٣)) .

C_g = درجة تركيز الغاز في حيز الغاز (ملجم/ لتر) .



شكل (١٢) بعض أنواع أجهزة التهوية

جدول (٣)
معامل التوزيع لبعض الغازات في الماء

معامل التوزيع K_D				الغاز
درجة الحرارة (°م)				
٣٠	٢٠	١٠	صفر	
٠,٠١٧٩	٠,٠٢	٠,٠٢٣٤	٠,٠٢٨٨	الهواء
	٠,٧٦٣	٠,٩٤٣	١,٣	الأمونيا
٠,٧٣٨	٠,٩٤٢	١,٢٣	١,٧١	ثاني أكسيد الكربون
٠,١٨٩	٠,٠١٩٥	٠,٠٢٠٣	٠,٠٢١٤	هيدروجين
	٢,٨٧	٣,٦٥	٤,٦٩	كبريتيد الهيدروجين
٠,٠٣٠٦	٠,٠٣٣٥	٠,٠٤٣٣	٠,٠٥٥٦	ميثان
٠,٠١٥١	٠,٠١٦٦	٠,٠١٩٢	٠,٠٢٣	نتروجين
٠,٠٢٩٦	٠,٠٣٣٧	٠,٠٣٩٨	٠,٠٤٩٣	أكسجين
٠,٢٥٩	٠,٣٩٥	٠,٥٣٩	٠,٦٤١	لوزون

ويمكن إيجاد درجة تركيز الغاز في حيز الغاز من المعادلة ٣٤ .

(٣٤)

$$C_g = P \cdot MW / R \cdot T$$

حيث :

C_g - درجة تركيز الغاز في حيز الغاز (ملجم / لتر) .

P - الضغط (باسكال) .

MW - الوزن الجزيئي للغاز .

R - ثابت الغاز العالمي (جول / كلفن × مول) .

T - درجة الحرارة (كلفن) .

ويمكن إيجاد درجة تركيز الغاز عند التشبع من قانون هنري Henry's law ، كما في المعادلة ٣٥ .

(٣٥)

$$C_s = k_H \cdot P$$

حيث :

k_H - ثابت هنري (جم / م^٣ × باسكال - جم / جول) .

وتبين المعادلة ٣٦ علاقة ثابت هنري بالمتغيرات المؤثرة عليه .

(٣٦)

$$k_H = k_D \cdot MW / R \cdot T$$

كما ويمكن إيجاد ذوبانية الغاز من قانون بنزن Bunson law كما موضح في المعادلة ٣٧ .

(٣٧)

$$C_s = k_b * (MW * P) / R * T_0$$

حيث :

k_b = ثابت بنزن للإمتصاص ، والذي يوجد من المعادلة ٣٨ .

(٣٨)

$$k_b = k_D * (T_0 / T)$$

حيث :

k_b = ثابت بنزن للإمتصاص (جم/جول) .

T_0 = درجة الحرارة القياسية (٢٧٣,١٦ كلفن) .

T = درجة الحرارة (كلفن) .

تنتج زيادة درجة الحرارة نقصانا في الذوبانية طبقا لقاعدة لو شاتيل Le Chatelier . ونسبة لأن معامل التوزيع يمثل ثابت إتزان ، فيمكن إستخدام معادلة فانت هوف Van't Hoff's equation لإيجاد أثر التغير في درجة الحرارة على معامل التوزيع كما مبين في المعادلة ٣٩ .

(٣٩)

$$(k_D)_2 = (k_D)_1 * e^{\lambda(T_2 - T_1)}$$

حيث :

$(k_D)_2$ = معامل التوزيع لدرجة الحرارة T_2 .

$(k_D)_1$ = معامل التوزيع لدرجة الحرارة T_1 .

λ = ثابت .

ومعامل التوزيع المذكور أعلاه يتحقق للماء النقي . وعند وجود شوائب أو عوامل تؤثر على ذوبانية الغاز فيمكن إيجاد ذوبانية الغاز من المعادلة ٤٠ .

(٤٠)

$$C_s = k_D * C_g / \phi$$

حيث :

ϕ = ثابت يساوي الوحدة للماء النقي ، وتزداد قيمتها بزيادة درجة تركيز الشوائب الذائبة في الماء وبالتالي تعمل على تخفيف ذوبانية الغاز في الماء .

ويمكن إيجاد كتلة انتشار الغاز من قانون فيك كما موضح في المعادلة ٤١

(٤١)

$$dm/dt = - D * A * (Mc/Mx)$$

حيث :

dn/dt = معدل تغير كتلة انتشار الغاز .

D = ثابت الانتشار الجزيئي (م^٢/ث) (انظر جدول ٤) .

A = المساحة (م^٢) .

Mc/Mx = ميل درجة التركيز والتي تتغير بالانتشار .

x = المسافة من المساحة البينة .

أما علامة السلب فتدل على أن اتجاه إنتشار الغاز في اتجاه مضاد لميل درجة التركيز .

وهناك العديد من النظريات المطروحة عن انتشار الغاز في الموائع مثل نظرية التغلغل، ونظرية تجديد السطح والشريط ، وغيرها من النظريات . ولمعرفة المزيد عنها يمكن الرجوع إلى المصادر المتخصصة في هذا المجال (٣ ، ٦ ، ٢٣) .

ولإيجاد كفاءة المسقط الصناعي للتهوية يمكن استخدام المعادلة ٤٢

$$(٤٢) \quad K = (C_e - C_o) / (C_s - C_o)$$

حيث :

K = كفاءة المسقط الصناعي (لابعدى) .

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) .

وبالنسبة لمسقط متعدد الدرجات يمكن إيجاد درجة تركيز الغاز الخارج من المسقط طبقا للمعادلة ٤٣

$$(٤٣) \quad C_N = C_s - (C_s - C_o) * (1 - K_n)^N$$

حيث :

C_N = درجة تركيز الغاز في السائل النهائي الخارج من المسقط (ملجم/لتر) .

K_n = كفاءة درجة المسقط الصناعي .

N = عدد الدرجات .

جدول (٤)

ثابت الانتشار الجزيئي لبعض الغازات في الماء

ثابت الانتشار الجزيئي (١٠ ^{-٦} م ^٢ /ث)			الغاز
درجة الحرارة (م°)			
٣٠	٢٠	١٠	
٢,٢٦	١,٦٨	١,٣	ثاني أكسيد الكربون
٦,٩	٥,١٣	٣,٩٨	هيدروجين
١,٩	١,٤١	١,٠٩	كبريتيد الهيدروجين
٢,٠٢	١,٥	١,١٦	ميثان
٢,٢	١,٦٤	١,٢٧	نتروجين
٢,٤٢	١,٨	١,٣٩	أكسجين

مثال (٦) :

استخدم مسقط صناعي رباعي الدرجات لتهوية ماء جوفي على درجة حرارة ١٨° م ودرجة تركيز أكسجين به تعادل ٢٠ بالمائة من درجة التشبع . وبإمكان كل درجة من المسقط الصناعي رفع درجة تركيز الأكسجين لمياه جوفية لاهوائية إلى ٣٥ بالمائة من درجة التشبع. أوجد درجة تركيز الأكسجين للماء الخارج من المسقط الصناعي .

الحل :

- ١- المعطيات $C_0 = 0.2 \times C_s$ ، $T = 18^\circ \text{ م}$.
- ٢- أوجد كفاءة كل درجة من المعادلة $K = (C_e - C_0) / (C_s - C_0)$
 $K = [0.35 - (C_s \times 0.2)] / [0.35 - C_s]$ = صفر - صفر = ٣٥ بالمائة .
- ٣- أوجد درجة تركيز الأكسجين عند التشبع من جدول (ب) في الملاحق عند الحرارة ١٨° م لتساوي $C_s = 9.5$ ملجم/لتر .
- ٤- أوجد درجة تركيز الماء الجوفي الداخل للمسقط $C_0 = 0.2 \times C_s = 9.5 \times 0.2 = 1.9$ ملجم/لتر .
- ٥- أوجد درجة الأكسجين الخارج من الدرجة الأولى باستخدام المعادلة $C_e = C_0 + K (C_s - C_0)$
 $C_{e1} = 1.9 - (9.5 - 1.9) \times 0.35 = 4.56$ ملجم/لتر .

يمثل الخارج من الدرجة الأولى الداخل للدرجة الثانية ، وبذا يمكن إيجاد درجة تركيز الأكسجين في الماء الخارج من الدرجة الثانية .

$$C_{eII} = 4.56 + 0.35 \times (9.5 - 4.56) = 6.289 \text{ ملجم/لتر}$$

وهكذا درجة تركيز الأكسجين في الماء الخارج من الدرجة الثالثة يساوي :

$$C_{eIII} = 6.289 + 0.35 \times (9.5 - 6.289) = 7.41 \text{ ملجم/لتر}$$

$$C_{eIV} = 7.41 + 0.35 \times (9.5 - 7.41) = 8.14 \text{ ملجم/لتر}$$

أو يمكن إيجاد درجة تركيز الأكسجين في الماء الخارج من الدرجة الرابعة باستخدام المعادلة

$$C_N = C_s - (C_s - C_0) * (1 - K_n)^N$$

$$3.225 = C_0 \quad , \quad 0.35 = K_n \quad , \quad 4 = N \text{ : حيث}$$

فعليه :

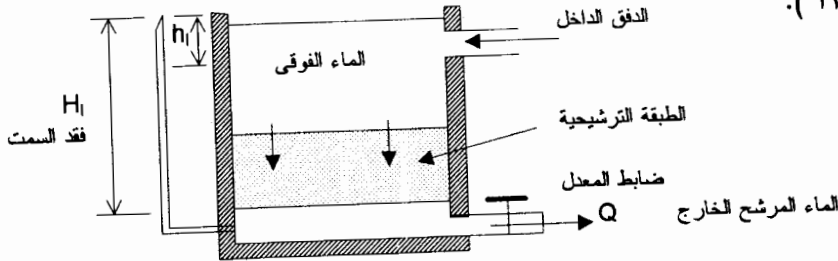
$$C_N = 9.5 - (9.5 - 1.9) \times (1 - 0.35)^4 = 8.14 \text{ ملجم/لتر}$$

٢ - ٤ - ٥ الترشيح

- يعرف الترشيح بأنه عملية فصل السائل مما يحويه من الجسيمات الصلبة عبر فاصل أو حاجز ذي مسامات تمنع مرور الجسيمات عبرها وتسمح بمرور الراشح .
- وفي مجال المياه تفيد عملية الترشيح في تحسين نوع المياه (عند التنقية) بما يلي :
- إزالة المواد الصلبة العالقة والجسيمات الغروانية .
 - تغيير خواص المواد الموجودة كيميائيا .
 - تقليل أعداد البكتيريا الضارة وجراثيم الأمراض .
 - إزالة اللون والطعم والرائحة .
 - إزالة الحديد والمنجنيز .

تمر المياه في عملية الترشيح عبر طبقة ترشيحية لها خواص محددة مثل: قلة تكاليفها ، وتواجدها بكميات مناسبة، وأنها مواد خاملة، وسهولة استخدامها ونظافتها، وتحملها للضغط الموجود . ولقد استخدمت مواد عديدة في الترشيح مثل : الرمل ، والأنثراسيت ، والحجارة المكسرة ، والزجاج ، واللدائن ، والخرسانة المسامية، والتربة Diatomaceous Earth. وقد أثبت الرمل محاسنه مقارنة بالمواد الأخرى المستخدمة كمادة ترشيحية .

(انظر شكل ١٣) .



شكل (١٣) رسم تخطيطي لفقدان السمات في المرشح

إن تحسن نوع الماء بالترشيح يتم بإزالة الشوائب وهذا التحسن يحدث بفضل عوامل مختلفة مثل: التصفية الميكانيكية والترسيب والإمتزاز والنمو الحيوي والتفاعلات الكيميائية .

أما التصفية الميكانيكية فهي ظاهرة سطحية تعمل على فصل المواد الصلبة العالقة ذات القطر الأكبر من الفتحات الموجودة بين حبيبات الرمل. ويعمل هذا العامل الترشيحي في بضع سنتمترات من الجزء الأعلى من الطبقة الترشيحية. وتزداد التصفية مع مرور الزمن. والعوامل المؤثرة على التصفية الميكانيكية تضم: سرعة الترشيح، والزمن، وكثافة وطبيعة المواد العالقة ، وطبيعة وخواص المادة الترشيحية .

أما الترسيب فيعمل على إزالة الحبيبات العالقة الكبيرة والثقيلة من على سطح حبيبات الرمل . وتؤثر عوامل عدة على كفاءة الترسيب مثل : السرعة الترشيحية، وسرعة ترسيب المواد العالقة ، ودرجة اللزوجة، ومقاس الحبيبات، ودرجة الحرارة، وعوامل التخثر، وعمق المرشح، والدفق المضطرب .

أما كفاءة الإمتزاز فترتبط بالخواص السطحية للمادة الصلبة. وتعمل قوى الإمتزاز على إزالة الحبيبات العالقة الصغيرة والمواد الغروانية والمواد الذائبة في الماء. وتلعب قوى الإمتزاز دورها الأكبر على مسافات صغيرة لا تتجاوز ٠،٠١ إلى ١ ميكرومتر. ويعزى لقوى الإمتزاز القدح المعلى في إزالة الشوائب من الماء {٨} . وتعمل قوى الجاذبية الأرضية، والدفق المضطرب، والإنتشار، والقصور الذاتي، على حركة وسير الشوائب لتساعد عمل قوى الإمتزاز عليها .

تساعد التفاعلات الكيميائية والحيوية على إزالة المواد الذائبة بالترشيح مما يغير خواص الحبيبات الموجودة . وفي هذا المنحى تؤثر العديد من العوامل والتي تعمل لإزالة الكثير من المواد مثل : المواد العضوية والأمونيا والحديد والمنجنيز. وكأمثلة لهذه العوامل المؤثرة : نوع وخواص الماء الخام ، وكمية الأكسجين المذاب ، والمواد الغذائية، ودرجة الحرارة، وزمن وطريقة الترشيح، وعمق المرشح، ونوع ووجود الكائنات الحية الدقيقة ووجود عوامل مساعدة .

من المعروف أن الترشيح لايعمل بكفاءة كبيرة لإزالة البكتريا والفيروسات وحبيبات الطين، وذلك لصغر مقاسها والذي يقل عن الميكرون الواحد . وبذا لا تنتج مرشحات الرمل السريعة مياه صالحة من النواحي البكتريولوجية. فمثلا لا يتعدى معدل إزالة الإشريكية القولونية ٢ إلى ١٠، مما يوجب معه عمل التخثر قبل الترشيح الرملي البطئ، أو الكلورة لإزالة الكبريتات والجراثيم .

يمكن تقسيم المرشحات على حسب سرعة الترشيح الموجودة بها وطريقة النظافة إلى مرشحات سريعة وأخرى بطيئة . كما ويمكن تقسيم المرشحات على حسب المادة الترشيحية إلى أحادية مادة الترشيح ومتعددة مادة الترشيح . كما ويمكن تقسيم المرشحات أيضا على حسب حركة الماء إلى مرشحات تحت الجاذبية ومرشحات تحت الضغط .

ولإيجاد عدد مرشحات الرمل السريع {١٤} يمكن استخدام المعادلة ١٤٤ .

$$N = 12 \sqrt{Q} \quad (١٤٤)$$

حيث :

N = عدد مرشحات الرمل السريع .

Q = معدل دفق الماء (م^٣ / ث) .

أما لإيجاد عدد مرشحات الرمل البطئ فيمكن استخدام المعادلة التجريبية المدرجة في المعادلة ١٤٤ ب .

$$N = 15 \sqrt{Q} \quad (١٤٤ ب)$$

مثان (٧) :

أدخل الماء الخارج من جهاز ترسيب إلى مرشح رملي سريع بمعدل دفق يساوي ١٠٠٠ متر مكعب في اليوم . إذا كانت سرعة الترشيح ٨,٥ متر مكعب على المتر المربع في اليوم أوجد عدد المرشحات المطلوبة ومساحة كل مرشح .

الحل :

١- المعطيات: $Q = 1000 \text{ م}^3 / \text{اليوم}$ ، $v_f = 8,5 \text{ م}^3 / \text{م}^2 \text{ يوم}$

٢- أوجد عدد المرشحات باستخدام المعادلة

$$N = 12 \sqrt{Q}$$

$$N = 12 \sqrt{1000} = 12 \times 31,62 = 379,44 \approx 380$$

يمكن أخذ ٣ مرشحات (مرشح احتياطي) .

٣- أوجد المساحة الكلية للمرشحات باستخدام المعادلة

$$A = Q / v_f$$

$$A = 1000 / 8,5 = 117,6 \text{ م}^2$$

٤- أوجد مساحة كل مرشح من المعادلة

$$A_n = A / (N - 2)$$

حيث :

$$A = \text{المساحة الكلية} .$$

$$A_n = \text{وحدة مساحة كل مرشح} .$$

$$A_n = 117,6 / (380 - 2) = 0,31 \text{ م}^2$$

هيدروليكية الترشيح : (أنظر شكل ١٣)

تشابه المقاومة لإندفاق الماء عبر المرشح تلك التي تحدث في الأنابيب الدقيقة أو الشعرية وأيضا تماثل تلك المقاومة من السائل على المواد المترسبة .

وتفترض المعادلة المستخدمة في هيدروليكية الترشيح وجود حبيبات منتظمة مكونة للوسط الترشيحي .

ويمكن استخدام معادلة Rose equation أو معادلة كارمان وكوزنى Carman Kozny equation لإيجاد فقد السمات عبر المرشح .

(أ) معادلة روس :

إستخدم روس التحليل البعدي Dimensional Analysis لإيجاد فقد السمات خلال المرشح وتمثل المعادلة

٤٥ معادلة روس .

(٤٥)

$$h_f = (1.067 * C_D * v^2 * l) / (g * d * \phi * e^4)$$

حيث :

h_f = فقد السميت للمرشح (م) .

C_D = معامل السحب أو معامل نيوتن للسحب .

(٤٦)

$$C_D = (24 / Re) + (3 / \sqrt{Re}) + 0.34$$

v_f = سرعة الترشيح (م / ث) .

l = إرتفاع الطبقة الترشيحية (م) .

g = عجلة الجاذبية الأرضية (م / ث^٢) .

d = قطر حبيبات الرمل (م) .

ϕ = معا، '، شكل الحبيبات .

e = معامل المسامية (لا بعدي) .

Re = رقم رينولد .

معامل شكل الحبيبات يساوي الوحدة بالنسبة للجسيمات الكروية الشكل التي يكون فيها قطر الحبيبات 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 (٥) معامل شكل الحبيبات لبعض المواد .

جدول ٥

معامل شكل الحبيبات لبعض المواد {٢٧، ٨، ٣}

المادة	معامل شكل الحبيبات
الرمل الزاوي Angular Sand	٠,٧٣
الزجاج المسحوق	٠,٦٥
رقائق المايكا	٠,٢٨
الرمل الكروي	١
الرمل المستعمل Worn Sand	٠,٨٩

(ب) معادلة كارمان كوزني لإيجاد فقد السميت عبر الطبقة الترشيحية :

(٤٧)

$$h_f = [E * (1 - e) * v_f^2 * L] / (g * d * \phi * e^3)$$

حيث :

(٤٨)

$$E = [150 (1-e) / Re] + 1.75$$

مثال (٨) :

إستخدام مرشح ثنائي الطبقات مكون من رمل وانثراسايت في محطة تنقية مياه له الخواص المدرجة أدناه:

الخواص	طبقة الأنثراسايت	طبقة الرمل
ارتفاع الطبقة الترشيحية (سم)	٧٠	٦٠
متوسط قطر الحبيبات (مم)	١,٨	٠,٩
كثافة الحبيبات	١,٧	٢,٦٥
معامل شكل الحبيبات	٠,٩	٠,٩٥
مسامية الطبقة (%)	٥٠	٥٠
سرعة الترشيح (م ^٣ / م ^٢ × ساعة)	١٠	١٠
معامل اللزوجة (م ^٢ / ث)	١,١٤ × ١٠ ^{-٦}	

(١) أوجد فقد السمات خلال المرشح مستخدما معادلة روس.

(٢) أوجد الخطأ المنوي المتوقع عند استخدام معادلة كارمن كوزني لإيجاد فقد السمات.

الحل :

(١) المعطيات: طبقة الإنثراسايت : $L = ٠,٧ م$ ، $D = ١,٨ \times ١٠^{-٣} م$ ، $\phi = ٠,٩$ ، $e = ٠,٥$ ،

طبقة الرمل: $L = ٠,٦ م$ ، $D = ٠,٩ \times ١٠^{-٣} م$ ، $\phi = ٠,٩٥$ ، $e = ٠,٥$ ،

$$v_f = (٦٠ \times ٦٠) \div ١٠ = ٧٢ - ١٠ \times ٢,٧٨ \times ١٠^{-٣} م / ث .$$

(٢) أوجد فقد السمات عبر الطبقة الترشيحية بإستخدام معادلة روس .

طبقة الإنثراسايت :

$$\text{أوجد رقم رينولد } Re = v \cdot d / \nu$$

حيث :

$$\nu = \text{درجة اللزوجة الكينماتيكية (م}^٢ \text{ / ث) .}$$

$$Re = ٢,٧٨ \times ١٠^{-٣} \times ١,٨ \times ١٠^{-٣} \div ١,١٤ \times ١٠^{-٦} = ٤,٣٩$$

• أوجد معامل نيوتن للسحب :

$$C_D = (24 / Re) + (3 / \sqrt{Re}) + 0.34$$

$$C_D = (٤,٣٩ \div ٢٤) + [٠,٥(٤,٣٩) \div ٣] + (٠,٣٤) = ٧,٢٤$$

أوجد فقد السمات عبر هذه الطبقة :

$$h_f = ١,٠٦٧ \times ٧,٢٤ \times (٢,٧٨ \times ١٠^{-٣})^٢ \div (٠,٩ \times ٠,٩ \times ١٠^{-٣} \times ١,٨ \times ٩,٨١) = ٤$$

$$- 0.042 \text{ م} - 42 \text{ ملم}.$$

طبقة الرمل :

$$Re = 2,78 \times 3^{-1.0} \times 0.9 \times 3^{-1.0} \div 1.14 \times 3^{-1.0} = 2,19$$

* أوجد معامل نيوتن للسحب :

$$C_D = (24 / Re) + (3 / \%Re) + 0.34$$

$$C_D = (24 / 2,19) + (3 / \%2,19) + 0.34 = 13,31$$

أوجد فقد السمات عبر هذه الطبقة :

$$h_f = 1,067 \times 13,31 \times 2(3^{-1.0} \times 2,78) \div 0.6 \times (0.9 \times 3^{-1.0} \times 0.9 \times 9,81) \times 0.5 \times 4 = 0.125 \text{ م} - 125 \text{ ملم}.$$

فقد السمات الكلى على الطبقة الترشيحية = فقد السمات عبر طبقة الإنتراسايت + فقد السمات عبر طبقة الرمل

$$- 42 + 125 = 167 \text{ ملم}.$$

٢) أوجد فقد السمات عبر الطبقة الترشيحية باستخدام معادلة كارمن وكوزنى

طبقة الإنتراسايت :

$$Re = 4,39$$

$$E = [150 (1-e) / Re] + 1.75$$

$$E = 1.75 + [150 / (4,39 \times (1 - 0.5))] = 18,83$$

(٤٧)

$$h_f = [E \cdot (1-e) \cdot v_f^2 \cdot L] / (g \cdot d \cdot \phi \cdot e^3)$$

$$h_f = 18,83 \times (1 - 0.5) \times 2(3^{-1.0} \times 2,78) \times 0.7 \div (9,81 \times 0.9 \times 3^{-1.0} \times 0.5 \times 3) = 0.26 \text{ متر} - 26 \text{ ملم}.$$

طبقة الرمل :

$$Re = 2,19$$

$$E = 1.75 + [150 / (2,19 \times (1 - 0.5))] = 36$$

$$h_f = 36 \times (1 - 0.5) \times 2(3^{-1.0} \times 2,78) \times 0.6 \div (9,81 \times 0.9 \times 3^{-1.0} \times 0.5 \times 3) = 0.79 \text{ متر} - 79 \text{ ملم}.$$

فقد السمات الكلى = 79 + 26 = 105 ملم.

٤) أوجد الخطأ بين قيمتى فقد السمات من معادلتى روس وكارمن كوزنى

$$- [167 - 105] / 105 \times 100 = 37 \%.$$

الترشيح الرملى السريع

الرمل المستخدم فى المرشحات السريعة له حبيبات قطرها يتراوح بين ٠.٤ الى ١.٢ ملم. ونسبة لأن الرمل المستخدم خشن coarse فإن مسامات الطبقة الترشيحية تكون كبيرة نوعا ما مما يسهل معه تخلخل

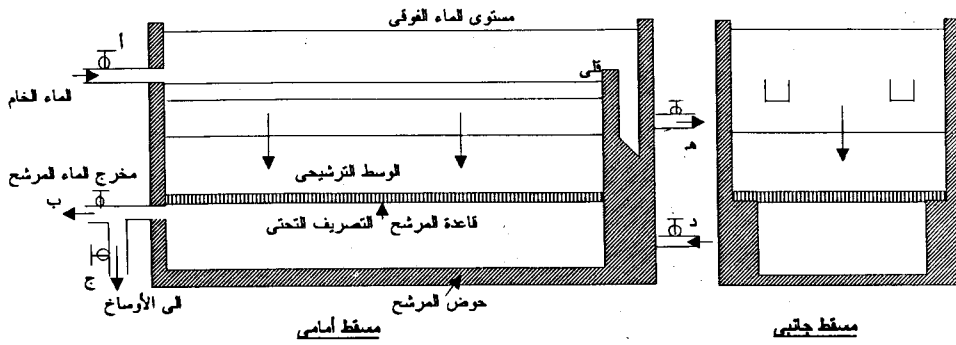
الحبيبات والشوائب الى داخل المرشح. وبذا فإن كفاءة المرشح للتخلص من الشوائب تزداد مما يسهل معه ترشيح المياه ذات العكارة الكبيرة .

تشغيل المرشح

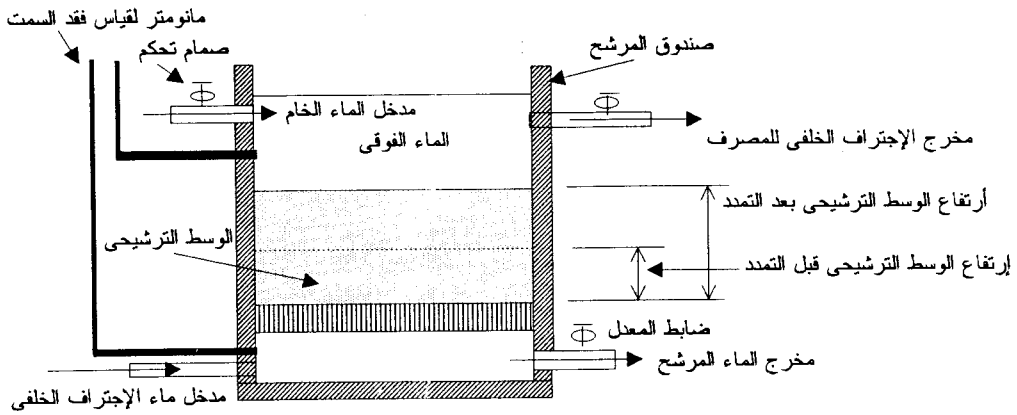
يبين الشكل (١٤) رسم تخطيطى لمرشح رملى سريع يتم فيه إدخال الماء الخام عبر الصمام (أ) لتتساب المياه عبر الطبقة الترشيحية ، ومن ثم عبر نظام التصريف التحتى لتمر خارج المرشح عبر الصمام (ب). ونسبة للإسداد التدريجى لمسام الطبقة الترشيحية تزداد مقاومة مسار المياه الى الأسفل عبر الطبقة الترشيحية، مما يخفض من السرعة الترشيحية. ويتطلب معه فتح الصمام (أ) أكثر مما يسمح معه بدفق أكبر للماء. وبعد مدة يفتح الصمام (أ) على آخره وبعد هذا إذا لم يتم الحصول على الدفق المطلوب من الراشح فلا بد من العمل على نظافة المرشح مما يسمح بالحصول على الدفق المطلوب من الماء النقى. ولنظافة المرشح يغلق الصمامان (أ) و(ب) ويفتح الصمام (ج) لنزح المياه المتبقية فى المرشح. وبعد مدة يتم فتح الصمام (د) ليسمح بدخول مياه النظافة من الاتجاه المعاكس أو ما يسمى بالإجتفاف الخلفى (انظر الشكل ١٥). ولا بد أن يكون الإجتفاف الخلفى كبير ليسمح بتمدد الوسط الترشيحي ويعمل على كسح حبيبات الرمل وإزالة ما بها من شوائب. ويتم تجميع مياه النظافة فى قرارة الماء Trough، ومن ثم يتم تصريفها عبر الصمام (هـ). وبعد إتمام عملية النظافة بالدفق الخلفى يغلق الصمامان (د) و(هـ). ثم يعاد فتح الصمام (أ) لتبدأ دورة ترشيحية أخرى. يمكن إتمام عملية الدفق الخلفى بسرعة كما وأنها لا تحتاج الى زمن كبير وفى الغالب لا يتجاوز نصف ساعة، وتخضع الفترة الزمنية المطلوبة بين نظافة وأخرى لنوع المياه المرشحة .

تنقسم مرشحات الرمل السريعة الى الآتى :

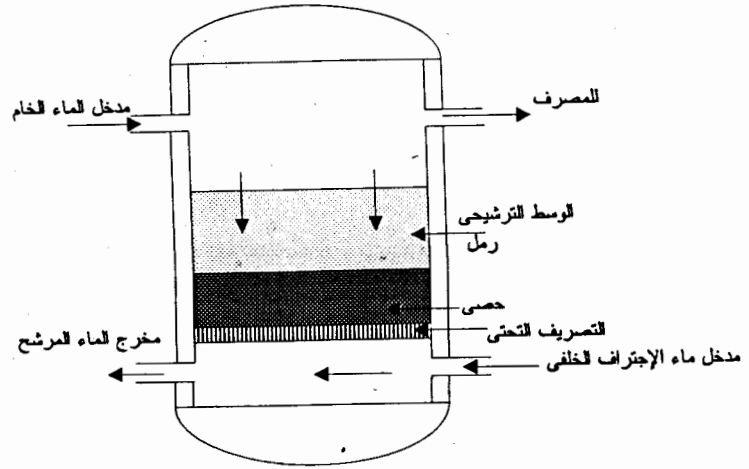
- ١- مرشحات ضغط المكبس (انظر الشكل (١٦)): وفى هذه المرشحات توجد الطبقة الترشيحية ونظام التصريف التحتى داخل وعاء ضغط محكم ضد نفاذ الماء ومصنوع من الحديد أو من مادة مماثلة. ويمكن أن تكون قوة دفع الماء لإتمام عملية الترشيح كبيرة بحيث تسمح بالحصول على الزمن الترشيحي المطلوب. ومن المعروف أن مرشحات ضغط المكبس ليست سهلة التركيب والتشغيل والترميم والصيانة.
- ٢- مرشحات الدفق الرأسى المنساب الى أعلى (انظر الشكل (١٧)): هذه المرشحات تساعد على الحصول على نظام متدرج من الترشيح من وسط ترشيحي خشن الى وسط ناعم. ويساعد الوسط الترشيحي الخشن فى إزالة أكبر قدر من الشوائب العالقة بدون زيادة كبيرة فى مقاومة الطبقة الترشيحية .
- ٣- المرشحات متعددة الطبقات (انظر الشكل (١٨)): وهذه المرشحات تعمل تحت تأثير الجاذبية الأرضية، ويتكون المرشح من عدة طبقات ترشيحية تبدأ بالرمل الخشن ويتدرج الى الرمل الناعم فى اتجاه سريان الماء المرشح .



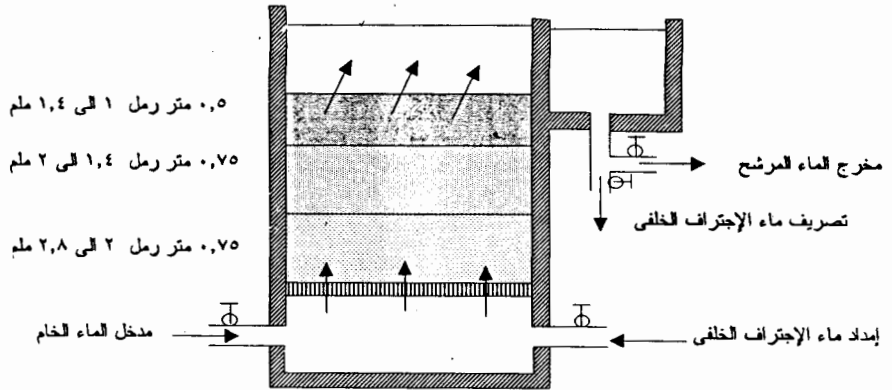
شكل (١٤) رسم تخطيطي لمرشح رملي سريع {٢٩، ١٧، ١٤، ١٠}



شكل (١٥) رسم تخطيطي لتنظافة مرشح رملي سريع بالإجتزاف الخلفي {٢٩}

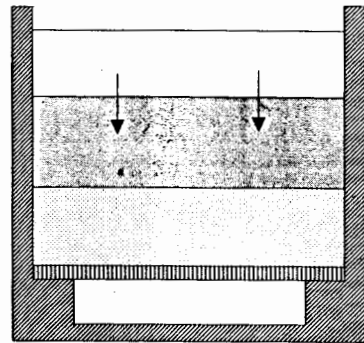


شكل (١٦) رسم تخطيطي لمرشح ضغط المكبس {٢٩،٢١،١٧}

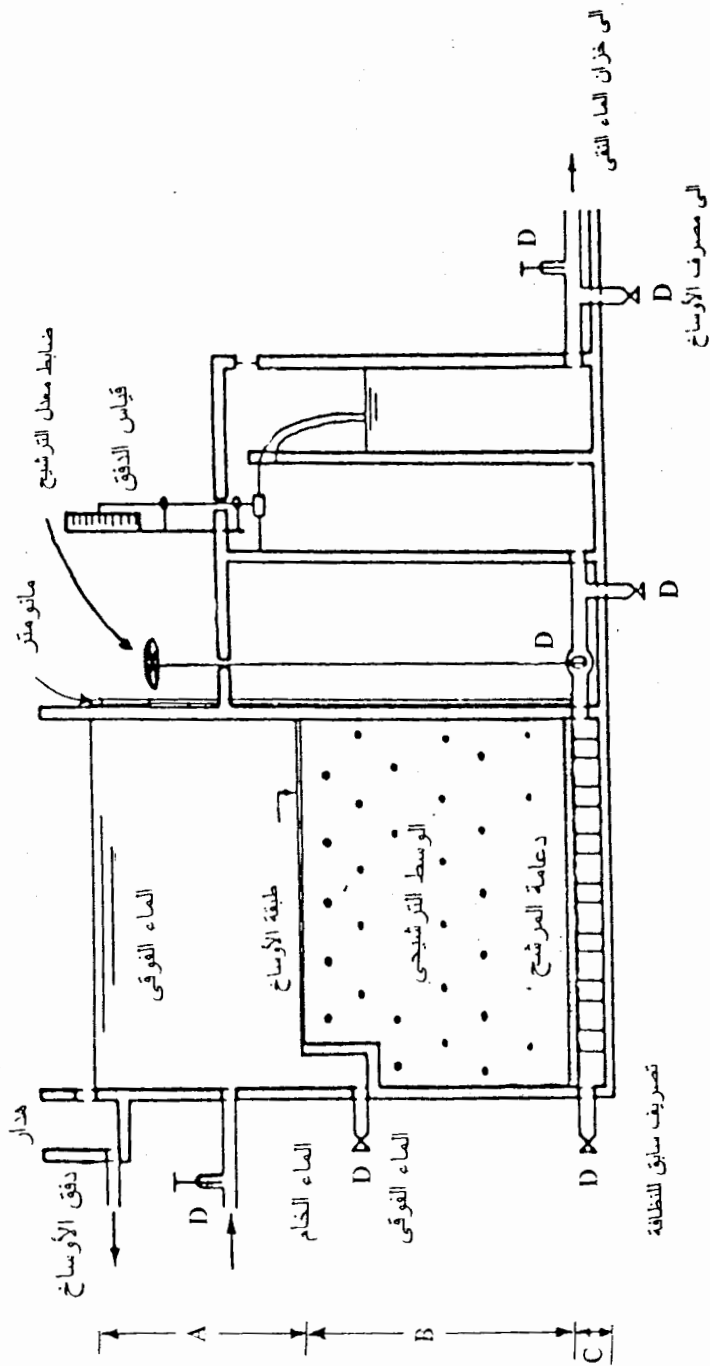


شكل (١٧) مرشح الدفق الرأسى العنساب الى الأعلى {٢٩،١٧،١٤}

مفتاح
يتكون الوسط لترشيحي من
٠،٦ أنترسايت ١،٦ ملم، كثافة نوعية ١،٥
٠،٤ رمل ٠،٨ ملم، كثافة نوعية ٢



شكل (١٨) المرشح المتعدد الطبقات {٢٩،١٧،١٤}



شكل (١٩) العناصر الأساسية لمرشح الرمل البطين {٢٨}

نواحي تصميم المرشحات

عند تصميم مرشحات الرمل السريع ينبغي أخذ الإقتراحات الآتية فى الحسبان :

- إستخدام حبيبات رمل لا يقل قطرها عن ٠,٨ ملم.
- من المستحسن إستخدام عمق كبير للمرشح . مثلا من المقترح إستخدام عمق ٦٠ الى ٨٠ سم للتتقية الدقيقة التالية للتخثر والترسيب ، وعمق ٨٠ الى ١٢٠ سم للتتقية الابتدائية السابقة للترشيح الرملى البطئ ، وعمق ١٥٠ الى ٣٠٠ سم لإزالة الحديد من المياه الجوفية مثلا { ١٤ } .
- قيمة سرعة الترشيح ٥ متر / ساعة .
- يؤخذ عمق المياه فوق الطبقة الترشيحية بين ١٠٠ الى ١٥٠ سم للمرشحات التى تعمل بزيادة الضغط، ويؤخذ بين ٢٥ الى ٤٠ سم للمرشحات التى تعمل بنقصان فى الضغط مما يساعد فى تصميم مرشحات ذات صندوق صغير . غير أن هذه المرشحات ربما أتت بمشاكل ربط الهواء فى المرشح Air binding . ومشاكل ربط الهواء ينتج عنها تدنى فى نوع الراشح، كما وتقلل من زمن الترشيح، وتساعد فى فقدان الوسط الترشيحي أثناء عملية الدفع الخلفى المستخدم لنظافة المرشح السريع .

مرشحات الرمل البطئ

يمثل الشكل (١٩) رسم تخطيطى لمرشح رمل بطئ. ويتكون المرشح من وسط ترشيحي من رمل ناعم، تمر عبره المياه المراد ترشيحها. ويقوم المرشح بحجز الغالبية العظمى من الشوائب العالقة فى الطبقة العليا من الوسط الترشيحي والتي لا تتجاوز عمق ٠,٥ الى ٢ سم. وهذا يساعد على نظافة المرشح والتي تتم بجرف طبقة الرمل العليا. وبما أن السرعة الترشيحية المستخدمة قليلة فإن الفترة بين نظافة وأخرى تكون طويلة نسبيا إذ قد تصل الى بضع شهور طبقا لمناخ وطبغرافية المنطقة .

ومن محاسن مرشحات الرمل البطئ ما يلى :

- إنتاج نوع جيد من المياه النقية الخالية من المواد الصلبة والشوائب العالقة وذات مضمون صحى وذلك لإستطاعة هذا المرشح إزالة الجراثيم .
- يمكن تشييد وبناء المرشح بإستخدام مواد البناء المحلية والخبرة والكفاءة المحليتين .
- لا يحتاج المرشح الى أجهزة ميكانيكية وكهربائية معقدة .
- تكلفة إنشاء المرشح زهيدة كما وأن صيانتة رخيصة .
- طريقة عمل المرشحات سهلة، خاصة للعامل مشغل المرشح .

ومن الملاحظ أن العيب الأساسى لإستخدام هذه المرشحات يكمن فى المساحات الكبيرة التى تحتاجها المرشحات . وهذه ربما تمثل عبة كبيرة فى المدن حيث يرتفع ثمن الأرض كثيرا، وهذا الوضع يجعل الإستخدام الأمثل لمرشحات الرمل البطئ فى الريف والبلدان النامية .

عمل المرشح

يتكون مرشح الرمل البطئ من حوض مفتوح من الأعلى ، ويحمل بداخله الوسط الترشيحي . عادة يكون عمق الحوض فى حدود ٣ متر ، وتتفاوت مساحته من بضعة عشرات الى مئات من الأمتار المربعة . يوجد فى أسفل الحوض نظام التصريف التحتى والذي يعمل على حمل الوسط الترشيحي ، ويساعد فى الإنبثاق المنتظم للماء خارج المرشح . ويجهز المرشح بعدة صمامات وأجهزة تحكم وتنظم دخول الماء الخام وخروج الراشح .

تلعب الطحالب دورا هاما فى تنقية المياه بالترشيح . وبما أن الطحالب تحتاج الى الضوء لإتمام عملية التمثيل الضوئى لذا يكثر وجودها فى المرشحات المفتوحة . وتتمكن الطحالب من بناء مواد الخلايا من مواد بسيطة مثل: الماء، وثانى أكسيد الكربون، والنترات، والفوسفات وغيرها، بمساعدة الطاقة الشمسية. وعندما تكبر خلايا الطحالب يزيد حجمها مما يضر عملية سريان المياه الى أسفل المرشح الشئ الذى يتطلب معه الإزالة الدورية للطحالب ونظافة المرشح . تواجه الأنواع الشعيرية من الطحالب Filamentous يكون حصيرة جلاتينية (هلامية) على سطح المرشح. وتعمل هذه الحصيرة الهلامية على إزالة المواد العالقة والبكتريا بالتصفية والإمتزاز . وتتكاثر البكتريا فى المرشح وتقوم ببناء وحل بكتيرى Bacterial slime تسمى الطبقة المتسخة Schmutz decke. تعمل هذه الطبقة المتسخة كوسط لاصق للنباتات المائية المغمورة Plankton والحيوانات المجهرية Diatoms ، مما يساعد فى زيادة كفاءة عمليات التصفية والإمتزاز لإزالة الشوائب ومنعها من التغلغل داخل المرشح، مما يزيد من فترة الترشيح ويقلل من إنسداد المسامات. وفى مثل هذه المرشحات فمن الضرورة بمكان العمل على تجافى حدوث ضغط سالب. لأن الضغط السالب يعمل على تحرر الغازات الذائبة، وبذا فإن فقاعات الهواء المتكونة تتجمع فى الوسط الترشيحي وتعمل على زيادة المقاومة تجاه سريان المياه أسفل المرشح، كما وأن الفقاعات المرتفعة والتي لها قد (مقاس) كبير تعمل على تكوين ثقب فى الوسط الترشيحي مما يسمح بمرور المياه خلاله دونما الحصول على تنقية ملائمة .

وبين الجدول (٦) مقارنة عامة بين مرشحات الرمل البطيئة ومرشحات الرمل السريعة .

جدول (٦)
مقارنة بين مرشحات الرمل السريع ومرشحات الرمل البطيء

مرشحات الرمل البطيء	مرشحات الرمل السريع	المنشط
- التخلص من الجراثيم - إتمام المعالجة * مع أو بدون قتلبد والترويب، أو بعد مرشحات الرمل السريعة	- فصل المواد الصلبة العالقة - التخلص من الجراثيم * بعد قتلبد والترويب أو بعد الترسيب تعتمد على خواص الماء الخام وعلى معايير التصميم عالية (من ١٠ إلى ١٥ سنة) طويل نسبياً	لجباب التنقية الوضع في محطة التنقية الكفاءة عكارة الماء الخام المسموح بها المسر لتصميمي المسر الإقتراضي سرعة الترشيح م/ساعة المساحة الكلية مساحة كل وحدة ترشيح الأبعاد
من ٠.١ إلى ٠.٢ نق للماء ÷ السرعة لترشيحية المساحة الكلية + (عدد المرشحات - ١) (A/(N-1) ، A/(N-2) L = 2A*V/(N+1) B = (N+1)*L/2N من ٠.١٥ إلى ٠.٣٥ (أقل من ٣ إلى ٥ (٢.٥٠ بالمعتوسط) من ٠.٨ إلى ١.٢ من ١ إلى ١.٥ حوالي ٠.٥ متر	من ٥ إلى ١٥ نق للماء ÷ السرعة لترشيحية المساحة الكلية + (عدد المرشحات - ١) (A/(N-1) ، A/(N-2) L = 2A*V/(N+1) B = (N+1)*L/2N من ٠.٤ إلى ٣ أكبر من ١.٢ إلى ١.٥ من ٠.٦ إلى ٣ من ١ إلى ١.٥ يعتمد على التنقية	مقاس الحبيبات الفعال (ملم) معامل الانتظام C _u إرتفاع الوسط الترشيحي (م) إرتفاع الماء الفوقي (م) أقل إرتفاع قبل إعادة وضع الرمل (عدد المرشحات (أقل عدد مرشحان) فترة التشغيل الفترة الزمنية بين عمليات نظافة مقاومة الوسط الترشيحي طريقة للنظافة
١٥*V/Q (٢٤٠ ساعة في اليوم (لا يسمح بالتشغيل المتقطع) من ٢٠ إلى ٦٠ يوماً أو أكثر من ١.٥ إلى ٤ متر جرف الطبقة العليا بحدود ٠.٥٠ إلى ٢ سم	١٢*V/Q (٢٤٠ ساعة في اليوم (لا يسمح بالتشغيل المتقطع) من ١٢ إلى ٧٢ ساعة من ١.٥ إلى ٤ متر بالإجتزاف الخلفي بواسطة الماء أو بالماء والهواء يدوي أو ميكانيكي (ألياً) أو هيدروليكي خرسانة، طابوق، طوب، مواد بلاستيكية مستمر نمو الطحالب، التغير في نوع الماء، الإسداد فقد السمك، محل الدفق، العكارة العكارة، الخواص الحيوية والميكروبيولوجية	إزالة الحمأة المادة المستخدمة لبناء المرشح الترميم والإصلاح المخاطر مقاييس التحكم أهم المعايير للنوعية التي يتم اختيارها

٢ - ٥ وحدات التنقية المتقدمة

٢ - ٥ - ١ الإمتزاز

وفى هذه الطريقة يتم حجز الأيون أو الجزيء بالإمتزاز على سطح الجزيء الممتز. ومن ثم فإن الإمتزاز هو ظاهرة سطحية تختلف عن الإمتصاص والتي تتم فيها الإزالة للجزيء داخل المادة الممتصة. الإمتزاز هو عملية سطحية تعنى إنتقال المادة المذابة (الممتزة) من المائع الى سطح المادة الصلبة (المازة) عند ملامستها له. والمواد الممتزة الجيدة لها نسبة عالية من مساحة السطح الى الحجم، وسطح نشط. وهذا يعنى أن المواد المازة عالية المسامية معتتلة بشعيرات دقيقة. ويمكن أن تكون عملية الإمتزاز عملية طبيعية أو كيميائية. وينتج الإمتزاز الطبيعى (أو ما يسمى بإمتزاز فان دير وول) من قوى تجاذب داخلية بين جزيئات المادة الصلبة والناصر الممتزة. والإمتزاز الطبيعى هو عملية عكسية، كما وأن المواد الممتزة لا تذوب فى المادة المازة، غير أنها تبقى داخل أسطحها. أما الإمتزاز الكيميائى (أو التميزز الكيميائى Chemosorption) فينتج من التفاعل الكيميائى بين المادة الصلبة المازة والمادة الممتزة. وتتغير كثيرا القوى التى تعمل على المادة الممتزة والأسطح المازة، غير أن قوى الالتصاق أكبر من تلك الموجودة فى حالة الإمتزاز الطبيعى. وفى معظم الحالات لا يمكن الحصول على المادة الأصلية بالمج Desorption. وعند غمر مادة صلبة مازة فى سائل تنتج حرارة عند إتمام عملية الإمتزاز. ويمكن تحديد الإمتزاز الظاهرى لمادة المذابة والذى يعتمد على درجة تركيز المادة المذابة، ودرجة الحرارة، ونوع المادة المازة.

وتستخدم عملية الإمتزاز للتخلص من الملوثات القليلة من السائل أو الغاز المار خلال مادة صلبة مازة. ومن أمثلة المواد المازة الكربون النشط، والغرايبيل الجزيئية، وهلام السليكا، وبعض التربة الطبيعية.

وتتأثر عملية الإمتزاز بنوع المادة المازة، وطبيعة وحجم وشحنة المادة الممتزة، وطبيعة المحلول أو الغاز الذى يحدث فيه إنتشار الملوث، والنظام الملامس.

ومن الصيغ التجريبية المستخدمة لمقارنة كمية الملوثات الممتزة من الغاز أو الماء الى كمية المادة المازة معادلة فروندليش لمنحنى تساوى الحرارة Freundlich isotherm كما موضح فى المعادلة ٤٩.

$$(x/m) = k \cdot C^{1/n} \quad (٤٩)$$

حيث :

x = كتلة من 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 فى المحلول عند حالة الإتزان.

ومنحنيات فروندليش ذات أهمية للمحاليل المخففة لمدى درجات تركيز قليلة ، ويستحسن إستخدام الكربون الحبيبي لإزالة الملوثات العضوية من المخلفات الصناعية السائلة . وتلعب قوى فان دير وول دورا كبيرا . وعندما تتم المعالجة بإستخدام الكربون النشط فى أعمدة مناسبة فإن طولها يتراوح ما بين ٣ الى ١٠ أمتار ، والأطوال الكبرى قد أستخدمت لتنقية مخلفات سائلة شديدة التلوث. والأعمدة يمكن إستخدامها بحيث يمر عبرها السائل رأسيا من أعلى أو من أسفل. ومن الأفضل جعل زمن التلامس فى حدود ١٥ الى ٣٠ دقيقة. وبعد إزالة الملوثات بالكربون يمكن تنشيطه مرة أخرى لإعادة إستخدامه، ويتم هذا بتمرير الكربون على أفران يمر عبرها بخار الماء فى درجة حرارة تساوى ٩٠٠ درجة مئوية. وهنا فإن الملوثات العضوية المتمزة تتطاير أو تتكربن مما يساعد على التخلص منها، وبذا يستعيد الكربون نشاطه.

٢ - ٥ - ٢ طرق تحليل المياه

تحلية المياه تعنى إنتاج مياه تصلح للإستهلاك الإنسانى من مياه مالحة مثل مياه البحار أو مياه عالية الملوحة . ويبين جدول (٧) درجات تركيز المواد الصلبة الذائبة لعدد من أنواع المياه .

جدول (٧)

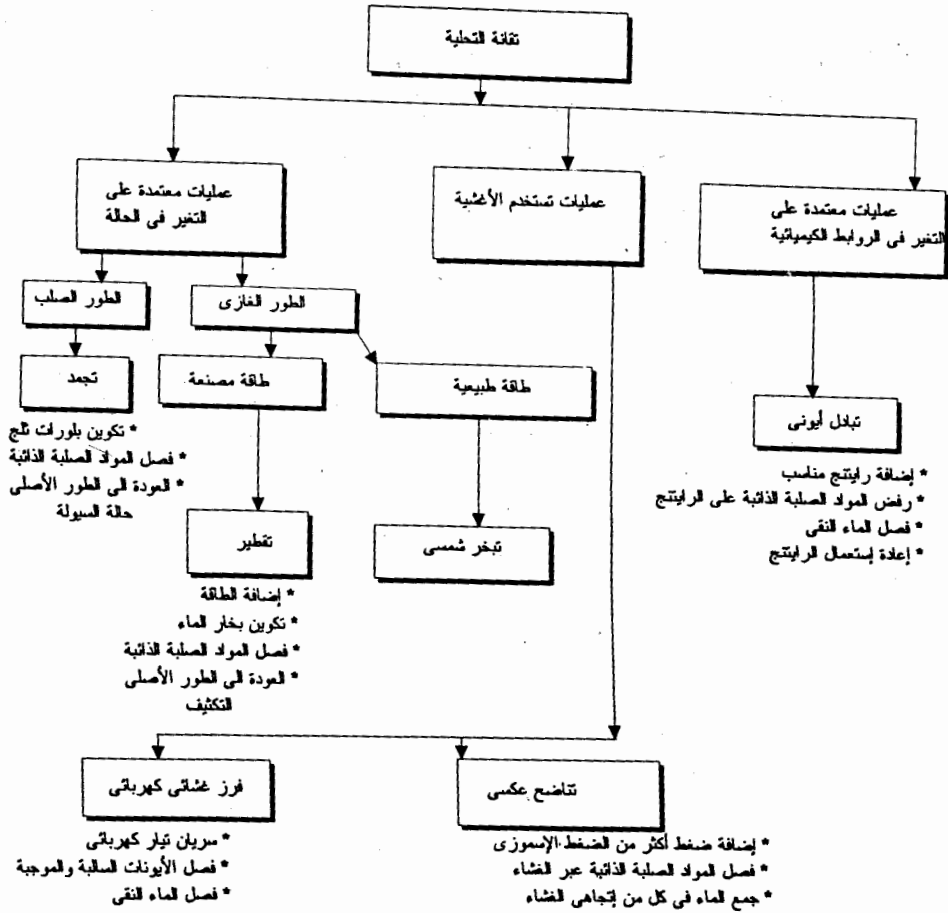
درجات تركيز المواد الصلبة الذائبة لعدد من أنواع المياه {٢٩، ٣٠، ٣١}

نوع المياه	المواد الصلبة الذائبة الكلية (ملجم/ لتر)
مياه مالحة	١٥٠٠ الى ١٢٠٠٠
مياه البحر (منطقة الشرق الأوسط)	٥٠٠٠٠
مياه البحر (بحر الشمال)	٣٥٠٠٠

كما وأن تحلية المياه تعنى الطرق التى تتطلب طاقة لفصل الماء والأملاح الموجودة فى الماء الخام. ويتم الإيفاء بالطاقة المطلوبة من وحدات معينة مصممة لهذا الغرض . ويمكن إتعام تحلية المياه بطرق عديدة منها التقطير، والتجمد، والتناضح العكسى، والديليزة. ويبين شكل (٢٠) أهم الطرق المستخدمة فى عمليات تحلية الماء والتى يمكن تلخيصها فى عمليات حرارية وعمليات قدرة. وتشمل الطرق الحرارية تلك الوحدات التى تأخذ الطاقة المطلوبة فى شكل حرارة مثل التقطير . وتعنى طرق القدرة تلك الوحدات التى تأخذ ما تحتاجه من طاقة فى شكل شغل ، ومثال لهذه الوحدات التناضح العكسى، والفصل الغشائى الكهربائى (الديليزة)، والتجمد .

٢ - ٥ - ١ التقطير

تعتبر عملية التقطير من وحدات تحلية المياه والتى يتم فيها فرز الأملاح بالغليان فى أوعية مناسبة لتنتج مسارين. أحد المسارين تقل فيه المواد الصلبة الذائبة ويسمى بمسار الماء النقى، والآخر يحتوى على بقية



شكل (٢٠) ملخص لطرق التحلية المختلفة

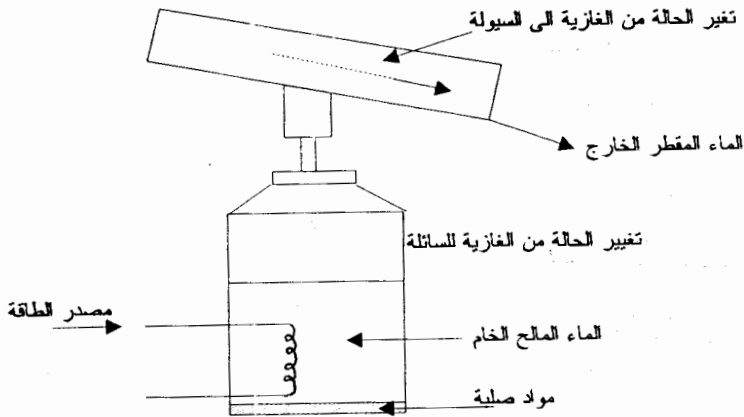
المواد الصلبة الذائبة ويسمى مسار المحلول الملح المركز. ومن ثم يتم تكثيف البخار للحصول على الماء النقي .

ومن محاسن هذه الطريقة لتحلية الماء :

- التخلص من الجراثيم والكائنات الحية الدقيقة الضارة الموجودة في الماء الخام من بكتيريا وفيروسات وبروتوزوا وغيرها .
- التخلص من المواد الصلبة غير الطيارة التي يمكن أن تتواجد في الماء الخام مثل الغازات الذائبة كغاز ثاني أكسيد الكربون والأمونيا (النوشادر) .

ومن محددات هذه الطريقة الترسبات، والتي تحد من أقصى درجة حرارة يمكن تحقيقها. ومن المواد الكيميائية التي تزيد من الترسبات كبريتات الكالسيوم (الجبص)، والكربونات، والهيدروكسيد. وهذه الترسبات الحادثة على أسطح المبادلات الحرارية تعوق أداء الوحدات وتهدر الطاقة، وربما تم إغلاق المحطة ليتسنى إزالتها .

وطريقة التقطير تعتمد أساسا على التغير في حالة المادة. وعادة يحتاج الى وحدتي مبادلات حرارية، أحدهما لتبخير الماء الخام لبخار، والآخر ليساعد البخار على التكثيف . ويبين شكل (٢١) وحدة التقطير التقليدية. وتتراكم المواد الصلبة على أسطح المبادلات الحرارية لتكون الترسبات. ومن هذه الترسبات :



شكل (٢١) وحدة التقطير التقليدية أحادية المرحلة {٣١،٣٠،٢٩}

- ~ ترسبات بلورات صلدة **Hard crystalline**، وتلتصق بأسطح المبادلات الحرارية. وهذا النوع يمكن إزالته بطرق طبيعية مثل النحت أو الحفر .
- ~ مترسبات نتجت من محلول المادة والتي تتناقص ذوبانيتها مع زيادة درجة الحرارة .
- ~ ترسبات بلورية كثيفة وتكون متحدة ومتراصة بصورة جيدة بسطح المعدن .

ويمكن تقسيم الترسيبات الى الأنواع التالية :

- (أ) ترسبات قلوية : وهذه الترسيبات تضم كربونات الكالسيوم وهيدروكسيد الماغنسيوم نسبة لقلوية ماء البحر. وهذه الترسيبات تحد من الدرجة القصوى للحرارة التي يمكن إستخدامها في عملية التقطير .
 - (ب) ترسبات غير قلوية: وهذه تضم كبريتات الكالسيوم وفوسفات الكالسيوم والسيليكات. وترسبات كبريتات الكالسيوم تنقص من كفاءة الوحدة نسبة للخواص العازلة للمترسبات المتكونة على أسطح المبادلات الحرارية .
- كما وأن هذه الترسيبات تصعب إزالتها لأنها لا تذوب في الأحماض المعدنية، وربما أدت الى وقف وحدة التقطير. ومن أنسب الطرق العملية لتقليل مشاكل ترسبات كبريتات الكالسيوم تشغيل الوحدة على درجة حرارة تقل عن ١٢٠°م لمنع تراكم المترسبات .

ومن الطرق المتبعة للتخلص من المترسبات: إضافة حامض لإزالة أيونات الكربونات من الماء قبل إدخاله الى وحدة التقطير. ومن الأحماض المستخدمة حمض الكبريت وحمض الهيدروكلور. كما ويتم التخلص من المترسبات بإضافة مواد كيميائية تمنع أو تحد من تكوين المترسبات . ومن هذه المواد الكيميائية المواد العضوية مثل النشا، والدبغ Tannin، وبعض المستخلصات النباتية، والمواد متعددة الفوسفات المضافة مثل سداسي فوسفات الصوديوم Sodium hexametaphosphate .

وكما يمكن إزالة المترسبات بالنظافة بالكريات الإسفنجية (تسمى طريقة تابوراج نسبة للصانع)، وهنا يتم إستخدام كريات مرنة من الإسفنج لها قطر أكبر من قطر أنابيب جهاز التقطير، ويتم إدخالها بقوة لتقوم بكشط وجرف المترسبات من على أسطح الأنابيب ويمكن مساعدة العملية بإضافة مواد مساعدة في الكشط .

ومن الطرق المستخدمة أيضا لإزالة المترسبات تلك التي تعتمد على إزالة العناصر المكونة للترسب مثل أيونات الكالسيوم والماغنسيوم والبيكربونات والكبريتات. ويتم إزالة هذه الأيونات بإضافة أحماض لإزالة البيكربونات ، وتبادل الكاتيونات عبر الراتينج لإزالة أيونات الكالسيوم ، وإضافة مركب كربونات الجير والماغنسيوم لترسيب أيونات الكالسيوم وأيونات البيكربونات ، كما ويمكن إستخدام الأغشية المنقاة للأيونات لتمرير الأيونات أحادية التكافؤ عبر الغشاء ومنع الأيونات ثنائية التكافؤ من العبور، مثل أيونات الكالسيوم والماغنسيوم والكبريتات .

وهناك التقانات الميكانيكية والطبيعية لتجنب الترسيب ، حيث تضاف مواد ناعمة للمحلول فوق المشبع لإيجاد سطح يزيد من نمو البلورات ، ومثال لهذه المواد كربونات الكالسيوم، وكبريتات الباريوم ، وهيدروكسيد الماغنسيوم ، والحبيبات الزجاجية وغيرها من المواد .

وتوجد أنماط عديدة من طرق التقطير التى تزيد فيها وحدات التقطير، ويتم على الماء فى الوحدة الأولى تحت ضغط عالى ، الى أن يتم التبخر فى الوحدة الأخيرة تحت الضغط العادى. ويبين شكل (٢٢) مخطط عام لوحدة التقطير والمعالجات المبدئية المطلوبة .

والعلاقة بين الحرارة المتبادلة فى أى وحدة يمكن تمثيلها كما موضح فى المعادلة ٥٠ .

$$(٥٠) \quad Q_i = U_i \cdot A_i \cdot \Delta T_i$$

حيث :

Q_i = الحرارة المتبادلة فى وحدة التقطير رقم i .

U_i = معامل إنتقال الحرارة للمبادل الحرارى رقم i .

A_i = مساحة المبادل الحرارى رقم i .

ΔT_i = الفرق بين درجة حرارة الماء فى وحدة التقطير ودرجة حرارة البخار الداخلى لمبادل الحرارة .

$$(٥١) \quad \Delta T_i = T_0 - T_i$$

حيث :

T_0 = درجة حرارة البخار الداخلى لوحدة التقطير .

T_i = درجة غليان الماء فى الوحدة رقم i .

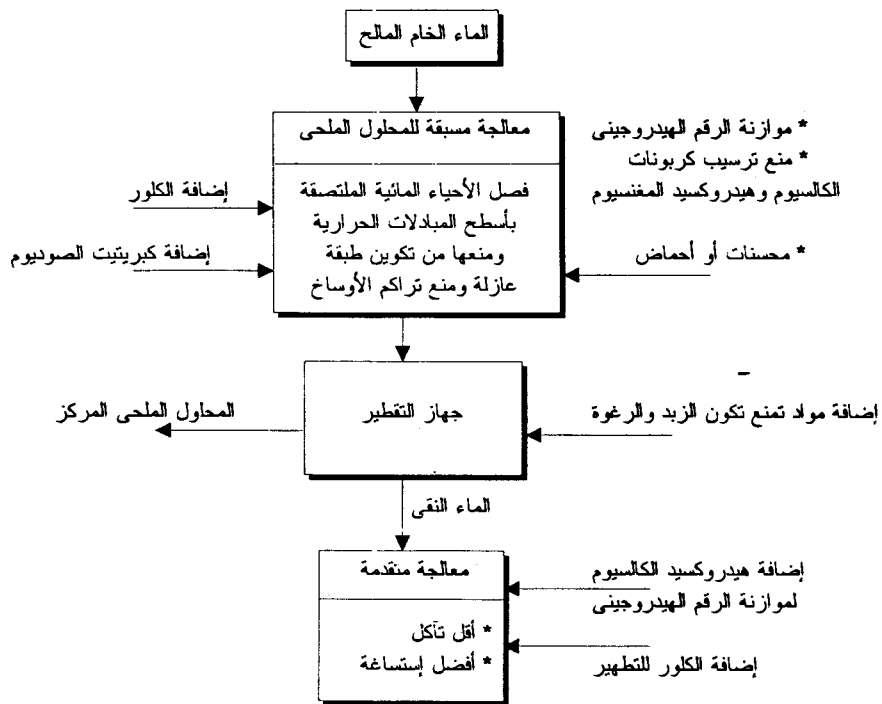
والحرارة التى تتحول الى طاقة كامنة للتبخر فى الوحدة الأولى تنتج كمية معينة من الماء المقطر. وهذه الكمية من الماء المقطر تستخدم كبخار فى الوحدة التالية ، وبهذه الطريقة تنشأ نفس الكمية من الحرارة الموجودة فى الوحدة الأولى فى الوحدة التالية . وبافتراض مساحات متطابقة لمبادلات الحرارة ونفس الكميات من الحرارة المنقلة فى كل وحدة يمكن إيجاد علاقة بين الحرارة الناتجة فى كل وحدة والفرق فى درجة الحرارة كما موضح فى المعادلة ٥٢ .

$$(٥٢) \quad U_i \cdot \Delta T_i = c$$

حيث :

c = حد ثابت .

وتشير المعادلة ٥٢ الى أن النقصان فى درجة الحرارة فى أى وحدة يتناسب عكسيا مع معامل إنتقال الحرارة .



شكل (٢٢) مخطط لوحدة التقطير

مثال ٩:

أستخدم جهاز تقطير ثلاثى المراحل لتحلية مياه . أدخل بخار جاف للمرحلة الأولى على درجة حرارة ١٢٠ م . وتم نقصان درجة الحرارة الى ٦٠ م فى المرحلة الثالثة بتقليل الضغط بها . بافتراض أن المراحل الثلاثة لها نفس مساحة مبادلات الحرارة وأن معاملات إنتقال الحرارة بها تتناسب بنسبة ٤,٨ : ٣,٢ : ١,٩ على الترتيب. أوجد الفرق فى درجة الحرارة فى كل مرحلة .

الحل :

١- المعطيات: $U_1 : U_2 : U_3 = 4,8 : 3,2 : 1,9$.

٢- أوجد الفرق فى درجات الحرارة فى كل مرحلة بإستخدام المعادلة

$$U_i \cdot \Delta T_i = c$$

٣- أوجد النقصان الكلى فى درجة الحرارة بعد المرحلة الثالثة

$$\Delta T = \Delta T_1 + \Delta T_2 + \Delta T_3 = 120 - 60 = 60 \text{ م} .$$

$$U_i \cdot \Delta T_i = C \quad \text{من المعادلة}$$

$$\Delta T_1 = C / U_1$$

$$(\Delta T_1 / \Delta T) = (c / U_1) / (\Delta T_1 + \Delta T_2 + \Delta T_3)$$

$$= (c / U_1) / [(c / U_1) + (c / U_2) + (c / U_3)]$$

$$= 1 / [1 + (U_1 / U_2) + (U_1 / U_3)]$$

وعليه

$$\Delta T_1 = 60 - [(1,9 \div 4,8) + (3,2 \div 4,8) + 1] \div 60 = 11,94 \text{ م} .$$

وبالمثل :

$$\Delta T_2 = 60 - [(1,9 \div 3,2) + 1 + (4,8 \div 3,2)] \div 60 = 17,90 \text{ م} .$$

$$\Delta T_3 = 60 - [1 + (3,2 \div 1,9) + (4,8 \div 1,9)] \div 60 = 30,16 \text{ م} .$$

٢ - ٥ - ٢ - التقطير الشمسى

معظم طرق التقطير التقليدية تستهلك الطاقة المستمدة من الوقود والكهرباء لعملها. غير أن الطاقة الشمسية يمكن أن تستغل فى أجهزة التقطير رغم أنها تعتبر طاقة من درجة أقل . ومن محاسن نظام التقطير المستخدم للطاقة الشمسية ما يلى :

- هو نظام مبسط .
- معظم القوى العاملة والمواد المستخدمة فى وحدات التقطير الشمسى يمكن أن تكون محلية .
- معظم الترميم والإصلاح يمكن أن يتم بعمال غير مهرة .

وجهاز التقطير عبارة عن حوض محكم مصنوع من الفولاذ المجلفن . ويبين الشكل (٢٣) وحدة التقطير الشمسي .

ورغما عن أن الطاقة الشمسية لا محدودة ومستمرة ومتجددة ، غير أن تكلفة إنشاء الوحدة باهظة مما يعوق إستخدام هذه الطريقة، بالإضافة الى عدم الحصول على الطاقة الشمسية على مدار اليوم، وإعتماد هذه الطاقة على عوامل الطقس والمناخ السائد زيادة على ذلك أثر تغير الموسم عليها .

٢ - ٥ - ٢ - ٣ التناضح العكسي Reverse osmosis (الإسموزية العكسية)

التناضح أو الإسموزية كلمة أشتقت من الكلمة الإغريقية Osmos والتي تعنى النبض. والتناضح هو عبارة عن إنتقال المذيب عبر غشاء شبه مسامي الى المذاب. وعليه فإن الإنسياب يتم من المحلول الأخف تركيزا الى المحلول الأكثر تركيزا كما موضح فى الشكل (٢٤). ويمكن منع الإنسياب عبر الغشاء بزيادة الضغط فى الجانب الذى به المحلول الأكثر تركيزا، ويسمى هذا الضغط القادر على منع إنسياب المحلول الأخف تركيزا من المواد الصلبة الذائبة بالضغط الحلولي (الإسموزي). والضغط الحلولي هو عبارة عن مقياس للقوى التى تجمع جزيئات المذيب لكى تتمكن الجزيئات من المرور عبر الغشاء الى المحلول. وتحل جزيئات المذيب محل الجزيئات الأخرى التى حجزت بتداخلها مع المذاب. وعليه يعتمد الضغط الحلولي على عدد حبيبات المذاب فى المحلول وليس نوعها .

وإنسياب المذيب عبر الغشاء ينتج عنه قوى دافعة يمكن تقديرها بواسطة الفرق فى ضغط بخار المذيب فى كلا الجانبين من الغشاء. ويستمر إنسياب المذيب عبر الغشاء من المحلول الأخف تركيزا الى المحلول الأكثر تركيزا الى أن يربو الضغط الهيدروستايكى على القوى الدافعة لفرق ضغط البخار. وبالنسبة للمذيب غير المنضغط فيمكن إيجاد الضغط الحلولي عند الإتزان كما موضح فى المعادلة ٥٣ .

$$P_{osm} = (RT/V) * \ln (P_0/P) \quad (٥٣)$$

حيث :

$$P_{osm} = \text{الضغط الحلولي (ضغط جوى، جو)}$$

$$R = \text{ثابت الغاز العالمى لكل الغازات} = ٠,٠٨٢ \text{ (لتر} \times \text{جو/مول} \times \text{كلفن)}$$

$$= ٨,٣١٤ \text{ (جول/كلفن} \times \text{مول)}$$

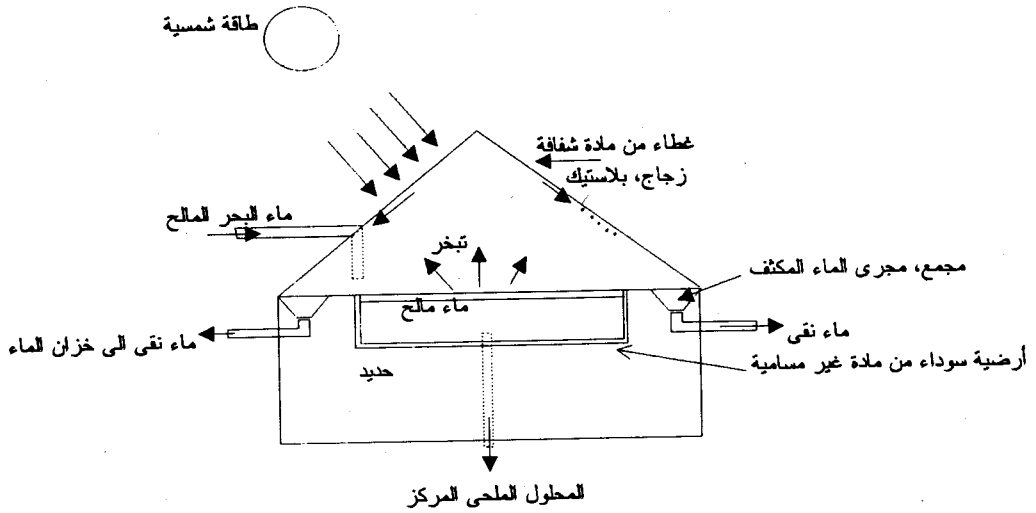
$$T = \text{درجة الحرارة (كلفن)}$$

$$V = \text{حجم المذيب على المول} = ٠,٠١٨ \text{ لتر من الماء}$$

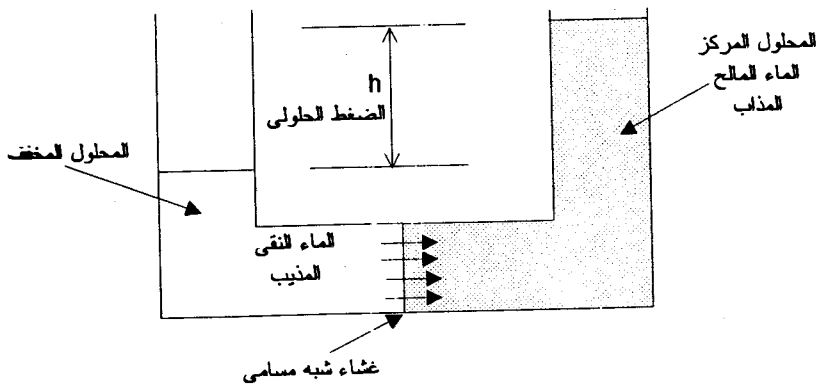
$$P_0 = \text{ضغط بخار المذيب فى المحلول المخفف}$$

$$P = \text{ضغط بخار المذيب فى المحلول المركز}$$

ويمكن إيجاد ثابت الغاز العالمى من المعادلة ٥٤ .



شكل (٢٣) وحدة التقطير الشمسي {٤١، ٣١، ٣٠، ٢٩}



شكل (٢٤) التناضح والضغط الحثوي، الأسموزي

(٥٤)

$$R = P \cdot V / n \cdot T$$

حيث :

P = الضغط .

V = حجم الغاز .

n = عدد المولات .

T = درجة الحرارة .

مثال ١٠ :

ضغط بخار محلول ملحي بدرجة حرارة ٢٠ °م يساوى ٢,٢٩ كيلو باسكال. أوجد الضغط الحولى على الحجم .

الحل :

١- المعطيات: T = ٢٠ °م ، P = ٢,٢٩ كيلو باسكال .

٢- أوجد قيمة ضغط بخار الماء عند درجة حرارة ٢٠ °م من جدول (أ) فى الملاحق يساوى

$$P_0 = ٢,٣٣ \text{ كيلو باسكال}$$

٣- أوجد درجة الحرارة بمقياس كلفن :

$$T = ٢٧٣,١٦ + ٢٠ = ٢٩٣,١٦ \text{ كلفن .}$$

٤- أوجد الضغط الحولى من المعادلة

$$P_{osm} = (RT/V) \cdot \ln (P_0/P)$$

$$P_{osm} = (٢٩٣,١٦ \times ٨,٣١٤) \times \ln (٢,٢٩ \div ٢,٣٣) = ٤٢,٢ \text{ كيلو باسكال .}$$

إن وجود المذاب غير الطيار فى السائل يقلل من ضغط بخار المذيب، وهذه الظاهرة ترجع الى الإنسداد الطبيعى على سطح السائل عند وجود حبيبات أو أيونات أو جزيئات من المذاب. ويفترض قانون رولت Rault's law أن هذا النقصان فى ضغط البخار للمذيب يتناسب تناسبا طرديا مع درجة تركيز الحبيبات فى المحلول بالنسبة للمحاليل المخففة . ومنطوق القانون "إن مقدار الإنسداد الطبيعى أو نقصان ضغط البخار يتناسب تناسبا طرديا مع درجة تركيز الحبيبات فى المحلول". وهذه الظاهرة لها علاقة طردية مع المحلول المولالى للمذاب غير القابل للتأين . وبالنسبة للمواد المذابة التى تتأين فإن هذه الظاهرة تتناسب مع حاصل ضرب درجة التركيز المولالى وعدد الأيونات المتكونة على جزيئات المذيب (٢٩، ٣٢). ويمكن كتابة معادلة ٥٣ لتظهر علاقة الضغط الحولى للتركيز المولالى للحبيبات فى المحلول المركز كما مبين فى المعادلة ٥٥ .

(٥٥)

$$P_{osm} = C \cdot R \cdot T$$

حيث :

$$P_{osm} = \text{الضغط الحولى (جو) .}$$

- C = التركيز المولارى للحبيبات (مولار M) .
R = ثابت الغاز العالمى لكل الغازات (لتر×جو/مول×كلفن) .
T = درجة الحرارة (كلفن) .

مثال ٨ :

تم تحليل عينة من المياه على درجة حرارة ٢٠ °م لأهم الأيونات الموجودة بها كما مبين فى الجدول أدناه

الأيونات	درجة التركيز (ملجم أيون/لتر)
<u>الكاتيونات (الشوارد الموجبة)</u>	
Ca^{++}	٠,٢
Mg^{++}	٠,٥
Na^{+}	٠,٥
K^{+}	٠,١٥
<u>الأنيونات (الشوارد السالبة)</u>	
$SO_4^{=}$	١
HCO_3^{-}	٠,٤
NO_3^{-}	١
Cl^{-}	٠,٦

وقد تم وضع الماء فى الجهة المغايرة للغشاء شبه المسامى الذى يفصلها عن الماء المقطر. أوجد فرق الضغط الحولى عبر الغشاء شبه المسامى .

الحل :

١- المعطيات: تركيز الأيونات الموجبة والسالبة فى عينة الماء .

٢- أوجد درجة تركيز الأيونات المولارية باستخدام المعادلة :

درجة التركيز المولارية = درجة تركيز الأيون (ملجم/ لتر) ÷ الوزن الجزيئى للأيون .

فمثلا درجة تركيز Ca^{++} = $٠,٢ \div ٤٠ = ٠,٠٠٥$ مولار .

وعليه يمكن تركيز باقى الأيونات لتكون :

$$\begin{aligned} & Mg^{++} = ٠,٠٢١ \quad Na^{+} = ٠,٠٢٢ \quad K^{+} = ٠,٠٠٤ \quad SO_4^{=} = ٠,٠٠١ \\ & HCO_3^{-} = ٠,٠٠٧ \quad NO_3^{-} = ٠,٠١٦ \quad Cl^{-} = ٠,٠١٧ \end{aligned}$$

٣- أوجد درجة تركيز كل الأيونات فى عينة الماء (بجمع الأيونات المختلفة) .

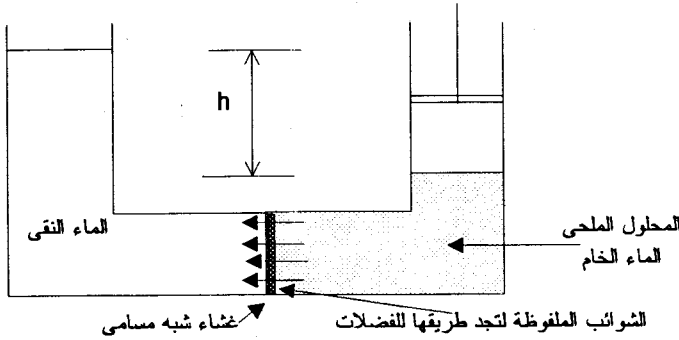
$$C = ٠,١٠٢$$

٤- أوجد الضغط الحولى باستخدام معادلة رولت بفرض أن المحلول مخفف

$$P_{osm} = C \cdot R \cdot T$$

$$P_{osm} = 2.4 \text{ جو} = (20 + 273.16) \times 0.08 \times 0.102$$

ويمكن تعريف التناضح العكسى على أنه عملية طبيعية يتم بها فصل المواد الذائبة فى مذيب بواسطة غشاء شبه مسامى . ويتم إستخدام ضغط يربو على الضغط الحولى العادى للماء الخام، ويسمح الغشاء بمرور جزيئات المذيب (الماء) ويلفظ المذاب والمواد الصلبة الذائبة العضوية كما موضح فى الشكل (٢٥) .



شكل (٢٥) التناضح العكسى

ومن محاسن التناضح العكسى :

- ١- تحلية الماء المالح بفصل المواد الصلبة الذائبة .
- ٢- تقلل من درجة تركيز المواد الصلبة الذائبة الكلية للماء الخام بنسبة إزالة تصل الى ٩٩ ٪ .
- ٣- تتخلص من المواد الحيوية والمواد الغروانية من الماء بنسبة إزالة تصل الى ٩٨ ٪ .
- ٤- إزالة الخلايا الميكروبية من بكتيريا وفيروسات وغيرها بنسبة إزالة كلية .
- ٥- إزالة معظم المواد الصلبة العضوية بنسبة إزالة قد تصل الى ٩٧ ٪ .

ولرفع كفاءة عملية التحلية بالتناضح العكسى فلا بد من ممارسة تهينة أو معالجة مسبقة Pretreatment. تضم إزالة العكارة للتخلص من المواد الصلبة العالقة والحديد والمنجنيز لمنع تأكسدها، وإزالة المواد التى تساعد على تكوين ترسبات كربونات الكالسيوم وغيرها من الترسبات على سطح الغشاء، وهنا يتم إضافة حمض لتحقيق منع الترسب. ومن المعالجة المسبقة أيضا منع حلمأة الأغشية المصنعة من خلاات السيللوز، ويتم هذا بموازنة الرقم الهائروجينى. ويمكن إستخدام وحدات الترشيح الرملى، أو الترشيح الكربونى، أو الترشيح عبر التربة Diatomaceous earth، أو تبادل الأيونات لإزالة المواد الغروانية. ومن ثم يمكن إدخال الماء الى جهاز التناضح العكسى لإتمام التحلية. وإنسياب المذيب (الماء) عبر الغشاء يعتمد على معايير الديناميكا الحرارية . وتبين المعادلة ٥٦ معدل إندفاق المذيب .

(٥٦)

$$Q_w = k \cdot A \cdot (\Delta P - \Delta P_{osm}) / t$$

حيث :

$$Q_w = \text{فيض الماء} .$$

$$k = \text{معامل نفاذية الغشاء لمرور الماء} .$$

$$A = \text{مساحة الغشاء} .$$

$$\Delta P = \text{فرق الضغط العامل عبر الغشاء} .$$

$$\Delta P_{osm} = \text{فرق الضغط الحلولي عبر الغشاء} .$$

$$t = \text{الزمن} .$$

أما إنسياب الملح عبر الغشاء فيمكن إيجاده من المعادلة ٥٧ .

(٥٧)

$$Q_s = k_s \cdot A \cdot \Delta C_s / t$$

حيث :

$$Q_s = \text{فيض الأملاح} .$$

$$k_s = \text{معامل نفاذية الغشاء للملح} .$$

$$A = \text{مساحة الغشاء} .$$

$$\Delta C_s = \text{فرق درجة تركيز المواد الذائبة عبر الغشاء} .$$

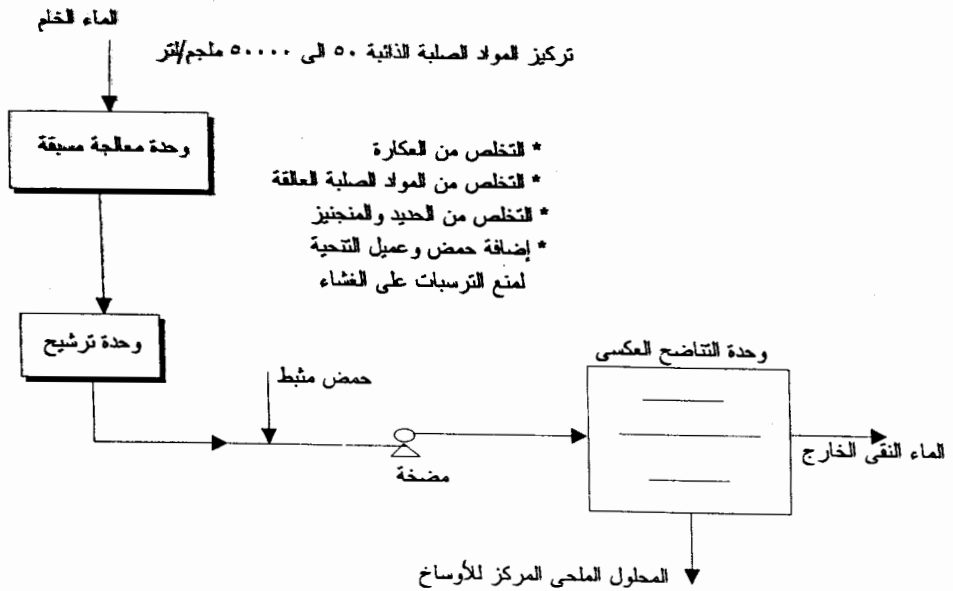
$$t = \text{الزمن} .$$

ولرفع كفاءة عملية التناضح العكسي لا بد من الاختيار الجيد للغشاء المناسب طبقا للخواص التالية :

- يحتوى الغشاء على درجة إزالة عالية للأملاح .
- لا بد من وجود فيض الماء المناسب لإتمام الإنسياب .
- لا بد أن يكون الغشاء سهل التشبيد فى وحدات الفرز الغشائى .
- لا بد أن يتحمل الغشاء الضغط الواقع عليه .
- لا بد أن يعطى الغشاء كفاءة جيدة وأداء فعالا يعتمد عليه .
- لا بد أن تكون للغشاء متانة ميكانيكية جيدة .
- لا بد أن يعيش الغشاء لفترة مناسبة .
- لا بد أن يحتوى الغشاء على مدى تشغيلى كبير بالنسبة للأيونات الموجودة فى الماء الخام، والضغط، ودرجة الحرارة، ومقاومة التفاعلات الكيميائية والحيوية، ويمكن أن يعمل فى ظروف مختلفة .
- لا بد أن يكون سعر الغشاء مناسب ورخيص .
- لا بد أن لا يأتى الغشاء بمشاكل التآكل والرائحة وتسهل نظافته .

ومن الأغشية المستخدمة البوليميرات السيللوزية (مثل خلاات السيللوز Cellulose acetate)، والبوليميرات التجارية (مثل الكحول متعدد الفينيل Polyvinyl alcohol، ومتعدد رباعي فتالي متعدد الإثيلين Polyethylene tetraphthalate)، والعديد من البوليميرات المختلفة .

ويبين الشكل (٢٦) مخطط لوضع التناضح العكسي في محطة تحلية مياه

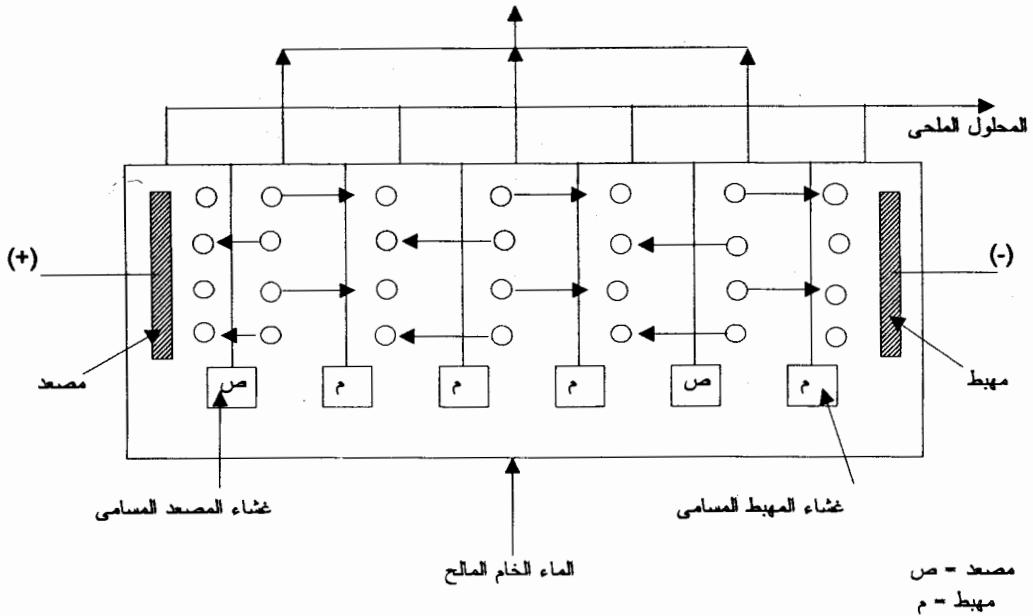


شكل (٢٦) مخطط يوضح وحدة التناضح العكسي في محطة التحلية {٢٩}

٢ - ٥ - ٢ - ٤ الفرز الغشائي الكهربائي (الديليزة) Electrodialysis

عملية الفرز الغشائي يتم فيها توصيل الأيونات من محلول الى آخر عبر غشاء إنتقائي للأيونات تحت جهد تيار كهربائي . وعادة يتكون جهاز الفرز الغشائي الكهربائي من صفوف تبادلية من أغشية إنتقاء شوارد موجبة وأغشية إنتقاء شوارد سالبة يمر خلالها تيار كهربائي. وتفضل الأغشية من بعضها البعض بحشايا gaskets لتكون حجرات يمر خلالها المحلول كما موضح فى شكل (٢٧)، {٢٩، ٢٣}، ويتم إنشاء الأغشية بحيث أنها تسمح بمرور الأيونات المنتقاة. وهذه الأيونات تتبع من المواد المذابة فى الماء لتكون الشوارد الموجبة والشوارد السالبة. ويتم فى عملية الفرز الغشائي جذب الأيونات التى تحمل الشحنة الكهربائية المغايرة .

الماء لنقى الخارج



شكل (٢٧) رسم تخطيطي لعملية الفرز الغشائي الكهربائي أو عملية الديليزة {٢٩}

أما كفاءة التيار لحمل الشحنات المضادة فتتراوح بين ٨٥ الى ٩٥ بالمائة وفى محلول من ملح الطعام يحمل التيار ما يقارب ٦٠ بالمائة من أيونات الكلوريد و ٤٠ بالمائة من أيونات الصوديوم ، وعليه فهناك ما يقارب ٢٥ الى ٣٥ بالمائة من أيونات الكلوريد لا بد من نقلها الى السطح الفاصل للغشاء والمحلول بواسطة الإنتشار والحمل . وعليه فإن هذا القصور فى كمية الإلكتروليت المحمول الى السطح الفاصل بواسطة التوصيلية الكهربائية تعادل كمية الإلكتروليت المحمولة للسطح الفاصل بواسطة الإنتشار {٢٩، ٣١} . ويمكن وضع هذه العلاقة فى صورة معادلة كما مبين فى المعادلة ٥٨ .

$$[i^*(Eff_1 - Eff)] / (100 * Far) = [C_{MD} * (C_0 - C)] / B \quad (٥٨)$$

حيث :

- i - كثافة التيار (أمبير/سم²) .
- Eff₁ - كفاءة التيار لحمل الأيونات المضادة عبر الغشاء (%).
- Eff - كفاءة التيار لحمل نفس الأيونات في المحلول الملامس للغشاء (%).
- Far - ثابت فرادى (- ٢٦,٨ أمبير×ساعة) .
- C_{MD} - ثابت الانتشار للإلكترووليت على درجة حرارة الحلمأة .
- C₀ - درجة تركيز الإلكترونيت في داخل الحجرات .
- C - درجة تركيز الإلكترونيت على السطح الفاصل بين الغشاء والمحلول .
- B - سمك طبقة الانتشار على السطح الفاصل .

وأقصى قيمة للتيار يمكن إيجادها عندما تكون C - صفرا في المعادلة ٥٨، كما موضح في المعادلة ٥٩

$$i_{\max} = (100 \cdot \text{Far} \cdot C_{\text{MD}} \cdot C_0) / [B \cdot (\text{Eff}_1 - \text{Eff})] \quad (٥٩)$$

حيث :

i_{max} - أقصى كثافة للتيار تنتج عندما يكون تركيز الغشاء مستقطب .

أما عيوب عملية الفرز الغشائي فتدرج في الآتي :

- العملية غير إقتصادية لتحلية مياه البحر .
- يحتاج الى معالجة مسبقة ذات تكلفة عالية، لا سيما وأن هذه الطريقة حساسة بالنسبة الى الأيونات العضوية .
- تؤثر عليها المياه التي تكثر بها 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 الى عمال مهرة وفنيين للتشغيل والصيانة .

مثال ١٤:

استخدم جهاز فرز غشائي لتحلية مياه مالحة، تحوى ٢٠٠٠ ملجم/لتر من المواد الصلبة الذائبة الكلية. وللجهاز الخواص المدرجة أدناه :

- كفاءة التيار لحمل الأيونات المضادة عبر الجهاز = ٧٥ % .
- كفاءة التيار لحمل نفس الأيونات في المحلول الملامس للغشاء = ٦٠ % .
- سمك طبقة الانتشار على السطح الفاصل = ٠,٠٠٠٤ سم .
- ثابت الانتشار للإلكترووليت على درجة حرارة الحلمأة = ١٠-٥ سم²/ث .

أوجد أقصى كثافة للتيار .

الحل :

$$1- \text{المعطيات: } C_0 = \text{TDS} = 2000 \text{ ملجم/لتر} , \quad \text{Eff}_1 = 70\% , \quad \text{Eff} = 60\% , \\ B = 0.004 \text{ سم} , \quad C_{MD} = 10^{-5} \text{ سم}^2/\text{ث} .$$

٢- أوجد الكثافة القصوى للتيار من المعادلة

$$i_{\max} = (100 \cdot \text{Far} \cdot C_{MD} \cdot C_0) / [B \cdot (\text{Eff}_1 - \text{Eff})] \\ i_{\max} = (100 \cdot 96485 \cdot 10^{-5} \cdot 2000) / [0.004 \cdot (70 - 60)] \\ i_{\max} = 4824250 \text{ أمبير/سم}^2 = 4.82425 \text{ أمبير/سم}^2$$

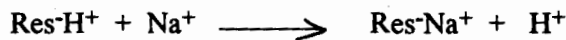
٢ - ٥ - ٣ الراتنجات لتبادل الأيونات Ion exchange resins

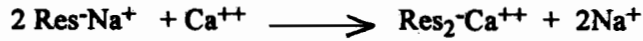
تستخدم عملية تبادل الأيونات لتبادل أيونات معينة من المواد غير الذائبة بأيونات أخرى في المحلول {٨، ١٠، ٢٩، ٣٤} . إن الزيوليت الطبيعية zeolite مثل سيلكات الألمونيوم Aluminosilicates، لها خواص لتبادل الأيونات في تكوينها مع أيونات في المحلول. وهذه الطريقة التبادلية العكسية تسمى عملية تبادل الأيونات. والراتنجيات عبارة عن بوليميرات غير ذائبة لها مجموعات نشطة ذات ارتباط ثنائي مع البوليميرات {٣٥} . وعملية تبادل الأيونات يمكن أن تكون على دفعات أو مستمرة . وفي طريقة الدفعات يخلط الراتينج ويرج مع المحلول المزمع تنقيته، ومن ثم يفصل الراتينج المستخدم في حوض ترسيب لإعادة دورانه وإستخدامه. وفي العملية المستمرة يتم تغيير الراتينج في مفرش أو عمود محشو ويمرر المحلول المطلوب تنقيته عبر المفرش أو العمود. والراتنجيات يمكن أن تكون من أصل طبيعي أو مصنعة من مواد عضوية. وللمواد المصنعة درجة إستقرار أكبر وسعة وقابلية أكبر للتحكم فيها {٣٥} .

وعامة يمكن تقسيم الراتنجيات الى :

- مبادلات شوارد موجبة : وهذه تقوم بتبادل الكاتيونات. وتقسّم الى راتنجيات ضعيفة الحمضية (تحتوى على مجموعة كربوكسيل كمبادلات)، وراتنجيات قوية الحمضية (تحتوى على أحماض سلفونية كمبادلات) .
- مبادلات شوارد سالبة: وهذه تقوم بتبادل الأيونات. ويمكن تقسيمها الى راتنجيات ضعيفة القلوية (تحتوى على مجموعة أمينية)، وراتنجيات قوية القلوية (تحتوى على مجموعة الأمونيوم) .
- مبادلات لأيونات محددة (المجموعات الإنتقائية): وهذه المبادلات تقوم بتبادل الشوارد الموجبة والسالبة على حد سواء. وتحتوى على كميات إنتقائية مناسبة لحجز أيونات محددة تفضلها على أيونات أخرى .

ويمكن تبسيط عملية تبادل الأيونات في المعادلات التالية





ومن العوامل المؤثرة فى هذه الطريقة: خواص الراتينجات، وتكافؤ الأيونات ودرجة تركيزها ونوعها فى المحلول، ونوع وتكوين المبادلات، وخواص المحلول، وعمر الراتينجات، والعوامل التى تؤثر فى إنتشار الأيونات .

وتستخدم عملية تبادل الأيونات فى فصل وتركيز الأيونات من المحاليل، وإنتاج الماء النقى للإستخدامات الصناعية، والتخلص من عسر الماء، وإنتاج المياه المعدنية، والحصول على المعادن الثقيلة من الفضلات السائلة (مثل النيكل والنحاس والخاصين والزنابق والسيلينيوم {٣٥}) ، 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 فى الفضلات السائلة، وإزالة أيونات الأمونيوم من السائل النهائى فى محطة معالجة الفضلات السائلة .

ومن المعروف أن إستخدام الراتينجات فى عمليات معالجة الفضلات السائلة يخضع الى بيئة صعبة مقارنة بتنقية المياه . وهنا الراتينجات تكون عرضة للتآكل الكيميائى والأكسدة والتفتيت الحرارى والتحات الطبيعى ، وهذه نسبة الى الصدمات الإسموزية أو التآكل بالتحات. كما وأن الفضلات السائلة بها كميات كبيرة من المواد العضوية التى يتم إمتصاصها الدائم بالراتينجات، كما وأن درجة العكارة العالية تسبب مشاكل أخرى {٢٩، ٣٥} .

٢ - ٦ التطهير

عملية تطهير المياه تعنى قتل أو إزالة الجراثيم الضارة من السائل المعالج. وتختلف عملية التطهير عن التعقيم إذ يتم فى الأخيرة قتل جميع الكائنات الدقيقة بما فيها الأنواع الضارة والمسببة للأمراض . يتم تطهير المياه أو السائل النهائى من الفضلات السائلة بإضافة مادة مطهرة لأحد الأسباب الآتية :

- قتل الجراثيم الضارة بالصحة العامة .
- إزالة الأمونيا .
- أكسدة المواد غير العضوية مثل كبريتيد الهيدروجين ، والحديد Fe^{++} ، والمنجنيز Mn^{++} ، لتسهيل إزالتها .

ويمكن تقسيم طرق التطهير الى :

(١) طرق طبيعية (فيزيائية) وهذه الطرق تضم :

- المعالجة بالحرارة: وترفع درجة الحرارة الى ١٠٠ م لمدة ١٥ الى ٢٠ دقيقة لقتل الجراثيم ، وتختلف هذه العملية عن عملية البسترة المستخدمة فى صناعة المأكولات التى ترفع فيها درجة الحرارة الى ٨٠ م لمدة عشر دقائق لقتل الخلايا الحية .

- استخدام الأشعة فوق البنفسجية: وتمرر المياه المراد معالجتها عبر غرفة تعرض فيها للأشعة فوق البنفسجية بطول موجة ٢٠٠ الى ٣١٠ نانومتر .
- استخدام أيونات المعادن مثل أيونات الفضة والنحاس .

وبيين الجدول (٨) محاسن ومساوئ الوحدات المختلفة المستخدمة لتطهير الماء.

جدول (٨)
طرق لتطهير

المساوئ	المحسّن	المطريفة
* لا يتكون باقي في السائل . * تحتاج إلى معالجة مسبقة لكي لا تتمكن الجراثيم والميكروبات من صنع درع واق حولها من المواد الصلبة الموجودة بالسائل . * ذات تكلفة عالية . * لا تؤثر على كل الجراثيم . * تحتاج إلى طاقة كبيرة وأجهزة عالية للثمن .	* عملية سهلة الإنشاء والتشغيل * لا تتغير بعدها خواص السائل لمطهر . * لا تتفاعل الأشعة فوق البنفسجية مع المركبات الموجودة في السائل . * تحتاج إلى زمن تلامس قليل . * لا تنتج روائح أو طعم . * لا تزيد الإضاءة مخطئ .	(أ) طرق طبيعية الأشعة فوق البنفسجية
* تحتاج إلى معالجة مسبقة مناسبة - * تتأثر بالتغير في درجة الحرارة والرقم الهيدروجيني . * ذات تكلفة عالية . * تتأثر بالخواص الكيميائية للسائل للمعالج .	* تستخدم كميات قليلة من الأيون * لا تنتج مواد سامة . * تنتج ميثاق يحمي الصحة العامة * لا يعتمد عمل الأيون على تركيز الكائنات الدقيقة الموجودة . * تؤثر على أنواع عديدة من الجراثيم .	أيونات المعادن
* تحتاج إلى ضمان للإبقاء بالطلب . * تحتاج إلى منطقة معينة ذات مواصفات محددة للتخزين . * قد يتفاعل الكلور مع المواد الضوئية ويكون مركبات ضارة بالصحة . * مخطئ عند الترحيل والنقل .	* الكلور فعال في إزالة الجراثيم * طريقة جيدة يمكن الإعتماد عليها * تنتج ميثاق للحماية ضد النمو الثانوي .	(ب) طرق كيميائية الكلورة
* صعوبة الترحيل والتخزين لعدم ثبات الأوزون . * الأوزون قليل الذوبانية في الماء . * يصعب قياس تركيز الأوزون في الماء . * يحتاج الأوزون إلى تكلفة عالية لإنتاجه . * الأوزون غاز سام جدا . * لا ينتج ميثاق يحمي الصحة العامة . * ذات تكلفة عالية لشراء الأجهزة والتشغيل وإحتياجات الكهرباء . * تحتاج إلى معالجة مسبقة عندما تكثر المواد الضوئية والطحالب . * تحتاج إلى عمل مهرة للتشغيل .	* أكثر فاعلية وكثير كفاءة من الكلور لمدى كبير من الحرارة والرقم الهيدروجيني . * تحتاج إلى فترات تلامس قليلة * لا تكون مركبات ضارة بالصحة * لا توجد مخطئ من تخزين المادة أو ترحيلها . * لا تنتج روائح مع مكونات السائل الواجب تطهيره . * تكفى بتطهير سريع وجيد .	الأزونة

(٢) طرق كيميائية

وهنا يتم إضافة مواد كيميائية مؤكسدة (مركبات تستقبل إلكترونات) لتطهير المياه، ومثال للمواد الكيميائية المستخدمة غاز الكلور ومركبات الكلور، والأوزون، واليود، وبيرومنجنات البوتاسيوم .

ومن المواصفات المطلوبة للمادة المطهرة الجيدة ما يلي: { ١، ٤، ٦، ٧، ٨، ١٠، ١١، ١٢، ١٣، ١٤، ١٥، ١٦، ١٧، ١٨، ١٩، ٢٠، ٢٩، ٣٢، ٣٤، ٣٦، ٣٧، ٣٨، ٣٩ }

- أن تكون سريعة وفعالة لقتل الجراثيم الموجودة .
 - أن تكون سهلة الذوبان نسبيا في درجات التركيز المطلوبة لإتمام التطهير .
 - أن تاتى بباقي بعد إتمام عملية التطهير .
 - أن لا تسبب طعم أو رائحة أو لون للماء في حدود الجرعة المطلوبة للتطهير .
 - أن لا تكون سامة للإنسان وحيواناته على الجرعة المستخدمة .
 - أن تكون سهلة التعامل معها وسهلة الحفظ والنقل والتحكم .
 - أن يسهل إكتشافها وقياسها في الماء .
 - أن تكون متواجدة محليا وبتكلفة مناسبة .
- وتعتمد عملية التطهير على العديد من العوامل المتداخلة مثل :
- كمية ونوع الجراثيم الموجودة .
 - نوع ودرجة تركيز المادة المطهرة .
 - وجود مواد أخرى تسهل أكسبتها بالمادة المطهرة .
 - خواص السائل المراد تطهيره (درجة العكارة، الرقم الهيدروجيني، درجة الحرارة) .
 - كمية المطهر المستخدمة .
 - زمن التلامس بين المادة المطهرة والمحلول المراد تطهيره .

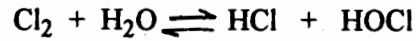
الكلورة: تعنى إضافة الكلور الى الماء. ومن الخصائص العامة للكلور:

- غاز سام أخضر يشوبه إصفرار .
- يوجد في الطبيعة متحدا مع عناصر أخرى من أهمها الصوديوم (ملح الطعام) .
- له خاصية تغلغل كبيرة .
- له رائحة نفاذة .
- له كثافة أكبر من كثافة الهواء .
- يتبخر على درجات الحرارة العادية والضغط الجوى .
- يمكن إنتاجه بالتحليل الكهربائي Electrolysis لمحلول ملحي من كلوريد الصوديوم والصودا الكاوية والهيدروجين .
- قليل الذوبانية في الماء .

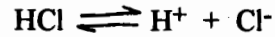
وعند إضافة الكلور الى الماء يمكن أن تنتج هذه التفاعلات :

(أ) تفاعل الكلور مع الماء : يتفاعل الكلور مع الماء ليكون حمض الكلور Hypochlorous acid

(I) (HOCl) وحمض الهيدروكلور Hydrochloric acid كما مبين في المعادلة التالية :



وتتأين الأحماض المتكونة الى :



ويعتبر حمض الكلور (I) HOCl أكثر المطهرات فعالية، ويسمى الكلور المتواجد Available

chlorine، ويحدث أكثر التطهير على الرقم الهيدروجيني الحمضي. ويعطى الجدول (٩) فكرة عامة

عن القيم المقترحة لأقل كلور مطلوب لتطهير الماء وقتل البكتيريا .

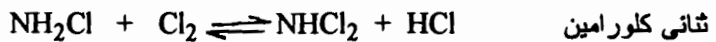
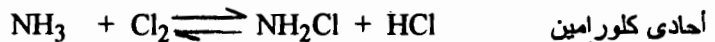
جدول (٩)

القيم الدنيا المقترحة للكلور المتبقى لتطهير المياه { ٢٩٠، ١٢ }

الرقم الهيدروجيني	أقل كلور حر متواجد (ملجم/ لتر) (المتبقى بعد زمن تلامس ١٠ دقائق)	أقل كلور متحد متواجد (ملجم/ لتر) (المتبقى بعد زمن تلامس ٦٠ دقيقة)
٦	٠,٢	١
٧	٠,٢	١,٥
٨	٠,٤	١,٨
٩	٠,٨	لا يوجد
١٠	٠,٨	لا يوجد

ب) تفاعل الكلور مع الأمونيا: يتفاعل الكلور مع الأمونيا في وجود الماء ليكون الكلورامينات على حسب

التفاعلات الموضحة أدناه :



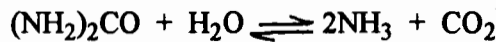
ويمكن وضع التفاعل النهائي كما موضح في المعادلة أدناه :



ج) أكسدة المواد غير العضوية مثل أكسدة كبريتيد الهيدروجين، والحديد Fe^{++} ، والمنجنيز Mn^{++} .

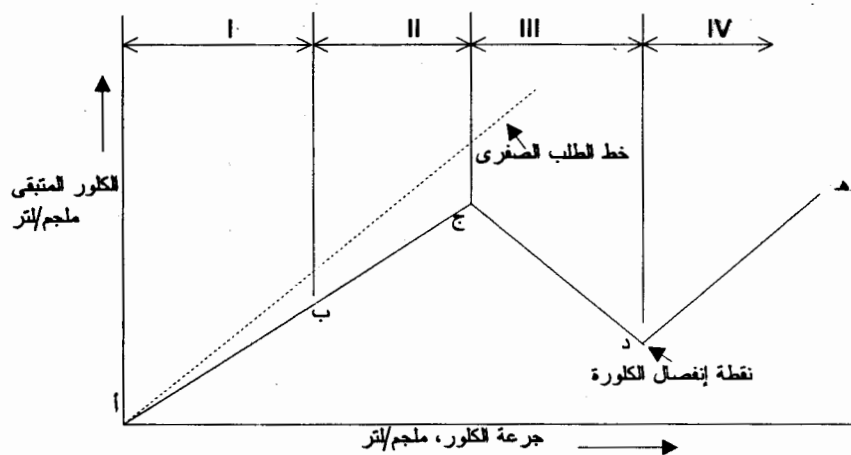
د) أكسدة المواد العضوية. ويتفاعل الكلور مع المواد العضوية مكونا ثلاثى هالوجينات الميثان Trihalomethanes وغيرها من المواد العضوية الكلورة. وتحتوى ثلاثى هالوجينات الميثان على الكلوروفورم ($CHCl_3$ Chloroform)، وثلاثى كلوربروم الميثان ($CHBrCl_2$ Dibromochloromethane)، والبروموفورم ($CHBr_3$ Bromoform). وقد وجد أن الكلوروفورم مادة مسرطنة للحيوانات ويحتمل أن يكون مادة مسرطنة أيضا للإنسان {١٨}.

تتولد الأمونيا في الماء من حلماء البول طبقا للتفاعل المبين أدناه :



أو ربما تنتج من تفسخ المواد العضوية مثل البروتين. وتفاعل الكلور مع الأمونيا يقود الى مفهوم نقطة انفصال الكلورة Breakpoint chlorination، والتي تعرف بأنها كمية الكلور اللازمة لتحديث أقل كمية من الكلور المتبقى. ويبين الشكل (٢٨) تفاعلات الكلور مع الأمونيا في وجود الماء. فمن المنطقة (أ) الى (ب) فإن إضافة الكلور تولد التفاعلات السريعة بين الكلور والعناصر الموجودة في الماء، وهنا يتحول الكلور الى أيون الكلوريد الذى هو ليس بمادة مطهرة. وبإضافة المزيد من الكلور فى المنطقة من (ب) الى (ج) فإن الكلور يؤكسد كليا المواد المختزلة مكونا الكلورامين وثلاثى الكلورامين والتي تسمى الكلور المتحد المتواجد Combined available chlorine. ومن المنطقة (ج) الى المنطقة (د) فإن إضافة الكلور تقلل الكلور المتواجد بسبب إنتاج ثلاثى الكلورامين والنيتروجين والتي لا تعتبر مواد مطهرة. وبإضافة مزيدا من الكلور يتم أكسدة كل الأمونيا فى النقطة (د) والتي تسمى نقطة انفصال الكلورة. وبإضافة المزيد من الكلور فإنه يتبقى ككلور متواجد HOCl، ويعمل كمتبقى. وعادة تتم الكلورة الى ما بعد النقطة (د) لضمان وجود الكلور المتبقى. وبالنسبة للسائل النهائى الذى يحمل كميات كبيرة من الأمونيا فتكون الكلورة مكلفة وبذا فإن الكلورة تعمل الى المنطقة من (ب) الى (ج).

إن إضافة الكلور ليس فقط لحماية الصحة العامة ومنع تلوث شبكة توزيع المياه، ولكنه يتم أيضا لضمان عدم رجوع ونمو البكتيريا فى شبكات المياه. ومع أن كمية الكلور الواجب إضافتها فى 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 فى شبكات التوزيع {٤}.



مفتاح	
I	إستهلاك الكلور بالمركبات العضوية وغير العضوية المختزلة - لا يوجد تطهير
II	الكلور المتحد المتواجد، أحادي وثنائي الكلورامين
III	أكسدة الكلورامين
IV	الكلور الحر المتواجد

شكل (٢٨) تفاعلات الكلور مع الأمونيا في وجود الماء { ٤٠، ٣٩، ٣٨، ٣٧، ٢٩، ١٨، ١٣، ١٠، ٨، ٢ }

وتوجد علاقة بين قابلية الكلور لقتل الجراثيم ودرجة تركيز المطهر، وزمن التلامس بين الجراثيم والمطهر. وهذه العلاقة تعرف بقانون جيك Chick's law كما مبين في المعادلة ٦٠ .

$$(٦٠) \quad (dN/dt) = -k \cdot N$$

حيث :

N - عدد الجراثيم الحية في الزمن t .

t - الزمن (يوم) .

k - ثابت (على اليوم) .

وعند تكامل المعادلة ٦٠ مع أخذ $N_0 = N$ عند $t = 0$ ، تنتج المعادلة ٦١ .

$$(٦١) \quad (N/N_0) = e^{-kt}$$

حيث :

N - عدد الجراثيم الحية في الزمن t .

N_0 - 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 أسى، وبذا فإن القتل الكلى لا يتحقق. وكفاءة التطهير تذكر كنسبة مئوية لنسبة الجراثيم التي تم قتلها إلى عدد الجراثيم الموجودة أصلاً. ولا يسرى 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 ونوع الجراثيم المتواجدة. كما ويمكن استخدام المعادلة ٦٢ لعلاقة تركيز الكلور وزمن التلامس .

$$(٦٢) \quad C^n \cdot t = k$$

حيث :

C - درجة تركيز الكلور (ملجم/لتر) .

t - زمن التلامس (دقيقة) .

k, n - ثوابت تجريبية تتحقق لنظام معين .

وَأثر التطهير في درجة الحرارة يمكن إيجادها من معادلة هـ وف أرهينيس { ٨ ، ١٠ ، ٢٩ } الموضحة في المعادلة ٦٣ .

$$\ln(t_1/t_2) = [E'*(T_2 - T_1)]/R \quad (٦٣)$$

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 و t_2 على الترتيب (كلفن) .

R - ثابت الغاز العالمى = ١ كالورى / كلفن×مول .

= ٠,٠٨٢ لتر×جو/ كلفن×مول .

= ٨,٣١٤ جول/ كلفن×مول .

مثال ١٢:

مستخدماً قانون جيك أوجد زمن التلامس اللازم لمطهر ليتمكن من تحقيق درجة قتل ٩٩,٩٩ بالمائة علماً بأن الثابت k يساوى ٠,٠٦ على الثانية (للأساس ١٠) .

الحل :

١- المعطيات: درجة القتل = ٩٩,٩٩ % ، $k = ٠,٠٦$ على الثانية .

٢- أوجد زمن التلامس اللازم لتحقيق درجة القتل المعطاة من قانون جيك .

$$t = -(1/k) * \log(N/N_0)$$

$$t = - (٠,٠٦ \div ١) \times \log [١٠٠ \div (٩٩,٩٩ - ١٠٠)] = ٦٧ \text{ ثانية} .$$

٧-٢ تمارين نظرية وعملية

١-٧-٢ تمارين نظرية

- (١) أي مصادر المياه أفضل : الأمطار السطحية أم الجوفية ؟ ولماذا ؟
- (٢) كيف يتم اختيار مصدر الماء ؟
- (٣) ما هي أهم أهداف تنقية المياه ؟
- (٤) عرف ما يلي : المصافي ، الترسيب البسيط ، التلبد ، الترسيب المتفرد .
- (٥) إذكر أسباب استخدام المصافي كوحدة معالجة أولية .
- (٦) إذكر أهم ثلاثة أنواع من المصافي ووضح الاختلافات بينها مدعماً إجابتك بالرسومات المناسبة .
- (٧) ما الفرق بين الترسيب والطفو؟ وكيف يمكن زيادة كفاءة كل من العمليتين في الحياة العملية ؟
- (٨) ما هي العوامل المؤثرة على كفاءة الترسيب ؟
- (٩) ما الفرق بين الترسيب المتلبد والترسيب المتفرد أو المتقطع ؟ إذكر أمثلة لكل نوع .
- (١٠) إذكر أهم خواص الجسيمات الغروانية .
- (١١) ما الفرق بين الحبيبات الكارهة للماء والمواد الشغوفة بالماء ؟ أعط أمثلة لكل منها .
- (١٢) ما فوائد الترسيب والترويب كوحدات معالجة ابتدائية ؟
- (١٣) ما الفرق بين الدفق المضطرب والدفق الصفحي ؟ وما هي الآثار المترتبة على كل نوع في حوض الترسيب الأفقي الدفق ؟
- (١٤) كيف يمكن الاستفادة من رقم رينولد ورقم فرود في عمليات الترسيب ؟
- (١٥) ما الفرق بين الترويب والتلبد ؟
- (١٦) كيف تعمل مواد الترويب سالبة الشحنة الكهربائية وتلك التي لا تحمل شحنة كهربائية من المواد المتبلورة ؟
- (١٧) ما هو أثر زيادة الرقم الهيدروجيني على مادة كبريتات الألمونيوم عند استخدامها في عملية الترويب ؟
- (١٨) ما الفرق بين جهد زيتا والجهد الكهروحركي أو الرحلان الكهربائي؟ وما فوائد إيجادها في عمليات المعالجة والتنقية ؟
- (١٩) ما فائدة جهاز اختبار الوعاء ؟
- (٢٠) لماذا يتم تهوية المياه الجوفية العميقة ؟
- (٢١) إذكر العوامل المؤثرة على معامل التوزيع للغازات ؟
- (٢٢) ما فائدة وحدة الترشيح في محطة معالجة الفضلات السائلة ؟
- (٢٣) أيهما أفضل لقياس فقد السم: طريقة روس أم طريقة كارمان كوزني؟ ولماذا؟
- (٢٤) ما هي العوامل التي تساعد في تنقية المياه بالترشيح؟
- (٢٥) ما هي الفروقات بين مرشح الرمل السريع ومرشح الرمل البطيء؟ أيهما تفضل لمدينتك ؟ ولماذا؟

- (٢٦) إنكر فوائد عملية الإمتزاز في محطة تنقية المياه ؟
 (٢٧) إنكر طرق تحليلية المياه مع بيان محاسن ومساوئ كل طريقة ؟ أي من هذه الطرق تفضل لتحلية مياه جوفية مالحة ؟
 (٢٨) إنكر الفرق بين التطهير والبسترة والتعقيم .
 (٢٩) ماهي مساوئ كل من عمليات الكلورة والأزونة ؟

٢-٧-٢ تمارين عملية

- (١) ترسب حبيبات متفردة قطرها ٦٠ مايكرومتر وثقلها النوعي ٢,٦٥ في حوض ماء على درجة حرارة ٢٠ م .
 أوجد سرعة ترسيب الحبيبات . (الإجابة ٣,٢ ملم/ث) .
 (٢) صمم حوض ترسيب مائي لإزالة حبيبات (أ)، كروية الشكل قطرها ٠,٥ ملم، وكثافتها النوعية ١,١. درجة حرارة الماء في الحوض ٢١ م. بافتراض أن الترسيب بسيط ومتفرد بالحوض، أوجد نسبة إزالة الجسيمات (ب) الكروية الشكل وذات القطر البالغ ٠,٣ ملم في حوض الترسيب، علماً بأن الحبيبات (ب) لها نفس الكثافة النوعية للحبيبات (أ). (الإجابة ٣٦ %) .
 (٣) بلدة تعداد سكانها ٩٥ ألف نسمة ومتوسط استهلاك الفرد للماء لديهم يبلغ ٢٨٠ لتر على اليوم. أشارت التجارب المخبرية أن عينة الماء البالغ حجمها ٥٠ ملتر تحتوي على ٩,٦٤ ملجرام من المواد الصلبة العالقة. وأشارت التجارب على جهاز عمود الترسيب إلى أن التوزيع المتردد التراكمي للحبيبات المترسبة تتبع خطاً مستقيماً له الخواص التالية :
 ١٠ بالمائة من الحبيبات لها سرعة ترسيب أكبر من ٠,٥ ملم/ث .
 ١٠ بالمائة من الحبيبات لها سرعة ترسيب أقل من ٠,١ ملم/ث .
 وللمعالجة بالترسيب فمن المقترح إنشاء حوض ترسيب أبعاده كالآتي :
 العرض = ١٢ م ، الطول = ٦ أضعاف العرض ، العمق = [(الطول)^{٠,٨}] ÷ ١٢ . افترض أن الترسيب متفرد .
 (أ) أوجد كفاءة حوض الترسيب .
 (ب) أوجد درجة تركيز المواد الصلبة في السائل الخارج من وحدة الترسيب .
 (ج) أوجد زمن مكث الحوض (زمن الترسيب بالحوض)
 (د) كيف يمكن تحسين الحوض بناءاً على قيم أرقام فروود ورينولد للدفق الأفقي للماء .
 يمكن أخذ درجة حرارة الماء تساوي ٢٠ م . (الإجابة ٧٤ % ، ٥٠ ملجم/لتر ، ٢,٨ ساعة)
 (٤) أعطت نتائج تجربة عمود الترسيب لحبيبات عالقة متفردة البيانات المدرجة أدناه

عمق الحوض (متر)	زمن العينة (ساعة)	النسبة المئوية للمواد الصلبة المزالة
١	١	٥٧
١	٢	٨٩
١	٤	٩٦
١,٥	١	٤٠
١,٥	٢	٧٩
١,٥	٤	٩٣
٢	١	٣١
٢	٢	٥٨
٢	٤	٩٠
٣	١	٢٦
٣	٢	٣٩
٣	٤	٧٧

(أ) يرسم منحني التوزيع المتردد التراكمي للعينة للترسيب المتفرد .

(ب) أوجد النسبة المئوية لكفاءة حوض الترسيب للتخلص من الشوائب والمواد العالقة، علما بأن مساحة الحوض تعادل ١٢٠ متر مربع ، والماء الداخل اليه ينساب بمعدل دفع يساوي ٢,٥ متر مكعب على الدقيقة . (الإجابة ٧٩٪)

(٥) تم اختبار عينة من محلول مجفف لجسيمات متلبدة الترسيب على جهاز عمود الترسيب وقد تم الحصول على البيانات التالية لثلاثة أبعاد في العمود

العمق (سم)	النسبة المئوية للمواد الصلبة المتبقية في السائل النهائي الخارج (٪)					
٤٠	٩٢	٧٠	٤٠	٢٣	١١	٦
٨٠	٩٥	٩١	٦٨	٥٠	٢٧	٢٦
١٢٠	٩٦	٩٣	٨٥	٦٨	٤٤	٤٠
	١٠	٢٠	٤٠	٥٥	٨٠	٩٠

زمن الترسيب (دقيقة)

(أ) أوجد الإزالة الكلية لحوض ترسيب عمقه ١,٢ متر صمم لسرعة ترسيب تعادل ١ متر على الساعة . (الإجابة : ٧٥٪) .

(٦) استخدم جهاز ترسيب له الخواص التالية في محطة معالجة ضمن وحدات المعالجة الموجودة

القيمة	المنشط
٢٢ م°	درجة حرارة الخليط المترسب
١,٥	معامل السحب للبدال المستطيل
ع	سرعة طرف البدال
٧٠ %	السرعة النسبية للبدال ÷ سرعة طرف البدال
١٢٠ م²	مساحة البدال
٥٠ على الثانية	ميل السرعة
٢٠٠٠ م³	حجم جهاز الترويب

(أ) أوجد القدرة المطلوبة للجهاز .

(ب) أوجد سرعة طرف البدال (ع) . (الإجابة : ٤,٨ كيلووات ، ٠,٥٤ م/ث) .

(٧) أوجد درجة التركيز عند التشبع للأكسجين المذاب في ماء نقي على درجة حرارة ٣٠ م°، ومعرض لضغط يعادل ١٠١,٣ كيلوباسكال. افترض أن الهواء الجاف يحوي ٢١ بالمائة من حجمه أكسجين .

(أ) أوجد معامل هنري .

(ب) أوجد معامل بنزن للإمتصاص. (الإجابة : ٧,٦٤ ملجم/لتر، ٣,٧ × ١٠^{-٤} جم/جول، ٠,٠٢٧ جم/جول) .

(٨) استخدم مسقط صناعي متعدد الدرجات لرفع درجة تركيز الأكسجين في المياه الجوفية اللاهوائية إلى ٧,٦ جرام على المتر المكعب. فإذا كانت كل درجة يمكنها رفع درجة ذوبانية الأكسجين من ١٠ بالمائة من درجة التشبع إلى ٥٠ بالمائة من درجة التشبع. أوجد عدد درجات المسقط علماً بأن درجة حرارة الماء تعادل ٢٠ م° (الإجابة : ٣ درجات) .

(٩) مرشح رملي إرتفاعه ١ متر ومساميته ٥٠ بالمائة ، يتكون من رمل منتظم قطره ٠,٢٥ ملم ، وله معامل شكل ٠,٩ ، وكثافة نوعية ٢,٦٥. تمر عبر المرشح مياه على درجة حرارة ٢٠ م° مناسبة بسرعة ٥٠ سم في الساعة . أوجد فقد السمات عبر المرشح باستخدام معادلات فقد السمات . (الإجابة : ١٠, ٧ ، ٧, ٦ سم) .

(١٠) أدخلت مياه سطحية ذات تركيز مواد صلبة يعادل ١٢٠ ملجم/لتر الى مرشح رملي سريع بسرعة ٠,١ سم/ ثانية. علماً بأن إحتياجات الماء المطلوبة تعادل ٢٥ متراً مكعباً على الدقيقة، أوجد :
(أ) عدد المرشحات المطلوبة .

(ب) مساحة المرشح الواحد . (الإجابة ١٠ إثنان إحتياطي ، ٥٢ متر مربع) .

(١١) مرشح رملى إرتفاع وسطه الترشيحي ٨٠ سم ، ومكون من حبيبات منتظمة معامل نفاذيتها ٤٠ بالمائة . إذا كانت سرعة الترشيح ٦٠٠٠ لتر/ اليوم/ المتر المربع ، وأقصى فقد سمت محسوبا بمعادلة روس يساوى ٨٣ ملم ، أوجد متوسط قطر حبيبات الرمل المستخدمة . هل هذا المقاس مقبولا ؟ (استخدم معامل لزوجة كينامتيكية يعادل 1.3×10^{-6} متر مربع/ ثانية) . (الإجابة ٠,٣ ملم).

(١٢) مرشح رمل بطى إرتفاع وسطه الترشيحي ١,٥ مترا ويتكون من رمل منتظم قطره ٠,٢ ملم ، ومعامل نفاذيتها ٤٥ بالمائة . إذا كان فقد سمت المرشح محسوب بمعادلة كارمن وكوزنى يساوى ٨ سم ، أوجد السرعة الترشيحية للماء (الذى تصل درجة حرارته إلى ٢٠°م) عبر المرشح. أرسم فقد السمات لأرقام مختلفة من سرعة الترشيح. (الإجابة ٣,٦ م/يوم) .

(١٣) جهاز تقطير ثنائى المرحلة به مبادلات حرارية لها نفس المساحة، وتتناسب معاملات إنتقال الحرارة بها بنسبة ٥ الى ٣,٥ . أدخل بخار جاف على درجة حرارة ١٢٠°م للمرحلة الأولى من جهاز التقطير. أوجد النقصان فى درجة الحرارة فى المرحلة الثانية عندما تكون درجة الحرارة ٦٠°م. (الإجابة ٣٥,٣°م).

(١٤) محلول ملحي على درجة حرارة ٣٠°م له ضغط بخار يعادل ٤,١٣ كيلو باسكال . أوجد الضغط الحولى لوحدة حجم . (الإجابة ٦٦ كيلو باسكال) .

(١٥) أجريت تجربة على مياه جوفية على درجة حرارة ٢٠°م. لتحديد الأيونات الموجودة بها ، ووجدت النتائج المبينة فى الجدول أدناه بالمولر .

كاتيونات	أيونات
كالسيوم ٠,٠١	كلوريد ٠,٠١
ماغنسيوم ٠,٠١	بيكربونات مجهولة (ص) ٠,٠٢
بوتاسيوم ٠,٠٠٥	نترات ٠,٠٢
صوديوم ٠,٠٢	كبريتات ٠,٠١

أستخدم التناضح العكسى لتحلية المياه على ضغط ٢,٥ جو . أوجد قيمة تركيز أيونات البيكربونات (ص) بالملجم/ لتر . (الإجابة ١,٣ ملجم/ لتر) .

(١٦) يمكن إنتاج الكلوروفورم CHCl_3 من التفاعل الكيميائى بين الكلور والميثان. ونواتج التفاعل هى الكلوروفورم وحمض الهيدروكلور. أوجد كمية الكلور اللازمة لإنتاج ربع كيلو جرام من

(١٧) استخدم مسحوق تبييض لتطهير بئر جوفى نصف قطره ٠,٥ متر، وبه ماء على إرتفاع ٣ أمتار .
أوجد كمية مسحوق التبييض المطلوبة لوضع جرعة تعادل ٦٠ ملجم/لتر علما بأن تركيز الكلور
فى المسحوق يساوى ٣١ بالمائة . (الإجابة ٤٥٦ جرام) .

(١٨) أظهرت التجارب على عينة من المياه التركيز المولاري التالي للأيونات :

الأيونات	القيمة
الكاتيونات :	
صوديوم	٠,٠٣٢
بوتاسيوم	٠,٠١٦
ماغنيسيوم	٠,٠١٢
كالسيوم	٠,٠٢
الأنيونات	
الكلوريد	٠,٠٢٨
البيكربونات	مجهولة
النترات	٠,٠١٢
الكبريتات	٠,٠٣

استخدمت طريقة التناضح العكسي لتحلية المياه، وكان فرق الضغط الحلولى بين طرفي الغشاء شبه
المسامي الفاصل بين الماء المالح والماء النقي يساوي ٤,١ جو. أوجد درجة تركيز أيون البيكربونات
المجهولة علما بأن الماء على درجة حرارة ٢٠° م . (الإجابة ١,٢٥ ملجم/لتر) .

(١٩) فى محطة تنقية مياه استخدم الكلور لتطهير دفق المياه اليومي البالغ ١٤٠٠٠ متر مكعب. إذا تم
استخدام ٤,٢ كجم من الكلور فى اليوم . أوجد مقدار جرعة الكلور المضافة .
(الإجابة ٠,٣ ملجم/لتر) .

2.8 References

- 1) Cairncross, S., and Feachem, R., "Small Water supplies", Ross Bulletin 10, London, 1978.
- 2) Abdel-Magid, I. M. and ElHassan, B. M. "Water supply in the Sudan, Khartoum University Press, Sudan National Council for Research, Khartoum 1986 (Arabic).
- 3) Tebbutt, T. H. Y., "Principles of water quality control", Pergamon Books, Oxford, New York, 4th Ed., 1992.
- 4) Abdel-Magid, I.M. "Water treatment and sanitary engineering", Khartoum University Press, Khartoum, 1986 (Arabic).
- 5) Al-Layla, M. A., Ahmed, S., and Middlebrooks, E. J., "Water Supply Engineering Design", Ann Arbor Science, Michigan, 1980.
- 6) Barnes, D.; Bliss, P. J.; Gould, B. W. and Vallentine, H. R. "Water and wastewater engineering systems", Pitman International, Bath 1981.
- 7) 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.
- 8) Metcalf and Eddy Inc., "Wastewater engineering: treatment disposal reuse", 3rd Ed., McGraw-Hill Inc., New York, 1991.
- 9) Nathanson, J. A., Basic Environmental Technology: Water Supply, Waste Disposal and Pollution Control, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1986.
- 10) Peavy, H. S.; Rowe, D. R.; and Tchobanoglous, G. "Environmental engineering", McGraw-Hill Book Co., New York, 1985.
- 11) McGhee, T. J., and Steel, E. W. "Water supply and sewerage", 6th Ed., McGraw-Hill, New York 1991.
- 12) Viessman, W. and Hammer, M. J., Water Supply and Pollution Control, Harper and Row Pub., New York, 1985.
- 13) Degremont, "Water Treatment Handbook", Degremont, Rueil-Malmaison Cedex, France, 6th Ed., Vol. 1 and 2 1991.
- 14) Huisman, L., Sedimentation and Flotation: Sedimentation and Flotation, - Mechanical Filtration, - Slow Sand Filtration, -Rapid Sand Filtration, Delft University of Technology, Herdruk, 1977.
- 15) Calley, A. G.; Forster, C. F. F., and Stafford, D. A., "Treatment of Industrial Effluents", Hodder and Stoughton, London, 1977.
- 16) Hammer, M. J., "Water and wastewater technology", 2nd Ed., Wiley, New York 1986.
- 17) 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.
- 18) Berger, B. B. Ed., "Control of organic substances in water and wastewater", Noyes Data Co., New Jersey 1987.
- 19) Masschelein, W. J., "Unit Operations", International Institute for Hydraulic and Environmental Engineering, Delft, The Netherlands, Vol. 1, 1977.
- 20) Vesilind, P. A., Peirce, J. J., Weiner, R. F. "Environmental engineering", 2nd Ed., Butterworth-Heinemann, Boston, 1990.
- 21) Punmia, B. C., "Environmental Engineering: Volume 1: Water Supply", Standard Book House, Naisarak, Delhi-6, 1979.
- 22) AWWA, "Water Quality and Treatment Handbook of Public Water Supplies", McGraw-Hill, New York, 1971.
- 23) Popel, H. J., "Aeration and Gas Transfer", Delft University of Technology, Herdruk, 1979.
- 24) Lorch, W. ed., "Handbook of water purification", 2nd Ed., McGraw-Hill Book Co., London 1981.
- 25) Merritt, F. S., and Kurtz, M. "Civil Engineering Reference Guide", McGraw-Hill Book Co., New York 1986.
- 26) Rich, L. G., "Unit Operations of Sanitary Engineering", John Wiley, Clemson, 1974.
- 27) Wilson, F., "Design calculations in wastewater treatment", Spon. Ltd., London 1981.
- 28) Pescod, M. B.; Abouzaid, H., and Sundaresan, B. B., "Slow Sand Filtration: A Low Cost Treatment for Water Supplies in Developing Countries", published for the WHO Regional Office for Europe by the Water Research Center, U.K. in collaboration with the IRC, The Netherlands, Stevenage, Hertfordshire, U.K..
- 29) Rowe, D.R. and Abdel-Magid, I.M., "Handbook of Wastewater Reclamation and Reuse", Lewis Pub., New York, 1995.

- 30) Buross, O. K., "The Desalting ABC's", International Desalination Association, Massachusetts, 1990.
- 31) Porteous, A., "Desalination Technology: Developments and Practice", Applied Science Pub., London 1983.
- 32) Sawyer, C. N. and McCarty, P. L., "Chemistry for Environmental Engineering", McGraw-Hill Pub. Co., 3rd, New York, 1978.
- 33) Lacy, R. E., "Membrane Separation Process", Chem. Eng., 4:56, September 1972.
- 34) Perry, R. H. Green, D. W., and Maloney, J. O., Eds., "Perry's Chemical Engineers' Handbook", 6th Ed., McGraw-Hill Book Co., New York, 1985.
- 35) Bolto, B. A. and Pawlowski, L., "Wastewater Treatment by Ion Exchange", E. & F. N. Spon, New York, 1987.
- 36) ElHassan, B. M. and Abdel-Magid, I. M., "Environment and Industry: Treatment of Industrial Wastes", Institute of Environmental Studies, Khartoum University, Khartoum, 1986.
- 37) Salvato, J. A., "Environmental Engineering and Sanitation", John Wiley and Sons, New York, 4th Edition, 1992.
- 38) Committee Report, "Disinfection", American Water Works Association, 1978, 70(4), 219.
- 39) Dyer-Smith, P.; Brown, Beveri and Co., "Water Disinfection Status and Trends", J. Water and Sewage Treatment, 2(4), Dec. 1983, 13.
- 40) 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.
- 41) Malik, M. A. S.; Tiwari, G. N.; Kumar, A. and Sodha, M. S., "Solar Distillation", Pergamon Press, Oxford 1982.

الفصل الثالث

الهيدروولوجيا وتلوث المياه

١-٣ مقدمة

الهيدروولوجيا (علم خصائص المياه ونواميسها) هو فرع من الجغرافيا الطبيعية يختص بالمياه فى الأرض ، ويركز أكثر على وجود المياه وتوزيعها ودورانها وخواصها الطبيعية والكيميائية والآثار البيئية على كل الأحياء والأشكال . ومن أهم المشاكل فى علم الهيدروولوجيا {١} :

- قياس وتسجيل ونشر أهم البيانات .
- تحليل البيانات واستنباط وتوسيع النظريات الأساسية .
- تطبيق النظريات والبيانات على المشاكل العملية .

تدور المياه فى دورة من البحار إلى الغلاف الجوى ، ومن ثم تهطل (فى شكل أمطار وثلج وجليد) إلى الأرض لتتجمع فى الأنهار والبرك والبحيرات ، ومنها تجد طريقها إلى البحر مرة أخرى (أنظر شكل ١ فى الفصل الأول) . وهذا النمط المتكرر من الدورة المائية لا يوجد بالصورة المبسطة أعلاه نسبة لأن :

- الدورة ربما قطعت عبر عدة مراحل .
- لا يوجد نظام معين للزمن الذى تأخذه الدورة .
- تعتمد شدة وتكرار الدورة على الظروف الجغرافية والمناخية {٢} .

٣ - ٢ معلومات الإرساد الجوى

إن الخصائص الهيدروولوجية لمنطقة معينة تعتمد بصورة كبيرة على : المناخ وجيولوجية المنطقة والعوامل المناخية ذات الصلة وكمية وتوزيع الأمطار وهبوط الثلج والجليد وأثر الرياح ودرجة الحرارة والرطوبة على التبخر والنتج . ويختص علم الإرساد الجوى Meteorology بالحالات والعمليات الطبيعية والكيميائية والديناميكية (الحركية) لكل غلاف الأرض الغازى .

الرطوبة : إن كل غاز يبذل ضغط غاز جزئى من غير أن يتأثر بالغازات الأخرى فى أى خليط من الغازات . ويسمى الضغط الجزئى المبذول بواسطة بخار الماء بضغط البخار . وإن ضغط الهواء الجاف سيكون أقل من الضغط الكلى للهواء الرطب إذا تم نزع كل الماء من هواء رطب دخل وعاء مغلق كما موضح فى المعادلة ١ .

(١)

$$e = P - P'$$

حيث :

e = ضغط البخار .

P = الضغط الكلى للهواء الرطب .

P' = ضغط الهواء الجاف .

وإن أقصى قيمة لبخار الماء (الذى يمكن أن يوجد على أى حيز) يعتمد على درجة الحرارة، ولا يعتمد (عمليا) على وجود الغازات الأخرى . وعندما يتم حجز أقصى كمية من بخار الماء (على درجة حرارة معلومة) فى حيز معين فإن هذا الحيز يصبح مشبعا به. ويسمى الضغط المبذول بالبخار فى الحيز المشبع بضغط البخار المشبع .

الرطوبة النسبية: هى النسبة المئوية لضغط البخار الحقيقى مقارنة الى ضغط البخار المشبع. وعليه فإنها عبارة عن نسبة محتوى الندى فى حيز ما الى محتوى الندى الذى يمكن أن يحتويه الحيز عند التشبع.

$$h = 100 \cdot e / e_s$$

(٢)

حيث:

h = الرطوبة النسبية (%) .

e = ضغط البخار الحقيقى .

e_s = ضغط البخار المشبع (أنظر جدول (أ) فى الملاحق) .

نقطة الندى: هى درجة الحرارة التى يتشبع عندها الحيز عندما يتم تبريد الهواء تحت ضغط ثابت وضغط بخار ثابت . كما يمكن أن تعرف على أنها درجة الحرارة التى يتساوى عندها ضغط البخار المشبع وضغط البخار الحقيقى .

وتقاس الرطوبة بمقياس الرطوبة Psychrometer. والذى يتكون من مقياسين لدرجة الحرارة، أحدهما يغطى مستودعه جيدا بنسيج نظيف ومشبع بالماء. ويوضع مقياس درجة الحرارة فى منطقة جيدة التهوية. وتكون قراءة التيرمو متر الرطب المغطى أقل من قراءة التيرمو متر الجاف وذلك نسبة للتبخر. وهذا الفرق فى القراءتين يسمى الانخفاض فى البصيلة الرطبة. وبالمقارنة مع جداول مناسبة يمكن إيجاد نقطة الندى والرطوبة النسبية وضغط البخار {١} .

ويمكن قياس الرطوبة بإحدى أربعة طرق {٣} :

(١) طريقة نزع بخار الماء من حجم معين من الهواء ثم وزنه . ويتم هذا بتمرير هواء رطب عبر مجفف حبيبي desiccant وتعنى الزيادة فى وزن المادة المجففة وزن البخار الموجود فى الهواء .

(٢) طريقة نقطة الندى : يتكون جهاز قياس نقطة الندى من كوب مصقول يحتوى على سائل طيار مثل الإيثر Ether . ويبرد سطح الكوب بتمرير الهواء بقوة عبر السائل ، ليقوم بدوره بتبريد بخار الماء الملامس للكوب. وعند تكوين نقطة الندى يمكن مشاهدة التكثيف فى الكوب . وتسجل درجة الحرارة المقابلة بغمر تيرمو متر فى السائل. وتؤخذ نقطة الندى على أنها درجة الحرارة المتوسطة بين تلك التى

يظهر فيها التكثيف خلال التبريد ودرجة الحرارة التي يختفى فيها التكثيف عندما يتم تدفئة السائل مرة أخرى .

(٣) استخدام جهاز قياس الرطوبة Psychrometer :

ويمكن إيجاد قيمة بخار الماء عند درجة حرارة معينة من المعادلة ٣ .

$$e_w - e = \gamma (t - t_w) \quad (٣)$$

حيث :

e_w = ضغط الغاز الجزئي لمقياس الحرارة الرطب (توجد من جداول) .

e = ضغط الهواء .

t_w = درجة حرارة مقياس الحرارة الرطب .

γ = ثابت جهاز قياس الرطوبة (وبافتراض أن سرعة الهواء عبر بصيلة مقياس الحرارة تزيد عن ٣ م/ث وأن درجة الحرارة مقدرة بالتدرج المنوى ولقيمة e المقدرة بالمللبار فإن $\gamma = 0.66$ ، وبالنسبة لقيمة e المقدرة بالمللمتر زئبق فإن قيمة $\gamma = 0.485$) .

مثال (١) :

كتلة من الهواء لها درجة حرارة ٢٢°م ورطوبة نسبية ٨٥٪ . أوجد ضغط البخار المتشبع، وضغط البخار الحقيقي، والعجز في التشبع، ونقطة الندى.

الحل :

١- المعطيات: $t = 22^\circ\text{C}$ ، $h = 85\%$

٢- أوجد من جدول (أ) ولدرجة حرارة ٢٢°م قيمة ضغط البخار المتشبع $e_s = 19.82$ ، ملم زئبق

٣- أوجد ضغط البخار الحقيقي من المعادلة :

$$h = 100 \cdot e / e_s$$

$$85 = 100 \cdot e / 19.82$$

وعليه ضغط البخار الحقيقي $e = 16.85$ ، ملم زئبق .

٤- العجز في التشبع $e - e_s = 19.82 - 16.85 = 2.97$ ، ملم زئبق .

٥- أوجد نقطة الندى على أنها درجة الحرارة التي يتساوى عندها e_s و e ، وبما أن :

$$e_s = 16.85 \text{ ملم زئبق}$$

فعليه ومن جدول (أ) ولقيمة $e_s = 16.85$ يمكن إيجاد درجة الحرارة وبذا نقطة الندى $= 29.4^\circ\text{C}$.

درجة الحرارة : من العوامل المؤثرة على درجة الحرارة خطوط العرض وأثر المسطحات المائية

والأرض والإرتفاع عن سطح البحر وأثر المدن والغطاء النباتي .

الإشعاع : إن مصدر الطاقة الأولى لدورة المياه الطبيعية هو عبر إشعاع الطاقة الحرارية من الشمس {٤} ، ولا يمكن تخزين الطاقة المشعة غير أنه يمكن امتصاص بعضها كطاقة حرارية عبر غلاف الأرض الجوى . وطريقة إمتصاص الحرارة بالغلاف الجوى طريقة مصطفاة بالنسبة الى عوامل عديدة مثل : طول موجة أشعة الطاقة ، ومكونات الغلاف الجوى ، ودرجة الحرارة ، والإنعكاسات من وإلى الجزئيات والحبيبات المنتشرة . ويمكن قياس الإشعاع بأجهزة قياسه المختلفة (Actinometer and Radiometer) .

الرياح: عادة يتحرك الهواء أفقيا . والرياح نتاج لإختلافات فى الضغط . وفى غياب العوامل المؤثرة على الرياح فمن المتوقع أن إتجاه الرياح يكون من مناطق الضغط العالى الى مناطق الضغط المنخفض ، كما وأن سرعة الرياح تتغير بتغير الضغط . ويمكن استخدام قانون بز بالوت Buys Ballot لمعرفة مناطق الضغط . ونص القانون " إذا وقف مشاهد موليا ظهره للرياح فإن منطقة الضغط المنخفض تقع على شماله فى الجزء الشمالى من الكرة الأرضية، وتقع على يمينه فى الجزء الجنوبى من الكرة الأرضية " {١} . ويمكن قياس الرياح أو قوتها بمقياس الرياح Anemometer . كما ويمكن قياس إتجاه الرياح بدوارة الرياح Wind Vane . ونسبة لعوامل الإحتكاك الأرضية والمسطحات المائية التى تهب عبرها الرياح فمن الأهمية بمكان تحديد الارتفاع عن سطح البحر عند أى قياس للرياح . وعلاقة السرعة مع الارتفاع يمكن إيجادها من المعادلة ٤ .

(٤)

$$u/u_0 = (z/z_0)^a$$

حيث :

u_0 = سرعة الرياح على الارتفاع Z_0 .

u = سرعة الرياح على الارتفاع الأكثر Z .

a = مقدار يتغير مع تغير خشونة السطح واتزان الغلاف الجوى ، ويقع ما بين ٠.١ الى ٠.٦ ، والقيمة الغالبة (١ / ٧) .

مثال (٢) :

تم قياس سرعة الرياح لإرتفاعين ٥ و ١٠ متر ووجدت القيم الآتية ٦.٢٥ و ٦.٩٣ متر/ثانية على الترتيب . أوجد سرعة الرياح لإرتفاع مترين .

الحل :

$$١ - \text{المعطيات: } u_0 = ٥ \quad Z_0 = ٦,٢٥ \quad u = ١٠ \quad Z = ٦,٩٣$$

$$٢ - \text{أوجد مقدار } a \text{ من المعادلة ٤: } u/u_0 = (z/z_0)^a$$

$$a(٥ \div ١٠) = ٦,٢٥ \div ٦,٩٣$$

$$\text{وعليه: } a = ٠,١٥$$

٣- أوجد سرعة الرياح لإرتفاع مترين من المعادلة :

$$U_0 \div 6.25 = 0.10 (2 \div 5)$$

وعليه $U_0 = 0.45$ م/ث.

التكثيف Condensation : عادة ينتج من تكثيف البخار فى الغلاف الجوى تكوين السحب، غير أنه

ليست كل السحب تأتى بالأمطار. ويمكن أن يحدث التكثيف من واحد من أربعة أسباب {٣} وهى :

- التبريد الديناميكي أو التبريد الأديباتى Adiabatic (لا تضاف الحرارة من مصادر خارجية) .
- خليط كتلتين من الهواء على درجات حرارة مختلفة .
- التبريد بالتلامس .
- التبريد بالإشعاع . والنوعين الأخيرين يحدثان الندى والجليد والثلج والضباب .

تقسم أنواع السقوط Precipitation على حسب العوامل المؤثرة على التصاعد وهى :

(أ) السقوط التقليدى : ويسببه صعود الهواء الخفيف الساخن الى طبقات باردة وأكثر كثافة . وهذا النوع من السقوط موضعى وشدته تتفاوت من أمطار خفيفة الى عواصف رعدية .

(ب) السقوط Orographic وينتج من الصعود الميكانيكى فوق قمم الجبال والمرتفعات. ومعظم الأمطار الساقطة تكون فى الميل المواجه للرياح .

(ج) السقوط الإعصارى Cyclonic وينتج من صعود الهواء واتجاهه الى منطقة ضغط منخفض أو أعاصير ، وينقسم هذا النوع من السقوط الى :

١- سقيط أمامى Crontal وينتج من صعود الهواء الساخن على جانب سطح أمامى فوق هواء بارد وأكثر منه كثافة فى الجانب الآخر من السطح .

٢- سقيط غير أمامى Non-frontal وفيه فإن الهواء الرطب الساخن يظل ساكنا ويتحرك الهواء البارد ليلتقى به .

وفى الطبيعة نجد أن صور السقوط هذه متداخلة مع بعضها البعض مما يصعب معه تحديد نوع السقوط بالمنطقة {٥} . ويبين جدول (١) صور السقوط .

جدول (١)

صور السقوط {٥}

صورة السقوط	معدل السقوط (مم/ساعة)
خفيف	٢,٥
متوسط	٧,٦ - ٢,٨
غزير	أكثر من ٧,٦

يمكن قياس كل أشكال السقيط اعتماداً على الارتفاع العمودي للماء المتجمع في سطح مستو وذلك عندما يستمر السقيط متواجداً في منطقة السقوط. ويتم القياس باستخدام مقياس المطر Rain Guage . ومصادر الخطأ في تسجيل القراءات بمقياس المطر يمكن إجمالها في الآتي :

- خطأ في قراءة تدريج المقياس .
- إزاحة بعض من المياه المجمعة .
- تغير في منطقة الاستقبال .
- فقدان بعض الماء لاستخدامه لبلل القمع وداخل السطح .
- تدفق بعض من المياه من جامع المياه ومسجلها .
- عطب في الأجهزة بسبب الرياح .
- ميلان جهاز قياس المطر .

ويقدر عمق هطول الأمطار في منطقة ما بإحدى الطرق الآتية :

(١) طريقة المتوسط الحسابي : وفي هذه الطريقة يوجد المتوسط الحسابي للأمطار الهاطلة من عدة محطات قياس . ويمكن استخدام المعادلة ٥ لحساب المتوسط الحسابي لمياه الأمطار .

$$(٥) \quad P_{av} = \sum_{i=1}^n P_i / n$$

حيث :

P_{av} = متوسط الأمطار الهاطلة (مم) .

P_i = مقدار الأمطار الهاطلة في المحطة i (مم) .

n = عدد المحطات .

(٢) طريقة مضلع ثايسن Thiessen Polygon : ويفترض في هذه الطريقة أن كمية الأمطار في أي محطة يمكن تطبيقها لمنتصف المسافة للمحطة الثانية الواقعة في أي اتجاه منها. ويتم التطبيق بعمل شبكة مضلع ثايسن . ويتكون المضلع من المنصفات العمودية للخطوط التي تربط المحطات القريبة مع بعضها البعض . وتؤخذ مساحة كل مضلع موجود لتقدير الأمطار للمحطة الواقعة في منتصف المضلع . ولا بد من تغيير المضلعات عند إضافة أو حذف أي محطة من الشبكة أو عند فقدان بيانات أي محطة . وتبين المعادلة ٦ طريقة الحساب المتبعة .

$$(٦) \quad P_{mean} = (A_1/A)P_1 + (A_2/A)P_2 + + (A_n/A)P_n = \sum_{i=1}^n \left(A_i P_i / \sum_{i=1}^n A_i \right)$$

حيث :

- P_{mean} = متوسط الأمطار الهاطلة فى المنطقة (ملم) .
- P_i = تسجيل الأمطار الهاطلة فى المحطة i (ملم) .
- A_i = مساحة المضلع المحيط بالمحطة i الواقعة فى منتصفه (م^٢) .

مثال ٣ :

أظهرت سجلات محطات قياس أ، ب، ج، د نتائج أمطار ٢٥،٤ و ١٩،٦ و ٢١،٧ و ٢٤،٢ ملم على الترتيب . وقد تم حساب متوسط الأمطار بطريقة مضلع ثايسن ووجدت مساحات المضلعات المحيطة بكل محطة على الترتيب ٣٠ و ٢٥ و ٢٣ و ٢٨ كيلومتر مربع. أوجد متوسط الأمطار فى المنطقة.

الحل :

$$١- \text{المعطيات: } P_1 = ٢٥,٤, P_2 = ١٩,٦, P_3 = ٢١,٧, P_4 = ٢٤,٢$$

$$A_1 = ٣٠, A_2 = ٢٥, A_3 = ٢٣, A_4 = ٢٨ \text{ كلم}^2$$

$$٢- \text{أوجد المساحة الكلية لمنطقة هطول الأمطار} = ٣٠ + ٢٥ + ٢٣ + ٢٨ = ١١٦ \text{ كلم}^2$$

٣- أوجد متوسط الأمطار باستخدام طريقة ثايسن

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

$$٢٤,٢٠(١١٦ \div ٢٨) + ٢١,٧٠(١١٦ \div ٢٣) + ١٩,٦٠(١١٦ \div ٢٥) + ٢٥,٤٠(١١٦ \div ٣٠) = P_{mean}$$

$$= ٢٣ \text{ ملم} .$$

٣) طريقة خطوط الأمطار المتساوية Isohyetal : وهذه تحتوى على رسم خطوط للأمطار المتساوية باستخدام البيانات من المحطات وأى معايير أخرى لتقويم أو استكمال البيانات بين محطات المراقبة {٦}. ويوجد متوسط الأمطار بحساب الحجم المرحلى بين زوجين من خطوط الأمطار المتساوية، وتجمع هذه الحجم المرحلية وتقس على المساحة الكلية كما موضح فى المعادلة ٧ .

$$P_i = [(A_1(P_1+P_2)/2) + (A_2(P_2+P_3)/2) + \dots + (A_n(P_{n-1} + P_n)/2)] / (A_1 + A_2 + \dots + A_n)$$

$$P_i = \sum_{i=1}^n [A_i(P_{n-1} - P_n) / \sum A_i]$$

ربما وجد فقد فى التسجيلات فى كثير من محطات تسجيل الأمطار نسبة لغياب المراقب أو لخلل فى الأجهزة. ولكى لا تفقد المعلومات الهامة فمن الأفضل أن تكون هنالك طريقة لتقدير الأمطار فى مثل هذه الأيام للتمكن من حساب التقديرات الشهرية والسنوية. وطريقة التقدير مبنية على التسجيلات الآتية لثلاث محطات قريبة من بعضها البعض ومتساوية البعد (بقدر المستطاع) من المحطة التى بها التسجيل المفقود. ويمكن إيجاز طريقة التقدير فى الآتى :

- ١- إذا كان السقوط السنوى العادى فى كل محطة فى حدود ١٠٪ من السقوط فى المحطة المفقود سجلها فيعتمد المتوسط الحسابى للسقوط فى المحطات الثلاث كبديل للسجل المفقود .
- ٢- إذا كان السقوط السنوى العادى فى أى واحدة من المحطات الثلاث يختلف عن السقوط فى المحطة المفقود سجلها بأكثر من ١٠٪ فتستخدم طريقة النسب العادية . وهذه الطريقة تتكون من ترجيح نسب القيم المتوسطة للأمطار العادية كما مبين فى المعادلة ٨ .

$$(٨) \quad P_x = (1/3)[(N_x/N_A)*P_A + (N_x/N_B)*P_B + (N_x/N_C)*P_C]$$

حيث :

- A, B & C - محطات القياس .
- P_x - السجل المفقود من محطة X .
- N - السقوط السنوى العادى .

مثال (٤)

فقد سجل أمطار من محطة X فى أحد الأيام العاصفة. وقد وجدت تقديرات الأمطار فى ثلاثة محطات A و B و C محيطية بالمحطة X تساوى ٦٠، ٥٠، ٤٠ ملم على الترتيب. علما بأن السقوط السنوى العادى فى المحطات X و A و B و C هى ٧١، ٧٨، ٥٨، ٤٤ سم على الترتيب . أوجد قيمة السقوط أثناء الزوبعة فى المحطة X .

الحل:

- ١- المعطيات: $P_A = ٦$ سم ، $P_B = ٥$ سم ، $P_C = ٤$ سم
- $N_x = ٧١$ سم ، $N_A = ٧٨$ سم ، $N_B = ٥٨$ سم ، $N_C = ٤٤$ سم .
- ٢ - أوجد قيمة السقوط أثناء الزوبعة فى المحطة X باستخدام المعادلة رقم ٨ :
- $$P_x = \left\{ \left(\frac{٤٤}{٥٨} \times ٧١ \right) + \left(\frac{٥٨}{٧٨} \times ٧١ \right) + \left(\frac{٧٨}{٦٠} \times ٧١ \right) \right\} \times \left(\frac{٣}{٣} \right) = ٦٠ \text{ سم}$$

هنالك علاقة بين شدة المطر Intensity وفترة هطوله Duration. وتعرف شدة الأمطار بمقياس كمية الأمطار الهاطل فى منطقة معينة مقاسة بالملم/ساعة . وتعرف فترة هطول الأمطار بأنها الفترة الزمنية التى عامة ما يهطل خلالها المطر - وكلما زادت شدة المطر كلما قلت الفترة الزمنية لاستمراره حسب العلاقة الموضحة فى المعادلة ٩.

$$(٩) \quad i = a/(t + b)$$

حيث :

- i - شدة الأمطار (ملم/ساعة) .
- t - زمن الأمطار (ساعة) ، عادة يكون بين ٥ الى ١٣٠ دقيقة .
- a, b - ثوابت مكانية .
- ولفترة هطول أكثر من ساعتين نستخدم المعادلة ١٠.

(١٠)

$$i = c/t^n$$

حيث :

c, n - ثوابت مكانية.

أما العلاقة بين شدة الأمطار وفترة هطولها وترددتها Frequency فيمكن إيجادها من العلاقة المبينة في المعادلة ١١ .

(١١)

$$P = [(1.214 \cdot 10^5 / 600) \cdot Nt]^{0.282} - 2.54$$

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) .

(١٢)

$$i = 60P/t$$

حيث :

i - شدة الأمطار (مم/ساعة) .

وبتعويض المعادلة (١٢) في المعادلة (١١) ينتج :

(١٣)

$$i = (60/T) \cdot [(202.3 \cdot NT)^{0.282} - 2.54]$$

التبخير والنتح Evaporation & Transpiration : يعرف التبخر بأنه الطريقة التي تتحول بها

المواد من الصورة السائلة الى الصورة الغازية عبر نقل الطاقة الحرارية {٦} ، كما ويعرف النتح بأنه

الطريقة التي تتبخر بها المياه من الأسطح الرطبة وتلك التي تم نتحها بواسطة النباتات {٦}. أهمية طريقة

التبخير في دراسة مصادر المياه تتمثل في الآتي :

- * تؤثر على إنتاج أحواض الأنهر .
- * تؤثر على سعة الخزانات .
- * تؤثر على حجم محطات الضخ .
- * تؤثر على إستهلاك المياه بواسطة النباتات .
- * تؤثر على إنتاج المياه الجوفية .

ومن المعروف أن حركة الجزيئات عبر سطح الماء ينتج ضغط يسمى ضغط البخار. والجزيئات

المنطلقة تتصادم مع تلك الجزيئات الموجودة في الهواء ، مما ينتج عنه إرتدادها الى الماء مرة أخرى.

وعندما يتساوى عدد الجزيئات الخارجة مع عدد الجزيئات المرتدة للماء ، يكون هنالك إتزان بين الضغط

المبذول بالجزئيات الهاربة والضغط المبذول بالهواء المحيط . كما وأن جزء من الجزئيات فى الحالة الغازية لها طاقة حركية تمكنها من التغلغل داخل السائل، والبعض الآخر يتكثف من البخار الى الحالة الصلبة . وعليه فإن عمليات التبخر من السائل والتكثيف على سطحه عمليات مستمرة . غير أن التبخر أسرع من التكثيف إذا كان الفراغ أعلى سطح الماء غير مشبع . ويوجد حينها معدل التبخر بليجاد الفرق بين ضغط بخار الماء وضغط الهواء أعلى سطح الماء . وتعتمد ضغوط البخار هذه على درجة حرارة الماء والهواء وسرعة الرياح والضغط الجوى ونوع وطبيعة المياه وشكل السطح {٦} . وعامة فإن العوامل المؤثرة على التبخر يمكن إيجازها فى ما يلى :

أ) درجة الحرارة : يزداد ضغط بخار الماء بزيادة الحرارة نسبة لزيادة طاقة حركة جزئيات الماء بزيادة الحرارة . وبما أن التبخر يتناسب مع فرق ضغط بخار الماء والهواء ، فعليه ربما لا تزيد الزيادات المتساوية فى درجة الحرارة على زيادة معدل التبخر . ولإستمرار التبخر فلا بد من زيادة حرارة الماء عندما تنخفض من جراء التبخر {٦} .

ب) الإشعاع الشمسى : يعطى كل طيف الشمس الإشعاشى حرارة كامنة للتبخر، وعليه فإن السحب تقلل من عملية التبخر {٢} .

ج) الرياح : تعمل الرياح على إزاحة جزئيات الماء فى الهواء وتأتى بهواء يمكنه حمل بخار ماء أكثر . ويعطى الهواء الساخن طاقة إضافية للتبخر . أما كتل الهواء البارد فربما قللت من التبخر كما وأنها تفقد حرارتها للطبقات الدنيا مما يسبب التكثيف {٦} .

د) الضغط الجوى : إن النقصان فى الضغط الجوى بزيادة الإرتفاع يزيد من معدل إنبثاق الجزئيات من سطح الماء ، نسبة لوجود جزئيات أقل فى الجو فوق السطح المتبخر، وبالتالي تداخل أقل . ويقل التبخر بزيادة الإرتفاع فى حالة أن كل العوامل المناخية المؤثرة على ضغط بخار الماء الموجود فى الهواء تظل كما هى دونما تغيير {٦} .

هـ) نوع الماء : يقل معدل التبخر للماء المالح مقارنة بالماء النقى . كما ويقل كلما زادت الكثافة النوعية . ويقل معدل التبخر بحوالى ١ بالمائة لكل زيادة ١ بالمائة للتقل النوعى الى أن يحدث إنصهار ، عادة يكون فى تقل نوعى يساوى ١ ، ٣ {١} .

و) طبيعة سطح التبخر : لسطح الماء المستو ضغط بخار أكبر من السطح المقعر . كما وله ضغط بخار أصغر من السطح المحدب {١} . وعادة يتبخر الماء من أوراق الأشجار والشجيرات بسرعة ، وذلك للتعرض المرغوب والذي يسمح بإزالة البخار حتى مع أقل نسمة هواء . غير أن معدل تبخر الماء الموجود فى الأعشاب الغزيرة يكون قليلا بسبب تحديد حركة الهواء خلالها، وبذا فإن فرق ضغط البخار يتلاشى الى الصفر {١} .

إن الطرق المستخدمة لتقدير كمية التبخر أو النتج هى: قياس التبخر من كفة التبخر Evaporation Pan ، والصيغ التجريبية ، وطرق ميزانية الماء، وطرق إنتقال الكتلة، وطرق ميزانية الطاقة {٤} كما هو موجز أدناه :

(١) قياس التبخر من كفة التبخر: تستخدم كفة التبخر كثير القياس معدل التبخر، غير أنه قد وجد أن معدل التبخر من كفة صغيرة لا يماثل معدل التبخر من كفة كبيرة، كما وأن معدل التبخر لا يتساوى لكل الكفات وذلك لتأثره بعوامل عدة مثل: الحجم والعمق والموقع. وعليه فلا بد من قياس معدل التبخر تحت كل الظروف وتحديد العوامل الواجب إستخدامها لتخفيف نواتج الكفة المتوقعة من البحيرة أو المستودع لأى نوع من القياس من الكفة {٣}. وتؤثر عوامل متغيرة على قياس التبخر من الكفة مثل: فرق ضغط البخار وحركة الرياح وقطر الكفة ودرجة حرارة الماء والضغط الجوى وإرتفاع حافة الكفة ولون الكفة وعمقها وطرق إنتقال الحرارة عبر جدران الكفة فى كل الإتجاهات وتخزين الطاقة فى المستودع أو البحيرة {٦}.

(٢) طريقة ميزانية الماء Water Budget أو معادلة التخزين Storage Equation : وهذه عبارة عن مقياس لإستمرارية إندفاق الماء {٦} وبالكاد فإنها تطبق لقانون بقاء الكتلة {٤} وعليه فإن :

$$\begin{aligned} (١٤) \quad & \text{التبخر} = \text{الداخل} - \text{الخارج} - \text{المخزون} \\ (١٥) \quad & \text{أو: السقيط} + \text{التبخر الرشحي} + \text{الدفق الصحى} + \text{دفق المياه الجوفى} + \text{المخزون} = \text{صفر} \\ (١٦) \quad & ET = P + I + Q_u + Q_s + S \end{aligned}$$

حيث :

$$\begin{aligned} ET &= \text{التبخر الرشحي} . \\ P &= \text{السقيط الكلى} . \\ Q_u &= \text{دفق المياه الجوفية} . \\ I &= \text{الدفق السطحي الداخلى} . \\ Q_s &= \text{الدفق السطحي الخارج} . \\ S &= \text{التغير فى المخزون (للمياه السطحية والجوفية)} . \end{aligned}$$

(٣) طريقة إنتقال الكتلة Mass Transfer: يمكن وضع علاقة التبخر وضغط البخار فى صورة نقل أدنى ميل التركيز {٤} كما موضح بالمعادلة ١٧ أدناه :

$$\begin{aligned} (١٧) \quad & EV = b(e_s - e) \\ & \text{حيث :} \\ & EV = \text{التبخر} . \\ & e_s = \text{ضغط البخار المشبع عند درجة الحرارة السطحية} . \\ & e = \text{ضغط البخار الحقيقى على الإرتفاع المطلوب أعلى السطح} . \\ & b = \text{ثابت تجريبي} . \end{aligned}$$

٤) طريقة ميزانية الطاقة Energy Budget : وهذه الطريقة شبيهة بميزان الماء عدا أنها تختص بإستمراية دفع الطاقة وليس بدفق الماء. وهذه الطريقة معقدة نسبة للصعوبات الناجمة من إيجاد العوامل المؤثرة (مثل : الإشعاع الجوى والإشعاع طويل الموجة من الماء وحفظ الطاقة) وحل معادلة ميزانية الطاقة {٦} . ويمكن تمثيل التبخر كما موضح فى المعادلة ١٨ .

$$(١٨) \quad EV = [E_s - E_r - E_b + E_v - E_o] / [\rho L (1 + R)]$$

حيث :

EV - التبخر الرشحى (سم) .

E_s - الإشعاع الشمسى المسقط على سطح الماء .

E_r - الإشعاع الشمسى المنعكس .

E_b - الطاقة الكلية المفقودة بالماء عبر تبادل الإشعاع طويل الموجة بين الجو والماء .

E_v - الطاقة الكلية Advected داخل الماء .

E_o - الزيادة فى الطاقة المخزونة فى الماء .

ρ - كثافة الماء .

L - الحرارة الكامنة للتبخر .

R - نسبة Bowen بوين

$$(١٩) \quad R = [0.61P(T_w - T_a)] / [1000(e_s - e_a)]$$

P - الضغط الجوى (مللبار) .

T_w - درجة حرارة سطح الماء (° مئوية) .

T_a - درجة حرارة الهواء (° مئوية) .

e_s - ضغط البخار المشبع (مللبار) عند درجة الحرارة T_w .

e_a - ضغط بخار الهواء (مللبار) {٦} .

٥) الصيغ التجريبية Empirical Formulae : هذه الطرق تستخدم بيانات الإرصاء الجوى لإفتراض أن هنالك مياه كثيرة متواجدة . والعديد من هذه الصيغ مبنى على علاقات الديناميكا الهوائية Aerodynamic ولها الصيغة العامة الموضحة فى المعادلة ٢٠ .

$$(٢٠) \quad EV_a = C(e_s - e)f(u)$$

حيث :

EV_a - التبخر من سطح الماء المكشوف على وحدة الزمن (مم/يوم) .

C - ثابت تجريبى .

e_s - ضغط بخار الهواء المشبع (مللبار) عند درجة الحرارة t درجة مئوية (مم 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 .

٦) نظرية بنمان Penman's Theory : تعتمد هذه النظرية على شرطين لابد من الإيفاء بهما للحصول على تبخر مستمر :

(أ) لابد من وجود مصدر طاقة تعطي الحرارة الكامنة للتبخر .
 (ب) لابد من وجود عامل لإزاحة التبخر الحادث .

وتفترض معادلات بنمان الصور المدرجة أدناه :

$$(٢١) \quad EV_0 = [\Delta H + \gamma EV_a] / [\Delta + \gamma]$$

$$(٢٢) \quad EV_0 = EV_1(t, n/D) + EV_2(t, R_A, n/D) + EV_3(t, n/D, h) + EV_4(t, u_2, h)$$

حيث :

EV_0 = التبخر من سطح الماء أو ما يعادله من طاقة حرارية .
 H = ميلان منحنى ضغط البخار لدرجة الحرارة t .
 EV_a = مقدار الطاقة النهائية المتبقية على سطح الماء .
 Δ = التبخر الافتراضي لدرجات الحرارة المتساوية للماء والهواء .
 Δ = ثابت جهاز قياس الرطوبة = ٠.٦٦ . إذا كانت درجة الحرارة مقاسة بالمنوية 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 الى الغلاف الجوي بإفتراض غياب السحب وأن الغلاف الجوي صافى جدا .
 h = الرطوبة النسبية .
 u_2 = سرعة الرياح على إرتفاع ٢ متر .

٣ - ٣ التسرب والتخلخل Infiltration and Percolation :

التسرب هو عبارة عن حركة الماء خلال سطح التربة الى داخلها. أما التخلخل فهو عبارة عن إنسياب الماء عبر التربة. ويؤثر التسرب على العديد من مناحى الهيدرولوجيا. وأهمية التسرب تكمن في أثره على الجريان السطحي ، وإيجاد محتوى نداوة التربة ، وعلاقته بنتاج النباتات ، وعلاقته بالتبخر من التربة، وأهميته لأصدقاء البيئة والمزارع. ومن العوامل التي تؤثر على التسرب مايلي :

(١) النفاذ السطحي : ربما كان سطح التربة مغلق بهجرة الحبيبات الناعمة أو نسبة لأوضاع بعض الحبيبات الأخرى والتي تحول دونما دخول الماء الى التربة .

(٢) النقل داخل التربة .

(٣) نقصان سعة التخزين فى التربة (وتعتمد السعة التخزينية على المسامية وعمق طبقات التربة ومحتوى النداءة الموجود. كما وتعتمد مسامية التربة على البناء والنسيج وتركيز المواد العضوية والنشاط الحيوى وتغلغل جذور النبات والمواد الغروية المنفتحة) .

(٤) خواص الطبقة النفاذية: وهذه تتعلق :

* بالتربة خاصة مقياس المسامات وتوزيع مقياس المسامات والنفاذية وطبيعة التربة (رمل أو طين) وتكوين التربة وخواص الإنتفاخ .

* بالنباتات والتي تؤثر على دخول الماء من السطح. والعوامل المهمة فى 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 تحوى الخواص الطبيعية (مثل: العكارة ، وكمية الطين ، والمواد الغروية) ونوع وكمية الأملاح بالتربة ودرجة الحرارة واللزوجة وعمق الماء فى المنطقة .

ومن الممكن قياس التسرب بإحدى الطرق الآتية :

(أ) أجهزة مقياس التسرب Infiltrimeters : يستخدم الجهاز فى المنطقة الجابية Water Shed

الصغيرة أو للاختبارات أو مناطق أخذت كعينات من ضمن مناطق جابية كبيرة. ومن هذه الأجهزة :

* أجهزة مقارنة السقوط Rainfall Simulators : وهنا تطبق المياه فى وضع وبمعدل يمكن معه مقارنتها مع الأمطار الطبيعية .

* مقياس الفيضان Flooding Type : وتطبق المياه على شرائح رقيقة فى منطقة مقبولة ، وعادة فى إطار يسمح بالحصول على فاقد سمت ثابت .

(ب) تحليل الهيدروجراف لتقدير التسرب Hydrograph Analysis : وفوائد هذه الطريقة للقياس أنها تأخذ فى الاعتبار قياس التغير فى الأمطار. وتضم تأثير عوامل عدة تحدث عمليا مثل : معدل الدفع، والميلان ، والتربة ، والغطاء النباتى ، والمخزون، وزمن الجريان . وتستخدم هذه الطريقة أحد أو عدة صيغ أساسية مثل: علاقة زمن الهطول والدفع، وعلاقة الزمن والتكثيف، وعلاقة متوسط التسرب . ويبين معامل التسرب Infiltration Index بصورة عامة معدل متوسط التسرب أثناء مدة الزوبعة والأمطار .

وفيما يلى شرح موجز لبعض معامل التسرب :

(١) دليل فائ Index ϕ : وهو عبارة عن متوسط معدل التسرب الموجود من منحنى الزمن وشدة الأمطار، بحيث أن حجم المطر الزائد عن هذا المعدل يساوى حجم سيل الأمطار {٦} . ويمكن أن يعرف دليل فائ بأنه معدل الأمطار الذى يتساوى أعلى منه حجم الأمطار وحجم سيل الأمطار (الدفع السطحي).

مثال (٥) :

المطر الكلى لمنطقة ما يساوى ٦٠ ملم مقسمة على حسب الجدول أدناه :

الزمن (ساعة)	شدة الأمطار (ملم/ساعة)
١	٥
٢	٩
٣	١٦
٤	١١
٥	٨
٦	٧
٧	٤

أوجد مقدار دليل فای للمنطقة الجابية لإحداث إنسياب سطحى مقداره ٥, ٢٢ ملم .

الحل :

١ - المعطيات: توزيع شدة الأمطار على الزمن.

٢ - أرسم شدة الأمطار مع الزمن.

٣ - لإيجاد دليل فای: فإن معدل الأمطار الأعلى من فای = معدل الأمطار الأدنى من فای = معدل الإنسياب السطحى

$$\phi \cdot 1 + \phi \cdot 2 + \phi \cdot 3 + \phi \cdot 4 + \phi \cdot 5 + \phi \cdot 6 + \phi \cdot 7 = (\phi - 5) \cdot 1 + (\phi - 9) \cdot 2 + (\phi - 16) \cdot 3 + (\phi - 11) \cdot 4 + (\phi - 8) \cdot 5 + (\phi - 7) \cdot 6 + (\phi - 4) \cdot 7$$

ومن هذه العلاقة يمكن إيجاد دليل فای $\phi = 3, 4$ ملم/ساعة .

(٢) دليل دبليو W - Index : وهذا تحسين لدليل فای حيث أنه يبعد المخزون السطحى والحجز . ويعرف دليل دبليو على أنه معدل متوسط التسرب الحادث عندما تزيد شدة الأمطار عن معدل السعة {٥} ويمكن إيجاده من المعادلة ٢٣.

(٢٣)

$$W = F/t_f = (P - Q - S)/t_f$$

حيث :

W = دليل دبليو .

F = التسرب الكلى .

t_f = الزمن الكلى الذى تكون فيه شدة الأمطار أكبر من W .

P = المطر الكلى .

Q = الدفق السطحي .

S = المخزون السطحي الفعال .

(٣) دليل دبليو الأدنى W_{min} Index : وهذا يوجد عند الظروف شديدة البلل وعندما تصل سعة التسرب الى أدنى معدل ثابت {٦} ، أى عندما يتساوى دليل دبليو ولليل ف اى . ويستخدم عادة فى قياس أقصى فيضان. إن كمية الأمطار التى يكون إمتصاصها بالتربة وتجد طريقها كدفق سطحي تعتمد على درجة بلل التربة فى بداية الأمطار وسعة التخزين ومحتوى الندى الأولى للتربة .

(٤) دليل السقيط Antecedent Precipitation Index : وهذا الدليل يبنى على أن محتوى ندى التربة قد نقص بمعدل يتناسب والكمية المخزونة فى التربة، كما مبين فى المعادلة ٢٤ .

(٢٤)

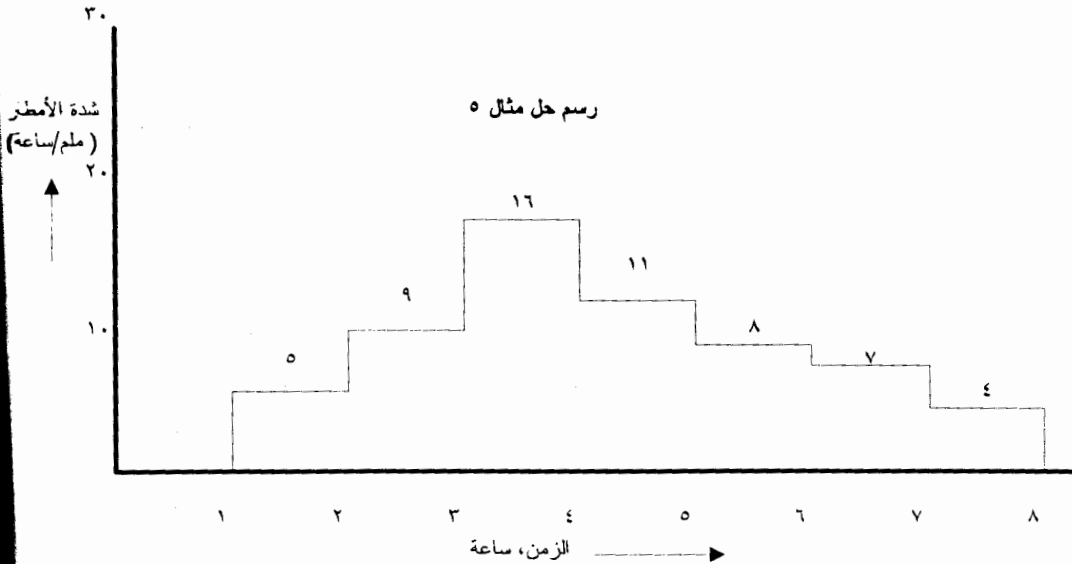
$$I_t = I_0 * k^t$$

حيث :

I_t = قيمة الدليل المخفضة بعد t يوم (ملم) .

I_0 = قيمة الدليل الأولية (ملم) .

k = ثابت يتراوح بين ٠.٨٥ الى ٠.٩٨ ، وعادة تؤخذ قيمته لتساوى ٠.٩٢ .



٣ - ٤ المياه الجوفية

تمثل المياه الجوفية ذلك الجزء من مياه الأمطار المتسربة الى التربة والمتخلخلة الى الطبقات التحتية .
ويبين الشكل (١) أنواع المياه الجوفية .

والعوامل التى تؤثر على إنسياب المياه الجوفية تضم: خواص السائل (الكثافة واللزوجة) وخواص الوسط الذى تتساب من خلاله المياه (المسامية والنفاذية) وشروط الحدود Boundary Conditions .

فى عام ١٨٥٦ أثبت دارسى Darcy سريان قاعدة هيزن وبواسيلى Hazen and Poiseuille لدفق المائع خلال الأنابيب الشعرية على إنسياب الماء عبر الوسط النفاذى كما موضح فى المعادلة ٢٥ .

$$v = k \cdot i \quad (٢٥)$$

حيث :

v = سرعة إنسياب الماء = السرعة النسبية .

k = ميل التدرج السائلى Hydraulic Gradient = ميل السمى المقاس فى إتجاه سريان الماء .

i = معامل النفاذية = التوصيلية الهيدروليكية .

ولحوض ماء جوفى Aquifer محدد فإن معدل السريان يمكن إيجاده من المعادلة ٢٦ .

$$Q = v \cdot A \quad (٢٦)$$

حيث :

Q = معدل سريان الماء .

A = مساحة حوض الماء الجوفى العمودية على إتجاه السريان .

$$i = d\phi/dl \quad (٢٧)$$

حيث :

l = المسافة فى إتجاه خط الإنسياب .

ϕ = السمى الممكن Potential Head .

والسرعة الحقيقية للماء عبر المسامات v' أكبر من السرعة النسبية، لاسيما والمسار الذى يتبعه الماء

خلال الوسط المسامى يكون دائما أكبر من الخط المستقيم بين أى نقطتين. وعليه فإن :

متوسط السرعة المسامية = السرعة النسبية/المسامية الفعالة

أو :

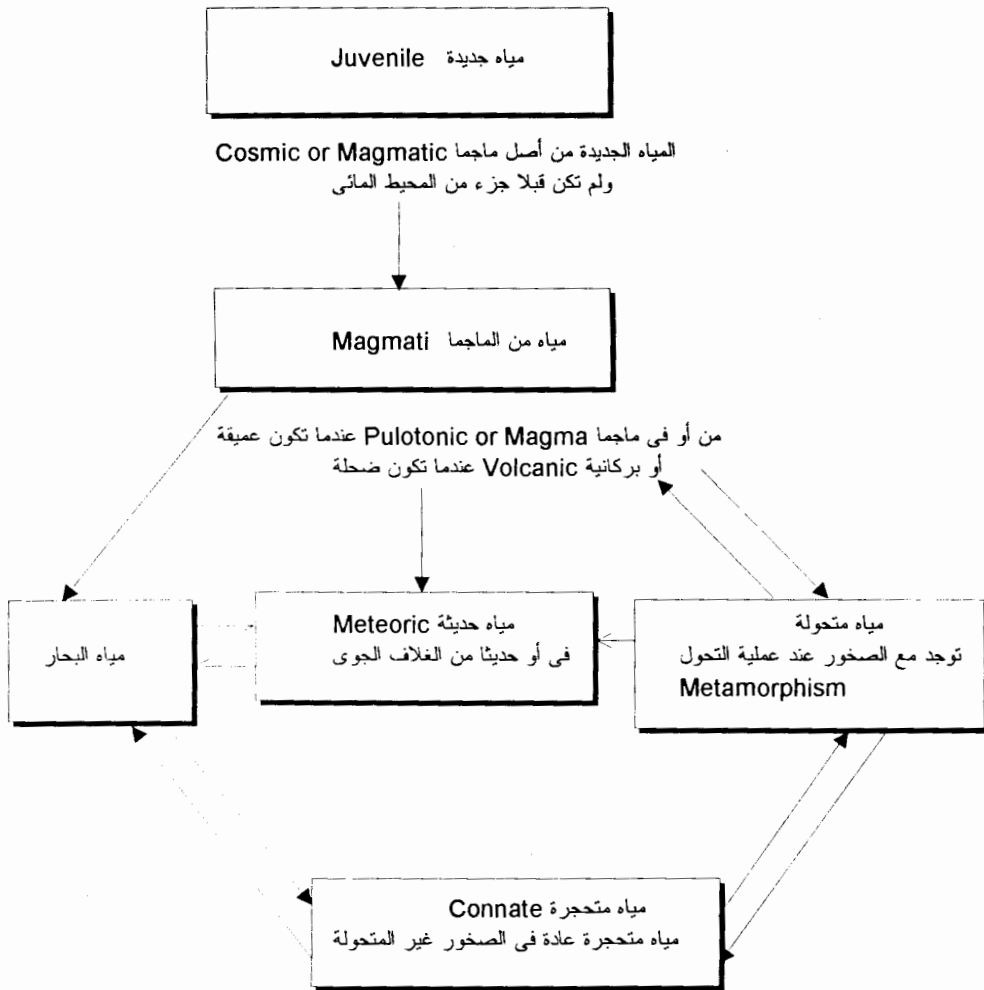
$$v' = v \cdot n_e \quad (٢٨)$$

حيث:

v' = السرعة الحقيقية .

v = السرعة النسبية .

n_e = المسامية الفعالة .



شكل (١)
أنواع المياه الجوفية

n_e = المسامية الفعالة .

أما بالنسبة لسريان الماء خلال حوض الماء الجوفى المحجوز Confined Aquifer فيمكن إستخدام قاعدة دارسى كما موضح فى المعادلة ٢٩ .

$$v_x = -k \cdot (d\phi/dx) \quad (٢٩)$$

حيث :

v_x = السرعة النسبية فى إتجاه x .

k = معامل نفاذية الحوض .

ϕ = السميت الممكن .

x = مسافة فى إتجاه خط الإنسياب .

ويمكن إيجاد سريان الماء عبر حوض الماء الجوفى فى وحدة عرض الحوض من المعادلة ٣٠ .

$$q = -k H(d\phi/dx) \quad (٣٠)$$

حيث :

q = معدل الإنسياب فى حوض الماء الجوفى على وحدة عرض الحوض .

H = عمق حوض الماء الجوفى .

ويحدث الإنسياب فى حالتين :

(أ) الإنسياب فى حالة الإستقرار **Steady Flow State** : إن مفاضلة معدل السريان بالنسبة للمسافة

يتلاشى فى حالة الإستقرار . أو :

$$dq/dx = 0 \quad (٣١)$$

وبمفاضلة المعادلة ٣٠ بالنسبة الى x وتعويضها فى المعادلة ٣١ ينتج :

$$dq/dx = -kH(d^2\phi/dx^2) = 0$$

$$d^2\phi/dx^2 = 0 \quad (٣٢)$$

ويمكن حل المعادلة التفاضلية ٣٢ كما موضح فى المعادلة ٣٣ .

$$\phi = C_1 x + C_2 \quad (٣٣)$$

حيث :

ϕ = السميت فوق مرجع مناسب .

C_1 و C_2 = ثوابت التكامل .

وبافتراض أن ϕ = صفر عند x = صفر ، ومن معادلة دارسى $d\phi/dx = -v/k$ فتصبح المعادلة ٣٣ :

$$\phi = -vx/k \quad (٣٤)$$

وتوضح المعادلة ٣٤ أن السميت يتناقص خطيا فى إتجاه إنسياب الماء مع معدل الإنسياب فى إتجاه x

الموجب .

n_e = المسامية الفعالة .

أما بالنسبة لسريان الماء خلال حوض الماء الجوفى المحجوز Confined Aquifer فيمكن إستخدام قاعدة دارسى كما موضح فى المعادلة ٢٩ .

$$v_x = -k \cdot (d\phi/dx) \quad (29)$$

حيث :

v_x = السرعة النسبية فى إتجاه x .

k = معامل نفاذية الحوض .

ϕ = السميت الممكن .

x = مسافة فى إتجاه خط الإنسياب .

ويمكن إيجاد سريان الماء عبر حوض الماء الجوفى فى وحدة عرض الحوض من المادلةة ٣٠ .

$$q = -k H(d\phi/dx) \quad (30)$$

حيث :

q = معدل الإنسياب فى حوض الماء الجوفى على وحدة عرض الحوض .

H = عمق حوض الماء الجوفى .

ويحدث الإنسياب فى حالتين :

(أ) الإنسياب فى حالة الإستقرار **Steady Flow State** : إن مفاضلة معدل السريان بالنسبة للمسافة

يتلاشى فى حالة الإستقرار . أو :

$$dq/dx = 0 \quad (31)$$

وبمفاضلة المعادلةة ٣٠ بالنسبة الى x وتعويضها فى المعادلةة ٣١ ينتج :

$$dq/dx = -kH(d^2\phi/dx^2) = 0$$

$$d^2\phi/dx^2 = 0 \quad (32)$$

ويمكن حل المعادلةة التفاضلية ٣٢ كما موضح فى المعادلةة ٣٣ .

$$\phi = c_1 x + c_2 \quad (33)$$

حيث :

ϕ = السميت فوق مرجع مناسب .

c_1 و c_2 = ثوابت التكامل .

وبافتراض أن ϕ = صفر عند x = صفر، ومن معادلة دارسى $d\phi/dx = -v/k$ فتصبح المعادلةة ٣٣ :

$$\phi = -vx/k \quad (34)$$

وتوضح المعادلةة ٣٤ أن السميت يتناقص خطيا فى إتجاه إنسياب الماء مع معدل الإنسياب فى إتجاه x

الموجب .

أما بالنسبة لإنسياب وحيد الاتجاه One-Dimentional Flow فى حوض ماء جوفى غير محجوز، فإن الحل التحليلى غير ممكن لأن منسوب المياه الجوفية يكون الحد الأعلى كما وأن خط الإنسياب محكوم بتوزيع الإنسياب. وبذا يتسنى إستخدام إفتراضات ديبو Dupuit للحصول على حل تقريبي. وإفتراضات ديبو تحوى الآتى :

(١) تتناسب السرعة مع مماس الميل الهيدروليكي .

(٢) يكون الإنسياب فى أى نقطة فى الاتجاه الأفقى، ومنتظما فى الاتجاه الرأسى .

وعليه يمكن إيجاد الإنسياب كما مبين فى المعادلة ٣٥ .

$$(٣٥) \quad q = - kh(dh/dx)$$

وبتكامل المعادلة ٣٥ للحدود $h = h_0$ عندما تكون $x = 0$ صفر، ينتج :

$$(٣٦) \quad q = k(h_0^2 - h^2)/2x$$

وبذا فإن منسوب المياه الجوفية يكون لها شكل قطع متكافئ Parabola .

(ب) الإنسياب فى الحالة غير المستقرة Unsteady Flow : إن إستنباط معادلة عامة للإنسياب للحالة غير المستقرة فى حوض الماء الجوفى يتطلب أخذ معامل التخزين (S) فى الاعتبار. وبالنسبة لحوض ماء جوفى غير محجوز فإن هذا المقدار يعادل الإنتاج النسبى Specific Yield . أما بالنسبة لحوض ماء جوفى محجوز فإن معامل التخزين هو عبارة عن مقياس إنضغاطية الحوض والماء . وبأخذ هذه المعلومات فى الاعتبار فيمكن صياغة معادلة عامة كما موضح فى المعادلة ٣٧ .

$$(٣٧) \quad d^2h/dx^2 + d^2h/dy^2 + d^2h/dz^2 = (S/kH) \cdot (dh/dt)$$

حيث :

H = عمق حوض الماء الجوفى المحجوز .

والمعادلة المقارنة لحوض الماء الجوفى غير المحجوز لاختية، غير أن المعادلة ٣٧ يمكن تطبيقها عندما تكون التغيرات فى العمق المتشعب صغيرة نوعا ما {٦} .

وبالنسبة لإنسياب الماء عبر حوض ماء جوفى له سطح ماء جوفى Phreatic Surface يمكن إيجادها بإستخدام معادلة دارسى وإعتبار فرضيات ديبو كما فى المعادلة ٣٨ .

$$(٣٨) \quad q = - kH(dh/dx)$$

وبتفاضل المعادلة ٤١ بالنسبة الى x ينتج :

$$(٣٩) \quad dq/dx = - k[d^2(h^2)/dx^2]/2$$

ومعادلة الإستمرارية Continuity Equation

(٤٠)

$$dq/dx = 0$$

وبتعويض المعادلة ٤٠ فى المعادلة ٣٩ ينتج :

(٤١)

$$d^2(h^2)/dx^2 = 0$$

وفى حالة أن حوض الماء الجوفى يغذى بواسطة الأمطار الهاطلة على سطح الأرض ، وبإفتراض أن معدل التسرب الكلى للمياه هو N فتنتج المعادلة ٤٢ .

(٤٢)

$$d^2(h^2)/dx^2 = - 2N/k$$

حيث :

N = معدل التسرب الكلى للمياه الناتجة من الأمطار .

مثال (٦) :

متوسط هطول الأمطار السنوى فى منطقة معينة يساوى ٩٥ ملم. وطبقا لطبغرافية المنطقة فحوالى ٧٠ بالمائة من الأمطار يتسرب الى الأرض. وتوجد قناتان تحدهما قطعة أرض عرضها ٨٠٠ متر ونفاذيتها ٤.٠ متر/ساعة. تكونت تحت قطعة الأرض حوض ماء جوفى لعمق ٢٥ متر. إذا كانت إحدى القناتين أعلى من الثانية بحوالى ١ متر، أوجد الإنسياب من والدفق الخارج من كل قناة الى قطعة الأرض .

الحل :

١ - المعطيات: التسرب $N = ٧٠\%$ من متوسط الأمطار السنوى، متوسط الأمطار السنوى = ٩٥ ملم، شروط الحدود كما مبين على الشكل أدناه : $x = 0$ صفر ، $h = ٢٦$ م ، $x = ٨٠٠$ م ، $h = ٢٥$ م ، $k = ٤.٠$ م/ساعة ، $H = ٢٥$ م .

٢ - أوجد معدل التسرب الكلى للمياه الناتجة من الأمطار $N = ٧٠ \cdot ٩٥ / ١٠٠ = ٦٦.٥$ م/السنة
 $= ٣٦٥ / ٥.٦٦٥ = ١.٨٢$ م/يوم .

٣ - أوجد معامل النفاذية $k = ٤.٠$ م/ساعة $= ٢٤ \cdot ٠.٤ = ١٤.٤$ م/يوم .

٤ - كامل المعادلة ٤٢ مرتين :

$$h^2 = - Nx^2/k + a_1x + a_2$$

عوض شروط الحدود من الخطوة ١ أعلاه لإيجاد قيم a_1 و a_2 :

$$٦٧٦ = a_2 \text{ و } ٠.٣٧ = a_1$$

$$\text{وعليه : } h^2 = - Nx^2/k + 0.037x + 676$$

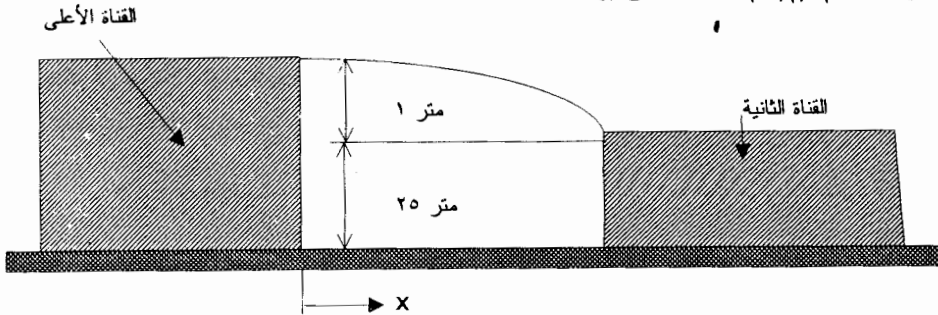
٥ - أوجد الإنسياب: $q = -kh(dh/dx)$

ومن المعادلة فى الخطوة ٤ أعلاه أوجد : $dh^2/dx^2 = 2h(dh/dx) = -2Nx/k + 0.037$

وعليه : $q = Nx - 0.0187k$

عند $x = ٨٠٠$ م ، $q = ١.٨٢ - ٠.٠١٨٧ \cdot ٨٠٠ = ١٤.٤٠$ م^٣/م/يوم .

وعند $x = 0$ ، $q = -0.187 \dots 14.40 \dots 0.27 \text{ م}^3/\text{م}^2/\text{يوم}$.
 وهذه النتائج تعنى أن الدفع من الخزان الى كلتا القناتين بمعدل إنسياب $0.2 \text{ م}^3/\text{م}^2/\text{يوم}$ للقناة الأكل
 إرتفاعا و $0.27 \text{ م}^3/\text{م}^2/\text{يوم}$ للقناة الأعلى إرتفاعا.



رسم حل مثال ٦

وتتأثر إنتاجية الآبار بعوامل عديدة مثل : هبوط مستوى المياه الجوفية Drawdown ، وطبيعة
 الإنسياب (مستقر أو غير مستقر) ، وعمق البئر ، وعمق الحوض ، والإنتاجية النوعية للحوض ،
 والمخزون الجوفي، والمنقلوية Transmissibility ، وعرض الحوض ، وإنشاء وتشبيد وخواص
 البئر. ويمكن إيجاز إنسياب الماء عبر الآبار في الآتي :

(١) الإنسياب المستقر في الحوض المحجوز Steady Confined Flow (إنسياب قطري Radial Flow) :

بإتباع قانون دارسى لإنسياب المياه عبر أنابيب شعيرية فيمكن إيجاد إنسياب المياه فى الحوض المائى
 المحجوز كما موضح فى المعادلة ٢٦ .

$$Q = vA \quad (٢٦)$$

حيث :

$$Q = \text{إنسياب المياه عبر الحوض المائى (م}^3/\text{ث) .}$$

$$v = \text{سرعة الإنسياب (م/ث) .}$$

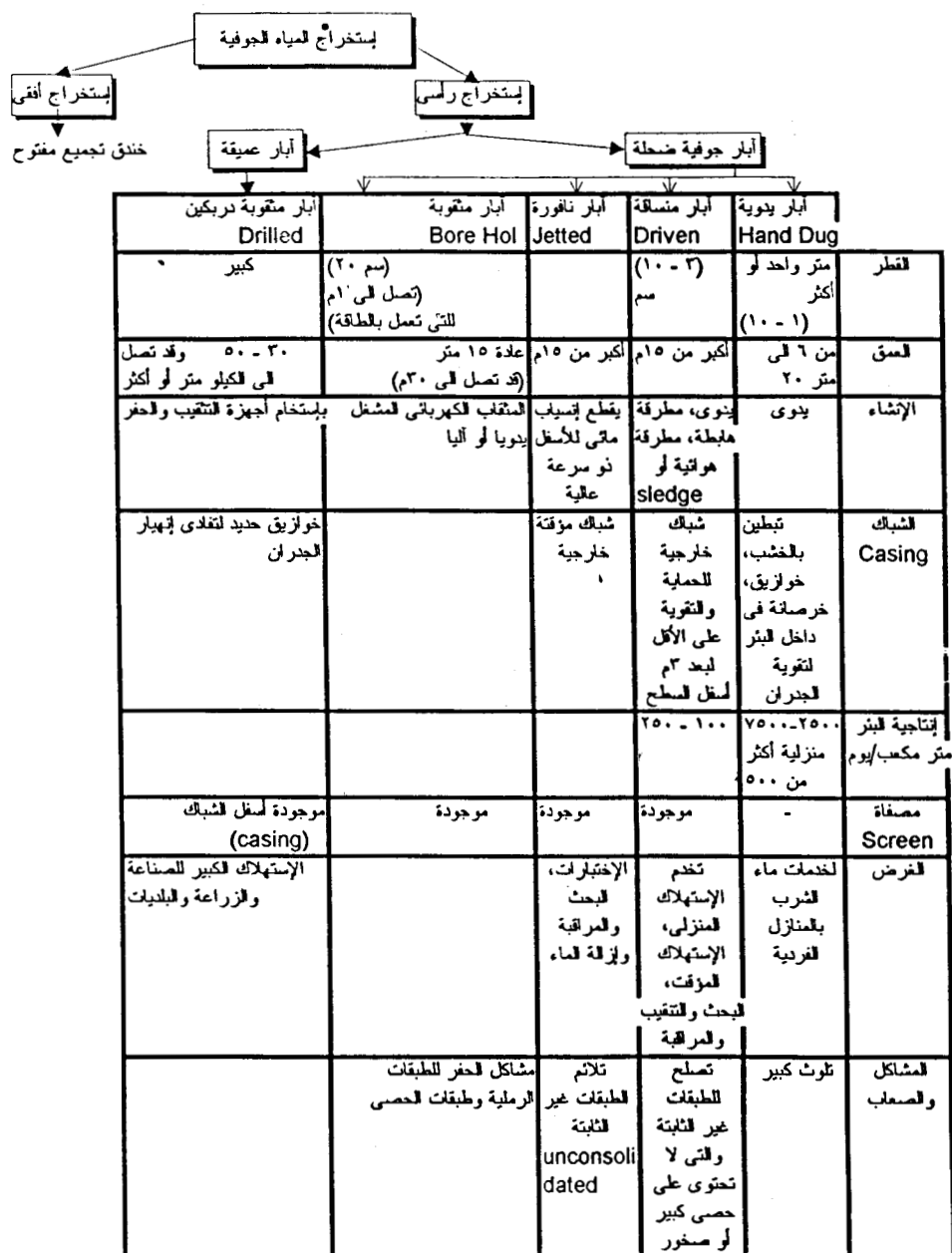
$$A = \text{المساحة العمودية لإتجاه الإنسياب (م}^2\text{) .}$$

وبأخذ هبوط مستوى الماء الجوفي الحسبان فيمكن إيجاد الإنسياب كما موضح فى المعادلة ٤٣ .

$$Q = VA = -K(ds/dr) \cdot 2\pi r H \quad (٤٣)$$

حيث :

$$Q = \text{معدل إنسياب الماء الجوفي (م}^3/\text{ث) .}$$



شكل (٣)
طرق إستخراج المياه الجوفية



خزان المياه العلوى



V = سرعة الإنسياب (م/ث) .

K = معامل النفاذية (م/ث) .

S = هبوط مستوى الماء الجوفي (م) .

r = المسافة في إتجاه القطر (م) .

وباستخدام معادلة الإستمرارية فإن :

$$(44) \quad Q_0 = Q = \text{ثابت}$$

وبتعويض المعادلة ٤٤ في المعادلة ٤٣ ينتج :

$$(45) \quad ds = (Q_0/2\pi T K H) * (dr/r)$$

وبتكامل المعادلة (٤٥) للحدود $S = S_1$ و $r = r_1$ ينتج :

$$(46) \quad S_1 - S_2 = (Q_0/2\pi T K H) * \ln (r_2/r_1)$$

وتعرف المعادلة ٤٦ بإسم : معادلة تيمس Theim's Equation أو معادلة الإتزان. وتوضح المعادلة

٤٦ أن هبوط مستوى الماء الجوفي يزداد إلى ما لا نهاية مع زيادة المسافة في إتجاه القطر. غير أن أقصى هبوط هو S_1 ، وعليه فنظريا لا يحدث الإنسياب المستقر القطري تحت هذه الظروف .

ويمكن إستخدام المعادلة ٤٦ لإيجاد معامل نفاذية الحوض لعمل القياسات حول بئر ضخ كما هو موضح في المعادلة ٤٧.

$$(47) \quad K = [Q/2\pi T H (S_1 - S_2)] * \ln (r_2 / r_1)$$

وتعرف المنقولية Transmissibility أو التوصيلية الهيدروليكية Hydraulic Conductivity لحوض ما جوفي على أنها عبارة عن المعدل الذي تنقل به مياه (لها لزوجة كيميائية معينة) عبر وحدة عرض لحوض ماء جوفي وتحت وحدة ميل هايدروليكي. ويمكن إيجاد المنقولية من المعادلة (٤٨) .

$$(48) \quad T = KH$$

حيث :

T = المنقولية (م^٢/يوم) .

K = معامل النفاذية (م/يوم) .

H = العمق المتشبع لحوض الماء الجوفي (م) .

ومن معادلة تيمس يمكن إيجاد المنقولية من المعادلة (٤٩) .

$$(49) \quad T = [Q/2\pi T (S_1 - S_2)] * \ln (r_2/r_1)$$

$$(٥٠) \quad s = (Q_0/2\pi T K H) * \ln r + C$$

وبافتراض $s = 0$ عندما تكون $r = R$ فتصبح المعادلة ٥٠ كما موضح أدناه :

$$(٥١) \quad S = (Q_0/2\pi T K H) * \ln (R/r)$$

حيث :

R = نصف قطر دائرة التأثير Circle of Influence (م)

مثال (٧) :

يتم نزع الماء من بئر بمعدل ٢٥٠ م^٣ على الساعة. تصل البئر إلى نهاية حوض الماء الجوفي ذي النفاذية التي تساوي ٥٠ متر/يوم وعمقه ٢٥ متر. علما بأن قطر البئر الخارجي ٠,٥ متر، ونصف قطر دائرة التأثير يساوي ٢٠٠٠ متر، أوجد المنقولية للحوض وهبوط مستوى الماء الجوفي .

الحل :

(١) المعطيات : $Q_0 = 24 \times 200 = 4800$ م^٣/يوم ، $H = 10$ م ، $K = 20$ متر/يوم ، $R = 200$ م ، $r = 0,5$ م

(٢) ! - المنقولية باستخدام المعادلة : $T = K H$

$$T = 20 \times 50 = 1000 \text{ م}^2/\text{يوم}$$

(٣) أوجد مستوى هبوط الماء الجوفي :

$$S = (Q_0/2\pi T K H) * \ln R/r = (4800/2\pi \times 1000 \times 10) * \ln (200/0,5) = 4,1 \text{ م}$$

(٢) الإنسياب المستقر عبر الحوض الجوفي غير المحجوز: Steady Unconfined Flow

وباستخدام فرضيات ديبو Dupuit يمكن إيجاد الدفق من بئر محفورة في حوض ماء جوفي غير محجوز من المعادلة ٥٢ .

$$(٥٢) \quad Q = 2\pi T r h K * (dh/dr)$$

حيث :

Q = الدفق الخارج من البئر للمسافة r .

ومن معادلة الإستمرارية :

$$(٤٤) \quad Q = Q_0 = \text{ثابت}$$

وبتعويض المعادلة ٤٤ في المعادلة ٥٢ وللحدود عند $r = R$ $h = H$ وعند $r = r_0$ $h = h_0$ ينتج:

$$(٥٣) \quad Q_0 = [2\pi T K (H^2 - h_0^2)] / (\ln R/r_0)$$

مثال (٨) : عمق حوض جوفي غير محجوز ٢٠ متر ونفاذيته ٤٥ م/يوم . تصل إلى عمق الحوض بنر نصف قطرها ٢٥ سم . إذا بلغ هبوط مستوى الماء في البئر ١,٥ متر ، أوجد مقدار الماء المتدفق من البئر (بالتر/يوم) علما بأن نصف القطر الذي يتلاشى عنده هبوط مستوى البئر Zero drawdown يبلغ ٤٠٠ متر .

الحل :

١- المعطيات : $H = ٢٠$ م ، $K = ٥٤$ م/يوم ، $r = ٢٠$ م ، $s = ١,٥$ م ، $R = ٤٠٠$ متر .

٢- هبوط مستوى البئر : $s = H - h_0$ أو :

$$h_0 - ٢٠ = ١,٥$$

وعليه : $h_0 = ١٨,٥$ م .

٣- إستخدام المعادلة ٥٣ لإيجاد الماء المتدفق من البئر :

$$Q_0 = ٤٥٠ \pi (٢٠ - ١٨,٥)^2 / (٠,٢٥/٤٠٠) e^{11,6} = ١١,٦ \text{ متر}^3 / \text{يوم} = ١٣ \text{ لتر} / \text{يوم} .$$

(٣) الإنسياب المستقر من خزان مياه جوفي غير محجوز وفي وجود الأمطار :

عندما تتواجد أمطار فمن معادلة الإستمرارية ينتج :

$$(٥٤) \quad dQ/dr = - 2\pi r N$$

حيث :

N = معدل الأمطار الساقطة .

وبتكامل المعادلة ٥٤ للحدود : $Q = Q_0$ ، عند صفر $r = r_0$

و $Q = Q$ عند $r = r$ ينتج :

$$(٥٥) \quad Q = Q_0 - \pi r^2 N$$

ومن قانون دارسى :

$$(٥٦) \quad Q = 2 \pi r h K (dh/dr)$$

وبتفاضل المعادلة (٥٦) ينتج :

$$(٥٦) \quad h dh = (Q_0 - \pi r^2 N) dr / 2 \pi K r$$

وبتعويض المعادلة ٥٦ في المعادلة ٥٥ وللحدود : $h = h$ عند $r = r$ و $h = H$ عند

$r = R$ ينتج :

$$(٥٧) \quad H^2 - h^2 = (Q_0 / \pi K) \ln(R/r) - (N/2K) (R^2 - r^2)$$

مثال (٩) : بئر قطرها ٥٠ سم تتعمق حوض مائي جوفي ، ويبلغ إرتفاع الماء في البئر قبل الضخ ٤,٥ متر. وفي بئرين للمراقبة يبعدان ١٥ و ٢٥ متر من البئر، كان مستوى هبوط الماء ٢,١ و ١,١ متر على الترتيب عندما تم الضخ بمعدل ٢٥٠ متر مكعب على الساعة . أوجد :

- ١- نصف القطر الذي يتلاشى عند مستوى هبوط الماء الجوفي .
- ٢- معامل نفاذية الحوض الجوفي .
- ٣- منقولية الحوض الجوفي .
- ٤- مستوى هبوط الماء في البئر .

الحل :

١- المعطيات : $r_0 = ٢٥,٠$ م ، $H = ٤٥$ م

٢- أوجد قيمة h لكل بئر :

عند $r_1 = ٢٥$ $S_1 - H = h_1 = ٤٥ - ١,١ = ٤٣,٩$ م .

وعند $r_2 = ١٥$ $h_2 = ٤٥ - ٢,١ = ٤٢,٩$ م .

بما أن Q ثابتة للآبار فعليه وباستخدام المعادلة ٥٣ :

للبنر الثاني $\{TT K (H^2 - h^2)/(Ln R/r)\}$ للبنر الأولي $\{TT K (H^2 - h^2)/(Ln R/r)\}$

$$(١٥ \div R) / (٢٤٣,٩ - ٢٤٥) = (٢٥ \div R) / (٢٤٢,٩ - ٢٤٥)$$

ومنها : $R = ٤٤,٤$ م .

* أوجد معامل نفاذية الحوض من : $Q_0 = [TTk (H^2 - h_1^2)/(Ln R/r_1)]$

$$٦٠٠٠ = TT K (٤٥^2 - ٤٣,٩^2) / (Ln ٤٤,٤ / ٢٥)$$

وعليه : $K = ١١,١$ متر / يوم .

* أوجد منقولية الحوض : $TK = H K = ٤٥ \times ١١,١ = ٥٠١$ م^٢ / يوم .

* أوجد مستوى هبوط الماء في البئر :

$$h^2 = H^2 - (Q_0 / TTk) * Ln R/r_0$$

$$h^2 = ٤٥^2 - (٦٠٠٠ / (١١,١ * TT)) * Ln (٤٤,٤ / ٢٥)$$

$$h = ٣٣,٧$$

مستوى الهبوط عند البئر = $٤٥ - ٣٣,٧ = ١١,٣$ م .

٣-٥ الإنسياب السطحي Surface runoff

الإنسياب السطحي هو عبارة عن ذلك الجزء من السقيط أو أي دفق آخر يظهر كنهج على سطح الأرض في شكل دائم أو متقطع . وهو عبارة عن الدفق المجمع من المنطقة الجابية Water Shed أو منطقة التجفيف Drainage Basin ليظهر في نهاية المنطقة ، خاصة ذلك الدفق الأولي والذي لم يتأثر بتحويل المجري بأعمال من صنع الإنسان أو بالتخزين أو أي أعمال أخرى في مجرى النهر أو في

المنطقة الجابية (المنطقة الجابية هي عبارة عن حاجز يفصل منطقتي تجفيف (تجميع للمياه) عن بعضها البعض .

ويمكن تقسيم الأنسياب على حسب مصدره إلى {٦} :

(١) أنسياب سطحي : وهذا يمثل جزء الأنسياب الذي يجري فوق سطح الأرض من خلال قنوات أو أنهار ليصل إلى مخرج الجابية .

(٢) أنسياب تحت السطحي : ويمثل الجزء من الأمطار المتسربة إلى التربة والمتحركة جانبياً عبر الأفق الأعلى للتربة ليمثل المياه الجوفية الضحلة .

(٣) أنسياب جوفي : ويمثل الجزء من الأنسياب من جراء تخلخل المياه المتسربة إلى داخل الأرض مكونة المياه الجوفية .

ولأسباب عملية لتحليل الأنسياب السطحي فإن القيمة الكلية لأنسياب الأنهار تنقسم إلى نوعين : أنسياب مباشر Direct Flow وأنسياب قاعدي Base Flow . والأنسياب المباشر هو عبارة عن الأنسياب الذي يدخل النهر مباشرة بعد هطول الأمطار أو ذوبان الجليد . أما الأنسياب القاعدي فيمثل الأنسياب الواقع .

ومن العوامل المؤثرة على الأنسياب السطحي :

(١) عوامل المناخ : ومنها العوامل المؤثرة على الأمطار (مثل: النوع، والشدة، وفترة الهطول، والتوزيع الزمني، والتوزيع المكاني، وفترة تكرار الحدوث، وإتجاه حركة الزوابع، ومحتوى نداوة التربة)، والعوامل المؤثرة على توقيف الأنسياب (مثل: أنواع النباتات وتكوينها وعمرها وكثافتها، والموسم، وحجم الزبوعة)، والعوامل المؤثرة على التبخر (مثل: درجة الحرارة، والرياح، والضغط الجوي، والمواد الصلبة الذائبة، ونوع وشكل السطح المتبخر)، والعوامل المؤثرة على النتج Transpiration (مثل: درجة الحرارة، والإشعاع الشمسي، والرياح، والرطوبة، ومحتوى نداوة التربة، ونوع النباتات) .

(٢) العوامل الطبيعية Phisographical مثل : خواص الجابية (مثل: الحجم، والشكل، والميل، والموضع، والإرتفاع، والاستخدام، والغطاء، ونوع التربة، وجيولوجية وديمقرافية المنطقة) . ومثل خواص المجرى (والتي تتعلق بالخواص الهيدروليكية للمجرى وتتحكم في حركة أنسياب مياه النهر وكمية المخزون) .

ويتم قياس دفع المياه بإحدى الطرق الآتية :

(أ) طريقة السرعة والمساحة :

وهذه الطريقة تستخدم لإحواض الأنهار المتوسطة والكبيرة . ويستخدم مقياس التيار Current Meter لقياس سرعة الماء . ويتم تحديد سرعات لنقاط عدة ومن ثم تحسب السرعة المتوسطة للنهر، وتوجد كذلك مساحة مقطع النهر . ويمكن حساب الدفع كما مبين فى المعادلة ٥٨ .

(٥٨)

$$Q = v_{av} * A$$

حيث :

$$Q = \text{دفق النهر (م}^3/\text{ث) .}$$

$$V_{av} = \text{السرعة المتوسطة للنهر (م/ث) .}$$

$$A = \text{مساحة مقطع النهر .}$$

وتوجد السرعة المتوسطة لمعظم الأنهار بإيجاد السرعة على إرتفاع ٠.٢ من عمق النهر ، والسرعة على إرتفاع ٠.٨ من عمق النهر ، ثم توجد السرعة المتوسطة كما مبين في المعادلة ٥٩ .

$$(V_{av})_{\text{vertical section}} = (V_{0.2 \text{ depth}} + V_{0.8 \text{ depth}})/2 \quad (٥٩)$$

حيث :

$$V_{av} = \text{السرعة المتوسطة .}$$

$$V_{0.2 \text{ depth}} = \text{السرعة على إرتفاع ٠.٢ من عمق النهر .}$$

$$V_{0.8 \text{ depth}} = \text{السرعة على إرتفاع ٠.٨ من عمق النهر .}$$

وطريقة القياس بجهاز قياس سرعة التيار يتم كالآتي :

١- يتم قياس العمق الكلي للنهر بواسطة كابل عند طريق الصوت .

٢- يرفع الكابل لعمق ٠.٨ من العمق الكلي وتقاس السرعة بواسطة تشغيل ساعة ضبط بالدفع من الجهاز ، وإيقافها بدفعة أخرى من الجهاز بعد مرور حوالي ٤٥ ثانية ، وعدد الدفعات المحسوبة والزمن المنقضي يسمحان بحساب السرعة من مقياس التدريج .

٣- يرفع الجهاز لعمق ٠.٢ من العمق الكلي وتعاد الخطوة ٢ أعلاه {١} .

وبالنسبة للمياه الضحلة بالقرب من الساحل. فكيفي قياس السرعة لبعـد ٠.٦ من العمق الكلي {١} .

(ب) إنشاءات قياس الإنسياب (إنشاءات التحكم Control Structures):

وهذه محصورة للأنهار الصغيرة والجداول ، وذلك نسبة للتكاليف العالية المواكبة لها. وتستخدم في هذه الأنظمة الهدارات Weirs والقنوات المعنقة Flumes. ومن أمثلة هذه الإنشاءات :

(١) الهدارات ذات الحافة العريضة Broad Crested Weir وبحسب الإنسياب كما هو مبين في المعادلة ٦٠ .

$$Q = C L (g)^{0.5} (d)^{1.5} \quad (٦٠)$$

حيث :

$$Q = \text{الدفق (م}^3/\text{ث) .}$$

$$C = \text{معامل الدفق .}$$

$$L = \text{طول حافة الهدار (م) .}$$

g = عجلة الجاذبية الأرضية (م/ث^٢) .

d = عمق الدفق فوق الهدار (م) .

(٢) ومثال آخر تقلص مجرى الجدول بحواجز المسار Roadway Crossinings . ويمكن إيجاد الدفق خلالها من المعادلة ٦١ على سبيل المثال للفتحات المنقلصة Contracted Openings .

$$Q = CA_c [2g(\Delta h + \{\alpha v_{av}^2/2g\} - h_f)]^{0.5} \quad (٦١)$$

حيث :

Q = الدفق .

C = معامل الدفق .

A_c = مساحة أقل مقطع .

Δh = فرق الارتفاع لسطح الماء بين القطاع القريب وأقل قطاع .

α = معامل تعديل لإيجاد سمت السرعة التراكمية في القطاع القريب .

v_{av} = السرعة المتوسطة في القطاع القريب .

h_f = فقدان سمت الاحتكاك بين القطاع القريب وأقل قطاع .

(٣) الخزان أو الحاجز الترابي: ويمكن إيجاد الدفق من معادلة مثل تلك المذكورة في المعادلة ٦٢ .

$$Q = C L [d + (v^2/2g)]^{3/2} \quad (٦٢)$$

حيث :

Q = الدفق .

C = معامل الدفق .

L = طول قطاع الفائض .

d = عمق الدفق بالقرب من الخزان .

$v^2/2g$ = سمت السرعة في القطاع القريب .

(٤) بوابخ Culvert الطريق العام .

(٥) بإستخدام حسابات المساحة والميل من معادلاتها مثل :

(أ) صيغة شيزي ماننق Chezy - Manning Formula

$$q = (1/n) A R_h^{2/3} s^{0.5} \quad (٦٣)$$

حيث :

q = الدفق .

n = معامل الإنسياب (يساوى ٠.٣٥ للأنهار الطبيعية) .

- A - مساحة المقطع (م^٢) .
 R_h - نصف القطر الهيدروليكي - المساحة/المحيط المبتل (م) .
 s - الميلان (م/م) .

(ب) الصيغة العقلية Rational Formula أو طريقة لويد وديفيس Lloyd-Davis والخاصة بعلاقة الأمطار وإنسياب الذروة Peak Runoff كما هو موضح في المعادلة ٦٤ .

$$Q = C i A \quad (٦٤)$$

$$Q = 0.278 \cdot C i A \quad (٦٤ب)$$

حيث :

- Q - إنسياب الذروة (قدم^٣/ث في المعادلة ٦٤ ، م^٣/ث في المعادلة ٦٤ب) .
 C - معامل الإنسياب وتعتمد على خواص المنطقة الجابية .
 i = شدة الأمطار (بوصة / ساعة في المعادلة ٦٤ ، مامتر/ث في المعادلة ٦٤ب) .
 A = مساحة الجابية (فدان في المعادلة ٦٤ ، كلم^٢ في المعادلة ٦٤ب) .

ومن الافتراضات في الصيغة العقلية ما يلي :

- (١) معدل الإنسياب الناتج من أى شدة مطر يكون أقصى إنسياب عندما تستمر شدة المطر لمدة تساوي أو تفوق زمن التجميع Time of Concentration . وزمن التجميع هو الزمن اللازم للإنسياب السطحي ليصل من أبعد جزء في الجابية إلى النقطة قيد البحث .
 (٢) أقصى معدل إنسياب (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 $Q = \text{صفر عند } I = \text{صفر}$.
 (٣) يماثل تردد إنسياب الذروة شدة الأمطار لزمن التجميع .
 (٤) العلاقة بين إنسياب الذروة ومقاس مساحة الجابية تماثل العلاقة بين فترة الهطول وشدة هطول الأمطار .

- (٥) معامل الإنسياب يتماثل للزوابع المختلفة التردد Frequency .
 (٦) معامل الإنسياب يتساوى لكل الزوابع في منطقة الجابية {٦} .

(ج) قياس التخفيف (القياس الكيميائي) Dilution Gauging

- وهذا مناسب للجداول ذات الإنسياب القليل الإضطراب ، كما وأن الأعماق والإنسياب غير ملائمة لجهاز قياس التيار ، وإنشاءات القياس باهظة الثمن . وتستخدم المواد الكيميائية للأسباب الآتية {٥} :
- * سهولة قياس المادة المستخدمة .
 - * عدم وجود المادة المستخدمة في المجرى المائي .

* لا تفقد المادة بالإتحاد الكيميائي مع مواد أخرى موجودة في المجرى المائي .

والطرق الكيميائية المستخدمة تحوي :

(أ) سرعة الملح Salt Velocity وهذه الطريقة تعتمد على قاعدة أن الأملاح تزيد من التوصيلة الكهربائية للجدول . ومن عيوب هذه الطريقة أنها صعبة وتحتاج إلى عدد كبير من العمال المهرة .

(ب) تخفيف الملح Salt Dilution وهنا يضاف ملح مركز بمعدل ثابت ومعلوم . وأيضاً تحتاج هذه الطريقة إلى عمال مهرة .

(ج) المواد المشعة الإستشفائية Radioactive Tracers وتحقن نسبة معلومة من المادة الإستشفائية في المجرى المائي بمعدل معلوم . وتؤخذ عينات من نقاط أدنى النهر ويوجد معدل الإنسياب بعد الوصول إلى توازن التركيز كما هو مبين في المعادلة ٦٥ .

$$q = [(C_f/C_e) - 1] * q_f \quad (٦٥)$$

حيث:

q = الدفق .

C_f = درجة تركيز المادة الإستشفائية الداخلة للجدول .

C_e = درجة تركيز المادة الإستشفائية عند التوازن .

q_f = معدل دفق المادة الإستشفائية للجدول .

ومن عيوب هذه الطريقة التكاليف العالية كما ويحتاج إلى أخذ الحيلة والحذر لتجنب مخاطر التعرض للإشعاع .

(د) قياس بالت موجات فوق الصوتية Ultrasonic Gauging يعتمد في تشغيل هذه الطريقة على الآثار المترتبة على مرور الموجات فوق الصوتية عبر الماء . ويقوم جهاز إرسال بنقل إشارة إلى جهاز إستقبال يبعد مسافة أعلى النهر . ويتم ضغط التموجات فوق الصوتية المتحركة أعلى النهر كما وتوهن تلك التموجات الراجعة . ومقدار هذا الأثر يمكن تسجيله ومقارنته مع سرعة الماء . وهناك العديد من المتغيرات المؤثرة في هذه الطريقة ومنها : أثر درجة الحرارة ، والإنعكاسات العشوائية ، وأثر سطح الماء {٦} .

ويتم قياس الإنسياب وإرتفاع القراءات الموجودة بأجهزة القياس . وتستخدم هذه البيانات في تحضير التدرج أو منحنى التعديل Rating Curve للمحطة . ويتم إستخدام هذا المنحنى لإيجاد تقدير لمعدل الإنسياب بين قراءتين {٧} . ومنحنى التعديل هو عبارة عن رسم بياني يبين العلاقة بين مستوى إرتفاع الماء Water Level Elevation أو ما يسمى بالمرحلة Stage لمجرى النهر في قطاع معين والتصرف الموازي على هذا القطاع . والتغيرات التي توجد في المنحنى تغزي إلى :

* تخزين المجرى Channel Storage :: إذ كلما زاد إرتفاع مستوى النهر فإن المياه يتم تخزينها مؤقتاً في مجرى النهر .

* التغيرات في ميل السطح : والتي تحدث من جراء تحرك موجة الفيضان عبر المجرى. وفي هذا المنحنى فإن موجة الفيضان التي تمر أدنى نهر قليل الانحدار ربما غيرت من تدرج الطاقة **Energy Gradient** لدرجة مناسبة ، تجعل القياسات تتحرف عن منحنى التعديل . وهذا الانحراف من المعدل الطبيعي ينتج من جراء التغير في تصرف الماء بالنسبة إلى سرعة موجة الفيضان ، ومعدل تغير ارتفاع الجهاز . ويمكن عمل ضبط مناسب دونما حاجة إلى إستخدام مقياس مساعد . ويمكن وضع هذا الضبط {٧} في معادلة تقرأ كما مبين في المعادلة ٦٦ .

$$Q_g/Q = [1 + ((1/U_s) * dh/dt)]^{0.5} \quad (٦٦)$$

حيث :

Q_g - للتصرف الحقيقي أو التصرف المقاس (م^٣ / ث) .

Q - التصرف في الحالة المستقرة (التصرف من منحنى التعديل) (م^٣ / ث) .

S - الميل في الحالة المستقرة (تدرج الطاقة في نفس زمن القياس) (م / م) .

U - سرعة موجة الفيضان (Flood Wave Celerity) (م / ث) .

dh/dt - التغير في المرحلة عند القياس (يكون موجبا عندما ترتفع المرحلة ويكون سالبا عندما تهبط المرحلة) (م/ث) .

وتقدر سرعة الموج Flood Wave Celerity بحوالي ٣, ١ مرة بالنسبة لسرعة الماء المتوسطة في الجدول (٢) المنتظم الانسياب أثناء الفيضان كما هو موضح في المعادلة ٦٧ .

$$U = 1.3 Q_g/A \quad (٦٧)$$

حيث :

A - مساحة المقطع .

وبتعويض المعادلة ٦٧ في المعادلة ٦٦ ينتج :

$$Q_g/Q = [1 + \{(A/1.3 Q_g s) * dh/dt\}]^{0.5} \quad (٦٨)$$

ومن المستحسن دراسة التغيرات في الانسياب بالتحليل الإحصائي . ومن هذه الطرق المستخدمة في هذا الشأن :

أ) منحنى إستدامة الانسياب Flow Duration Curve : ويبين منحنى إستدامة الانسياب لنقطة محددة في النهر جزء الزمن الذي يساوي فيه الانسياب أو يزيد عن قيمة محددة . ومن منطلق إحصائي فإن منحنى إستدامة الانسياب يمثل منحنى تكرار تجمعي Cumulative Frequency لمتواليات زمنية مستمرة تبين الإستدامة النسبية للعديد من القيم . ويعتمد ميلان المنحنى بصورة كبرى على فترة المراقبة المستخدمة في التحليل . كما وأن متوسط البيانات اليومية ينتج عنه منحنى أكثر ميلا من البيانات السنوية . وذلك لأن البيانات السنوية لها قابلية التجمع وتدمج التغيرات في الفترة اليومية القصيرة للبيانات .

(ب) منحنى إنسياب الكتلة Flow Mass Curve

وهذا المنحنى يمثل رسم بياني لقيم تجمعية للمقادير الهيدرولوجية مثل : رسم الإنسياب بالنسبة للزمن أو بالنسبة للبيانات . وبما أن منحنى إنسياب الكتلة يمثل تجمعات حجم الإنسياب فيطلق عليه أحيانا S - Curve . ويمكن تمثيله حسابيا بالمعادلة ٦٩ .

$$(٦٩) \quad V = \int_{t_1}^{t_2} Q_t \cdot dt = \sum_{t=t_1}^{t_2} (Q_t \cdot \Delta t)$$

حيث :

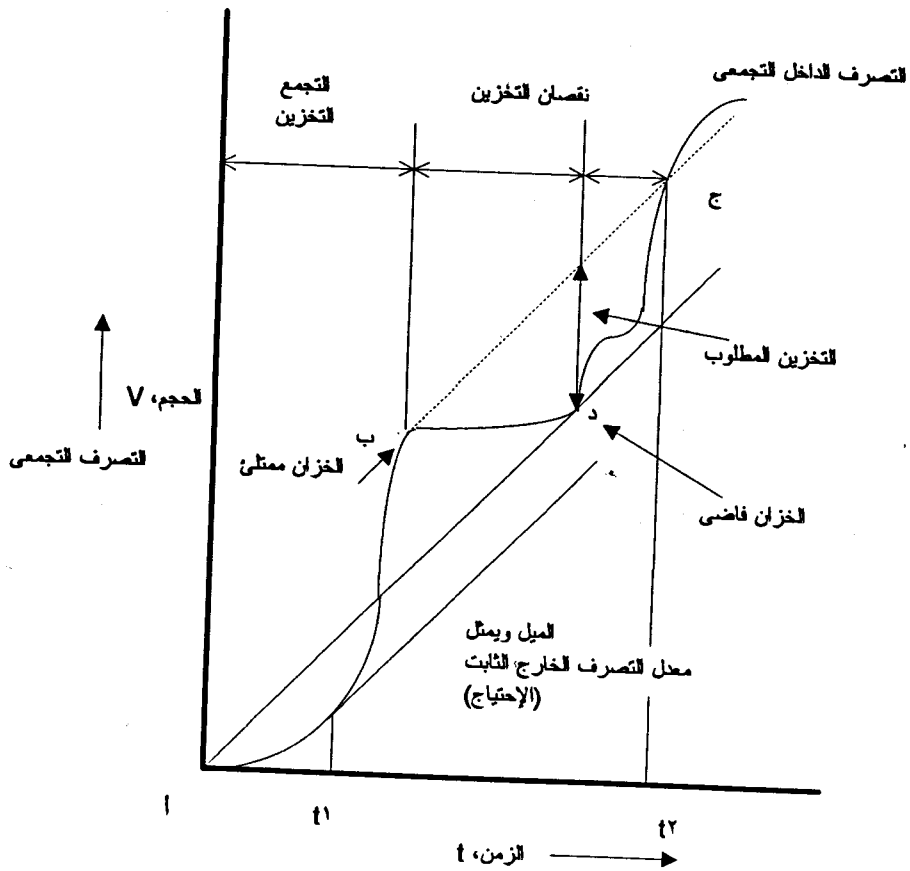
V = حجم الإنسياب .

Q = التصرف كدالة في الزمن {t} .

ومنحنى إنسياب الكتلة أيضا يسمى : بمخطط ربل Ripple Diagram ويمثل المخطط طريقة معينة لدراسة أثر التخزين في أسلوب النهر وإيجاد التصرف المنتظم . ومنحنى الكتلة عبارة عن منحنى تمثل الأحداث الصادي لأي نقطة فيه كمية المياه الكلية التي إنسابت عبر محطة معينة في النهر خلال الفترة الزمنية الممثلة بمقدار الأحداث السيني لنفس النقطة في المنحنى . وإيجاد سعة الخزان المطلوب للحفاظ على تصرف منتظم في النهر ، يرسم خط مماسي Draft Line للنقطة التي في بداية الفترة الحرجة على منحنى الكتلة . ويساوي ميل هذا الخط التصرف المنتظم المضبط . وتمثل أقصى مسافة (في اتجاه الأحداث الصادي) بين هذا الخط ومنحنى الكتلة سعة التخزين المطلوبة للحفاظ على هذا المعدل . والأحداث الصادي بين الخط Draft Line ومنحنى الكتلة لأي زمن يمثل قياس الماء في الخزان لهذا الزمن . ويمثل الشكل (٣) رسم عام لمنحنى الكتلة .

ويعطي منحنى الكتلة المعلومات التالية {٣} :

- ١- من النقطة (أ) إلى النقطة (ب) فإن معدل التصرف الداخل يفوق معدل الإستهلاك وأن الخزان ممتلئ وفائض .
- ٢- في النقطة (ب) فإن معدل التصرف الداخل يساوي معدل الإستهلاك ، وعليه فإن الخزان ممتلئ لكنه غير فائض .
- ٣- من النقطة (ب) إلى النقطة (د) فإن معدل الإستهلاك يفوق معدل التصرف الداخل ، وأن مقدار هبوط مستوى الماء يزداد .
- ٤- في النقطة (د) فإن معدل الإستهلاك يساوي معدل التصرف الداخل ، ويكون هبوط مستوى الماء في أقصاه .
- ٥- من النقطة (د) إلى النقطة (ج) فإن معدل التصرف الداخل يزيد عن معدل الإستهلاك ، ويقل هبوط مستوى الماء .



شكل (٣)
منحنى الكتلة (مخطط ريل)

- ٦- في النقطة (ج) فإن الخزان ممتلئ مرة أخرى .
- ٧- من النقطة (ج) إلى النقطة (هـ) فإن الظروف تماثل تلك من النقطة (ا) إلى النقطة (ب) .
- ٨- أعلى مسافات رأسية بين النقاط (ب) و (ج) و (ب) (د) (ج) والتي تحدث عند النقطة (د) وتمثل التخزين المطلوب للحفاظ على معدل إستهلاك منتظم أثناء إنخفاض التصرف من (ب) إلى (د). وأن أكبر قيمة لكل فترة السجلات هي أدنى حجم للخزان يمكنه أن يحافظ على إنتظام معدل الإستهلاك .
- (ج) الهيدروجراف : وهو عبارة عن رسم بياني لحجم الإنسياب مع الزمن . ويمثل الهيدروجراف المرحلة أو الإنسياب أو التصرف أو السرعة أو أي من خواص إنسياب الماء مع الزمن . ويمكن أن يمثل هايدروجراف الإنسياب القاعدي Base Flow بالتقريب بالمعادلة ٧٠ .

(٧٠)

$$Q_t = Q_0 * e^{-\alpha t}$$

حيث :

- Q_t - التصرف عند نهاية الزمن t .
- Q_0 - التصرف في بداية الفترة .
- α - معامل حوض الماء الجوفي .
- e - قاعدة اللوغرثمات الطبيعية .

وعادة يستخدم هايدروجراف الوحدة Unit Hydrograph ويعرف بأنه هايدروجراف الإنسياب المباشر الناتج من ١ ملم من أمطار فعالة منتظمة الحدوث عبر المساحة الجابية وبمعدل منتظم طويلة فترة زمنية محددة أو فترة هطول محددة {٦} .

ويمثل هايدروجراف الوحدة الإنسياب السطحي الناتج من ١ ملم من أمطار زائدة عن التسرب وأي فقد آخر حادث في وحدة الزمن {٧} . ويمكن أن يستخدم هذا الهايدروجراف لحساب إنسياب الذروة، ومعدلات التصريف السطحي الأخرى من أمطار مرصودة {٧} . وللمزيد من المعلومات عن الهايدروجراف والنظريات المواكبة له وطرق إستخدامه وتحليله فيرجى الرجوع إلى الكتب المتخصصة في الهايدرولوجيا .

٦-٣ الفيضان Flood Routing

الفيضان يعبر عن إنسياب عالي نسبيا يعلو الضفاف الطبيعية أو الإصطناعية على أي مسافة في الجدول {٦} . ويمكن قياس الفيضان مقارنة بالارتفاع والمساحة Inundated Area وإنسياب الذروة وحجم التصريف والفيضان Flood routing عبارة عن طريقة لإيجاد التغيرات في الإنسياب مع الزمن في أي نقطة في المجرى المائي ، وذلك بإعتبار البيانات المماثلة لنقطة في الجدول. أي أنها طريقة توضح كيفية نقصان مقدار موجة الفيضان وإطالة الزمن بإستخدام التخزين في مرحلة بين نقطتين {٧} . ويمكن إيجاد التخزين لمرحلة بالآتي :

(أ) عمل مسح طبغرافي وهيدرولوجي مفصل لمرحلة النهر والأرض الواقعة على شاطئ بحيرة . وبذا يمكن إيجاد سعة التخزين للمجري لإرتفاعات مختلفة .
(ب) إستخدام سجلات الإرتفاعات السابقة لأمواج الفيضان على نقطتين ، ومن ثم إستنباط سعة التخزين للمرحلة .

ومن أمثلة طرق الفيضان ما يلي :

(١) علاقة الإنسياب والتخزين الغير متغير Invariable Discharge-Storage Relationship :
وهذه الطريقة تفترض علاقة بين الإنسياب والتخزين الغير متغير ، وتتجاهل الميل المتغير الحادث أثناء مرور موجة فيضان {٦} . وعليه ولفترة زمنية فإن قانون الإستمرارية يعطي ما يلي :

الإنسياب الداخل - الإنسياب الخارج = التغير في التخزين

$$I - D = \Delta S / \Delta t \quad (٧١)$$

حيث :

I - الإنسياب الداخل للمرحلة .

D - الإنسياب الخارج من المرحلة .

$\Delta S / \Delta t$ - معدل التغير في تخزين المرحلة بالنسبة للزمن .

وتسمى t زمن Routing Period ويعني بها الفترة الزمنية التي يمثل فيها الإحداثيات الرأسية للهيدروجراف المستخدم في الـ routing {٦} . ويتبع أسلوب حسابي معين لإيجاد الفيضان .

(٢) طريقة المعامل Coefficient Method وتفترض هذه الطريقة أن التخزين يتناسب طرديا مع التصريف الخارج .

(٣) علاقة الإنسياب والتخزين المتغير : وهنا يحتسب التغير في الإنسياب والتخزين . وتستخدم طرق مثل :

• طريقة مسكنجم Muskingum والتي يمثل فيها التخزين كدالة في التصريف الداخل والإنسياب على حسب المعادلة ٧٢ .

$$S = K[XI + (1 - X)D] \quad (٧٢)$$

حيث :

S - التخزين (م^٣) .

K - معامل = ثابت التخزين (ث) .

X - ثابت لمرحلة معينة من النهر (لابعدي) . عادة يكون بين صفر و ٠,٥ .

I - معدل الإنسياب الداخل (م^٣/ث) .

D - معدل الإنسياب الخارج (م^٣/ث) .

وتستخدم سجلات الإنسياب لحساب K و X .

• طريقة القيمة التطبيقية Working Value Method : وهذه تعتمد على إنسياب تطبيقي إفتراضي يمثل إنسياب مستقر يمكنه أن ينتج تخزين يساوي التخزين الناتج من إنسياب حقيقي .

٣ - ٧ تلوث المياه الجوفية

إن المياه الجوفية عادة تكون ذات نوعية جيدة وذلك نسبة لخضوعها للترشيح الذي تقوم به طبقات التربة أثناء تغلغل المياه ونفاذها من خلالها . وتعتمد المسافة التي يمكن أن يقطعها الملوث على نوع وكمية الملوث ، وطبغرافية المنطقة ، وهيدرولوجية الخزان الجوفي . وعلى سبيل المثال 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 لتقطع مسافات أطول . كما ولا تتأثر الملوثات الذائبة بعملية الترشيح داخل التربة مثل تأثيرها بعوامل أخرى مثل قوى الإمتزاز . ومما يفاقم من مخاطر الملوثات السرعة البطيئة التي تتسبب بها المياه عبر طبقات التربة ، ففي المتوسط تتسبب المياه الجوفية بسرعة تقدر بحوالي ٣٠ متر على السنة {٨} اعتمادا 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 طبقا 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 أكثر ذوبانا 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 التسسم أو عن طريق إنتشار الأمراض . ويمكن إجمال مصائد وأنواع الملوثات التي قد تجد طريقها لخزان المياه الجوفي في الآتي :

(أ) المواد العضوية المصنعة :

وتتضمن هذه المواد مجموعات تسمى بالهاييدروكربونات الكلورية مثل ثلاثي كلور الإثيلين Trichloroethylene ورباعي كلوريد الكربون Carbon Tetrachloride . ومعظم هذه المواد سام ، ويعتقد بأن بعضها مسرطن ، أو ربما أثر سلبا على الصحة العامة في درجات تركيز قليلة ، الشيء الذي يفاقم من المخاطر المترتبة على شرب الماء . وفي هذه الحالة ينصح بهجر هذه الآبار الملوثة وحفر أخرى على بعد منها ، أو اللجوء إلى مورد مياه آخر ، وربما يقتدى الحال العمل على معالجة المياه الجوفية باستخدام الوحدات المناسبة مثل وحدات التهوية والكربون النشط لإزالة الملوثات . وفي الحالة الأخيرة تزيد التكاليف للإنشاء والتشغيل والصيانة .

(ب) المعادن الذائبة :

وتتأتى المعادن الذائبة من ذوبان المعادن الموجودة بالتربة والصخور الحاوية لها ، وذلك بعد ملامسة المعادن للمياه بعد مضي فترة زمنية مناسبة . وتزيد هذه المعادن من عسر الماء الجوفي مقارنة بالماء السطحي . وإن هذه المعادن الذائبة لا تآثر سلبا على نوعية المياه في الغالب الأعم وبذا فإنها لا تشكل مشاكل صحية .

ج) المخلفات السائلة والنفايات والفضلات الصلبة الصناعية والخطرة :

ان المخلفات الصناعية المتخلص منها في المسطحات المائية (من برك وبحيرات وانهار وبحار .. الخ) والآبار ربما وجدت طريقها للمياه الجوفية . وقد وجدت في المياه الجوفية مركبات عضوية مثل ثنائي الفينول متعدد الكلورة (Polyshlorinated biphenol (PCB) والبززين . وايضا وجد ثلاثي كلورايثيلين Trichloroethylene المستخدم في إذابة وإزالة الدهن والشحم { ٨ } . وقد تحتوي المياه الجوفية على معادن من السيلونيوم والزرنيخ والسيانيد . وربما أدى التخلص من المياه المستخدمة في التبريد الى زيادة الاملاح ودرجة حرارة المياه الجوفية.

د) الفضلات السائلة البشرية :

ان الطرق المستخدمة للتخلص من هذه الفضلات للمناطق الريفية والمناطق الحضرية المنعزلة او حيثما لا يوجد نظام صرف صحي قد تبت ملوثاتها للمياه الجوفية . فمثلا يتسرب السائل الناتج من وحدة التحليل اللاهوائي Septis tank الى المياه الجوفية طبقا لاسلوب التخلص النهعائي المتبع . وقد تتلوث المياه الجوفية بالبكتريا البرازية والفيروسات . وفي بعض الأحوال تتلوث المياه بمواد عضوية مثل ثلاثي كلور الإيثيلين المسرطن عند استخدام المنظفات الحاوية له لنظافة أحواض التحليل اللاهوائي . ومن الملوثات الأخرى المحتملة : المنظفات والنترات والكلوريدات . وتزداد المخاطر الصحية وتتغير بناء على نوع المنشأة الصحية المستخدمة وأنماط التصميم والإنشاء والتشغيل والإصلاح والترميم المتبع .

هـ) النفايات المنزلية الصلبة :

ويقصد بهذه النفايات تلك التي يتم التخلص منها بالدفن بطرق غير صحية وغير صحيحة . ويتم الدفن عادة في مناطق منخفضة ، وعندما يكون منسوب المياه الجوفية عاليا ، أو عندما تكون التربة ذات مسامية عالية (مثلا يوجد في طبقات الرمل والحصى) فينسب السائل الناتج من ضغط وعصر النفايات leachate للخزان الجوفي . إن هذا السائل يحتوي 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 مياه المدفن : الأمطار ، وتسرب المياه السطحية ، والمياه المتسربة من المناطق المحيطة بمنطقة دفن النفايات ، والمياه الجوفية الملامسة للنفايات عندما يرتفع منسوبها . ومن الملوثات المتواجدة بالمدفن غازات الميثان وثاني أكسيد الكربون والأمونيا وكبريتيد الهيدروجين . ويمكن الحد من أثر هذه الملوثات بإتباع أسلوب الدفن الصحي Sanitary landfill والذي يعتمد لحسن أدائه على الإختيار الجيد لموقع الدفن والتصميم المناسب له لتلافي تلوث المياه الجوفية والتخلص الأمثل لسائل المدفن .

و) مناجم التعدين :

تنتج المناجم العديد من الملوثات . ويعتمد مقدار التلوث على نوع المادة المستخرجة من المنجم وطريقة التعدين . وتعتبر مناجم الفحم والفوسفات واليورانيوم والحديد والنحاس والخاصين والرصاص من أكبر الملوثات . ربما إقتضى الحال نزح المياه للخارج عند حفر المناجم . وربما زادت بالمياه المستخرجة

نسب المعادن (مثل الحديد والألمنيوم والكبريتات) مما يجعلها حمضية . وإذا وجدت طريقها للمياه الجوفية فإنها تؤدي الى تلوثها . عادة تفرز مترسبات الفحم بمادة البايرايت (Pyrite (FeS₂) والتي تؤدي أكسدتها لتكوين كبريتات الحديد وحمض الكبريت . وتلوث المياه الجوفية بهذه المواد يقود الى نقصان الرقم الهيدروجيني وزيادة درجة تركيز الحديد والكبريتات . عادة تحتوي المياه السطحية المتدفقة بالقرب من المنجم على معادن ذائبة وغيرها من المواد الصلبة والمواد الحمضية وربما إحتوت على مواد مشعة . وتقوم بتلوث المياه الجوفية عندما تتسرب الى داخل المناجم المفتوحة أو عبر الداهاليز والممرات .

ز) مناطق إستخراج النفط :

يتبع إستخراج النفط صرف كميات كبيرة من المياه في شكل محلول مالح . ويحتوي هذا المحلول على صوديوم وكالسيوم وأمونيا وبورون وكلوريد وكبريتات وقليل من المعادن بالإضافة الى إحتوائها على نسب عالية من المواد الصلبة الذائبة . يتم التخلص من هذا المحلول في بعض المناطق في برك التبخر أو بالإلقاء في المسطحات المائية . وقد باشرت العديد من المناطق منع إستخدام هذه الطريقة لأنها تؤدي الى تلوث المياه الجوفية . ومن أنسب الطرق للتخلص من المحلول المالح إستخدام الآبار العميقة في مناطق تحتوي طبغرافيتها على طبقات معزولة من خزانات المياه الجوفية . ويجب مراعاة أساليب وأنماط التصميم الجيد عند حفر وغلق آبار التخلص لتلافي أي تلوث ثانوي . ومن الملوثات المتوقعة الجازولين وزيت المحرك . وفي بعض المناطق ربما إقتضى الحال ضخ المياه الجوفية لفصل الزيت عنها ثم إعادتها للخزان الجوفي مرة أخرى . وفي هذا المنحنى تشكل التكاليف وحجم التلوث وتقانة الأداء معيارا أساسيا .

ح) التسرب من الخزانات الأرضية :

يتم تخزين العديد من الموانع والمواد الكيميائية بصورة عادية في الكثير من المنشآت الصناعية والتجارية . وتخضع هذه الخزانات والأنابيب الموصلة اليها الى إنهيارات منشآت مما يسهل معه تسرب محتوياتها للمياه الجوفية المحيطة . ومن أكثر أنواع التسرب حدوثا تسرب الزيت والجازولين من الخزانات الحديدية الصديئة مثلا من محطات خدمة البترول Filling Stations . ونسبة لأن الزيت لا يمتزج فيتسرب الى داخل التربة متحركا الى الأسفل عبر طبقة التربة المسامية الى أن يصل الى الخزان الجوفي . وينتشر الزيت في الخزان الجوفي مكونا طبقة فوق منسوب المياه ، ثم يتحرك عرضيا مع إتجاه ودفق المياه الجوفية . ومن أساليب المعالجة المتبعة إستخدام أحواض الأكاياف الزجاجية Fibreglass بدلا من خزانات الحديد .

ط) الحوادث والكوارث البيئية :

تؤدي حوادث انقطارات والخزانات والأنابيب الطويلة والشاحنات المحملة بمواد نفطية أو خطرة أو قابلة للإشتعال الى تلوث المياه الجوفية بالزيت والجازولين . وتقود هذه الملوثات الى تغير طعم ورائحة الماء حتى عند درجات التركيز القليلة . كما وأن الجازولين يحتوي على مواد مسرطنة مثل ثاني بروم الإيثيلين

Ethylene Dibromide والبنزين . كما وأن التخلص من السوائل في سطح التربة بصورة غير محكمة ربما أدى بها لتلوث المياه الجوفية . ومن الأمثلة في هذا المجال التلوث الصناعي في المنطقة المحيطة عند فقدان وهدر السوائل أثناء الترحيل والتسرب من الأنابيب والمحابس .

ي) 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 الى داخل الخزان الجوفي . وتعتمد درجة التلوث على : نوع وكمية الملوثات ، وطبغرافية المنطقة ، ونوع وكمية المياه المستخدمة للزراعة ، وأسلوب الري . تتكون الأسمدة من النيتروجين والفسفور والبوتاسيوم . وتقوم حبيبات التربة بسهولة بإمتزاز الفسفور والبوتاسيوم ، غير أن التربة والنبات يستخدمان مركبات النيتروجين جزئيا . وعليه فيعتبر النيتروجين من أكبر الملوثات الناتجة من جراء إستخدام الأسمدة . وتستخدم محسنات التربة مثل الجير والجبس والكبريت للأراضي المروية لتغير من الخصائص الطبيعية والكيميائية للتربة ، وربما وجدت الكثير من هذه المواد طريقها للمياه الجوفية . والتلوث بالمبيدات يعتمد على كمية المبيد المستغلة والمتبقية ، والظروف المناخية بالمنطقة ، ومعدل الري ، وخواص التربة . وعامة فإن المبيدات غير قابلة للذوبان في الماء ، وبعضها يتم إمتزازه بواسطة حبيبات التربة ، وبعضها الآخر يخضع للتفتيت الحيوي طبقا لمكوناتها . وتعتبر العديد من المبيدات بأنها مواد مسرطنة .

ك) تسرب المياه المالحة :

وتتجلى المشاكل الناجمة من تسرب المياه المالحة في المناطق الساحلية ، عندما يتم إستهلاك المياه الجوفية بصورة أكبر للإصلاح الزراعي ، ونمو وتزيين المدن ، وإزدياد الرقعة السكنية ، وإزدهار الصناعة . وينقص معدل تغذية المياه الجوفية في هذه المناطق نسبة لزيادة الطرق ومواقف السيارات ورصف العديد من المناطق الشيء الذي يؤدي الى هبوط منسوب المياه الجوفية . وربما أدى الوضع الى تسرب المياه المالحة مما يحد من إستخدام الآبار . وبما أن المياه العذبة أخف من المياه المالحة (الكثافة النوعية للماء المالح حوالي ١,٠٢٥) فإنها تطفو على طبقة من المياه المالحة ، ويتغير الإرتزان الأصلي عندما يتم ضخ الخزان الجوفي وبذا تحل المياه المالحة محل المياه العذبة . ومن الطرق المتبعة لإصلاح الحال هجر الآبار المالحة وترشيد إستخدام المياه والتغذية المصطنعة للمياه الجوفية من مورد ماء نقي {١٠، ٨} .

ل) تسرب مياه المجاري :

عند تصميم المجاري يراعى عدم تسرب المياه منها . غير أن التسرب يحدث من المجاري القديمة أو المعطوبة أو من جراء الكسر والتشقق 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 . وربما أدى التسرب من المجاري الى رفع نسبة الأكسجين الحيا كيميائي والأكسجين الكيميائي

والنترات والمواد العضوية وربما زاد من أعداد البكتيريا في المياه الجوفية . وفي المناطق المكسدة بالصناعات ربما رفع التسرب من شبكات المجاري من درجات تركيز المعادن الثقيلة مثل الزرنيخ والكاميوم والكروم والكوبالت والنحاس والحديد والمنجنيز والرصاص والزنبق طبقا لنوع الصناعات السائدة بالمنطقة ومقدار التسرب .

ج) الفضلات الحيوانية :

تكثر الفضلات الحيوانية من روث الحيوانات المحصورة في مناطق الإنتاج الحيواني لصناعة الألبان واللحوم . وبازدياد أعداد الحيوانات تفقد التربة المحيطة قدرتها على الإمتصاص والتمثيل وتتسبب بوسائل ومواد الروث . ثم تقوم مياه الأمطار بحمل الملوثات وربما أوصلتها للمياه الجوفية . ومن هذه الملوثات الأملاح والأحماض العضوية ومركبات النيتروجين والبكتيريا .

تحتاج عوامل التنقية الطبيعية المطلوبة لتخفيف درجات تركيز الملوثات الكيميائية الموجودة بالمياه الجوفية الى عشرات بل مئات السنين . كما وأن أساليب التنظيف والتنقية باهظة الثمن وغير عملية . وعليه فمن الأجدر العمل على منع التلوث بعمل الآتي { ٨ ، ٩ ، ١٠ ، ١١ } .

- ١- سن وإستنباط وتطبيق القوانين واللوائح والتشريعات الملزمة والراعية للتخلص من النفايات .
- ٢- سن التشريعات الملزمة للإختيار الأمثل لتحديد منطقة ووضع وتصميم وتشبيد وعمل وترميم أنظمة التحليل اللاهوائي المنتقاة للتخلص من الفضلات السائلة .
- ٣- وضع آبار للمراقبة .
- ٤- الإدارة الجيدة من قبل جهات الإختصاص لإستخدام الأراضي والحد من إستغلال أراضي تغذية الخزان الجوفي .

- ٥- ترشيد ومراقبة إستخدام المبيدات والأسمدة في المناطق الزراعية .
 - ٦- إتباع أساليب مناسبة للرقابة ، وأخذ العينات ، وتحليل المياه الجوفية ، ومتابعة إرتفاع وهبوط منسوب المياه الجوفية ، وسرعة وإتجاه الدفق ، وتحديد محتوى الندواة ، وعمل المسوحات الجيولوجية ، وعمل التصوير الجوى ، وتحديد الملوثات ، وإستخدامات المياه الجوفية .
- إن إزالة الملوثات للمياه الجوفية يحتاج الى حقبة طويلة من الزمن عبر إنسياب المياه وسيرها لمسافات . وتلعب عدة عوامل دورا رائدا في عملية الإزالة ومن هذه العوامل : الترشيح والإمتصاص والإمتزاز والتفاعلات الكيميائية والكيموحيوية والتخفيف . وتعتمد الإزالة على نوع الملوث ودرجة تركيزه ، والخواص الهيدرولوجية والجيولوجية للمنطقة المعنية . ويعمل الترشيح للتخلص من المواد الصلبة العالقة والحديد والمنغنيز . وتعتمد قوى الإمتصاص والإمتزاز على نوع الملوث والخواص الكيميائية والطبيعية للمحلول والمياه الجوفية وطبقات التربة . ويقوم الطين وأكاسيد وهيدوكسيل 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 . ولا تتكاثر معظم الكائنات الحية الدقيقة في التربة ومن ثم

تضمحل أعدادها طبقاً لنوعها والظروف البيئية المحيطة . كما وأن البكتريا والفيروسات تتحرك ببطء عبر مسامات التربة مقارنة بتحركها عبر الماء . وقد أشارت بعض الأبحاث { ٨ } الى إستخلاص هذه الجراثيم بصورة كبيرة عبر التربة لعمق متر بإفتراض وجود كميات كبيرة من الطين والغرين أو الطمي بالمنطقة .

٣ - ٨ تمارين نظرية وعملية

٣-٨-١ تمارين نظرية :-

- (١) ماذا تعني الخصائص الهيدرولوجية وما فائدتها ؟
- (٢) بم يختص علم الأرصاد الجوي ؟
- (٣) ما الفرق بين الضغط الجزئي للغاز والضغط الجوي ؟
- (٤) أذكر طرق قياس الرطوبة .
- (٥) ما هي العوامل المؤثرة على درجة الحرارة ؟
- (٦) أذكر منطوق قانون بز بالوت . وما فائدته ؟
- (٧) كيف يتكثف بخار الماء في الغلاف الجوي ؟ وما هي النواتج المحتملة لهذا التكثيف ؟
- (٨) ما هي صور السقيط ؟
- (٩) ما هي مصادر الخطأ في تسجيل قراءات الأمطار بإستخدام مقياس المطر ؟
- (١٠) ما الفرق بين تقدير المتوسط الحسابي للمطر وطريقة مضلع ثايسن ؟ أي الطريقتين أفضل ؟ ولماذا ؟
- (١١) ما الفرق بين التبخر والنتح ؟
- (١٢) ما أهمية قياس التبخر في دراسة مصادر إمدادات المياه ؟
- (١٣) ما هي العوامل المؤثرة على معدل التبخر ؟
- (١٤) كيف يتم قياس التبخر ؟
- (١٥) عرف التسرب وما هي طرق قياسه .
- (١٦) عرف دليل فاي وما فائدته لمتخصص علم خصائص المياه ونواميسها (المتخصص في الهيدرولوجي) ؟
- (١٧) أذكر أنواع المياه الجوفية .
- (١٨) كيف يتم إستخراج المياه الجوفية ؟
- (١٩) كيف يمكن قياس الإنسياب السطحي ؟
- (٢٠) ما فائدة منحنى إنسياب الكتلة في الحياة العملية ؟
- (٢١) ما هي مخاطر تلوث المياه الجوفية ؟

(٢٢) أنكر أهم طرق تلوث المياه الجوفية .

(٢٣) كيف يمكن الحد من أو منع تلوث المياه الجوفية ؟

(٢٤) أنكر أنسب الطرق المستخدمة لتنقية المياه الجوفية المحتوية على نفط .

٢-٨-٣ تمارين عملية :-

(١) كتلة من الهواء لها درجة حرارة 25°C ، ورطوبة نسبية ٩٤٪ . أوجد :

أ (ضغط البخار المتشبع .

ب) ضغط البخار الحقيقي .

ج) العجز في التشبع .

د (نقطة الندى . (الإجابة : $23, 75^{\circ}\text{C}$ ، $23, 33^{\circ}\text{C}$ ، $22, 43^{\circ}\text{C}$ ، $1, 43^{\circ}\text{C}$ ملم زئبق ، 24°C) .

(٢) تم قياس سرعة الرياح لإرتفاعين ١٠ و ١٥ متر ، ووجدت القيم ١٢,٧ و ١٣,٤٦ متر/ثانية على الترتيب .

أوجد سرعة الرياح لإرتفاع مترين وثلاثة أمتار (الإجابة : $14, 10, 73, 10$ م/ث) .

(٣) تم الحصول على السجلات التالية في منطقة لقياس الأمطار من المحطات الموجودة :

رقم المحطة	مقدار الأمطار (ملم)
١	١٣, ٢
٢	١٦, ٣
٣	١٤, ٥
٤	١١, ٦
٥	١٥, ٢

أوجد متوسط هطول الأمطار بطريقة المتوسط الحسابي . (الإجابة : $16, 4$ ملم) .

(٤) توجد ٦ محطات لقياس الأمطار في منطقة معينة . ولقد أستخدمت طريقة ثايسن لحساب متوسط الأمطار الهاطلة بالمنطقة ، وأظهر رسم المضلعات النتائج الموضحة في الجدول أدناه :

رقم المحطة (كلم ٢)	متوسط الأمطار (ملم)	مساحة مضلع ثايسن المحيط بالمحطة
١	٣٠, ١	٤٥
٢	٢٨, ٦	٣٦
٣	٣٤, ٢	٤٠
٤	٣١, ٣	٢٧
٥	٢٩, ٧	٣٢
٦	٣٢, ٥	٤١

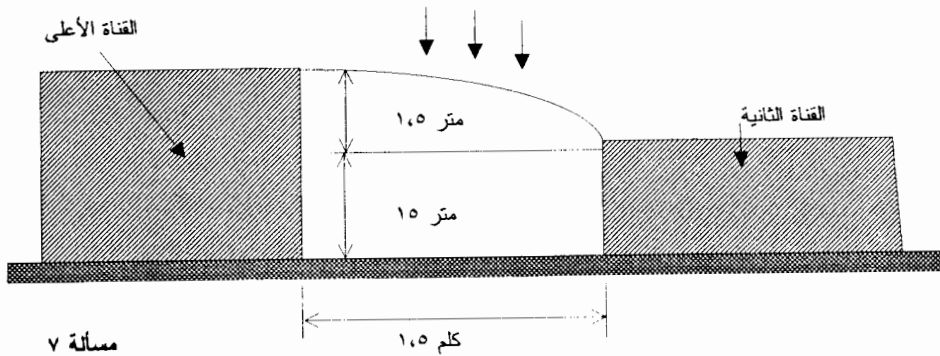
أوجد متوسط الأمطار بالمنطقة باستخدام طريقة ثايسن . وما مقدار الخطأ عند إستخدام طريقة المتوسط الحسابي ؟ ولماذا ؟ (الإجابة : ١٠ ، ٣١ ملم) .

(٥) فقد سجل أمطار أحد الأيام العاصفة من المحطة (د) . وأشارت قراءات السجلات لثلاثة محطات (أ) و (ب) و (ج) محيطة بالمحطة (د) الى ٥٥ و ٤٨ و ٤١ ملم على الترتيب ، ومتوسط السقوط للمحطات (أ) و (ب) و (ج) و (د) هي ٦٦ و ٥٨ و ٤٧ و ٦٤ سم على الترتيب .
أوجد قيمة السقوط للمحطة (د) أثناء الزوبعة المفقود سجلها . (الإجابة : ٥٤ ملم)
(٦) وجدت قيمة المطر الكلي في منطقة معينة أنها تساوي ٤٠ ملم مقسمة على حساب ما موضح أدناه :

الزمن (ساعة)	شدة الأمطار (ملم/ساعة)
صفر	صفر
١	٥
٢	٩
٣	١٦
٤	١٠

أوجد مقدار فاي للمنطقة الجابية لكلا يحدث إنسياب سطحي يقدر بحوالي ٢٠ ملم . (الإجابة : ٥ ملم/ساعة)

(٧) يبين الشكل أدناه خزان ماء جوفي تجاوره قناتين ترتفع إحدهما ١,٥ متر عن القناة الأخرى كما موضح . علما بأن متوسط هطول الأمطار السنوي يعادل ١ متر ، وأن نفاذية الخزان تعادل ١٥ متر على اليوم ، أوجد معدل إنسياب الماء الجوفي من أو الى القناتين .
(الإجابة : ٨٢ ، ١ ، ٢٩ ، ٢٠ م^٣/يوم) .



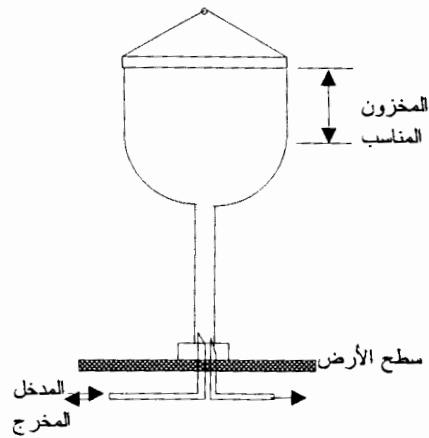
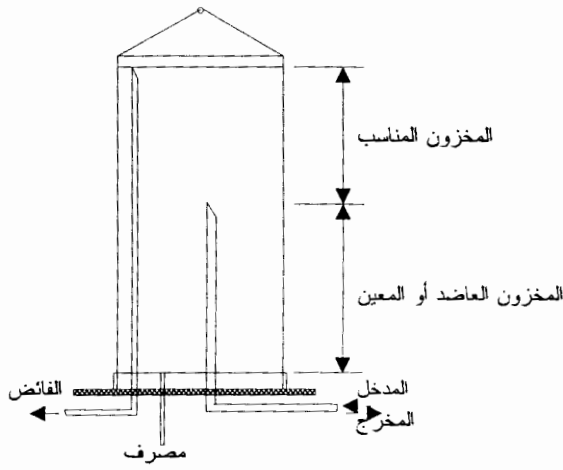
(٨) أوجد مقدار الماء المندفق من بئر قطرها ٣٠ سم تصل الى نهاية حوض ماء جوفي غير محجوز يبعد عن السطح بمقدار ١٤ متر ، ونفاذيته ٢ متر/ساعة . علما بأن مستوى هبوط الماء عند البئر ٢ متر ونصف القطر الذي يتلاشى عنده مستوى هبوط الماء الجوفي ٣٥٠ متر .
(الإجابة : ٧٠٢ لتر/دقيقة) .

(٩) بئر قطرها ٣٠ سم تتعمق حوض ماء جوفي ، وعمق الماء بها ٢٠ متر . وجد أن مستوى هبوط الماء في بئرين للمراقبة يبعدان ٥٠ و ١٠٠ متر من البئر ١,٥ و ٠,٩ متر على الترتيب عندما كان ضخ الماء بمعدل ٢٥٠٠ لتر في الدقيقة . أوجد معامل نفاذية الحوض ومستوى هبوط الماء في البئر بعد الضخ . (الإجابة : ٣٥ متر/يوم ، ٧,٦ متر) .

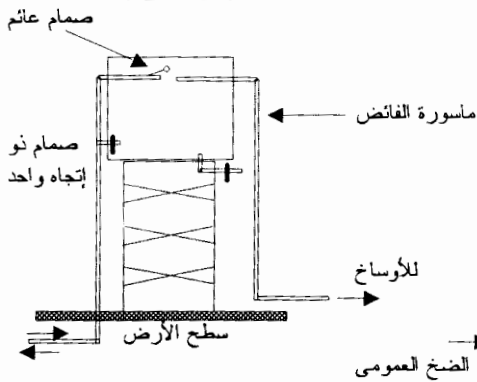
3.9 References

1. Linsely, R. K.; Kohler, M.A. and Paulhus, J.L.H., "Applied Hydrology", Tata McGraw-Hill Pub. Co., New Delhi, 1983.
2. Wilson, E.M., "Engineering Hydrology", Macmillan Education, 4th Ed., London, 1990.
3. Wisler, C. O. and Brater, E. F., "Hydrology," John Wiley and Sons, New York, 2nd Ed., 1959.
4. Raudkivi, A. J., "Hydrology - An advanced Introduction to Hydrological Processes and Modelling", Pergamon Press, Oxford, 1979.
5. Linsley, R.K., Kohler, M.A. and Paulhus, J.L.H., "Hydrology for Engineers", McGraw Hill Book Co., New York, 3rd Ed. 1982.
6. Ven Te Chow, Ed., "Handbook of Applied Hydrology: A Compendium of Water resources Technology", McGraw Hill Book Co., New York, 1964.
7. Hammer, M. J. and MacKichan, K.A., "Hydrology and Quality of Water Resources", John Wiley and sons, New York, 1981.
8. Todd, D. K., "Groundwater Hydrology", 2nd Edi., John Wiley and Sons, New York, 1980.
9. Nathanson, J.A., "Basic Environmental Technology: Water Supply, Waste Disposal, and Pollution Control", John Wiley and Sons, New York, 1986.
10. Viessman, W. and Hammer, M. J., "Water Supply and Pollution Control", 4th Edi., Harper and Row, Publishers, New York, 1985.
11. Viessman, W., Lewis G. L. and Knapp, J. W., "Introduction to Hydrology" 3rd Edi., Harper and Row, Publishers, New York, 1989.

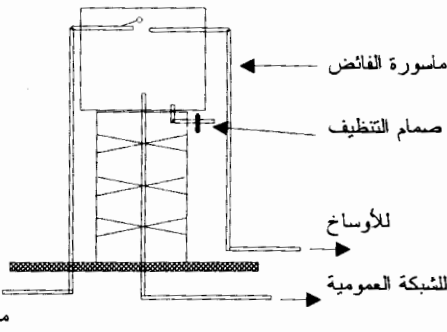
3 - 1



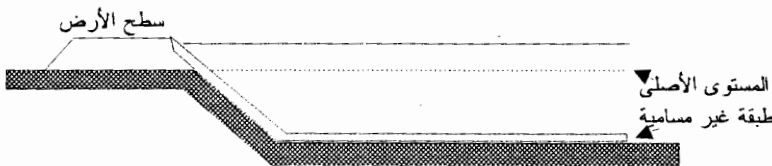
ب - ماسورة قائمة



أ - خزان عالي



ج - خزانات عالية



د - خزان مفتوح

شكل (١) بعض أنواع خزانات الماء {٢٨، ٢٧، ٧، ٢، ٠}

الفصل الرابع

تخزين المياه وتوزيعها

٤ - ١ مقدمة

عند إكمال تنقية المياه والتأكد من سلامتها وخلوها مما يضر بالصحة العامة ، ومواكبتها للتشريعات والمعايير والخطوط التوجيهية المتعلقة بأنماط الاستهلاك المختلفة ، ينبغي التفكير فى حفظها لحين الاحتياج لها أو ريثما يتم توزيعها. ومن الواجب العمل على حفظ وخرن الماء بطرق جيدة تمنع عنه التلوث، وتحافظ على درجة نقائه، وتساعد على سهولة ضخه لجمهور المستهلكين، كما وتساعد على ضمان مد المستهلكين بالكميات المطلوبة من الماء .

٤ - ٢ تخزين المياه (أنظر شكل ١)

من الأهداف المنشودة لتخزين المياه قبل وبعد التنقية ما يلى :

- الإمداد المنتظم والثابت للمياه .
- المحافظة على إستمرار الإمداد للمستهلك .
- موازنة الدفق .
- تحسين نوع الماء .
- مواكبة التغييرات فى العرض والطلب للمياه .
- التحكم فى الفيضان .
- توليد الطاقة المائية .
- رى المحاصيل فى المشاريع الزراعية المروية .
- مكافحة الحريق حال حدوثه .
- إمداد المياه لتفى بالأنماط والأغراض الإستهلاكية المختلفة .
- الترفيه والسياحة والإستجمام .
- مكافحة التلوث .
- للإتيان بالكميات المطلوبة فى حالة الطوارئ والحوادث .

ويمكن تقسيم الخزانات بصورة عامة الى قسمين رئيسيين :

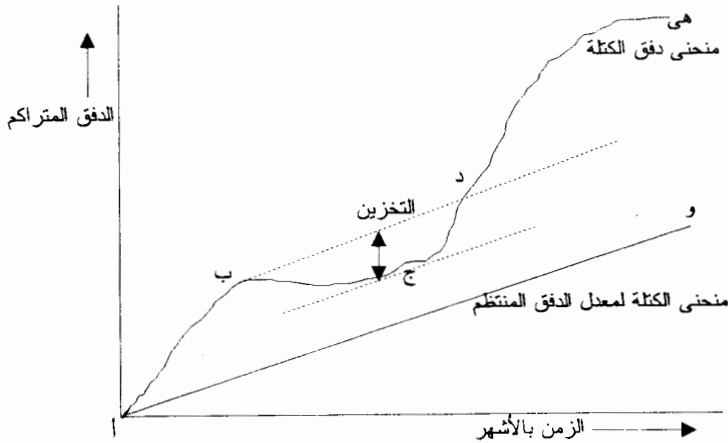
(أ) مستودع التخزين (مستودع حفظ ، إمداد مباشر Impounding reservoir) :

يعمل مستودع التخزين على حفظ الماء الزائد عن الحاجة من مصدر طبيعى ، ويتم التخزين خلال الدفق العالى ليتسنى إستخدام الماء أثناء موسم الجفاف حين يقل الدفق. ويتم التخزين فى مدة تتراوح بين بضع أيام وعدة أشهر أو أكثر { ١ } .

ب) خزانات توزيع (مستودعات خدمية) :

وتقوم هذه المستودعات بتخزين المياه لتواكب الطلب المتغير لمدى يوم أو بضعة أيام . وتقوم هذه الخزانات بإمداد المياه بمعدل ثابت. كما وتعمل خزانات التوزيع (صهاريج التخزين أو الخزانات العلوية) على معادلة المخزون، كما وتقوم بالإمداد اللازم حين الطوارئ، مثلا لمكافحة الحريق أو عند الأعطاب التي تصيب محطات الطاقة، كما وتساعد في تقليل الأحجام والمقاسات المطلوبة من الأنابيب ومحطات المعالجة. وعادة يؤخذ حجم الماء المطلوب لمعادلة أقصى دفق في الساعة، مساوية ٢٠ بالمائة من الدفق اليومي المطلوب للمنطقة {٢} .

ويحسب حجم التخزين بواسطة الطرق القياسية، أو بواسطة الطرق البيانية. وتعنى الطرق القياسية: تلك النظم العددية لتحليل السجلات السابقة للمجرى المائي طيلة فترات التحاريق. أما الطرق البيانية أو منحنيات الكتلة (طريقة ربل Rippl mass curve)، فتقوم بتقويم العجز التراكمى بين الدفق الداخل والدفق الخارج، كما وتقوم باختيار أقصى قيم مطلوبة للتخزين {٣، ٤} . ويمكن تعريف منحنى دفق الكتلة بأنه عبارة عن رسم بياني للقيم التراكمية لمقدار هايدروليجى (مثل الدفق السطحي أو غيره من الدفق) بالنسبة الى الزمن أو البيانات. ويستخدم منحنى دفق الكتلة لمعرفة أثر التخزين في أسلوب إنسياب الماء في المجرى المائي، ولتقدير الدفق المنتظم. ويمكن تحديد سعة الخزان (المطلوبة للمحافظة على الدفق المنتظم في المجرى المائي) من منحنى دفق الكتلة (انظر شكل ٢). وكما موضح بالشكل (٢) يمثل الخط المستقيم ما يسمى بخط السحب Draft line، والذي يرسم مماسا لنقطة تمثل بداية الزمن الحرج على منحنى دفق الكتلة، ويمثل ميل خط السحب الدفق المنتظم المنتظم. ويمكن تقدير السعة التخزينية اللازمة لمواكبة الطلب الثابت بأقصى مسافة عمودية بين خط السحب والمنحنى. وعندما يقطع خط السحب المنحنى مرة أخرى فإن الخزان يكون ممتلئا مرة أخرى، مما يمثل زيادة في المخزون مقارنة بالطلب، وربما نجم عن هذا الوضع طفح الخزان .



شكل (٢) منحنى دفق الكتلة، رسم ربل {٣، ٤}

ومن العوامل المؤثرة على تخزين المياه : نظم التصميم المتبعة ، والظروف الجغرافية والجيولوجية ، وطبغرافية المنطقة ، والمناخ السائد ، ومعدل دفق الماء فى المجرى المائى ، ومعدل الإستهلاك ، ونوع الماء .

ويمكن تلخيص المعلومات الهامة المعطاة من منحنى دفق الكتلة فى النقاط التالية { ٤ ، ٥ } :

- من النقطة (أ) الى النقطة (ب) (فى الشكل ٢) يزيد معدل الدفق الداخلى عن معدل الإستهلاك، ويكون الخزان ممتلئاً وفائضاً.
- على النقطة (ب) يساوى معدل الدفق الداخلى معدل الإستخدام ، ويكون الخزان ممتلئاً غير أنه لا يطفح.
- من النقطة (ب) الى النقطة (ج) يربو معدل الإستهلاك عن معدل الدفق الداخلى ، كما وأن النضوب فى التخزين (أو نقصان التخزين) يزداد .
- على النقطة (ج) يساوى معدل الإستخدام معدل الدفق الداخلى، ويكون نضوب الخزان فى أوجه .
- من النقطة (ج) الى النقطة (د) يربو معدل الدفق الداخلى على معدل الإستهلاك ، ويتناقص النضوب فى الخزان .
- على النقطة (د) يكون الخزان ممتلئاً مرة أخرى .
- من النقطة (د) الى النقطة (هـ) تتماثل هذه الحالة مع تلك من النقطة (أ) الى النقطة (ب) على المنحنى .
- أكبر قيمة عمودية بين (ب د) و (ب ج د) والتي تحدث على النقطة (ج) تعبر عن قيمة التخزين المطلوب للحصول على معدل الإستهلاك أثناء فترة التحاريق من النقطة (ب) الى النقطة (ج) .

مثال ١ :

يقوم مستودع مائى بإمداد معدل دفق منتظم يساوى ٢,٥ متر مكعباً على الثانية ، مستخدماً كميات المياه المجمعة من منطقة جابية معينة . أظهرت سجلات دفق النهر الشهرية البيانات التالية مقدرة بالمتر المكعب :

الشهر	حجم الماء (مليون متر مكعب)
يناير	٣
فبراير	٢٨
مارس	٤
أبريل	٣
مايو	٧
يونيو	١٢
يوليو	٢٨
أغسطس	٢٦
سبتمبر	١١
أكتوبر	٧
نوفمبر	٥
ديسمبر	٣

يفترض أن الإستهلاك منتظم ولا يوجد فقدان للمياه ، أوجد مقدار التخزين اللازم لمواكبة الإستهلاك المنتظم .

الحل :

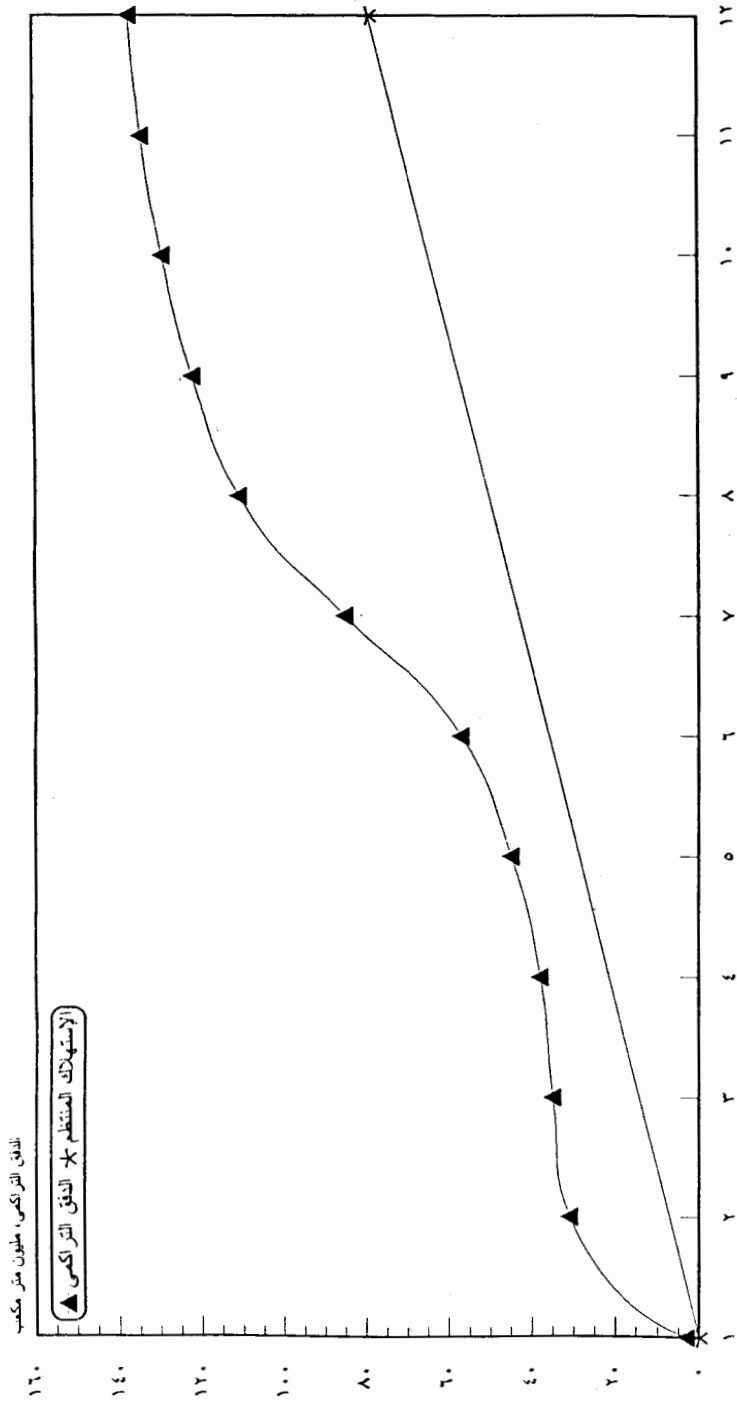
١- المعطيات: الإستهلاك المنتظم ٢,٥ م^٣/ث ، وبيانات المياه الشهرية .

٢- أوجد الدفع التراكمى الكلى كما موضح فى الجدول أدناه :

الشهر	الدفع الشهرى	الدفع التراكمى
يناير	٣	٣
فبراير	٢٨	٣١
مارس	٤	٣٥
أبريل	٣	٣٨
مايو	٧	٤٥
يونيو	١٢	٥٧
يوليو	٢٨	٨٥
أغسطس	٢٦	١١١
سبتمبر	١١	١٢٢
أكتوبر	٧	١٢٩
نوفمبر	٥	١٣٤
ديسمبر	٣	١٣٧

٣- إرسم منحنى دفع الكتلة للبيانات المتحصل عليها فى الخطوة ٢ أعلاه برسم قيم الدفع التراكمى

منحنى دفع الكتلة للمثال ١



كمتغير بالنسبة للشهور .

٤- أوجد قيمة معدل الإستهلاك المنتظم السنوى (لشهر ديسمبر)

$$= ٢,٥ (م/٣) \times ٣٦٠٠ (ث/ساعة) \times ٢٤ (ساعة/يوم) \times ٣٦٥ (يوم/سنة) \\ = ٦١٠ \times ٧٨,٨ م/٣ سنة .$$

٥- إرسم خط السحب المنتظم من نقطة الأصل الى النقطة (و) على منحني دفع الكتلة .

إرسم خطا موازيا لخط السحب من النقطة التي يكون فيها الخزان ممتلئا ، ثم أوجد قيمة أقل تخزين مطلوب للمستودع لمواكبة الإستهلاك = $١٠ \times ٦١٠ م^٣$.

٤ - ٣ توزيع المياه

هذه المرحلة تمثل نهاية المطاف لقصة إستخراج الماء من المصدر، وتنقيته، وحفظه. وعن طريق الأسلوب الهندسى الجيد يتم نقل وتوزيع المياه لجمهور المستهلكين . وينبغى العمل على المحافظة على سلامة ونوع وجودة المياه أثناء نقلها ، كما وينبغى مراعاة النواحي الإقتصادية ، والإجتماعية ، والثقافية عند تصميم الأنماط المختلفة لنقل وتوزيع المياه . وتختلف الطرق المتبعة للتوزيع طبقا للمناطق الحضرية والريفية .

ومن الطرق المتبعة لنقل الماء :

- إستخدام السيارات أو الأشخاص أو الحيوانات لنقل الماء .
- ضخ المياه من مناطق التخزين والمستودعات الى مناطق الإستهلاك .
- الإنسياب تحت قوى الجاذبية الأرضية .

أما الأسلوب الأول والمتبع فى الكثير من المناطق الريفية وبعض المناطق الحضرية فى كثير من الدول النامية ، فهو من أكثر الطرق عدم كفاءة لأسباب مختلفة ومتداخلة ، منها: تكلفة الترحيل أو تشغيل وصيانة الآليات ، ومتطلبات القوى العاملة الكبيرة، والكميات القليلة من المياه التى يمكن الإيفاء بها فى فترة زمنية محددة، وإحتمال تلوث الماء بطرق مختلفة أثناء التعبئة والترحيل والتفريغ .

يلجأ الى ضخ الماء عند الضرورة ولا بد من العمل على إستخدام مضخات جيدة الصنع وممتازة الأداء ، وتوفير قطع الغيار، وتوفير العمالة الفنية المطلوبة للصيانة والإصلاح، وتوفير الوقود اللازم . أما سريان الماء تحت قوى الجاذبية الأرضية فيعتبر من أرخص السبل لاسيما ولا يحتاج فى أدائه إلى طاقة إضافية ، وتسهل عمليات الصيانة والتشغيل به مما لا يحتاج معه إلى توظيف قوة فنية ماهرة مدربة، الشيء الذي يقلل من تكاليف التشغيل .

وتتم المفاضلة بين هذه الأنواع المختلفة بناء على تكاليف الإنشاء والتشييد، والتشغيل، والصيانة، وخواص الماء ، والكميات المطلوبة من المياه مقارنة بالمتاح من المصادر المختلفة، والنواحي الفنية

والاجتماعية بالمنطقة .

ومن العوامل المؤثرة على أنماط توزيع المياه { ٦ } :

(أ) طرق الاستهلاك من ناحية الكم والكيف والنوع .

(ب) تعريف الماء .

(ج) المواد المطلوبة للإنشاء والتشييد والإصلاح والترميم والصيانة الدورية .

(د) وجود الثقافة الملائمة محليا .

(هـ) المشاركة الجماهيرية والتثقيف الصحي .

(ز) إمكانية وسهولة التحديث .

٤ - ٣ - ١ توزيع المياه للمناطق الريفية :

يتم توزيع المياه عبر شبكات للمياه، أو بواسطة طرق أخرى مختلفة، تقوم بتوصيل المياه للمستهلك وتضمن صلاحية الماء للاستعمال المعين، وعدم تعرض الماء للملوثات الكيميائية والطبيعية والحيوية. ولتحقيق هذه الأهداف ينبغي أن يتم التوزيع بطرق اقتصادية مستخدمة الأطر الهندسية الملائمة، مع توخي مشاركة المواطنين وتثقيفهم ومراعاة النواحي الثقافية والحضارية ، والتقاليد والعرف السائد .

هنالك العديد من الطرق لتوزيع وتوصيل الماء للمستهلك فى المناطق الريفية. وينبغي النظر الى هذه الطرق على أساس أنها تمثل مرحلة إنتقالية مؤقتة، الى حين الحصول على البدائل المناسبة، التى تؤدى لتحقيق منفعة صحية وإجتماعية لتسهيل الحياة المعيشية للفرد خاصة الأطفال والنساء إذ يقع عليهم عبء جلب الماء وتوفيره بالمنزل . ومن الطرق المتبعة فى هذا الصدد :

٤ - ٣ - ١ - ١ حنفيات المياه العامة :

وتستخدم حنفيات المياه العامة كمرحلة إنتقالية يتم بعدها توصيل المياه لكل دار. غير أن هذه الطريقة ستستمر (ولعدد كبير من سكان القرى) كأحسن الطرق المتاحة نسبة لعوامل عديدة منها :

- فداحة تكلفة التوصيل المنزلى نسبة لتشتت المنازل فى القرى والداكر وبعدها عن بعضها البعض ،
- ولعدم وجود تخطيط دائم وواضح للطرق، والممرات، والحوارى .
- صعوبة تطبيق التقانات التكنولوجية فى الريف .
- صعوبة الحصول على الوقود اللازم مثلا للمضخات .
- عدم وجود قطع الغيار المطلوبة فى حالات العطب والخلل والطوارئ .
- عدم وجود الكوادر المؤهلة اللازمة للقيام بأعمال الصيانة والترميم .
- صعوبة بناء مصارف لمياه الصرف .

وعليه لا بد من مراعاة تصميم وإنشاء حنفية المياه العامة بصورة ممتازة مع مراعاة العوامل الاقتصادية والاجتماعية والثقافية والتكنولوجية. ولا بد أن توضع الحنفيات على بعد مناسب من المنازل والجمهور المستهلك. ويجب أن يعمل على حماية الحنفيات من حركة مرور السيارات وعبث العابثين، ويستحسن ألا تتعدى هذه المسافة ٢٠٠ مترا {٧، ٨، ٩}. وفي حالة تبعد المنازل في المناطق الريفية يمكن أن تؤخذ مسافة ٥٠٠ متر كحد أقصى، وتكون كمية المياه الممكن الحصول عليها من الحنفية العامة في حدود ٢٠ لتر من الماء في الدقيقة. ويستحسن ألا يتعدى عدد المستهلكين المستخدمين لكل حنفية واحدة ٤٠ الى ٧٠ فردا. وفي حالة تعدد الحنفيات في منطقة ما يمكن أن يصل عدد المستهلكين من ٢٥٠ الى ٣٠٠ فردا. ولا ينبغي أن يتعدى الرقم ٥٠٠ مستهلكا بأى حال من الأحوال لتفادى تكوين صفوف الماء الطويلة، وضياح الزمن، وإزدياد احتمالات التلوث خاصة من الأطفال، وتفادى المشاكل التى تحدث من جراء احتكاك الناس مع بعضهم البعض في منطقة واحدة، أو فوضى الإنتهازيين والعابثين .

- ومن مفهوم الهندسة الصحية يجب العمل على تحقيق النقاط المدرجة أدناه {٧} :
- * أن تكون حنفيات المياه متينة الصنع والتشييد، وسهلة التشغيل خاصة للأطفال .
 - * أن يوجد حول الحنفيات نظام جيد لتصريف الماء المراق والمهدور .
 - * أن يوجد بالقرب من الحنفيات منطقة ملائمة لوضع الآنية التى تؤخذ فيها المياه .
 - * يمكن الاستفادة من الماء المراق حول الحنفيات للزراعة أو لسقى الحيوانات أو لتربية الأسماك .
 - * يجب أن تكون المنطقة محمية من سوء الإستعمال (تعليق الإناء على الحنفية مثلا)، أو الحوادث .
 - * يجب ألا تتعدى المسافة بين الحنفية وقمة الإناء ٥٠ سم لتفادى هدر المياه .
 - * يجب أن يكون بالمنطقة صمام ضمان محمى .
 - * يستحسن أن يكون بها عداد لمعرفة الماء المستهلك والمهدور، والاستفادة من هذه المعلومات فى المنشآت المستقبلية، أو لزيادة عدد حنفيات المياه العامة، أو لتحديد تعريفة الماء .
 - * أن يكون ضغط الماء مناسباً .
 - * يستحسن إستخدام حنفيات مصنعة من مواد يسهل تواجدها محليا، بغية القيام بعمليات الإصلاح والترميم، وأن تكون الحنفيات قوية لتحتمل سوء الإستعمال، ولتعيش أطول فترة زمنية ممكنة .
 - * لا بد من وجود الفنى أو العامل الماهر الذى يمكنه القيام بعمليات الإصلاح والترميم .
 - * يجب أن تبعد الحنفيات عن مخاطر التلوث الإنسانى أو الحيوانى أو غيره .
 - * يمكن إستعمال الحنفيات بواسطة كل الفئات المستهلكة دونما عنصرية، أو تمييز دينى، أو ثقافى، أو حضارى، أو عرقى، أو غيرها .

٤-٣-١-٢ توصيلات الحوش :

فى هذا النظام يتم توصيل الماء لكل مستهلك فى منزله، مع مراعاة عدم السماح بالقيام بأى توصيلات مثلا للحمام وأحواض الغسيل والمطبخ وغيرها. ويمكن أن تكون المواسير المستخدمة من البلاستيك (كلوريد البوليفينيل أو البوليثلين)، أو من الحديد الزهر، أو من الحديد المجلفن .

يمكن توصيل الماء المطلوب للمستهلكين بواسطة الإنسياب الذاتى عبر مواسير ماء ملائمة عند وجود نبع فى منطقة عالية مقارنة بارتفاع المنازل المحيطة. ولكن فى معظم المناطق تستخدم المضخات لضخ الماء من المصادر المائية (مثل الآبار، أو البرك، أو الأنهار، أو الخيران، أو غيرها). وتحتاج كل سبل الضخ هذه الى طاقة آلية (مثل مضخات المياه)، أو بشرية (مثل رفع الإناء، أو تشغيل مضخة يدوية، أو شادوف)، أو حيوانية (مثل الساقية)، أو هوائية (مثل المضخات التى تستخدم طاقة الرياح)، أو الطاقة الشمسية {٧} .

وعند إختيار المضخات لا بد أن تكون المضخة {٧} :

- ذات كفاءة وفعالية تناسب الإستهلاك .
- ذات إستمرارية طويلة الأمد .
- بعيدة عن المشاكل وجلب المخاطر .
- مصممة بطرق هندسية صحية جيدة .
- رخيصة الثمن .
- يمكن أن يقوم الأهالى بعمليات الإصلاح والترميم دونما الحاجة الى فنى ماهر .
- سهولة التشغيل والإستخدام .
- مقبولة من قبل المستهلكين ، خاصة النساء والأطفال .
- يمكن أن تصمم محليا بالإستفادة من الخبرات والمؤهلات والكوادر والمواد المتوفرة محليا .
- لا تحتاج الى بذل طاقة كبيرة للتشغيل (تزايد ضربات القلب وسرعة التنفس تعنى صعوبة التشغيل).

ومن المعروف أن مضخات المياه لا تعمل بكفاءة كبيرة ما لم تكن هناك مراقبة جيدة، وإصلاح وترميم كافيين. أما العمل غير الجيد للمضخة ربما كان من جراء :

- ضعف نوع المضخة .
- عدم جودة صنع وإنتاج المضخة .
- عدم معرفة طرق الإستعمال الصحيحة، وطريقة الترميم والإصلاح والصيانة .
- تعرض المضخة لمخاطر الطقس من رياح وأمطار ورطوبة وغيرها .
- عدم إستمرار وجود مواد التشحيم وقطع الغيار .
- تعدد أنواع المضخات والنماذج مما يعوق تبادل قطع الغيار .

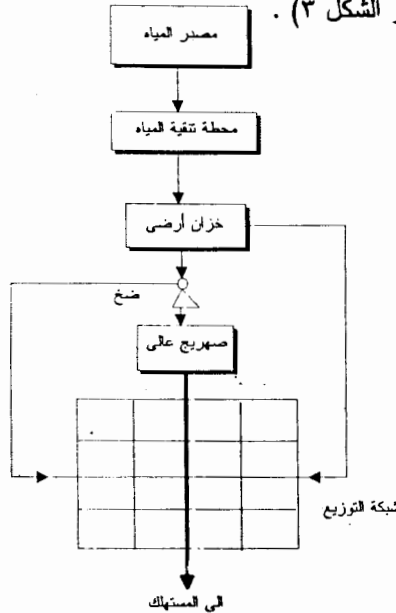
- انخفاض مستوى الماء فى البئر بعيدا عن المضخة .
- عدم متابعة عمل المضخات وعدم تحليل أسباب العطب وعدم غياب الإستخدام الأمثل للسجلات للمتابعة .

عادة تعتمد تكلفة شبكات التوزيع بدرجة كبرى على طول المواسير وبدرجة أقل على قطر المواسير، وعليه فمن الأفضل تصميم الشبكات حتى لا تسمح بمرور كمية كبيرة من الماء لتسهيل التحول إلى طرق ونظم توزيع أفضل دون ممارسة زيادة كبيرة فى التكلفة ربما عجز السكان عن الإيفاء بها .

هذا ومن الملاحظ أن ساكني الريف في ربوع أرجاء المناطق النامية يدفعون مبالغ طائلة للحصول على ماء غير مأمون من النواحي الصحية، هذا بالإضافة الى المشقة والعناء المعاش في جلب الماء والمحافظة عليه. أضف إلى ذلك سوء الإستخدام وعدم توخي النواحي الصحية الشئ الذي ينبغي معه توعية المواطنين وتبصيرهم بالمخاطر التي تهدد حياتهم وتثقيفهم صحيا. وعند مقارنة هؤلاء برصفاتهم في المدن الذين يستعملون ماء مأمون من النواحي الصحية، وفي بكل الكميات المطلوبة، وفي تناول الأيدي، نجد أن قاطنى المدن يدفعون أقل كثيرا مما يدفعه ساكن الريف {٧} .

٤ - ٣ - ٢ توزيع المياه للمناطق الحضرية (المدن)

عادة تخزن المياه النقية في خزان أو مستودع أرضي ومن ثم تضخ منه إلى خزان علوي لتتساب منه المياه الى شبكة التوزيع بالمدين (انظر الشكل ٣) .



شكل (٣) توزيع المياه للإستهلاك {٧}

٤-٣-٢-١ ضخ الماء إلى الخزان العلوي

ولضخ الماء إلى الخزان العلوي تستخدم مضخات ذات ضغط عالي يمكنها من رفع الماء، ويستحسن على الأقل إستعمال مضختين لتفادي مشاكل الأعطاب وتوقف تدفق المياه عند حدوثها .

أما بالنسبة إلى كيفية تشييد الخزان العلوي فيمكن أن يستخدم الخزان المعدني (مصنع من الحديد الصلب) أو الخزان الخرساني ويمكن أن يبطن من الداخل بمادة عازلة وخاملة كيميائيا وذلك لحماية المستهلكين من أية مضار صحية. يمكن أن يشيد الخزان على قوائم كما هو الحال للمدن المنبسطة، أو يوضع في منطقة شاهقة في المدن المنخفضة المستوى مقارنة بما جاورها .

تحدد سعة الخزان العلوي أو تحسب طبقا لمتطلبات إستهلاك المدينة ، إذ كلما كثر الإستهلاك كلما قلت مدة التخزين والتي تتراوح عادة بين ٢ إلى ١٥ ساعة .

عادة تعمل بالخزان فتحات تسمح بدخول وخروج المياه النقية، وخروج الصرف، كما وتعمل فتحة للتهوية، وأخرى لتفريغ الخزان . ومن المستحسن أن يكون بالخزان مؤشر يدل على كمية المياه به، وتتم قراءة المؤشر في الموقع أو تتم أليا في المحطة المتحكمة في التوزيع المركزي .

أما إذا كان حجم الإستهلاك كبيرا جدا ويوجد إختلاف شاسع بين معدلات الإستهلاك (الأقصى والأدنى والمتوسط) فيلجأ إلى مساعدة خزان التخزين العلوي (للإبقاء بمتطلبات الإستهلاك عند أقصى إستهلاك) بضخ المياه مباشرة في الشبكة من غير المرور على الخزان. ومن الأهمية بمكان عمل الصيانة الدورية ومتابعة أداء الخزان ونظافته وتطهيره، وذلك لأنه في حالة حدوث تلوث للمياه عن طريق الخزان (تغير في خواص الماء أو نمو بكتيريا ضارة) قد يؤدي إلى عواقب صحية وخيمة تنتشر على مستوى المدينة .

٤-٣-٢-٢ شبكة التوزيع (أنظر الشكل ٤)

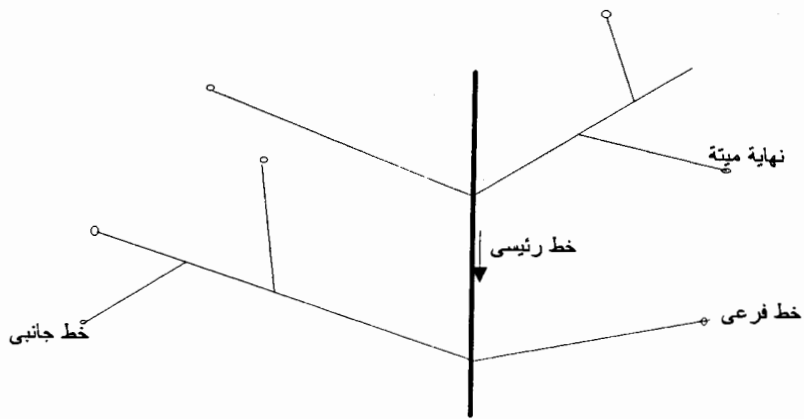
الأنماط المستخدمة لتوزيع المياه في شبكات التوزيع عبارة عن شبكات من الأنابيب في شبكات من الطرق المارة فيها . وتصمم الشبكة لتخدم كل القطاعات: من أفراد ، ومناطق تجارية وصناعية ، وغيرها من الأماكن العامة .

ويعتمد نوع الدفق وخواصه على عوامل عديدة منها: تخطيط الشوارع والطرق، وطبغرافية وجيولوجية منطقة الشبكة، وموقع الشبكة، ونوع الخزانات والمستودعات .

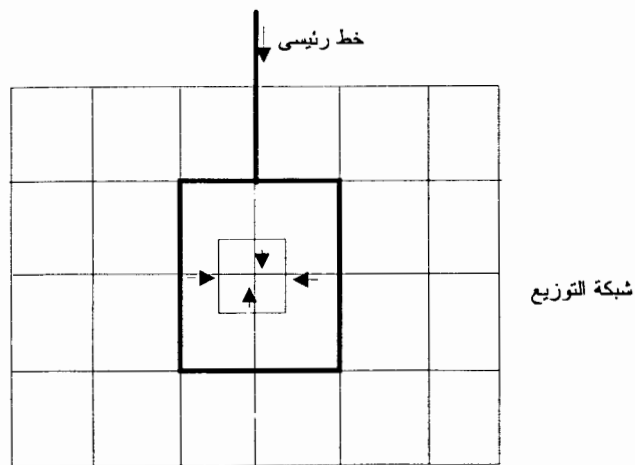
عند إنباب المياه تحت ضغط معقول من الخزان العلوي أو عن طريق الضخ المباشر، أو الإثنين معا، فإنها تسرى من خلال خط التوزيع الرئيسي (الماسورة الرئيسية) إلى الخطوط الفرعية داخل الشبكة ومن ثم إلى نقاط الإستهلاك. وهناك أكثر من نوع من الشبكات الموزعة لمياه المدن تقسم طبقا للشكل ومبادئ التصميم . ومن أهم هذه الأنواع: النوع الشجري والنوع الدائري .

(أ) النوع الشجري Branching pattern with dead ends : (أنظر شكل ٥)

في هذا النوع من التوزيع تمر المياه من خلال الخط الرئيسي الذي يماثل جذع شجرة، وتتفرع منه خطوط المياه الجانبية، ثم تتفرع التوصيلات المنزلية. ومن محاسن النظام الشجري بساطة التوزيع.



شكل (٥) التوزيع الشجري



شكل (٤) التوزيع عن طريق شبكة المياه {٢٨٠٧٠}

وبساطة تصميم شبكة الأنابيب، والإستخدام الإقتصادي لأطوال الأنابيب، وقلة التكلفة والإنشاء، وإنسياب المياه فى نفس الإتجاه ربما يسمح بوجود ماسورة واحدة لتغذية منطقة ما. أما مساوئ النظام فتتضمن تراكم المترسبات (حيث أن الخطوط تنتهي بنهايات ميتة (Dead ends) مما يعرض الماء للتأسن ونمو البكتريا)، وتوالد الروائح الكريهة، والمذاق غير الجيد (لغياب النظافة المنتظمة)، وزيادة العكارة. كما وأن حدوث أي خلل أو إخضاع أي جزء من الشبكة للصيانة، فإن المناطق التي تليه تحرم من المياه وذلك لأن المياه تسير في إتجاه واحد، هذا بالإضافة الى حدوث ضغط غير كاف خاصة عند إمتداد نظام الخدمة لتغطية مناطق جديدة .

(ب) النوع المتصل أو الدائري (Circular or grit system) :

في هذا النوع من شبكات التوزيع تكون الشبكة أشبه بحلقة متصلة، حيث أنه لأية نقطة إستهلاك تتدفق المياه من أكثر من إتجاه، طبقا لتوزيع الضغط عامة بالشبكة. و حدوث أي عطب في أى نقطة بالشبكة لا يتسبب في إنقطاع إمداد المياه للنقاط التي تلي هذه النقطة (الشئ الذي قد يحدث في التوزيع الشجري) كما ولا يوجد في هذا النوع من شبكات التوزيع نهايات ميتة (dead ends). ويقوم هذا النوع من التوزيع بخدمة مناطق لها إحتياجات مائية كبيرة، وتستخدم أقطارا أكبر من الأنابيب .

ومن محاسن هذا النوع من التوزيع ما يلى

- سهولة حركة الماء فى أكثر من إتجاه .
- الإحتمال القليل لحدوث ركود مقارنة بالنظام الشجرى .
- الإنسياب المستمر للماء خاصة عند حدوث الأعطاب أو عند إجراء الصيانة الدورية .
- لا توجد مشاكل على الإستهلاك وتغيراته .

تؤخذ سرعة تدفق المياه بالشبكة في حدود المتر في الثانية، ويعتمد الضغط على تصميم الشبكة ونوع التغذية (ما إذا كانت لمباني ذات طابق واحد أو أكثر)، ويمكن حساب الضغط الواجب توفره فى كل خط بمعرفة فقد السمات في الشبكة والضغط المطلوب في أعلى بناية تخدمها الشبكة .

عند تصميم الشبكة يستحسن تجنب النهايات الميتة، وأن يكون في الشبكة العدد المعقول من المحابس لتأكيد التشغيل بطريقة مرنة. وكما يجب أن يكون بالشبكة فى المناطق العالية صمامات لطرد الهواء وفي الأماكن المنخفضة صمامات لتفريغ الشبكة من المياه. ويمكن أن تستغل النهايات الميتة لنقاط المياه لأغراض إطفاء الحريق مثلا .

وعند إنشاء شبكة جديدة للتوزيع يجب التأكد من سلامتها من حيث الأداء والنواحي الصحية. أي يجب إختيارها مبدئيا من حيث التسرب وحجمه وبعد ذلك تطهيرها بواسطة محلول مادة مطهرة فعالة، مثل

الكور أو بدرة التبييض ويستحسن أن يكون تركيز المحلول في حدود ٥٠ ملجم/لتر لمدة معينة من الزمن. كذلك يجب تطهير أى أجزاء من الشبكة خضعت لأى عملية صيانة أو إصلاح أو ترميم .

٤ - ٤ الدفق عبر أنابيب المياه

ينساب الماء عبر كل مساحة مقطع أنبوب المياه ، وتوجد أنواع مختلفة من الانسياب مثل :

(أ) الدفق المضطرب Turbulent flow : وفى هذا النوع من الدفق يتحرك المائع فى مسارات غير منتظمة منتجة تبادل دفع بين أجزائه. ويقوم الدفق المضطرب بإيجاد قوى قص كبيرة عبر كل المائع، كما ويحدث فاقد لا معكوس .

(ب) الدفق الصفحي (أو الطبقي أو الرقائقي) Laminar flow : وفى هذا النوع من الدفق تنساب جزيئات المائع عبر ملاء فى شكل صفائح (laminas) أو طبقات أو رقائق تنزلق كل طبقة بسهولة فوق الطبقة المجاورة. (أنظر شكل ٦) لسلوك صبغة وضعت فى مسار مائع فى أنبوب .

(ج) الدفق للمائع المثالي Ideal flow : يتم الدفق لمائع ليس به قوى احتكاك وغير منضغط Incompressible. والمائع عديم الاحتكاك غير لزج ويمكن عكس عمليات تدفقه .

(د) الدفق الكاظم للحرارة أو الدفق الإديباتي diabatic flow : وفى هذا النوع من الدفق يتم نقل الحرارة من وإلى المائع .

(هـ) الدفق المستقر Steady flow : (أنظر شكل ٧). وفى هذا النوع من الانسياب لا تتغير حالة المائع على أى نقطة فى المائع بالنسبة للزمن، أى أن الانسياب لا يحدث فيه تغير للكثافة، أو الضغط، أو الحرارة بالنسبة للزمن كما موضح فى المعادلة ١ .

$$(١) \quad \partial \rho / \partial t = 0, \quad \partial P / \partial t = 0, \quad \partial T / \partial t = 0$$

حيث :

$$\rho = \text{الكثافة (كجم/م}^3\text{)} .$$

$$t = \text{الزمن (ث)} .$$

$$P = \text{الضغط (باسكال)} .$$

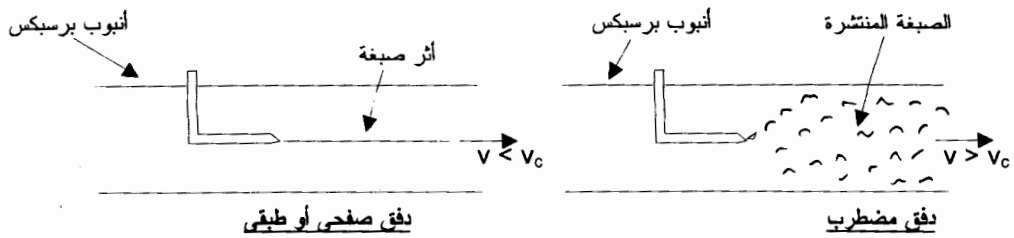
$$T = \text{درجة الحرارة (كلفن)} .$$

(و) الانسياب غير المستقر Unsteady flow : (أنظر شكل ٧). وفى هذا النوع من الدفق تتغير الخواص فى أى نقطة فى المائع بتغير الزمن .

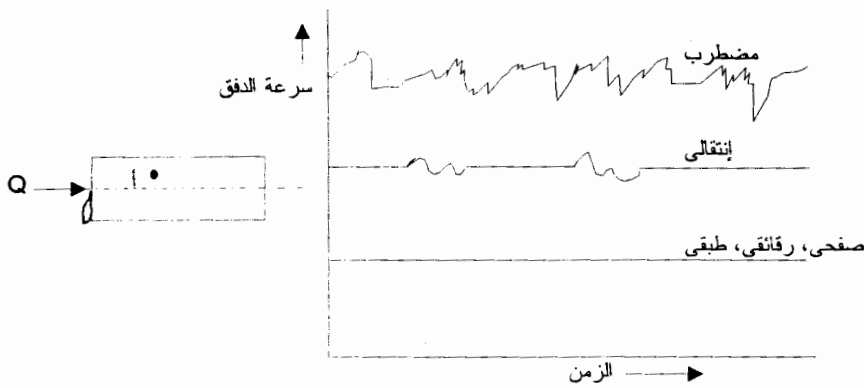
(ز) الانسياب المنتظم Uniform flow : وفى هذا النوع من الانسياب فإن موجه السرعة على أى نقطة فى المائع يكون متطابق فى المقدار والاتجاه فى أى زمن كما موضح فى المعادلة ٢ .

$$(٢) \quad \partial v / \partial s = 0$$

حيث :

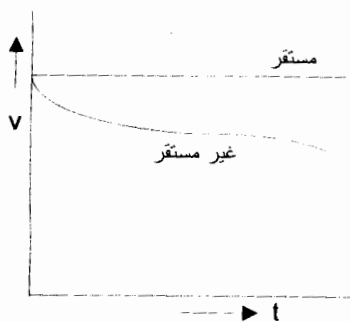


شكل ٦-١ مسار وسلوك الصبغة في أنبوب {١٠}

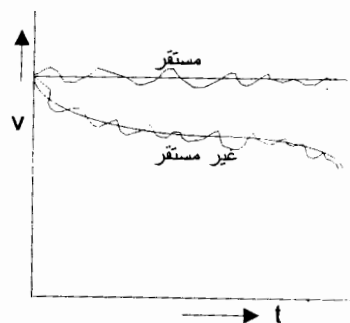


شكل ٦-٢ تغير سرعة الدفق مع الزمن {١٢}

شكل ٦ أنواع الدفق

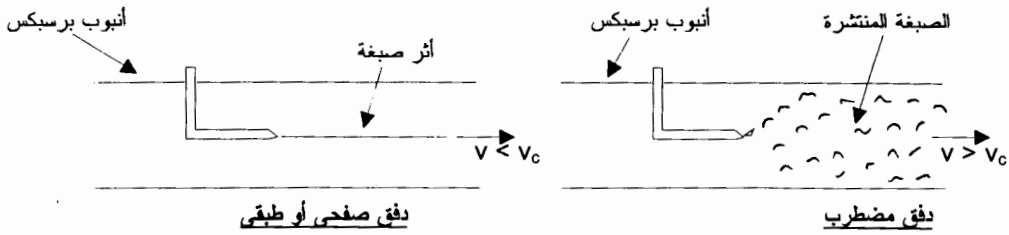


شكل ٧ - ب دفق صفحي أو رقائقي

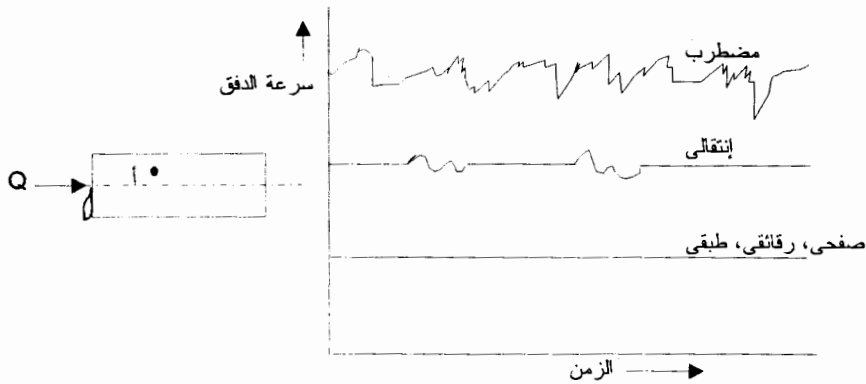


شكل ٧ - أ دفق مضطرب

شكل (٧) الإسياب المستقر و الإسياب الغير مستقر {١٠}

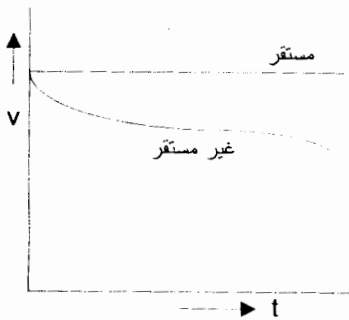


شكل ٦-١ مسار وسلوك الصبغة في أنبوب {١٠}

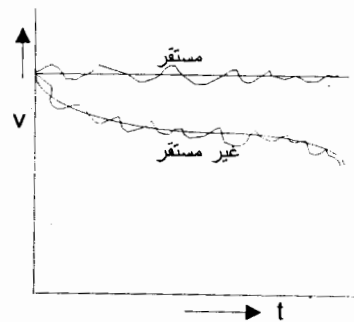


شكل ٦-٢ تغير سرعة الدفق مع الزمن {١٢}

شكل ٦ أنواع الدفق



شكل ٧ - ب دفق صفحي أو رقائقي



شكل ٧ - أ دفق مضطرب

شكل (٧) الإسياب المستقر و الإسياب الغير مستقر {١٠}

v = موجه السرعة (م/ث) .

s = المسافة أو الإزاحة فى أى إتجاه (م) .

(ح) الإنسياب غير المنتظم Nonuniform flow: وفى هذا النوع من الإنسياب يتغير موجه السرعة من منطقة وأخرى مع تغير الزمن كما موضح بالمعادلة ٣

$$\partial v / \partial s = 0 \quad (٣)$$

ونسبة لأنه لا يوجد سطح حر فى إنسياب المائع داخل الماسورة، فعليه يتم إنسياب السوائل والغازات (الموائع) على حد سواء. ويمكن أن يكون ضغط الموائع أكبر من أو أقل من الضغط الجوى، مما يسمح بتغير الضغط من أى قطاع بالماسورة الى قطاع آخر على طول الماسورة {١١}. وتسمى الماسورة المغلقة قناة أو مجرى عندما يكون شكل مقطعها غير دائرى، ويطلق عليها أنبوب عندما يكون شكل مقطعها دائرياً. كما وتصمم لتتحمل فرق ضغط كبير على جدرانها بدون تشوه فى شكلها {١٢، ٤}. ولتحديد ما إذا كان إنسياب المائع مضطرب أم صفحى يمكن إيجاده من رقم رينولد. ويقارن رقم رينولد قوى القصور الذاتى مع قوى اللزوجة كما موضح فى المعادلة ٤ .

$$Re = \rho * v * D / \mu \quad (٤)$$

حيث :

Re = رقم رينولد (لا بعدى) .

ρ = كثافة المائع (كجم/م^٣) .

v = سرعة الدفق (م/ث) .

D = قطر الأنبوب (م) .

μ = درجة اللزوجة الديناميكية (نيوتن*ث/م^٢) .

ويوضح الجدول (١) أرقام رينولد لكل من الدفق الصفحى والدفق المضطرب .

جدول (١)
أنواع الدفق

المنشط	قيمة رقم رينولد
صفحى	أقل من ٢١٠٠
إنتقالى	٢١٠٠ الى ٤٠٠٠
مضطرب	أكبر من ٤٠٠٠

كما ويعطى الجدول (٢) مقارنة بين الدفق الصفحي ونظيره المضطرب داخل أنبوب أفقى. كما ويمثل الجدول أثر بعض العوامل على الدفق والضغط .

جدول (٢)
مقارنة بين الدفق الصفحي والدفق المضطرب {١٢}

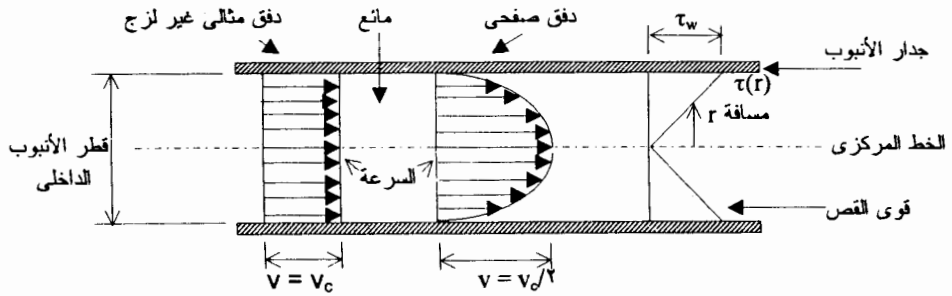
العامل المؤثر	الدفق الصفحي	الدفق المضطرب
السرعة المتوسطة v	يتغير الدفق وتتغير السرعة $Q \sim v$	يتغير الدفق وتتغير السرعة $Q \sim v$
فرق الضغط Δp	يتغير الدفق بتغير الضغط $Q \sim \Delta P$	يتغير الدفق مع الجذر التربيعى للضغط $Q \sim \Delta P^{1/2}$
الكثافة ρ	يعتمد الدفق على الكثافة $Q \sim \rho$	يتغير الدفق عكسيا مع الجذر التربيعى للكثافة $Q \sim 1/\rho^{1/2}$
درجة اللزوجة μ	يتغير الدفق عكسيا بتغير اللزوجة $Q \sim 1/\mu$	لا يعتمد الدفق على درجة اللزوجة $Q \sim \mu^0$
قطر الأنبوب D	يتغير الدفق مع الأس الرابع للقطر $Q \sim D^4$	يتغير الدفق مع القطر مرفوعا لأس ٢,٥ $Q \sim D^{2.5}$
طول الأنبوب L	يتغير الضغط بتغير الطول $\Delta P \sim L$	يتغير الضغط بتغير الطول $\Delta P \sim L$
خشونة الأنبوب النسبية g	لا يعتمد الضغط على خشونة الأنبوب يعتمد الضغط على خشونة الأنبوب $\Delta P \sim g \varepsilon^c$	لا يعتمد الضغط على خشونة الأنبوب يعتمد الضغط على خشونة الأنبوب $\Delta P = f(\varepsilon)$

يمكن إيجاد معدل الدفق غير المنضغط فى أنبوب أفقى (انظر شكل ٨) بإعتبار أن الدفق نيوتونى و صفحي كما مدرج فى المعادلة ٥ ، والتي تمثل معادلة بواسويلي Poiseulli's law .

$$Q = \pi * D^4 * \Delta P / 128 * \mu * L \quad (٥)$$

حيث :

- Q - معدل الدفق (م^٣/ث) .
- D - قطر الأنبوب الأفقى (م) .
- ΔP - هبوط الضغط داخل الأنبوب (باسكال) .
- μ - درجة اللزوجة الديناميكية (نيوتن*ث/م^٢) .
- L - طول الأنبوب (م) .



شكل (٨) تغير السرعة وقوى القص داخل أنبوب يحوي مائع

وبالنسبة للأنابيب التي تميل بزاوية ϕ على الأفقى يمكن إيجاد معدل الدفق خلالها من المعادلة ٦ .

$$(٦) \quad Q = \pi \cdot D^4 \cdot (\Delta P - \gamma \cdot L \cdot \sin \phi) / 128 \cdot \mu \cdot L$$

حيث :

γ = كثافة السائل (كجم / م^٣) .

ϕ = زاوية ميل الأنبوب مع الخط الأفقى (°) .

ويمكن إيجاد قيمة سرعة الدفق بقسمة المعادلة ٥ على مساحة مقطع الأنبوب كما مبين فى المعادلة ٧ .

$$(٧) \quad v = D^2 \cdot \Delta P / 32 \cdot \mu \cdot L$$

حيث :

v = السرعة المتوسطة للدفق (م / ث) .

D = قطر الأنبوب (م) .

ΔP = هبوط الضغط (باسكال) .

μ = درجة اللزوجة الديناميكية (نيوتن*ث / م^٢) .

L = طول الأنبوب (م) .

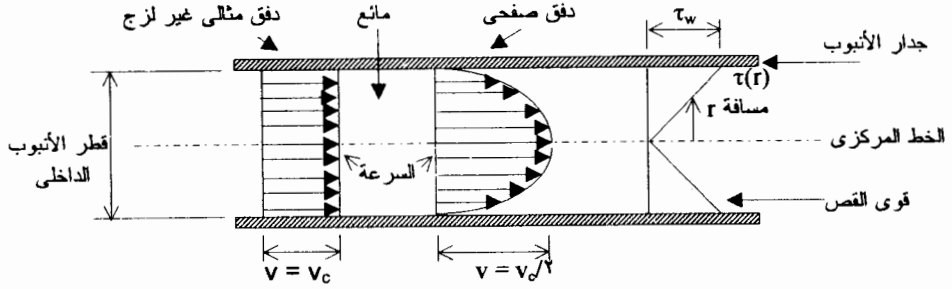
ويوضع المعادلة ٧ فى صورة القيمة اللابعدية $\Delta P / (\rho \cdot v^2 / 2)$ تنتج معادلة دارسى ويسباش - Darcy Weisbach equation الموضحة فى المعادلة ٨ .

$$(٨) \quad h_f = 32 \cdot \mu \cdot (L/D) \cdot (v^2 / \gamma) = f \cdot (L/D) \cdot (v^2 / 2 \cdot g)$$

حيث :

h_f = فقد السميت (النقصان فى خط الميل الهيدروليكي) (م*نيوتن/نيوتن) .

μ = درجة اللزوجة الديناميكية (نيوتن*ث / م^٢) .



شكل (٨) تغير السرعة وقوى القص داخل أنبوب يحوى مائع

وبالنسبة للأنابيب التى تميل بزاوية ϕ على الأفقى يمكن إيجاد معدل الدفع خلالها من المعادلة ٦ .

$$(٦) \quad Q = \pi * D^4 * (\Delta P - \gamma * L * \sin \phi) / 128 * \mu * L$$

حيث :

γ = كثافة السائل (كجم/م^٣) .

ϕ = زاوية ميل الأنبوب مع الخط الأفقى (°) .

ويمكن إيجاد قيمة سرعة الدفع بقسمة المعادلة ٥ على مساحة مقطع الأنبوب كما مبين فى المعادلة ٧ .

$$(٧) \quad v = D^2 * \Delta P / 32 * \mu * L$$

حيث :

v = السرعة المتوسطة للدفع (م/ث) .

D = قطر الأنبوب (م) .

ΔP = هبوط الضغط (باسكال) .

μ = درجة اللزوجة الديناميكية (نيوتن*ث/م^٢) .

L = طول الأنبوب (م) .

وبوضع المعادلة ٧ فى صورة القيمة اللابعدية $\Delta P / (\rho * v^2 / 2)$ تنتج معادلة دارسى ويسباش Darcy-Weisbach equation الموضحة فى المعادلة ٨ .

$$(٨) \quad h_f = 32 * \mu * (L/D) * (v^2 / \gamma) = f * (L/D) * (v^2 / 2 * g)$$

حيث :

h_f = فقد السم (النقصان فى خط الميل الهيدروليكي) (م*نيوتن/نيوتن) .

μ = درجة اللزوجة الديناميكية (نيوتن*ث/م^٢) .

- L = طول الماسورة (م) .
- D = قطر الماسورة (م) .
- v = متوسط سرعة الدفق (م/ث) .
- γ = الوزن النوعي (نيوتن/م^٣) .
- g = عجلة الجاذبية الأرضية (م/ث^٢) .
- f = معامل الاحتكاك أو معامل دارسى للاحتكاك .

وبالنسبة للدفق الصفحي فيمكن إيجاد معامل الاحتكاك من المعادلة ٩ .

$$(٩) \quad f = 64 / Re$$

أما بالنسبة للدفق المضطرب فيمكن إيجاد معامل الاحتكاك من معادلة كولبروك Colebrook للأنايب الجديدة النظيفة والدفق غير المنضغط كما موضح فى المعادلة ١٠ .

$$(١٠) \quad (1/\sqrt{f}) = -2 \cdot \log [((\epsilon / D)/3.7) + (2.51/(Re \cdot \sqrt{f}))]$$

حيث :

f = معامل كولبروك للاحتكاك .

= المعامل النسبى للاحتكاك (م) .

D = قطر الأنبوب (م) .

Re = رقم رينولد (لا بعدى) .

كما ويمكن أن تستخدم رسم مودى Moody's diagram {١٣} لتحديد قيمة معامل الاحتكاك (شكل ٩) .

مثال ١ :

يندفع مائع عبر أنبوب قطره ٥ ملم وطوله ١٥ سم بمعدل إندفاق ٠,٢ لتر فى الدقيقة. بافتراض أن فقد السمات فى الأنبوب يقارب ٨٠ سم، أوجد درجة اللزوجة الكينامتيكية للمائع. كيف تصنف نوع الدفق داخل الأنبوب ؟

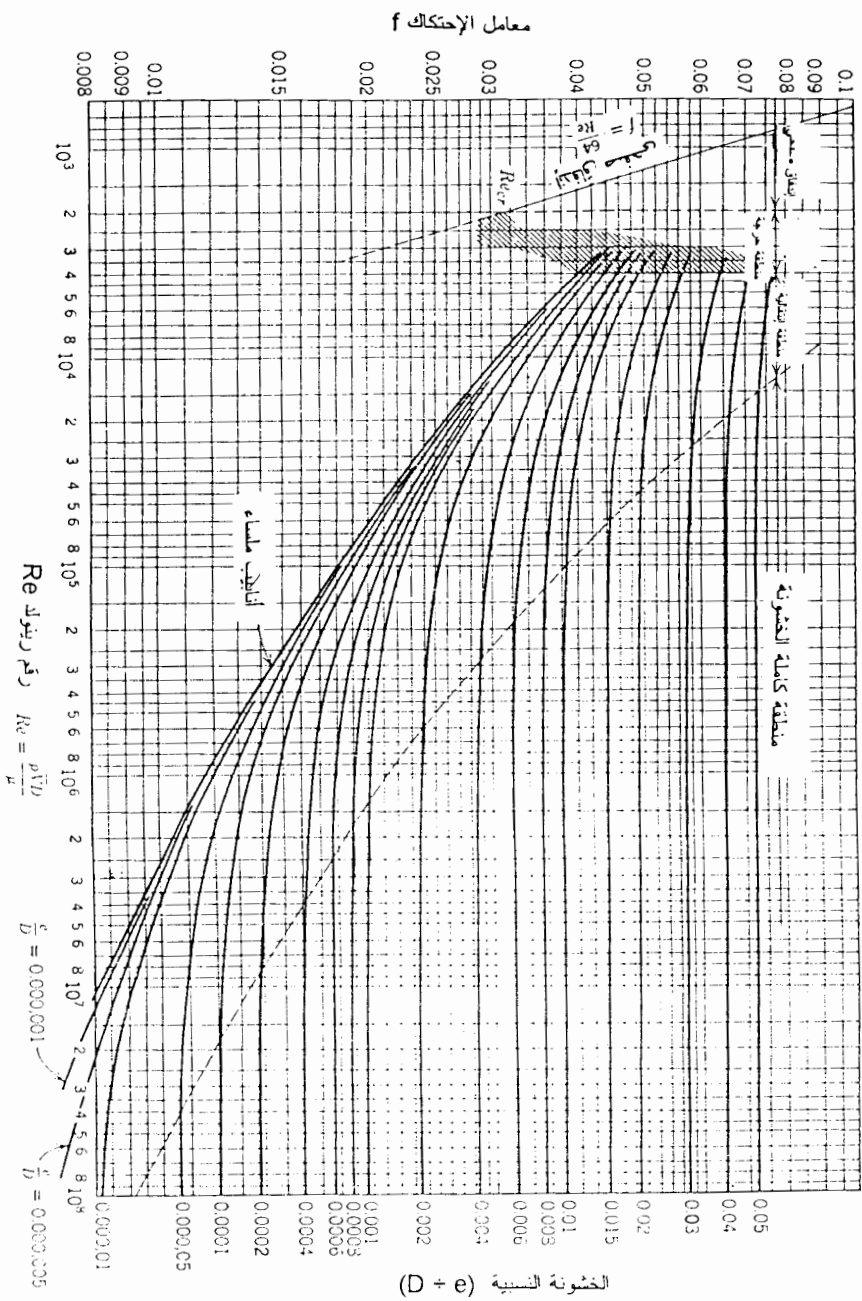
الحل :

$$١- \text{المعطيات: } D = ٥ \text{ ملم} = ٥ \times ١٠^{-٣} \text{ م}, L = ١٥ \text{ سم} = ٠,١٥ \text{ م}, Q = ٠,٢ \text{ لتر/دقيقة}$$

$$= (٣ \times ١٠^{-٦} \times ٣,٣) / ٦٠ = (٣ \times ١٠^{-٦} \times ٣,٣) / ٦٠ \text{ م}^٣/\text{ث}, h_f = ٨٠ \text{ سم} = ٠,٨ \text{ م} .$$

٢- أحسب درجة اللزوجة الكينامتيكية من المعادلة

$$v = \pi \cdot D^4 \cdot \Delta P / 128 \cdot Q \cdot L \cdot \rho$$



شكل (٩) معامل الاحتكاك لدفق مكتمل في أنابيب دائرية [١٣]

$$= \pi * D^4 * g * h_f / 128 * Q * L$$

$$\text{ث} / \text{م}^3 = \pi * D^4 * g * h_f / 128 * Q * L = [0.15 \times 10^{-10} \times 3.3 \times 128] \div [0.8 \times 9.81 \times 4 \times (3 - 1.0 \times 0.5) \times \pi] = v$$

٣- أوجد السرعة المتوسطة للدفق من المعادلة

$$v = Q / A$$

$$v = [2 \times (3 - 1.0 \times 0.5) \times (4 \div \pi)] \div (1.0 \times 3.3) = 0.168 \text{ م / ث}$$

٤- أوجد رقم رينولد من المعادلة

$$Re = v * d / \nu$$

$$Re = (0.168 \times 3.3) \div (1.0 \times 10^{-6}) = 3.0$$

وبما أن رقم رينولد يقل عن ٢١٠٠ فيمكن اعتبار الدفق صفحي .

وعادة في الحياة العملية يكون الدفق مضطربا في الأنابيب والمواسير الحاملة للمياه. وتتواجد الفروق الواضحة بين الدفق الصفحي والدفق المضطرب في مركبات السرعة، والضغط، وقوى القص، ودرجة الحرارة، وغيرها من المتغيرات المؤثرة. ولا يوجد نموذج جيد ودقيق يمكن به قياس قوى القص بالنسبة لدفق غير منضغط ولزج ومضطرب. غير أن التغيرات في سرعة الدفق يمكن تقديرها من المعادلات التجريبية والتي يطلق عليها القانون الأسى للسرعة Power-law velocity profile الموضح في المعادلة ١١ .

$$(11) \quad u(t) / v_c = [1 - (r / R)]^{1/n}$$

حيث :

$$u = \text{السرعة على الزمن } t \text{ (م / ث)}$$

$$v_c = \text{قيمة السرعة على الخط المركزي (م / ث)}$$

$$r = \text{المسافة القطرية من الخط المركزي (م) (انظر شكل ٨)}$$

$$R = \text{نصف قطر الأنبوب (م)}$$

$$n = \text{ثابت يعتمد على رقم رينولد (عادة يؤخذ ليساوي ٧)}$$

والسرعة على الخط المركزي يمكن إيجادها من المعادلة ١٢ .

$$(12) \quad v_c = \Delta P * D^2 / 16 * \mu * L$$

حيث :

$$v_c = \text{سرعة الدفق على الخط المركزي (م / ث)}$$

$$\Delta P = \text{هبوط الضغط (باسكال)}$$

$$D = \text{قطر الأنبوب (م)}$$

μ = درجة اللزوجة الديناميكية (نيوتن*ث/م^٢).

L = طول الأنبوب (م).

مثال ٢ :

ينساب ماء على درجة حرارة ٢٠ م عبر أنبوب دائري قطره ٥٠ ملم وطوله ٦٤٠ متر بمعدل إندفاق يبلغ ٢٥ لتر على الدقيقة. بافتراض أن الاحتكاك المطلق ٠,٠٧ ملم. أوجد فقد السمات نتيجة للإحتكاك، وأوجد القدرة المطلوبة لإتمام الإندفاق .

الحل :

١- المعطيات: $T = 20$ م، $D = 50$ ملم، $L = 640$ م، $Q = 25$ لتر/دقيقة، $g = 0,07$ ملم

٢- أوجد من جدول (ج) ولدرجة حرارة ٢٠ م قيمة درجة اللزوجة الديناميكية والكثافة

$$\mu = 1,0087 \times 10^{-3} \text{ نيوتن*ث/م}^2, \quad \rho = 998,203 \text{ كجم/م}^3$$

٣- أوجد سرعة الدفع من المعادلة

$$v = Q / A$$

$$v = (25 \times 10^{-3}) / (\pi \times 0,025^2) = 0,212 \text{ م/ث}$$

٤- أوجد رقم رينولد من المعادلة

$$Re = \rho * v * d / \mu$$

$$Re = (998,203 \times 0,212 \times 0,05) / (1,0087 \times 10^{-3}) = 10500$$

وهذا الرقم أكبر من ٤٠٠٠ مما يعنى أن الدفع مضطرب .

٥- أوجد معامل الإحتكاك (f) من رسم مودى (شكل ٧) لقيمة $Re = 10500$

$$f = 0,022 \text{ (من الشكل ٧ لقيمة } Re = 10500 \text{)}$$

$$f = 0,022$$

أو باستخدام معادلة كولبروك

$$1/\sqrt{f} = -2 \log [(1,4 \times 10^{-3}) / (3,7 \sqrt{f}) + (2,51 / (10500 \sqrt{f}))]$$

ومن التجربة والخطأ (أو باستخدام طريقة نيوتن رافسون) يمكن تقدير معامل الإحتكاك ليساوى :

$$f = 0,0326$$

٦- أوجد فقد السمات من المعادلة

$$h_f = f * (L/D) * (v^2 / 2g)$$

$$h_f = 0,0326 \times [(25 \times 10^{-3})^2 / (2 \times 9,81)] \times (640 / 0,05) = 0,96 \text{ مترا}$$

إن معظم أنواع فقد السمات Losses التى تحدث فى النظام تكون من جراء الاحتكاك عبر المقاطع المستقيمة من الأنابيب، وتسمى بالفقد الأكبر Major losses. وهناك فقد عبر المحابس Valves والصمامات والثنيات والإحناءات فى الأنابيب والأكواع Tees وتسمى بالفقد الأصغر Minor losses. ومن الطرق المتبعة لتقدير فقد السمت الأصغر أو هبوط الضغط يمكن إستخدام المعادلة ١٣ .

$$h = k \cdot v^2 / 2 \cdot g \quad (١٣)$$

حيث :

h = فقد السمت الأصغر (م) .

k = ثابت الفقد، والذي يعتمد على هندسة الأجزاء والتركيبات كما ويعتمد على خواص المائع .

v = سرعة الدفق (م/ث) .

g = عجلة الجاذبية الأرضية (م/ث^٢) .

ولتحديد فقد السمت فى الأنابيب تستخدم طرق عديدة للأنابيب الموصولة على التوالى وتلك الموصولة على التوازي. فبالنسبة للتوصيل على التوالى تتبع طرق مختلفة، منها على سبيل المثال طريقة السرعة وفقد السمت المكافئة ، وطريقة الطول المكافئ .

(١) طريقة السرعة وفقد السمت المكافئة Equivalent-velocity-head method:

وتستخدم هذه الطريقة للأنبوب المكون من أجزاء ذات أقطار مختلفة. وفى التوصيل على التوالى ينساب نفس معدل الدفق خلال الأنابيب ويكون فقد السمت تراكمياً لها، ومن معادلة الإستمرارية يمكن كتابة المعادلة ١٤ .

$$Q = Q_1 = Q_2 = \dots = Q_i \quad (١٤)$$

حيث :

Q = معدل الدفق الداخلى للأنابيب (م^٣/ث) .

Q_i = معدل الدفق الداخلى للأنبوب رقم i (م^٣/ث) .

ومن معادلة الطاقة يمكن كتابة المعادلة ١٥ .

$$(hL)_T = (hL)_1 + (hL)_2 + \dots + (hL)_N = \sum_{i=1}^N (hL)_i \quad (١٥)$$

حيث :

$(hL)_T$ = فقد السمت الكلى عبر الأنابيب (م) .

$(hL)_i$ = فقد السمت للأنبوب رقم i (م) .

N = عدد الأنابيب .

وباستخدام المعادلتين ٨ و ١٣ يمكن إعادة كتابة المعادلة ١٥ لتقرأ كما مدرج في المعادلة ١٦

$$(h_L)_T = \sum_{i=1}^N (f_i * L_i / D_i) * (v_i^2 / 2g) + \sum_{i=1}^N k_i * (v_i^2 / 2g) \quad (16)$$

حيث :

. $(h_L)_T$ = فقد السمات الكلي للأنابيب (م) .

. f_i = معامل الاحتكاك للأنبوب رقم i .

. v_i = سرعة الدفع داخل الأنبوب i (م/ث) .

. D_i = قطر الأنبوب i (م) .

. g = عجلة الجاذبية الأرضية (م/ث^٢) .

. N = عدد الأنابيب .

. k_i = ثابت الفقد للجزء رقم i .

(٢) طريقة الطول المكافئ : Equivalent Length method

وفي هذه الطريقة يتم تغيير الأنابيب بأطوال مكافئة لأنبوب ذو قطر معين. وعادة يختار أبرز أنبوب في النظام. وتبين المعادلة ١٧ كيفية اختيار الطول المكافئ للأنبوب المراد تغييره .

$$L_e = (f / f_s) * L * (D_s / D)^5 \quad (17)$$

حيث :

. L_e = الطول المكافئ (الجديد) (م) .

. f = معامل الاحتكاك للأنبوب المراد تغييره .

. f_s = معامل الاحتكاك للأنبوب المختار .

. D_s = قطر الأنبوب المختار (م) .

. D = قطر الأنبوب المراد تغييره (م) .

. L = طول الأنبوب المراد تغييره (م) .

مثال (٣) :

أنبوبان أطوالهما ٣٠٠ و ٢٤٠ متر. وأقطارهما ٢٥٠ و ١٥٠ ملم على الترتيب موصلان على التوالي. ومعامل الاحتكاك يساوي ٠,٠٢ و ٠,٠١٥ لكل منهما على الترتيب. إذا كان فقد السمات يساوي ٥ أمتار أوجد معدل الدفع (أ) مستخدماً طريقة السرعة والسمات المكافئة (ب) طريقة الطول المكافئ .

الحل :

١- المعطيات: الأنبوب الأول $L_1 = ٣٠٠$ م ، $D_1 = ٢٥٠$ ملم ، $f_1 = ٠,٠٢$ ،

الأنبوب الثاني $L_2 = 240$ م ، $D_2 = 150$ ملم ، $f_1 = 0.015$ ، $h_L = 0.5$ م .

٢- (أ) طريقة السرعة والسمت المكافئة :

إستخدم معادلة الإستمرارية للأنبوبين بإفتراض أن الدفع غير منضغط

$$Q = A_1 * v_1 = A_2 * v_2$$

$$(\pi/4) * D_1^2 * v_1 = (\pi/4) * D_2^2 * v_2 \quad \text{أو}$$

ويمكن إيجاد السرعة فى الأنبوب الثانى من المعادلة

$$v_2 = v_1 * (D_1/D_2)^2$$

$$v_1 \times 2.78 = \sqrt{(150 \div 250)} \times v_1 = v_2$$

٣- إستخدم معادلة الطاقة للأنبوبين

$$h_L = (f_1 * L_1 / D_1) * (v_1^2 / 2g) + (f_2 * L_2 / D_2) * (v_2^2 / 2g)$$

$$+ [9.81 \times 2 \times 3^{-1.0} \times 250] \div [v_1^2 \times 300 \times 0.02] = 0$$

$$v_1^2 \times 10.68 = [9.81 \times 2 \times 3^{-1.0} \times 250] \div [v_1^2 \times 2.78 \times 240 \times 0.015]$$

وعليه: $v_1 = 0.684$ م/ث .

٤- أوجد معدل الدفع من المعادلة $Q = A_1 * v_1$

$$Q = 0.684 \times (\pi \div 4) \times (250)^2 \times 0.034 = 0.34 \text{ م}^3/\text{ث} .$$

٥- (ب) طريقة الطول المكافئ :

إختر الأنبوب ذا القطر 250 ملم ، وعليه لإيجاد الطول المكافئ للأنبوب الثانى إستخدم المعادلة

$$L_e = (f / f_s) * L * (D_s / D)^5$$

$$L_e = 0.02 \div 0.015 \times 240 \times (150 \div 250)^5 = 2315 \text{ م} .$$

٦- أوجد الطول الكلى المكافئ (لأنبوب قطره 250 ملم ومعامل احتكاكه 0.02)

$$= 2615 = 2315 + 300 \text{ م}$$

٧- إستخدم معادلة الطاقة للأنبوب الجديد

$$h_f = (f * L / D) * (v^2 / 2g)$$

$$0 = [9.81 \times 2 \times 3^{-1.0} \times 250] \div [v^2 \times 2615 \times 0.02]$$

ومن هنا يمكن إيجاد

$$v = 0.684 \text{ م/ث} .$$

٨- أوجد الدفع الداخلى للأنبوب من المعادلة $Q = A * v$

$$Q = 0.684 \times (\pi \div 4) \times (250)^2 \times 0.034 = 0.34 \text{ م}^3/\text{ث} .$$

أما بالنسبة للأنابيب الموصلة على التوازى فإن فقد السمت فى أى خط يكون متساويا، ومعدل الدفع الكلى

هو عبارة عن مجموع معدل الدفع فى كل أنبوب فى الحلقة. فمثلا يمثل الشكل (١٠) أربعة أنابيب

متصلة على التوازى، وبإستخدام معادلة الإستمرارية يمكن كتابة المعادلة ١٨ .

(١٨)

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 = \sum_{i=1}^N Q_i$$

حيث :

Q = الدفق الكلى الداخلى للشبكة (م^٣/ث) .

Q_i = الدفق فى الأنبوب رقم i (م^٣/ث) .

N = عدد الأنابيب المتصلة على التوازي .

وتنتج معادلة الطاقة ما يلى :

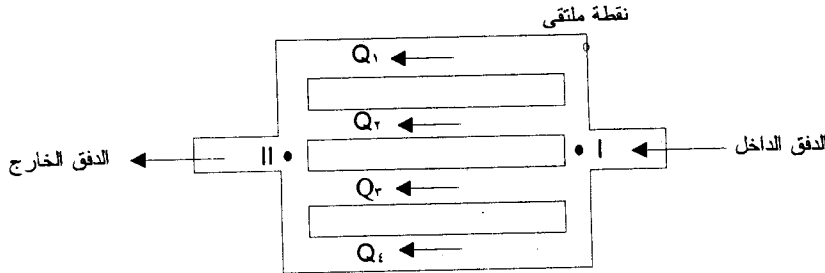
(١٩)

$$(h_L)_T = (h_L)_1 = (h_L)_2 = \dots = (h_L)_i$$

حيث :

$(h_L)_T$ = فقد السمات الكلى (م) .

$(h_L)_i$ = فقد السمات للأنبوب رقم i (م) .



شكل (١٠) أنابيب موصلة على التوازي

ويمثل مثل هذا النظام شبكة أنابيب مكونة من مجموعة من الأنابيب المتصلة مع بعضها لتسمح بإنسياب

المائع من نقطة معينة الى نقطة أخرى عبر العديد من المسارات . ومن هذا المنطلق تنتج حالتين :

(أ) يتطلب إيجاد معدل الدفق فى كل أنبوب علما بأن إرتفاع ميل الخط الهيدروليكي على كل من النقطتين I و II معروفا . وفى هذه الحالة يسهل إيجاد معدل الدفق فى كل أنبوب ، لأن فقد السمات عبارة عن الهبوط فى ميل الخط الهيدروليكي . والدفق الكلى هو عبارة عن مجموع الدفق لكل أنبوب .

(ب) يتطلب إيجاد فقد السمات وتوزيع الدفق فى كل أنبوب بمعرفة الدفق الكلى .

والحالة الأخيرة معقدة لأن فقد السمات ومعدل الدفق غير معروف لكل أنبوب . وأى محاولة لإستخدام

معادلة برنولى Bernoulli's equation ومعادلة الإستمرارية للأنابيب المختلفة فى الشبكة ، تقود الى إستحداث معادلات كثيرة . وإذا احتوت الشبكة على عدد كبير من الأنابيب فإن هذه المعادلات تكون من الكثرة بحيث يتعقد حلها آنيا . ويكمن الحل فى إستخدام طريقة التقريب المتتابع Successive

approximations، بإفترض قيم للدفق في كل أنبوب، أو بإفترض فقد السمات في نقاط الملتقى، ثم للتأكد من أن القيم المفترضة تحقق ما يلي:

- (١) فقد السمات بين أى ملتقين يتساوى لكل المسارات بين النقطتين .
- (٢) الدفق الداخل لكل نقطة ملتقى يساوى الدفق الخارج من النقطة .

وعندما لا تحقق القيم المفترضة الحالات المذكورة أعلاه في كل الشبكة، لا بد من تصحيحها بطريقة التقريب المتتابع، الى أن تتحقق درجة الدقة المطلوبة. ومن الطرق الشائعة الإستخدام لحساب توزيع الدفق داخل أنابيب الشبكة طريقة هاردي كروس Hardy Cross method. وهذه الطريقة تعطي نظاما لتقدير قيمة التصليح لكل حلقة Loop، أو ملتقى على حدة، بفرض أن الظروف في بقية الشبكة لا تتغير. ولكن التصليح لجزء يؤثر على الأجزاء الأخرى وبذا فإن التوازي في فقد السمات والدفق لا يتأتى من أول تصليح. غير أن تكرار الطريقة يأتي بالإقتراب من التوازن المنشود .

ويمكن إيجاز الطريقة المتبعة للحل بالنسبة للحلقات على النحو التالي :

(أ) تتحقق معادلة الإستمرارية في كل نقاط الملتقى. أى أن كمية الدفق الداخلة في نقطة الملتقى تساوى مجموع الدفق الخارج (حاوية على أى ماء مضاف أو سحب من النظام على نقطة الملتقى)، كما مبين في قانون كيرشوف للملتقى Kirchoff's node law في المعادلة ٢٠ .

$$\sum_{i=1} Q_i = 0 \quad (20)$$

حيث :

Q_i = معدل الدفق على نقطة الملتقى رقم i (م^٣/ث). (الدفق يكون موجبا إذا كان في إتجاه عقرب الساعة) .
 N = عدد نقاط الملتقى .

(ب) يتحقق قانون بقاء الطاقة. وهنا فإن فقد الطاقة يتساوى في كل المسارات التي تمر عبرها المياه. أى بمعنى أن المجموع الجبرى لفقد السمات يساوى صفرا عبر أى حلقة مغلقة من الأنابيب. كما وأن مجموع فقد السمات للأنابيب التي توصل مصدرين لها سمات ثابتة تساوى فرق السمات بين المصدرين. وهذا يعنى أن المجموع الجبرى لفقد السمات لأى حلقة (عبر مسار معين) يساوى صفرا كما موضح في المعادلة ٢١.

$$(\sum h_f)_{loop} = 0 \quad (21)$$

وعندما يراد تحليل الشبكة فهناك إحدى حالتين :

• موازنة فقد السمات بتصحيح الدفق الإفتراضى .

• موازنة الدفق بتصحيح فقد السمات الافتراضى .

(١) طريقة إفتراض تصميم الدفق الإفتراضى (طريقة موازنة فقد السمات) :

وطريقة هاردى كروس تقوم بتحليل الشبكة بإستخدام الحالة الأولى، مفترضة الدفق فى كل أنبوب، ومن ثم يحسب عدم الإتران الناتج فى معادلات الطاقة ليصحح الدفق فى كل حلقة. وتكرر طريقة التصحيح هذه الى أن يتم الحصول على التقارب المنشود عندما يكون أكبر تصحيح أقل من حد مقبول .

ولإيجاد فقد السمات يمكن إستخدام إحدى معادلات فقد السمات والتي تأخذ الصورة العامة الموضحة فى المعادلة ٢٢ .

$$h_f = k \cdot Q^n \quad (٢٢)$$

حيث :

h_f = فقد السمات (م) .

Q = معدل الدفق فى الأنبوب (م^٣/ث) .

k = معامل المقاومة (حد ثابت يعتمد على هندسة الأنبوب ، وقطره ، وطوله ، والمواد المصنوع منها ، وعمر الأنبوب ، وخواص المائع مثل اللزوجة ، ودرجة الحرارة) .

n = ثابت أسى لكل الأنابيب. وعند إستخدام معادلة دارسى ويسباش Darcy-Weisbach :

$[h_f = f \cdot (L/D) \cdot (v^2 / 2 \cdot g)]$ فإن $n = ٢$ ، وعند إستخدام معادلة ماننج Manning's equation :

$[v = (1/n) \cdot r_H^{2/3} \cdot s^{1/2}]$ فإن $n = ٢$ ، وعند إستخدام معادلة هيزن وليام Hazen-Williams' equation

فإن $n = ١.٨٥$.

وعلاقة الدفق المفترض تصليحه يمكن أن توجد من المعادلة ٢٣

$$Q_2 = Q_1 + \Delta Q_1 \quad (٢٣)$$

حيث :

Q_2 = الدفق الإفتراضى الثانى (بعد التصحيح) (م^٣/ث) .

Q_1 = الدفق الإفتراضى الأول (قبل التصحيح) (م^٣/ث) .

ΔQ_1 = معامل التصحيح الأول .

لما مجموع فواقد السمات حول أى حلقة (بأخذ أرقام الدفق المفترض) فتوجد من المعادلة ٢٤

$$(h_f)_1 = \Sigma (k \cdot Q_1^n) \quad (٢٤)$$

حيث :

$(h_f)_1$ = فقد السمات الأول (م) .

ومجموع فواقد السمات بعد القيام بالتصليح الأول يمكن إيجاده من المعادلة ٢٥

$$(25) \quad (h_f)_2 = \Sigma [k^*(Q_1 + \Delta Q_1)^n]$$

حيث :

$$(h_f)_2 = \text{المجموع الجبرى لفواقد السمات حول الحلقة} .$$

ويمكن إعادة كتابة المعادلة ٢٥ لمتوالية مع إهمال الحدود الصغرى لنقرأ كما مبين فى المعادلة ٢٦ .

$$(26) \quad (h_f)_2 = \Sigma [k^*(Q_1^n + n Q_1^{n-1} * \Delta Q_1)]$$

غير أن $(h_f)_2 = \text{صفر للحلقة}$ ، وعليه فمن المعادلة ٢٦ ينتج معيار التصحيح المدرج فى المعادلة ٢٧ .

$$(27) \quad \Delta Q_1 = - \Sigma h_f / (n \Sigma (h/Q))$$

وتعنى إشارة السلب تناقص الدفع الموجب (الدفع فى إتجاه عقرب الساعة)، وتزايد الدفع السالب (عكس إتجاه عقرب الساعة). وهذه الطريقة تكرر الى أن يتم الحصول على الدقة المتوخاة {٤، ١١، ١٣، ١٤، ١٥} .

ويمكن تلخيص طريقة هاردى كروس كما مبين أدناه {٤، ١١، ١٣، ١٤، ١٥، ١٦} :

- يتم تحديد الهيئة الهندسية للشبكة .
- يفترض دفع مناسب فى كل أنبوب (ولا بد من تحقيق معادلة الإستمرارية فى كل ملتقى، ويؤخذ الدفع الموجب فى إتجاه عقرب الساعة لينتج فقد سمات موجب) .
- يتم تحديد الآتى لكل حلقة فى الشبكة :
- * يحدد مصطلح إشارات .
- * يوجد فقد السمات فى كل أنبوب .
- * يحسب المجموع الجبرى لفواقد السمات حول الحلقة .
- * يحسب مجموع كميات Σh و $n \Sigma (h/Q)$ لكل أنبوب فى الحلقة بغض النظر عن الإتجاه .
- * يعمل التصحيح اللازم للدفع داخل الحلقة .
- * يعاد تكرار الخطوات أعلاه لكل حلقة فى الشبكة مع عمل التصحيح اللازم لكل أنبوب الى أن يتم الحصول على الدقة المنشودة. ولا بد من مراعاة عمل التصليح من أكثر من حلقة للعنصر المشترك بينها.

٢) طريقة إفتراض تصحيح فقد السمات (طريقة موازنة الدفع)

وفى هذه الطريقة يتم إفتراض خطأ فى فقد السمات على نقطة الملتقى. ويمكن إختصار هذه الطريقة فى الخطوات التالية :

- يفترض فقد السمات على نقطة الملتقى أ .
- يوجد معدل الدفق فى كل الأنابيب، بإستخدام فقد السمات المفترض على نقطة الملتقى .
- يوجد مجموع معدل الدفق لنقطة الملتقى (الدفق الموجب هو الدفق الداخلى) ΣQ .
- تحسب نسبة الدفق لفقد السمات $(h \div Q)$ لكل أنبوب .
- يوجد مجموع قيم نسبة الدفق لفقد السمات $\Sigma (Q/h)$.
- يوجد تصحيح فقد السمات كما موضح فى المعادلة ٢٨ .

(٢٨)

$$\Delta h = (n \cdot \Sigma Q) / \Sigma (Q/h)$$

- يصحح فقد السمات على نقطة الملتقى .
- تكرر الطريقة أعلاه الى أن يتم الحصول على قيم يمكن أن تهمل للمقدار Δh .

ومن مساوى طريقة هاردى كروس {٤، ١٧، ١٨، ١٩، ٢٠، ٢١، ٢٢} :

- تهدر زمن كبير وتحتاج الى عمل ضخ وممل عند تقدير الدفق الأولى لكل أنبوب فى الشبكة .
- محدودة الإستعمال بالنسبة للدفق الكبير مما لا يأتى بالحد المقبول عند التصحيح .
- أحيانا يتم الحصول على تقديرات غير صحيحة لمسار الدفق .
- طريقة معقدة عندما تستخدم لتحليل شبكة معقدة أو نظام يضم مستودعات مائية وشبكة ومضخات داخلية وصمامات وغيرها من التركيبات .

ويستعصى عمل هذه الطريقة بالنسبة لشبكات المياه الكبيرة، وعليه يلجأ للحاسوب لإتمام التحاليل. وهناك العديد من البرامج المعدة خصيصا لتصميم الشبكات .

وعند وضع النموذج الرياضى للشبكة فلا بد من الحصول على المعلومات الهامة، وخرط النظام، وخرط شبكة الأنابيب، والصمامات، والمعلومات الهندسية: مثل قطر الأنابيب وطولها، والمواد المصنعة منها، وملتقى الأنابيب، وإرتفاع الملتقى، وخواص المضخات المطلوبة، وأنواع الصمامات والمحابس، هذا بالإضافة الى المعلومات التشغيلية: مثل كمية المياه الكلية المطلوبة والمنطقة، والفواقد فى النظام، ونقاط صمامات التحكم، وإرتفاعات المستودعات والخزانات .

مثال ٤ :

أوجد معدل الدفق فى كل أنبوب من أنابيب الحلقة الموضحة على الرسم، علما بأن الدفق الكلى الداخلى عند النقطة (أ) يساوى ٥٠٠ لترا على الثانية. (إستخدم معادلة هيزن وليام) .

الحل:

١- المعطيات: $Q = 500$ لتر/ث، خواص الأنابيب.

٢- افتراض الدفق في كل من الأنابيب علما بأن الأنبوب الطويل الضيق تزيد فيه المقاومة للدفق (الدفق في اتجاه عقرب الساعة موجب).

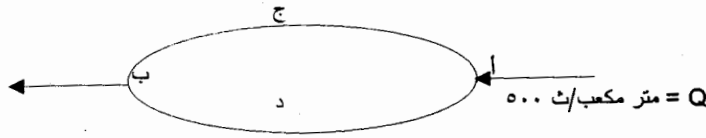
* أوجد فقد السمات مستخدما معادلة هيزن وليام $h_f = kQ^{1.85}$

* أوجد معامل التصحيح $\Delta Q_1 = -\Sigma h_f / (n \Sigma (h/Q))$

$$0.003 = k$$

$$100 = d$$

$$1200 = l$$



شكل مثال ٤

$$0.004 = k \text{ متر}$$

$$200 = d \text{ ملم}$$

$$400 = l \text{ متر}$$

وهذه الخطوات موضحة على الجدول الآتي :

الأنبوب	k	Q المفترض	$h (= kQ^{1.85})$	$Q \div h$	ΔQ
الضبط الأول:					
أ ج ب	$3-1.0 \times 3$	100 -	15.04 -	0.1004	
أ د ب	$4-1.0 \times 3$	400 -	26.05	0.0651	
			11.01	0.1650	36 -
الضبط الثاني:					
أ ج ب	$3-1.0 \times 3$	136 -	26.06 -	0.1953	
أ د ب	$4-1.0 \times 3$	364 -	21.88	0.6	
			4.68 -	0.2553	10
الضبط الثالث:					
أ ج ب	$3-1.0 \times 3$	126 -	23.06 -	0.183	
أ د ب	$4-1.0 \times 3$	374 -	23	0.615	
			0.6 -	0.24445	0.13 -

وعليه يكون معدل الدفع ١٢٦ لتر على الثانية في الأنبوب ا ج د ، و ٣٧٤ لتر على الثانية في الأنبوب ا د ب .

من العوامل الواجب مراعاتها عند إختيار المواسير للشبكة ما يلي :-

- ١- إستمرارية الأنبوب على حسب العمر الإفتراضى .
- ٢- عوامل الصدأ والتآكل التى تحدث من جراء المياه الداخلة فى الشبكة .
- ٣- خواص الأنابيب ومقدرتها على تحمل الأحمال والضغط المؤثر عليها .
- ٤- توفر المواسير .
- ٥ - تكلفة الإنشاء والتشغيل والصيانة والترميم .
- ٦ - وجود التقنية الملائمة للتشغيل والإصلاح .

غالبا تكون المواد المستعملة للمواسير من الآتى :-

- ١- الحديد المجلفن أو الحديد الزهر Galvanized or cast iron .
- ٢- الحديد الصلب المغطى بطبقة من البيوتمين .
- ٣- الأسبستوس الأسمنتي Asbestos Cement .
- ٤- المواد البلاستيكية مثل كلوريد البوليفينيل P V C وغيرها من المواد المبلعمة .

قديما كانت تستعمل في بعض الشبكات مواسير رصاصية ولكن نسبة للمخاطر الصحية التي ربما حدثت بسبب ذوبان الرصاص في الماء اليسر (لعوامل عدة) فإنها لا تستعمل على نطاق واسع. كما وتستعمل المواسير البلاستيكية غالبا للتوصيلات الداخلية أو الخطوط الجانبية وذلك نظرا لعدم مقدرتها على تحمل أوزان ثقيلة فوقها كحركة السيارات. أما المواسير المعدنية فقد تتأثر طبقا لنوعية المياه بعوامل الصدأ، الشئ الذي ينبغى تجنبه. إما مواسير الأسمنت والأسبستوس فقد تتعرض لعوامل التآكل، كما وأن هنالك خطر نمو البكتريا الحديدية في بعض المواسير المعدنية. وعليه يجب التأكد وأخذ الحيطة وعمل التحاليل المناسبة لمعرفة خواص الماء وسرعة تدفقه والضغط المؤثر على الأنابيب عند إختيارها .

٤ - ٥ توزيع المياه للمستهلكين

يتم توزيع المياه لنقاط الإستهلاك بطريقة مستمرة (كما في المدن الكبيرة) أو بطريقة متقطعة مثلا لساعات معينة من اليوم على حسب العوامل الإقتصادية والهندسية المؤثرة وعند التحكم في كمية المياه المستهلكة .

ولتوفير عائد نقدي لمقابلة تكلفة التشغيل والصيانة تتبع طرق عديدة من أهمها :-

طريقة العدادات الفردية للمحاسبة :-

في هذه الطريقة يوضع عداد عند نقطة دخول المياه لمنطقة الإستهلاك وتتم قراءة العداد دوريا، ويحسب المبلغ المطلوب دفعه طبقا للإستهلاك، وبناء على الكمية المستهلكة، وثمان المتر المكعب المحدد من الجهات المسؤولة عن توصيل وإمداد المياه .

ومن مميزات العدادات الفردية ما يلي :-

- ١- تحديد الإستهلاك الفعلي للمستهلك، ومن ثم جمع البيانات عن الإستهلاك الفعلي الكلى .
- ٢- ترشيد الإستهلاك من قبل المستهلك، ومن ثم دفع فاتورة مياه قليلة .

أما من عيوب هذه الطريقة: التكلفة الإضافية لمؤسسة المياه أو البلدية والمتعلقة بشراء العدادات وتركيبها وصيانتها وقرعتها الدورية بواسطة قارئ عدادات متمرس وعلى خلق رفيع .

طريقة المحاسبة على متوسط الإستهلاك :-

في هذه الحالة يجري تقدير الإستهلاك طبقا لعدد الغرف أو الأفراد بالمنزل ولا يستخدم العداد .

ومن سمات المحاسبة على متوسط الإستهلاك ما يلي :-

- ١- زيادة في إستهلاك المياه (وربما الإسراف في استخدامه) .
- ٢- الغاء تكلفة العدادات والمشرفين عليها .

وعامة عند توفر المياه بالشبكة وتوفر الطريقة المناسبة لجمع المياه المستعملة يجب تشجيع زيادة إستهلاك المياه لما يفيد. وعادة يتناقص أو يتذبذب معدل محاسبة المستهلك بالنسبة للمتر المكعب بناء على توفر المياه. وسعر بيع المياه للأغراض المنزلية، قد يختلف عنه بالنسبة للمصانع والمؤسسات وهذا يبنى على عوامل متعارف عليها. هذا ولا بد من الأخذ في الاعتبار ما ورد في السنة الشريفة لما في صحيح البخارى ٢٣٦٩ قال حدثني عبد الله بن محمد حدثنا سفيان عن عمرو عن أبي صالح السمان عن أبي هريرة رضي الله عنه عن النبي صلى الله عليه وسلم قال: **ثَلَاثَةٌ لَا يَكْلَمُهُمُ اللَّهُ يَوْمَ الْقِيَامَةِ وَلَا يَنْظَرُ إِلَيْهِمْ: رَجُلٌ حَلَفَ عَلَى سِلْعَةٍ لَقَدْ أُعْطِيَ بِهَا أَكْثَرُ مِمَّا أُعْطِيَ وَهُوَ كَاذِبٌ، وَرَجُلٌ حَلَفَ عَلَى يَمِينٍ كَاذِبَةٍ بَعْدَ الْعَصْرِ لِيَقْتَطِعَ بِهَا مَالَ رَجُلٍ مُسْلِمٍ، وَرَجُلٌ مَنَعَ فَضْلَ مَائِهِ فَيَقُولُ اللَّهُ: الْيَوْمَ أَمْنَعُكَ فَضْلِي كَمَا مَنَعْتَ فَضْلَ مَالٍ تَعْمَلُ يَدَاكَ**.

وعند التخطيط لخدمة توزيع المياه وتصميم شبكة التوزيع من مستودع التخزين الأرضي (إذا وجد) ومحطة الضخ والخزان العلوي (الصهريج) وشبكة التوزيع لا بد من أخذ العوامل الآتية في الحسبان:-

- ١- كمية المياه المراد توزيعها والتي تتأثر بعدد السكان عند التصميم وعند نهاية عمر المحطة

(Design period)، ومعدلات الاستهلاك وتغيرها خلال اليوم والموسم والسنة والمتوقع عند نهاية عمر المحطة أو الشبكة أو كلاهما .

٢- الضغط في الشبكة وإستمراية التوزيع .

٣- الماء الفاقد والمهدور ... إلخ .

ومما يجب ذكره أن خدمات إمداد المياه للمستهلكين لا تنتهي عند توزيع المياه وإنما تكون بداية لحلقة أخرى من الحلقات الخدمية، التي إذا لم تتوفر قد تؤدي إلى إلغاء الفائدة المتوخاة من تنقية وتوزيع المياه. ومن هذا المنطلق يجب إعطاء عناية أكبر إلى أسلوب الإدارة والتخطيط والمتابعة والتدريب لمسؤولي قطاعات المياه المختلفة حتى يتسنى تجنب التردى والتدهور الصحي والبيئي كما موضح في الشكل ١١ .

إن إدارة قطاعي المياه والإصحاح من الأهمية بمكان إذ هما يمثلان وجهي عملة واحدة، أو حلقتين في دائرة واحدة متكاملة. وهذا يعني أن تدهور إحداهما يقود إلى إنتفاء الفائدة المرجوة أو المتوخاة من الآخر وبالتالي تلوث البيئة وإزدياد المخاطر الصحية ذات الصلة بالمياه . وقد دلت تجارب الدول الأخرى (قديمها وحديثها) على أهمية ربط القطاعين نظرا لتكاملهما البيئي {٧} .

والإقتصاد في إستعمال الماء من الأهمية بمكان ويحثنا ديننا الحنيف على ذلك، وقد جرى ذكر حديث النبی صلى الله عليه وسلم عن الإقتصاد فى الماء عند الوضوء وإن كان الإغتراف من البحر فى صدر الباب الثانى .

٤ - ٦ التآكل والتحات

تعمل التحاليل المناسبة للمياه لمعرفة نوعيتها تقاديا للمخاطر والأضرار التي قد تتأتى من تلك المياه المسببة للتآكل والتحات. ومن الواجب مراعاة أخذ العينات من مناطق مناسبة للتمثيل الجيد، بغية أخذ القرار المناسب بعد إجراء الفحص وعمل التحاليل للإصلاح أو الترميم أو المعالجة. ومن أهم المعايير والإختبارات التي تجرى لتحديد درجة التآكل والتحات ما يلى :

(أ) معامل لانقليير Langelier index :-

معامل لانقليير هو عبارة عن مصطلح ومعيار لمعرفة قابلية المياه لإذابة أو ترسيب قشور كربونات الكالسيوم في الأنابيب. ويمكن إيجاد المعامل بإستخدام المعادلة ٢٩ .

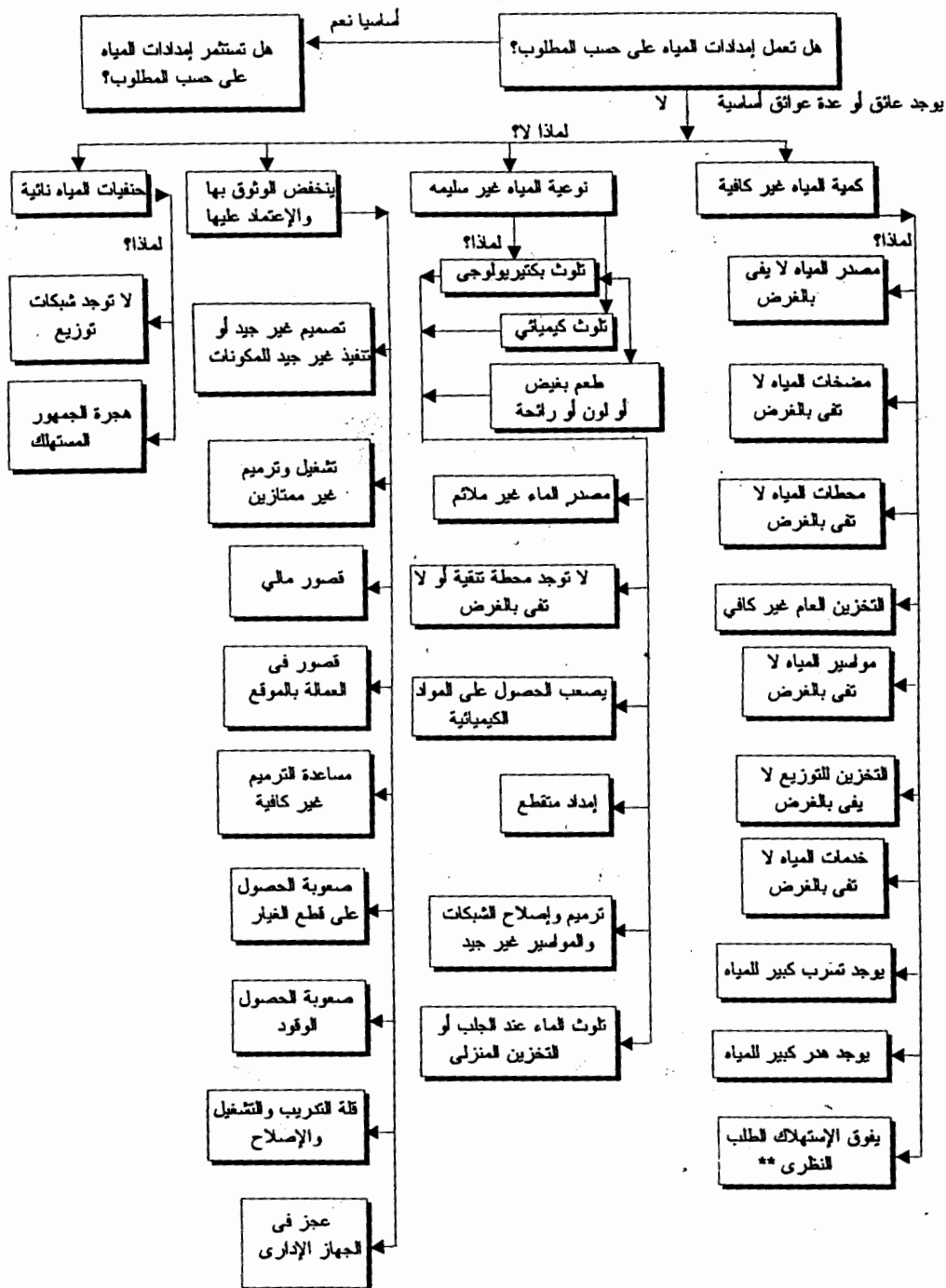
(٢٩)

$$LI = pH_a - pH_s$$

حيث أن :

LI = معامل لانقليير .

pH_a = الرقم الهيدروجيني الفعلي أو المقاس للماء .



شکل (۱۱) بعض أسباب تدهور إمدادات المياه (۲۳،۷۰)

pH_s - الرقم الهيدروجيني عند التشبع .

(٣٠)

$$\square pH_s = pk_2 - pk' + pCa^{++} + pAlk + \Psi$$

حيث أن :

$pk_2 - pk'$ - ثابت الإذابة والذي يعتمد على درجة الحرارة وكمية المواد الذائبة الكلية أو الشدة الأيونية

pCa^{++} - اللوغريثم السالب للتركيز الأيوني للكالسيوم، مكافئ/ لتر .

$pAlk$ - اللوغريثم السالب للقلوية الكلية، مكافئ كربونات الكالسيوم/ لتر .

Ψ - معامل تصحيح الملوحة

(٣١)

$$\Psi = 2.590.5 / (1 + 5.390.5 + 5.59)$$

حيث :

Ψ - الشدة الأيونية .

ويبين الجدول ٣ الحالات المحتملة للماء طبقاً لمعامل لاتقلير .

جدول (٣)

حالة الماء بناء على قيمة معامل لاتقلير

معامل لاتقلير	حالة الماء
أقل من صفر (سالب)	تحت التشبع مما يولد التآكل والتحات.
أكبر من صفر (موجب)	يولد حالة ماء فوق التشبع مما ينتج عنه الترسيب

(ب) معامل رايزنر Ryzner index :-

ويعبر هذا المعامل عن التكوين النسبي للقشور أو قابلية الماء التحات والتآكل ويعبر عنه كما موضح في المعادلة ٣٢ .

(٣٢)

$$RI = 2 pH_s - pH_a$$

حيث :

RI - معامل رايزنر .

pH_s - الرقم الهيدروجيني عند التشبع .

pH_a - الرقم الهيدروجيني الفعلي أو المقاس للماء .

ويوضح الجدول ٤ حالة الماء المرادفة لقيم معامل ريزنر .

جدول (٤)
حالة الماء على حسب تقدير معامل رايزنر

قيمة معامل رايزنر	حالة الماء
أقل من ٦	تزداد القابلية لترسيب كربونات الكالسيوم وتكوين القشور.
أكبر من ٦	يزداد التآكل .
أكبر من أو يساوي ١٠	شديد التآكل .

(ج) معامل التحات Agressiveness index :-

وهو مصطلح يستخدم لإيجاد كمية المياه التي يمكن حملها عبر أنابيب الأسبستوس الأسمنتية بدون عواقب وخيمة. وتبين المعادلة ٣٣ العلاقة بين معامل التحات والرقم الهيدروجيني والقلوية الكلية وعسر الماء.

$$AI = pH + \log (Alk) \cdot (Ca^{++}) \quad (٣٣)$$

حيث :

AI - معامل التحات .

Alk - القلوية الكلية، ملجم كربونات كالسيوم/ لتر .

Ca^{++} - عسر الماء نتيجة لأيونات الكالسيوم، ملجم كربونات كالسيوم على اللتر .

ويعطى الجدول ٥ تقسيم لحالة الماء طبقاً لمعيار التحات .

جدول (٥)
حالة الماء مقدرة بمعامل التحات

معامل التحات	حالة الماء
أقل من أو يساوي ١٠	شديد التآكل.
١٠ إلى ١١,٩	متوسط التآكل.
أكبر من ١٢	غير آكل.

وقد لوحظ أن الماء الذي يحتوي على معامل تحات أقل من أو يساوي ١٠ يولد تآكل شديد جداً ويكون آكلاً أو حات لمعظم المواد المستخدمة في شبكات المياه أو أنابيب المباني .

ولتحديد نوع الاختبارات والقياسات الواجب عملها طبقاً لنوع المادة المصنعة منها المواسير أو الأنابيب يمكن إتباع الجدول (٦) .

جدول (٦)

بعض المعايير المستحسن قياسها عند اختبارات تأكل ونحات المياه (٢٦،٢٥،٢٤)

المعيار	مادة الأنبوبة
الحديد ، المنجنيز ، الموصلية الكهربائية ، كمية لأكسجين المذاب، اللون .	حديد ، حديد زهر
الرقم الهيدروجيني، القلوية، الكالسيوم، الرصاص .	(عندما يكون مغطى بأسمنت)
الحديد، المنجنيز، الموصلية الكهربائية، كمية الأكسجين المذاب، اللون، الرقم الهيدروجيني .	الفلاذ
الرقم الهيدروجيني، القلوية، الكالسيوم، الموصلية الكهربائية .	خرسانة اسطوانية
الرقم الهيدروجيني، القلوية، الكالسيوم، ألياف الأسبستس ، الموصلية الكهربائية .	الأسبستس الأسمنتى
الخاصين، الكاديوم، الرصاص، الحديد، كمية الأكسجين المذاب، الرقم الهيدروجيني ، اللون ، الموصلية الكهربائية	الحديد المجلفن

مثال (٥)

أجريت تحاليل على عينة من الماء ووجدت البيانات التالية :

الرقم الهيدروجيني = ٧,٨ ،
القلوية الكلية = ٢٠٠ ملجم كربونات كالسيوم/لتر
العسر الكلى = ٣٠٠ ملجم كربونات كالسيوم/لتر .
هل هذا الماء حارق أم مرسب؟ (استخدم معادلة معامل التحات) .

الحل :-

١ - المعطيات: $pH = ٧,٨$ ، $Alk = ٢٠٠$ ، $Ca^{++} = ٣٠٠$.

٢ - أوجد معامل التحات من المعادلة: $Al = pH + \log (Alk) \cdot (Ca^{++})$

$Al = ٧,٨ + \log (٣٠٠ \times ٢٠٠) = ١٢,٦$

٣ - مقدار معامل التحات أكبر من ١٢، وهذا يعنى أن الماء غير حارق (انظر الجدول ٥) .

٤-٧ تمارين عامة

٤-٧-١ تمارين نظرية:

- (١) أذكر محاسن تخزين المياه .
- (٢) أذكر أقسام خزانات ومستودعات تخزين المياه. ما الفرق بين كل قسم ؟
- (٣) ما فائدة منحني الكتلة (منحني ربل) ؟ استخدم الرسم للإيضاح .
- (٤) إذكر أهم الطرق المتبعة لنقل الماء في منطقتك ؟ ماهي عيوب ومحاسن كل طريقة ؟
- (٥) كيف يمكن المفاضلة بين طرق توزيع المياه ؟
- (٦) ما الفرق بين نظم توزيع المياه للمناطق الريفية ونظم توزيعها للمناطق الحضرية ؟
- (٧) ماهي محاسن النظام الشجري لتوزيع المياه ؟
- (٨) ماهي مساوئ نظام الشبكة ذي النهايات الميتة المتبع لتوزيع المياه ؟
- (٩) عرف الآتي: دفق مضطرب، دفق رقائقي، دفق مثالي، دفق غير منضغط، دفق مستقر .
- (١٠) ما الفرق بين الدفق المنتظم والدفق الغير منتظم ؟
- (١١) أيها أكثر حدوثا في الحياة العملية الدفق المضطرب أم الدفق الطبقي ؟
- (١٢) اذكر الفروق بين الدفق الصفحي والدفق المضطرب ؟
- (١٣) ما فائدة رسم مودي ؟
- (١٤) اكتب بإيجاز عن طريقة الإرتخاء Relaxation method (طريقة هاردي كروس) .
- (١٥) اذكر أوجه القصور في طريقة هاردي كروس ؟
- (١٦) كيف يتم إختيار أنابيب المياه لمنطقة محددة ؟
- (١٧) ما الآثار الضارة للتآكل والتحات في شبكة المياه ؟
- (١٨) اكتب باختصار عن كيفية التآكل والتحات في الأنابيب المصنعة من مادة الأسبستس الأسمنتية .

٤-٧-٢ تمارين عملية :

- (١) استخدم خزان لتخزين مياه تساعد على الإمداد المنتظم بمعدل يساوي ١٥٠ متر مكعب على الدقيقة. وأظهرت التحاليل المجمع، لمنطقة الجابية المجاورة، البيانات المدرجة في الجدول أدناه (مقدرة بالمليون متر مكعب) :

الشهر	حجم الماء
يناير	٢
فبراير	٦
مارس	١٩
أبريل	١٩
مايو	١٤
يونيو	٥
يوليو	٣
أغسطس	٢
سبتمبر	٤
أكتوبر	٩
نوفمبر	٢٢
ديسمبر	٤٧

أوجد مقدار التخزين المطلوب لمواكبة الاستهلاك المنتظم بفرض أنه لا يوجد فقدان للماء (الإجابة 16×10^6 متر مكعب) .

(٢) ينساب ماء على درجة حرارة 20°م ، عبر أنبوب قطره 0.05 ملم، بمعدل دفق يساوي 5 مللتر في الساعة. أوجد سرعة التدفق عبر الأنبوب، وأين ما إذا كان التدفق مضطرب أم صفحي . (الإجابة 7.7 ملم/ث صفحي) .

(٣) ينساب ماء على درجة حرارة 20°م عبر أنبوب دائري بمعدل 2000 لتر في الدقيقة إذا كان قطر الأنبوب 80 ملم وطوله 250 متر والخشونة النسبية $g = 0.3$ ملم أوجد فقد السمات بين طرفي الأنبوب. (الإجابة 71 ملم) .

(٤) أنبوب أفقي قطره 10 سم وطوله 285 متر يحمل ماء على درجة حرارة 25°م . معامل الاحتكاك المطلق للأنبوب يساوي 0.05 ملم ومعدل اندفاق الماء يساوي 0.06 متر مكعب في الدقيقة . (أ) أوجد فقد السمات نتيجة للإحتكاك .

(ب) احسب القدرة المطلوبة لإستمرار إندفاق الماء في الأنبوب بافتراض أن الدفق صفحي في حالة، وبافتراض أن الدفق مضطرب في حالة أخرى . ماذا تستنتج من هذه المسألة. (الإجابة: 68 ملم) .
(٥) يمثل الشكل أدناه ثلاثة أنابيب متصلة على التوازي لتوصيل المياه من الخزان (أ) إلى الخزان (ب) على فقد سمات يعادل 9 م أوجد معدل الدفق من الخزان (أ) إلى الخزان (ب) مستخدماً :
(أ) طريقة السرعة والسمات المتكافئة .

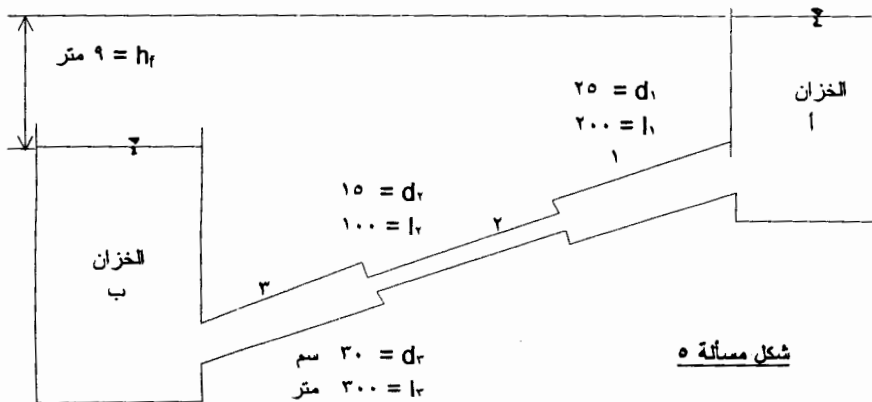
(ب) طريقة الطول المكافئ علماً بأن معامل الإحتكاك يساوي 0.018 لكل أنبوب. (الإجابة 60 لتر/ث)
(٦) تتكون شبكة مياه من حلقتين (أنظر رسم شكل مسألة ٦)، وتحوي ثلاثة أنابيب أ ج ب، أ د ب، أ ه ب، أقطارها 250 ، 200 ، 300 ملم، وأطوالها 500 ، 200 ، 100 متر على الترتيب. معامل الإحتكاك لكل أنبوب يساوي 0.002 وإرتفاع النقطة (أ) 16 م وإرتفاع النقطة (ب) 15 متر، وتحمل الأنابيب ماء على درجة حرارة 20°م يندفق بمعدل 1500 متر مكعب على الساعة. أما الضغط على النقطة (أ) فيساوي 100 كيلو باسكال. مستخدماً معادلة دارسى ويسباش :
(أ) أوجد معدل الدفق في كل أنبوب .

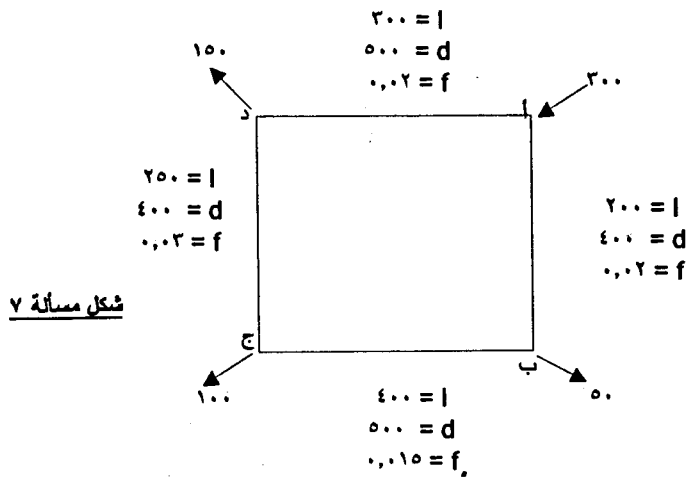
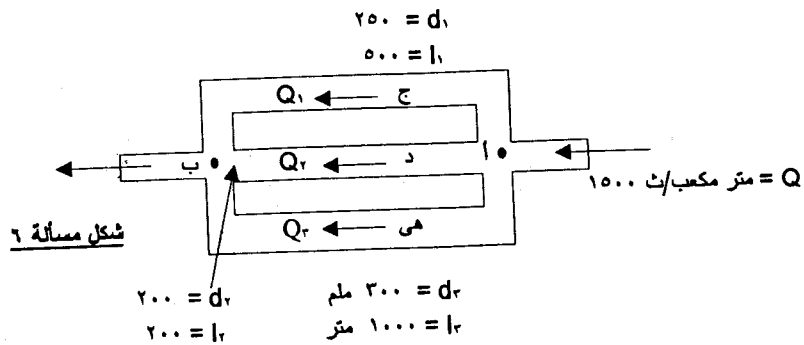
(ب) أوجد الضغط على النقطة (ب). (الإجابة: 492 ، 450 ، 554 م 3 /ساعة، 144 كيلو باسكال) .
(٧) تدخل مياه للحلقة الموضحة على الرسم عند النقطة (أ) بمعدل دفق يساوي 300 لتر على الثانية، وتغذى المناطق المجاورة عبر نقاط الملتقى ب، ج، د بمعدلات 50 ، 100 ، 150 لتر على الثانية على الترتيب. أطوال الأنابيب أ ب، ب ج، ج د، أ د، 200 ، 400 ، 250 ، 300 متر وأقطارها 400 ، 500 ، 400 ملم ومعامل الإحتكاك لها 0.02 ، 0.015 ، 0.03 ، 0.02 على الترتيب. تعمل الأنابيب على درجة حرارة 20°م ، ويساوي الضغط على النقطة (أ) 150 كيلو باسكال .
(أ) أوجد معدل الدفق في كل أنبوب .

(ب) أوجد الضغط على النقاط ب، ج، د. (إستخدم معادلة دارسى ويسباش لإيجاد فقد السمات).
 (الإجابة: ١٢١، ٧١، ٢٩، ١٧٩ لتر/ث، ١٤٥، ٤، ١٤٤٤، ٤، ١٤٣، ٩ كيلو باسكال).
 ٨) أخذت عينة من الماء وأجريت عليها بعض الإختبارات، وأظهرت النتائج الجدول المدرج أدناه :

المنشط	القيمة
الرقم الهيدروجيني	٦,٦
أيون الكالسيوم	٤ مليمكافى/لتر
أيون الماغنيسيوم	٢٠ ملجم ماغنيسيوم/لتر
القلوية	١٥٠ ملجم كربونات كالسيوم/لتر

أوجد ماإذا كان الماء حارق أم مترسب باستخدام معامل التحات. (الإجابة متوسط التحات) .





4.8 References

- 1) Scott, J. S., and Smith, P. G., "Dictionary of Waste and Water Treatment", Butterworths, London, 1980.
- 2) Nathanson, J. A., "Basic Environmental Technology: Water Supply, Waste Disposal and Pollution Control", Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1986.
- 3) Viessman, W. and Hammer, M. J., "Water Supply and Pollution Control", Harper and Row Pub., New York, 1985.
- 4) Abdel-Magid, I. M., Hago, A. H., and Rowe, D. R., "Modelling Methods for Environmental Engineers", Lewis Publishers, New York (Under publication).
- 5) Wisler, C. O. and Brater, E. F., "Hydrology," John Wiley and Sons, New York, 2nd Ed., 1959.
- 6) Abdel-Magid, I. M. "Water treatment and sanitary engineering"; Khartoum University Press, Khartoum, 1986 (Arabic).
- 7) Abdel-Magid, I. M. and El-Hassan, B. M. "Water supply in the Sudan, Khartoum University Press, Sudan National Council for Research, Khartoum 1986 (Arabic).
- 8) 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.
- 9) IRC, "Public Standpost Water Supplies - A Design Manual", TP series 14, The Hague, 1979.
- 10) Roy, D. N., "Applied Fluid Mechanics", Ellis Horwood Ltd., Halsted Press: A Division of John Wiley and Sons, New York, 1988.
- 11) Douglas, J. F.; Gasiorek, J. M. and Swaffield, J. A., "Fluid Mechanics", Longman Scientific and Technical, New York, 1994.
- 12) Munson, B. R.; Young, D. F.,; and Okiishi, T. H., "Fundamentals of Fluid Mechanics", John Wiley and Sons, New York, 1990.
- 13) Fox, R. W. and McDonald, A. T., "Introduction to Fluid Mechanics", John Wiley and Sons, New York, 3rd Edi., 1985.
- 14) Fox, J. A., "An Introduction to Engineering Fluid Mechanics", Macmillan, Hong Kong, 1977.
- 15) Streeter, V.L. and Wylie, E.B., "Fluid Mechanics", McGraw-Hill Book Co., London, 1988.
- 16) Daugherty, R.L., Franzini, J.B., and Finnemore, E. J., "Fluid Mechanics with Engineering Applications", McGraw-Hill Book Co., New York, 1985.
- 17) Collins, A. G. and Johnson, R. L., "Finite Element Method for Water Distribution Networks", JAWWA, Vol. 67, No. 7, 1975, pp. 385-389.
- 18) Wood, D. J. and Charles, C. O., "Hydraulic Network Analysis Using, Linear Theory", J. of the Hydraulics Division. Proceedings of the American society of Civil Engineers, Vol. 98, No. HY7, 1972. pp. 1157-1170.
- 19) Shamir, U. and Howard, C. D., "Water Distribution Systems Analysis", J. of the Hydraulics Division, Proceedings of the American Society of Civil Engineers, Vol. 94, No. HY1, 1968, pp. 219 234.
- 20) McCormich, M. and Bellamy, C. J., "A Computer Program for the Analysis of Networks of Pipes and pumps", J. of the Institu-

- tion of Engineers, Australia, Vol. 38, No. 2, 1968, pp. 52-58*
- 21) Liu. K. T., "The Numerical Analysis of Water Supply Networks by a Digital Computer", Proceedings, IAHR 33th Congress, Kyoto, Japan, 31 Aug.- 5 Sept. 1969, pp. 35-42.
 - 22) Abdel-Mageid, H., Hago, A., and Abdel-Magid, I.M., "Analysis of Pipe Networks by the Finite Element Method", J. Water International, Vol. 16(2), June 1991, pp 96-101.
 - 23) WHO, "Minimum Evaluation Procedure", WHO ETS/83.1 CDD/OPR/83.1, Geneva, 1983.
 - 24) American Water Works Association, "Internal corrosion", JAWWA, 72(5), May 1980, all articles.
 - 25) American Water Works Association, "Determining internal corrosion potential in Water Supply System", JAWWA, 76(8), August 1984, 83.
 - 26) El-Hassan, B. M. and Abdel-Magid, I. M., Environment and Industry: Treatment of Industrial Wastes, Institute of Environmental Studies, Khartoum University, Khartoum, 1986.
 - 27) Thanh, N. C and Hettiaratchi, J. P. A., "Surface Water Filtration for Rural Areas Guidelines for Design, Construction and Maintenance", ESIC, Bangkok, 1982.
 - 28) 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.

الباب الثاني

معالجة الفضلات والمخلفات السائلة وطرق التخلص منها

الفصل الخامس : مصادر الفضلات والمخلفات السائلة وطرق جمعها
الفصل السادس : معالجة الفضلات والمخلفات السائلة
الفصل السابع : معالجة الحمأة والتخلص النهائي من الرواسب
والمخلفات السائلة

الباب الثانى

معالجة الفضلات والمخلفات السائلة وطرق التخلص منها

الفصل الخامس

مصادر الفضلات والمخلفات السائلة وطرق جمعها

٥ - ١ مقدمة

إن تجميع والتخلص من الفضلات السائلة من مصادر إنتاجها هام للمحافظة على الصحة العامة ، وتلافى حدوث مخاطر لا تحمد عقباه . وتختلف مصادر الفضلات السائلة باختلاف إستخدام المياه ، وتتنوع بتنوع الإنتاج الزراعى والصناعى والتجارى ، وإستعمال المياه فى المنازل للغسيل والنظافة الشخصية ، وغيرها من أنماط الإستهلاك . ومن اللازم العمل على تجميع وتوصيل مياه الصرف الصحى والحمأة السائلة بسرعة الى محطات معالجتها ، أو نقاط التخلص النهائى منها بأرخص السبل المتاحة ، بغية معالجتها أو تحويلها الى نواتج أخرى غير ضارة ولا تشكل خطر على الإنسان أو منتجاته أو حيواناته أو ممتلكاته . ويستحسن إيصال المخلفات السائلة الى نقاط المعالجة بالسرعة اللازمة للحيلولة دونما حدوث الحالات اللاهوائية ، أو تغير فى خواص الفضلات، أو إنتاج الغازات ذات الروائح النتنة . ومن الأساليب المتبعة لتجميع وترحيل الفضلات السائلة أساليب بدائية يتم فيها إستخدام الإنسان أو الحيوان ، وهذه ينصح بتركها وينبغى القضاء عليها لأضرارها ومساوئها الكثيرة والمتعددة على الفرد وعلى المجتمع المحيط . وهناك طرق ضخ أو تجميع الفضلات آليا، ثم نقلها بالمركبات ووسائل النقل المحددة الى نقاط المعالجة أو التخلص النهائى . وينبغى أن تراقب هذه الأساليب مراقبة دقيقة ، وأن يتم تثقيف العاملين وتوعيتهم الصحية لكيلا ينتقل التلوث أو الخطر الصحى من الفضلات الى مسار الإنسان، أو يجد طريقه الى السلسلة الغذائية بالطرق المباشرة وغير المباشرة. ويحث الدين الإسلامى الحنيف على النظافة وتجنب التلوث ، وعلى سبيل المثال -لا الحصر- ورد فى السنة النبوية الشريفة وفى صحيح البخارى ٢١٦ عن ابن عباس رضى الله عنه قال: " مر النبى صلى الله عليه وسلم بحائط من حيطان المدينة -أو مكة- فسمع صوت إنسانين يعذبان فى قبورهما ، فقال النبى صلى الله عليه وسلم "يعذبان ، وما يعذبان فى كبير - ثم قال - بلى ، كان أحدهما لا يستتر من بوله، وكان الآخر يمشى بالنميمة " ثم دعا بجريدة فكسرها كسرتين ، فوضع على كل قبر كسرة، فقيل له : يا رسول الله لم فعلت هذا ؟" قال : "علفه أن يخفف عنهما ما لم تيبسا " . [الحديث ٢١٦ أطرافه فى ٢١٨، ١٣٦١، ١٣٧٨، ٦٠٥٢، ٦٠٥٥] .

ثم هنالك أسلوب الصرف الصحى الذى تجرى مناقشته فى هذا الفصل مع التركيز على أنماط التصاميم المتبعة لشبكات المجارى أو الصرف الصحى .

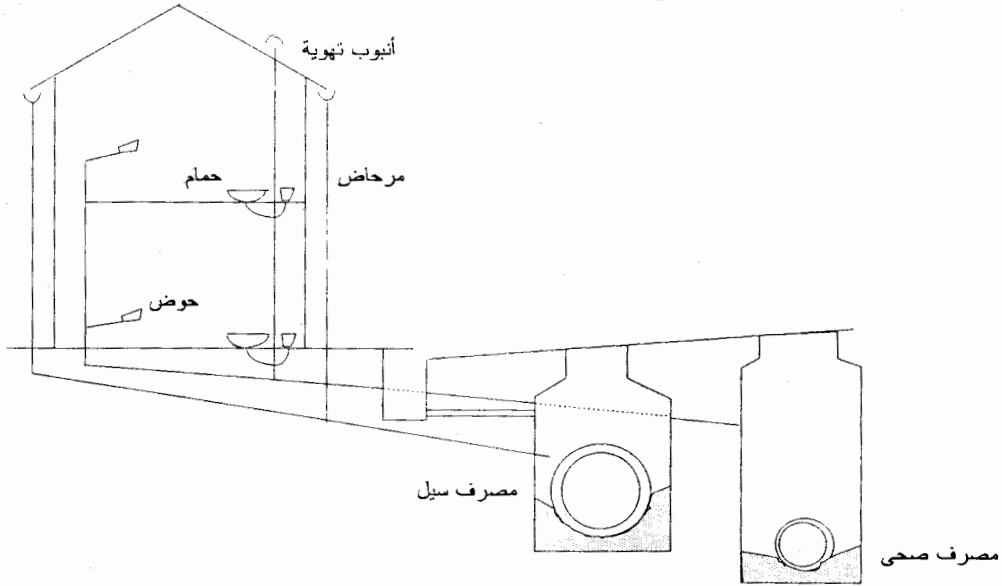
٥ - ٢ الصرف الصحي

يتم الصرف الصحي بواسطة أنابيب أو قنوات تسمى مجاري (مجارى) الصرف الصحي من ضمن شبكة المجارى. ويعرف المجرور على أنه أنبوب أو ماسورة أو قناة في الغالب الأعم مغلقة غير أنها ليست ممثلة لحمل الحمأة والفضلات السائلة. ومن أهداف المجارى ما يلى :

- (١) جمع الفضلات السائلة ونقلها الى نقاط المعالجة أو نقاط التخلص النهائي .
 - (٢) المحافظة على الصحة العامة ورفاهية المنطقة المأهولة بالمجمعات السكانية أو بمشاريع التنمية .
- وتقود المناحي الإقتصادية الى إختيار أحد نظم المجارى المتبعة وهى: النظام المنفصل، و النظام الموحد، والنظام شبه الموحد .

(أ) نظام المجارى الصحية المنفصل Separate sanitary sewers system (أنظر الشكل (١))

ويستخدم نظام المجارى الصحية المنفصل لجمع ونقل الفضلات السائلة المنزلية والتجارية والصناعية . وفى هذا النظام يتم التخلص من المياه السطحية Surface water، ومياه السيل Runoff، والأمطار بواسطة مجارى مياه الأمطار. أما الفضلات السائلة والحمأة المنزلية والتجارية والصناعية فيتم التعامل معها بواسطة مجارى أخرى تسمى المجارى الصحية .



شكل (١) نظام المجارى الصحية المنفصل

ومن محاسن هذا النظام {١} :
 ~ نظام إقتصادى ، إذ يستعمل مجارى ذات أحجام صغيرة .

- صرف الفائض من المياه Storm overflow .
- كمية الفضلات السائلة والحماة الداخلة للمعالجة قليلة .
- تقل التكلفة مقارنة بنظام المجارى الموحد عندما يحتاج الى ضخ الفضلات .
- أما مساوى النظام فتضم { ١ } :
- يحتاج الى نظافة وكشط للأوساخ ، وهذه عملية مكلفة . والاحتياج الى النظافة ناتج من صعوبة التأكد من استمرار وجود سرعة التنظيف الذاتية فى المجرور عدا عندما يتم إستخدام ميل كبير .
- يحتاج الى ثانوية السباكة بالمنزل ، كما وأن وجود شبكتين للمجارى فى الطريق تقود الى زحمة المرور وتأخيرها ، وربما قادت الى منع المرور عند القيام بعمليات الترميم والإصلاح .
- تكلفة شبكتين أو نظامين من المجارى أكثر من تكلفة نظام واحد .

(ب) النظام الموحد للمجارى Combined sewer system (انظر الشكل (٢))

وفى النظام الموحد للمجارى يقوم نفس المجرور بحمل ونقل الفضلات السائلة المنزلية والتجارية والصناعية بالإضافة الى المياه السطحية ومياه السيل ومياه الأمطار .

- ومن محاسن هذا النظام ما يلى { ١ } :
- تقوم مياه الأمطار بتخفيف الحماة مما يساعد فى سهولة معالجتها فى محطات المعالجة .
- تقلل مياه الأمطار من إقتصاديات المعالجة .
- تساعد المياه فى النظافة والكشط المستمر للأوساخ المترسبة فى المجارى .
- المجارى أكبر فى حجمها مما يساعد على نظافتها .
- يقلل النظام من السباكة المنزلية ويتفادى تصميمه عمل شبكتين .

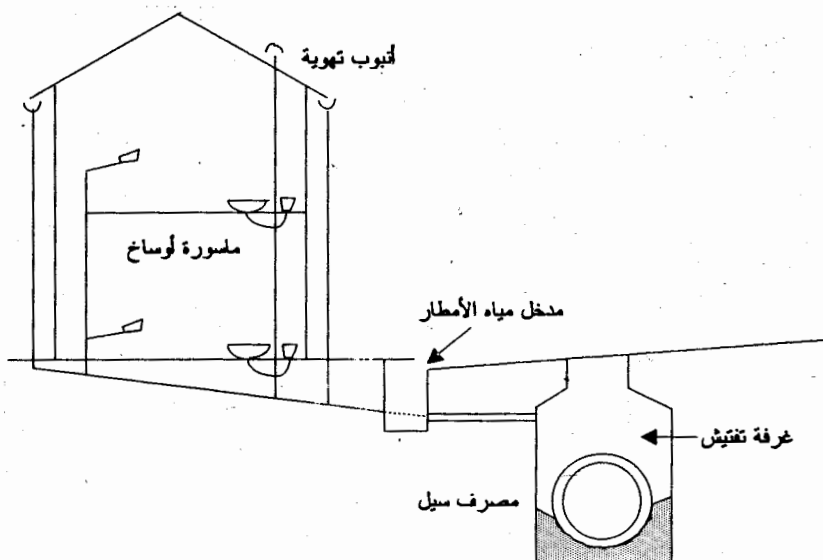
(ج) النظام شبه المنفصل Pseudo-separate (partially separate) sewer system

(انظر الشكل (٣))

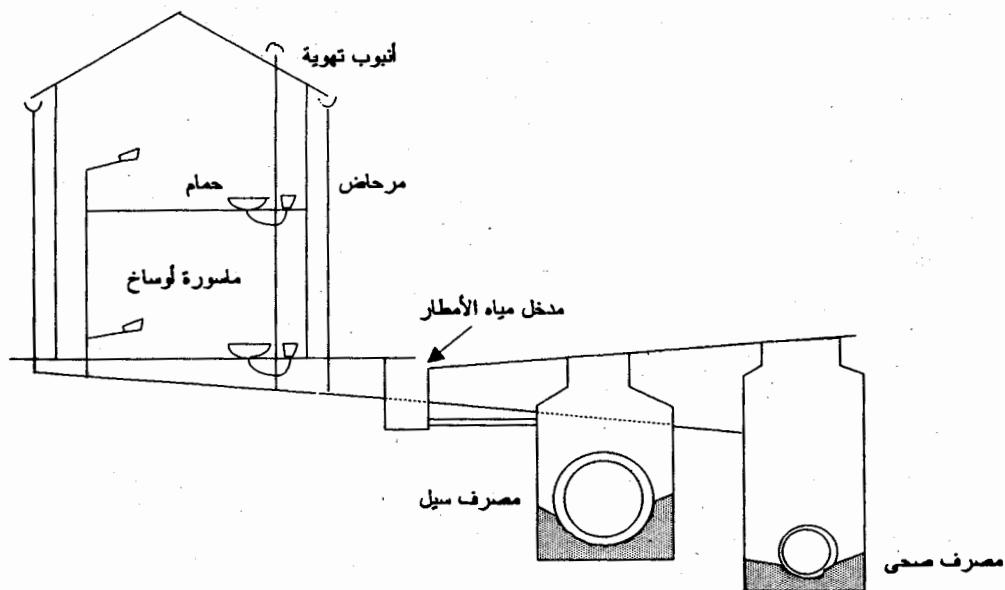
وهذا النظام خليط بين النظامين السابقين ، بحيث يقوم نظام شبكة مجارى بإستقبال الفضلات السائلة وجزء من مياه الأمطار والسيول والمياه السطحية (مثلا المياه المجمعة من أسطح المنازل والتي تجد طريقها الى الشبكة) ، ويقوم جزء آخر من النظام بنقل الجزء المتبقى من مياه الأمطار والسيول والمياه السطحية .

قد يقود سوء الإستخدام للمصارف الصحية الى مشاكل عديدة منها :

- الانفجارات .
- حدوث الحرائق .
- الإنسدادات (من جراء الشحوم والدهون والزيوت أو الأحمال القاعية وغيرها من الأنقاض والأوساخ) .



شكل (٢) نظام المجارى الصحية الموحد



شكل (٣) نظام المجارى الصحية شبه المنفصل

- الأعطاب والخلل (مثلا من جراء دفق الفضلات الحارقة أو الأكالة ومن جراء التحميل الزائد أو التوصيلات غير القانونية أو تلوث المياه أو التعرض للمعالجة بالدفق الفائض أو إدخال الفضلات غير القابلة للتفكيك).

ولعمل التصميم الجيد المناسب لشبكة المجارى فلا بد من القيام بالدراسات للفحص والاستقراء فيما يتعلق:

- بالنواحى الطبغرافية ، والجيولوجية ، والجغرافية ، والهيدرولوجية ، والهيدروليكية للمنطقة .
- بخواص المياه السطحية والجوفية (مثلا النفاذية ، ومستوى المياه الجوفية ، والتسرب ، ومعامل الدفق السطحي ، وغيرها من العوامل المؤثرة) .
- بشبكة المجارى الحالية وما بها من قصور أو مشاكل أو عيوب ومدى تحملها للإمتداد مستقبلا .
- بإمدادات المياه (من كمية الإستهلاك والنسبة المئوية الداخلة لشبكة المجارى) .
- بقطاع الخدمات الأخرى بالمنطقة (مثل وضع شبكة المياه، وخطوط إمدادات الكهرباء ، وخطوط الهاتف والميكرويف ، وأنابيب الغاز ، وعرض الشارع وحالته من سفلتة وغيرها) .
- بالمباني الموجودة وإرتفاعاتها .
- بخطة التنمية للمنطقة .
- بالصناعات القائمة والمتوقعة .
- بالسكان (الكثافة السكانية ، والنمو ، والمواليد ، والوفيات ، والهجرة ، والزمن التصميمى مع الخطة الرئيسية) .
- بالرصد الجوى والبيانات الهيدرولوجية المتعلقة بأقصى وأدنى متوسط للأمطار ، ودفق الأنهار ، ومستوى البحر والتيارات السائدة، والرياح ، والرطوبة ، والحرارة ، والتبخر) .
- بتاريخ المنطقة وحدوث كوارث طبيعية مثل الزلازل والبراكين وغيرها .
- بالبيانات السياسية ، والقوانين المؤثرة على توصيلات المجارى ، ومعدلات الدفق ، وجهات الإختصاص .
- بالبيانات الإقتصادية .
- بالبيانات العامة الأخرى مثل السياحة ، وإعادة الإستخدام ، والدوران وغيرها .

ويمكن تقسيم المسوحات والفحوصات الإستقرائية الى محاور محددة مثل :

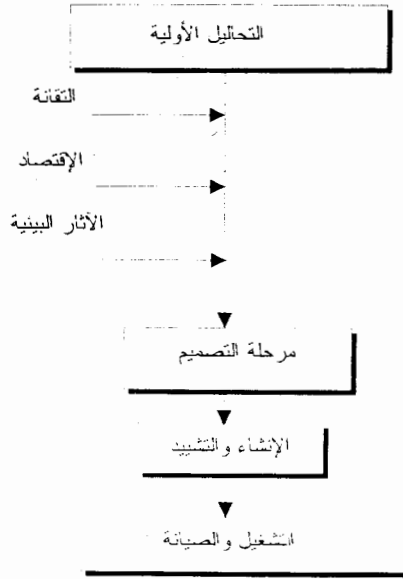
- المحور الطبعى : المتعلق بطبغرافية المنطقة ، وخرط المدينة ، ووجود شبكة مجارى حالية ، والإمتدادات المستقبلية ، والمناطق الأثرية والتاريخية ومناطق التراث .
- محور التنمية : ويتعلق بالسكان فى المنطقة ، ونوع التنمية السائدة ، وأهم الخطط القومية بالمنطقة .
- المحور السياسى : ويتعلق بالحدود السياسية ، والإتفاقيات ، وبروتوكولات الخدمات ، والقوانين المتعلقة بالمعالجة المبدئية للفضلات الصناعية ، وتلك المتعلقة بإعادة الإستخدام والدوران ،

وتلك المتعلقة بالصرف للمجارى المائية ، وغيرها من قوانين وأنماط إستخدامها وطريقة تطبيقها ، والجهات الصادرة منها ، وكيفية تغييرها لتناسب والتغيرات الطارئة فى المجتمع ، والدراسات والبحوث .

• محور الصحة والدفق الصحى: ويتعلق بكمية الفضلات السائلة ، وقوتها ، وتكوينها ، وطريقة التخلص منها ، والقوانين المواكبة لها ، والمناخى السياسية والإجتماعية والإقتصادية والصحية .

• المحور المالى .

ويبين الشكل (٤) الأطوار التى يمكن أن يمر عليها مشروع الصرف الصحى .

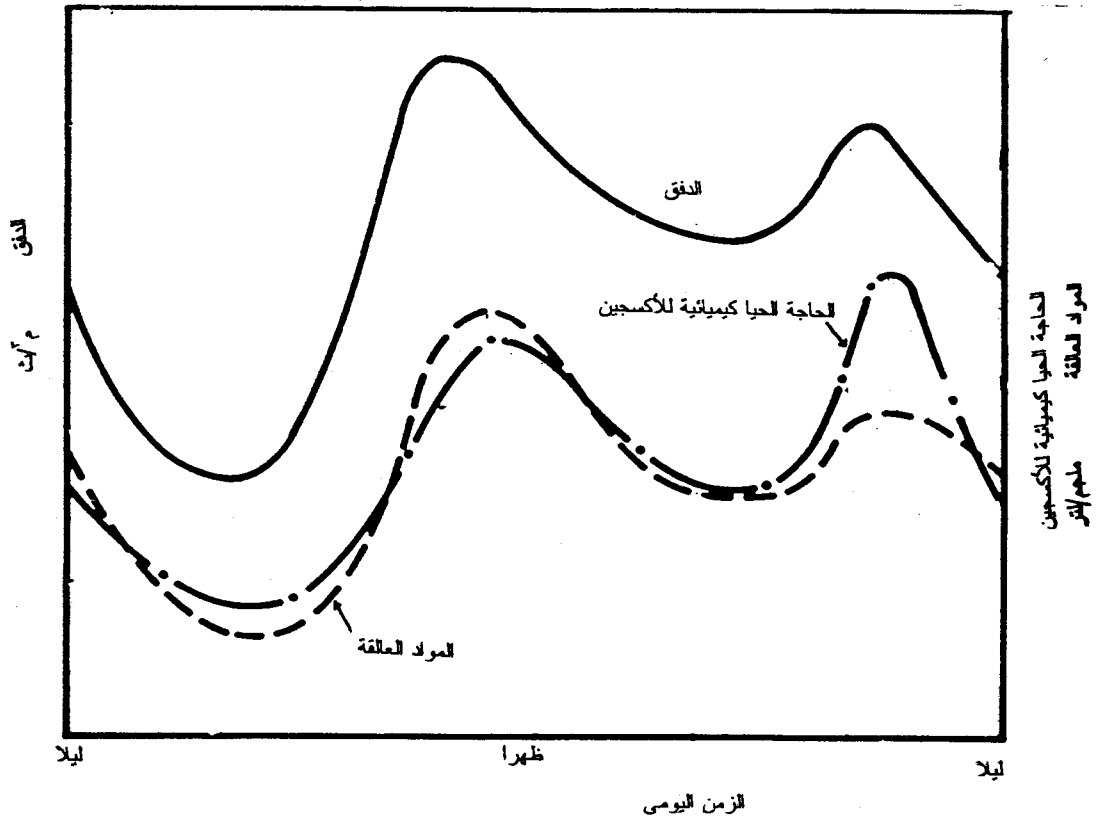


شكل (٤) أطوار مشروع الصرف الصحى

٥ - ٣ معدل دفق الفضلات السائلة الى شبكة المجارى

يتغير معدل دفق الفضلات السائلة الى المجرور يوميا. فمثلا غالبا يكون معدل الدفق من المناطق السكنية قليل فى الصباح الباكر ليصل أعلاه بين السادسة الى الثامنة صباحا عندما يتأهب الناس للذهاب الى مقر العمل ، ثم يصل أعلاه مرة أخرى بين الساعة الرابعة والسادسة مساء عندما يعود الناس من العمل أو يستيقظون من قيلولة ما بعد الظهر ، كما مبين فى الشكل (٥) . أما الدفق الصادر من المنشآت التجارية والصناعية فعادة يحدث معظمه أثناء ساعات النهار بمعدل ثابت . وعند التصميم يقدر الدفق لفترة مستقبلية تسمى بفترة التصميم ، والتى عادة تؤخذ بين ٢٥ الى ٥٠ سنة . ويؤخذ أقصى دفق للتصميم الذى يتحقق من تشعب الكثافة السكانية . ولتحديد معدل دفق الفضلات يبنى التقدير على أقصى إستخدام للمياه أو يبنى على الكثافة السكانية ، أو يحسب من عدد المباني ، أو طبقا للإمتدادات المحتاجة لتوصيلات مجارى . وعند حساب كميات الدفق الداخلة للمجرور لا بد من إضافة أى مياه تجد طريقها إليه من

خلال التشققات فى الأنابيب ، أو الوصلات المعطوبة ، أو عبر التوصيلات المتقاطعة ، أو خلال غرف التفتيش غير الجيدة التصميم ، أو عبر غطاء غرفة التفتيش المغمور ، أو من التوصيلات المنزلية غير الجيدة ، أو من المصارف غير القانونية ، أو من أى أجزاء معطوبة فى المنطقة المجاورة .



شكل (٥) التغيرات اليومية فى الدفق والحاجة الحيا كيميائية والمواد العالقة فى الفضلات المنزلية لمجموعة سكنية صغيرة

وأقواس الدفق الى يجب أخذها فى الاعتبار عند التصميم تضم :
قصي معدل دفق : يجب أن لا تزيد السرعات والقوى الهيدروليكية عن تلك المحددة طبقا لخواص وأحمال المواد المصنوع منها المجرور .
أقل معدل دفق : وهذا حرج وهام لتحديد الميل المسطح المسموح به لأنبوب المجرور، بحيث تكون السرعة مناسبة لمنع ترسب المواد غير العضوية ، أو المواد الصلبة العالقة ، أو تراكم الزيوت والشحوم

والدهون على جدران المجرور. والعلاقة بين أقصى معدل دفق والدفق المتوسط يمكن إيجاده من المعادلة (١) .

$$(١) \quad Q_p (2 \text{ to } 3) * Q_a$$

حيث :

$$Q_p = \text{أقصى معدل دفق (م}^3/\text{ث) .}$$

$$Q_a = \text{معدل الدفق المتوسط (م}^3/\text{ث) .}$$

٥ - ٤ مياه الأمطار والسيول والمياه السطحية Storm water

من أكبر مصادر هذا النوع من المياه هو الأمطار. ومن العوامل المؤثرة في الكميات الصادرة منها : شدة الأمطار، وفترة هطولها، والزوايا، والمسافة التي تقطعها المياه قبل أن تصل إلى المجرور، ومعامل النفاذية، وميل المنطقة الجابية، وشكل وحجم منطقة التصريف. ويمكن تقدير معدل دفق السيل باستخدام معادلة لويدي وديفيد Lloyd Davies method، أو ما يسمى بالصيغة العقلية Rational method، والتي تصلح لمنطقة لا تزيد مساحتها عن ١٥ كيلو متر مربع. والصيغة العقلية موضحة في المعادلة (٢) .

$$(٢) \quad Q = 0.278 * C * I * A$$

حيث :

$$Q = \text{أقصى معدل دفق لنقطة محددة (م}^3/\text{ث) .}$$

$$C = \text{ثابت السيل (لا بعدى) .}$$

$$I = \text{متوسط شدة الأمطار Rainfall intensity (مم/ ساعة) .}$$

$$A = \text{مساحة منطقة التصريف (كيلو متر مربع) .}$$

ويمكن إيجاد ثابت السيل من الجدول (١) ويخضع للمعادلة (٣)

$$(٣) \quad Q < C < I$$

وثابت السيل يمثل نسبة السيل إلى الأمطار، أو الجزء من الأمطار المتساقط الذي يظهر على شكل دفق سطحي. ويعتمد ثابت السيل على نوع وخواص السطح. ويمكن إيجاد شدة الأمطار من المعادلة (٤) .

$$(٤) \quad I = 750 / (t + 10)$$

حيث :

$$I = \text{شدة الأمطار (مم/ ساعة) .}$$

$$t = \text{زمن التركيز ، ويعبر عن مجموع زمن دخول وخروج الدفق (دقيقة) .}$$

جدول (١)
ثابت السيل للصيغة العقلية { ١, ٢, ٣, ٤, ٥, ٦, ٧ }

القيمة	المنطقة
٠,٧ الى ٠,٩٥	المدينة والمنطقة التجارية المنطقة السكنية:
٠,٣ الى ٠,٥	• أسرة واحدة
٠,٤ الى ٠,٦	• وحدات سكنية منفصلة
٠,٦ الى ٠,٧٥	• وحدات سكنية متصلة
٠,٢٥ الى ٠,٤	• الضاحية
	المنطقة الصناعية:
٠,٦ الى ٠,٩	• صناعات ثقيلة
٠,٥ الى ٠,٨	• صناعات خفيفة
٠,١ الى ٠,٣	الحدائق والمناطق غير المطورة
	الرصيف:
٠,٧ الى ٠,٩٥	• الأسفلتي
٠,٨ الى ٠,٩٥	• الخرساني
٠,٧ الى ٠,٨٥	• الطوب (أو الطابوق)
٠,٧ الى ٠,٩	وسط المدينة (المنطقة الحضرية)
٠,٢ الى ٠,٣٥	منطقة الملاعب
٠,٠٥ الى ٠,٣٥	المناطق المخضرة
٠,٧ الى ٠,٩٥	الأسطح غير النافذة للماء (سدودية للماء)
٠,٠١ الى ٠,١	مساحات الأخشاب
٠,٨ الى ٠,٩	الطرق المرصوفة

وتفضل في مجاري السيل سرعة تصميمية كبيرة مقارنة بالمجاري الصحية بسبب الرمال الثقيلة والمواد غير العضوية التي تجد طريقها للمجرور. ويستحسن أن تكون أقل سرعة في حدود ٠,٧٥ الى ٠,٩ متر على الثانية. ونسبة للخواص الحاكة للمواد الصلبة فمن المستحسن تفادي السرعات الكبيرة، وتعد السرعة ٢,٤ متر على الثانية مناسبة كحد أعلى {٨}.

ولتحديد قطر القنوات المفتوحة أو المكشوفة للمجرور يمكن استخدام معادلة ماننج Manning equation كما موضح في المعادلة (٥).

(٥)

$$v = (1/n) * rH^{2/3} * s^{1/2}$$

حيث :

$$v = \text{سرعة التدفق (م/ث)}.$$

- n - ثابت مانتج (انظر جدول (٢)).
- r_H - نصف القطر الهيدروليكي (م).
- s - معدل الميل (م/م).

ويمكن إيجاد نصف القطر الهيدروليكي من المعادلة (٦).

(٦)

$$r_H = A / w_p$$

حيث :

- r_H - نصف القطر الهيدروليكي (م).
- A - مساحة المقطع العمودي على إتجاه السرعة (م^٢).
- w_p - المحيط المبتل (م).

وبالنسبة لأنبوب دائري يمكن إيجاد نصف القطر الهيدروليكي من المعادلة (٧).

(٧)

$$r_H = D/4$$

حيث :

$$D = \text{قطر المجرور (م)}.$$

ويمكن إيجاد معدل الدفع من المعادلة ٨.

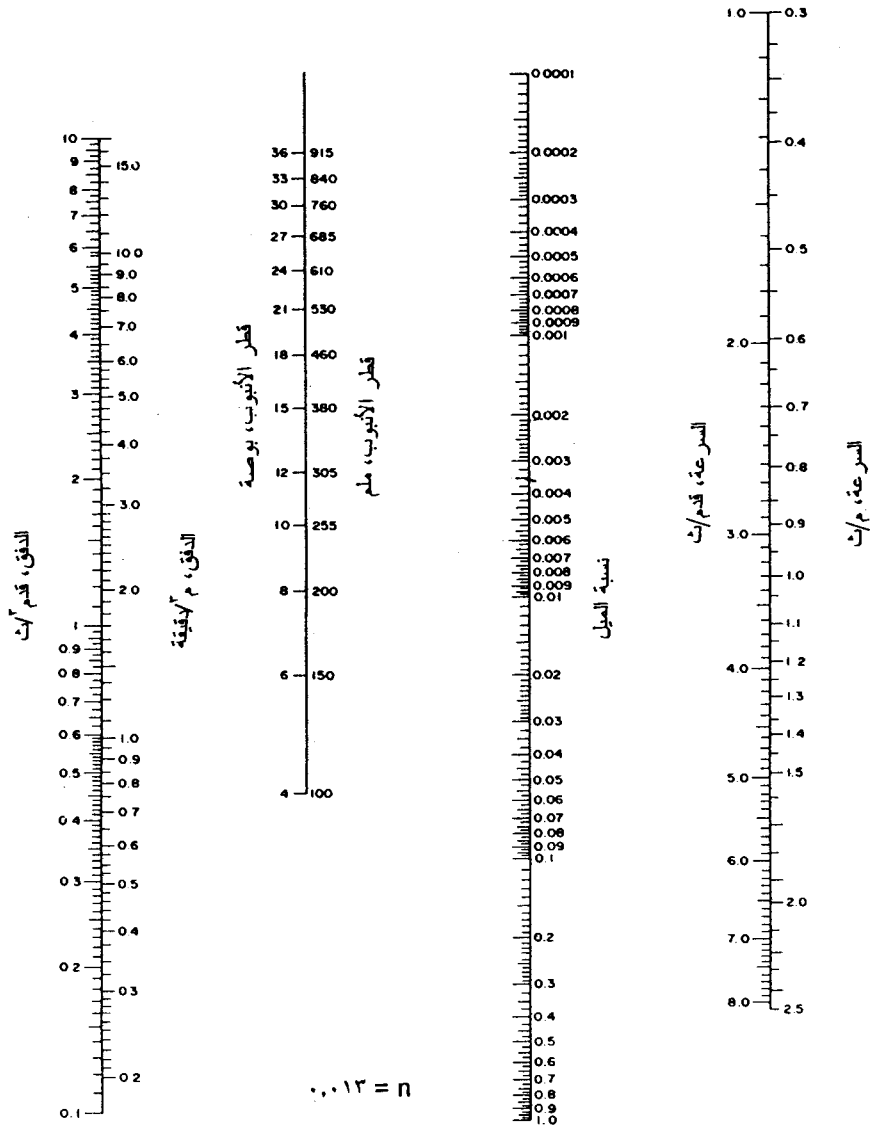
(٨)

$$Q = A \cdot v$$

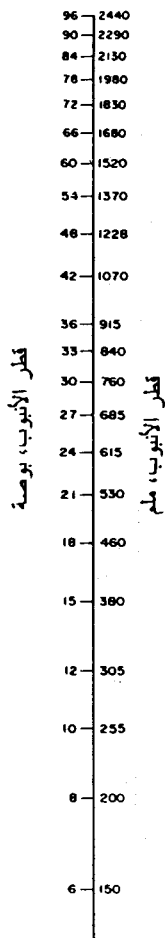
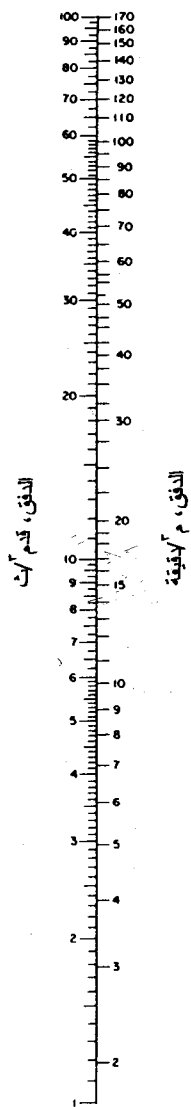
حيث :

- Q - معدل الدفع (م^٣/ث).
- A - مساحة المقطع (م^٢).
- v - سرعة الدفع (م/ث).

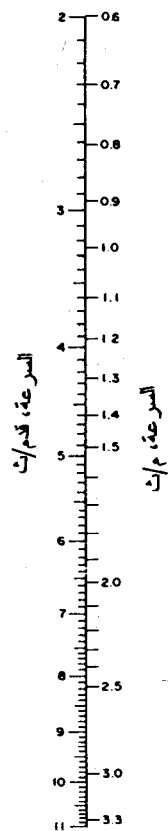
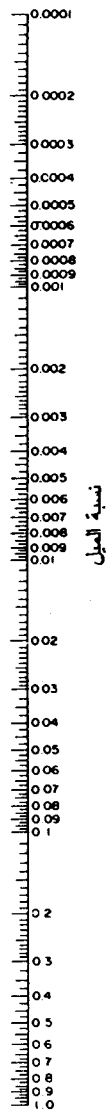
كما ويمكن حل معادلة مانتج بيانيا {٨} عن طريق المخطط بياني المعادلة Nomograph ، كما موضح في أشكال ٦ و ٧ للأنايبب الممتلئة .



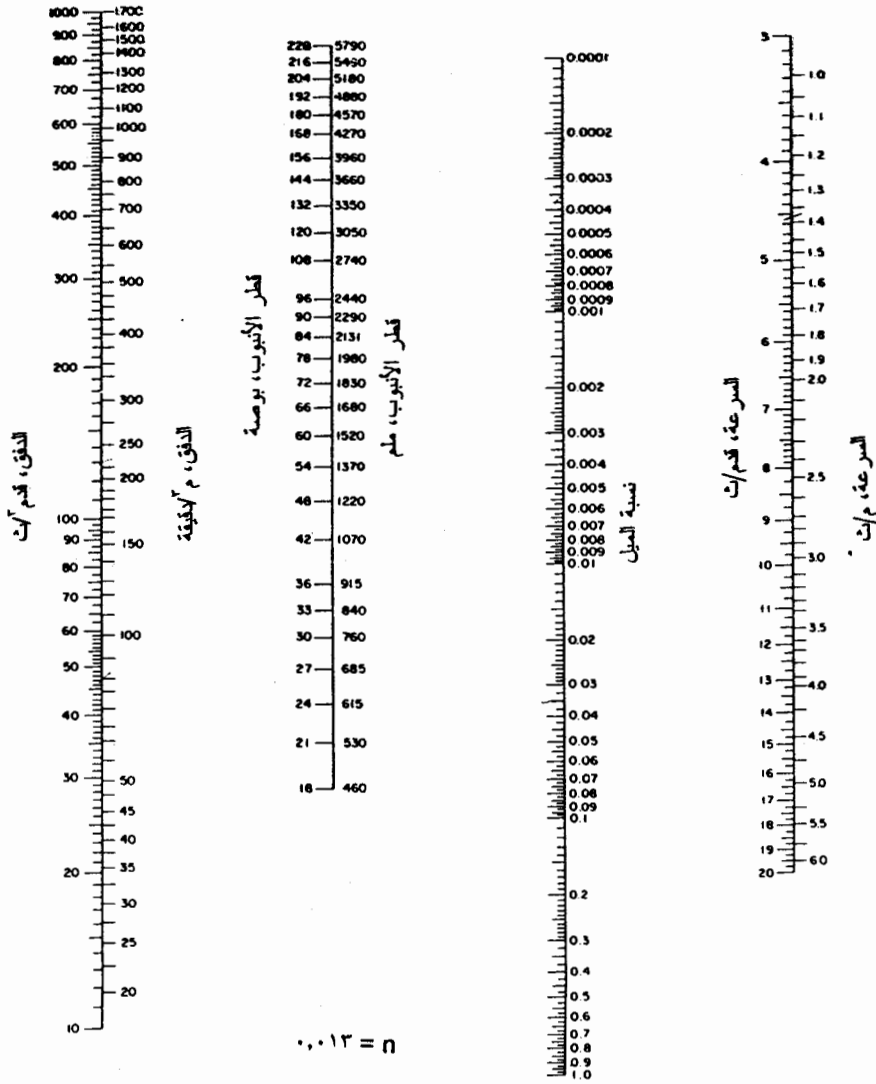
شكل ٦-١ بياني معادلة ماننج للدفق خلال الأنابيب الدائرية الممتلئة {١٠، ٩، ٨}



$$0.013 = n$$

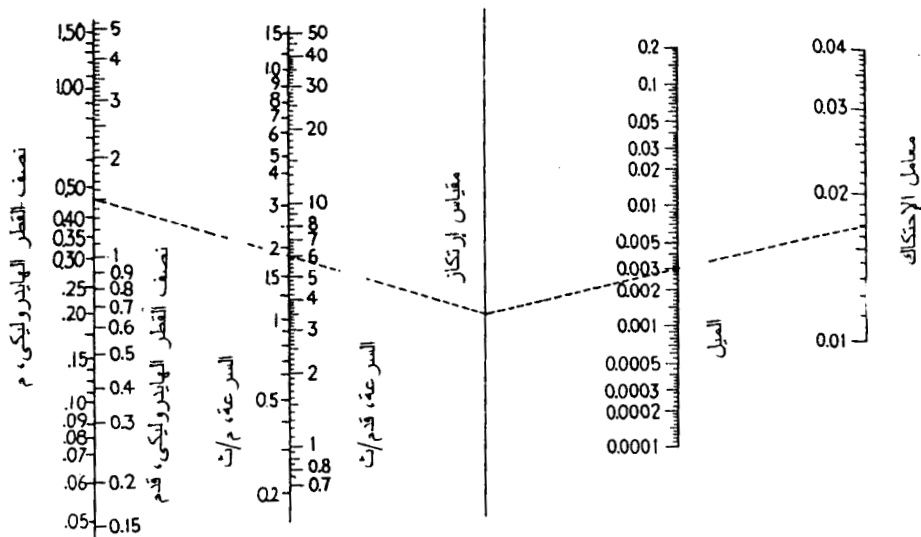


شكل ٦- ب يأتى معادلة مانتج للدفق خلال الأنابيب الدائرية الممتلئة



$$0.013 = n$$

شكل ٦- ج يبقى معادلة مانج للدفع خلال الأنابيب الدائرية الممتلئة



شكل (٧) بياني معادلة مبنى على صيغة ماننج (٨)



ثابت ماننج {٧، ٨، ٩، ١٠، ١١}

وصف السطح	n
أنبوب بلاستيكي، أو الخشب المستوى النظيف، أو الحديد الزهر الأسفلتي	٠,٠٠٩
معدن أملس، الأسمنت الجيد	٠,٠١
أنبوب أسبستس	٠,٠١١
أنبوب حديد زهر بخسونة عادية، خشب غير مستوى	٠,٠١٢
خرسانة جيدة، أنبوب طين مزجج، بناء الطوب جيد الوضع	٠,٠١٣
خرسانة	٠,٠١٤
أنبوب حديد زهر، بناء طوب متوسط	٠,٠١٥
طوب خشن	٠,٠١٧
أرض ملساء، حصى قوى	٠,٠١٨ الى ٠,٠٢
قنوات طبيعية	٠,٠٢٥ الى ٠,٠٣٥
خندق، أنهار بشكل جيد، بعض الحجارة والأعشاب	٠,٠٣
خندق، أنهار لها قعر خشن وتكثر بها الأعشاب	٠,٠٤
معدن مموج	٠,٠٢٤
مجارى صحية مغطاة بالنمو الحيوى	٠,٠١٣
أنبوب حديد مبرشم	٠,٠١٧
<u>أنهار طبيعية:</u>	
نظيف، مستقيم الضفاف	٠,٠٣
متعرج، بعض البرك، مناطق ضحلة	٠,٠٤
متعرج، بعض البرك، مقاطع حجارة	٠,٠٥٥
بطى، برك عميقة جدا، بعض الأعشاب	٠,٠٧

أما بالنسبة للمجارير تحت الضغط فيمكن إستخدام معادلة هيزن وليام Hazen William's equation المبينة فى المعادلة (٩) لإيجاد سرعة الدفق .

$$v = 0.489 * C * r_H^{0.63} * s^{0.54} \quad (٩)$$

حيث :

$$v = \text{سرعة الدفق (م/ث)} .$$

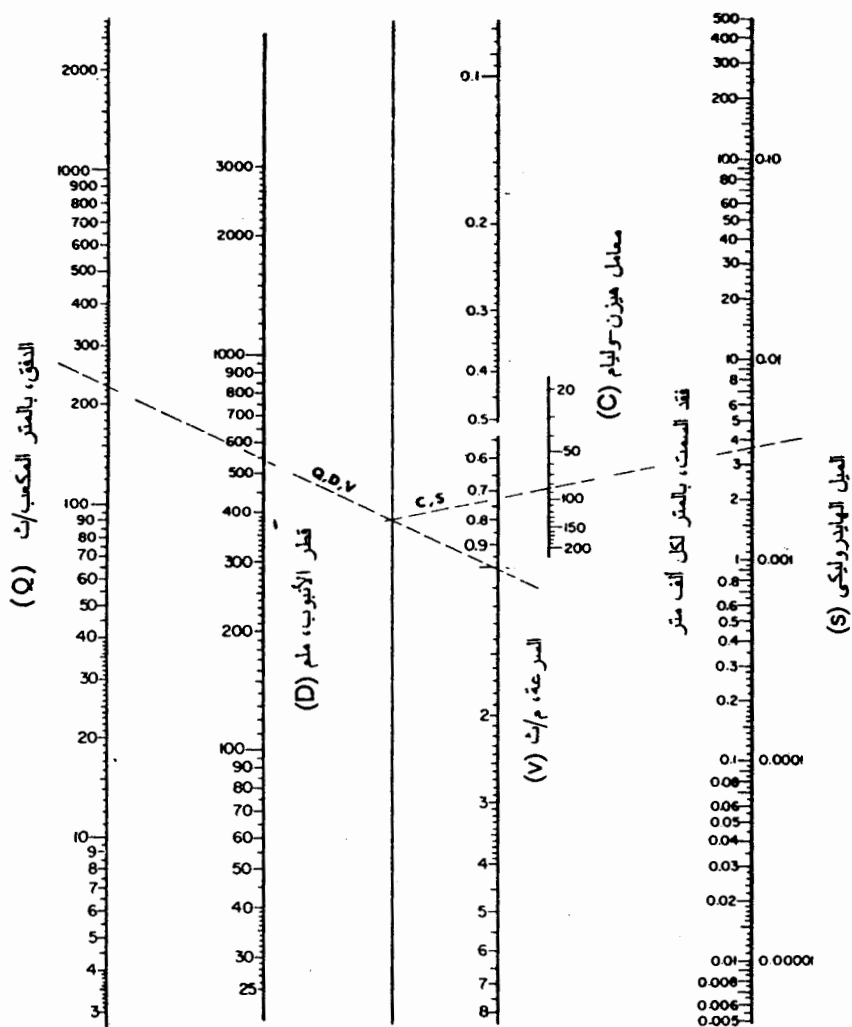
$$r_H = \text{نصف القطر الهيدروليكي (م)} .$$

$$s = \text{الميل الهيدروليكي (م/م)} .$$

ويمكن حل معادلة هيزن وليام بواسطة بيانى المعادلة {٩} كما هو ممثل فى الشكل (٨) .

ويوجد معدل الدفق من المعادلة (١٠) .

$$Q = 0.278 * C * D^{2.63} * s^{0.54} \quad (١٠)$$



يبقى معادلة هيزن-ويليام للدفق خلال الأنابيب تحت الضغط {٩}

شكل (٨)

حيث :

Q - معدل الدفع (م^٣/ث) .

C - ثابت احتكاك الأنبوب . ويمكن إيجاده من جدول (٣) .

جدول (٣)

قيم ثابت احتكاك الأنبوب لمعادلة هيزن وليام {١٢،٩ ، ٨ ، ٥}

C	نوع الأنبوب
١٢٠ - ١٤٠	أنبوب الإسبستس الأسمنتى
١٤٠ - ١٣٠	أنبوب النحاس الأصفر
١٠٠	مجروح الطوب
	الحديد الزهر :
١٣٠	• جديد غير مبطن
١٢٠ - ٤٠	• قديم غير مبطن
١٥٠ - ١٣٠	• مبطن بالأسمنت
١٥٠ - ١٤٠	• مبطن بالبتيومين
١٣٥ - ١١٥	• مطلى بالقار (القطران)
	الخرسانة أو مبطنة بالخرسانة :
١٤٠	• أنواع الحديد
١٢٠	• أنواع الخشب
١٣٠	• متوسطة
١٤٠ - ١٣٠	النحاس
١٣٥	خرطوم الحريق (مبطن بالمطاط)
١٢٠	الحديد المغلفن
١٤٠	زجاج
١٤٠ - ١٣٠	رصاص
١٥٠ - ١٢٠	طوب
١٥٠ - ١٤٠	بلاستيك
	فولاذ :
١٥٠ - ١٤٥	• مبطن بالقطران والفحم
١٥٠ - ١٤٠	• جديد غير مبطن
١٥٠ - ١٤٠	• مبرشم
١٣٠	القصدير
١٢٠	حديد جديد ملحوم

مثال ١ :

أوجد حجم مجرور دائرى لنقل السيل من منطقة صرف تبلغ ربع كيلومتر مربع ، تتحدر بميل ١ فى ٣٠٠ . علما بأن زمن التركيز يساوى ٥٠ دقيقة وأن ثابت السيل يساوى ٠,٣٥ وثابت ماننج يعادل ٠,٠١٣ .

الحل :

١- المعطيات: $A = ٠,٢٥$ كلم^٢ ، $s = ١ \div ٣٠٠$ ، $t = ٥٠$ دقيقة ، $C = ٠,٣٥$ ، $n = ٠,٠١٣$.

٢- أوجد شدة الأمطار من المعادلة :

$$I = 750 / (t + 10)$$

$$I = ٧٥٠ \div (١٠ + ٥٠) = ١٢,٥ \text{ ملم / ساعة .}$$

٣- أوجد دفق السيل من الصيغة العقلية :

$$Q = 0.278 * C * I * A$$

$$Q = ٠,٢٧٨ \times ٠,٣٥ \times ١٢,٥ \times ٠,٢٥ = ٠,٢٥ \text{ م}^٣ / \text{ث .}$$

$$= ١٨ \text{ م}^٣ / \text{دقيقة .}$$

٤- أوجد قطر المجرور باستخدام بياني معادلة ماننج أو باستخدام معادلة ماننج

$$Q = (1/n) * (D/4)^{2/3} * s^{1/2} * (\pi/4) * D^2 = (\pi/4)^{5/3} * (D^{8/3} / n) * s^{1/2}$$

$$D = [(Q * 4^{5/3} * n) / (\pi * s^{1/2})]^{3/8}$$

$$D = [(٠,٢٥ \times ٤^{5/3} \times ٠,٠١٣) / (\pi \times ١)^{3/8}] = ١,٦٤ \text{ م .}$$

٥- استخدم معادلة ماننج لإيجاد سرعة الدفق

$$v = (1/n) * r_H^{2/3} * s^{1/2}$$

$$v = (١ \div ٠,٠١٣) \times (٠,٤)^{2/3} \times (٠,٠١)^{1/2} = ٣,٤ \text{ م / ث .}$$

مثال ٢ :

أوجد مقدار الدفق وسرعة الدفق لأنبوب قطره ١,٦ مترا ، موضوع على ميل ٠,٠١ . علما بأن ثابت ماننج يساوى ٠,٠١٦ .

الحل :

١- المعطيات: $D = ١,٦$ م ، $s = ٠,٠١$ ، $n = ٠,٠١٦$.

٢- استخدم بياني المعادلة المبنى على صيغة ماننج ، وارسم خطا مستقيما يوصل ثابت ماننج ٠,٠١٦

مع الميل ٠,٠١ ثم مد الخط ليقطع خط المركز Pivot line .

٣- أوجد نصف القطر الهيدروليكي للأنبوب الممتلى .

$$r_H = D/4$$

$$r_H = ١,٦ \div ٤ = ٠,٤ \text{ مترا .}$$

٤- أوصل النقطة على خط المرتكز ونصف القطر الهيدروليكي ليقطع خط السرعة على السرعة - ٤ ، ٣ م/ث .
وعليه :

$$\text{الدفق} = (4 \div \Pi) \times (1, 6) \times 2 \times 3, 4 = 6, 8 \text{ م}^3/\text{ث} .$$

٥ - ٥ هيدروليكا الصرف الصحي

معظم التقديرات وهيدروليكا المجارى الصحية تعتمد على إفتراضات تضم :

- ☛ إنتظام السرعة عبر أى جزء من الدفق (أى إنسياب أحادى البعد (One dimensional flow) .
- ☛ دفق لا منضغط Incompressible، عدا إحتمال وجود طرق مائى Water hammer فى الأنابيب التى تعمل فى دفق تحت الضغط .
- ☛ إنسياب مستقر - مطرد Steady flow أى لا يوجد تغير فى الدفق مع الزمن. هذا مع وجود دفق ثابت بين الدفق الداخلى والخارج . وعادة يتغير الضغط بوضوح من ساعة الى أخرى ويشار اليه بالدفق شبه المستقر Quasi-steady flow .
- ☛ تطبق معادلة الإستمرارية كما موضح فى المعادلة ١١ .

(١١)

$$Q = A \cdot v$$

حيث :

Q - معدل الدفق (م^٣/ث).

A - مساحة المقطع (م^٢).

v - سرعة الدفق المتوسطة عبر المقطع (م/ث).

☛ تطبق معادلة بيرنولى Bernoulli's equation كما موضح فى المعادلة ١٢

(١٢)

$$(P/\gamma) + (v^2/2 \cdot g) + z = H$$

حيث :

P - الضغط على قطاع معين (باسكال) .

γ - الوزن النوعى (نيوتن/م^٣) .

v - السرعة المتوسطة للدفق عبر القطاع (م/ث) .

g - عجلة الجاذبية الأرضية (م/ث^٢) .

z - الارتفاع لنقطة فى المقطع عبر خط إنسياب أعلى من مرجع إسناد معين (م) .

H - الطاقة الحدية (م) .

• تستخدم معادلة كمية الحركة Momentum equation كما موضحة في المعادلة ١٣ .

$$(١٣) \quad \Sigma F = (\gamma * Q * v) / g$$

حيث :

ΣF = مجموع كل القوى المؤثرة على السائل المنحصر بين قطاعين ، وتضم قوى الضغط والوزن والإحتكاك (نيوتن)

γ = الوزن النوعي (نيوتن/م^٣) .

Q = الدفق (م^٣/ث) .

Δv = تغير السرعة بين القطاعين (م/ث) .

g = عجلة الجاذبية الأرضية (م/ث^٢) .

وتستخدم العديد من المعادلات التجريبية لإيجاد الدفق تسمى بمعادلات دفق الإحتكاك وتضم ما يلي {٢، ٣، ٧، ٨، ٩، ١٠، ١٣، ١٤، ١٥، ١٦، ١٧، ١٨} :

(١) معادلة دارسي - ويسباش للدفق خلال الأنابيب Darcy - Weisbach equation

كما موضحة في المعادلة ١٤ (أنظر فصل ٤)

$$(١٤) \quad h_f = f * (L/D) * (v^2/2 * g)$$

حيث :

h_f = سمت الإحتكاك (م) .

f = معامل الإحتكاك .

L = طول الأنبوب (م) .

D = قطر الأنبوب (م) .

v = سرعة الدفق (م/ث) .

g = عجلة الجاذبية الأرضية (م/ث^٢) .

(٢) معادلة دي جيزي Chezy equation

وهذه كما مبينة في المعادلة ١٥ .

$$(١٥) \quad v = C * r_H^{2/3} * s^{1/2}$$

حيث :

v = سرعة الدفق (م/ث) .

C = معامل الإحتكاك أو معامل دي جيزي (م^{١/٢}/ث) .

r_H - نصف القطر الهيدروليكي (م) .

s - ميل القعر (م / م) .

هناك العديد من المعادلات لإيجاد معامل الاحتكاك أو معامل دى جيزى مثل صيغة غانغولت وكتر Ganguillet & Kutter فى أبحاثهم عن الأنهار والدق المفتوح {١٩} ، كما مبين فى المعادلة ١٦ .

$$(١٦) \quad C = [23 + (0.00155/s) + (1/n)] / [1 + \{23 + (0.00155/s) * (n/\sqrt{r_H})\}]$$

حيث :

C - معامل الاحتكاك أو معامل دى جيزى (م^{١/٥} / ث) .

n - معامل الخشونة ، الذى يزداد بزيادة خشونة حدود القناة (ثابت مائنج) .

r_H - نصف القطر الهيدروليكي (م) .

كما ويمكن إيجاد معامل دى جيزى من صيغة بازن Bazin formula ، والتي لا تربط معامل دى جيزى بميل القعر ، كما موضحة فى المعادلة ١٧ .

$$(١٧) \quad C = 86.9 / [1 + (k/\sqrt{r_H})]$$

حيث :

C - معامل الاحتكاك أو معامل دى جيزى (م^{١/٥} / ث) .

r_H - نصف القطر الهيدروليكي (م) .

k - ثابت يعتمد على خشونة السطح (انظر جدول (٤)) .

جدول (٤)

قيم ثابت بازن {١٩}

سطح المجرى	k
أسمنت أملس أو خشب نظيف مستو	٠,٠٦
ألواح سميكة، والطوب	٠,١٦
قناة ترابية لها سطح منتظم جدا	٠,٨٥
قناة ترابية طبيعية	١,٣٠٣
قناة إستثنائية الخشونة	١,٧٥

(٢) صيغة مائنج Manning's formula (أو صيغة سترايكلر Strickler's formula)

معادلة مائنج من أكثر المعادلات شيوعا وإستعمالا لسهولة استخدامها ، وتبين المعادلة ٥ هذه الصيغة .

وينبغي المحافظة على أقل سرعة لتفادي تراكم المواد الصلبة والمترسبات ، وبالتالي تفسخها وإنتاج الغازات الكريهة وغير المستحبة ، مثل كبريتيد الهيدروجين ، والذي بالإضافة الى طبيعة رائحة البيض الفاسد فيه فقد يؤدي أيضا الى زيادة تآكل قمة المجرور .
كما ويسمح بأقل ميل يمكن معه المحافظة على أقل سرعة عندما يكون المجرور ممتلئ ، أو ممتلئ بنسبة ٧٨ % .

مثال ٣ :

أوجد قيمة معدل الدفع الذي يمكن أن ينقله أنبوب قطره ٩٠٠ ملم موضوع بميل يساوى المتر لكل كيلومتر ، علما بأن معامل ماننج ٠,٠١٣ وثابت إحتكاك الأنبوب = ١٠٠ .

(أ) باستخدام معادلة دى جيزى .

(ب) باستخدام معادلة ماننج .

(ج) باستخدام معادلة هيزن - وليام .

الحل :

$$١- \text{المعطيات: } D = ٠,٩ \text{ م ، } s = ١ \div ١٠٠٠ = ٠,٠٠١ .$$

$$٢- \text{استخدم معادلة دى جيزى لإيجاد الدفع}$$

• أوجد نصف القطر الهيدروليكي

$$r_H = D \div 4 = ٠,٩ \div 4 = ٠,٢٢٥ \text{ م .}$$

• أوجد قيمة C من معادلة كتر

$$C = [23 + (0.00155/s) + (1/n)] / [1 + \{23 + (0.00155/s) * (n/r_H)\}]$$

$$C = \frac{23 + [(0,013 \div 1) + (0,001 \div 0,00155)]}{1 + \{23 + (0,001 \div 0,00155) * (0,013 \times 0,225)\}} = 60,66$$

• أوجد سرعة الدفع من معادلة دى جيزى:

$$v = C * r_H^{2/3} * s^{1/2} = 60,66 \times (0,225)^{2/3} \times (0,001)^{1/2} = 0,71 \text{ م / ث .}$$

أوجد معدل الدفع من معادلة دى جيزى :

$$Q = 0,71 \times (\pi \div 4) \times (0,9)^2 = 0,45 \text{ م}^3/\text{ث .}$$

٣- استخدم معادلة ماننج لإيجاد سرعة الدفع

$$v = (1/n) * r_H^{2/3} * s^{1/2}$$

$$v = (0,013 \div 1) \times (0,225)^{2/3} \times (0,001)^{1/2} = 0,71$$

$$= 0.9 \text{ م/ث.}$$

أوجد معدل الدفق

$$Q = 0.9 \times (\pi \div 4) \times (0.9)^2 = 0.57 \text{ م}^3/\text{ث.}$$

٤- استخدم معادلة هيزن وليام بفرض $C = 100$

$$Q = 0.54 \times s^{0.63} \times C \times D^{0.278}$$

$$Q = 0.278 \times C \times D^{0.63} \times s^{0.54} = 0.51 \text{ م}^3/\text{ث.}$$

٥ - ٦ تصميم المجرور

تحتوى معايير التصميم إيجاد سعة الأنبوب وأقل وأقصى ميل ، وإرتفاعات مناسب الدفق ، والتغيرات فى حجم الدفق . ويمكن أن تبنى الحسابات إما على أساس الدفق الذى يملأ كل مقطع الأنبوب (دفع كامل)، أو على أساس أن الدفق يملأ جزء من مقطع الأنبوب (دفع جزئى) . وبالنسبة للدفع الكامل يمكن إيجاد حجم وميل المجرور باستخدام المعادلات المذكورة أنفا . أما بالنسبة للدفع الجزئى فيمكن إيجاده باستخدام رسم العناصر الهيدروليكية Hydraulic element diagram الموضحة على الشكل (٩) للأنابيب الدائرية . وعند استخدام رسم العناصر الهيدروليكية لا بد من استخدام معادلة ماننج أو رسم بيانى معادلة ماننج (شكل ٧) ، لإيجاد حالة المجرور الممتلئ ، ثم توجد النسبة بين أى عنصرين هيدروليكيين لإيجاد العناصر الأخرى . كما ويمكن الرجوع الى جدول (٥) للأنابيب ذات الدفق الجزئى .

مثال ٤ :

وضع مجرور قطره ١.٠٧ م على ميل ٠.٠٠٢ . أوجد سرعة ومعدل الدفق عندما يكون ممتلئاً. أوجد سرعة الدفق وإرتفاع المنسوب عندما يكون ممتلئاً جزئياً حاملاً دفقا يساوى ٠.٢٥٣ متر مكعب فى الثانية . (ثابت ماننج = ٠.٠١٣) .

الحل :

$$١- \text{المعطيات: } D = 1.07 \text{ م, } s = 0.002, Q_p = 0.253 \text{ م}^3/\text{ث.}$$

٢- أوجد سرعة الدفق من معادلة ماننج

$$v = (1/n) \times r_H^{2/3} \times s^{1/2}$$

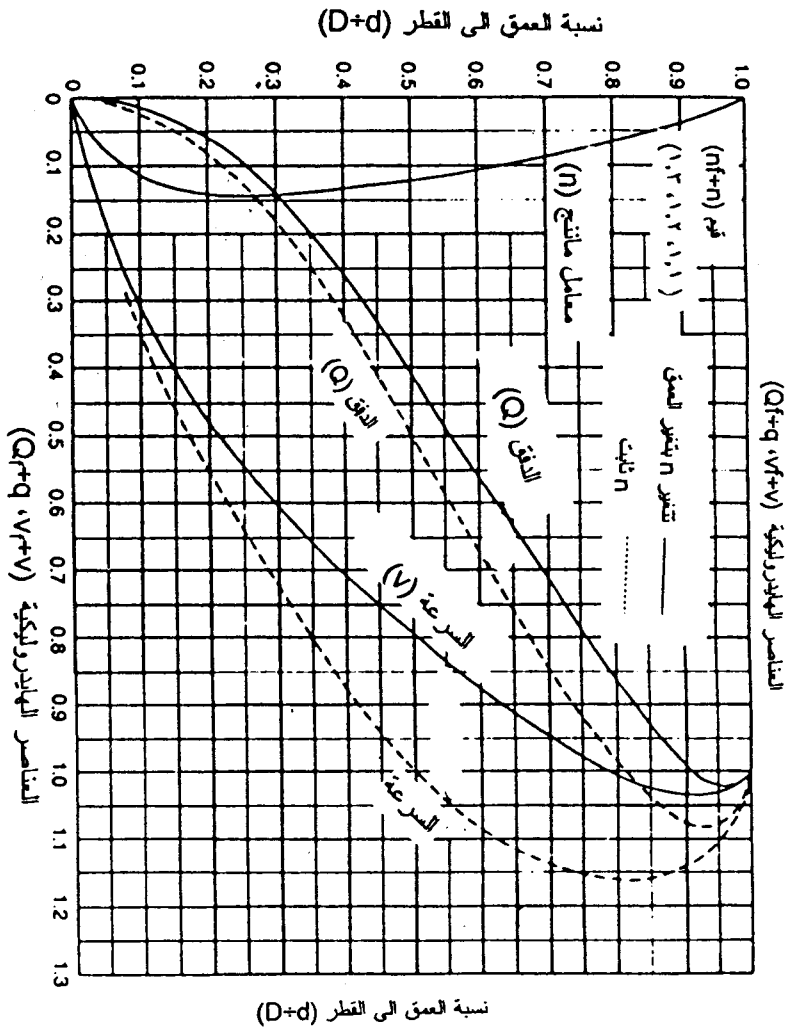
$$v = (0.013 \div 1) \times (0.9 \div 4)^{2/3} \times (0.002)^{1/2} = 1.43 \text{ م/ث.}$$

(أو يمكن إيجاد السرعة من بيانى معادلة ماننج شكل (٦) لتساوى $v = 1.43 \text{ م/ث.}$)

$$Q = A \times v \text{ معدل الدفق}$$

$$Q = (\pi \div 4) \times (0.9)^2 \times 1.43 = 1.29 \text{ م}^3/\text{ث.} = 77.4 \text{ م}^3/\text{دقيقة.}$$

٣- بالنسبة للدفع الجزئى :



رسم العناصر الهيدروليكية للأغنيب الدائرية

شكل (٩)

جدول (٥)
العناصر الهيدروليكية للأبواب ذات الدفق الجزئي

نفس قيمة ثابت ماننج (n)		نسبة نصف القطر الهيدروليكي	نسبة المساحة	نسبة نصف القطر الهيدروليكي الى العمق	نسبة العمق
نسبة الدفق $Q_f \div Q_p$	نسبة السرعة $v_f \div v_p$	$(r_H)_f \div (r_H)_p$	$A_f \div A_p$	$D_f \div (r_H)_p$	$D_f + D_p$
٠,٠٢١	٠,٤٠١	٠,٢٥٤	٠,٠٥٢	٠,٠٦٤	٠,١
٠,٠٤٩	٠,٥١٧	٠,٣٧٢	٠,٠٩٤	٠,٠٩٣	٠,١٥
٠,٠٨٧	٠,٦١٧	٠,٤٨٢	٠,١٤٢	٠,١٢١	٠,٢
٠,١٣٧	٠,٧٠٢	٠,٥٨٧	٠,١٩٦	٠,١٤٧	٠,٢٥
٠,١٩٦	٠,٧٧٦	٠,٦٨٤	٠,٢٥٢	٠,١٧١	٠,٣
٠,٢٦٣	٠,٨٤٥	٠,٧٧٤	٠,٣١٢	٠,١٩٤	٠,٣٥
٠,٣٣٧	٠,٩٠٢	٠,٨٥٧	٠,٣٧٤	٠,٢١٤	٠,٤
٠,٤١٦	٠,٩٥٤	٠,٩٣٢	٠,٤٣٦	٠,٢٣٣	٠,٤٥
٠,٥	١	١	٠,٥	٠,٢٥	٠,٥
٠,٥٨٦	١,٠٤	١,٠٦	٠,٥٦٤	٠,٢٦٥	٠,٥٥
٠,٦٧٢	١,٠٧٣	١,١١١	٠,٦٢٦	٠,٢٧٨	٠,٦
٠,٧٥٦	١,٠٩٩	١,١٥٣	٠,٦٨٨	٠,٢٨٨	٠,٦٥
٠,٨٣٨	١,١١٩	١,١٨٥	٠,٧٤٨	٠,٢٩٦	٠,٧
٠,٩١١	١,١٣٤	١,٢٠٧	٠,٨٠٤	٠,٣٠٢	٠,٧٥
٠,٩٧٨	١,١٣٩	١,٢١٧	٠,٨٥٨	٠,٣٠٤	٠,٨
١,٠٣	١,١٣٧	١,٢١٣	٠,٩٠٦	٠,٣٠٣	٠,٨٥
١,٠٦٦	١,١٢٤	١,١٩٢	٠,٩٤٨	٠,٢٩٨	٠,٩
١,٠٧٤	١,٠٩٥	١,١٤٦	٠,٩٨١	٠,٢٨٦	٠,٩٥
١	١	١	١	٠,٢٥	١

* أوجد نسبة الدفق الجزئى للدفق الكلى

$$Q_f \div Q_p = 77,4 \div (60 \times 0,253) = 0,196$$

* إستخدم هذه النسبة أفقيا فى مخطط رسم العناصر الهيدروليكية وأرسم عموديا ليقطع منحنى الدفق على نقطة محددة . ومن هذه النقطة ارسم خطا أفقيا ليقطع المحور الصادى ، ويعطى نسبة العمق الجزئى الى العمق الكلى (قطر الأنبوب) أى :

$$D \div d = 0,34$$

* وعليه أوجد عمق الدفق الجزئى .

$$d = 1,07 \times 0,34 = 0,36 \text{ م}$$

* لإيجاد السرعة ، من خط العمق (0,36) ارسم خطا أفقيا الى اليمين ليقطع منحنى السرعة ، ثم ارسم خطا عموديا من نقطة التقاطع على منحنى السرعة . وأوجد نسبة السرعة لتقرأ :

$$v_f \div v_p = 0,68$$

وعليه يمكن إيجاد السرعة الجزئية

$$v_p = 1,43 \times 0,68 = 0,97 \text{ م/ث}$$

أما السرعة اللازمة للنظافة الذاتية للمجرور ، ولمنع ترسيب المواد الصلبة فيه ، وحملها عبر الأنبوب يمكن إيجادها من المعادلة ٢٠ .

(٢٠)

$$v_{sc} = (r_H^{1/6} / n) * \sqrt{B(s.g. - 1) * d} \\ = \sqrt{8 * B * g * (s.g. - 1) * d / f}$$

حيث :

$$v_{sc} = \text{سرعة النظافة الذاتية (م/ث)}$$

$$r_H = \text{نصف القطر الهيدروليكي (م)}$$

$$B = \text{ثابت يعتمد على خواص جرف المترسبات (لا بعدى)}$$

$$s.g. = \text{الكثافة النوعية (لا بعدى)}$$

$$d = \text{مقاس الحبيبات المترسبة (م)}$$

$$n = \text{ثابت الاحتكاك (ثابت ماننج وكتر) (م^{1/3})}$$

$$f = \text{معامل إحتكاك دارسى ويسباش (لا بعدى)}$$

عادة يكون الثابت B فى حدود ٠,٠٤ الى ٠,٠٦ . ويكون معامل الإحتكاك f فى حدود ٠,٠٢ الى ٠,٠٣ . عادة تؤخذ أقل سرعة لتصميم المجرور . وبالنسبة للمجرور الصحى فلا تقل السرعة عن ٠,٦١ م/ث ، وبالنسبة لمجرور السيل والأمطار لا تقل عن ٠,٧٥ م/ث أو ٠,٩١ م/ث . ومن المستحسن أن تكون

السرعة فى حدود ٠.٩١ م/ث أو أكثر أينما تيسر ذلك . وعليه فنكون أقل سرعة فى الحدود المدرجة فى المعادلة ٢١ لأقصى دقق .

٠.٦ م/ث > أقل سرعة تصميمية > ٣.٥ م/ث . (٢١)

ويمكن تلخيص أهم نقاط تؤخذ فى الإعتبار عند تصميم المجارى على النحو التالى {١٣} :

- * تحدد حدود المنطقة الرافدة لأى حسابات لقطاع خطوط المجارى . ويمكن إيجاد المساحة السطحية بواسطة ممساح Planimeter . ويضرب مقدار المساحة فى معامل السيل لإيجاد المساحة الرافدة الداخلة فى التصميم .
- * يوجد عدد السكان من حاصل ضرب المساحة الرافدة فى الكثافة السكانية .
- * يقدر زمن التركيز للقطاع ثم يتم إيجاد دقق السيل .
- * يوجد إرتفاع وميل وقطر المجرور ، وسعة وسرعة الدقق . ويمكن أن تؤخذ أقطار المجرور الممتلئ كما يلى :
- يؤخذ قطر ١٥٠ ملم لتوصيلات المنازل .
- يؤخذ قطر ٢٠٠ ملم للمجارى الصحية .
- يؤخذ قطر ٢٥٠ الى ٣٠٠ ملم لمجارى السيل والأمطار .
- * تحسب بيانات الدقق ثم يتحقق من زمن التركيز المفترض ويصحح إذا إقتضى الأمر .
- * يتم تصميم الإنشاءات الهامة مثل المضخات وأحواض المكث إلخ .
- * يتم إنشاء المجارى بعمق مناسب تحت سطح الأرض لتستقبل الفضلات السائلة من المنطقة الرافدة .
- * يتم تحديد فاقد الطاقة (من السقوط الحر والتثنيات والانحناءات أو الدقق المضطرب فى نقاط الملتقى) لأقل قيمة ممكنة لضمان العمل الجيد للمجارى .
- * عندما لا تسمح الإرتفاعات بالإنسياب تحت قوى الجاذبية يلجأ الى الضخ .
- * يعمل على أن يكون حجم وميل المجارى مناسبة لتحمل الدقق بسرعة مناسبة تمنع تسرب المواد الصلبة ، وتقوم بالنظافة الذاتية . وبالنسبة لتوصيلات المنازل يؤخذ الميل لىساوى ٢ بالمائة . وأقل ميل يؤخذ لىساوى ١ بالمائة .
- * لا يوضع المجرور الصحى فى نفس الأخدود مع أنابيب المياه للمحافظة على الصحة العامة . ويتم إختيار المجرور فى الشارع بناء على نوع المجرور وعرض الشارع .
- * توضع غرف التفتيش على نقاط ملتقى المجارى الصحية ، وعلى نقاط التغير فى الميل عدا عند المناطق المنحنية ، وعلى مناطق تسهل عملية النظافة والصيانة عند الطوارئ .
- * لا توضع غرف التفتيش فى المناطق المنخفضة وتصمم بحيث لا تسمح بفاذ المياه السطحية .
- * يعمل على أن يكون المجرور مستقيما بين نقاط التفتيش .
- * توضع غرف التفتيش على مسافات ٩٠ الى ١٥٠ مترا ولمسافات ١٥٠ الى ٣٠٠ مترا للمجارى الكبيرة .

- عادة يوضع المجرور بالقرب من منتصف الشارع أو الطريق لكي يخدم مجرور واحد المنازل فى كلا الجانبين منه ، عدا فى الشوارع العريضة .
- توضع المجارى فى الشوارع العريضة خارج حافة الرصيف أى بين حافة الرصيف والممر الجانبى، أو تحت الممر الجانبى .
- تمنع زراعة الأشجار والشجيرات وإقامة الأسوار والجدران الساندة وغيرها من العوائق الأرضية والتي يمكن أن تتداخل مع منفذ خط المجارى .
- التهوية القسرية للمجرور تعتبر عملا خاصا يستخدم لحل مشكلة معينة .
- يستخدم عمق المجرور المناسب ليخدم الدفق القادم من المنطقة الرافدة ، وليمنع رجوع الفضلات السائلة من خلال نقاط الارتباط . ويعمل على ألا يقل أعلى المجرور عن المتر أدنى أرضية الطابق السفلى (العنبر أو البدروم) الذى يخدمه .
- تصمم المجارى ذات القطر ٣٧٥ ملم للدفق الكامل (ممتلئة)، وتصمم المجارى الكبيرة القطر للدفق الجزئى لتكون ممتلئة الى ثلاث أرباعها .
- تصمم غرف التفتيش لتسمح بالنفاذ الى المجرور للمراقبة وإجراء أعمال الصيانة. ويعمل على أن تحدث أقل تداخل مع هايدروليكا المجرور ، وأن تدوم طويلا ، وعادة تكون غير نافذة للاماء وتحمل الضغط والأحمال .
- عادة تكون غرف التفتيش دائرية الشكل ، والأبعاد الداخلية كافية لممارسة التفتيش والنظافة بدون صعوبة .
- عادة يكون القطر الداخلى فى حدود ١ الى ١,٢ مترا للمجارى الصغيرة. ويستخدم فى إنشاء غرف التفتيش الطوب والطابوق والخرسانة المسلحة والألياف الزجاجية وغيرها. ويصنع غطاء غرفة التفتيش من الحديد الزهر أو الحديد المطبلى عادة بفتحة ٦٠٠ الى ٩٠٠ ملم، وتتحمل المركبات ذات الوزن ٧٥ الى ٢٠٠ كيلو جرام . ويجب أن يكون الغطاء محكم الغلق على هيكله لمنع حدوث صليل عند مرور المركبات فوقه، كما ويصمم سلم أو درجات جيدة ويسهل الوقوف عليها ومن مواد جيدة لتعيش أطول مدة ممكنة ، خاصة فى هذه الظروف الصعبة المتواجدة داخل المجرور .
- عند الاختيار والمفاضلة بين الأنابيب التى تصلح للمجارى ينبغى موازنة الفوائد والقيود والمحددات . ومن أهم العوامل التى تحكم عملية الاختيار والمفاضلة بين المواد المصنوع منها الأنابيب ما يلى :
- نوع الاستخدام المزمع .
- خواص الفضلات السائلة .
- حالات الجرف والتحات والتآكل الكيميائى والحيوى .
- متطلبات التشييد .
- خواص الأنابيب وأحجامها وأوزانها .

- متطلبات الدفع : من سرعة الدفع ، وحجم الأنابيب ، وميل الأنابيب ، وقوة الاحتكاك .
- التسرب أو التخلخل لداخل المجرور .
- العوامل الاقتصادية من سعر التكلفة والتشييد والصيانة وغيرها .

وهناك العديد من المواد المستخدمة لصناعة أنابيب المجارى ، ويمكن تقسيمها الى :
 (أ) أنابيب صلبة Rigid pipes : مثل الأسبستس ، والأسبستس الأسمنتى ، والحديد الزهر ، والخرسانة ، والطين المزجج .

(ب) أنابيب مرنة Flexible pipes : مثل الحديد المطبلى Ductile iron ، والفولاذ .

(ج) أنابيب اللدائن الحرارية Thermoplastic pipes : وهى مصنعة من مواد بلاستيكية كثر تليينها وتقويتها بالتبريد عبر مدى حرارى معين لكل نوع من البلاستيك مثل متعدد الاثيلين Polyethylene ، والكوريد متعدد الفينيل Polyvinyl chloride .

(د) أنابيب بلاستيكية صلبة بالحرارة Thermoset plastic pipes : مثل المونة البلاستيكية المسلحة Reinforced plastic mortar ، والراتنج المسلح الصلب بالحرارة .

ويوضح الجدول (٦) محاسن ومساوى بعض أنواع الأنابيب المختارة .

وللتحكم فى تسرب المياه الجوفية وتخلخل الفضلات السائلة الى داخل المجارى فلا بد من إستخدام رباطات محكمة وأنابيب جيدة تقاوم الجذور ومرنة وتدوم طويلا . كما ولا بد من الصيانة الدورية للمجارى لضمان التشغيل الجيد لها ، إذ أن سعة المجرور صممت لنقل أكبر دفع ممكن . غير أن هذه السعة يمكن أن تقل جزئيا أوكلها من جراء تراكم المترسبات والشحوم والدهون وغيرها من المواد ، أو من تغلغل الجذور أو التربة خلال التشققات فى المفاصل . وقلة السعة تواجبها مشاكل طفق الفضلات خارج المجارى مما قد يؤثر على الصحة العامة ومن الأهداف العامة للصيانة منع تقليل السعة ، ومنع حدوث الأعطاب ، وزيادة عمر النظام ، وجمع المعلومات المفيدة للتصميمات المستقبلية .

٥ - ٧ التآكل فى المصارف الصحية

تعتبر البيئة داخل المجرور بيئة تآكل عندما يتم إنتاج غاز كبريتيد الهيدروجين . ومن الآثار الضارة وغير المستحبة لكبريتيد الهيدروجين ما يلى { ١ ، ١٣ } :

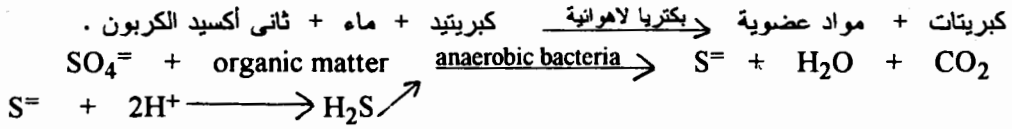
- إنتاج الروائح الكريهة .
- مخاطر لعمال النظافة والصيانة والترميم .
- تآكل المجارى غير المحمية والمصنعة من مواد أسمنتية أو مواد معدنية .
- ربما أضر بالمعالجة إذ أنه يؤثر على الحماة النشطة ويزيد من متطلبات الكلور . وإنتاج كبريتيد الهيدروجين فى محطات المعالجة يقود الى شكوى الجمهور .

جدول (٦)
محاسن ومساوئ بعض الأنابيب المختارة

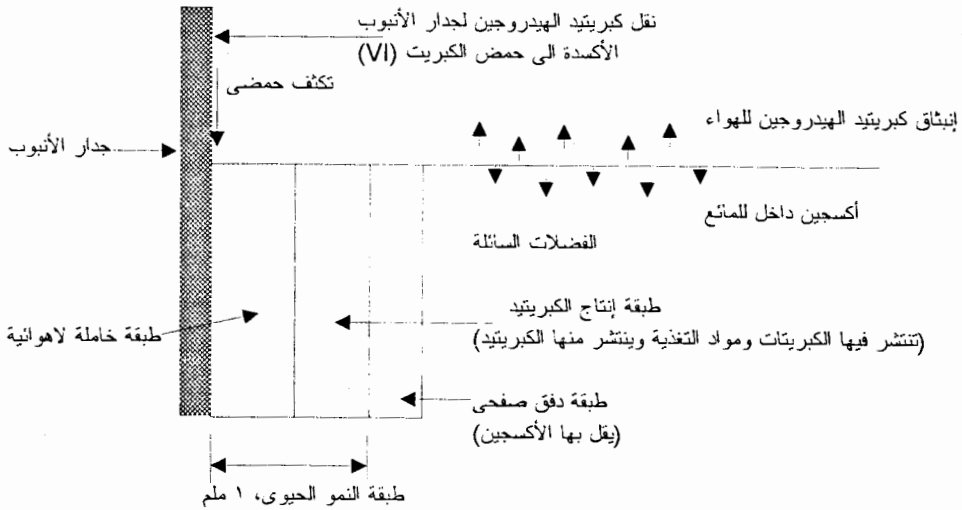
الأنبوب	المحاسن	المساوئ	الاستخدام
(١) أنابيب صلبة (أ) أبستنس لمنتي (٩٠٠-١٠٠ ملم قطر)	* طويلة * (مدى قوة القص كبير (مبتينة) * توجد معها أنواع عديدة من التركيبات	* قابلة للتآكل عند وجود الأحماض * قابلة للقص وكسر العوارض عند * طمر غير الجيد * عوارض قليلة المتانة	للدفق تحت تأثير الجاذبية والدفق تحت الضغط
(ب) الحديد الزهر والحديد الرمادي قطر ٥٠ ملم إلى ١٠٢ م	* طويلة * تتحمل الضغط العالي وسعة تحميلية للأحمال	* قابلة للتآكل عند وجود الأحماض * قابلة للتآكل الكيميائي في * قترية الأكالة * قابلة للقص وكسر العوارض عند * طمر غير الجيد * وزنها كبير	للدفق تحت تأثير الجاذبية والدفق تحت الضغط
(ج) الخرسانة (٩٠٠-١٠٠ ملم قطر) الخرسانة المسلحة والخرسانة سابقة الإجهاد (٣٠٠ ملم - ٥ متر)	* لها مدى قوى قص كبير ومدى ضغط كبير * يوجد مدى كبير من الأقطار * لطول مختلفة	* عالية الوزن * قابلة للتآكل عند وجود الأحماض * قابلة للقص وكسر العوارض عند الطمر غير الجيد	للدفق تحت تأثير الجاذبية والدفق تحت الضغط
(٢) أنابيب مرنة (أ) الحديد المطبلي (+زهر + رمادي + سبريوم + ماسنيوم) (٧٥ ملم - ١,٣٥ م)	* لطول مختلفة * قوة قص كبيرة * متانة عوارض كبيرة * تتحمل الضغط العالي وسعة تحميلية للأحمال	* قابلة للتآكل الكيميائي في * قترية الأكالة * قابلة للتآكل عند وجود الأحماض * وزنها كبير	للدفق تحت تأثير الجاذبية والدفق تحت الضغط
(ب) فولاذ (٢٠٠ ملم - ٣ م)	* وزنها خفيف * لطول مختلفة	* قابلة للتآكل عند وجود الأحماض * عرضة للتآكل الكيميائي عند وضعها في تربة أكالة * صعوبة عمل التوصيلات المرصبة * معامل هيدروليكي ضعيف * عرضة للتشنج والإحراق عند طمرها غير الجيد * عرضة للتآكل بالدفق المضطرب	تستعمل نكرا، وإذا استعملت تبطن بطبقة حماية من المواد المعلمرة أو الأبستنس أو البيوتومين إلخ
(٣) أنابيب الدافن الحرارية (أ) متعدد الأثيلين (١٠٠ ملم - ١,٢ م)	* لطول عديدة مختلفة * وزنها خفيف * متانة للصدمات * سهلة القطع في الحقل	* قليلة المتانة عند قشد الأطوال الموجودة محدودة * قابلة للتشنج * عرضة للتشنج والإحراق عند طمرها غير الجيد * قابلة للتآكل ببعض المواد الكيميائية القسوة * تؤثر عليها الأشعة فوق البنفسجية	للدفق تحت تأثير الجاذبية والدفق تحت الضغط
(ب) كلوريد متعدد الفينيل (١٠٠ - ٦٧٥ ملم)	* طويلة الوضع * متانة ضد الصدمات * سهلة القطع في الحقل	* قابلة للتآكل ببعض المواد الكيميائية القسوة * عرضة للتشنج والإحراق عند طمرها غير الجيد * محدودة مدى القطر * يتغير سطحها بالأشعة فوق البنفسجية	للدفق تحت تأثير الجاذبية والدفق تحت الضغط
(٤) الأنابيب البلاستيكية الصلبة بالحرارة (أ) إراتينج المسلح صلبة بحرارة (٢٥ - ٣٠٠ ملم)	* خفيفة الوزن * لطول متعددة	* قابلة للتآكل في بعض البيئات * عرضة للتشنج والإحراق عند طمرها غير الجيد * قابلة للتآكل ببعض المواد الكيميائية القسوة * قابلة للتغير في سطحها من أثر الأشعة فوق البنفسجية	للدفق تحت تأثير الجاذبية والدفق تحت الضغط
(ب) قوينة بلاستيكية المسلحة (٢٠٠ ملم - ٣,٦ م)	* خفيفة الوزن * لطول متعددة	* قابلة للتآكل في بعض البيئات * عرضة للتشنج والإحراق عند طمرها غير الجيد * قابلة للتآكل ببعض المواد الكيميائية القسوة * قابلة للتغير في سطحها من أثر الأشعة فوق البنفسجية	للدفق تحت تأثير الجاذبية والدفق تحت الضغط

- إنتاج غاز كبريتيد الهيدروجين السام .

تقوم البكتريا اللاهوائية باختزال الكبريتات الموجودة فى الفضلات السائلة داخل المجرور الى الكبريتيد طبقا للمعادلة الموضحة أدناه :



وإنتاج الكبريتيد داخل طبقة النمو الحيوى الموجودة داخل جدار أنبوب المجرور الصحى يتم فى غياب الأكسجين أو عند وجود كمية غير كافية فى الفضلات السائلة . وجزء من الكبريتيد فى الحمأة المنزلية يوجد فى صورة غير ذائبة لكبريتيد العديد من المعادن بتركيز قليل . والجزء الأكبر من الكبريتيد عادة يحجز فى المحلول كخليط من كبريتيد الهيدروجين وأيون HS^- ، ويسمى هذا الخليط بالكبريتيد الذائب . وعندما يكون الرقم الهيدروجينى للفضلات السائلة المحتوية على كبريتيد فى حدود ٧ فإن ٥٠ ٪ من الكبريتيد الذائب يكون كبريتيد الهيدروجين والباقى أيون HS^- . ويمثل الشكل (١٠) إنتاج الكبريتيد فى المجرور الصحى .



شكل (١٠) إنتاج الكبريتيد فى المجرور الصحى {٢١، ١٣}

يعتمد إنتاج الكبريتيد فى المجرور الصحى على :

+ درجة حرارة الفضلات السائلة، إذ كلما زادت درجة الحرارة كلما زاد إنتاج الكبريتيد .

- + نقصان التخفيف : مثلاً عندما لا يوجد تخلخل وتسرب للمياه الجوفية فإن هذا الوضع يقود الى زيادة الحاجة الحيا كيميائية للأكسجين .
- + حالة الدفق الهايدروليكية من ميل الأنبوب ، وسرعة الدفق ، وحجم الفضلات السائلة .
- + تقليب المواد الصلبة المترسبة .

هنالك بعض المؤشرات المستخدمة لتحديد إحتمال تكوين الكبريتيد فى مجرور صغير نسبياً (قطره لا يزيد عن ٦٠٠ ملم) ينساب الدفق خلاله تحت تأثير قوى الجاذبية الأرضية، ومن هذه المؤشرات صيغة زيتا {٢١، ١٣} الموضحة فى المعادلة ٢٢ .

$$Z = (BOD_e * w_p) / (s^2 * Q^{0.33} * B) \quad (٢٢)$$

حيث :

- Z = دالة زيتا .
- BOD_e = الحاجة الحيا كيميائية للأكسجين الفعالة .
- w_p = المحيط المبتل (قدم) .
- s = الميل الهايدروليكي .
- Q = معدل الدفق (قدم^٣/ث) .
- B = عرض السطح (قدم) .

ويبين الجدول (٧) حالة الكبريتيد لقيم مختلفة من دالة زيتا

جدول (٧)

حالة الكبريتيد لقيم مختلفة من دالة زيتا {٢١، ١٣}

حالة الكبريتيد	قيمة زيتا
نادراً ما يتم إنتاج كبريتيد	أقل من ٥٠٠٠
حالة إنتاج هامش للـكبريتيد	$10000 > Z > 5000$
إنتاج عادى للـكبريتيد	$10000 < Z$

مثال ٥ :

مصرف صحى قطره ٤٦٠ ملم (١٨") صمم لنقل فضلات سائلة بمعدل دفق ١ متر مكعب على الثانية ، ووضع المصرف على ميل ٠.٠٠٠٢ . بين حالة إنتاج الكبريتيد فى المصرف عندما يكون المحيط المبتل

يساوى ١,٦٤ قدما (٠,٥ م) ، وعرض دفق يساوى ٠,٩٨ قدما (٠,٣ م) ، وأن الحاجة الحيا كيميائية للأكسجين تساوى ٣٢٥ ملجم/ لتر .

الحل :

١- المعطيات: $D = ٠,٤٦$ م ، $Q = ١$ قدم^٣/ث ، $s = ٠,٠٠٢$ ، $w_p = ١,٦٤$ قدم ، $B = ٠,٩٨$ قدم ، $BOD_c = ٣٢٥$ ملجم/ لتر .

٢- أوجد دالة زيتا من المعادلة

$$Z = (BOD_c * w_p) / (s^2 * Q^{0.33} * B)$$

$$Z = (١,٦٤ * ٣٢٥) / (٠,٠٠٢^2 * ١^{0.33} * ٠,٩٨) = ١٢١٦١$$

٣- وبمقارنة رقم دالة زيتا مع جدول (٧) يمكن القول بأن إنتاج الكبريتيد فى هذا المجرور عادى .

استخدمت العديد من الطرق للتحكم في الكبريتيد والسيطرة على إنتاجه في المجرى، ومن هذه الطرق :

١- العمل على إيجاد سرعة دفق تضمن كفاءة نقل المواد الصلبة ومنع ترسيبها .

٢- المعالجة الكيميائية والتي تتم باستخدام :

- الكلورة (إضافة غاز الكلور أو مشتقاته) .

- إضافة أملاح معدنية مثل كبريتات الحديد .

- إضافة بيروكسيد (فوق أكسيد) الهيدروجين H_2O_2 .

- إذابة الهواء أو الأكسجين في مسار الفضلات السائلة .

- إضافة هيدروكسيد الصوديوم NaOH .

٣- الحقن بالهواء في المجرور الرئيسي .

٤- تهوية المصرف الصحي .

٥- التبتطين بمواد خاملة مثل الطين المزجج والمواد البلاستيكية ومركبات الأسفلت .

يعتمد تآكل المصرف الصحي المصنع من المواد الأسمنتية على نوع الأنبوب ، والمواد المصنع منها ،

ومعدل إنتاج كبريتيد الهيدروجين من الفضلات السائلة . ويمكن تقدير متوسط فيض كبريتيد الهيدروجين

الى جدار الأنبوب {١٣} من المعادلة ٢٣ .

$$(٢٣) = (0.45 * a / w_p') * s_d * B * (s * v)^{0.375}$$

حيث :

Φ = فيض كبريتيد الهيدروجين المتبقى لجدار الأنبوب على درجة حرارة ٢٠°م (جم/ م^٢×ساعة) .

a = ثابت يعتمد على كمية الكبريتيد المذاب (فى شكل كبريتيد الهيدروجين) الى رقم الهيدروجين

للفضلات السائلة .

- w_p' - المحيط المبتل أعلى سطح السائل لجزء الأنبوب المعرض للهواء (قدم) .
- s_d - تركيز الكبريتيد الذائب فى الفضلات السائلة (ملجم/ لتر) .
- B - عرض السطح للإنسياب البطئ (قدم) .
- s - ميل خط الطاقة للسائل (ميل الأنبوب للدق المنتظم المستقر) (لا بعدى) .
- v - سرعة الدق (قدم/ ث) .

ومن البكتريا الهامة فى موضوع تآكل المجرور بالكبريتيد البكتريا المؤكسدة التثيوعصوية *Thiobacillus thio-oxidans* ، وبكتريا *T. neapolitans* ، وبكتريا الخرسانة *T. concretovorans* ، والبكتريا التثيوعصوية *Thiobacillus* من نوع البكتريا المؤكسدة للكبريت (وهى بكتريا هوائية)، والبكتريا ذاتية التغذية بالجمادات *Lithotrophic autotroph* ، (وبعضها منها يمكن أن يكون غيرى الإغذاء *Heterotrophs*) .

تقوم الكائنات الدقيقة الحية بتفسخ المواد العضوية المترسبة فى المجارى ذات الدق البطئ. ويكون التفسخ الحيوى مصحوبا بإختزال الكبريتات الموجودة فى الفضلات السائلة بواسطة البكتريا. ويصاحب عملية الأكسدة اللاهوائية للمواد العضوية تكوين أحماض دهنية ذات سلسلة قصيرة، والتي قد تعمل على نقصان الرقم الهيدروجينى. وتنتج محصلة إنتاج الكبريتات وتقليل الرقم الهيدروجينى، كبريتيد الهيدروجين ليشغل حيز الغلاف الهوائى فى المجرور. وربما حدثت إعادة إذابة لكبريتيد الهيدروجين فى أعلى قمة المجرور بواسطة الماء المكثف، لتقوم البكتريا التثيوعصوية *Thiobacillus* بإعادة أكسدته الى حمض الكبريت *Sulfuric acid VI* . ويقال تكوين الحمض الرقم الهيدروجينى الى ما يقارب ٣ ، ومن ثم تقوم بكتريا الخرسانة *T. concretovorans* بالنمو والتكاثر لتقلل الرقم الهيدروجينى بدورها الى ١ . ومن المعلوم أن هذه البكتريا لا تعيش فى رقم هايدروجينى يربو على ٤ .

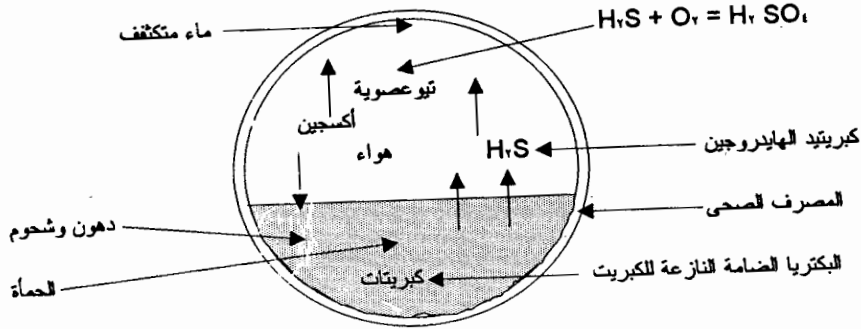
ويقود إنتاج الحمض فى الأنابيب المصنوعة من الخرسانة أو الحديد أو الفولاذ الى تآكلها خاصة فى المناطق الدافئة المناخ ، وفى المجارى الموضوعة على ميل مستو مما ينتج عنه سرعة قليلة وزمن مكث أكبر .

ومن الأهمية بمكان ذكر أن المجارى التى تنقل دفقا كاملا (ممتلئة) لا توجد بها بيئة مناسبة لتآكل قمة المجرور .

وعادة توجد فى الحمأة والقاذورات النتنة البكتريا الضامة النازعة للكبريت *Desulphovibrio* و *desulphuricans* وهى بكتريا لا هوائية تقوم بإختزال الكبريتات لتكون الكبريتيد وهى خيرية الإغذاء *Heterotrophic* وتقوم بأكسدة الكربون العضوى أثناء إختزال الكبريتات .

ويمثل الشكل (١١) رسم تخطيطي لتآكل المصرف الصحي .

ويبين الجدول (٨) أثر بعض الملوثات في المصارف الصحية .



شكل (١١) سم تخطيطي لتآكل المصرف الصحي

جدول (٨)
أثر بعض الملوثات في المصارف الصحية {٢١، ١٣}

المواد	لمشاكل والآثار المترتبة على وجوده في المجارى	العلاج المقترح
الدهون، والشحوم، والزيوت	تصلبية، إسداد، تقطيل سعة المجرى عند تراكمها	لمعالجة المصفاة، نظافة المجرى
المواد المتفجرة، والمواد المتفجرة	حرائق، انفجار، أبخرة مقيته، مشاكل صحية	منع الصرف في المجرى، لرفع والرافعة، استخدام الملابس والأجهزة الواقية
المواد القلوية	تآكل معدن المجرى، إسداد ترسيب	معالجة، موازنة
المواد الحمضية	تآكل وتفتت لأنابيب الخرسانة والحديد	معالجة، موازنة
المواد الصلبة العالقة الخشنة	إسداد الأنابيب	لمعالجة المصفاة، تصفية، إزالة
المواد غير المصنوعة	تآكل كبير لمحطات الضخ، تراكم، إسداد الأنابيب	لمواد غير المصنوعة، نظافة المجرى
المعادن الثقيلة والمواد السامة	إنتاج غازات سامة عند زيادة الحمضية أو القلوية	لمعالجة المصفاة
الأحماض المصنوعة لزيادة	تكوين الكائنات الحية في خط المجرى مما ينتج معه غاز كبريتيد الهيدروجين ويؤثر بتآكل الخرسانة والمنشآت بالإضافة إلى سميته	لمعالجة المصفاة، محاولة إيجاد بيئة هوائية داخل المجرى، الكثرة عند محطات الضخ
المونيا	مهدد للصحة والجهاز التنفسي، سام على درجة تركيز ٠.٠١ %	معالجة مسبقة، تهوية
كبريتيد الهيدروجين	يضر حاسة الشم بسرعة عند زيادة التركيز، قتل خلال دقائق على تركيز ٠.٢ %، لتعرض تركيز ٠.٠٧ % إلى ٠.١ % يسبب تسمم سريع، يشل مركز الجهاز التنفسي	معالجة مسبقة، تهوية

٥-٨ تمارين عامة :

٥-٨-١ تمارين نظرية :

- ١ (عرف الآتى: مصرف صحى ، مصرف سؤل ، مجارى صحية .
- ٢ (ما هي الأهداف من وراء تصريف الفضلات في المجارى الصحية ؟
- ٣ (عدد نظم المجارى . واذكر الفرق بين كل منها ؟ ما هي محاسن ومساوئ كل نظام ؟ أى من النظم تفضل لمنطقتك ؟
- ٤ (ما هي المشاكل التى يمكن أن تتجم من جراء سوء إستخدام المصارف ؟
- ٥ (ما هي أهم العوامل المؤثرة في تصميم المجارى ؟
- ٦ (اذكر أهم الأطوار التى يمكن أن يمر بها مشروع الصرف الصحى ؟
- ٧ (لماذا يتم تحديد أقصى معدل دفق وأقل معدل دفق عند تصميم المجارى ؟
- ٨ (ما هي العوامل المؤثرة في كميات مياه الأمطار والسيول والمياه السطحية ؟
- ٩ (عرف الآتى: شدة الأمطار ، زمن التركيز للأمطار ، المنطقة الرافدة ، خط الميل الهيدروليكي .
- ١٠ (ما الفرق بين معادلة مانتج ومعادلة جيزى ؟
- ١١ (إذكر أهم الإقتراضات في هايدروليكا الصرف الصحى .
- ١٢ (عرف الآتى : إنسياب أحادى البعد ، دفق لا منضغط ، إنسياب مستقر .
- ١٣ (ما هي العوامل المؤثرة على السرعة اللازمة للنظافة الذاتية للمجارى ؟
- ١٤ (أين تقترح أن توضع غرف التنقيش ؟ ولماذا ؟
- ١٥ (لماذا يصمم غطاء محكم الغلق لغرف التنقيش ؟
- ١٦ (ما هي أهم العوامل المؤثرة في المفاضلة بين أنابيب الصرف الصحى ؟
- ١٧ (ما هي أهم تقسيمات أنابيب المجارى ؟
- ١٨ (ما الفرق بين أنابيب اللدائن الحرارية والأنابيب البلاستيكية الصلدة بالحرارة ؟
- ١٩ (إذكر الآثار الضارة لكبريتيد الهايدروجين .
- ٢٠ (كيف تقوم البكتريا الهوائية بإختزال الكبريتات في المجرور ؟
- ٢١ (اذكر العوامل المؤثرة في إنتاج الكبريتيد الذائب في المجرور الصحى .
- ٢٢ (اذكر الطرق المستخدمة للتحكم في الكبريتيد في المجارى .
- ٢٣ (اذكر البكتريا المؤثرة في عمليات التآكل في المجرور . دعم إجابتك بالرسومات المناسبة .
- ٢٤ (ما هي المخاطر التى يمكن أن تتأتى من جراء زيادة تركيز كل من المواد الآتية في شبكة المجارى : أمونيا ، كبريتيد الهايدروجين ، الأحماض العضوية ، الحمضية ، الدهون والشحوم ؟

٥-٨-٢ تمارين عملية :

- (١) أوجد أقصى معدل دفق من مجرور قطره ٨٠٠ ملم موضوع على ميل ٠,١٥ في المائة (ثابت ماننج يساوى ٠,٠١٣) . (الإجابة ١١٠ لتر/ث) .
- (٢) أوجد أقصى عدد من السكان يمكن أن يخدمهم مجرور قطره ٣٠٥ ملم عند وضعه على أقل ميل ممكن علماً بأن معدل دفق الفضلات السائلة يعادل ٧٥ بالمائة من الماء المستخدم، وأن استخدام الماء لكل فرد فى حدود ٢٠٠ لتر فى اليوم وأن أقصى سرعة مسموح بها فى المجرور يجب ألا تتجاوز ٠,٧٥ م فى الثانية . (الإجابة ٢٣٦٧٢) .
- (٣) يخدم مجرور دائرى منطقة جابية تساوى ٥٠ هكتارا وقد وضع على ميل يساوى ١ فى ٤٠٠٠. إذا كان زمن التركيز يساوى ٣٠ دقيقة وأن ثابت السيل يساوى ٠,٤ أوجد قطر المجرور. (الإجابة ١,٤٧ م) .
- (٤) أوجد قطر أنبوب ليسمح بمجرور دفق يعادل ٢٠٠ متر مكعب فى الدقيقة مستخدماً ميلاً يقارب ١,٥ متر لكل كيلومتر. (الإجابة ١,٦١ متر) .
- (٥) مستخدماً بيانى المعادلة المبنى على صيغة ماننج (شكل ٧) أوجد مقدار الدفق وسرعة الدفق لأنبوب قطره ١,٤ م وموضوع على ميل ٠,٠٠٢، علماً بأن ثابت ماننج يساوى ٠,٠٠٢ . (الإجابة ١,٧١ م^٣/ث، ١,١١ م/ث) .
- (٦) صمم مصرف صحى دائرى ليعطى سرعة دفق ٠,٧٥ متر على الثانية ومعدل دفق ٨ متر مكعب على الدقيقة . أوجد سرعة الدفق ومعدل الدفق عندما ينساب الدفق على عمق ٣٠٪ من العمق الكلى . (الإجابة ٠,٥٨ متر/ث، ١,٥٧ م^٣/دقيقة) .
- (٧) مجرور قطره ٦٨٥ ملم ، عندما ينساب الدفق الكامل بمعدل يساوى ٥ متر مكعب فى الدقيقة ويكون أقل دفق يعادل ٠,١ من أقصى دفق . أوجد العمق وسرعة الدفق لأقل دفق . (الإجابة ١٤٤ ملم ، ٠,٢٣ م/ث) .
- (٨) مجرور دائرى قطره ١,٨٣ متر ينساب خلاله دفق بمعدل ٧٥ متر مكعب فى الدقيقة عندما يكون الدفق كاملاً ، إذ تم تبطين الجدار الداخلى بخرسانة جيدة . أوجد الميل الذى يجب أن يوضع عليه المجرور لضمان دفق منتظم. ثابت ماننج = ٠,٠١٨ . (الإجابة ٢ × ١٠^{-٤}) .

5.9 References

- 1) Abdel-Magid, I. M., Hago, A. H., and Rowe, D. R., "Modelling Methods for Environmental Engineers", Lewis Publishers, New York (Under publication).
- 2) Davis, M. L., and Cornwell, D. A., "Introduction to Environmental Engineering", McGraw Hill Inc., New York, 2nd Ed., Chemical Engineering Series, 1991.
- 3) Hammer, M. J., "Water and Wastewater Technology", Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1986.
- 4) Viessman, W., Lewis, G. L., and Knapp, J. W., "Introduction to Hydrology", Harper and Rowe Publishers, Cambridge, 1989.
- 5) Viessman, W. and Hammer, M. J., "Water Supply and Pollution Control", Harper and Row Pub., New York, 1985.
- 6) Nathanson, J. A., "Basic Environmental Technology: Water Supply, Waste Disposal and Pollution Control", John Wiley and Sons, New York, 1986.
- 7) Abdel-Magid, I.M. "Selected problems in wastewater engineering", Khartoum University Press, National Research Council, Khartoum 1986.
- 8) McGhee, T. J., and Steel, E. W. "Water supply and sewerage", 6th Ed., McGraw-Hill, New York 1991.
- 9) Vesilind, P. A., Peirce, J. J., and Weiner, R. F., "Environmental Engineering", Butterworths, Boston, 1988.
- 10) Barnes, D.; Bliss, P. J.; Gould, B. W. and Vallentine, H. R. "Water and wastewater engineering systems", Pitman International, Bath 1981.
- 11) Perry, R. H. Green, D. W., and Maloney, J. O., Eds., "Perry's Chemical Engineers' Handbook", 6th Ed., McGraw-Hill Book Co., New York, 1985.
- 12) Hwang, N. H. C., and Hita, C. E., "Fundamentals of Hydraulic Engineering Systems", Prentice Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1987.
- 13) Joint Task Force of the American Society of Civil Engineers & the Water Pollution Control Federation "Gravity sanitary sewer design & construction", ACSE Manuals and Reports on Engineering practice number 60, ASCE, WPCF, New York 1982
- 14) 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.
- 15) Frederick, S. Ed., "Standard Handbook for Civil Engineers", McGraw-Hill Book Co., 1976.
- 16) Husain, S. K., "Textbook of water supply and sanitary engineering", 2nd Ed., Oxford and IBH Publications, New Delhi, 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) Douglas, J. F., Gasiorek, J. M., and Swaffield, J. A., "Fluid Mechanics", Longman Scientific and Technical Copublished with John Wiley and Sons, New York, 1985.
- 20) Gulf Eternit Industries SA, "Eternit Fibrecement Pressure Pipes", T. I. P. P401/79, Dubai, United Arab Emirates.
- 21) American Society for Civil Engineers, "Sulfide in Wastewater Collection and Treatment Systems", ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice, No. 69, ASCE, New York, 1989.

الفصل السادس

معالجة الفضلات والمخلفات السائلة

١-٦ مقدمة

تعرف الفضلات السائلة بأنها عبارة عن خليط من السوائل أو المياه الحاملة للأوساخ والتي تم صرفها - من المنازل والمؤسسات والمناطق التجارية والصناعية - مع المياه الجوفية والسطحية ومياه الأمطار التي ربما وجدت طريقها إليها {٣} .

ومياه المجاري والحماة عبارة عن مخلوط ربما لوث بيئة الإنسان من ماء وهواء وتربة وطعام ومسكن. وعليه فلا بد من معالجة هذه الفضلات وإتباع الأساليب المثلى للتخلص النهائي منها. وذلك بغية تجنب أي مشاكل صحية أو إجتماعية محتملة. ويمكن إيجاز المشاكل والمخاطر المتعلقة بعدم إنتهاج طرق التخلص السليم من الفضلات السائلة في الآتي :

١- تؤثر الفضلات السائلة على نوع المياه الطبيعية وذلك بإنتاج الطعم البغيض والروائح الكريهة والغازات الضارة مثل: ثاني أكسيد الكربون وكبريتيد الهيدروجين والميثان (غاز المستنقعات) والأمونيا ونسبة ضئيلة من الهيدروجين والنيتروجين .

٢- تحتوي الفضلات السائلة على ميكروبات وجراثيم قد تسبب الأمراض، كما وربما نجم من المركبات العضوية المستحدثة بعض الآثار الفسيولوجية على المدى الطويل .

٣- ربما أنت الحماة والأوساخ من الفضلات بالمنظفات الثابتة كيميائيا والمبيدات وغيرها من المواد والمركبات السامة .

٤- تنتج الحماة كميات كبيرة من المواد الصلبة التي تتراكم في قاع المسطحات المائية والتي ربما أثرت سلبا على نوع هذه المياه .

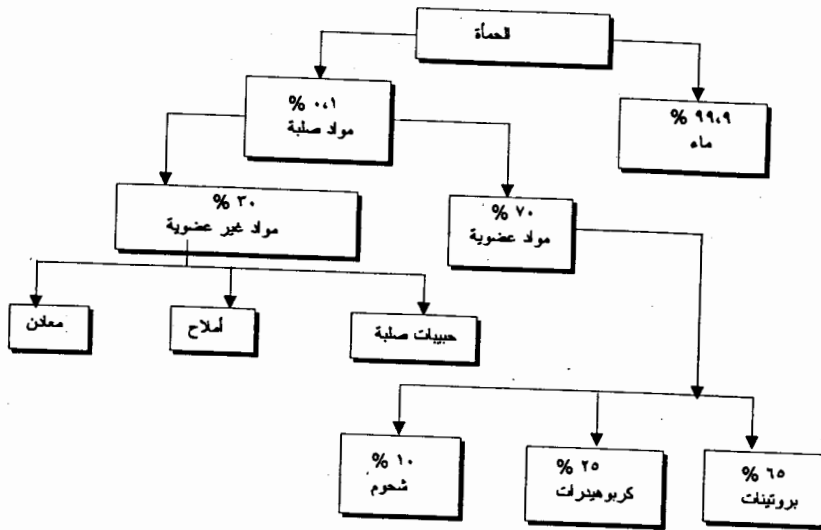
٥- تؤثر الزيوت والشحوم الموجودة في بعض المخلفات السائلة على المناظر خاصة في المناطق السياحية ومناطق الترفيه، وتمنع الإستخدام الأمثل لمناطق السياحة والإستحمام، كما وتؤثر سلبا على عمليات المعالجة الحيوية .

٦- ربما أنت الحماة ومياه المجاري بمشاكل التخمة Eutrophication للبحيرات وما شاكلها وذلك بزيادة درجات تركيز مواد التغذية النباتية في المسطحات المائية ويبين الشكل (١) أدناه محتويات الحماة {١٥} .

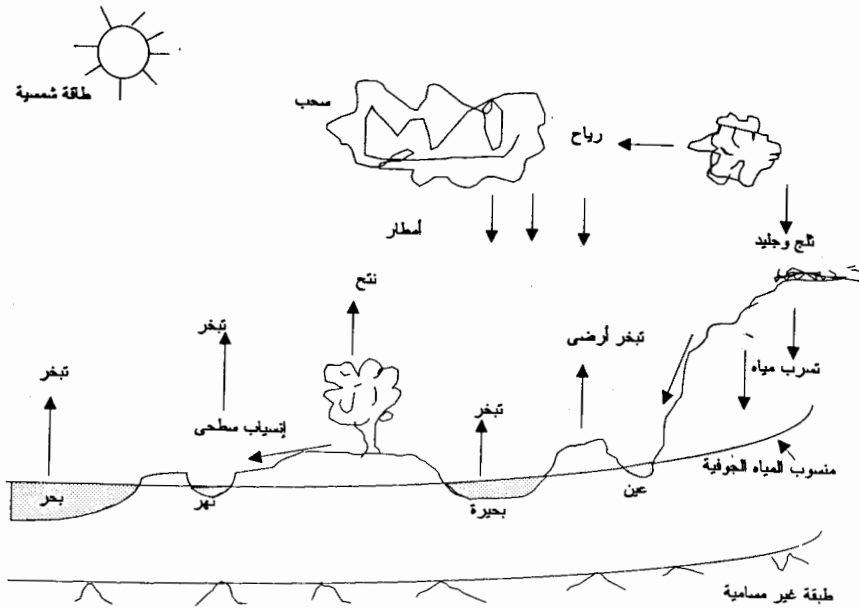
مصادر الفضلات السائلة :

تنقسم مصادر الفضلات السائلة إلى ما يلي :

١- فضلات منزلية: وهذه تضم التصاريح المنزلية والتجارية وتصاريح المؤسسات والمنشآت ومثيلاتها .



شكل (١)
محتويات الحماء {١٥}



شكل (١)
رسم مبسط لدورة المياه الطبيعية

٢- فضلات صناعية: وهذه تضم تصريف الصناعات وتتغير طبقاً لنوع وحجم وطبيعة المصنع المعين والعوامل المؤثرة على الإنتاج .

٣- التسرب والإنصباب: وهذا يتعلق بالمياه التي تجد طريقها من الأرض إلى شبكة المجاري عبر طرق متعددة كما وتضم مياه الأمطار التي يتم تصريفها إلى الشبكة .

٤- مياه الأمطار: وهذه تتعلق بمياه الأمطار الهاطلة .

يتم الاعتماد على فكرة إنسياب موسم الجفاف Dry Weather Flow عند حساب كمية دفع الفضلات السائلة . ويقدر إنسياب موسم الجفاف بالمتوسط الكلي لتصريف مياه المجاري، ويمثل الإنسياب الإعتيادي في ماسورة التصريف أثناء موسم الجفاف. يعتمد هذا القياس على عوامل عدة منها: عدد السكان وكثافتهم ومعدل النمو، وطبيعة ونوع وحجم المنطقة الخدمية، ومعدل استهلاك المياه، والتسرب من المياه الجوفية، وعوامل الطقس والمناخ ذات الصلة. كما ويعرف إنسياب موسم الجفاف بمتوسط الدفع اليومي في المجزور بعد عدة أيام مطيرة لم يتجاوز المطر فيها قيمة ٥, ٢ ملليمتر في مدة الأربعة وعشرين ساعة السابقة {١٦}. وتبين المعادلة ١ طريقة حساب معدل إنسياب موسم الجفاف DWF .

$$(١) \quad DWF = P \cdot Q + I_r + T_w + EV$$

حيث :

DWF = إنسياب موسم الجفاف (لتر/ يوم) .

P = عدد السكان داخل شبكة المجاري، وعادة يقدر عدد السكان بالتعداد السكاني مع وضع التعديلات المناسبة لاستبطاء الأعداد المستقبلية والزيادة السكانية ونمو السكان .

Q = المتوسط اليومي لإستهلاك المياه (لتر/الفرد/اليوم) .

I_r = متوسط التسرب الداخل لماسورة التصريف والناجمة بسبب ضعف نقاط التوصيل أو تصنيع الماسورة من مادة مسامية (لتر/اليوم). عادة يتفاوت هذا المقدار ما بين صفر إلى ٣٠ في المائة من إنسياب موسم الجفاف .

T_w = متوسط الإنسياب التجاري للفضلات السائلة (لتر/اليوم) .

EV = معدل التبخر. وقد يصل هذا المقدار في المناطق الحارة إلى ٥٠ بالمائة من كمية المياه المستهلكة، كما ويمكن حساب إنسياب موسم الجفاف من معادلات إستهلاك المياه كما موضح في المعادلة ٢ .

$$(٢) \quad DWF = (80 \text{ to } 90 \%) \cdot P \cdot Q$$

كما ويحسب أعلى معدل لدفع الفضلات السائلة على أساس أنه يساوي إثنين إلى ٤ أضعاف إنسياب موسم الجفاف .

هنالك العديد من العوامل التي تؤثر في كمية دفع الفضلات السائلة ومنها: زيادة وكثافة السكان ومعدل تغير السكان وإستهلاك الماء وإحتياجات الماء والنشاط التجاري والصناعي والزراعي وزيادة الخدمات وطبغرافية وجيولوجية المنطقة .

٦ - ٢ معالجة الفضلات السائلة

تنقسم وحدات معالجة الفضلات السائلة على حسب حجمها إلى :

(أ) وحدات صغيرة: وتستخدم هذه الوحدات لمعالجة الفضلات السائلة المتعلقة بالمنشآت الفردية أو لمجموعة صغيرة من السكان. وعادة تعمل هذه الوحدات كوحدات معالجة وتخلص نهائي، وتوضع في موقع إصدار الفضلات، وعادة تستخدم هذه الطريقة لمعالجة الفضلات السائلة في الريف والقرى والساكن ومنازل الأفراد .

(ب) وحدات كبيرة: وهذه الوحدات تعمل على معالجة والتخلص من الفضلات السائلة الصادرة من مجموعات كبيرة من السكان، وعليه فيتم جمع الحماة من عدة مناطق لتجد طريقها إلى محطة المعالجة الرئيسية. وغالبا تعالج هذه المحطات المخلفات السائلة في المدن .

أسباب معالجة الفضلات السائلة

من أهم الأسباب لإتمام معالجة الفضلات السائلة ما يلي :

- ١ - منع أو تقليل الملوثات التي ربما وجدت طريقها لمصدر المياه السطحية أو الجوفية .
- ٢ - منع إنتشار الأمراض المعدية بإزالة أو قتل الجراثيم الموجودة في الفضلات السائلة والحماة .
- ٣ - موازنة الحماة لمنع حدوث المخاطر الصحية .
- ٤ - الحد من إنتاج الروائح الكريهة وغيرها من المكدرات .
- ٥ - إعادة إستخدام ماء التصريف الخارج من محطات المعالجة وإعادة إستخدام الحماة والنواتج الثانوية الصادرة من وحدات المعالجة .

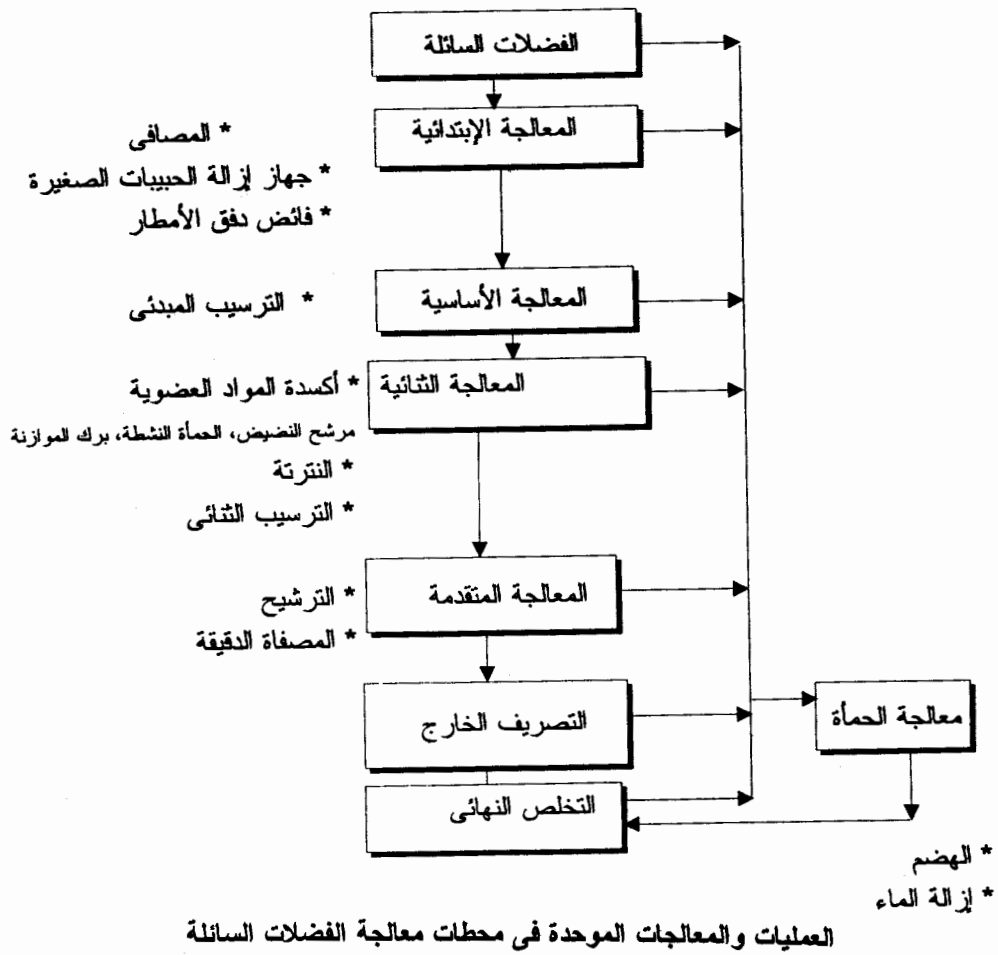
يعطي الشكل (٢) فكرة عامة عن بعض وحدات المعالجة ووضعها في المحطات .

وعامة تقسم وحدات المعالجة إلى :

(أ) عمليات موحدة Unit Operations وتحكمها القوى الطبيعية .

(ب) معالجات موحدة Unit Processes وتحكمها التفاعلات الحيوية والكيميائية .

تتطلع معالجة المخلفات والفضلات السائلة الى تفادى التلوث وإجتناى المخاطر الصحية، ومعالجة المواد الملوثة وتحويلها الى مواد أخرى ثابتة وخاملة وغير ضارة. وقد إزدادت الحاجة الى المعالجة ونمت بنمو المدن وإزدهار مناطق الحضر والإستيطان البشرى طبقا للتوسع فى التنمية الزراعية والثورة



الصناعية. ولقد أدت هذه الأوضاع الى ظهور مخلفات ونواتج ثانوية متعددة ومتجددة فى خواصها الطبيعية والكيميائية والحيوية مما عقد من تركيبها وأنماط تفاعلاتها بدرجة قادت الى التعقيد فى طرق معالجتها والتخلص منها .

أقسام طرق المعالجة:

تنقسم طرق المعالجة الى :

(أ) طرق طبيعية: وفى هذه الطرق فإن نظام المعالجة يتم بفضل عمل قوى ذات خواص طبيعية مثل قوى الجاذبية الأرضية. وأمثلة لهذه الطرق توجد فى: الخلط والطفو والترسيب والترشيح .

(ب) طرق كيميائية: وفى هذه الطرق يتم تهيئة الملوثات ومن ثم إزالتها بإضافة بعض المواد والمركبات الكيميائية، ويترتب على ذلك تفاعلات لها نواتج ثانوية ثابتة وغازات. ومثال هذه الطرق: إنتشار الغازات، والإمتصاص، والتطهير، والترسيب والأكسدة الكيميائيين .

(ج) طرق حيوية أو بيولوجية: ويتم بفضل هذه الطرق إزالة الملوثات بالتفتت والتحلل الحيوى والأنشطة البيولوجية. وعادة تستخدم هذه الطرق لإزالة المواد العضوية الغروية والذائبة القابلة للتفسخ. وبذا يتم تحويل هذه المواد الى أخرى ثابتة. ونواتج التحلل إما غازات (تجد مسارها للغلاف الجوى) أو خلايا حية (يمكن إزالتها بالترسيب) أو مواد صلبة عالقة من جراء عمليات التلبد وبفضل الإنزيمات التى تنتجها الكائنات الحية الدقيقة (يمكن إزالتها بالترسيب). وأمثلة هذه الطرق عدة منها: الحماة النشطة ومرشحات النضيبض وبرك موازنة الحماة .

يساعد العلم بمكونات وخواص الحماة والفضلات السائلة فى تصميم الوحدات الخاصة بالمعالجة مما ينجم عنه وضع تصميم جيد وهادف ومفيد للبيئة المحلية وملائمه للتقانة المحلية والمناخى الإقتصادية والإجتماعية والمعايير والمواصفات المطلوبة. وتؤثر العديد من العوامل على أداء عمليات المعالجة منها ما يتعلق بالفضلات (الكم والنوع) ومنها ما يتعلق بالتقانة والبيئة المحلية والتشريع. ويلعب نوع الفضلات والحماة دورا كبيرا فى هذا الصدد.

٦- ٣ إزالة الرواسب غير العضوية Grit Removal :

تتكون الرواسب غير العضوية من الرمل والحصى وقطع العظام والحبوب وبقايا عمل القهوة والشاى، والمواد العضوية الكبيرة مثل بقايا الطعام وبعض المواد الصلبة الأخرى التى لها سرعة ترسيب أو كثافة نوعية أكبر من المواد الصلبة العضوية المتواجدة فى الفضلات السائلة .

لا يستحب إدخال هذه الرواسب لوحداث المعالجة الثانوية وذلك لأنها ربما تسببت فى تآكل كبير لأجزاء الوحدات الميكانيكية. وتعتمد إزالة وفصل هذه الرواسب عن بعضها على فرق الكثافة النوعية بين المواد الصلبة العضوية والأخرى غير العضوية .

غالبا تكون هذه الرواسب قليلة المحتوى العضوى وغير ضارة فى المحطات الجيدة التصميم والتشغيل. وربما وصلت نسبة المواد العضوية فى هذه الرواسب إلى ٥٠ ٪ عند حدوث اعطاب بالأجهزة، الشيء الذى قد يؤدى الى مخاطر. كما وإن الرواسب النظيفة يمكن استخدامها لأعمال الردميات. أما بالنسبة للرواسب الملوثة فلا بد من استخدام الردم الصحى أو الحرق الصحى فى بقعة مناسبة وبشروط ملائمة .

إن نوع الرواسب غير العضوية يختلف طبقا لحالة نظام التصريف أو المجاريير وكمية مياه الأمطار ونسبة السوائل الصناعية. ونسبة لأن الأوساخ تحتوى على العديد من مقاسات الرواسب فلا بد من تحديد أصغر حبيبة يمكن إزالتها بوحدة الإزالة هذه. وقد أختيرت الحبيبة التى لها سرعة ترسيب حوالى ٠,٣ متر/ثانية كـمقياس. وغالبية أجهزة إزالة الرواسب غير العضوية تعمل لكى تترسب تلك الحبيبة، غير أن لها سرعة أمامية تحول دونما ترسب المواد العضوية .

وتكون هذه السرعة الأمامية أو سرعة دفع السائل فى الجهاز فى حدود ٠,٣ متر/ثانية. وبالنسبة لجهاز الترسيب فإن حبيبة التصميم يمكن ترسيبها فى الحوض إذا كانت نسبة العمق إلى الطول كما مبين فى المعادلة ٣ .

(٣)

$$h/L = 10$$

حيث :

h = إرتفاع حوض ترسيب المواد الغير عضوية (م) .

L = طول حوض ترسيب المواد الغير عضوية (م) .

وعمليا تؤخذ نسب أكبر وذلك لوجود الإندفاع المضطرب فى فتحة الدخول أو الخروج وربما وصلت نسبة العمق الى الطول إلى تلك الموضحة فى المعادلة ٤ .

(٤)

$$h/L = 25$$

إن أحواض إزالة الرواسب غير العضوية تعتمد على فرق الكثافة النوعية بين المواد العضوية الصلبة وغير العضوية لضمان فصلهما. ويفترض أن كل الحبيبات تترسب طبقا لقانون نيوتن كما موضح فى المعادلة ٥ .

(٥)

$$v = (4g(\rho_s - \rho) * d / 3C_D)^{0.5}$$

حيث :

v = سرعة الترسيب (م/ث)

g = عجلة الجاذبية الأرضية (م/ث^٢)

ρ_s = كثافة الحبيبات الصلبة (كجم/م^٣)

ρ = كثافة السائل (كجم/م^٣)

$$\begin{aligned}
 d &= \text{قطر الحبيبة} \quad (\text{م}) \\
 C_D &= \text{معامل الجذب} \quad (\text{لا بعدى}) \\
 Re &= \text{رقم رينولا} \quad (\text{لا بعدى}) \\
 (24/Re) + (3/ Re^{0.5}) + 0.34 &= \\
 (6)
 \end{aligned}$$

وداخل جهاز إزالة الرواسب غير العضوية فإن الحبيبات يتم جرفها بسرعة جرف أفقية {٩} يمكن إيجادها من المعادلة ٧ .

$$\begin{aligned}
 v_s &= [8b(s.g - 1)*g*d/a]^{0.5} \\
 (7)
 \end{aligned}$$

حيث :

v_s = سرعة الدفع الأفقية (سرعة الجرف) (م/ث)

b = ثابت (لا بعدى)، تتراوح قيمته {٩} بين ٠.٠٠٤ - ٠.٠٠٦ .

a = ثابت دارسى ويسباش (لا بعدى)، وعادة يكون {٩} بين ٠.٠٠٢ إلى ٠.٠٠٣ .

g = عجلة الجاذبية الأرضية (م/ث^٢)

d = قطر الحبيبة (م)

عامة فإن أحواض إزالة الرواسب غير العضوية لها الخصائص الآتية :

- سرعتها ثابتة عبر المجرى .
- تعمل بسرعة أمامية تقدر ب ٠.٣ متر/ثانية .
- لها نسبة طول إلى إرتفاع تعادل ١٠. وعمليا تؤخذ نسبة الطول إلى الإرتفاع لتساوى ٢٥ نسبة للدفق المضطرب فى المدخل والمخرج .
- لها نسبة عرض إلى إرتفاع تعادل ٢ .

أما بالنسبة لعملية التخلص من الأوساخ الناتجة من الجهاز فإذا كان التلوث قليل فيتم حرقها فى الموقع، أما تلك الأوساخ الملوثة فيمكن غسلها ومن ثم استخدامها فى الردم الصحى، أو يتم تصريفها فى المسطحات المائية. والأوساخ غير المنظفة ربما احتوت على ٥٠ بالمائة مواد عضوية، مما يؤهلها لأن تستقطب الحشرات والهوام، كما ولها رائحة نفاذة غير محببة .

يبين جدول (١) المعايير الأساسية لتصميم جهاز إزالة الرواسب غير العضوية.

جدول (١)

معايير عامة لتصميم أحواض إزالة الرواسب غير العضوية {٣، ٤، ٥، ١١}

القيمة	المنشط
٦٠	زمن المكث (ثانية)
٣٠	السرعة التصميمية الأفقية (سم/ث)
٠,٢	القطر المكافئ للحبيبة المزالة (ملم)
٢,٦٥	الكثافة النوعية للحبيبات المترسبة
١٨×أقصى ارتفاع	طول المجرى (م)

٦ - ٤ المعالجة الثانوية

تهدف المعالجة الثانوية للفضلات والمخلفات السائلة الى :

- تخثر وإزالة المواد الغروية الصلبة الغير قابلة للترسيب .
- موازنة المواد العضوية .
- تقليل نسب المواد العضوية الموجودة فى الحمأة .
- تخفيض مواد التغذية (مثل النتروجين والفسفور) فى الحمأة .

يتم التفتيت الحيوى للمواد العضوية بخليط غير متجانس من البكتريا والكائنات الحية الدقيقة. وتقوم الكائنات الدقيقة بتحليل المواد العضوية إما فى بيئة هوائية أو لا هوائية أو اختياريه .
وتتم الأكسدة الهوائية فى وجود الأكسجين. وتعمل المواد العضوية كمصدر للطاقة وممول للكربون وتخليق الخلية الحية. وتتم التفاعلات المبينة أدناه عند وجود المادة العضوية :

مادة عضوية + أكسجين $\xrightarrow{\text{بكتريا}}$ تخليق خلايا جديدة + طاقة حركية + نواتج ثانوية (ثانى أكسيد الكربون، الماء، الكبريتات (IV)، الفوسفات، النترات V، النتريت)
(٨)

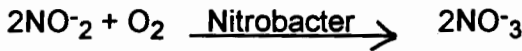
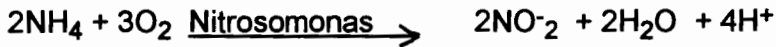
ويتم التحلل الحيوى للمواد العضوية بواسطة الكائنات الحية الدقيقة فى غياب الأكسجين الحر، غير أنه يستفاد من الأكسجين المتحد مع مركبات مثل النتريت والنترات والكبريتات طبقاً للتفاعل المذكور فى المعادلة أدناه :

مواد عضوية (مكونة من كربون، هايدروجين، أكسجين، نتروجين، كبريت) $\xrightarrow{\text{بكتريا الأحماض}}$ تخليق خلايا جديدة + طاقة + أحماض عضوية + كحول
(٩)

ويقلل إنتاج الأحماض العضوية من الرقم الهيدروجيني، مما يقود إلى فناء بكتريا الأحماض المكونة لها، وتحل محلها بكتريا الميثان. وهذه الأخيرة تقوم بتكوين خلايا جديدة كما مبين في المعادلة التالية :

الكحول بكتريا الميثان $\rightarrow$ تخليق خلايا جديدة + نواتج ثانوية (ميثان، كبريتيد الهيدروجين، ثنائي أكسيد الكربون، ماء) (١٠)

تقوم بعض أنواع البكتريا بتحويل المواد غير العضوية وأكسدة الأمونيا. إذ تقوم البكتريا المنترنة Nitrosomonas بتحويل الأمونيا إلى نترت. ومن ثم تقوم البكتريا المنترنة Nitrobacter بأكسدة النترت المتكون إلى نترات كما ممثل في المعادلات أدناه :



٦ - ٥ طرق وتقانة المعالجة الثانوية

تنقسم الطرق المستخدمة في المعالجة الثانوية بصورة عامة إلى :

(أ) طرق النمو المرتبط: Attached Growth

يحتوى النمو المرتبط على مجموعة من أنماط المعالجة الثانوية. وفي هذا النوع من نظم المعالجة فإن الكائنات الحية تكون مرتبطة أو مثبتة بسطح أو وسط صلب. وهذا يعنى أن الكائنات الحية تتم تغذيتها. وتعمل العديد من العوامل لتلاصق المواد العضوية الكائنات الحية الدقيقة. وأمثلة لطرق النمو المرتبط مرشح النضيف والأكراس الملامسة الدوارة Rotating Biological Contactors .

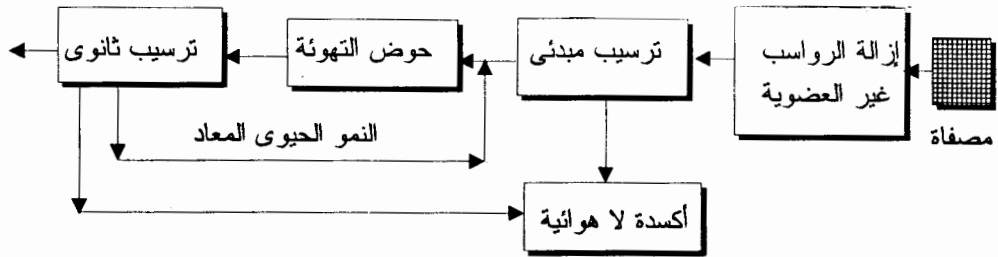
(ب) طرق النمو العالق: Suspended Growth

وفي هذا النوع من أنماط المعالجة الحيوية فإن الكائنات الحية الدقيقة لها حرية الحركة داخل المفاعل، بمعنى أن الكائنات الحية الدقيقة تبحث لوحدها عن غذائها. ومن أمثلة هذه الطرق الحماة النشطة وأخدود الأكسدة وبرك التهوية والهضم الهوائى .

٦ - ٦ طرق المعالجة بالنمو العالق

الحماة النشطة: Activated Sludge

طريقة الحماة النشطة إما مستمرة أو شبه مستمرة، ويتم فيها المعالجة الحيوية الهوائية لمياه المجارى. كما ويتم في هذه الطريقة الأكسدة للمواد الكربوهيدراتية وعملية النترنة. وتعتمد هذه الطريقة على تهوية الفضلات السائلة بتلبد النمو الحيوى ومن ثم يتم فصل المياه المعالجة من النمو الحيوى. وتمثل بعض الكائنات الحية المتكاثرة في الحماة النشطة فضلات تخرج مع التصريف المنبثق من الحوض، وبعضها الآخر يستمر داخل النظام. (انظر شكل ٣) .



شكل ٣

وحدة الحماية النشطة في محطة التنقية {١}

تعمل الكائنات الحية الدقيقة في الحماية النشطة على الفضلات السائلة في حوض التهوية في وجود الأكسجين. وتقوم هذه الكائنات بامتزاز المواد الصلبة العالقة والغروية (ولحد ما المواد العضوية الذائبة) عن سطح متلبدات الحماية النشطة. وفي ذات الوقت فإن النمو الحيوي الكبير يعمل على تحويل جزء من المواد العضوية الموجودة في الفضلات إلى غذاء احتياطي داخل خلايا الميكروبات. وهذه الظاهرة مسؤولة عن الإزالة الابتدائية السريعة للحاجة الحيا-كيميائية للأكسجين في الحماية النشطة. وتنمو الكائنات الحية الهوائية وتزداد داخل حوض التهوية مما يكون الكتلة الحيوية Biomass أو ما يعرف بالحماية النشطة. وكل من الحماية النشطة في حوض التهوية والفضلات السائلة تسمى السائل المختلط {٢}. ويبين شكل (٣) وحدة الحماية النشطة في محطة المعالجة.

ويتم بفضل هذه الطريقة التخلص من الفضلات الآتية :-

- ١- المركبات العضوية الذائبة أو الغروانية القابلة للتفتت.
- ٢- المواد الصلبة العالقة وغير المترسبة.
- ٣- بعض المركبات والمكونات الأخرى التي يمكن أن تمتص أو تمتز بهذه الطريقة.
- ٤- بعض المواد الغذائية مثل الفسفور ومركبات النتروجين.
- ٥- بعض المواد العضوية المطهرة.

طريقة التهوية عند المعالجة بواسطة الحماية النشطة :

توجد طريقتان أساسيتان لإتمام إضافة الهواء أو الأكسجين لأحواض التهوية.

(١) التهوية الفقاعية أو التهوية بالانتشار Bubble and Diffused Aeration: وتعمل هذه الطريقة لإضافة الهواء (الأكسجين) عن طريق آلة هواء ضاغطة، حيث يتم إدخال الهواء تحت ضغط عالي إلى قعر الحوض عن طريق ماسورة رئيسية، فمواسير جانبية بها فتحات دقيقة. وبذا يتسرب الهواء تحت الضغط العالي على شكل فقاعات هوائية صغيرة. وتقوم الكائنات الحية الدقيقة بامتصاص الأكسجين من هذه الفقاعات كما وتعمل هذه الفقاعات على خلط مكونات حوض التهوية حيث تمنع ترسيب المواد العالقة في قعر الحوض.

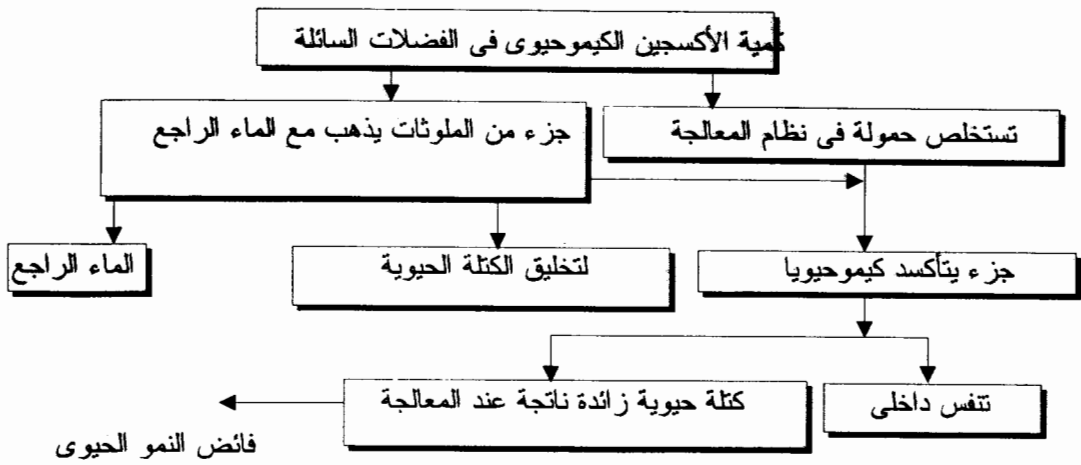
(ب) التهوية السطحية: أما فى أحواض التهوية السطحية والميكانيكية Surface Aeration فتعرض المخلفات السائلة (على شكل صفايح أو شرائح رقيقة) للهواء حيث يتم امتصاص الأكسجين. ويتم تغيير الصفايح المعرضة للهواء تباعا عن طريق فرش دوارة أو آلات خلط .

وفى معالجة الفضلات السائلة بطريقة الحمأة النشطة يتم فصل المواد العالقة من الفضلات، ثم تستقبلها أحواض التهوية، حيث تمكث لمدة تتفاوت بين ٦ إلى ١٢ ساعة فى وجود كمية مناسبة من الحمأة المعادة، لتظل درجة تركيز الأكسجين المذاب فى حدود ٢ ملجم/لتر. ثم تصرف مكونات حوض التهوية لأحواض الترسيب اللاحقة. وفى أحواض الترسيب يتم الترسيب لمدة تتراوح بين ٢ الى ٤ ساعات. ويكون الجزء السائل للمخلفات المعالجة. ويعاد جزء من المواد الصلبة لحوض التهوية والجزء المتبقى يتم التخلص منه بعد أكسدة هوانيا بواسطة أجهزة التخلص من الأوساخ. ونسبة لأهمية نوع وخصائص مكونات حوض التهوية فيتم التحكم فيها عن طريق عوامل ثلاثة هى :- المعامل الحجمى والمعامل الكثافى وعمر الأوساخ .

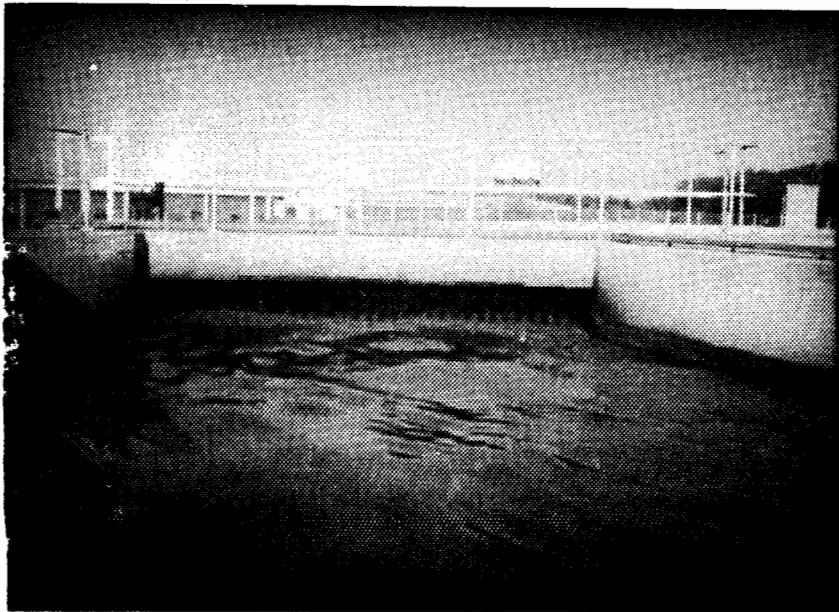
وتعتمد طرق المعالجة الحيوية الهوائية لإزالة المواد العضوية من مياه المجارى على فسيولوجية الكائنات الحية الدقيقة غيرى الإغتراء (Heterotrophic) . وتستخدم هذه الكائنات (فى وجود الأكسجين) المواد العضوية الموجودة بالفضلات السائلة كمصدر لعنصر الكربون - اللازم لتخليق الخلايا - كمصدر للطاقة. كما وأن كثير من الأنواع الهوائية من هذه الكائنات الدقيقة يمكنها الإستفادة من الأكسجين المتحد مع المركبات (مثل ذلك الذى يوجد فى النترات والكبريتات) لإتمام الأكسدة وبناء الخلايا عند غياب الأكسجين الحر .

ولمستعمرات البكتريا الهوائية المقدرة على تحويل نتروجين الأمونيا لنترت ومن ثم لنترات النتروجين. كما وأن النترتة تحدث أيضا بفعل كائنات دقيقة أخرى ذاتى التغذية (Autotrophic). وعند ملاسة الكائنات الحية الدقيقة للفضلات السائلة وفى وجود الأكسجين فإنها تقوم بامتصاص المواد العالقة والغروانية (وبدرجة أقل المواد العضوية الذاتية). وفى ذات الفترة فإن النشاط الحيوى يقوم بتحويل بعض المواد العضوية فى الفضلات السائلة لغذاء احتياطى داخل خلايا الكائنات الحية الدقيقة. وبهذه الطريقة يتم نقصان السريع لحاجة الأكسجين الحيا-كيميائى فى بداية مرحلة المعالجة. كما وأن التهوية المستمرة تساعد فى إزالة المواد العضوية. ومن العوامل المؤثرة فى معدل هذه الإزالة: كمية الحاجة الحيا-كيميائية للأكسجين المتبقية ودرجة تركيز الكائنات الحية الدقيقة فى الحمأة النشطة. ويبين شكل (٤) ملخص عام لطريقة الحمأة النشطة .

يعتبر عنصرا النتروجين والفسفور من أهم المواد الغذائية للكائنات الحية الدقيقة داخل جهاز الحمأة النشطة، وذلك لأن النتروجين يدخل مباشرة فى التخليق الحيوى، أما الفسفور فيدخل فى تبادل الطاقة. كما ويحتاج الى بعض المعادن الغذائية الأخرى بنسب قليلة وأمثلة لهذه المعادن: الماغنسيوم، الكالسيوم، الحديد، المنجنيز، النحاس، الكوبالت. وتتراوح نسبة الكربون للنتروجين للحمأة بين ٢ إلى ٢,٥ ٪، غير



شكل ٤
ملخص عام لطريقة الحماة النشطة



التهوية فى حوض الحماة النشطة

أنه عمليا فإن إحتياجات التخليق الحيوى تتشد نسبة كربون إلى نيتروجين بين ٥ إلى ٦. وهذا الوضع يجعل من الأوساخ مصدر نيتروجين للمعالجة البيولوجية، خاصة لتلك الفضلات التى ينعدم أو يقل فيها وجود النيتروجين. كما وتساعد الفضلات المنزلية فى الحصول على بعض العناصر الغذائية الأخرى. وتعتبر طريقة الحمأة النشطة طريقة معقدة تشارك فيها أنواع مختلفة من الفيروسات والبكتريا والبروتوزوا وغيرها من الكائنات الحية الدقيقة القابلة للعيش فى هذه البيئة. وتتواجد هذه الكائنات إما منفردة أو مع بعضها وغالبا متداخلة مع الملوثات العضوية والخلايا الميتة وغيرها من مكونات الفضلات

ومن الصعوبة بمكان التكهّن بأثر البيئة على هذا النظام . ومرد ذلك الى أن الكائنات الحية الدقيقة تتأثر - لدرجات مختلفة - بحالة المواد الغذائية ومكونات الفضلات وبعض العوامل والمؤثرات الأخرى المفروضة على النظام (مثل درجة تركيز الأملاح غير العضوية والرقم الهيدروجينى ودرجة الحرارة ووجود الكائنات الأخرى المنافسة). وفى بداية مرحلة المعالجة تزدهر السوطيات (Flagellated) والأوليات الأميبية، والتى لاثبت أن تحل محلها الأهداب الحرة السابحة (Ciliates) ، وبعدها تسود الأهداب ذات الجزع (Stalked) والتى تؤخذ كدليل على جودة عملية المعالجة فى درجات تحميل عادية. وتتواجد الحيوانات الدوارة (الروتيفرات Rotifers) فى الحمأة النشطة عندما تكون درجة التهوية عالية جدا أو عندما يكون التحميل متدنى فى النظام .

كينامتيكية الحمأة النشطة :

يمكن تمثيل كينامتيكية طريقة الحمأة النشطة بالعلاقة بين استخدام المواد والنمو الحيوى. وهذا يمثل بمعادلة مونود (Monod)، والتى نجد فيها أن معدل النمو الحيوى للمواد يمكن إيجاده من المعادلة ١١ .

$$u = u_{max}/(k_s + S^*) \quad (11)$$

حيث :

u = معدل نمو الكائنات الحية الدقيقة (على اليوم) .

u_{max} = أقصى معدل لنمو الكائنات الحية الدقيقة (على اليوم) .

k_s = ثابت منتصف السرعة (أو درجة تركيز المواد (ملجم/لتر) عند منتصف أقصى معدل النمو) .

S^* = حد النمو لتركيز المواد فى المحلول (ملجم/لتر) .

المؤثرات على طريقة الحمأة النشطة :

من أهم العوامل المؤثرة على طريقة الحمأة النشطة مايلى :

(١) دفع ونوع الفضلات السائلة: يمكن التحكم الجزئى فى مواصفات وعدم ثبات نوع وكمية الحمأة والفضلات السائلة عن طريق تصميم وتشغيل محطات التجميع، كما ويمكن استخدام وحدات موازنة منفصلة لبعض الفضلات السائلة .

(٢) زمن مكث الفضلات السائلة: من الأحسن أن يكون زمن المكث الهيدروليكي طويل ليزيد من فعالية النظام من الحمولة. ويفضل أن يكون زمن المكث بين ٤ إلى ٨ ساعات .

(٣) حجم الحمأة والتحميل: وهذه تعتمد على نسبة الغذاء مقارنة بكمية الكائنات الحية الدقيقة الموجودة (الغذاء/الكائنات، F/M) أو ما يسمى بمعدل تحميل الحمأة Sludge Loading Rate والذي يمكن إيجاده من المعادلات ١٢ و ١٣ .
الغذاء/الكائنات = معدل تحميل الحمأة

= كتلة الحاجة الحيا-كيميائية للأكسجين الداخل إلى حوض التهوية (كجم/يوم)/المواد الصلبة العالقة في السائل المختلط
(١٢)

$$F/M = SLR = W/(MLSS * V) = L_i/(MLSS * t) \quad (١٣)$$

حيث :

F - الغذاء

M - كتلة الكائنات الحية الدقيقة

SLR - معدل تحميل الحمأة (على اليوم) .

W - تحميل حاجة الحيا-كيميائية للأكسجين (كجم/يوم)

$$L_i * Q \quad (١٤)$$

Q - مقدار دفع الفضلات السائلة (م^٣/ث) .

L_i - حاجة الحيا-كيميائية للأكسجين الداخل إلى حوض التهوية (ملجم/لتر) .

MLSS - تركيز المواد الصلبة العالقة في السائل المختلط (ملجم/لتر) .

V - حجم حوض التهوية (م^٣) .

إن تشغيل حوض التهوية على درجات عالية من نسبة الغذاء إلى الكائنات F/M ينتج عنها تحلل غير كامل للمواد العضوية، وإزالة ضعيفة للحاجة الحيا-كيميائية للأكسجين، وترسيب ضعيف للمتبدلات 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 .

كما ويمكن حساب معدل التحميل الحجمي للمواد العضوية Volumetric Organic Loading Rate, VOL كما موضح في المعادلة ١٥ .

$$VOL = Q * L_i / V \quad (١٥)$$

حيث :

VOL - معدل التحميل الحجمي للمواد العضوية .

ويعطى جدول (٢) قيم مناسبة لمعدل تحميل الحمأة لبعض نظم معالجة الفضلات السائلة بالحمأة النشطة .

جدول (٢)
معدل تحميل الحمأة لبعض نظم معالجة الحمأة النشطة {٣، ٤، ٥}

الوحدة	معدل تحميل الحمأة (يوم)
محطات تقليدية Conventional	٠,٣ - ٠,٣٥
تهوية ممتدة Extended	٠,٢ - ٠,٥
تهوية مدرجة Step	٠,٢ - ٠,٥

مثال (١)

أدخلت حمأة مترسبة ذات معدل دفع يومي يعادل ٤٠٠٠ متر مكعب الى حوض حمأة نشطة. يتكون جهاز التهوية من حوضين أبعاد كل منهما ٣٠×٥×٤ متر، والحاجة حيا-كيميائية للأكسجين للتصريف الداخلى لجهاز التهوية يعادل ١٩٠ ملجم/لتر، كما وأن تركيز المواد الصلبة العالقة فى السائل المختلط تساوى ٢٢٠٠ ملجم/لتر. أوجد :

(أ) زمن المكث فى الحوض .

(ب) معدل التحميل الحجمى للمواد العضوية .

(ج) معدل تحميل الحمأة .

الحل :

١- المعطيات: $Q = 4000 \text{ م}^3/\text{يوم}$ ، $L_i = 190 \text{ ملجم/لتر}$ ، $V = 30 \times 5 \times 4 \text{ م}^3$ لكل حوض ، $MLSS = 2200 \text{ ملجم/لتر}$ ، $n = 2$ حوض .

٢ - أوجد حجم حوض التهوية الكلى = حجم كل حوض $\times$ عدد الأحواض

$$= 2 \times 30 \times 5 \times 4 = 1200 \text{ م}^3 .$$

٣ - أوجد زمن المكث $t = Q \div V = 4000 / 1200 = 3.3$ يوم = ٧,٢ ساعة .

٤ - أوجد معدل التحميل الحجمى للمواد العضوية $VOL = Q \times L_i \div V$

$$= (4000 \text{ (م}^3/\text{يوم)}) (190 \text{ (كجم/م}^3\text{)}) / (1200 \text{ م}^3) = 63 \text{ كجم/ل} \cdot \text{م}^3/\text{يوم} .$$

٥- أوجد معدل تحميل الحمأة $SLR = Q \times L_i / MLSS \times V$

$$= (4000 \times 63) / (2200 \times 1200) = 0.95 \text{ كجم ل} \cdot \text{م}^3/\text{يوم}$$

$$= 0.95 \text{ كجم ل} \cdot \text{م}^3/\text{يوم}$$

٤) المواد العالقة بالسائل المختلط: وتتكون هذه المواد من أعداد من الكائنات الدقيقة 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 أيضا الى أجهزة ترسيب ثانوية كبيرة. غير أن المواد العالقة بالسائل المختلط تكون صغيرة في الغالب الأعم وتتراوح قيمها بين ٢٠٠٠ إلى ٤٠٠٠ ملجم/لتر .

(٥) كمية الأكسجين المذاب: وتتراوح كمية الأكسجين اللازمة لإكمال المعالجة داخل أجهزة التهوية بين ١ إلى ٢ ملجم/لتر .

(٦) عمر الحمأة : وهذه تعتمد على حجم حوض التهوية وتدفق الفضلات السائلة الداخلة اليه وتلك الخارجة منه وكمية المواد العالقة بداخله وكمية المواد المعادلة له وكمية المواد الصلبة في التصريف الخارجى. وتبين المعادلة ١٦ طريقة حساب عمر الحمأة .

عمر الحمأة = [كتلة المواد الصلبة في الحمأة في حوض التهوية (كجم)] / [كتلة المواد الصلبة الخارجة (كجم/يوم)]

(١٦)

$$SA = V \cdot MLSS / q_w \cdot SS$$

حيث :

SA = عمر الحمأة (يوم) .

V = حجم حوض التهوية (م^٣) .

q_w = تدفق الحمأة الخارج (م^٣/يوم) .

SS = تركيز المواد الصلبة العالقة في الحمأة الخارجة (ملجم/لتر) .

يبين جدول (٣) عمر الحمأة لعدد من طرق الحمأة النشطة.

جدول (٣)

عمر الحمأة لعدد من طرق الحمأة النشطة {٥، ٣}

الطريقة	عمر الحمأة (يوم)
موازنة ملامسة	١٥ - ٥
حمأة نشطة تقليدية	١٥ - ٥
تهوية ممتدة	٣٠ - ٢٠
تهوية عالية المعدل	١٠ - ٥
تهوية معدلة	٠,٥ - ٠,٢
تهوية مدرجة	١٥ - ٥

مثال (٢)

أوجد عمر الحمأة لنظام الحمأة النشطة المذكور فى المثال أعلاه ، علما بأن دفع الحمأة اليومي الخارج يعادل ٣٣٠ كجم .

الحل :

المعطيات: $Q = ٤٠٠٠$ م^٣/يوم، $L_i = ١٩٠$ ملجم/لتر، $V = ١٢٠٠$ م^٣، $MLSS = ٢٢٠٠$ ملجم/لتر، $SS^*q_w = ٣٣٠$ كجم/يوم .

٢- استخدم معادلة عمر الحمأة : $SA = V \cdot MLSS / q_w \cdot SS$

$$= ١٢٠٠ \cdot ٢٢٠٠ / ٣ - ٣٣٠ = ٨ \text{ يوم}$$

(٧) المزج والدفق المضطرب: ويحدث المزج والدفق المضطرب داخل حوض التهوية بواسطة حركة فقائيع الهواء الناتجة من جراء الهواء المضغوط عبر طبقات متعددة، أو بتشغيل أجهزة ميكانيكية مختلفة. ومما يجدر ذكره أن الدفع المضطرب العالى فى حوض التهوية يؤثر عكسيا على درجات التلبد فى الأوساخ النشطة .

(٨) تأثير درجة حرارة الفضلات السائلة: وتأثير درجة الحرارة معقد بعض الشئ إذ أن الزيادة فى درجة الحرارة يعادلها انخفاض فى درجة اللزوجة والتوتر السطحى. وهذا يقود إلى تحسن فى الخلط والإنتشار الجزئى للمواد ومعدلات التفاعلات الحيا-كيميائية .

(٩) تأثير درجة تركيز الفضلات السائلة: فى حالة تخفيف الفضلات السائلة فإن درجة تركيز المواد العضوية العالى فى مياه المجرى المعالجة ربما خفضت من كفاءة هذه الطريقة المتبعة للمعالجة .

(١٠) تأثير معامل حجم الحمأة (معامل موهلمان Mohlman Index): يقيس معامل حجم الحمأة درجة ترسيب الحمأة النشطة، كما ويقوم برصد عمل حوض التهوية. يعرف معامل حجم الحمأة بأنه 'عبارة عن الحجم (مللتر) الذى يشغله جرام واحد من تركيز المواد الصلبة للسائل المختلط فى الحمأة النشطة بعد ترسيبه لمدة ٣٠ دقيقة فى أسطوانة مدرجة حجمها لتر واحد'. وتبين المعادلة ١٧ طريقة حساب معامل حجم الحمأة .

(١٧)

$$SVI = V_s \cdot 1000 / MLSS$$

حيث :

$$SVI = \text{معامل حجم الحمأة (مللتر/جم)} .$$

$$V_s = \text{حجم الحمأة المترسبة فى ١٠٠٠ مللتر من أسطوانة مدرجة فى ٣٠ دقيقة} .$$

$$1000 = \text{ملجم/جرام} .$$

$$MLSS = \text{تركيز المواد الصلبة العالقة فى السائل المختلط (ملجم/لتر)} .$$

يبين جدول (٤) صورة عامة للحمأة مقسمة على حسب معدل حجم الحمأة .

جدول (٤)
تقسيم الحمأة على حسب معدل حجم الحمأة {٣، ٥، ٦}

المنشط	القيمة (مللتر/جم)
خواص ترسيب ممتازة	أقل من ٤٠
خواص ترسيب جيدة	٤٠ - ٧٥
خواص ترسيب حسنة	٧٦ - ١٢٠
خواص ترسيب ضعيفة	١٢١ - ٢٠٠
حمأة خفيفة Bulking	أقل من ٢٠٠

ومما يجدر ذكره أن الحمأة الخفيفة تنتج من وجود بكتريا تسمى سفاروتيلس ناتانس Sphaerotilus natans وهذه البكتريا تكون موجودة في النباتات مع الفضلات السائلة السهلة التحلل، والتي تقل فيها كمية النتروجين، ويقل فيها تركيز الأكسجين في السائل المختلط. وهذه البكتريا تتكاثر بصورة كبيرة في حوض التهوية، وتجعل الحمأة خفيفة ومخفوقة fluffy وهذه الحالة تبطن من درجة الترسيب، وتقلل من شفافية الماء الخارج من حوض الترسيب الثانوي. وتكمن المشكلة في أن الحمأة تخرج مع التصريف الخارج. ويمكن التحكم في الحمأة الخفيفة أو تقليلها: بالتحكم الجيد في تركيز المواد الصلبة العالقة في السائل المختلط، أو تعديل نسبة الغذاء إلى الكائنات بتنظيم دفق الحمأة المعادة من وحدة الترسيب النهائي، أو بتنظيم التهوية في الحوض، أو بالتنظيم والتحكم في الرقم الهيدروجيني للسائل المختلط .

مثال (٣)

في حوض تهوية مدرجة يساوى تركيز المواد الصلبة العالقة في السائل المختلط ٢٥٠٠ ملجم/لتر. أخذت عينة من هذه المياه لتحديد معامل حجم الحمأة ووجد أن الحمأة المترسبة بعد نصف ساعة في أسطوانة مدرجة حجمها لتر هو ٢٥٠ مللتر. أوجد معامل حجم الحمأة لهذه العينة .

الحل :

$$١- \text{المعطيات: } V_s = ٢٥٠ \text{ مللتر، } MLSS = ٢٥٠٠ \text{ ملجم/لتر}$$

$$٢- \text{أوجد معدل حجم الحمأة من المعادلة :}$$

$$SVI = MLSS/1000 * V_s$$

$$\text{معدل حجم الحمأة} = ٢٥٠ / ١٠٠٠ * ٢٥٠٠ = ١٠٠ \text{ مللتر/جم}$$

٣- وبالمقارنة مع الجدول (٤) يمكن القول أن القيمة الناتجة توضح خواص ترسيب حسنة .

(١١) معامل كثافة الحمأة Sludge Density Index, SDI (معامل دونالدسون Donaldson Index):

معامل كثافة الحمأة هو عبارة عن مقلوب معامل حجم الحمأة مضروب في ١٠٠ كما مبين في المعادلة ١٨ .

$$(١٨) \quad SDI = 100/SVI$$

حيث :

SDI = معامل كثافة الحمأة (جرام/ملتر) .

SVI = معامل حجم الحمأة (ملتر/جرام) .

ويتراوح معامل كثافة الحمأة ما بين ٢ لحمأة جيدة إلى ٠,٣ لحمأة ضعيفة مما يعنى أن :

$$(١٩) \quad ٢ > SDI > ٠,٣$$

مثال (٤)

أوجد معامل كثافة الحمأة للعينة المذكورة في المثال (٣) أعلاه .

الحل :

١- المعطيات: $V_s = ٢٥٠$ ملتر، $MLSS = ٢٥٠٠$ ملجم/لتر

٢- أوجد معامل كثافة الحمأة

$$SDI = ١٠٠ - SVI \div ١٠٠ = ١٠٠ - ١٠٠/١٠٠ = ١$$

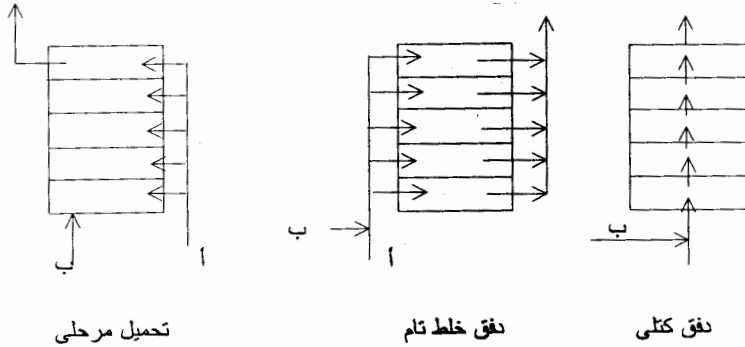
ومن الأشياء التي قد تحد وتقيّد من استعمال طريقة الحمأة النشطة على سبيل المثال لا الحصر :

- تحديد حاجة حيا-كيميائية للأكسجين .
 - ضعف انتشار الكتلة العضوية .
 - تحتاج لزمان للتهوية يتراوح بين ٤ إلى ٨ ساعات .
 - لا تعمل المحطة بكفاءة في حالة وجود تغيير كبير في حجم وتركيز المواد العضوية أو وجود سموم .
 - تعقيد طريقة التشغيل .
 - تكلفة التشغيل .
 - استخدام الطاقة بآلات الضغط .
 - صيانة وتصليح أجهزة الانتشار .
 - التأثير البيئي (من تخلص من فضلات وروائح وإستهلاك للطاقة.... الخ) .
- ويمثل الجدول ٥ معايير عامة لتصميم حوض التهوية أو وحدة الحمأة النشطة .

جدول (٥)
معايير عامة لتصميم حوض وحدة الحماية النشطة {٣، ٥، ٦، ٧}

المنشط	المعدل
التحميل الحجمي	٥٠٠ - ٧٠٠ جم L_i / م ^٣ / يوم
زمن المكث للتهوية	٤ - ٨ ساعة (طبقا لمتوسط الدفق اليومي)
المواد الصلبة العالقة المذابة	١٥٠٠ - ٣٠٠٠ ملجم / لتر
نسبة المواد الغذائية الى الكائنات الحية الدقيقة	٢٥ - ٥٠
زمن مكث الأوساخ	٥ - ١٠ يوم
عمر الأوساخ	٣ - ٤ يوم
الرقم الهيدروجيني الأمثل لنمو البكتريا الهوائية	٥,٥ - ٧,٥
كفاءة إزالة الحاجة الحيا-كيميائية للأكسجين	٨٥ - ٩٥ %
ارتفاع حوض التهوية	٣ متر

ولتصميم جهاز الحماية النشطة طبقا للتحميل الداخل يمكن إتباع الطرق الموضحة فى الشكل (٥) .



شكل ٥

طرق تصميم جهاز الحماية النشطة

٦ - ٧ طرق المعالجة بالنمو المرتبط أو المتصل

٦ - ٧ - ١ مرشح النضيف Trickling Filter (أنظر شكل ٦)

تستخدم نظم النمو المرتبط فى تلك المفاعلات التى يؤتى فيها بالفضلات السائلة لتلامس الكائنات الحية الدقيقة المرتبطة بأسطح الوسط الترشيحي للمفاعلات. ومرشح النضيف نوع من المعالجة بالنمو المرتبط. ويتكون من طبقة محشوة بوسط ترشيحي مكون غالبا من الصخور أو اللدائن. ويمكن تقسيم مرشحات النضيف الى نوعين بناء على شكل المرشح أو درجة التحميل العضوي به. فمثلا بالنسبة للشكل يوجد النوع الدائري للمرشحات صغيرة السطح والنوع المستطيل لتلك كبيرة السطح .

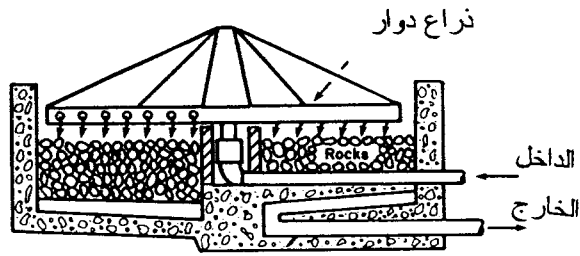
ويتكون المرشح من ثلاثة أجزاء رئيسية: نظام التفريغ التحتي، وجسم المادة المرشحة، وموزع الفضلات على سطح الوسط الترشيحي (شكل ٦). وعادة هنالك فتحات على الجوانب، يتم عن طريقها إدخال الهواء للوسط الترشيحي. ويتم في المرشح التخلص الحيوي من مكونات الحمأة بفعل الكائنات الحية الدقيقة الموجودة في الوسط الترشيحي. ويتم إمتصاص المواد العضوية من السائل في طبقة الوحل أو الغشاء الحيوي. وفي الأجزاء الخارجيه من الغشاء يتم التحطيم الحيوي الهوائي للمركبات العضوية. وعندما تتكاثر الكائنات الحية الدقيقة فإن طبقة الوحل تزيد، مما يعوق إنتشار الأكسجين خلالها. وهذا الوضع يقود الى تكون بيئة لاهوائية بالقرب من الوسط الترشيحي (شكل ٧) .

ويتكون مرشح النضيف من طبقة ذات مسامية عالية ترتبط وتلتصق بها الكائنات الحية الدقيقة، وتتساب عبرها الفضلات السائلة المراد معالجتها. ومن الأفضل توخى إختيار المواد المكونة للوسط الترشيحي بحيث أن تكون لها مواصفات محددة تلائم أهداف إستعمالها. ومن هذه المواصفات أن تكون المواد المنتقاة: مواد خاملة، ولها مساحة سطح كبيرة مقارنة بقياسها، وأن تكون نظيفة، وزهيدة التكاليف. ومن أمثلة هذه المواد: الحجارة الحقلية والحصى والحجارة المكسرة والخبث وفحم الأنثراسايت واللدائن المصنعة الخ .

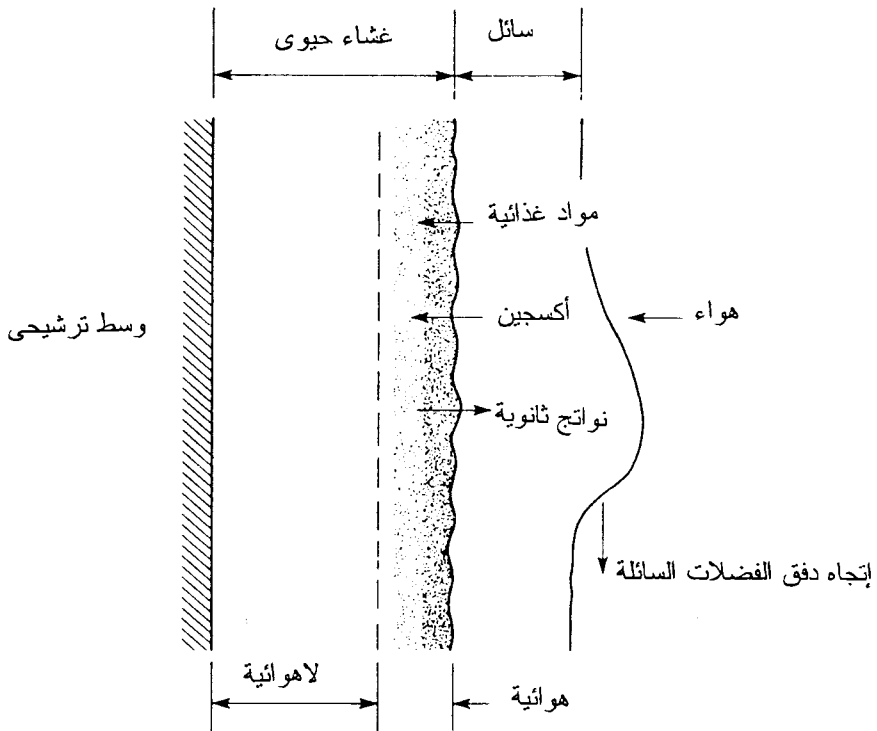
ويتم إنشاء وتشبيد المرشح مع وضع نظام تصريف تحتى مناسب. يقوم نظام التصريف هذا بجمع المياه المعالجة والمواد العضوية الصلبة التى تلتصق بالوسط الترشيحي. كما ويعمل نظام التصريف كم منطقة تجمع ، ويسمح بمرور الهواء خلاله نسبة أكبر المسامية ، وأيضا يعمل كدعامة للوسط الترشيحي الكائن فوقه .

ويتم أخذ السوائل المعالجة المارة عبر نظام التصريف التحتى لتجد طريقها الى جهاز ترسيب، حيث يتم فصل 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 .

وعندما تكبر طبقة الوحل والغشاء الحيوي يتم تحطيم المواد العضوية الممتصة وذلك قبل أن تصل الى طبقة الكائنات الحية الدقيقة القريبة من أو الملتصقة بالوسط الترشيحي. ويؤدى هذا الوضع الى أن لا تجد الكائنات الحية الدقيقة كفايتها مما تحتاجه من مواد عضوية لتخليق الخلايا، وبذا فإنها تدخل فى مرحلة نمو داخلى يفقدها القدرة على الإلتصاق بالوسط الترشيحي. وهنيئتها فإن السائل يقوم بتنظيف طبقة الوحل



شكل (٦) رسم كروكي لمرشح النضيف {٤}



شكل (٧) رسم توضيحي للنظم الحيوية داخل مرشح النضيف {٨}

من على الوسط الترشىحي لبداية مرحلة جديدة ، وتسمى هذه العملية الإنسلاخ Sloughing. ويعتمد الإنسلاخ على عوامل عدة منها: التحميل العضوى والتحميل الهائدروليكي فى المرشح. ويؤثر التحميل العضوى على معدل التفاعلات الحيوية، أما التحميل الهائدروليكي فيؤثر على سرعة القص .

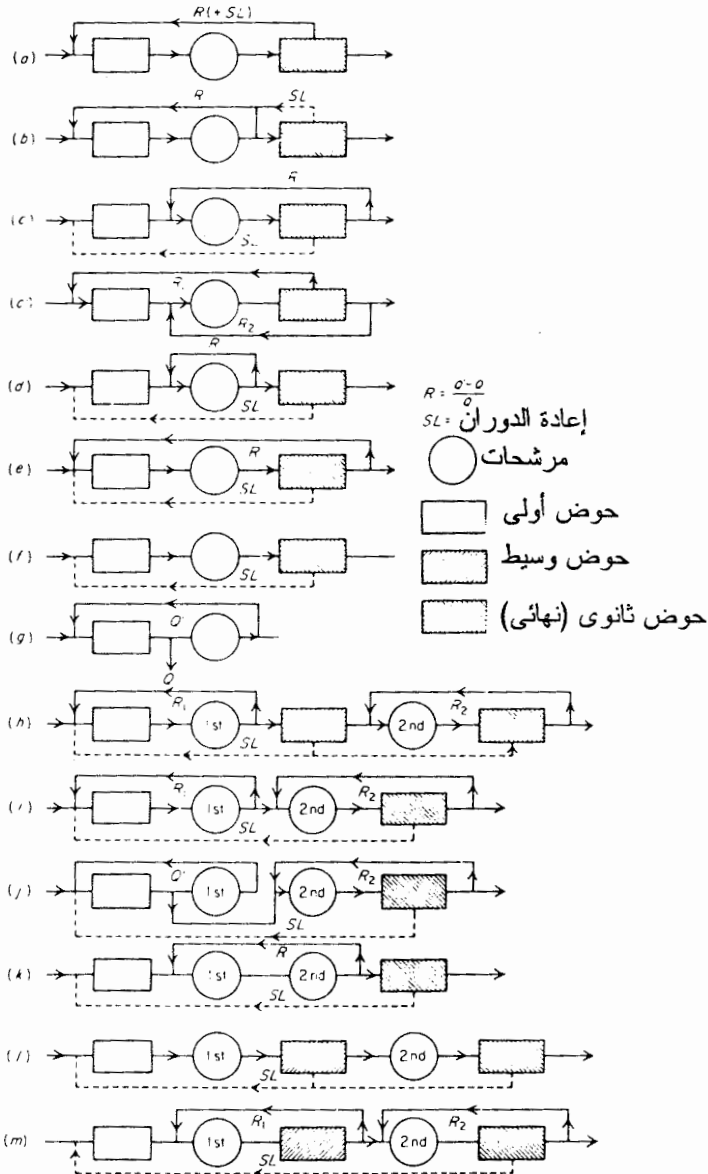
وطبقا للتحميلين (العضوى والهائدروليكي) فيمكن تقسيم مرشحات النضيبض الى قسمين يضمنان المرشح ذو المعدل المنخفض والمرشح ذو المعدل العالى. ويعتبر المرشح ذو المعدل المنخفض أبسط من المرشح ذو المعدل العالى للعديد من الأسباب منها: غياب إعادة جزء من السائل المعالج الخارج من المرشح اليه، كما ولا يحتاج المرشح الى فصل أو موازنة للأوساخ. ومن المحاسن الأخرى للمرشح ذو المعدل المنخفض أنه عالى الكفاءة، وينتج أوساخ قليلة لها تركيز عالى من المواد الصلبة. أما مساوى المرشح ذو المعدل المنخفض فتشمل: الحجم الكبير المطلوب للمرشح، والإحتياج لحوض للجرعه Dosing tank ، وتزداد به مشاكل الروائح الكريهة وتوالد الذباب .

تتم إعادة جزء من التصريف الخارج من مرشح النضيبض له (أنظر شكل ٨). وتستخدم طريقة الإعادة للأسباب الآتية :

- زيادة التراكيز الصلبة الحيوية فى النظام .
 - ضمان إستمرار الزراعة بالكائنات الحية Seeding وذلك بإعادة دوران المواد الصلبة المنسلخة من المرشح .
 - المساعدة فى المحافظة على حمل هايدروليكي منتظم من خلال المرشح. ويحسب معدل الحمل الهائدروليكي (م^٣/م^٢/يوم) كما موضح فى المعادلة ٢٠ .
 - (٢٠) معدل الحمل الهائدروليكي = حجم الدفق / المساحة
 - ضمان دوران ذراع التوزيع حتى خلال فترات الدفق القليل .
 - المحافظة على حمل عضوى منتظم. ويوجد الحمل العضوى (كجم/م^٣/يوم) كما مبين فى المعادلة ٢١ .
 - (٢١) الحمل العضوى = وزن المواد العضوية المستهلكة/حجم المرشح
 - يخفف الدفق الداخلى للمرشح وذلك بغية إنتاج نوع جيد من التصريف الخارج .
 - يرقق طبقة النمو الحيوى .
 - تحسين كفاءة إزالة الملوثات من وحدة مرشح النضيبض .
- غير أن إعادة الدوران ربما لا تزيد من كفاءة المرشح فى كل الأحوال تتراوح كما فى حالة الفضلات المخففة مثلا . ونسبة إعادة الدوران (نسبة الدفق المعاد للمرشح/الدفق الكلى للفضلات) تقع ما بين ٥٠ و ١٠٠٠ بالمائة من دفق الفضلات السائلة الخام، وعادة تكون بين ٥٠ الى ٣٠٠ بالمائة. وهناك أنماط وأوضاع عديدة لإعادة الدوران فى محطات مرشحات النضيبض. ويبين شكل (٨) الأنماط المستخدمة لمرشح وحيد المرحلة وآخر ذا مرحلتين .

كفاءة مرشح النضيبض لإزالة الحاجة حيا-كيميائية للأكسجين :

إن كفاءة مرشح النضيبض لإزالة الحاجة حيا-كيميائية للأكسجين تعتمد على :



شكل (٨) مخطط لمحطات مرشح نضيف وحيد المرحلة وذو المرحلتين {٩}

• النماذج الحسابية : وفى الأتمودج الحسابى يفترض وجود طبقة حيوية منتظمة وحمل منتظم التوزيع خلال الوسط الترشيحى . وتعتبر هذه النماذج غير عملية لتصميم مرشح النضيف من المنطلق التشغيلى والتجريبى .

• الصيغ التجريبية : وتعتمد الصيغة التجريبية على البيانات التشغيلية والتى تم جمعها من محطات معالجة موجودة فعليا ، ومن ثم تحلل البيانات المجمعة لإستنباط صيغة يمكن إستخدامها فى التصميم . ومن أمثلة هذه الصيغ التجريبية ما يلى :

(أ) صيغة مجلس الأبحاث القومى الأمريكى NRC :

وصيغة مجلس الأبحاث القومى الأمريكى تمت صياغتها بناء على بيانات مجمعة من محطات معالجة الفضلات السائلة بوحدات معالجة مقامة فى مناطق عسكرية بالولايات المتحدة الأمريكية . ويرجع تاريخ الصيغة الى العام ١٩٤٠ . وقد إقتضت الصيغة ما يلى :

١ - يعتبر الأكسجين المعيار الذى يحد الأداء وذلك للحاجة الحيا-كيميائية للأكسجين الزائدة عن ٤٠ ملجم/لتر .

٢ - الفضلات السائلة غير مخففة لدرجة قصوى .

٣ - يلى وحدة مرشح النضيف جهاز ترسيب ثانوى أو جهاز مروق Elutration tank .

٤ - تعالج مرشحات النضيف فضلات سائلة منزلية مترسبة وعلى درجة حرارة ٢٠° م . وأى درجة حرارة مغايرة لهذه الدرجة يتم تصحيحها (انظر شكل ٩ لتصليح كفاءة إزالة الحاجة حيا-كيميائية للأكسجين من درجة حرارة ٢٠° م الى درجات أخرى تقع بين ١٢ الى ٢٨° م) .

وبالنسبة لمرشح نضيف وحيد المرحلة فيمكن كتابة معادلة صيغة مجلس الأبحاث القومى كما موضح فى المعادلة ٢٢ أدناه .

$$(٢٢) \quad E_1 = (L_i - L_e)/L_i = 100/[1 + 0.44(W_1/V_1 F_1)^{0.5}]$$

حيث :

E_1 = كفاءة مرشح النضيف وحيد المرحلة (%) .

L_i = حاجة حيا-كيميائية للأكسجين الداخلى للمرشح (ملجم/لتر) .

L_e = حاجة حيا-كيميائية للأكسجين الخارج من المرشح (ملجم/لتر) .

$L_i \cdot Q = W_1$ = تحميل الحاجة الحيا-كيميائية للأكسجين (كجم/يوم) .

V_1 = حجم مرشح النضيف وحيد المرحلة (م^٣) .

F_1 = ثابت إعادة دوران المرشح وحيد المرحلة (لا بعدى) .

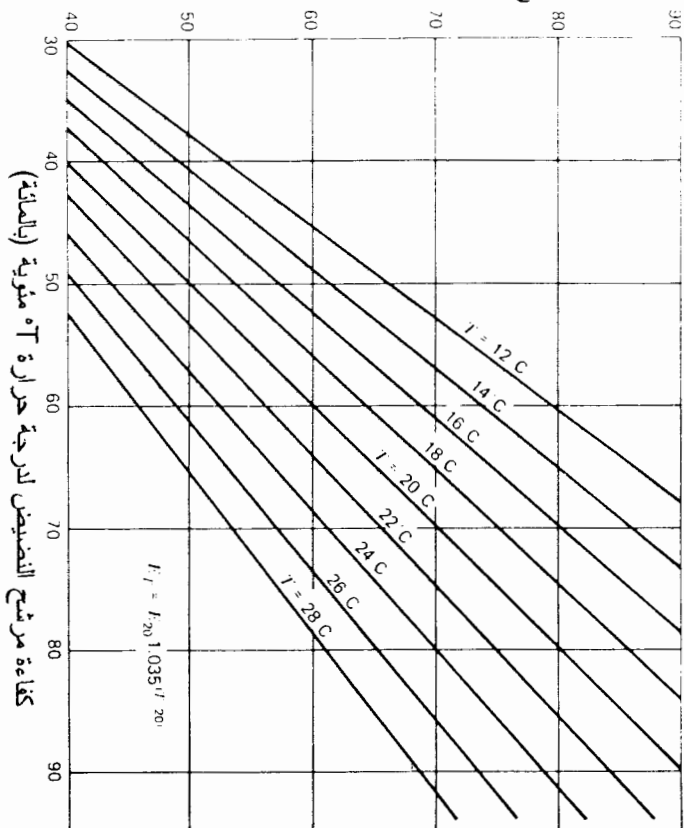
$$(٢٣) \quad F_1 = (1 + r_1)/(1 + 0.1 \cdot r_1)^2$$

$$(٢٤) \quad r = Q_p/Q$$

حيث :

r = نسبة إعادة الدوران (لا بعدى) .

كفاءة مرشح النضيف لدرجة حرارة ٢٠° مئوية (بالمائة)



شكل (٩) مخطط لتصليح إزالة الحاجة الحيا-كيميائية للأكسجين باستخدام معادلة مجلس الأبحاث القومي لدرجة حرارة ٢٠° مئوية للكفاءات أخرى لدرجات حرارة بين ١٢ إلى ٢٨° مئوية {١٣}

Q_r = الدفق المعاد دورانه للمرشح (م^٣/ث) .

Q = معدل دفق الفضلات السائلة للمرشح (م^٣/ث) .

أما بالنسبة لمرشح النضيبض ذى المرحلتين فتقرأ معادلة الكفاءة كما موضح فى المعادلة ٢٥ .

$$(٢٥) \quad E_2 = [(L_i - L_e)/L_i]_2 = 100/[1 + \{0.44(W_2/V_2F_2)^{0.5}/(1 - E_1)\}]$$

حيث :

E_2 = كفاءة مرشح النضيبض للمرحلة الثانية (%) .

$(L_i)_2$ = حاجة حيا-كيميائية للأكسجين الداخلى للمرحلة الثانية (ملجم/لتر) .

$(L_e)_2$ = حاجة حيا-كيميائية للأكسجين الخارج من المرحلة الثانية (ملجم/لتر) .

$(L_i \cdot Q)_2 = W_2$ = تحميل حاجة حيا-كيميائية للأكسجين للمرحلة الثانية (كجم/يوم) .

V_2 = حجم مرشح النضيبض للمرحلة الثانية (م^٣) .

F_2 = ثابت إعادة دوران المرشح للمرحلة الثانية (لا بعدى) .

$$(٢٦) \quad F_2 = (1 + r_2)/(1 + 0.1 \cdot r_2)^2$$

E_1 = كفاءة مرشح النضيبض للمرحلة الأولى (%) .

ومما يجدر ذكره أن صيغة مجلس الأبحاث القومى تأخذ فى إعتبارها أثر الترسيب الثانوى. وأن أقصى قيمة يمكن تقديرها لإعادة الدوران بهذه الصيغة تبلغ ٨٠٠ بالمائة .

(ب) صيغة فيلز Velz Formula:

إن صيغة فيلز تصلح لتقدير كفاءة حاجة حيا-كيميائية للأكسجين فى حدود ٩٠ بالمائة أو أقل. ويمكن وضعها فى الصورة المدرجة فى المعادلة ٢٧ .

$$(٢٧) \quad L_e = [(L_i + r \cdot L_e)e^{-kh}]/(1 + r)$$

حيث :

L_e = حاجة حيا-كيميائية للأكسجين الخارج (ملجم/لتر) .

L_i = حاجة حيا-كيميائية للأكسجين الداخلى (ملجم/لتر) .

r = نسبة إعادة الدوران = الدفق المعاد/الدفق الكلى .

k = حد ثابت .

$\therefore ٤٩$ = لمرشح النضيبض ذى المعدل العالى .

$\therefore ٥٧$ = لمرشح النضيبض ذى المعدل المنخفض .

h = إرتفاع مرشح النضيبض (م) .

(ج) صيغة رانكن Rankin Formula:

تستخدم صيغة رانكن فى تصميم مرشحات النضيف وحيدة المرحلة كما مبين فى المعادلة ٢٨ .

$$L_e = L_i / (3 + 2r) \quad (28)$$

حيث :

L_e - حاجة حيا-كيميائية للأكسجين الخارج من مرشح النضيف (ملجم/لتر) .

L_i - حاجة حيا-كيميائية للأكسجين الداخلى الى مرشح النضيف (ملجم/لتر) .

r = نسبة إعادة الدوران .

تطبق صيغة رانكن هذه لكل محطات المعالجة الموجود بها ترسيب ابتدائى ، ومرشح نضيف ذى معدل عادى ، وترسيب ثانوى . هذا عندما يكون تحميل الحاجة الحيا-كيميائية للأكسجين لا تتجاوز ٠.٧ كجم/م^٣/يوم ، وعندما يأتى تطبيق إعادة الدوران بمعدل جرعة فى حدود ٩٣ الى ٢٤٤ × ١٠ م^٣/هكتار/يوم {١٠} .

(د) صيغة رميف Rumpf Formula:

وتستخدم صيغة رميف لإيجاد كفاءة مرشح النضيف كما موضح فى المعادلة ٢٩ .

$$E = 93 - (0.017 * W/V) \quad (29)$$

حيث :

E = كفاءة مرشح النضيف (%) .

W = تحميل حاجة حيا-كيميائية للأكسجين فى مرشح النضيف (جم BOD/يوم) .

V = حجم الوسط الترشيحى (م^٣) .

هنالك العديد من العوامل التى تؤثر على كفاءة وعمل مرشح النضيف مثل: التحميل العضوى، ومعدل الدفق الهيدرولى، وخواص الفضلات السائلة، ومعدل إنتشار الغذاء والهواء للنمو الحيوى... الخ . والكفاءة الكلية لمحطة معالجة بها مرشح نضيف ذى مرحلتين يمكن إيجادها من المعادلة ٣٠ .

$$E_T = 100 - 100 * [(1 - E_s)(1 - E_1)(1 - E_2)] \quad (30)$$

حيث :

E_T = الكفاءة الكلية للمحطة (%) .

E_s = كفاءة حوض الترسيب الابتدائى لإزالة الحاجة الحيا-كيميائية للأكسجين (عادة تكون

فى حدود ٣٥%) .

E_1 = كفاءة إزالة الحاجة الحيا-كيميائية للأكسجين فى المرحلة الأولى والترسيب الوسيط بعد تصحيحها

لدرجة الحرارة المناسبة (%) .

E_2 - كفاءة إزالة الحاجة الحيا-كيميائية للأكسجين فى المرحلة الثانية والترسيب الثانوى بعد تصحيحها لدرجة الحرارة المناسبة (%).

وتصليح الكفاءة لدرجة الحرارة السارية يمكن إيجاده من شكل (٩) أو من المعادلة (٣٠)

$$E_T = E_{20}(O)^{T-20} \quad (30)$$

E_T - الكفاءة الكلية عند درجة الحرارة $T^\circ\text{C}$ م (%) .

E_{20} - الكفاءة الكلية عند درجة الحرارة 20°C م (%) .

O - ثابت تصحيح الحرارة (عادة يساوى ١.٠٣٥) .

مثال (٥)

تحتوى محطة معالجة على حوض ترسيب ابتدائى ومرشح نضيب لمعالجة فضلات سائلة منزلية صادرة من ٥٠٠٠ فرد . أشارت سجلات المحطة الى أن كفاءة حوض الترسيب ٣٥٪ وتدخل الفضلات السائلة بمعدل دفق ٤٠٠ لتر/اليوم/الفرد وقيمة الحاجة الحيا-كيميائية للأكسجين فى ٥ أيام يساوى ٢٠٠ ملجم/لتر . إذا كانت كفاءة مرشح النضيب ٧٥٪ ونسبة إعادة الدوران ٤ إلى ١ ، أوجد قطر مرشح النضيب مستخدما معادلة مجلس الأبحاث القومى .

الحل :

١- المعطيات: $E_s = 35\%$ ، $E = 75\%$ ، $P = 5000$ فرد ، $Q = 400$ لتر/الفرد/اليوم ، L_i لحوض الترسيب = ٢٠٠ ملجم/لتر ، $r = 4 \div 1$.

٢- استخدم معادلة مجلس الأبحاث القومى :

* أوجد ثابت إعادة الدوران: $F = (1 + r)/(1 + 0.1*r)^2 = (1 + 4)/(1 + 0.4)^2 = 2.55$.

* أوجد دفق الفضلات السائلة :

$$Q = 5000 \times 3 - 10 \times 400 = 2000 \text{ م}^3/\text{يوم} .$$

* أوجد الحاجة الحيا-كيميائية للأكسجين الخارج من حوض الترسيب والداخل إلى مرشح النضيب

$$L_i = (L_e)_s(1 - E_s)$$

$$L_i = 200(1 - 0.35) = 130 \text{ ملجم/لتر} .$$

* أوجد تحميل الحاجة الحيا-كيميائية للأكسجين الداخل للمرشح

$$W = Q * L_i$$

$$W = 200 \times 130 \times 10^{-3} = 260 \text{ كجم/يوم} .$$

* عوض فى معادلة مجلس الأبحاث القومى :

$$E_1 = 100/[1 + 0.44(W/V_1 F_1)^{0.5}] = 100/[1 + 0.44(260/2000 \times 2.55)^{0.5}] = 74.4\%$$

ومنها يمكن إيجاد حجم الرش: $V = 178 \text{ م}^3$

- افترض ارتفاع مرشح النضيف: $h = 3$ متر .
- أوجد مساحة سطح مرشح النضيف: $A = V \div h = 3/178 = 0.017$ م^٢ .
- أوجد قطر مرشح النضيف: $d = (4A/0.5) = 8.7$ م .

يحتاج للمحطات المحتوية على مرشحات النضيف إلى ترسيب ابتدائي وثانوي لإزالة الجسيمات الكبيرة من النمو الحيوي المنسلخ من المرشح ومن الدبال. وعند تصميم أجهزة الترسيب الثانوي يمكن أخذ النقاط التالية في الاعتبار :

- ١- لا يفترض أن يوجد في الترسيب الثانوي ترسيب تخخين Thickened settling أو ترسيب معلق Hindered settling .
- ٢- تعتمد معايير تصميم الترسيب على مقاس الحبيبات وكثافتها .
- ٣- تؤخذ سرعة التدفق بين ٢٥ إلى ٣٣ متر/يوم بالنسبة للتدفق المتوسط، وتزيد السرعة عن ٥٠ متر/يوم لأقصى تدفق .
- ٤- يؤخذ معدل تحميل الهدارات في حدود ١٢٠ إلى ٣٧٠ م^٣/يوم/متر من طول الهدار عند أقصى تدفق .

إن الجدول ٦ يبين بعض المعايير العامة المتخذة لتصميم مرشح النضيف .

جدول (٦)

بعض المعايير المتبعة لتصميم مرشحات النضيف {١، ٣، ٥، ١١، ١٢}

المرشح ذو المعدل المنخفض	المرشح ذو المعدل العالي	النشاط
١ - ٤	١٠ - ٤٠	التحميل الهيدروليكي (م ^٣ /م/يوم)
٠.٠٨ - ٠.٣٢	٠.٣٢ - ١	التحميل العضوي (كجم/م ^٣ /يوم)
١.٥ - ٣	١ - ٢	ارتفاع المرشح (م)
صفر	١ - ٢، ٣	نسبة إعادة الدوران
صخور مكسرة أو خبث	صخور مكسرة أو خبث أو مواد مصنعة	الوسط الترشيحي
٢ - ٤	٦ - ١٠	الطاقة المطلوبة (كيلووات/م ^٣)
كثير	قليل (غالبا تجرف البيرقات)	ذباب المرشح
متقطع	متواصل	الإنسلاخ
أقل من ٥ دقائق (غالبا متقطعة)	أقل من ١٥ ثانية (متواصلة)	فترة الجرة
نترتة كلية	نترتة لتحميل قليل	النترتة
٧٥ - ٩٠ % BOD	٦٠ - ٨٠ % BOD	الكفاءة التشغيلية (نسبة الإزالة)
١٠ - ٣٠ % فسفور	١٠ - ٣٠ % فسفور	
٢٠ - ٤٠ % أمونيا	٢٠ - ٣٠ % أمونيا	

- افترض ارتفاع مرشح النضيف: $h = 3$ متر .
- أوجد مساحة سطح مرشح النضيف: $A = V \div h = 3/178 = 0.017$ م^٢ .
- أوجد قطر مرشح النضيف: $d = (4A/0.5) = 8.7$ م .

يحتاج للمحطات المحتوية على مرشحات النضيف إلى ترسيب ابتدائي وثانوي لإزالة الجسيمات الكبيرة من النمو الحيوي المنسلخ من المرشح ومن الدبال. وعند تصميم أجهزة الترسيب الثانوي يمكن أخذ النقاط التالية في الاعتبار :

- ١- لا يفترض أن يوجد في الترسيب الثانوي ترسيب تثخين Thickened settling أو ترسيب معاق Hindered settling .
 - ٢- تعتمد معايير تصميم الترسيب على مقياس الحبيبات وكثافتها .
 - ٣- تؤخذ سرعة الدفع بين ٢٥ إلى ٣٣ متر/يوم بالنسبة للدفق المتوسط، وتزيد السرعة عن ٥٠ متر/يوم لأقصى دفق .
 - ٤- يؤخذ معدل تحميل الهدارات في حدود ١٢٠ إلى ٣٧٠ م^٣/يوم/متر من طول الهدار عند أقصى دفق .
- إن الجدول ٦ يبين بعض المعايير العامة المتخذة لتصميم مرشح النضيف .

جدول (٦)

بعض المعايير المتبعة لتصميم مرشحات النضيف {١، ٣، ٥، ١١، ١٢}

المرشح ذو المعدل المنخفض	المرشح ذو المعدل العالي	المنشط
٤ - ١	١٠ - ٤٠	التحميل الهيدروليكي (م ^٣ /م/يوم)
٠.٠٨ - ٠.٣٢	٠.٣٢ - ١	التحميل العضوي (كجم/م ^٣ /يوم)
١.٥ - ٣	١ - ٢	ارتفاع المرشح (م)
صفر	١ - ٢، ٣ - ١	نسبة إعادة الدوران
صخور مكسرة أو خبث	صخور مكسرة أو خبث أو مواد مصنعة	الوسط الترشيحي
٤ - ٢	١٠ - ٦	الطاقة المطلوبة (كيلووات/م ^٣)
كثير	قليل (غالباً تجرف البيرقات)	ذباب المرشح
متقطع	متواصل	الإنتسلاخ
أقل من ٥ دقائق (غالباً متقطعة)	أقل من ١٥ ثانية (متواصلة)	فترة الجراحة
نترتة كلية	نترتة لتحميل قليل	النترتة
BOD % ٧٥ - ٩٠	BOD % ٦٠ - ٨٠	الكفاءة التشغيلية (نسبة الإزالة)
١٠ - ٣٠ % فسفور	١٠ - ٣٠ % فسفور	
٢٠ - ٤٠ % أمونيا	٢٠ - ٣٠ % أمونيا	

٦٠ - ٨٠ ٪ مواد عالقة	٧٥ - ٩٠ ٪ مواد عالقة	المواد الكيميائية المستخدمة الحدود المقيدة
لا توجد تنشأ روائح كريهة عند التشغيل القاصر، تقل الكفاءة عند المعالجة للتركيز العالي للمواد العضوية الذائبة.	تتأثر بالطقس ودرجة الحرارة الدنيا ويتولد الذباب والروائح الكريهة، وتقل الكفاءة عند المعالجة للتركيز العالي للمواد العضوية الذائبة	

ويبين جدول (٧) مقارنة بين مرشحات النضيف وأحواض الحماة النشطة .

جدول (٧)
مقارنة بين مرشحات النضيف والحماة النشطة {١}

المزايا	العيوب
مرشحات النضيف	
قلة تكلفة التشغيل نسبيا.	تكلفة مبدئية عالية نسبيا.
مناسبة للمخلفات الصناعية التي يصعب معالجتها وتلك التي تتغير كميتها.	تحتاج لأرض شاسعة.
ناتج متزن.	فاقد ضغط كبير.
غير معقدة.	يكثر تولد الذباب والروائح الكريهة.
	تكثر المواد العالقة في الناتج النهائي.
الحماة النشطة	
فاقد ضغط قليل	تكلفة التشغيل عالية.
لا تحتاج لمساحات شاسعة من الأرض.	تحتاج لدرجة تحكم عالية.
مواد عالقة قليلة في الناتج النهائي.	حساسه بالنسبة لتغيرات التحميل.
ليس هنالك ذباب وروائح نتنة.	تتأثر بالزبد والرغوة.
	تحتاج لطاقة للتهوية.

٦ - ٧ - ٢ الأقراص الدوارة الحيوية :

Rotating Biological Discs (Contactors) (RBD-RBC)

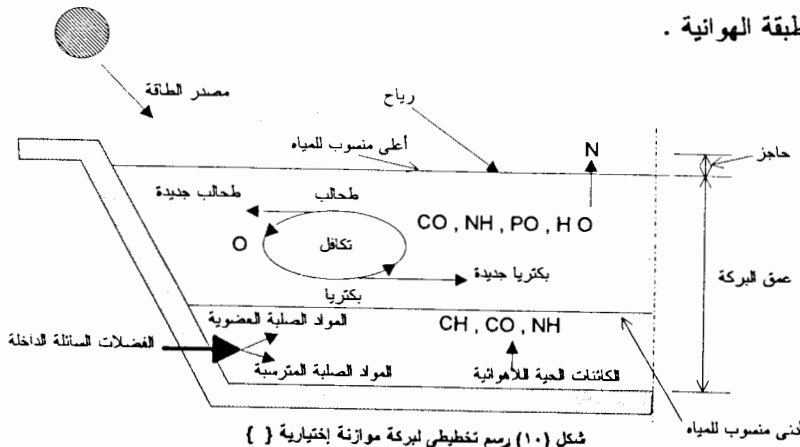
وتعتبر الأقراص الدوارة الحيوية من أحدث وحدات المعالجة المستعملة في مجال معالجة الفضلات السائلة. وتتكون الطريقة من مجموعة من الأقراص المغمورة جزئيا في السائل المراد معالجته. وتتصل هذه الأقراص بواسطة عمود يتصل بدوره بمحرك. وتدور هذه الأقراص عن طريق هذا العمود. وتتكون المادة الحيوية على سطح القرص الدوار بحيث تكون تارة مغمورة في السائل وطورا معرضة للهواء. وغالبا تكون سرعة الدوران في حدود ١ إلى ٣ دورات في الدقيقة. ويشابه هذه النظام من المعالجة نظام

مرشحات النضيف في أنماط عديدة. والجدير بالذكر إن هنالك العديد من محطات المعالجة للمخلفات والفضلات السائلة التي تستعمل وتتحو هذا المنحنى. ومن محاسن هذه الطريقة أنها تستعمل مساحة أصغر عند مقارنتها بمرشحات النضيف. وكذلك فإن فاقد الضغط أقل من ذلك في حالة مرشحات النضيف. كما وأن أستهلاكها للطاقة أقل من تلك المستخدمة في النظم المستخدمة الحماة النشطة.

٦ - ٨ طرق المعالجة بالنمو العالق والنمو المرتبط

برك موازنة الأوساخ - Waste Stabilization Ponds

برك موازنة الأوساخ عبارة عن تجويف كبير أو خندق ضحل (طبيعي أو صناعي) يتقبل الفضلات والحماة حيث تعالج حيويًا مما يؤدي إلى موازنتها وقتل معظم الجراثيم المسببة للأمراض {١}.
يبين شكل (١٠) رسم توضيحي لبركة موازنة حماة إختيارية. وتكون الطبقة العليا للبركة الإختيارية ذات بيئة هوائية بفضل الأكسجين الناتج من الطحالب، ولدرجة أقل بفضل أكسجين الهواء الجوى المحيط بها. أما فى باطن البركة الإختيارية فتتكون منطقة لا هوائية نسبة لنشاطات الحماة فيها. وعمق كل من المنطقتين الهوائية واللاهوائية يعتمد على: شروط المزج بالبركة، والرياح السائدة، وتغلغل أشعة الشمس، وطول فترة النهار. وفى الطبقات الهوائية للبركة الإختيارية فإن الطحالب والبكتريا تلعب دورا أساسيا فى تفتيت المواد العضوية إذ تستخدم البكتريا الأكسجين لأكسدة المواد العضوية وتخليق الخلايا الجديدة وإنتاج نواتج ثانوية ثابتة مثل ثانى أكسيد الكربون والنترات والفوسفات. وتقوم الطحالب (فى وجود ضوء الشمس) باستهلاك هذه المواد لتنتج خلايا جديدة ونواتج ثانوية مثل الأكسجين. ويفيد هذا الأكسجين (الناتج بواسطة الطحالب) البكتريا الموجودة، مما يؤدي إلى النفع المشترك أو المتبادل ما بين البكتريا والطحالب أو ما يسمى بعلاقة المنفعة أو العلاقة التكافلية Symbiotic Relationship. وترسب المواد الصلبة الحيوية والمواد الصلبة الثقيلة (الناتجة فى الطبقة الهوائية) فى طبقة البركة اللاهوائية. وهذه المواد الصلبة تغطى إحتياجات الغذاء اللازم للكانائنات اللاهوائية فى طبقة الوحل أسفل البركة. وتقوم الكائنات الحية بتحلل المواد العضوية إلى أحماض عضوية وغازات فى حالة ذائبة لتستخدم بواسطة تلك الكائنات الموجودة فى الطبقة الهوائية.



ويقضى مراعاة ما يأتى لتصميم هذه البرك :

١- اختيار المكان المناسب: وعند إختيار المكان الملائم لتشييد البركة ينبغى الإنتقاء الأمثل من حيث :
(أ) الارتفاع: ويحبذ الموضع المنخفض فى ارتفاعه عن شبكات المجارى، وذلك لتسهيل الإنسياب الذاتى للأوساخ والحماة الداخلة البركة. وفى حالة عدم وجود مكان بهذه المواصفات فلا بد من ضخ الفضلات السائلة، مما يؤدى الى الزيادة فى تكاليف ثمن الأجهزة اللازمة، كما يستخدم طاقة أكثر، ويحتاج الى ترميم أكبر .

(ب) التربة: وتفضل التربة التى يمكن أن تتحمل وزن البركة، وأن لا تتكون من رمال أو تربة مفتتة أو من حصى مما يؤدى معه الى تسرب المياه الملوثة عبرها. ومن الأفضل أيضا أن تكون التربة سهلة الحفر، وأن تتواجد بالمنطقة كمية كافية من المواد لبناء الجدران الدائمة .

(ج) التسرب : من الأفضل أن يكون نظام التسرب جيد لتسهيل تسرب السائل المعالج .

(د) الحماية من الفيضان: يجب ألا تكون البركة فى منطقة تتعرض للفيضان فى زمن الأمطار .

(هـ) الحجم: كبير نسبيا ليتناسب وسعة البركة .

(و) المسافة: يفضل أن تزيد المسافة بين المنازل والبركة عن ٢٠٠ متر .

(ز) اتجاه الرياح: لا بد من العمل على وضع البركة فى اتجاه الرياح بعد المنازل السكنية لتفادى تعرض السكان للروائح الكريهة وغيرها من المخاطر الصحية .

٢- تحديد حجم البركة: ويحسب حجم البركة طبقا للآتى :

• حساب الدفق اليومى من الفضلات السائلة المتوقع دخولها للبركة .

• إيجاد متوسط درجة حرارة الماء السنوية فى المنطقة .

• تقدير أقل مساحة مطلوبة للبركة .

وتقدر أقل مساحة مطلوبة لبركة الموازنة بإستخدام المعادلة ٣٢ .

(٣٢)

$$A = L * Q / L_{max}$$

حيث :

A = أقل مساحة مطلوبة للبركة الإختيارية (م^٢) .

L = التحميل العضوى للفضلات السائلة (جم/لتر) .

Q = مقدار الدفق اليومى للفضلات السائلة الداخلة للبركة (لتر/يوم) .

L_{max} = أقصى تحميل عضوى مسموح به (جم/م^٢/يوم) .

(٣٣)

$$L_{max} = 2T - 12$$

T = متوسط درجة الماء السنوية (م°) .

وعامة تشييد برك موازنة الحماة مستطيلة الشكل. ويؤخذ طول البركة ليساوى ضعف أو ثلاثة أضغاف عرضها. أما العمق فيتغير طبقا لنوع الفضلات السائلة، وتحميل الحماة وعوامل المناخ السائدة بالمنطقة .

أقسام برك موازنة الأوساخ :

ويتم تقسيم برك موازنة الحمأة طبقاً للنشاط الحيوى السائد داخل البركة الى الآتى :

(أ) برك لاهوائية (Unaerobic Ponds): وتستقبل البرك اللاهوائية الفضلات السائلة والحمأة التى بها تحميل أكبر من المواد العضوية أو بها كمية كبيرة من المواد الصلبة. وهذا يعنى أن الحمأة الداخلة الى البركة لم تتلق معالجة بالترسيب الابتدائى. وتساعد هذه البرك على ترسيب المواد الصلبة، كما وتقوم بالمعالجة الجزئية للحمأة . ثم يؤخذ التصريف الخارج من البركة اللاهوائية الى بركة أخرى إختيارية. وعادة يتراوح عمق هذه الأنواع من البرك بين ٢ الى ٤ متر، وتمكث فيها الحمأة لمدة تتراوح بين ٥ الى ١٠ أيام، تتم فيها معالجاتها بالكائنات الحية الدقيقة اللاهوائية (أى تلك التى لا تحتاج للأكسجين المذاب للتكاثر والنشاط الحيوى) .

(ب) برك إختيارية (Facultative Ponds): وتستقبل هذه البرك الحمأة من المجارى أو من تصريف البرك اللاهوائية. وتمكث فيها الحمأة لمدة تزيد عن ١٠ أيام، ومن ثم تجد طريقها لحوض تبخر أو لبركة نضج. وهذا النوع من البرك هو الغالب فى محطات معالجة الفضلات السائلة. ويتراوح عمق البركة الإختيارية بين ١ الى ١,٥ متر وتتم فيها معالجة المواد العضوية بالكائنات الدقيقة الإختيارية (هوائية ولاهوائية على حد سواء) .

بإفتراض أن هنالك خلط ومزج كاملين داخل البركة، ودونما إعادة دوران للتركيزات الصلبة فى البرك الإختيارية ينتج عن إتزان الكتل للحاجة الحيا-كيميائية للأكسجين الداخل للبركة وذلك الخارج منها ما يلى :

(٣٤)

$$W_i = W_e + W_c$$

حيث :

W_i = تحميل الحاجة الحيا-كيميائية للأكسجين الداخل الى 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 :

(٣٥)

$$Q \cdot L_i = Q \cdot L_e + V \cdot k_n \cdot L_e$$

حيث :

Q = معدل دفع الفضلات السائلة للبركة (م^٣/ث) .

L_i = الحاجة الحيا-كيميائية للأكسجين الداخل الى البركة (ملجم/لتر) .

L_e = الحاجة الحيا-كيميائية للأكسجين الخارج من البركة (ملجم/لتر) .

V = حجم البركة (م^٣) .

k_n = ثابت معدل الإزالة لبركة الموازنة (/يوم) .

والمعادلة الحسابية لبركة واحدة يمكن أن توجد من المعادلة ٣٦ .

$$L_e/L_i = 1/(1 + k_n * V/Q) = 1/(1 + k_n * t) \quad (٣٦)$$

حيث :

t = زمن المكث فى البركة (يوم) .

وعند توصيل البرك على التوالى فإن التصريف الخارج من أحد البرك يمثل ذلك التصريف الداخلى للبركة التالية، وعليه فإن إتران النمو لمجموعة برك (n) يمكن تمثيله كما مبين فى المعادلة ٣٧ .

$$L_e/L_i = 1/(1 + k_n * t/n)^n \quad (٣٧)$$

حيث :

n = عدد البرك المتصلة على التوالى .

مثال (٦)

أستخدمت بركة موازنة لمعالجة فضلات سائلة لها حاجة حيا-كيميائية للأكسجين فى اليوم الخامس تعادل ٢٥٠ ملجم/لتر تتساب بمعدل دفق ٨٠ متر مكعب فى الساعة. أوجد مساحة البركة تحت الشروط المدرجة أدناه :

أقل درجة حرارة = ٢٥° م .

ثابت معدل الإزالة للبركة = ٠.٣ /يوم لدرجة حرارة ٢٠° م .

ثابت تصحيح درجة الحرارة = ١.٠٥ .

الحاجة الحيا-كيميائية للأكسجين الخارج من البركة = ٣٠ ملجم/لتر .

إرتفاع البركة = ١.٥ م .

الحل :

$$١ - \text{المعطيات : } Q = ٨٠ \text{ م}^٣/\text{ساعة} , L_i = ٢٥٠ \text{ ملجم/لتر} , L_e = ٣٠ \text{ ملجم/لتر} , (k_n) = ٠.٣ \text{ /يوم} , h = ١.٥ \text{ م} , O = ١.٠٥ .$$

$$٢ - \text{أوجد ثابت معدل الإزالة للبركة على درجة حرارة } ٢٥^\circ \text{ م} \\ (k_n)_{25} = (k_n)_{20} * (O)^{T-20} = (٠.٣) * (١.٠٥)^{٢٥-٢٠} = ٠.٣٨ \text{ /يوم} .$$

$$٣ - \text{إستخدم معادلة البركة لإيجاد زمن المكث : } L_e/L_i = 1/(1 + k_n * t)$$

$$٣٠/٢٥٠ = 1/(1 + ٠.٣٨ * t)$$

ومنها: $t = ١٩.٣$ يوم .

٤ - أوجد حجم البركة :

$$V = Q \cdot t = 3, 24 \cdot 10^6 - 370.56 \text{ م}^3$$

$$A = h \div V = 370.56 \div 1,5 = 247.04 \text{ م}^2$$

(ج) برك النضوج (برك هوائية) **Maturation (Polishing) Ponds**: وتستقبل هذه البرك التصريف المعالج والخارج من البرك الاختيارية، ليملك بها لمدة تتراوح بين ٥ الى ١٠ أيام بغية تحسين النوع وتلافي المخاطر. وعادة تصمم البرك بعمق لا يتجاوز المتر. تسحب الحمأة المعالجة من البركة لحوض تبخر، أو يتم إستخدامها للأغراض الزراعية، أو تستغل لتربية الأسماك والطيور. ويتم تفتيت المواد العضوية في هذه البرك بالكائنات الحية الدقيقة الهوائية. وإن برك النضوج يمكن أن تأتي بتصريف جيد من النواحي البكتريولوجية. ومعدل موت الجراثيم البرازية في بركة واحدة يمكن تقديره من المعادلة ٣٨ .

$$(38) \quad N_e/N_i = 1/(1 + k' \cdot t)$$

حيث :

$$N_e = \text{عدد البكتريا الخارجة من البركة (عدد/١٠٠ ملتر)} .$$

$$N_i = \text{عدد البكتريا الداخلة للبركة (عدد/١٠٠ ملتر)} .$$

$$k' = \text{معدل موت البكتريا (/يوم)} .$$

أما في حالة مجموعة من البرك فإن معدل موت الجراثيم البرازية في بركة واحدة يمكن تقديره من المعادلة ٣٩ .

$$(39) \quad N_e/N_i = 1/(1 + k' \cdot t)^n$$

حيث :

$$n = \text{عدد برك الموازنة الموصلة على التوالي} .$$

مثال (٧)

تقوم بركة نضوج بتقليل أعداد البكتريا بنسبة ٩٩٪ بمعدل موت للبكتريا يساوى ٠,٧ على اليوم، ودفق للفضلات السائلة للبركة بمعدل ١٠ متر مكعب على اليوم. أوجد زمن المكث في البركة وحجمها .

الحل :

$$١ - \text{المعطيات: } k' = ٠,٧ / \text{يوم} , N_e/N_i = (١٠٠ - ٩٩) \div ١٠٠ = ٠,٠١ , Q = ١٠ \text{ م}^3 / \text{يوم} .$$

$$٢ - \text{استخدم معادلة معدل موت الجراثيم البرازية لبركة واحدة}$$

$$N_e/N_i = 1/(1 + k' \cdot t)$$

$$٠,٠١ = (١ + ٠,٧ \cdot t) \div ١$$

ومنها ٢ - ١٤١ يوم .

٣- أوجد حجم البركة

$$V - Q.t = 10 \times 141 = 1410 \text{ م}^3$$

ويتم توصيل البرك مع بعضها البعض على التوالي أو على التوازي. وعند توصيلها على التوالي تتم معالجة الحماية فى البركة الأولى ، ثم يوجه التصريف الخارج منها الى بركة ثانية ، وهكذا تتكرر هذه العملية بالنسبة للبرك التالية . وهذا الوضع يحسن من نوعية التصريف الخارج من كل بركة لتلى تليها. ومن المحاسن الأخرى للبرك الموصلة على التوالي أنها تستقبل الحماية التى لم تمر بوحدة ترسيب. وعند 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 الى تماثل نوعية التصريف الخارج من البرك . ومن محاسن نظام التوصيل المتوازي أن عطل أو عدم تشغيل أحد البرك لا يؤثر على البرك الأخرى أو يعوق من أدائها (انظر جدول (٨)) .

جدول (٨)

معايير إختيار نوع برك الموازنة {١}

النوع	المنشط
بركة لاهوائية تتبعها على التوالي بركة إختيارية.	• عندما تستقبل البركة حماة أو مياه مجارى
بركة إختيارية (يفضل إثنين على التوازي).	• عندما تستقبل البركة تصريف معالج
بركة إختيارية (يفضل إثنين) تتبعها بركة نضج.	• عندما تستقبل البركة تصريف معالج يستخدم لتربية الأسماك أو يستغل للزراعة.
بركة لاهوائية (أو إثنان) تتبعها بركة إختيارية تليها بركة نضج.	• عندما تستقبل البركة حماة أو مياه مجارى ويستخدم التصريف المعالج لتربية الأسماك أو يستغل للزراعة.

محاسن ومساوئ برك موازنة الحماية

عادة فإن برك الموازنة تصلح للإستخدام للمدن الصغيرة ذات الأعداد السكانية التى تصل الى أو تقل عن ١٠٠٠٠ ، 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 الحماية :

- التكاليف الأولية أقل من تلك لمحطة تستخدم نظام آلى .
- تكاليف التشغيل والصيانة قليلة .
- يمكن تنظيم التصريف الخارج من البركة ومواكبته للتشريعات فى الأوقات الحرجة من العام .

- لا يتأثر نظام المعالجة كثيرا بتصميم شبكة المجارى .
- يسهل تشغيل برك الموازنة .
- ومساوى إستخدام برك الموازنة تحوى :
- الحاجة لأرض كبيرة لإنشاء وتشبيد البركة .
- التحلل الحيوى الغير الجيد لبعض المخلفات الصناعية مثل تلك الناتجة من صناعة الألبان والقشدة والزبد والمسلخ .
- الإزدياد فى الرقعة السكنية والعمـران والصناعة ربما وصل الى موقع البركة، وتبرز حينها مشاكل الرائحة .
- مشاكل الرائحة تنجم من جراء زيادة الأحمال أو من طبيعة الفضلات اللازم معالجتها .
- غالبا لا يواكب نوع التصريف الخارج التشريعات خاصة فيما يتعلق بالمواد الصلبة العالقة .
- ولا بد من التشغيل الجيد وعمل الإصلاح والصيانة المناسبة لتفادى مشاكل الروائح الكريهة، وتوالد الذباب والبعوض، مما يؤدى لزيادة تكاليف الصيانة. ومما يؤدى الى تكاثر الطحالب وتكوين طبقات الزبد والأوساخ والحماة على سطح البركة عوامل كثيرة منها: تغير حالة الطقس وحجم الدفق اليومى ودرجة الحرارة والرياح. ولكل من هذه الأشياء عيوبها فمثلا 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 (٩)) .

جدول (٩)
حالة السطح لبرك موازنة الحماة {١}

الحالة	المخاطر المحتملة	الحلول
• توالد الطحالب الكثير	روائح كريهة وتقليل فى كفاءة أداء لبركة .	إزاحة المستوطنات .
• طبقة الزبد	روائح وتكاثر الحشرات .	إزاحة الطبقات .
• حماة طافية	روائح كريهة جدا .	إزاحة الحماة .
• مواد طافية	تؤثر على نظـام المخرج ، وتؤثر سلبا على عملية المعالجة .	إزاحة المواد .

ولا بد من المراقبة الدورية للون البركة لاسيما وأن أى تغيير فى اللون غالبا يدل على التغيير فى الدفق الداخلى للبركة. وهذا ربما كان بسبب زيادة الفضلات السائلة المختلفة أو الأصباغ أو مياه الأمطار أو المياه السطحية الداخلة مع المجارى أو الزيوت أو المواد الكيميائية أو دماء الحيوانات الداخلة مع الحماة.

وتتكاثر البكتريا فى سائل البركة وتعمل على تفتيت المواد. وتقوم الطحالب بالاستفادة من هذه المفتتات (مستخدمة الطاقة الشمسية والتمثيل الضوئى) لتخليق الخلايا الجديدة وإنتاج الأكسجين. وتستخدم البكتريا الهوائية الأكسجين الناتج لإتمام عمليات تفتيت المواد العضوية. وبذا فتتعاش البكتريا والطحالب متكافلة مع بعضها البعض. وتكثر الكائنات الحية الدقيقة اللاهوائية فى قعر البركة فى طبقة الأوساخ المتراكمة، وتساعد كثيرا فى رفع كفاءة عمل معظم البرك. وعليه يترسب جزء من الفضلات الداخلة الى قعر البركة، ويتم تفتيت البعض الآخر حيويًا والبعض الثالث يتم تصريفه عبر منفذ الخروج (غالبا يتم تصريف الطحالب) .

وتنقص كفاءة البركة عندما يصل إرتفاع الأوساخ داخلها الى أكثر من ثلث العمق التصميمى، وربما أدت الحمأة المتراكمة الى إنسداد المخرج، الشئ الذى يتطلب معه تفريغ البركة وإزالة ما بها من حمأة وأوساخ . وتعتمد عملية نظافة البركة على الظروف المحلية وعوامل المناخ ونوع البركة . ويفيد الجدول (١٠) فى تحديد نقاط المراقبة لصيانة البركة .

جدول (١٠)
نقاط المراقبة لصيانة البركة

الموقع	الحالة أو المشاكل	الحلول العملية
المساحة حول موقع البركة	أشجار أو شجيرات جديدة	القطع والإزالة .
المساحة حول موقع البركة	دفق مياه سطحية	الإزاحة بواسطة خنادق أو مجارى أو سدود صغيرة .
الميل الخارجى وأعلى الجدران الداعمة	حشائش طويلة وأعشاب	إزالة الحشائش وقطع الأعشاب وإزالة ناتج الإزالة والقطع .
الميل الخارجى 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 .

يُعطى أعلى سقف من
حجرة كوميوندا للجلوس. ويغيد السقف الخرساني في الأمان من الإنهيار وعدم سقوط الأطفال
منه. كما ويمنع انتقال الديدان الشخصية hookworm ويحد بعض الشئ من توالد الذباب عند
غطاء محكم للفتحة. ومن أهم مساوئ مرحاض الحفرة إثبات الروائح النتنة وتوالد الذباب
والبعوض .

مرحاض الحفرة المحسن Ventilated Improved Pit Latrine

وفي هذا المرحاض أدخلت التحسينات التالية (أنظر شكل ١١) :

١- تركيب أنبوب تهوية. وبفضل حركة الرياح المارة أعلى أنبوب التهوية فإن الهواء الداخلي يرتفع
ويخرج الى الغلاف الجوى مما يولد تيار هواء عبر فتحة الجلوس بالمرحاض. ويعمل تيار الهواء على
إزالة الروائح الناتجة من تحلل المواد البرازية داخل المرحاض. كما وأن أنبوب التهوية يعمل على التحكم
في الذباب، وذلك نسبة إلى أن أنثى الذباب في أثناء بحثها عن منطقة آمنة تضع فيها بيضها فإنها تتجذب
إلى الروائح المنبثقة عبر أنبوب التهوية غير أنها تمنع من المرور داخله بفضل المصفاة الموجودة أعلى
الأنبوب. غير أن بعض أعداد من الذباب تدخل إلى المرحاض عن طريق فتحة الجلوس وتضع بيضها
داخل المرحاض. وتطير الحشرة الكاملة من الذباب المتوالد حديثا نحو الضوء، وإذا كانت غرفة
المرحاض مظلمة فإن الضوء الموجود يكون عبر أنبوب التهوية، وعندما ينجذب الذباب إلى النور تحد
من خروجه المصفاة، وبذا يتم قتله داخل المرحاض. ومن المستحسن نظافة أنبوب التهوية من عام لآخر
من نسيج المنكبت بصب جردل أو دلو من الماء داخله .

٢- تركيب مصفاة أعلى أنبوب التهوية لمنع دخول وخروج الذباب. وتصنع المصفاة من فتحات قطرها
ألمح ١ ملم من فولاذ لا يصدا أو من ألياف زجاجية لتقاوم الغازات الحارقة الناتجة من الحفرة .

٣- إنشاء غرفة مظلمة للمرحاض لمنع دخول وخروج الذباب .

وهذه المواصفات المتبعة في المرحاض المحسن لا تكفى للحد من توالد البعوض الماص Culex pipiens
والذي يتوالد في المرحاض الفانض ويقوم بنقل داء الخيطيات (داء الفلاريا) Filariasis. وذلك
لأن هذا النوع من البعوض لا ينجذب نحو الضوء ويجد طريقه عبر المنافذ المختلفة .

٤- إضافة مصيدة ذباب فوق فتحة الجلوس بدلا من الغطاء .

٥- 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 ٢٠ ملم {١٩} .

ويبين جدول ١١ أدناه معلومات عامة لتصميم برك الموازنة .

جدول (١١)

معلومات عامة لتصميم برك الموازنة {١٢، ٥، ٣، ١}

المنشط	برك لاهوائية	برك إختيارية	برك هوائية
التصريف الداخلى	حمأة بها مواد عضوية ومواد صلبة عالية.	حمأة من شبكة المجارى أو من برك لا هوائية.	حمأة من برك إختيارية .
المعالجة	جزئية	جزئية	جزئية
التصريف النهائى	لبركة إختيارية	لبركة نضوج	للزراعة أو تربية الأسماك والطيور المائية .
عمق البركة (م)	٢ - ٤	١ - ١,٥	١
زمن المكث (يوم)	٨ - ٢٠	٢٠ - ١٨٠	٥ - ١٠
عمل النمو الحيوى	كائنات لا تحتاج الى الأكسجين للنمو والتكاثر.	كائنات هوائية ولاهوائية.	كائنات هوائية.
التشغيل	على التوالى أو التوازى	أقلها ٣ برك على التوالى.	١ أو أكثر من البرك على التوالى أو التوازي .
اللون	أسود داكن	أخضر أو أخضر بنى	أخضر
فترة نظافة الوحل (سنة)	٢ - ١٢	٨ - ٢٠	ربما لا تحتاج أبدا .
درجة الحرارة الأمثل (°م)	٣٠	٢٠	٢٠
إحتياجات الأكسجين	-	-	(٧، ٤ - ١) مضروبة فى حاجة الحيا-كيميائية الأكسجين المزال.
الرقم الهيدروجينى	٦,٨ - ٧,٢	٦,٥ - ٩	٦,٥ - ٨
المواد الكيميائية المطلوبة	المواد الغذائية الناقصة، لا تحتاج الى مواد كيميائية أخرى.	المواد الغذائية الناقصة، لا تحتاج الى مواد كيميائية أخرى.	المواد الغذائية الناقصة، لا تحتاج الى مواد كيميائية أخرى.
المشاكل المتوقعة	روائح، تحتاج الى أرض واسعة، تلوث مياه جوفية.	روائح عند التحميل العالى، تلوث مياه جوفية، نقصان فى النشاط الحيوى فى المناخ البارد .	نقصان فى النمو الحيوى .

٦ - ٩ مرحاض الحفرة Pit latrine

وهو عبارة عن تجويف رأسى في باطن الأرض لتخزين الفضلات السائلة. ويغضى أعلاه بسقف من الخرسانة به فتحة أو متعد للجلوس. ويفيد السقف الخرسانى في الأمان من الإنهيار وعدم سقوط الأطفال داخل المرحاض، كما ويمنع إنتقال الديدان الشصية hookworm ويحد بعض الشئ من توالد الذباب عند إستخدام غطاء محكم للفتحة. ومن أهم مساوئ مرحاض الحفرة إنتشاق الروائح النتنة وتوالد الذباب والبعوض .

مرحاض الحفرة المحسن Ventilated Improved Pit Laterine

وفي هذا المرحاض أدخلت التحسينات التالية (انظر شكل ١١) :

١- تركيب أنبوب تهوية. وبفضل حركة الرياح المارة أعلى أنبوب التهوية فإن الهواء الداخلى يرتفع ويخرج الى الغلاف الجوى مما يولد تيار هواء عبر فتحة الجلوس بالمرحاض. ويعمل تيار الهواء على إزالة الروائح الناتجة من تحلل المواد البرازية داخل المرحاض. كما وأن أنبوب التهوية يعمل على التحكم في الذباب، وذلك نسبة إلى أن أنثى الذباب في أثناء بحثها عن منطقة آمنة تضع فيها بيضها فإنها تتجذب إلى الروائح المنبثقة عبر أنبوب التهوية غير أنها تمنع من المرور داخله بفضل المصفاة الموجودة أعلى الأنبوب. غير أن بعض أعداد من الذباب تدخل إلى المرحاض عن طريق فتحة الجلوس وتضع بيضها داخل المرحاض. وتطير الحشرة الكاملة من الذباب المتوالد حديثا نحو الضوء، وإذا كانت غرفة المرحاض مظلمة فإن الضوء الموجود يكون عبر أنبوب التهوية، وعندما ينجذب الذباب إلى النور تحد من خروجه المصفاة، وبذا يتم قتله داخل المرحاض. ومن المستحسن نظافة أنبوب التهوية من عام لآخر من نسيج المنكبوت بصب جردل أو دلو من الماء داخله .

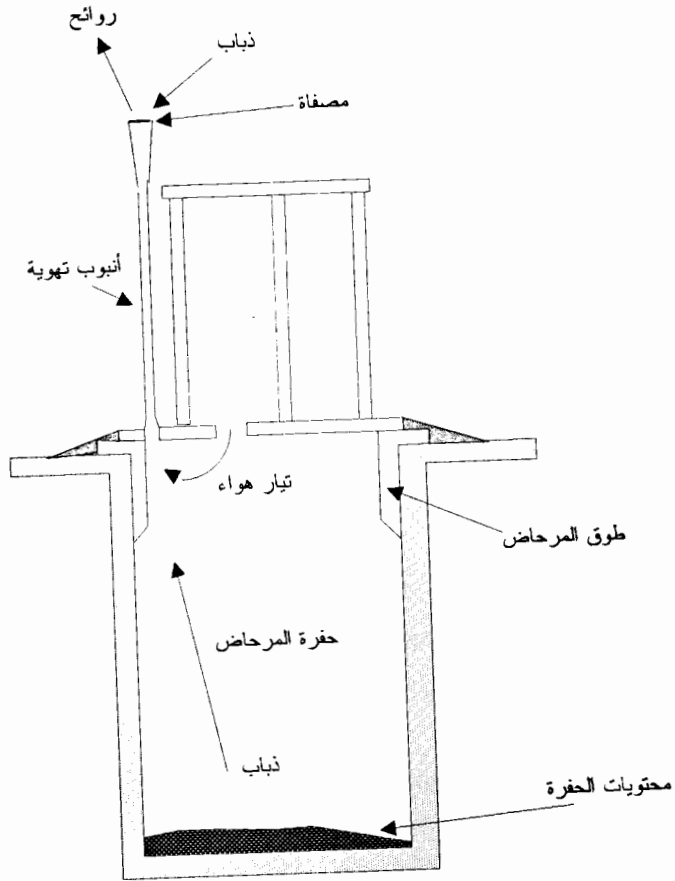
٢- تركيب مصفاة أعلى أنبوب التهوية لمنع دخول وخروج الذباب. وتصنع المصفاة من فتحات قطرها ألمح ١ ملم من فولاذ لا يصدأ أو من ألياف زجاجية لتقاوم الغازات الحارقة الناتجة من الحفرة .

٣- إنشاء غرفة مظلمة للمرحاض لمنع دخول وخروج الذباب .

وهذه المواصفات المتبعة في المرحاض المحسن لا تكفى للحد من توالد البعوض الماص Culex pipiens والذي يتوالد في المرحاض القائنض ويقوم بنقل داء الخيطيات (داء الفلاريا) Filariasis. وذلك لأن هذا النوع من البعوض لا ينجذب نحو الضوء ويجد طريقه عبر المنافذ المختلفة .

٤- إضافة مصيدة ذباب فوق فتحة الجلوس بدلا من الغطاء .

٥- 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 فى الماء بالقرب من موقع المرحاض ثم توضع داخله لتكون طبقة سمكها ٢٠ ملم {١٩} .



شكل (١١) رسم تخطيطي للمراض المحسن {١٩}

ومن العوامل المؤثرة فى استخدام هذه الطريقة: نوع وتكوينات الطبقات الأرضية بالمنطقة (خاصة عند وجود الصخور أو الرمال)، وإرتفاع منسوب المياه الجوفية، ومصادر المياه بالمنطقة. وكقاعدة عامة يمنع بناء المرحاض لمسافة أقل من ١٠ أمتار من أقرب بئر جوفى أو مصدر لمياه الشرب، كما ولا يشيد المرحاض فى منطقة تعلو المصدر المائى. وتزيد هذه المسافة عندما يتم استخدام الرافعات لضخ الماء من الآبار. ومن المعروف ان البكتريا لا تتغلغل لمسافة أكبر من المتر أو المترين فى معظم أنواع التربة الغير مشبعة، غير أنها قد ترتحل لمسافات أكبر من ١٠٠ متر فى تربة الحصى أدنى منسوب المياه الجوفية وفى الصخور المتشققة والمتصدعة. وعامة ينتشر التلوث البكتيرى للمسافة التى تسيرها المياه الجوفية فى مدة عشرة أيام {١٩}، كما وأن التلوث الكيمائى يتحرك لمسافة أكبر. وللد من التلوث البرازى بالبكتريا من الأنسب أن تزيد المسافة بين قعر المرحاض وأعلى منسوب للمياه أو سطح الصخور عن المترين .

٦ - ١٠ أحواض التحليل اللاهوائى (أو التعفن أو التخزين) Septic Tanks

حوض التحليل عبارة عن صندوق يوضع تحت الأرض ويقوم بإستقبال الفضلات السائلة وحفظها لمدة من الزمن يسهل معه فصل المواد الصلبة وترسيبها. وعادة توجد ثلاثة طبقات فى الحوض (انظر شكل ١٢) :-

- طبقة الأوساخ الطافية Scum على سطح الحوض .
 - طبقة السائل العالق والتي تبدأ فيها عمليات الترسيب وانتشار المواد الذائبة للطبقة التى تليها لتكون قشرة على سطح الحوض .
 - طبقة الأوساخ المترسبة والمهضومة .
- وتخضع المواد المترسبة لبعض صور الهضم والتفسخ الحيوى اللاهوائى لتنتج الحماة بلونها الأسود. كما وتتكون فى الحوض طبقة طافية من الدهون والشحوم وبعض الفضلات والتى تخضع بدورها لتفتت حيوى لتكون قشرة المواد الطافية ذات اللون الأبيض البنى. وما بين الطبقتين (الطافية والمترسبة) هنالك سائل أخضر اللون يسمى الحماة المعالجة والتى تجد طريقها لحقول الإمتصاص .

ولإتمام المعالجة يقضى سائل الحوض زمن مكث مناسب لزيادة عمليات ترسيب وهضم المواد الصلبة، وتقليل تكلفة الإنشاء، وتقليل فترات النظافة، وزيادة عمر حقول الإمتصاص. ويعرف زمن المكث بالمدة اللازمة لجزيئى من الماء ليتحرك من مدخل الحوض الى مخرجه. ويتراوح زمن المكث بين يوم ويومين عند أخذ متوسط الدفق اليومى فى الحسبان وهذا يخفض من التكلفة بالنسبة للأحواض الصغيرة. ويمكن أخذ زمن المكث بالحوض لمدة ثلاثة أيام للأحواض الكبيرة .

وتتكون أحواض التحليل اللاهوائى من حوض واحد أو عدة أحواض على التوالى. وأبسط أنواع الأحواض تكون فى شكل مستطيل أو دائرة. ويمكن تشييد الحوض من مواد عديدة مثل: الخرسانة

والخرسانة المسلحة والخرسانة perforated والقوالب الخرسانية والطابوق والطوب والآجر والحجارة والألياف الزجاجية والمواد متعددة الأثليلين (بولى اثيلين) والحديد المطلى والحديد المجلفن .

وينشأ مخرج الحوض ومدخله من مواسير مبسطة أو هدارات صغيرة تعمل لمنع تعلق المواد بعد ترسيبها، وتحول دونما اضطراب المواد الطافية. وتصمم الأحواض بحيث أن يوجد بها فراغ كافى لخزن الأوساخ لعدة أشهر. وخلال هذه المدة تخضع الأوساخ المترسبة لتفاعلات حيوية. وتزاح المترسبات كل عام مثلاً أو كلما اقتضى الحال ذلك. ولا تصمم مصافي بالأحواض بغية تقليل الترميم والأصلاح .

ويعمل على أن تكون بالحوض غرفتين حجم إحداهما ضعف الأخرى (انظر شكل ١٣). يتم فى الحجرة الأولى ترسيب معظم المواد الصلبة كما تتم 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 بالغازات الناتجة من التفتيت الحيوى للمواد العضوية مما يبين أهمية الغرفة الثانية. ومن الأنسب بالنسبة للحوض الخرسانى أن يطلأ بطبقة من البيوتمين وذلك بغرض حماية الخرسانة ومنع تفتيتها بخليط الحمأة الحارق .

ويمكن حساب حجم الحوض من المعادلة ٤٠ .

$$V = Q \cdot t \quad (٤٠)$$

حيث :

V = حجم الحوض (م^٣) .

Q = دفع الفضلات السائلة للحوض (م^٣/يوم) .

t = زمن المكث بالحوض (يوم) .

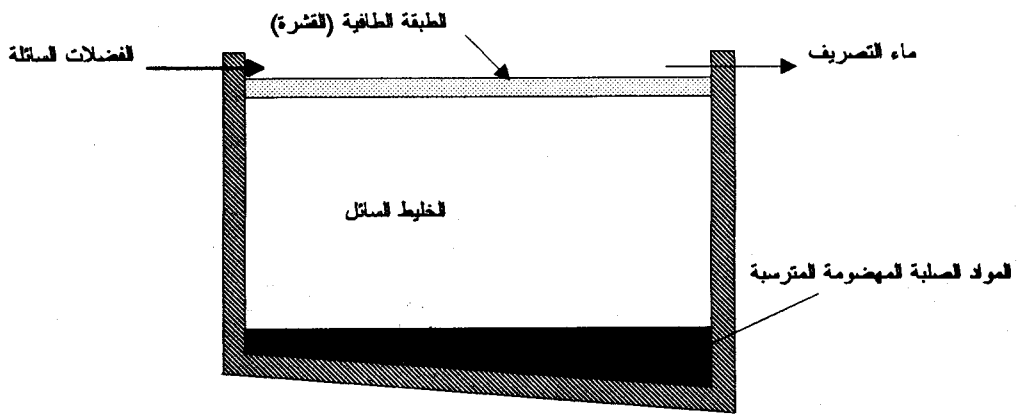
ولابد من زيادة حجم الحوض لتعطى النقصان فى زمن المكث عند تراكم المواد الصلبة داخله مما يقلل من الحجم. وعادة يؤخذ حجم الحوض ليساوى ٢ الى ٣ مرات حجم الدفع اليومى التصميمى {١٨} . ولتحديد أبعاد الحوض يمكن اللجوء الى جداول معدة مسبقاً أو بأخذ المعادلات التجريبية. يغطى السائل فى الحوض ٨٠ بالمئنة من الإرتفاع الكلى للحوض وتترك ٢٠ بالمائة من الحجم أعلى مستوى سطح السائل لتعطى المسافة المطلوبة لتراكم القشرة الطافية .

ولابد أن يحتوى حوض التحليل اللاهوائى على فتحات تهوية أو منافس Vents للأسباب التالية :

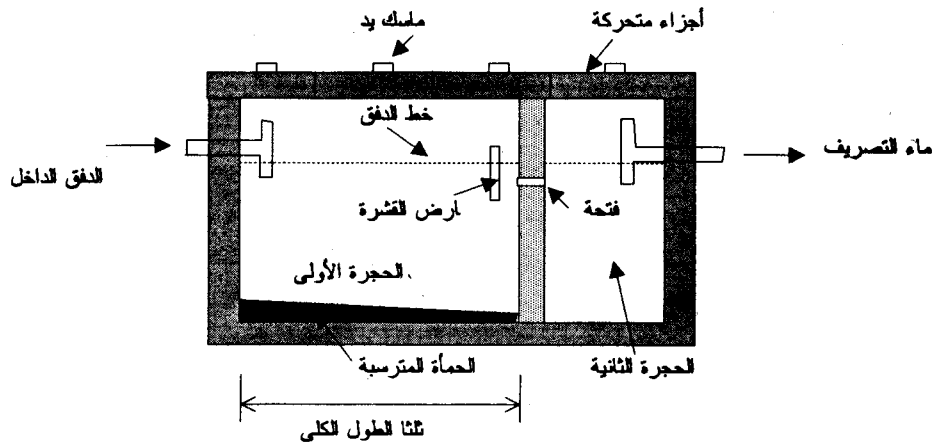
* منع دفع الحمأة من الحوض الى المنازل بالتفريغ .

* تسهيل خروج غاز الميثان والذى ربما تسبب فى إنفجار ما .

* تسهيل خروج الغازات ذات الرائحة الكريهة المنبثقة من داخل الحوض. وتنتج هذه الغازات عندما تقوم البكتريا الاختيارية بتفسخ بعض مكونات الحمأة. ويمكن أن تتحرك هذه الغازات من أعلى سطح سائل الحوض عبر فتحة التهوية الى المصرف الصحى المنزل المتصل بالحوض ومن ثم لسطح المنزل عبر أنابيب التهوية المتصلة بالمصرف .



شكل (١٢) مناطق حموض التحليل اللاهوائي



شكل (١٣) رسم كروكي لحوض التحليل اللاهوائي

وهناك بعض النقاط التي يجب أخذها في الحسبان لضمان كفاءة أداء أحواض التحليل بالصورة المثلى ومنها :-

- عدم استخدام المبيدات البكتيرية والحشرية وغيرها من المبيدات بدون التأكد من وجود درجات التخفيف اللازمة داخل الحوض .

- عدم التخلص من المطهرات داخل الحوض وذلك لأنها تقلل من كفاءة الحوض لإزالة المواد الصلبة العضوية .

- عدم إزالة الطبقة الطافية عند التخلص من مكونات الحوض لاسيما وتكوينها يحتاج إلى مدة طويلة (ربما أكثر من عام) .

وعند تصميم جهاز التحليل لا بد من إختيار موقع الوحدة بحيث لا تأتي بأي نتائج سلبية، فمثلا يجب أن توضع في غير مهب الريح، وعلى بعد أقله ١٥ متر من أقرب نقطه ومصدر ماء، وعلى بعد أقله ٣ أمتار من الجيران، وأن لا توضع في منطقة منخفضه بحيث تتجمع فوقها أو حولها المياه، وأن تبعد عن طريق مرور المركبات. ويبين الجدول (١٢) الأبعاد المناسبة لحوض التحليل وحقول الإمتصاص من المباني (لكيلا تتأثر الأثاثات) ومصادر المياه (لمنع التلوث) .

جدول (١٢)

الأبعاد المطلوبة لحوض التحليل وحقل الإمتصاص {١٨}

المنطقة المطلوب حمايتها		أقل مسافة مطلوبة (متر)	
حوض التحليل اللاهوائي		حقل الإمتصاص	
المباني	١٠٥	٣	
الآبار المنزلية وخطوط السحب	١٥	٣٠	
الآبار العامة وخطوط السحب	٣٠	٦٠	
خطوط المياه تحت الضغط	٣	٣	
مصادر المياه	١٥	٣٠	
البحيرات	١٥	٣٠	

كما ويجب عند التصميم حساب أبعاد الحوض وإختيار المواد الخام الواجب إستخدامها والأيدي العاملة المناسبة للتشييد والصيانة. وبعض معايير التصميم تحوي :-

- إدخال كل المخلفات والفضلات السائلة اليومية (الناتجة في البناية أو منطقة الحوض) للمعالجة. وهذه تشمل الفضلات السائلة المنزلية ولكنها تستبعد مياه الأمطار والصرف السطحي .

- يمكن أن تصنع جدران الحوض من الخرسانة أو غيرها من المواد المناسبة. ويجب أن تكون هذه الجدران غير مسامية لمنع نفاذ الماء. وعليه فعادة يغطى داخل الحوض بطبقة من الأسمنت في حدود ٢٥ ملم تشييد على مرحلتين .

- يجب أن تشييد قاعدة الحوض من الخرسانة المسلحة بسمك في حدود ١٠٠ إلى ١٥٠ ملم. وتوضع القاعدة على طبقة من الزلط أو الحجارة المكسرة أو الرمل يبلغ سمكها حوالى ٧٥ ملم .

- يجب أن يحتوي الحوض على سقف غير مسامى يشيد من الخرسانة المسلحة. ويمكن تصميم السقف في شكل قطع عرض كل منها ٣٠٠ ملم بعرض الحوض. وتوجد بكل من هذه القطع روافع على الأطراف تساعد رفعها وإزاحتها للولوج الى الحوض للتنظيف وإجراء أعمال الترميم والصيانة. ويمكن وضع غرفة تفتيش فى قطعة أو اثنتين من هذه القطع السقفية. وعند تنظيف الحوض يمكن إزالة واحد من قطع السقف أو كلها متى ما اقتضى الحال ذلك .

- عمق السائل بالحوض في حدود ١,١ أو ١,٢ متر وربما أخذ عمق أكبر قد يصل الى ١,٨ متر.

- يمكن أخذ طول الحوض ليساوى ٢ أو ٣ أضعاف عرضه .

ولابد من مراقبة أداء حوض التحليل والعمل على صيانتة. وهذا يتم بقياس الطبقة الطافية وسمك الأوساخ. ويجب العمل على ترميم الحوض على مدار العام لضمان كفاءة التشغيل وإطالة عمر الحوض وتقادى تدهوره وإنهياره. وعادة فإن الحوض ذو الترميم والصيانة الجيدة يعيش لمدة ٢٠ عام أو أكثر. وعند مراقبة الحوض فإنه غالبا يحتاج إلى نظافة عندما :-

- يكون عمق الأوساخ أكبر من أو يساوي ثلث عمق السائل الموجود داخله .

- تكون الطبقة الطافية في حدود ٧٥ ملم أدنى أنبوب مخرج الحوض .

تنزع الأوساخ أو الحمأة من حوض التحليل اللاهوائى وتؤخذ الى أقرب محطة معالجة أوساخ لإتمام المعالجة، أو ربما تم التخلص منها بالدفن فى الأرض. وعند اللجوء الى الطريقة الأخيرة لابد من توخى الحيطه وأخذ الحذر لتلافى أى تلوث للمياه الجوفية بالمنطقة وللحد من إنبثاق أى مشاكل أخرى ضارة كانت أو منفرة. ويعتبر السائل المعالج الناتج خطرا إذ تعلو فيه قيمة الحاجة الحيا كيميائية للأكسجين والقيمة المتوسطة للمواد الصلبة العالقة به. وقد وجدت بالسائل ملوثات مختلفة تضم مواد كيميائية مثل: أملاح الكلوريد والنترات والفوسفات وبقايا الزيوت وزيت المحرك وبعض المواد الكربوهيدراتية والجازولين بالإضافة الى جراثيم الأمراض من بكتريا وبروتوزوا وفيروسات وديدان وبيض. يوضح جدول (١٣) بعض أنواع الجراثيم التى يمكن أن توجد فى الحمأة. وعادة يتم التخلص من هذا السائل بالتسرب خلال حقول الإمتصاص أو يوضع فى أحواض التبخر أو يستخدم لرى نباتات معينة أو يتم التخلص منه فى حفر ماصة أو يتم تمريرها الى مرشحات رملية للمعالجة .

وعند التخلص من السائل بالتسرب الى باطن الأرض فلا بد من تجنب تلوث المياه الجوفية. ويمكن حساب مساحة حقول الإمتصاص من المعادلة ٤١ .

$$Q = 204 \times t^{0.5} \quad (٤١)$$

حيث :

Q = حجم دفق السائل لحقول الإمتصاص (لتر/يوم/م^٢) .

t = الزمن اللازم ليهبط سطح السائل مسافة ٢٥ ملليمتر عند إجراء إختبار التخلخل Percolation test (دقيقة). ويعمل هذا الإختبار لتحديد صلاحية التربة لتعمل كنظام حقول إمتصاص .

ومن الشكاوى المتوقعة لأداء عمل حقول الإمتصاص ما يلي :

أ) وقف عمل المضخات .

ب) إنتاج روائح غير مستحبة .

ج) إنسداد مدخل الحقول (ومخرج حوض التحليل اللاهوائي) نسبة لعلو درجة تركيز المواد الصلبة أو لزيادة الأحمال أو لعدم التخلص من الحمأة .

د) منع التخلخل إما بسبب إنشاء الحقول في تربة قليلة النفاذية معيقة للتسرب، أو بسبب إرتفاع منسوب المياه الجوفية ، أو بسبب قصور الأحمال العضوية والهيدروليكية، أو بسبب عدم النظافة الجيدة لحوض التحليل .

هـ) تلوث المياه الجوفية خاصة في التربة ذات التسرب العالي وتلك التى تضمحل فيها سعة الإمتصاص للمواد الملوثة .

و) إنتشار الأمراض .

ز) زيادة درجات تركيز المواد المطهرة والأيونات بالتربة مثلاً عند زيادة الكلوريد والنترات .

هنالك عدة أنواع من حقول الإمتصاص تضم :

١) خط الإمتصاص: وهو عبارة عن أخدود أو خندق تحت سطح الأرض (أنظر شكل ١٤). ويملا الأخدود بالحصى ليجرى عبر طوله أنبوب مخرم. ويوضع الأنبوب عادة بسطح مستو وتقفل نهايته ليتسنى للسائل الإنسياب عبر جميع الفتحات الموجودة بطول الأنبوب. ويحدث التسرب عن طريق الفتحات القليلة الأولى فى الأنبوب الأفقية. غير أن فى الكثير من الحالات ينتشئ الأنبوب مرتخياً ويحدث معظم التسرب فى أدنى نقطة من الأنبوب، وبذا يتم إنتشار السائل على طول باطن خط الإمتصاص. وتتكون عبر الزمن طبقة حيوية فى التربة اللينة تكثر فيها النشاطات الحيوية التى تعمل على تفسخ المواد العضوية القابلة للتفتت، كما ويتخلص فيها من بعض الجراثيم والكائنات الحية الدقيقة الضارة، وتقوم بتوصيل السائل للتربة بدفق مناسب يحد من تشبع التربة المحيطة .

(٢) مفرش الإمتصاص: وهذا نوع آخر من أساليب إمتصاص السائل عبر التربة. ويتكون من خط إمتصاص عريض توضع عبر طوله عدة أنابيب مثقوبة .

(٣) حفرة إمتصاص: وهذه عبارة عن حفرة رأسية فى الأرض. ويبين شكل ١٥ حفرة إمتصاص مكونة من أسطوانة خرسانية أو من طابوق أو أى مواد مماثلة، تحيط بها طبقة من الحصى لحجز التربة المحيطة. وتعمل الحفرة كخط إمتصاص رأسى. وبعد مضى عدة سنوات تتحرك الطبقة الإنسدادية رأسياً الى الأعلى على الجدران المحيطة بالحفرة مما يجعل السائل متراكماً ويرتفع بارتفاع الحفرة، ويتم تسرب السائل عبر جدران الحفرة. كما ويساعد الضغط الهيدروستاتيكى فى دفع السائل عبر الطبقة الإنسدادية من باطن الحفرة وجوانبها {١٧} .

ومن العوامل المؤثرة على كفاءة حقول الإمتصاص: كمية وتردد السائل الخارج من حوض التحليل، وخواص ومكونات السائل، ونوع التربة، والنباتات المزروعة، والمناخ السائد بالمنطقة، ونوع ومكونات التربة الماصة، وكيفية الإنشاء والتشغيل والصيانة، وعوامل الزمن، والمناخى الإجتماعية والإقتصادية والبيئية والتقاليد .

أما محاسن خط الإمتصاص مقارنة بحفرة الإمتصاص فتضم {١٧} :

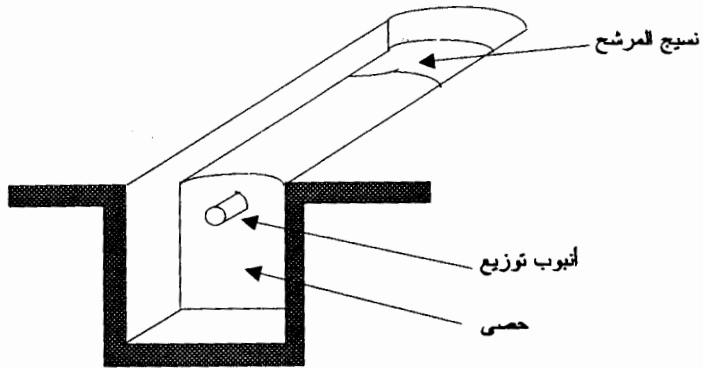
- ١ - يمكن تركيب الخط عندما تكون المياه الجوفية ضحلة نسبياً .
- ٢ - متطلبات الإمتصاص معروفة مسبقاً من خلال الدراسات العديدة التى أجريت على خطوط الإمتصاص .
- ٣ - خط الإمتصاص سهل التركيب والتشييد .
- ٤ - يمكن إعادة تشييد الخط بسهولة عند حدوث إنسداد .
- ٥ - خط الإمتصاص مأمون (مثلاً لا يقع أحدهم فى الخط المهجور) .
- ٦ - تزداد فى خط الإمتصاص درجات التفتت الهوائى للمواد العضوية .
- ٧ - خط الإمتصاص قليل تكلفة الإنشاء .

ومن محاسن حفر الإمتصاص مقارنة بخط الإمتصاص ما يلى {١٧} :

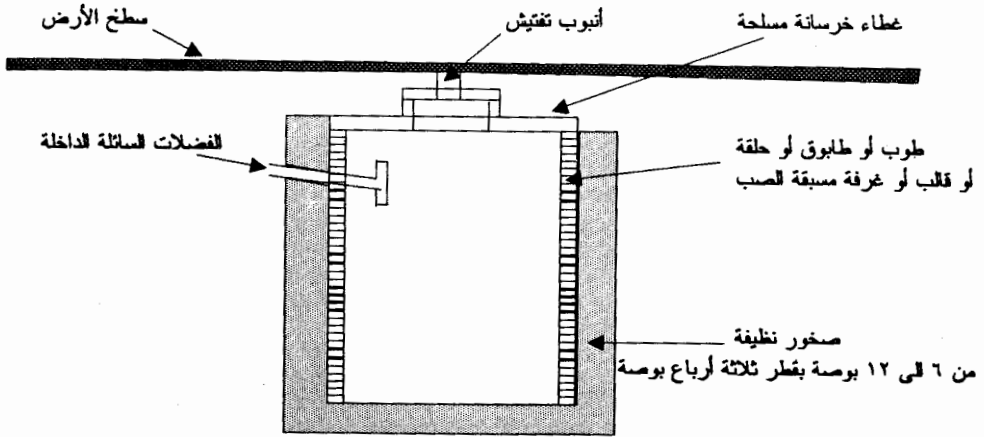
- * تحتاج الحفرة الى مسافة أفقية قليلة مقارنة بخط الإمتصاص .
- * يمكن أن تصل الحفرة الى الطبقات المسامية العميقة داخل التربة .
- * تتأثر الحفرة بدرجة أقل بالأمطار أو برى المنطقة المحيطة أو بالنباتات أو بحركة مرور المركبات فوقها .

* يزداد عمر الحفرة بالتغيرات فى مناسيب السائل بداخلها .

ومن الأهمية بمكان العمل على نظافة الحوض إذ أن عدم تنظيف الحوض يقود الى طمع الحماة والمواد الطافية وتراكمها مما يؤدى الى إنسداد مخرج الحوض وتأثر البنية بالفضلات الغير معالجة، أو غمر حقول الإمتصاص وإنسداد مسامات التربة، أو زيادة النمو الحيوى الذى يؤدى بدوره الى إنسداد المسامات وتقليل التخلخل .



شكل (١٤) رسم تخطيطي لقطاع عبر خط إمتصاص {١٨}



شكل (١٥) رسم تخطيطي لقطاع عبر حفرة إمتصاص {١٧}

جدول (١٣)
بعض أنواع الجراثيم الموجودة في الحمأة {١٩، ١٧}

المرض	طرق الانتشار	الجرثومة
Enterviruses حمات معوية (i)		
Poliovirus الحمّة السنجابية	بـراز - فم ، إنسان — إنسان	
Echovirus الحمّة الإيكوية	بـراز - فم ، إنسان — إنسان	
Coxsackievirus حمّة كوكسكايّة	إلتهاب السحايا، حمّة، إلتهابات تنفسية، حمّة، إلتهاب القلب Myocarditis، شذوذ القلب الخلقى Congenital heart anomalies، وجع الجنبه Pleurodynia.	
Hepatitis type A التهاب الكبد	بـراز - فم ، إنسان — إنسان	
Norwalk فيروس	بـراز - فم ، إنسان — إنسان	
Calicivirus فيروس	بـراز - فم ، إنسان — إنسان	
Astrovirus فيروس نجمي	Gastroenteritis	
Rotavirus فيروس دوار	إسهال، إستفراغ، حمى.	
Adenovirus حمّة غدية (ب) بكتريا	إلتهابات تنفسية، إلتهاب العيون	
Salmonella السلمونية	حمى التيفود، الحمى الباراتفودية، داء السلمونيلات Salmonellosis	
Shigella الشيغلة	دسنتاريا باسليّة	
الإشريكية القولونية الجرثومية	إلتهاب المعدة والأمعاء	
Yersinia enterocolitica اليرسنية	إلتهاب معوى قولوني	
Vibrio cholerae الضمة الهيمضية	الكوليرا (الهيمضة)	
أنواع البريمية Leptospira spp.	Weil's disease	
	تتوالد بالحيوانات (خاصة القوارض)	

فى البول وتجلب
المرض للإنسان
عن طريق الجلد أو
الفم أو العين ،
حيوان — إنسان

براز - فم ،
إنسان — إنسان

براز - فم ،
إنسان — إنسان
براز - فم ، إنسان
أو خنزير — إنسان

إنسان — تربة
إنسان —
إنسان — تربة
إنسان —
إنسان — تربة
إنسان —
إنسان — بقر
إنسان —

دستاريا أميبية، خراج الكبد
Liverabscess، قرحة

قولونية Colonic ulceration

إسهال، سوء الإمتصاص

Malabsorption

إسهال خفيف، قرحة

قولونية Colonic ulceration

داء الصفر Ascariasis

(Roundworm) Ascaris lumbricoides (الديدان الكروية)

أنيميا

(Hook worm) Ancylostoma duodenale (الدودة الشصية)

أنيميا

(Hook worm) Necator americanus (الدودة الشصية)

داء الشريطيات Taeniasis

Taenia saginata الشريطية العزلاء

(ج) بروتوزوا

المتحولة الحالة للنسج

Entamoeba histolytica

الجياردية اللمبية Giardia lamblia

Balantidium coli القربية القولونية

(د) ديدان Helminths

الصفير الخراطينى

الملقوة العفجية

الفتاكة الأمريكية

٦ - ١١ تمارين عامة

٦ - ١١ - ١ تمارين نظرية

- (١) ما هي مصادر الفضلات السائلة في بلدتك ؟
- (٢) أين العوامل التي تؤثر على نوع وكمية الفضلات السائلة في منطقتك .
- (٣) ما هي أسباب معالجة المخلفات والفضلات السائلة ؟
- (٤) ما فائدة جهاز إزالة المترسبات غير العضوية في محطة معالجة الفضلات السائلة ؟
- (٥) ما الفرق بين التحميل الهيدروليكي والتحميل العضوي في وحدات المعالجة الحيوية ؟
- (٦) ما هو الفرق بين طسرق النمو المرتبط وطرق النمو العالق لمعالجة الفضلات السائلة ؟ أذكر أمثلة لكل من هذه الطرق .
- (٧) ما هي فائدة نسبة الغذاء إلى الكائنات في مفاعل المعالجة الحيوى ؟
- (٨) صف طريقة تشغيل مرشح النضيف .
- (٩) ما هي مشاكل تشغيل مرشح النضيف ؟
- (١٠) ما أهمية الترسيب الثانوى الذى يتبع وحدة مرشح النضيف ؟
- (١١) ما فائدة إعادة دوران الأوساخ فى مرشح النضيف ؟
- (١٢) كيف تؤثر التغيرات فى درجة الحرارة على عمل مرشح النضيف ؟
- (١٣) ماذا يعنى الإنسلاخ الذى يحدث فى مرشح النضيف ؟
- (١٤) صف طريقة عمل بركة الموازنة الاختيارية. وضح الإجابة بالرسم التوضيحي .
- (١٥) أين طرق إزالة الماء من الحمأة. أى طريقة تفضل لبلدتك ، ولماذا ؟
- (١٦) ما فائدة طريقة إزالة الماء من الحمأة قبل التخلص النهائى منها ؟
- (١٧) لماذا يصعب دوما إزالة الماء من حمأة الفضلات السائلة ؟
- (١٨) ما هي العوامل التى تؤثر على عملية إزالة الماء من الحمأة ؟
- (١٩) عدد التحسينات التى أدخلت فى تصميم مرحاض الحفرة المحسن .
- (٢٠) أذكر العوامل المؤثرة فى نظام مرحاض الحفرة .
- (٢١) أذكر طريقة عمل حوض التحليل اللاهوائى .
- (٢٢) أيهما أفضل للتخلص من الفضلات المنزلية السائلة: المرحاض المحسن أم حوض التحليل اللاهوائى أم نظام الصرف الصحى ؟ ولماذا ؟
- (٢٣) أذكر محاسن ومساوى خط الإمتصاص مقارنة بحفرة الإمتصاص .
- (٢٤) تحدث بإيجاز عن الجراثيم والحمأة .

٦ - ١١ - ٢ تمارين عملية

(١) فى جهاز إزالة المترسبات غير العضوية تمت إزالة جسيمات قطرها ٢٥, ٠ ملم وكثافتها النوعية ٦, ٢ فى حوض الإزالة. أوجد سرعة ترسيب الحبيبات فى المجرى. ما هى سرعة جرف الحبيبات علما بأن $b = ٠,٥$ ، $a = ٠,٢$ ، $C_D = ١٥$. (الإجابة ١٩, ٢٨٠ مل/ث) .

(٢) تتدفق حمأة مترسبة بمعدل ١٤٠ متر مكعب فى الساعة لتعالج فى وحدة حمأة نشطة. تتكون المحطة من وحدتى حوض تهوية كل حوض إرتفاعه ٣, ٥ متر وعرضه ٤ متر وطوله ٥, ٥ متر. تركيز المواد الصلبة العالقة فى السائل المختلط ٢١٠٠ ملجم/لتر والحاجة الحيا-كيميائية للأكسجين للحمأة المترسبة ٢٠٠ ملجم/لتر. أوجد زمن المكث، ومعدل التحميل الحجمى للمواد العضوية، ومعدل تحميل الحمأة . (الإجابة: ٤ ساعة، ٢, ١ كجم/م^٣/يوم، ٥٧, ٠ /يوم) .

(٣) حوض حمأة نشطة له الخواص التالية: حجم الحوض ٤٠ لتر/الفرد، تركيز المواد الصلبة العالقة فى السائل المختلط ٤٠٠٠ ملجم/لتر، دق الحمأة الخارج ٢, ٠ كجم/فرد/يوم. أوجد زمن مكث الحوض. (الإجابة: ٨ يوم) .

(٤) تركيز المواد الصلبة العالقة فى السائل المختلط لنظام تهوية مدرج ٢٤٠٠ ملجم/لتر، وحجم الحمأة المترسبة بعد ٣٠ دقيقة فى أسطوانة مدرجة حجمها لتر يساوى ٢٠٠ مللتر. أوجد معامل حجم الحمأة. (الإجابة: ١٠٠ مللتر/جم) .

(٥) مرشح نضيبض ذى مرحلتين له الأبعاد والخواص التالية :
معدل دق الفضلات السائلة = ١٢٠ م^٣/ساعة .

إرتفاع المرشح = ٢ متر .

الحاجة الحيا-كيميائية للأكسجين لمدة ٥ أيام = ٤٠٠ ملجم/لتر .

إعادة الدوران للمرحلة الأولى = ١٥٠ بالمائة من الدفق .

إعادة الدوران للمرحلة الثانية = ١٠٠ بالمائة من الدفق .

حجم المرحلة الأولى = ٧٨٠ متر مكعب .

حجم المرحلة الثانية = ٧٨٠ متر مكعب .

أوجد الحاجة الحيا-كيميائية للأكسجين للتصريف الخارج من المرشح مستخدما معادلة مجلس الأبحاث القومى . (الإجابة ٤٩ ملجم/لتر) .

(٦) معدل دق الفضلات السائلة فى بلدة ما يساوى ١٩٠٠ متر مكعب فى اليوم، ومتوسط الحاجة الحيا-كيميائية للأكسجين ٢٥٠ ملجم/لتر. تحوى محطة معالجة الفضلات السائلة بالمدينة مرشح نضيبض وحيد المرحلة ذى معدل مرتفع إرتفاعه ٢, ٥ متر. وتحميل الحاجة الحيا-كيميائية للأكسجين للمرشح تساوى ٢٥ كجم/م^٣/ساعة. بافتراض أن كفاءة إزالة الحاجة الحيا-كيميائية للأكسجين ٣٥ و ٦٠ بالمائة لجهازى الترسيب الابتدائى ومرشح النضيبض على الترتيب أوجد حجم وقطر مرشح النضيبض باستخدام صيغة مجلس الأبحاث القومى . (الإجابة: ٢٦١ م^٣، ١٢ م) .

(٧) أدخلت فضلات سائلة بمعدل دفق ١٢٠ متر مكعب فى الساعة لمرشح نضيف يسبقه حوض ترسيب ابتدائى. قطر مرشح النضيف ١٥ متر وإرتفاعه ٢ متر. الحاجة الحيا-كيميائية للأكسجين الداخل لحوض الترسيب ١٦٠ ملجم/لتر، وكفاءة حوض الترسيب لإزالة الحاجة الحيا-كيميائية للأكسجين ٣٥ بالمائة. علمًا بأن نسبة إعادة الدوران تساوى ١,٥ ، أوجد التحميل الهيدروليكي والتحميل العضوى للمرشح ، وكفاءة المرشح بإستخدام صيغة مجلس الأبحاث القومى . (الإجابة: ٣, ١٦ م^٣/م^٢/يوم، ٨٥.٠ كجم BOD/يوم/م^٣، ٧٩ ٪) .

(٨) مرشح نضيف ذى مرحلتين يعمل على درجة حرارة ٢٤° م . أوجد كفاءة المرشح بإستخدام صيغة مجلس الأبحاث القومى علمًا بأن المرحلتين لهما نفس الحجم وتعملان على نفس نسبة إعادة الدوران البالغة ١ ودفق الفضلات السائلة ١٠٠ كجم/م^٣/ساعة . (الإجابة: ٤٦ ٪) .

(٩) تدفق فضلات سائلة بمعدل ٣٠٠٠ متر مكعب فى اليوم لمرشح نضيف قطره ١٤ متر وإرتفاعه ٢ متر. التحميل اليومى للحاجة الحيا-كيميائية للأكسجين لمدة ٥ أيام ودرجة حرارة ٢٠° م للفضلات تساوى ٨٠٠ كجم. أوجد :

(أ) تحميل الحاجة الحيا-كيميائية للأكسجين بالجرام/م^٣/يوم .

(ب) معدل التحميل الهيدروليكي بمقدار بالمتر المكعب على المتر المربع على اليوم .

(ج) كفاءة المرشح بإستخدام صيغة مجلس الأبحاث القومى بإفتراض أن نسبة إعادة الدوران تساوى ٠,٥ . (الإجابة: ٢٦٧, ٥, ١٩, ٨٤ ٪) .

(١٠) فى المسألة رقم ٩ أوجد تركيز الحاجة الحيا-كيميائية للأكسجين فى التصريف الخارج على درجة حرارة ٢٢° م . إستخدام صيغة مجلس الأبحاث القومى ومعامل تصليح للحرارة يساوى ٠,٣٥ . (الإجابة: ٢٧ ملجم/لتر) .

(١١) أستخدَم مرشح نضيف لمعالجة فضلات سائلة ذات دفق ٩٠ متر مكعب فى الساعة. أوجد إنسياب الفضلات السائلة لسطح المرشح علمًا بأن نسبة إعادة الدوران تساوى ٣. (الإجابة: ٦٤٨٠ م^٣/يوم) .

(١٢) تعالج فضلات سائلة فى مرشح نضيف وحيد المرحلة بنسبة إعادة دوران تساوى ٠,٥ وتحتوى الفضلات على حاجة حيا-كيميائية للأكسجين ٢٥٠ ملجم/لتر. إذا كانت أقل درجة حرارة متوقعة ٢٢° م ، أوجد أقصى تحميل للحاجة الحيا-كيميائية للأكسجين للمرشح ليواكب متوسط الحاجة الحيا-كيميائية للأكسجين فى التصريف الخارج من المرشح ٦٠ ملجم/لتر. (الإجابة: ٤,٠ كجم/م^٣/يوم) .

(١٣) تحوى محطة معالجة فضلات سائلة ترسيب ابتدائى، ومرشح نضيف وحيد المرحلة. تستقبل المحطة الفضلات على درجة حرارة ١٨° م وحاجة حيا-كيميائية للأكسجين ٢٨٠ ملجم/لتر. التصريف الخارج من جهاز الترسيب له حاجة حيا-كيميائية للأكسجين ١٨٠ ملجم/لتر، ويحتوى التصريف الخارج من المحطة على حاجة حيا-كيميائية للأكسجين ٨٠ ملجم/لتر عندما كان المرشح يعمل تحت التحميل التصميمى. ولترفع أداء المحطة وتخفيض الحاجة الحيا-كيميائية للأكسجين الخارج الى ٣٠ ملجم/لتر أقترح زيادة مرحلة ثانية من مرشح النضيف وجهاز ترسيب ثانوى. وأقترح أن يكون دفق إعادة

الدوران للمرشح المقترح مرة من دفق الفضلات الداخل. أوجد تحميل الحاجة الحيا-كيميائية للأكسجين التصميمي للمرحلة الثانية من المرشح المقترح. (الإجابة: ٥, ٢ كجم/م^٣/يوم).

(١٤) تحتوى محطة معالجة على حوض ترسيب إبتدائي ومرشح نضيبض. صممت المحطة لمعالجة فضلات سائلة لها حاجة حيا-كيميائية للأكسجين تساوى ١٨٥ ملجم/لتر. كفاءة إزالة حاجة الحيا-كيميائية للأكسجين فى كل من نظامى الترشيح والترسيب الإبتدائى تعادل ٧٥ و ٣٥ ٪ على الترتيب. أوجد الحاجة الحيا-كيميائية للأكسجين فى التصريف الخارج من المحطة، وأحسب الكفاءة الكلية لإزالة الحاجة الحيا-كيميائية للأكسجين. (الإجابة: ١٢٠ ملجم/لتر، ٨٤ ٪).

(١٥) يعالج مرشح نضيبض ذو مرحلتين حمأة مترسبة بمعدل ٢٦٠ م^٣/ساعة، والحاجة الحيا-كيميائية للأكسجين لمدة ٥ أيام تساوى ٢٩٠ ملجم/لتر. ويوضح الجدول أدناه دفق وحجم وشروط مرشح النضيبض .

المنشط	المرحلة الأولى	المرحلة الثانية
الحجم (م ^٣)	٦٠٠	٦٠٠
الإرتفاع (م)	٢, ٥	٢
إعادة دوران الدفق (م ^٣ /ساعة)	١٧٠	١٤٠

أوجد الحاجة الحيا-كيميائية للأكسجين لمدة ٥ أيام للتصريف الخارج مستخدما صيغة مجلس الأبحاث القومى. (الإجابة: ٥٦ ملجم/لتر).

(١٦) أدخل تصريف إبتدائى الى مرشح نضيبض بمعدل دفق ٢٠٠٠ م^٣/يوم، والحاجة الحيا-كيميائية للأكسجين فى التصريف الإبتدائى ١٨٠ ملجم/لتر، قطر المرشح ٢٠ مترا وإرتفاع الوسط الترشيحي ٢, ٥ متر، والدفق المعاد دورانه ٤٠ م^٣/ساعة. مستخدما صيغة مجلس الأبحاث القومى أوجد الحاجة الحيا-كيميائية للأكسجين الخارج وكفاءة وحدة مرشح النضيبض. (الإجابة: ٣٦ ملجم/لتر).

(١٧) أوجد كفاءة إزالة الحاجة الحيا-كيميائية للأكسجين لمرشح نضيبض وحيد المرحلة يعمل على درجة حرارة ١٥ م°، علما بأن نسبة إعادة الدوران ١ ومعدل تحميل الحاجة الحيا-كيميائية للأكسجين لمدة ٥ أيام ١١٠٠ جرام/م^٣/اليوم. (الإجابة: ٨٨ ٪).

(١٨) مرشح نضيبض له قطر ١٠ متر وإرتفاع ٢ متر أستخدم لمعالجة تصريف فضلات سائلة لها معدل دفق ٢٠٠ م^٣/ساعة، وحاجة حيا-كيميائية للأكسجين تساوى (ص) ملجم/لتر. علما بأن الدفق المعاد دورانه ٥٠٠٠ لتر/الدقيقة. أوجد قيمة (ص) التى تنتج تصريف خارج له حاجة حيا-كيميائية للأكسجين تساوى ٥٠ ملجم/لتر مستخدما صيغة مجلس الأبحاث القومى. (الإجابة: ١٣٠).

١٩) استخدمت بركة تهوية ذات مزج كلى للمعالجة الأولية لفضلات سائلة. زمن المكث داخل البركة ٥ أيام وثابت معدل الإزالة للبركة ٠,٥/اليوم لدرجة حرارة ٢٠ م° وثابت تصحيح درجة الحرارة ٠,٣٥ . ١. أوجد التخفيض فى الحاجة الحيا-كيميائية للأكسجين لدرجة حرارة ٢٢ م° . (الإجابة: ٢٧ %).

٢٠) فى المسألة (٢٠) أعلاه أوجد زمن المكث المطلوب للحصول على نفس درجة المعالجة للفضلات السائلة باعتبار أن درجة الحرارة ١٠ م° . (الإجابة: ٧,٧ يوم).

٢١) استخدمت بركة موازنة اختيارية لمعالجة فضلات سائلة ذات حاجة حيا-كيميائية للأكسجين تساوى ٢٠٠ ملجم/لتر. أوجد حجم البركة مستخدما البيانات التالية :

معدل دفق الفضلات السائلة = ١٠٠ متر مكعب على الساعة .

عمق البركة = ١,٥ متر .

ثابت معدل الإزالة للبركة = ٤٠ % على درجة حرارة ٢٠ م° .

أقل درجة حرارة = ٢٣ م° .

تركيز الحاجة الحيا-كيميائية للأكسجين للتصريف الخارج = ٦٠ ملجم/لتر. (الإجابة: ١٢٧٢٠ م³).

٢٢) أختيرت بركة موازنة إختيارية لمعالجة فضلات سائلة. صمم بركة الموازنة المطلوبة طبقا للبيانات المدرجة فى الجدول أدناه :

القيمة	المنشط
١٠٠٠٠	عدد السكان فى المنطقة الخدمية
١٧٥ لتر/الفرد/اليوم	معدل دفق الفضلات السائلة
٥٤ جرام/الفرد/اليوم	الحاجة الحيا-كيميائية للأكسجين الداخل لمدة ٥ أيام
١٨ م°	درجة حرارة البركة فى الشتاء
٢,٥ /اليوم	ثابت معدل الإزالة للبركة لدرجة حرارة ٢٠ م°
٤٠ ملجم/لتر	الحاجة الحيا-كيميائية للأكسجين الخارج

(الإجابة: ٥٠٧٥ م³).

٢٣) بركة نضوج يمكنها تقليل أعداد كائنات S. typhi بمقدار ٩٩,٤ %. أدخلت الى البركة حمأة بمعدل دفق ١٥ متر مكعب فى الساعة. أوجد زمن المكث للبركة ، والحجم المطلوب لها لتتمكن من معالجة هذه الحمأة (خذ معدل موت البكتيريا ليساوى ٠,٩ على اليوم).

(الإجابة: ١٨٤ يوم، ٦٦٢٦٧ م³).

٢٤) بركة أكسدة لها عمق ١,٥ متر تعالج دفق حمأة بمعدل ٢٥٠ لتر/الفرد/اليوم، ولها حاجة حيا-كيميائية للأكسجين لمدة ٥ أيام تعادل ٥٤ جرام/الفرد/اليوم. معدل تحميل البركة ١٥٠ كجم/هكتار/اليوم، ونسبة إزالة الحاجة الحيا-كيميائية للأكسجين ٧٥ %. أوجد ثابت معدل الإزالة للبركة

والحاجة الحيا-كيميايية للأكسجين فى التصريف الخارج. (افترض أن درجة الحرارة تساوى ١٠ م°).
(الإجابة: ١,٣ /يوم، ٤٣ ملجم/لتر) .

(٢٥) فضلات سائلة لها حاجة حيا-كيميايية للأكسجين الذائب لمدة ٥ أيام ١٤٠ ملجم/لتر، تتدفق بمعدل ٤٠٠٠ متر مكعب فى اليوم إلى بركة موازنة اختيارية. مساحة سطح البركة ١٥ هكتار وعمقها ١,٥ متر ولها معامل معدل تفاعـل ٠,٣ على اليوم . افترض أن الظروف تؤهل مزج كامل فى البركة، أوجد تركيز الحاجة الحيا-كيميايية للأكسجين فى التصريف الخارج من بركة الموازنة.
(الإجابة: ٥٢ ملجم/لتر) .

(٢٦) صمم حوض تحليل لاهوائى ليستقبل فضلات سائلة منزلية من ٥٠ شخصا. يمكن حساب حجم الحوض المطلوب من المعادلة التالية :

$$V = 180 \cdot P + 2000$$

حيث :

V = حجم حوض التحليل اللاهوائى (لتر) .

P = عدد الأشخاص المستخدمين الحوض .

6.12 References

- 1) ElHassan, B. M. and Abdel-Magid, I. M. Environment and Industry: Treatment of Industrial Wastes, Institute of Environmental Studies, Khartoum University, Khartoum, 1986.
- 2) Nathanson, J.A., Basic Environmental Technology: Water Supply, Waste Disposal and Pollution Control, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1986.
- 3) Metcalf and Eddy Inc., "Wastewater engineering: treatment disposal reuse", 2nd Ed., McGraw-Hill, New York, 1979.
- 4) Vesilind, P.A. and Peirce, J.J., "Environmental engineering", 2nd Ed., Butterworth-Heinemann, Boston, 1988.
- 5) Abdel-Magid, I.M. "Selected problems in wastewater engineering", Khartoum University Press, National Research Council, Khartoum 1986.
- 6) Ganczarczyk, J. J., Activated Sludge Process: Theory and Practices, Pollution Engineering and Technology/23, Marcel Dekker. Inc., New York, 1983.
- 7) Barnes, D.; Bliss, P.J.; Gould, B.W. and Vallentine, H.R. "Water and wastewater engineering systems", Pitman International, Bath 1981.
- 8) Viessman, W. and Hammer, M.J., Water Supply and pollution Control, Collins College Publishers, 5th Ed., New York, 1993
- 9) McGhee, T.J., and Steel, E.W. "Water supply and sewerage", 6th Ed., McGraw-Hill, New York 1991.
- 10) O'Connor, D. and Dobbins, W., "The Mechanism of Reaeration in Natural Streams", J. Sanitary Engineering Division, ASCE, SA6, 1956.
- 11) Peavy, H.S.; Rowe, D.R.; and Tchobanoglous, G. "Environmental engineering", McGraw-Hill Book Co., New York, 1985.
- 12) Vernick, A. S. and Walker, E. C., Handbook of Wastewater Treatment Processes, Pollution Engineering and Technology, 19, Marcel Dekker, New York, 1981.
- 13) Hammer, M.J., "Water and wastewater technology", 2nd Ed., Wiley, New York 1986.
- 14) Mara, D., "Sewage treatment in hot climates", Wiley and Sons, Chichester 1980.
- 15) Tebbutt, T.H.Y., "Principles of water quality control", Pergamon Press, Oxford, New York, 1983.
- 16) Wilson, F., "Design calculations in wastewater treatment", Spon. Ltd., London 1981.
- 17) Kaplan, O.B., "Septic Systems Handbook", 2nd Ed., Lewis Publishers, Chelsea, Michigan, 1991.
- 18) Perkins, R. J., "Onsite Wastewater Disposal", Lewis Publishers, Chelsea, Michigan, 1989.
- 19) Cairncross, S., and Feachem, R., "Environmental Health Engineering in the Tropics: An Introductory Text", 2nd Ed., John Wiley and Sons, Chichester, 1993.

الفصل السابع

معالجة الحمأة والتخلص النهائي من الرواسب والمخلفات السائلة

٧ - ١ هضم الحمأة

هضم الحمأة يعني تفسخ المواد العضوية الموجودة في الحمأة بطريقة متحكم فيها وتحت ظروف لاهوائية . ويساعد هضم الحمأة في تقليل حجم الحمأة السميكة ، كما ويغير المواد الصلبة العضوية الى مواد خاملة غالبا تخلو من الجراثيم والكائنات الضارة . وعملية هضم الحمأة يمكن أن تكون هوائية أو لاهوائية .

تخدم عملية هضم الحمأة الهوائية 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 للتهوية ، وعليه يمكن اعتبار هذه العملية كعملية تحسين للحمأة النشطة {١٥} .

أما عملية الهضم اللاهوائي فهي عملية تخمير للحمأة تعمل عليها الكائنات الحية الإختيارية اللاهوائية . وتقوم هذه الكائنات بتفسخ المواد العضوية وتحويلها الى 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 أهم العوامل التي تؤثر في عملية الهضم اللاهوائي : الرقم الهيدروجيني ، ودرجة الحرارة ، والمواد الغذائية ، والمواد السامة (مثل المعادن الثقيلة) ، والأحماض الطيارة والأمونيا ، ونوع وخواص المواد المتفسخة والتحميلات الصدمية وحالات الخلط وزمن المكث اللازم لهضم الحمأة {٥} . كما وأن الهضم اللاهوائي ليست له نفس درجة الحساسية للعوامل البيئية مثل الهضم اللاهوائي ، غير أنه يستهلك قدرا أكبر من الطاقة . وعادة للحمأة المهضومة لون بني إلى بني داكن ، كما ولها مظهر المتلبذات ، ورائحة فاسدة غير أنها غير كريهة ، كما وتصعب إزالة الماء منها .

يتكون الهاضم اللاهوائي Anerobic Digester من وعاء مغلق له أغطية عائمة تمنع تسرب الهواء . ويتم سحب الحمأة من القاع المخروطي للوعاء ، بينما يسمح الغطاء العائم بالتغير في الحجم نسبة لإضافة الحمأة وسحبها . وتضاف الحمأة إلى الهاضم بطريقة متقطعة ، ويتم سحب الجزء العلوي supernatant ليعاد إلى وحدات المعالجة الثانوية . وتعمل على مواد الحمأة الصلبة البكتريا الإختيارية والبكتريا اللاهوائية مكونات الأحماض . وتقوم هذه الكائنات الحية الدقيقة بتحويل المواد الصلبة إلى أحماض عضوية ذائبة وكحول . وتنتج هذه المكونات إنخفاضا في الرقم الهيدروجيني في النظام ، كما وتقوم بإيقاف عملية التحول الحيوي هذه . وحينها تحل محلها أنواع أخرى من البكتريا

اللاهوائية تسمى مكونات الميثان Methane Formers وتواصل هذه الكائنات عملية التفتيت الحيوي لما أنتجه مكونات الأحماض . تقوم مكونات نشاط الميثان بتعويض Gasification الأحماض والكحول المكونة إلى ثاني أكسيد الكربون وغاز الميثان وأثار من غازات أخرى مثل كبريتيد الهيدروجين . وبكتريا الميثان هذه بكتريا لاهوائية تعمل على رقم هايدروجيني ضيق يقع بين ٥, ٦ إلى ٥, ٧ وذلك لأن حساسية لأي تغيرات في الرقم الهيدروجيني .

إن الحمأة المهضومة لاهوانيا تكون ذات لون بني مائل إلى السواد ، ويمائل لونها لون القطران الساخن أو المطاط المحروق أو الشمع المانع للتسرب . كما وتحتوي الحمأة المهضومة لاهوانيا على كمية كبيرة من الغاز . وتتراوح درجة تركيز المواد الصلبة بعد عملية الهضم بين ٦ إلى ٧ بالمائة ، وربما وصلت من ٨ إلى ١٠ بالمائة عند هضم الحمأة الناتجة من الترسيب الابتدائي . وتعمل طريقة هضم الحمأة الهوائية على إزالة وتقليل الجراثيم بصورة كبيرة وذلك نسبة للبيئة القلوية السائدة والتي لها أثر كبير في التخلص من البكتريا .

إن إنتاج الغاز الحجمي Volumetric Gas Production أو ما يسمى بالإنتاج النوعي للغاز Specific Yield من جهاز هضم الحمأة اللاهوائي يمكن إيجاده {١} من المعادلة (١) .

$$(١) \quad V_g = Y_t * V_S * [(1 - k_n) / (t * \mu_{\max} - 1 + k_n)] / t$$

حيث :

- V_g = معدل الإنتاج الحجمي للغاز = الإنتاج النوعي (م^٣ غاز / م^٣ هاضم/يوم) .
- Y_t = الإنتاج الأقصى للغاز (م^٣ غاز / كجم مواد صلبة طيارة مضافة) .
- V_S = درجة تركيز المواد الصلبة الطيارة للفضلات الداخلة للهاضم (كجم/م^٣) .
- k_n = ثابت حركي (لا بعدى) .
- t = زمن المكث الهايدروليكي (يوم) .
- $\mu_{\max}$ = أقصى معدل للنمو النوعي للكائنات الحية الدقيقة (على اليوم) .

مثال (١)

- أوجد الإنتاج النوعي للغاز الناتج من هاضم حمأة لاهواني مستخدما البيانات التالية :
- درجة تركيز المواد الصلبة الطيارة للفضلات الداخلة للهاضم = ١٥٠ كجم/م^٣ .
- زمن المكث الهايدروليكي = ١٤ يوم .
- أقصى معدل للنمو النوعي للكائنات الحية الدقيقة = ١, ٠ على اليوم على درجة حرارة ٢١ °م .
- الإنتاج الأقصى لغاز الميثان = ٤, ٠ م^٣ غاز/كجم مواد صلبة طيارة مضافة .
- الثابت الحركي = ١, ٤ .
- حجم الهاضم = ٥ متر مكعب .

الحل :

- ١ - المعطيات: $Y_t = ٤$ م^٣/غاز / كجم مواد صلبة طيارة مضافة ، $VS = ١٥٠$ كجم/م^٣ ،
 $k_n = ١$ ، $u_{max} = ٠$ ، على اليوم ، $t = ١٤$ يوم ، $T = ٢١$ م° .
 - ٢ - أوجد معدل الإنتاج الحجمي للغاز باستخدام المعادلة : $V_g = Y_t * VS * [(1 - k_n) / (t * u_{max} - 1 + k_n)] / t$
 $V_g = ٤ * ١٥٠ * [(1 - ١) / (14 * ٠ - 1 + ١)] / 14 = ٠$ م^٣/غاز/م^٣ هاضم/يوم .
 - ٣ - أوجد معدل الإنتاج الحجمي اليومي للغاز = $٠ * ١٤ = ٠$ م^٣/غاز .
- ويبين الجدول (١) أدناه بعض خصائص ومواصفات المخلفات التي تمت معالجتها بطريقة الهضم اللاهوائي { ٢ } .

جدول (١)
خصائص الحمأة المهضومة { ٢ }

المنشط	الحمأة جيدة الهضم	الحمأة رديئة الهضم
اللون	أسود	بنى أو رمادي
الرائحة	قطرانية	نتنة
الماء الطافي	شبه رائق	متعكر جدا
الغازات	كبيرة	خفيفة
الرقم الهيدروجيني	٦, ٦ إلى ٧, ٦	أقل من ٦
القلوية لبرتقال المثل	ليست أقل من ٢٠٠٠	أقل من ١٠٠٠
(ملجم / لتر $CaCO_3$)		
الأحماض الطيارة	قليلة	كثيرة

ويعطي الجدول (٢) أدناه بعض المعلومات العامة لتصميم طريقة الهضم اللاهوائي التقليدية .

جدول (٢)
معلومات تصميمية للهاضم اللاهوائي التقليدي { ١ ، ٢ ، ٤ ، ٥ }

العنصر	المقدار
حمل المواد الصلبة الطيارة (كجم/م ^٣ /يوم)	٢ إلى ٣ ، ٠
تفتت المواد الصلبة الطيارة (%)	٤٠ إلى ٥٠
انتاج الغاز (م ^٣ غاز/كجم مواد صلبة طيارة)	٢ إلى ٥ ، ١
المواد الصلبة للحمأة الداخلة (كجم/م ^٣ /يوم)	٥ إلى ٢
تفكك المواد الصلبة الكلية (%)	٣٠ إلى ٤٠
الرقم الهيدروجيني	٥ إلى ٦ ، ٤

٢٠٠٠ إلى ٣٥٠٠	درجة القلوية (ملجم/لتر)
٣٠ إلى ٩٠	زمن مكث المواد الصلبة (يوم)
٠, ١ إلى ٠, ١٧	حجم الهاضم (م ^٣ /الفرد)
	مكونات الغاز (%)
٦٥ إلى ٧٠	ميثان
٣٢ إلى ٣٥	ثاني أكسيد كربون
آثار قليلة	كبريتيد الهيدروجين
٣٠ إلى ٣٥	درجة الحرارة (م°)

٧ - ٢ نزع الماء من الحمأة

إن عملية نزع الماء طريقة طبيعية (ميكانيكية) تستخدم لتقليل محتوى النداعة من الحمأة ، لكل أو لأحد الأسباب الآتية :-

- ١ - تقليل حجم الحمأة والفضلات السائلة عند التخلص النهائي منها ، مما يترتب عليه خفض تكاليف الترحيل والنقل .
 - ٢ - تسهيل عملية مناولة الحمأة .
 - ٣ - تأخر عملية التفتت الحيوي عندما يحتاج إليها .
 - ٤ - زيادة القيمة الحرارية ، وذلك بنزع محتوى النداعة الزائد خاصة عند ترميد الحمأة .
 - ٥ - إزالة الرائحة الكريهة من الحمأة والطين .
 - ٦ - تقليل الناتج المنضوض leachate من موقع الردم الصحي .
- إن نزع الماء من الحمأة الناتجة من العديد من وحدات المعالجة يعد من الأمور الصعبة في هذا المجال . ليس هذا فحسب بل إن تكلفة نزع ومعالجة الحمأة والتخلص النهائي منها تمثل أكثر من ٥٠ بالمائة من التكلفة الكلية لإنشاء وتشغيل محطة معالجة الفضلات السائلة {٦} .
- إن التخلص النهائي من الحمأة والأوساخ ليس من العمليات السهلة في الوقت الحاضر ، غير أنها يمكن أن تحقن في الأرض في مناطق مصرح بها ، أو يمكن تحويلها كسماد طبيعي للإستصلاح الزراعي ، أو بيعها لتستخدم كسماد لنباتات ومزروعات الزينة وتحسين المناظر الطبيعية ، أو يتم التخلص منها بالترميد .
- عادة تحتوي الحمأة على درجات تركيز قليلة من المواد الصلبة ، والتي قلما تربو على ٦ بالمائة . ومن المعروف أن معظم وحدات المعالجة الثانوية تنتج مخلفات تكون درجة تركيز المواد الصلبة فيها في حدود واحد بالمائة . وهذا يوضح جلبا أهمية نزع الماء من الحمأة .

طرق نزع الماء من الحمأة :

إن طرق نزع الماء من الحمأة عددية المنحى ، ومدرج أدناه موجز لأكثر هذه الطرق شيوعا .

١ - مفرش التجفيف (أحواض التجفيف) Drying Beds : (أنظر شكل ١)

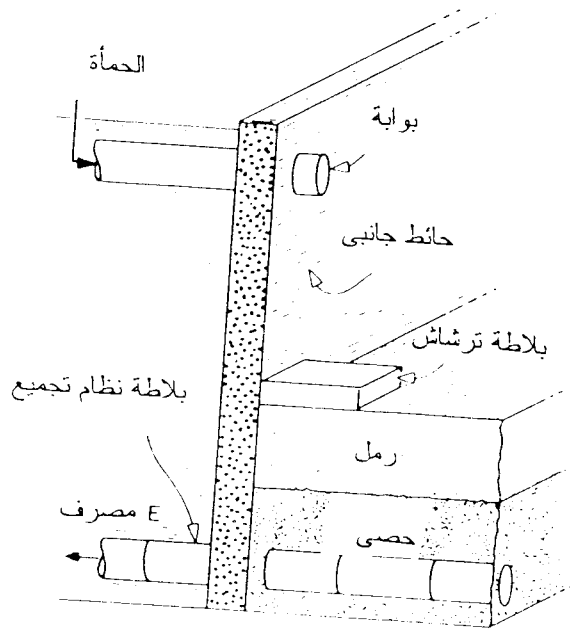
وهذه الطريقة مستخدمة كثيرا لإزالة الماء . وفيها يؤتى بالأوساخ المراد إزالة الماء منها بالضغط أو بأي وسيلة أخرى لتوضع على مفرش التجفيف . ويتم إزالة الماء إما بالتبخير أو التسرب أو بكتلتا الطريقتين . وتتأثر مفرش التجفيف بعوامل الطقس بصورة كبيرة . والمفرش الجديدة تصنع باستخدام الخرسانة ويستغل الطوب كأرضية . وتجمع المياه المتسربة لتعاد الى محطة المعالجة ، ويجب التأكد من عدم دفعها إلى أي مصدر مائي لتفادي التلوث . أما أرضية المفرش العديمة النفاذية فتغطي بطبقة من المواد أو مخلفات الفحم المحترق أو أي مواد ذات نفاذية . عادة توضع الأوساخ فوق المفرش ليتم تجفيفها في مدة قد تبلغ ٦ أشهر ، إعتقادا على الظروف المناخية وطبغرافية المنطقة . ويمكن تقليل زمن التجفيف بإضافة مروبات مثل أملاح الحديد أو الألمنيوم . وتعتمد هذه الطريقة على درجة الرطوبة ، وسرعة الرياح ، وشكل وموضع المفرش ، كما وتعتمد على طبيعة مكونات الأوساخ ، وحجم الحبيبات ، وشكل وحجم الحبيبات الداخلة الى المفرش . وأيضا يؤثر شكل وعمق المفرش ، مقارنة مع دفع الهواء ، على سرعة التجفيف وكفاءة مفرش التجفيف .

٢ - مرشح ضغط المكبس Pressure Filter : (أنظر شكل ٢)

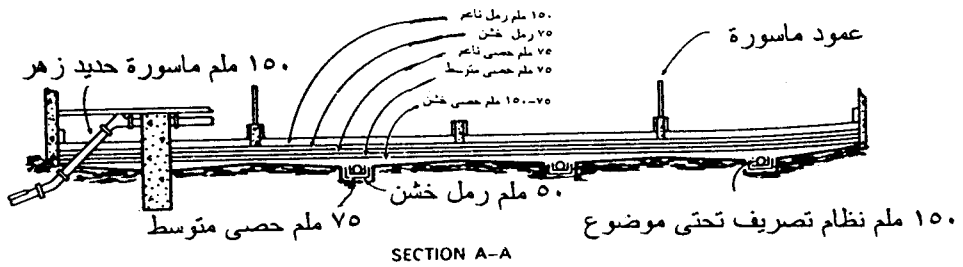
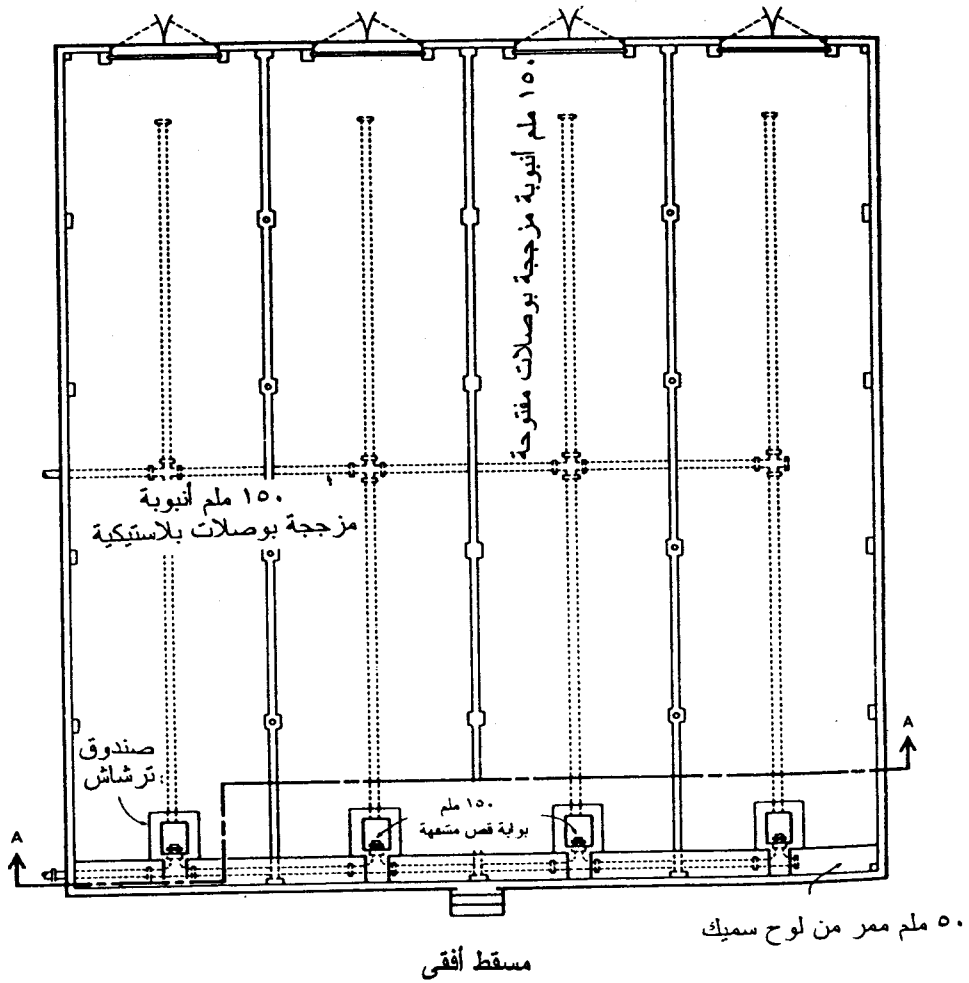
في مرشح المكبس يعول على قوى ضاغطة لإزالة الماء من الأوساخ . وتتكون طبقة الترشيح من مجموعة من الألواح ، أو من الصفائح مع بطانة تعمل كطبقة ترشيحية . وعادة تضاف بعض المواد المنشطة للحماة لإتمام العملية الترشيحية ومن ثم تضخ لجهاز المرشح ، الذي تقوم فيه طبقة الترشيح بحجز الأوساخ . أما السائل فيجد طريقه عبر الوسط الترشيحي لمنافذ خروجه . وتصمم وحدات مرشح ضغط المكبس لتعمل تحت ضغط يتراوح بين ٤٢٠ إلى ٨٤٠ كيلو نيوتن على المتر المربع . ولا بد من العمل على أخذ العجينة من طبقة الترشيح ليتم التخلص منها بطريقة مثلى وسليمة . ويتراوح زمن الترشيح بين ٣ إلى ٨ ساعات . كما وأن المحتوى الرطوبي يصل إلى ٥٥ أو ٦٠ بالمائة . ومن محاسن هذه الطريقة أنها تنتج أوساخ قليلة المحتوى الرطوبي ، كما وأنها زهيدة في تكلفة الإنشاء ، ويحتوي السائل الخارج منها على درجات تركيز قليلة من المواد الصلبة العالقة . غير أن عدم استمرارية هذه الطريقة يحد من إنتشار إستخدامها .

٣ - التفريغ الهوائي Vacuum Filtration (أنظر شكل ٣)

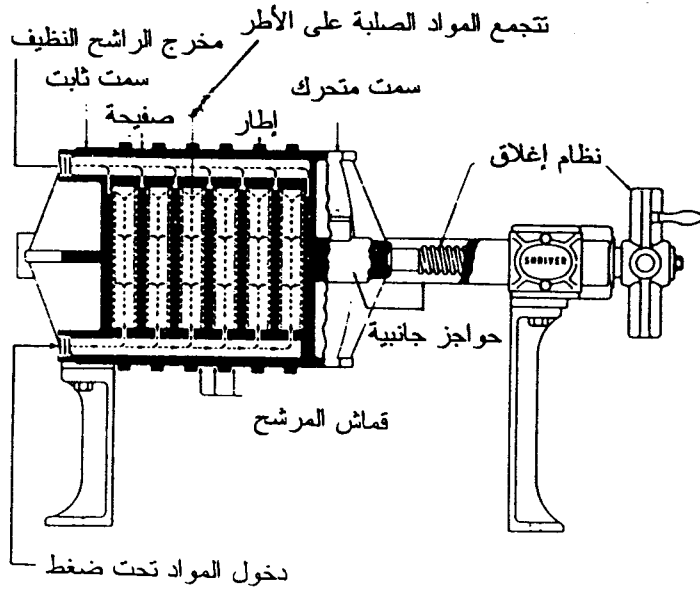
وتقوم هذه الطريقة بإزالة الماء من المخلفات بواسطة التفريغ . وهذه العملية مستمرة لتنتج كعكة قليلة المحتوى الرطوبي . وتعمل الطريقة بجهاز توجد به طبلة مجوفة من المعدن ، مغطاة بقماش معدني أو معادن مثقبة . عند ترشيح الحماة فإن سطح الطبلة الخارجي يكون مغطى بالطبقة الترشيحية (المكونة من بطانة من الصوف أو التريلين أو النيلون) . وتوجد أنابيب بداخل الطبلة . ويعمل التفريغ الهوائي على إزالة الماء من الفضلات عند دوران الجهاز ، كما ويعمل على نقل الحماة سير متحرك .



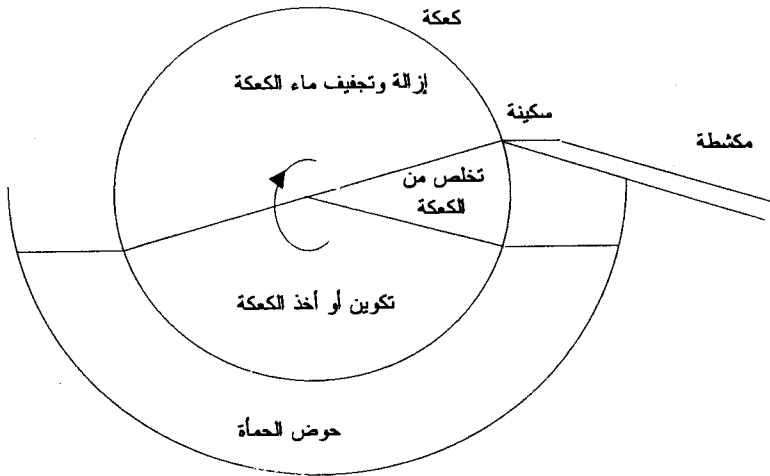
شكل (١-أ) مفرش تجفيف الحمأة {١٠}



شكل (١-ب) مفرش التجفيف {١١}



شكل (٢) مرشح ضغط المكبس {١٢}



شكل (٣)
مرشح التفريغ الهوائي {١٠،٥،٢}

ومن الناحية النظرية فإن أقصى ضغط يسمح به يكون في حدود ٦٨. ٩٥ كيلو نيوتن/متر مربع . وهناك عدة عوامل تؤثر في كفاءة هذه الطريقة لإزالة الماء منها :- خصائص ونوع الأوساخ ومحتواها الرطوبي ، والمواد المساعدة والمنشطة المستخدمة في العملية الترشيحية ، وطبيعة ونوع وخصائص طبقة الترشيح ، والعوامل التشغيلية الهامة مثل : سرعة الترشيح والضغط عبر طبقة الترشيح ... الخ . وعامة فإن المحتوى الرطوبي للمخلفات المزال منها الماء بطريقة التفريغ الهوائي أعلى من تلك المزال منها الماء بطريقة الترشيح تحت الضغط . وهذا يعني أنه إذا اقتضى الحال إزالة كميات أخرى من الماء (من الأوساخ الناتجة من طريقة التفريغ الهوائي) فإن المحتوى الرطوبي لها ربما يحول دونما الاستخدام الأمثل لهذه الطريقة .

الطرد المركزي Centrifugation

يعرف نزع الماء بالطرد المركزي على أنه " عملية ترسيب تحت تأثير قوى أكبر من قوى الجاذبية الأرضية " . وتستخدم طرق الطرد المركزي عندما تكون الجسيمات صغيرة جدا ، مما لا يساعد في بدء الترسيب ، غير أن حجمها يسمح بالانتشار . إن القوى التي تعمل على الجسيمات هي قوى الطرد المركزي وقوى احتكاك استوك .

والطاردات المركزية أساسا عبارة عن أجهزة ترسيب . وفي مثل هذه الأجهزة تعمل قوى الطرد المركزية على الحبيبات العالقة في الحمأة ، مما يرغمها على الترسيب خلال الجزء السائل . ويمكن أن تزيد قوى الترسيب المؤثرة على الحبيبات الصلبة بضعة مرات عند دوران وعاء الترسيب بسرعة عالية . ومن العوامل المؤثرة على كفاءة وعاء الطرد المركزي : درجة تركيز المواد الصلبة العالقة ، شكل وحجم الحبيبات ، والإستحلال Solvation والعوامل الكهروستاتيكية ، ودرجة اللزوجة والكثافة النوعية .

الترويق (التصويل) Elutriation

يعنى الترويق عملية غسل الحمأة بالفضلات السائلة المترسبة أو المعالجة حيويا . ويتم استخدام الترويق لتغيير مكونات الوسط السائل الملامس لجسيمات الحمأة . ويتم إزالة الكربونات والفوسفات من الحمأة أثناء عملية مزج الحمأة والسائل التروريقي . كما ويتم أيضا إزالة نواتج التفتيت والحبيبات الناعمة الغير قابلة للترسيب . وينتج من هذه العملية حمأة مسامية ، وتقل احتياجات المواد المهيأة والمساعدة Sludge Conditioner {٨} . وأكبر معضلة في طريقة الترويق هي كمية المواد الصلبة المعادة لمحطة المعالجة .

وتعمل طريقة الترويق على إزالة القلوية ، وتقليل درجات تركيز الحبيبات الناعمة ، وإزالة فقاعات الغاز مما يساعد على زيادة كفاءة الترسيب . ويمكن نقل الحمأة خلال مرحلة واحدة من الترويق أو خلال عدة مراحل .

وتؤثر عوامل عديدة على عملية نزع الماء من الحمأة مثل : وجود تراكيز من الحبيبات الناعمة وتركيز المواد الصلبة ومقاس الحبيبات ، وقوى القص ، ومكونات البروتين ، والرقم الهيدروجيني ، وشحنة الحبيبات الكهربائية ، ومحتوى النفاذية ، والمواد المساعدة في الترشيح والتهينة ، والهضم اللاهوائي .

ترشيح الحمأة Sludge Filtration

ولمعرفة ما إذا كانت عملية نزع الماء من الحمأة سهلة أم صعبة ، فقد استخدم معيار المقاومة النوعية Specific Resistance. وتعرف المقاومة النوعية بأنها 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 نزع الماء فيمكن استخدام معادلة كوكلي وكارمان {٩،٨،٧،٦،٤،٣} المبينة في المعادلة ٢ .

$$(٢) \quad dv/dt = p \cdot A^2 L [\mu \cdot (r \cdot C \cdot V + R_m \cdot A)]$$

حيث :

V - حجم الراشح (م^٣) .

t - زمن الترشيح (ث) .

p - الضغط المستخدم (نيوتن / م^٢ ، باسكال) .

A - مساحة ورقة الترشيح (م^٢) .

μ - معامل لزوجة الراشح (نيوتن*ث/م^٢) .

r - معامل المقاومة النوعية (م/كجم) .

C - درجة تركيز المواد الصلبة في الحمأة (كجم/م^٣) .

R_m - مقاومة طبقة الترشيح (م/) .

وبتكامل المعادلة (٢) لضغط ثابت تنتج العلاقة الموضحة في المعادلة ٣ .

$$(٣) \quad t/V = (\mu \cdot r \cdot C / 2p \cdot A^2) \cdot V + \mu \cdot R_m / p \cdot A$$

ويمكن وضع المعادلة ٣ في صورة معادلة خط مستقيم كما مبين في المعادلة ٤ .

$$(٤) \quad x = b \cdot t + a$$

حيث :

a, b - حد ثابت ، يمكن إيجادها برسم بياني للمتغيرات t/V مع V ، ويمثل a ميلان الخط المستقيم

الناتج ويمثل b مقطع هذا الخط مع المحور الرأسي .

$$(٥) \quad b = \mu \cdot r \cdot C / 2 \cdot p \cdot A^2$$

$$(٦) \quad a = \mu \cdot R_m / p \cdot A$$

ومن المعادلة ٥ يمكن إيجاد المقاومة النوعية كما موضح في المعادلة ٧ .

(٧)

$$r = 2b \cdot p \cdot A^2 / \mu \cdot C$$

ويبين الجدول (٣) أدناه صورة عامة لقيم معامل المقاومة النوعية وقابلية الحماة لنزح الماء منها .

جدول (٣)

خواص الحماة وعلاقتها بمعامل المقاومة النوعية { ٥ ، ٤ }

خواص الحماة	معامل المقاومة النوعية (م/كجم)
سهولة الترشيح	١١ ١٠ إلى ١١ ١٠
صعوبة الترشيح	١٥ ١٠ إلى ١٤ ١٠

وعادة فإن المقاومة النوعية لمعظم المخلفات السائلة تتغير بتغير الضغط طبقا للعلاقة المبينة أدناه .

(٨)

$$r = r' \cdot p^s$$

حيث :

r = معامل المقاومة النوعية للترشيح تحت الضغط P (م/كجم) .

r' = ثابت .

p = الضغط (نيوتن / م^٢) .

s = معامل الإنضاضغية (يتغير ما بين صفر إلى ١) .

ويمكن أن توضع المعادلة (٨) في الصورة المبينة في المعادلة (٩) .

(٩)

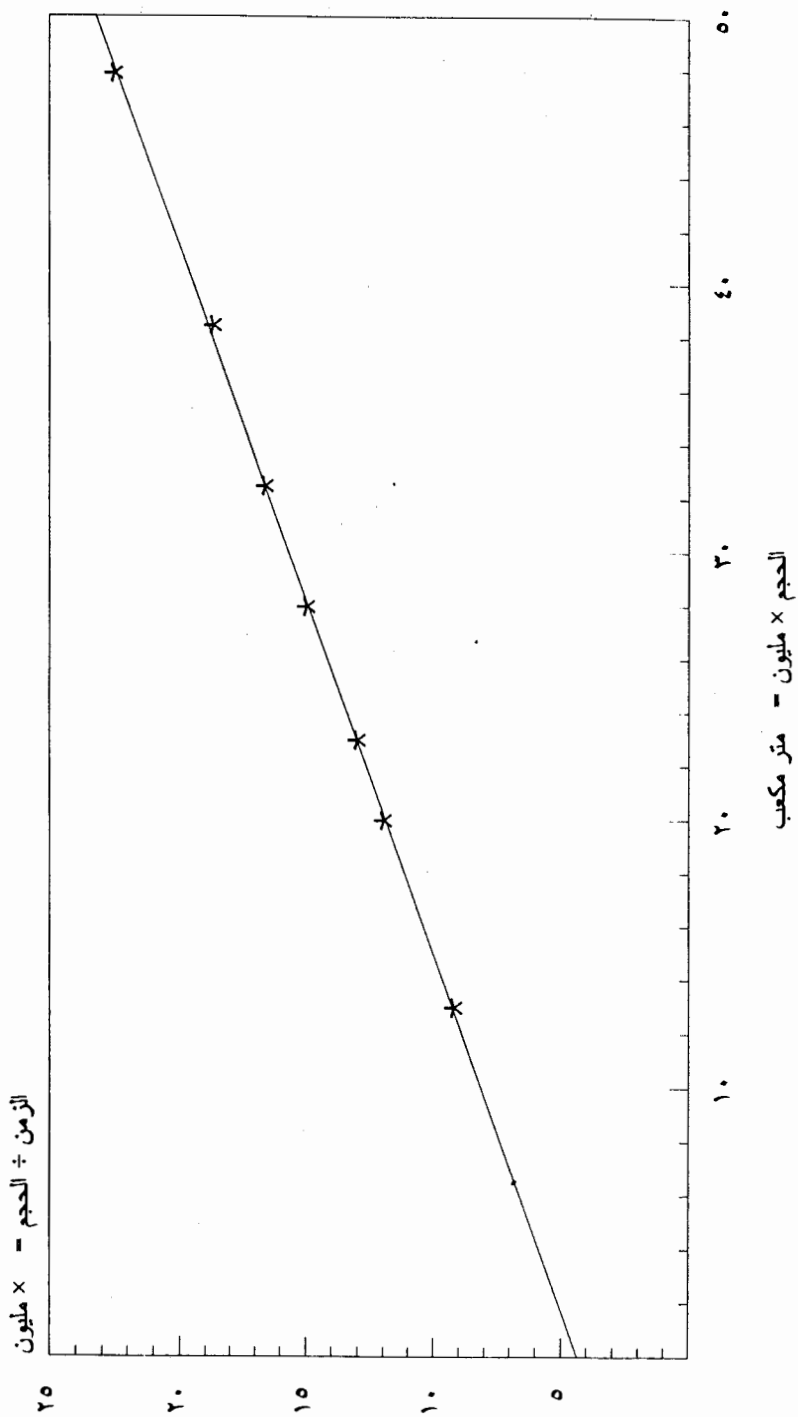
$$\text{Log } r = s \cdot \text{Log } P + \text{Log } r'$$

وعند رسم لو r (Log r) كدالة في لو P (Log P) فإنه ينتج خط مستقيم له ميلان s .

مثال (٢)

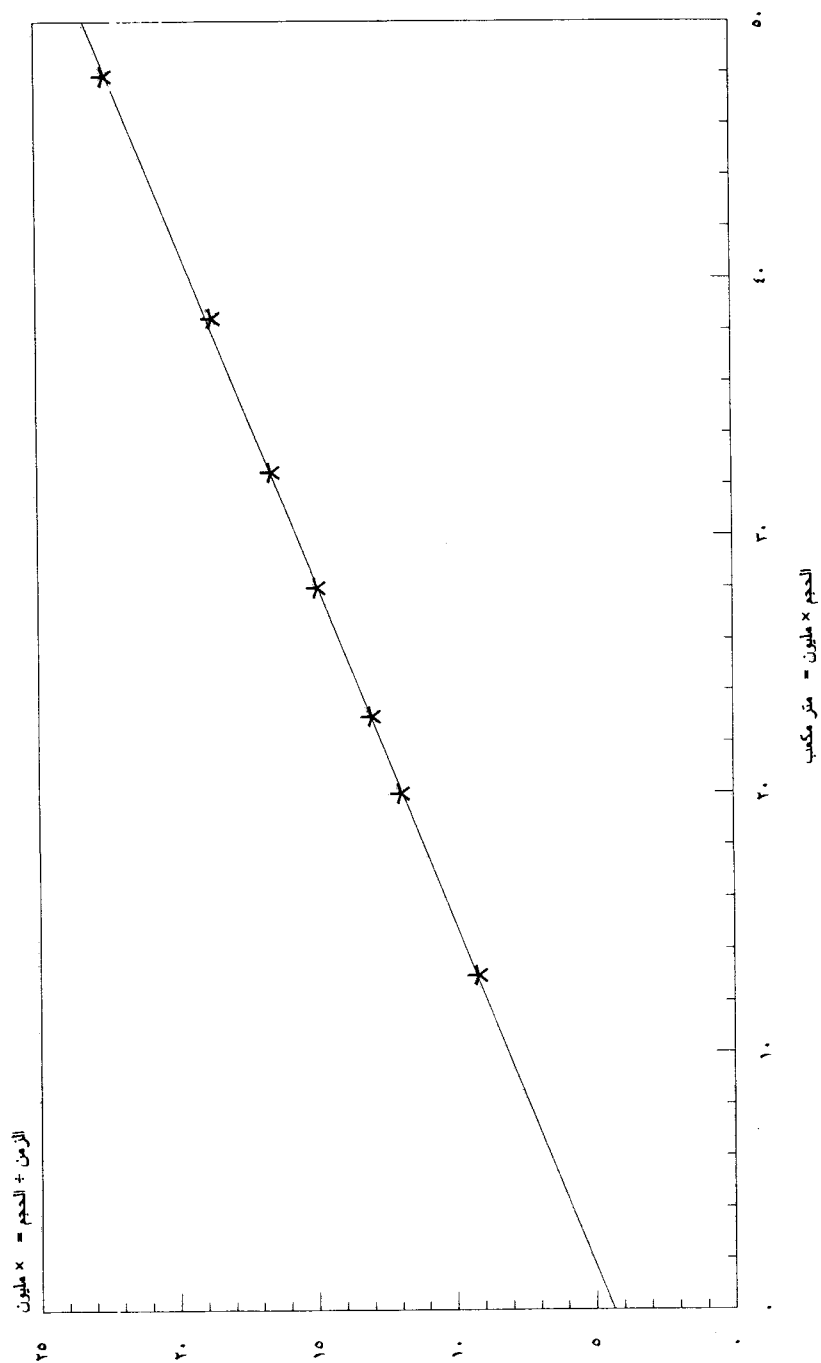
في اختبار قياس المقاومة النوعية باستخدام قمع بكنر لعينة من الحماة وجدت المقادير المبينة أدناه :

الزمن (دقيقة)	٢	٤	٥	٧	٩	١٢	١٨
حجم الراشح المجمع (مللتر)	١٣	٢٠	٢٣	٢٨	٣٢, ٥	٣٨, ٥	٤٧, ٩



مثال ٢ نزح الماء من الحمأة

مثال ٢ نزح الماء من الحماة



أوجد معامل المقاومة النوعية للأوساخ علما بأن :

التفريغ الهوائي المستخدم = ٦٩ كيلو باسكال

درجة لزوجة الراشح = ١, ٠٢٧ * ١٠^{-٣} نيوتن * ث/م^٢

حجم العينة المأخوذة = ٥٠ مللتر

تركيز المواد الصلبة = ٦٪

مساحة ورقة ترشيح واتمان رقم ١ = ٨ * ٣ * ١٠^{-٣} م^٢ .

هل تعتقد أن هذه الحمأة يسهل إزالة الماء منها بالتفريغ الهوائي ؟ لماذا ؟

الحل :

- ١ - المعطيات: القيم المبينة في الجدول لتغير حجم الراشح المجمع مع الزمن ، $p = ٦٩$ كيلو باسكال ، $u\mu = ١, ٠٢٧ \times ١٠^{-٣}$ نيوتن * ث/م^٢ ، $V = ٥٠$ مللتر ، $C = ٦٠$ كجم/م^٣ ، $A = ٨ \times ٣ \times ١٠^{-٣}$ م^٢ .
- ٢ - أوجد قيم t/V كما موضح أدناه :

الزمن (دقيقة)	٢	٤	٥	٧	٩	١٢	١٨
حجم الراشح المجمع (مللتر)	١٣	٢٠	٢٣	٢٨	٣٢, ٥	٣٨, ٥	٤٧, ٩
الزمن / حجم الراشح المجمع $(t/V) \times ١٠^{-٦}$ (ث / م ^٣)	٩, ٢	١٢	١٣	١٥	١٦, ٦	١٨, ٧	٢٢, ٥

- ٣ - أرسم قيم t/V مع V ، ثم أوجد ميلان الخط المستقيم الناتج ليساوي : $b = ٨ \times ٣ \times ١٠^{-١١}$ م^٣/ث
- ٤ - أوجد معامل المقاومة النوعية من المعادلة : $r = 2b * p * A^2 / u * C$
- ٥ - وبمقارنة هذه القيمة للمقاومة النوعية مع القيم الموضحة على الجدول ٣ يمكن القول بأن هذه العينة من الحمأة سهلة الترشيح نسبيا .

اختبار معامل المقاومة النوعية

يتم اختبار معامل المقاومة النوعية بعمل ترشيح لعينة من الحمأة في قمع بكنر Buchner كالآتي :

- ١ - تحدد درجة تركيز المواد الصلبة في الحمأة .
- ٢ - يتم وضع ورقة ترشيح واتمان Whatman رقم ١ في قمع الترشيح وتبلل الورقة بقطرات من الماء المقطر لتثبيتها .
- ٣ - يوصل التفريغ الهوائي لإزالة الماء الزائد من ورقة الترشيح .
- ٤ - توضع العينة برفق في أعلى ورقة الترشيح .

٥ - يتم ايصال التفريغ الهوائي ويبدأ قياس الزمن بساعة ضبط .

٦ - يجمع الحجم الراشح في أسطوانة مدرجة .

٧ - يسجل حجم الراشح المتجمع والزمن اللازم لجمعه .

٨ - تسجل درجة حرارة الراشح لإيجاد درجة اللزوجة .

يبين الشكل (٤) رسم مبسط لجهاز قياس المقاومة النوعية .

زمن السحب الشعري (CST) Capillary Suction Time

زمن السحب الشعري هو الزمن اللازم للماء ليتم نزحه من الحمأة على نشافة . ونزح الماء بهذه الطريقة يمكن اعتباره عملية ترشيحية . وكلما قل زمن السحب الشعري كلما كبرت درجة ترشيح الحمأة . وتعنى الأرقام الكبيرة لزمن السحب الشعري أن هنالك معوقات تحول دونما ترشيح الحمأة قيد الاختبار .

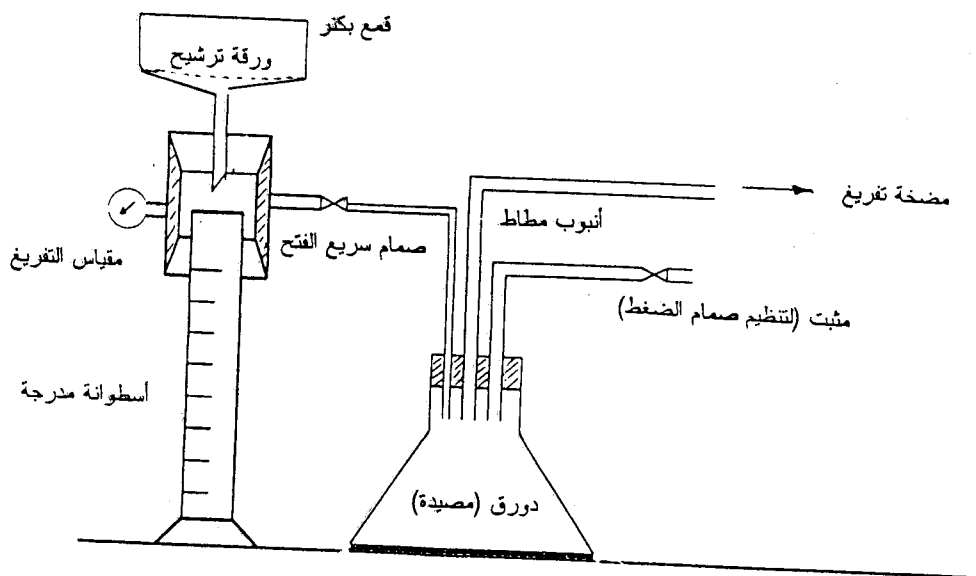
يبين شكل (٥) جهاز قياس زمن السحب الشعري

ويعطي جدول (٤) صورة عامة عن قيم زمن السحب الشعري لعدة أنواع من الحمأة .

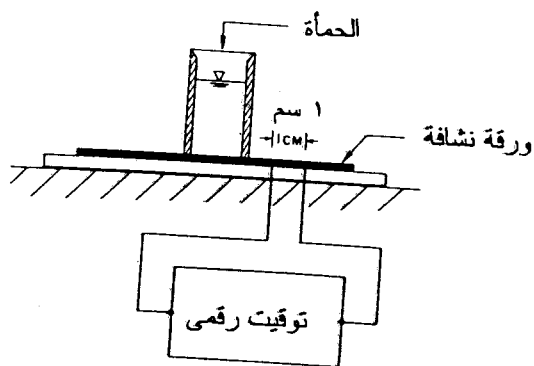
جدول (٤)

زمن السحب الشعري لأنواع من الحمأة {٥}

نوع الحمأة	من السحب الشعري
الحمأة الأولية	٧٠
الحمأة المهضومة	٥٠
الحمأة المهينة	٢٠
الحمأة النشطة	١٠



شكل (٤) جهاز قياس المقاومة النوعية {١٣، ١٤}



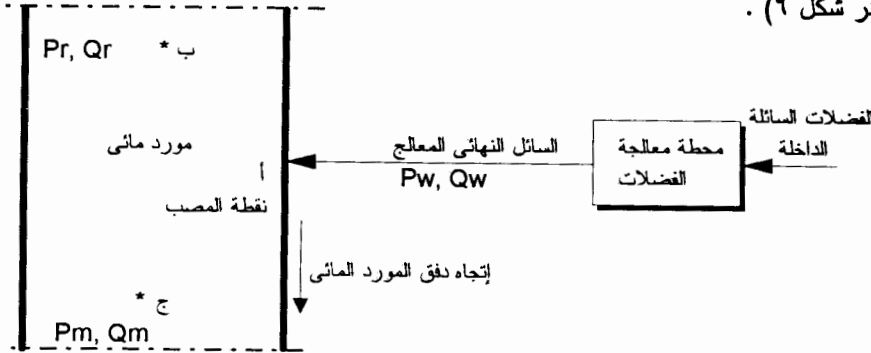
شكل (٥) جهاز قياس زمن السحب الشعري {١٤}

٧ - ٣ طرق التخلص من السائل النهائي

٧ - ٣ - ١ التخلص بالتخفيف Dilution

لا تعتبر طريقة التخفيف من الأساليب المثلى للتخلص من السائل النهائي النابع من محطات المعالجة، غير أن هنالك نسب قليلة من السائل النهائي، المخفف الناتج من الفضلات السائلة والسائل النابع من محطات معالجة الفضلات السائلة يجدا طريقهما لموارد المياه . وطريقة التخلص هذه لها آثار طبيعية وكيميائية وحيوية على مورد المياه المستقبل لها. وقد وضعت العديد من النماذج الرياضية لمعرفة الآثار الناجمة من محتويات السائل على موارد المياه (مثل الأنهار والبحار والبحيرات والبرك والخلجان وغيرها من المياه). وتعتمد طريقة التخفيف في فعاليتها على طرق المعالجة الطبيعية الموجودة في موارد المياه والتي تعتمد بدورها على العديد من العوامل المؤثرة والمتداخلة فيما بينها ، مثل كمية وخواص الفضلات، والسائل النهائي، ودفق مورد المياه، وحركة ونوعية المياه بالمورد، ودرجة الأكسجين المذاب المتاحة، وكفاءة التنقية الذاتية وطرق استخدام المياه أدنى نقاط مصب السائل النهائي . ولحساب مقدار السعة التخفيفية في المورد (المستقبل للسائل النهائي) يمكن اعتماد طريقة اتزان الكتلة للدفق الداخل والخارج من المورد المائي .

وبافتراض أن السائل النهائي يحتوى على ملوث بتركيز P_w وأنه ينساب بحجم دفق يعادل Q_w في طريقه الى مورد مائي يتدفق بمعدل Q_r ويحمل درجة تركيز P_r (من نفس الملوث)، يمكن حساب درجة تركيز الملوث أدنى نقطة المصب كما مبين في المعادلة ١٠ الناتجة من موازنة الكتل الداخلة عند النقطة أ (انظر شكل ٦) .



شكل ٦
رسم تخطيطي لطريقة التخلص النهائي بالتخفيف

(١٠)

$$P_w * Q_w + P_r * Q_r = P_m * Q_m$$

حيث :

P_w = درجة تركيز الملوث الصادر من محطة المعالجة أو السائل المتخلص منه (ملجم/ لتر) .

Q_w = دفع السائل النهائي (م^٣/ث) .

P_r = درجة تركيز الملوث أعلى نقطة المصب (أ)، أو درجة تركيز الملوث فى المجرى المائى قبل نقطة المصب (أ) (أى درجة التركيز عند النقطة ب) (ملجم/لتر) .

Q_r = دفع المجرى المائى (م^٣/ث) .

P_m = درجة تركيز الملوث أدنى نقطة المصب، أو تركيز الملوث فى الخليط من المجرى المائى والسائل النهائي بعد النقطة (أ) (أى درجة التركيز عند النقطة ج) (ملجم/لتر) .

Q_m = الدفع المختلط من السائل النهائي ودفع المورد المائى (م^٣/لتر) . وهذا المقدار يمكن إيجاده من المعادلة ١١ .

$$(١١) \quad Q_m = Q_w + Q_r$$

وبتعويض المعادلة ١١ فى المعادلة ١٠ ينتج :

$$(١٢) \quad P_m * [1 + (Q_r / Q_w)] = P_w + P_r * (Q_r / Q_w)$$

وتسمى المعادلة ١٢ بقانون التخفيف .

مثال (٣)

تبلغ قيمة الحاجة الحيا كيميائية للأكسجين فى السائل النهائي الصادر من منشأة ما ٤٠ ملجم/لتر، وتتساب بمعدل إندفاق يساوى ٤ م^٣/ث، لتجد طريقها فى مورد مائى مجاور. إذا كانت قيمة الحاجة الحيا كيميائية للأكسجين فى المورد المائى تبلغ ٥ ملجم/لتر ، وينساب الماء خلال المورد بمعدل دفع يبلغ ١٢٠٠ م^٣/الدقيقة. أوجد قيمة الحاجة الحيا كيميائية للأكسجين فى الخليط أدنى نقطة المصب .

الحل :

$$١- المعطيات: BOD_w = ٤٠ \text{ ملجم/لتر} , \quad Q_w = ٤ \text{ م}^٣/\text{ث} , \quad BOD_r = ٥ \text{ ملجم/لتر} , \quad Q_r = ١٢٠٠ \div ٦٠ = ٢٠ \text{ م}^٣/\text{ث} .$$

٢- أوجد نسبة معدل دفع المورد المائى للسائل النهائي :

$$Q_r \div Q_w = ٢٠ \div ٤ = ٥ .$$

٣- استخدم قانون التخفيف لإيجاد الملوث أدنى نقطة المصب :

$$BOD_m * [1 + (Q_r / Q_w)] = BOD_w + BOD_r * (Q_r / Q_w)$$

$$٥ \times ٥ + ٤٠ = (٥ + ١) \times P_m$$

$$P_m = ١٠,٨ \text{ ملجم/لتر} .$$

٧ - ٣ - ٢ التخلّص من السائل النهائي فى موارد المياه الطبيعية

يمكن أن يتم التخلّص من السائل النهائي فى الأنهار وموارد المياه الطبيعية بعد أخذ الحيطة والحذر من مشاكل التلوث الكبيرة والمخاطر التى يصعب معها معالجة التلوث الناجم. وبذا عندما يتم التخلّص من السائل النهائي الصادر من محطات معالجة تقوم المياه الطبيعية بتخفيف درجات تركيز الملوثات الخطرة والسامة والتى تؤثر على الصحة العامة أو تلك التى تعوق عمليات التنقية الذاتية للمجرى المائى. ولابد من تلافي الآثار الضارة على المورد المائى والمحافظة على الحياة المائية الموجودة به وعدم تلوث المورد بدرجة لا تسمح باستخدامه من قبل المستهلكين أدنى نقاط المصب، والتأكد بأن التخلّص من السائل النهائي لا يغير من لون أو طعم أو رائحة المورد أو يقود الى موت ودمار الحياة المائية من حيوانات ونباتات وكائنات حية وبما لا يقود الى تراكم الملوثات وتداخلها فى السلسلة الغذائية التى ربما وصلت الى الإنسان وأنت معها بأمراض ومشاكل صحية لعامة المستهلكين. ويبين الجدول (٥) بعض أنماط تقسيم الأنهار حسب قيمة الحيا كيميائية للأكسجين والمواد الصلبة العالقة وكمية الأكسجين الذائب .

تتأتى مصادر تجديد وزيادة الأكسجين فى الأنهار من مصدرين أساسيين هما :

- ١- إعادة التهوية من الغلاف الجوى ، و
- ٢- التمثيل الضوئى من النباتات المائية والطحالب .

وعندما تهبط كمية الأكسجين المذاب الى أقل من درجة تركيز التوازن فإن حركة الغاز تتساقط من حيز الغاز المحيط الى حيز الماء. ويسمى الفارق بين درجة تركيز الأكسجين عند التوازن ودرجة تركيز الغاز الحقيقية " نقصان الأكسجين " . ودرجة إعادة التهوية داخل النهر تتناسب طرديا مع نقصان الأكسجين المذاب. أما كمية الأكسجة الناتجة من عملية التمثيل الضوئى فتعتمد على عدة عوامل مثل حجم مستوطنات الطحالب، وكمية أشعة الشمس الواصلة الى خلايا الطحالب. ويزيد مقدار الإشعاع الهابط فى حالة تعامد الشمس عن مقداره عندما تميل الشمس الى الأفق مما يجعل معدل التمثيل الضوئى ذا نموذج جيبيى. وكثرة الوجود اليومي لمستعمرات الطحالب يؤدى الى فقد فى درجات تركيز الأكسجين. ويبين الشكل (٧) أدناه الأثر اليومي للطحالب على الأكسجين المذاب .

(أ) التعرية من الغلاف الجوى

ويمكن إيجاد معدل التهوية من المعادلة ١٣

$$r_r = k''(c_s - c) \quad (١٣)$$

حيث :

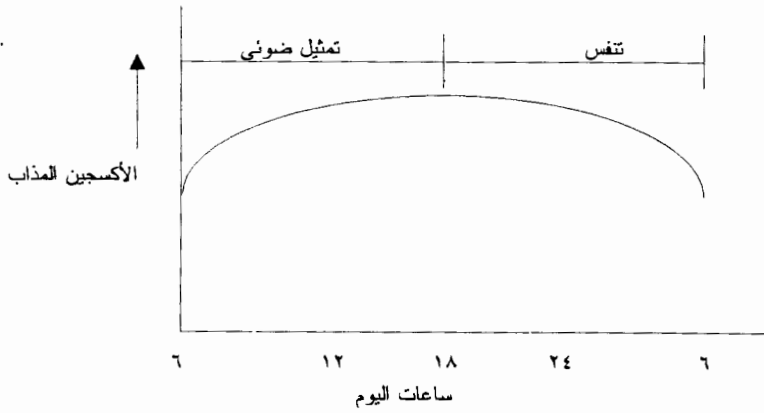
r_r = معدل إعادة التهوية .

k'' = ثابت إعادة التهوية (على اليوم) للأساس e .

c_s = درجة تركيز الأكسجين عند التشبع (ملجم/ لتر) .

جدول ٥
نظم تقسيم الأنهار {٥، ٤، ٢}

المنشط	قيمة الحاجة الحيا كيميائية للأكسجين BOD _٥ ^٢ (ملجم/ لتر)	المواد الصلبة العالقة (ملجم/ لتر)	النسبة المئوية لقيمة الأكسجين لذائب الى درجة التركيز (%)
تطيف جدا	١ >	٤ >	٩٠ >
تطيف	٢	١٠	٩٠ - ٧٥
تطيف نسبيا	٣	١٥	٧٥ - ٥٠
مشكوك فيه	٥	٢١	٥٠ >
ضعيف	٧,٥	٣٠	
سئ	١٠	٣٥	
سئ جدا	٢٠	٤٠	



شكل (٧)
أثر الطحالب اليومية على الأكسجين المذاب {١١، ٢}

c = درجة تركيز الأكسجين (ملجم/ لتر) .

يمكن تقدير ثابت إعادة التهوية "k بمعرفة مواصفات النهر وباستخدام معادلة أوكونر ودوبنس O'Conner & Dobbins {٢، ١١، ١٧}، كما مبين فى المعادلة ١٤ .

$$(١٤) \quad k'' = 294 \cdot (C_{MD} \cdot v)^{0.5} / h^{1.5}$$

حيث :

C_{MD} = ثابت الانتشار الجزئى للأكسجين (م^٣/ يوم) .

v = السرعة المتوسطة للنهر (م/ ث) .

h = العمق المتوسط للنهر (م) .

أما ثابت الانتشار الجزئى للأكسجين فيعتمد على درجة الحرارة ويمكن إيجاده من المعادلة ١٥ :

$$(١٥) \quad (C_{MD})_T = (C_{MD})_{20} \cdot (T_C)^{T-20}$$

حيث :

$(C_{MD})_T$ = ثابت الانتشار الجزئى للأكسجين فى درجة حرارة T .

$(C_{MD})_{20}$ = ثابت الانتشار الجزئى للأكسجين فى درجة حرارة ٢٠ م (عادة يساوى ١,٧٦ * ١٠^{-٤}) .

T_C = معامل تصحيح الحرارة (وعادة ما يكون مقداره ١,٠٣٧) .

T = درجة الحرارة (م°) .

ويبين الجدول (٦) أدناه صورة عامة لثابت إعادة التهوية لعدة موارد مياه .

جدول (٦)

ثابت إعادة التهوية { ٥ ، ١١ ، ٢٦ }

ثابت إعادة التهوية (لدرجة حرارة ٢٠ مئوية وللأساس e)	مورد الماء
٠, ٢٣ - ٠, ١	برك صغيرة
٠, ٣٥ - ٠, ٢٣	بحيرات كبيرة
٠, ٤٦ - ٠, ٣٥	أنهار كبيرة بطيئة السرعة
٠, ٦٩ - ٠, ٤٦	أنهار كبيرة عادية السرعة
١, ١٥ - ٠, ٦٩	أنهار سريعة
أكبر من ١, ١٥	شلالات

أما قيمة k فتتغير بتغير الحرارة كما موضح فى المعادلة ١٦

$$(16) \quad (k'')_T = (k'')_{20} * (T_c)^{T-20}$$

حيث :

$(k'')_T$ = ثابت إعادة التهوية لدرجة الحرارة T (على اليوم) .

$(k'')_{20}$ = ثابت إعادة التهوية لدرجة الحرارة 20°C (على اليوم) .

T_c = معامل تصحيح درجة الحرارة، (عادة يؤخذ قيمته لتساوى 1.024) .

T = درجة الحرارة $^\circ \text{C}$.

أما نقصان كمية الأكسجين للأنهار فترجع الى أن الأكسجة الحيوية للمواد العضوية الصلبة العالقة والمواد الذائبة فى المورد المائى تكون بفعل النشاطات البشرية أو بصورة طبيعية .

(ب) احتياجات الأكسجين لأوساخ والحماة والمترسبات الموجودة فى قعر المورد المائى

أما كمية الأكسجين المطلوبة لأكسدة المواد العضوية فتتسب الى الحاجة الحيا كيميائية للأكسجين الموجود لمدة خمسة أيام BOD_5 . ويعتمد معدل استهلاك الأكسجين الذائب على تراكيز المواد العضوية، ومعدل التنفس، والسعة التخفيفية للمورد المائى . ويمكن ايجاد معدل إعادة التهوية من المعادلة ١٧ .

$$(17) \quad r_D = -k' * L$$

حيث :

r_D = معدل اعادة التهوية .

k' = ثابت معدل التفاعل (على اليوم) .

L = الحاجة الحيا كيميائية للأكسجين النهائى فى النقطة المعينة (ملجم/ لتر) .

$$(18) \quad L = L_0 * e^{-k't}$$

حيث :

L_0 = الحاجة الحيا كيميائية للأكسجين فى نقطة المصب (ملجم/ لتر) .

t = الزمن (يوم) .

وبتعويض المعادلة ١٨ فى المعادلة ١٧ ينتج المعادلة ١٩

$$(19) \quad r_D = -k' * L_0 * e^{-k't}$$

إن دخول الأحماض العضوية الى المورد المائى يرسب المواد عالية الكثافة فى قعر النهر مكونة طبقة أوساخ تعمل على استهلاك الأكسجين المذاب فى الماء خاصة عند الدفع البطئ للمورد المائى . تنفس

معظم هذه الأوساخ لاهوانيا بفعل الكائنات الحية الدقيقة فى قعر المورد المائى، كما وتخضع الأوساخ لتفاعلات حيوية هوائية تنشط عند نقطة تلامس الحمأة والماء المناسب فى المورد المائى. وتتغير معدلات الترسيب والجرف للمواد العضوية اعتمادا على سرعة حركة الماء فى المورد المائى، ودرجة الدفق المضطرب داخل المورد المائى، وخواص وكمية المواد المترسبة فى المنطقة .

ويمكن تقدير أثر كميات الطين والأوساخ العضوية والمترسبات بإستخدام المعادلات التجريبية مثل تلك التى طورت بواسطة فير ومور وتوماس {٢، ٥، ١٨} كما موضح فى المعادلة ٢٠ .

$$(٢٠) \quad L_m = \{B*(10^{-2}*L_0)*T_c*VS*(5 + 160*VS)*t^{0.5}\}/(1 + 160*VS)$$

حيث :

L_m = أعلى إحتياج للأكسجين بواسطة المواد المترسبة (جم/ م^٢) .

L_0 = الحاجة الحيا كيميائية للأكسجين BOD_5^{20} بواسطة المترسبات (جم/ كجم مواد طيارة) .

VS = المعدل اليومي لترسب المواد الطيارة (كجم/ م^٢) .

t = زمن الترسيب (يوم) .

T_c = معامل تصحيح درجة الحرارة ، والذي يمكن إيجاده من المعادلة ٢١

$$(٢١) \quad T_c = BOD_5^T / BOD_5^{20}$$

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 ٢٠ ° م .

وبأخذ العوامل المؤثرة فى أكسجة الأنهار (من إعادة التهوية والتمثيل الضوئى) فى الحسبان يمكن وضع نموذج مبسط للأكسجة كما فى معادلة استريتر وفيلبس المبينة فى المعادلة ٢٢ .

$$(٢٢) \quad d(OX)/dt = k'*L - k''*OX$$

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 النهائى فى النقطة المعينة (ملجم/ لتر) والذي يمكن إيجاده من المعادلة ١٨ .

$$(١٨) \quad L = L_0 * e^{-k*t}$$

وتشير معادلة استريتر وفيلبس الى نقصان كمية الأكسجين عند زيادة كمية الملوثات المتمثلة في قيمة الحاجة الحيا كيميائية للأكسجين. كما وتقل قيمة نقصان الأكسجين بعمليات إعادة التهوية .

غير أن أهم أوجه القصور في معادلة استريتر وفيلبس يمكن إدراجها في الآتي :

- ١- يتجاهل النموذج أثر إنتاج الأكسجين بعمليات التمثيل الضوئي بفعل الطحالب .
- ٢- لا يأخذ النموذج في إعتباره فقدان الأكسجين المستخدم في العمليات الحيوية للأوساخ والأحياء الموجودة بقعر المورد المائي .
- ٣- يفترض النموذج حدوث التلوث من مصدر واحد .
- ٤- لا يأخذ النموذج في الإعتبار العوامل الأخرى المؤثرة على الأحمال العضوية بالإضافة الى إعتبار القيمة الحيا كيميائية للأكسجين فيه .
- ٥- يفترض النموذج وجود حالة ثبات بطول مسافة التلوث في النهر .

ورغما عن أوجه القصور هذه إلا أن هذا النموذج يعتبر معقولا عند الإستخدام الحذر له. ويتكامل المعادلة ٢٢ وبإفترض أن قيمة نقصان الأكسجين تساوى OX_0 عند بداية الزمن ($t = 0$ صفر) تنتج المعادلة ٢٣ .

$$(23) \quad OX_t = \{[k' \cdot L_0 / (k'' - k')] * [e^{-k't} - e^{-k''t}]\} + (OX_0 * e^{-k''t})$$

حيث :

OX_t = كمية نقصان الأكسجين عند الزمن t (ملجم/ لتر) .

OX_0 = 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 الحيوى للمواد العضوية مباشرة بعد صب السائل النهائي في المورد النهري مستخدما الأكسجين المذاب. وعليه فإن إعادة التهوية من الغلاف الجوى تزيد بزيادة استخدام الأكسجين للعمليات الحيوية وتفتت المواد العضوية المحمولة مع الأوساخ. ولا يلبث هذا الوضع أن يصل الى نقطة يتساوى فيها معدل إستهلاك الأكسجين (للتفتت الحيوى) مع إعادة التهوية من الغلاف الجوى. وتسمى هذه النقطة بالنقطة الحرجة أو نقطة الإتران. ونسبة لأن معدل إعادة التهوية أكبر من معدل إستهلاك الأكسجين المذاب في المناطق أدنى النهر، فيقود هذا الوضع الى الزيادة في درجة تركيز الأكسجين وازمحلال أثر الملوث (وربما إنعدامه) أثناء عملية التنقية الذاتية للموارد المائية. وبذا يمكن تعريف التنقية الذاتية للأنهار على أنها قدرة مصدر المياه الطبيعي لتنقية نفسه بتفتت المواد العضوية وغيرها من الملوثات .

ومن المهم معرفة النقطة التى تضمحل فيها كمية الأكسجين المذاب وتدل هذه النقطة على أقصى معدل نقصان للأكسجين ينتج لمواكبة التنفس الحيوى أو ما يطلق عليها النقطة الحرجة. ويمكن إيجاد النقطة الحرجة بوضع معدل نقصان الأكسجين يساوى صفراً فى المعادلة ٢٢ مما ينتج عنه قيمة نقصان الأكسجين الحرج المشار إليها فى المعادلة ٢٤ .

$$(٢٤) \quad OX_c = k' * L_0 * e^{-k''t_c/k''}$$

حيث :

- OX_c = نقصان الأكسجين المذاب الحرج (ملجم/ لتر) .
- L_0 = 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 الى المسافة الحرجة (يوم) .
- k'' = معدل إعادة التهوية (على اليوم) .

ويمكن إيجاد الزمن الحرج بمفاضلة المعادلة ٢٣ بالنسبة للزمن t ووضعها مساوية للصفر كما مبين فى المعادلة ٢٥ .

$$(٢٥) \quad t_c = [1/(k'' - k')] * \ln \{ (k''/k') * [1 - \{ (OX_0/L_0) * (k'' - k')/k' \}] \}$$

حيث :

- t_c = الزمن الحرج (يوم) .
- k'' = معامل إعادة التهوية (على اليوم) .
- k' = ثابت معدل التفاعل من الدرجة الأولى (على اليوم) .
- OX_0 = كمية نقصان الأكسجين المبدئية فى نقطة مصب السائل النهائى عند الزمن صفر (ملجم/ لتر) .
- L_0 = الحاجة النهائية الحيا كيميائية للأكسجين على نقطة التخلص (ملجم/ لتر) .

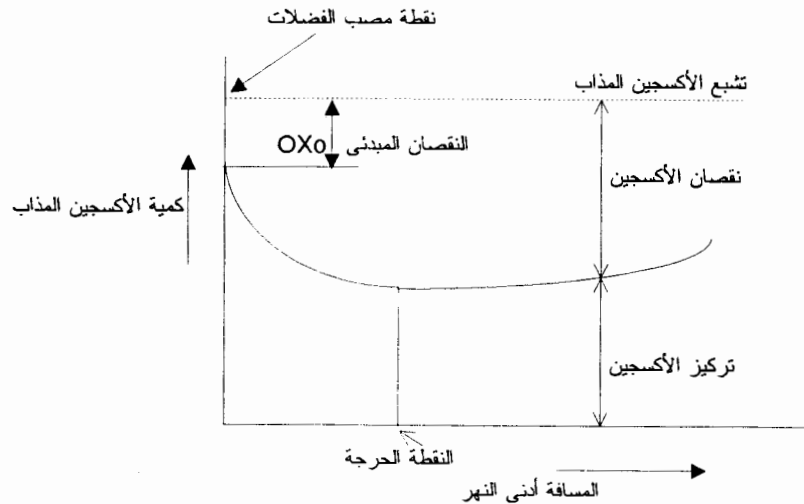
ومن ثم يمكن إيجاد المسافة الحرجة كما موضح فى المعادلة ٢٦ .

$$(٢٦) \quad X_c = t_c * v$$

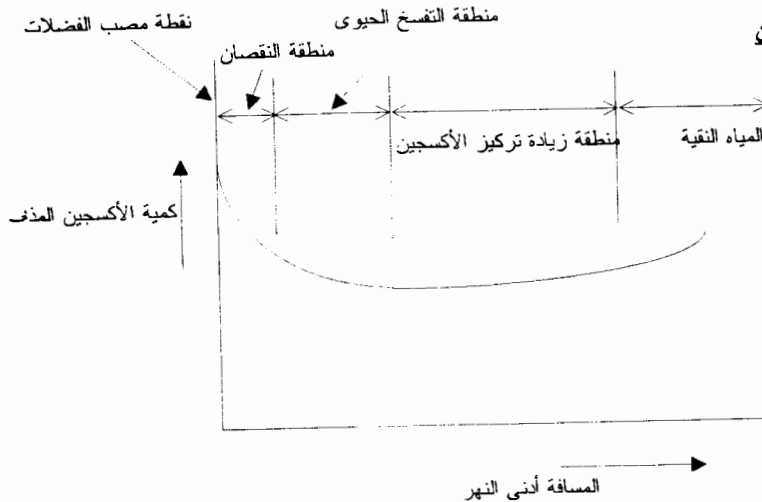
حيث :

- 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 كما موضح مبسطا فى الشكل (٨). ويبين شكل (٨) منحنى ترخيم الأكسجين فى الأنهار والذي يمكن تقسيمه الى أربعة مناطق تحوى منطقة النقصان فى بداية الرسم مباشرة بعد نقطة التخلص من السائل النهائى فى المورد المائى، ثم منطقة التفسخ الحيوى، ثم منطقة زيادة درجة تركيز الأكسجين، والمنطقة الأخيرة المحتوية على المياه النقية التى قامت فيها عملية التنقية الذاتية للمورد المائى بالتخلص مما تحتويه من ملوثات .



شكل أ منحنى ترخيم الأكسجين



شكل ب التنقية الذاتية

شكل (٨)

منحنى ترخيم الأكسجين { ٢٧، ١١، ٢ }

مثال (٤) :

يصب السائل النهائى الخارج من محطة معالجة فضلات سائلة فى المجرى المائى المجاور. ويبين الجدول أدناه المواصفات والخواص لكل من السائل النهائى ومياه المجرى المائى :

المنشط	السائل النهائى	مياه المجرى المائى
معدل الدفع (م ^٣ /ث)	١	٨
سرعة الدفع (م/ث)		٠,٢
الحاجة الحيا كيميائية للأكسجين (ملجم/ لتر)	٤٠	٢
درجة الحرارة °م	٢٨	٢٠
كمية الأكسجين المذاب	١ (ملجم/ لتر)	٩٠ % من التشبع
العمق (متر)		١,٩
معدل الأكسجة k' (للأساس e) أو ثابت معدل التفاعل لدرجة حرارة ٢٠°م = ٠,٤ (على اليوم) .		

- ١- أوجد درجة حرارة وكمية الأكسجين المذاب والحاجة الحيا كيميائية للأكسجين لخليط ماء المجرى المائى والسائل النهائى أدنى نقطة المصب .
- ٢- أوجد النقصان فى الأكسجين المذاب الابتدائى للمجرى المائى مباشرة بعد نقطة المصب .
- ٣- أحسب الزمن والمسافة الحرجة أدنى المجرى المائى .
- ٤- أحسب أدنى قيمة للأكسجين الذائب فى المجرى المائى أدنى نقطة مصب السائل النهائى .

الحل :

- ١- المعطيات: البيانات والمعلومات الخاصة بخواص وكميات دفع السائل النهائى والمجرى المائى .
- ٢- أوجد درجة حرارة الخليط من السائل النهائى ومياه المجرى المائى أدنى نقطة صب السائل النهائى وذلك بأخذ كمية الدفع فى الحسبان عند نقطة الموازنة كما موضح فى المعادلة أدناه

$$T_m \cdot Q_m = T_r \cdot Q_r + T_w \cdot Q_w$$

حيث T_m و T_r و T_w تعنى درجة الحرارة لكل من الخليط ومياه المجرى المائى والسائل النهائى على الترتيب .

Q_m و Q_r و Q_w تعنى كمية الدفع للخليط والمجرى المائى والسائل النهائى على الترتيب.

وعليه فيمكن إيجاد T_m لتساوى

$$T_m = [T_r \cdot Q_r + T_w \cdot Q_w] / [Q_r + Q_w]$$

$$T_m = 21^\circ \text{م} = [8 \times 20 + 1 \times 28] \div [8 + 1]$$

- ٣- أوجد كمية الأكسجين المذاب للخليط من المعادلة

$$DO_m = [DO_r \cdot Q_r + DO_w \cdot Q_w] / [Q_r + Q_w]$$

• أوجد درجة تركيز الأكسجين عند التشبع لدرجة حرارة الخليط (٢٠ م) من جدول (ب) من الملاحق بافتراض أن تركيز الكلور = صفر: $C_s = 9.2$ ملجم/لتر .

• أوجد درجة تركيز الأكسجين في ماء المجرى المائي = $9.2 \times (100 \div 90) = 8.28$ ملجم/لتر .
• أوجد كمية الأكسجين المذاب في الخليط

$$DO_m = [8 \times 8.28 + 1 \times 1] \div [8 + 1] = 7.5 \text{ ملجم/لتر} .$$

٤- أوجد الحاجة الحيا كيميائية للأكسجين للخليط من المعادلة

$$BOD_m = [BOD_r \cdot Q_r + BOD_w \cdot Q_w] / [Q_r + Q_w]$$

$$BOD_m = [8 \times 2 + 1 \times 40] \div [8 + 1] = L = 6.2 \text{ ملجم/لتر} .$$

٥- أوجد درجة تركيز تشبع الأكسجين في المجرى المائي على درجة حرارة ٢١ م مباشرة أدنى المصعب (من جدول ب) = 9 ملجم/لتر .

أوجد نقصان الأكسجين مباشرة أدنى المجرى المائي من المعادلة :

$$OX_0 = \text{درجة تركيز تشبع الأكسجين} - \text{درجة تركيز الأكسجين للخليط}$$

$$OX_0 = 9 - 7.5 = 1.5 \text{ ملجم/لتر} .$$

٦- أوجد الزمن الحرج باستخدام المعادلة

$$t_c = [1/(k'' - k')] \cdot \ln\{(k''/k') \cdot [1 - \{(OX_0/L_0) \cdot (k'' - k')/k'\}]\}$$

(أ) أوجد ثابت معدل التفاعل لدرجة حرارة ٢١ م من المعادلة

$$(k')_T = (k')_{20} \cdot (T_c)^{T-20}$$

$$(k')_{21} = 0.4 = 0.47 \times (1.04)^{21-20} = 0.42 \text{ (على اليوم)} .$$

(ب) أوجد ثابت الانتشار الجزئي للأكسجين لدرجة حرارة ٢١ م من المعادلة

$$(C_{MD})_T = 1.76 \cdot 10^{-4} \cdot (1.037)^{T-20}$$

$$(C_{MD})_{21} = 1.0 \times 10^{-4} \cdot (1.037)^{21-20} = 1.0 \times 10^{-4} \cdot 1.037 = 1.037 \times 10^{-4} \text{ م}^3/\text{يوم} .$$

وبذا يمكن إيجاد ثابت إعادة التهوية من المعادلة

$$k'' = 294 \cdot (C_{MD} \cdot v)^{0.5} / h^{1.5}$$

$$k'' = 294 \cdot (1.037 \times 10^{-4} \cdot 1.0 \times 10^{-4})^{0.5} / 1.5^{1.5} = 0.68 = 1.0 \div 0.5 \cdot 1.9 = 0.68 \text{ (على يوم)} .$$

(ج) أوجد الحاجة الحيا كيميائية للأكسجين النهائي لمدة خمسة أيام على درجة حرارة ٢١ م من المعادلة

$$L_0 = L / (1 - e^{-k't})$$

وبما أن $L = 6.2$ ملجم/لتر، $k' = 0.42$ (على يوم) لدرجة حرارة ٢١ م فيمكن إيجاد L_0 ليساوي

$$L_0 = 6.2 \div (1 - e^{-0.42 \times 5}) = 7.4 \text{ ملجم/لتر} .$$

وبذا يمكن إيجاد الزمن الحرج من المعادلة

$$t_c = 1 \div [(0.42 - 0.68) \times (7.4 \div 1.0)] - 1 \div [(0.42 \div 0.68) \times (0.42 - 0.68)] = 1.34 \text{ يوم} .$$

٧- أوجد المسافة الحرجة من المعادلة :

$$X_c = t_c * v$$

$X_c = 24 - 1 \times 2, 0 \times 60 \times 60 \times 24 = 23, 2$ كيلو متر .

٨- أوجد أقل كمية أكسجين في النهر أدنى مصب السائل النهائي من المعادلة :

$$OX_t = \{ [k' * L_0 / (k'' - k')] * [e^{-k't}] \} + (OX_0 * e^{-k''t})$$

$$1, \text{r}^2x_0, \text{r}^{1-}e x_1, 0 + (1, \text{r}^2x_0, \text{r}^{1-}e^{-1}, \text{r}^2x_0, \text{r}^{1-}e) \gamma, \text{r}^2x_0[(0, \text{r}^{1-}e^{-1}, \text{r}^{1-}e) \div 0, \text{r}^{1-}e] = \text{OX}_1$$

- ٦, ٢ ملجم / لتر .

وعلیه ممکن ایجاد اقل ترکیز اکسجین :

أقل تركيز أكسجين = ۹ - ۶ - ۲ = ۴ ، ۶ ملجم / لتر .

٧-٤ تلوث البيئة البحرية (*) {٣٨,٣٧,٣٥,٣٥,٣٤,٣٣,٣٢,٣١,٣٠,٢٩,٢٨}

إن البيئة البحرية هي مصدر خير ورزق للعديد من الدول لا سيما تلك المطلة عليها والمجاورة لها.

ويمكن تلخيص أهمية البحار والمسطحات المائية فيما يلي :

أ - مصدر هام وحيوي للثروة السمكية ومن ثم الحصول على البروتين اللازم لبناء الجسم .

ب - نفى باحتياجات المناطق المجاورة بمياه الشرب والزراعة وما مائلها من الاستهلاكات

والإستخدامات وذلك بعد إجراء عمليات التحلية و التنقية الملانمة .

ج - مناطق ترفيهيه وإستجمام وسياحة .

د - من أهم مصادر الموارد الطبيعية مثل الماغنيسيوم والبوتاسيوم وغيرها .

هـ - تقوم بجانبها الصناعات الانتاجية المستفيدة من وجود الموانئ (بغية التصدير والإستيراد للمواد الخام

والمواد الإنتاجية)، كما وأنها تستخدم مياه البحر للتبريد أو لإستقبال مخلفاتها .

و - تقوم بجانبها الصناعات الغذائية والتجارية المحتاجة لمساحة لإنتاج أو تربية الكائنات البحرية

(مصدر غذاء) .

ز - تمثل أسلوب مناسب وزهيد الثمن للنقل والمواصلات .

* (بنى عرض هذا الجزء (٧،٤) والمتعلق بتلوث البيئة البحرية على الورقة العلمية {٢٨} التي تم عرضها في مؤتمر حماية البيئة البحرية الذي أقامته كلية الشريعة والقانون بجامعة الإمارات العربية المتحدة).

غير أن البحار والمسطحات المائية قد اعتبرت (ولسنوات غير بعيدة) مستودعات لانتهائية للتخلص من الفضلات والمخلفات بجميع صورها. وقد تغير واقع هذا المعتقد في الوقت الراهن بفضل التقدم العلمى والذى أشار الى أن البيئة البحرية يسهل التأثير عليها ومن ثم تدهورها. إن أى خارطة مبسطة للمسطحات المائية الضخمة تشير الى وجود منطقتين كبيرتين هما ما يعرفان بالجنح القارى (Continental shelf) والمياه العميقة (Deep ocean). وتعتبر المنطقة الأولى من أغنى المناطق وأكثرها إنتاجا لمصادر الغذاء، غير أنها تتعرض لأكبر قدر من التلوث، الشئ الذى قد يعرضها للقلل تجاه نشاط الصيد، وربما حد من الإستخدام الأمثل لما ورد ذكره عاليه. كما يمكن أيضا تقسيم المحيط الى قسمين رئيسيين 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 اليابسة وقعر البحر. غير أن هذه المنطقة تستقبل الملوثات مباشرة من مصادر التلوث المتعددة ، الشئ الذى يجعل من هذه المشارب مناطق نمو وتفاعلات حيوية ثرة : من إنتاج للمواد العضوية، عبورا للتمثيل الضوئى للنباتات والتي تمثل أسباب وأسس للسلسلة الغذائية المنتهية بالأسماك والطيور والثدييات البحرية. أما المياه المكشوفة فتتمثل صحارى المسطحات المائية فى الغالب الأعم عدا الشواذ مثل المسطحات المائية الإنتاجية بالمناطق الأستوائية .

تلوث المسطحات المائية :

يمكن تعريف التلوث البحرى بأنه إدخال مواد أو طاقة فى البيئة البحرية بواسطة الإنسان ، بطرق مباشرة أو غير مباشرة ، الشئ الذى ينجم عنه آثار ضارة للموارد الحية أو مخاطر لصحة الإنسان أو تقليل للنشاطات البحرية (بما فيها من صيد) وتدهور نوعية مياه البحار والحيلولة دونما الإستخدام الأمثل لها .

أما أهم طرق ترحيل وجلب المواد الملوثة من اليابسة الى البحار فيمكن تلخيصها فى الآتى :-

أ - طرق طبيعية مصدرها الأنهار والرياح وجرف الجليد .

ب - طرق مصطنعة بفعل الإنسان ومن أهمها مصبات الفضلات المنزلية والصناعية والزراعية والتلوث بواسطة السفن .

و المناطق التى تتأثر أكثر من غيرها بالملوثات تتمثل فى المناطق الساحلية والجزر، وذلك نسبة لصغر المساحة مقارنة بالمسطح المائى المحاصر لها . ومن هنا فإن التلوث البحرى يؤثر أولا على مثل هذه الأجزاء من اليابسة ويجعلها أكثر عرضة لمخاطره ، كما حدث فى حالة اليابان عندما ظهرت بها أمراض التلوث مثل: مرض خليج ميناماتا من جراء التلوث بميثيل الزئبق ، ومرض يوشو (Yusho) بالتسمم بمواد البوليكلورينيل المكلورة (Polychlorinated biphenyls, PCB) ، ومرض آيتى-آيتى (Itai-Itai) من جراء التسمم بالكاديوم. أو كما حدث فى سواحل ومرفأى دول الخليج العربى أثناء

حرب الخليج وتدفق النفط من الآبار الكويتية وما نتج من جرائه من دمار للبيئة البحرية والساحلية وقاطنيها من كائنات بحرية وحيوانات وطيور وغيرها من العوامل المنظورة والمستترة الضارة بالإنسان.

أنواع ومخاطر التلوث البحري :

إن أى تلوث يجد طريقه للمسطح المائى قد يفسد المياه فيه ، ومن ثم يؤدى إلى تدهور الصحة العامة للإنسان الشئ الذى يؤثر سلبا على نمو الشعوب و إقتصادها. ويمكن إيجاز أنواع ومخاطر التلوث فى الآتى {٢٨،٢٩،٣٠،٣١،٣٢،٣٣،٣٤،٣٥،٣٦،٣٧،٣٨} :-

التلوث الحيوى :

يؤدى هذا التلوث الى تدهور الصحة العامة والعجز والوهن وربما فقدان الحياة بفعل البكتيريا الضارة بالصحة والفيروسات وغيرها من الجراثيم والكائنات الحية الدقيقة المسببة للأمراض والتي تجد طريقها عبر شرب الماء ، أو أكل الطعام ، أو إستنشاق الهواء ، أو بكل هذه العوامل مجتمعة .

التلوث الكيمايى :

قد يؤدى هذا التلوث الى إزدياد عوامل التفتيت والتحات للمنشآت الاقتصادية والتنمية، وقتل الحياة البحرية ، والدخول فى السلسلة الغذائية . ومثال لذلك موضوع خليج ميناماتا باليابان ودخول الزئبق فى السلسلة الغذائية عند إستهلاك الأهالى للأسماك والأصداف الملوثة بميثيل الزئبق (Methyl mercury)، والتي بدأت فى أواخر عام ١٩٣٠م عندما بدأت شركة شيسو (Chisso) الكيمايية بإنتاج كلوريد الفينيل (Vinylchloride) والفورمالدهيد (Formaldehyde) فى مصانعها بالخليج قيد الذكر. وقد كانت الشركة تتخلص من الفضلات الناتجة منها والحاوية على الزئبق إلى الخليج المجاور. وبدأت الأسماك والأصداف بتركيز الزئبق فى شكل كلوريد ميثيل الزئبق (Methyl mercury chloride) . وعندما أكل الصيادون وأسرهم والأهالى أسماك المنطقة برز وباء تسمم وأمراض الأعصاب (Neurological poisoning) . وظهرت أولى الحالات فى عام ١٩٥٦ أى بعد ما يربو على خمسة وعشرون عاما من بداية دخول الفضلات والأوساخ للمياه .

و يوضح الجدول (٧) سمية بعض المركبات الكيمايية للأسماك وغذائها . والمعروف بصفة عامة أن الأسماك والأحياء المائية تنتعش عندما تتراوح قيمة الرقم الهيدروجيني (pH) بين ٦,٥ - ٨,٤ ، وإذا قلت قيمته عن ٥ أو زادت عن ٩ تسبب هذا فى قتل الأسماك ، وأن أى تغيير فى قيمة الرقم الهيدروجيني عن القيمة فى المتوسط الذى إعتادت الأسماك العيش فيه، قد يتسبب فى فناء الأسماك، كما وأن تركيب الجهاز التنفسي للأسماك كثير الحساسية للأحماض. وتوجد عوامل أخرى فى البيئة التى تعيش فيها الأسماك تزيد من حساسيتها للأحماض . فمثلا إذا زادت درجة الحرارة أو قل محتوى الماء من الأكسجين المذاب تصبح الأسماك أكثر تعرضا للهلاك بتأثير حموضة الماء. كذلك المياه القلوية التى

تزيد فيها قيمة الرقم الهيدروجيني (pH) عن ٩ 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 (٧) سمية بعض المركبات الكيميائية للأسماك وغذائها

اسم المادة	درجة تركيز المادة (جزء في المليون)	الكائن الحي الذي أجرى عليه الاختبار	التأثير
حمض الكروميك	٠,٣ كروم	Daphnia magna	سام
حمض الهيدروكلوريك	٦٢ HCl	Daphnia magna	سام
حمض النتريك	١٠٧ HNO ₃	Daphnia magna	سام
حمض الكبريتيك	٨٨ H ₂ SO ₄	Daphnia magna	سام
الأحماض القلوية	الرقم الهيدروجيني أقل من ٥	سمك مختلف	سام
كلوريد الكاديوم	٠,١ كاديوم	Gold fish	يقتل خلال ٨-١٨ ساعة
كبريتات الكاديوم	٥١٣ كاديوم	المنوة (سمك لوروي صغير) Minnows	قتل خلال ثلاث ساعات
كبريتات النحاس	٠,٨ نحاس	Gold fish	يقتل خلال ٢٤-٩٦ ساعة
كبريتات النحاس	٠,٠٤ نحاس	Daphnia magna	سام
كرومات الصوديوم	٠,٠١ كروم	Daphnia magna	سام
كرومات (أيون)	٠,٠١ كروم	نبات صغير Microflora	سام
كلوريد الحديدك	٣٤ حديد	سمك ذهبي Gold fish	يقتل خلال ١-١٥ ساعة
كبريتات الخارصين	٢٥ خارصين	التروتة (سمك السلمون المرقط) Trout	يقتل خلال ١٣٣ ساعة
سيانيد البوتاسيوم	٠,٠٤ - ٠,١٢ سيانيد	سمك ذهبي Gold fish	يقتل خلال فترة ٣ - ٤ أيام
أمونيا	٢ - ٧ NH ₃	سمك مختلف	قاتل
كبريتيد الهيدروجين	١٠ H ₂ S	سمك ذهبي Gold fish	يقتل خلال ٩٩ ساعة
أيون الكبريتيد	٣ كبريت	التروتة Trout	يقتل خلال ٥ دقائق
هيدروكسيد الصوديوم	١٥٦ NaOH	Daphnia magna	سام
ثلاثي فوسفات الصوديوم	٥٢ NA ₃ PO ₄	Daphnia magna	سام
فينول	٠,٠٠٥ فينول	سمك مختلف	سام

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 جدا . مثلا تقوم الزقيات (Tunicates) - طائفة من الحيوانات البحرية - بتركيز عنصر الفاناديوم في دمانها. كما وأن بعض

الأسماك لها المقدرة على تركيز مادة د.د.ت. (DDT) ومشتقاتها في أجزاء جسمها . وعليه فإن الكائنات البحرية تعمل أحيانا لاسترجاع ملوثات الإنسان إليه عبر السلسلة الغذائية . وهناك أيضا التلوث بواسطة المعادن الثقيلة من جراء الصناعة أو عبر الأنهار والتخلص من الفضلات السائلة والصلبة. وتوجد الفلزات الثقيلة مثل الزئبق والرصاص والكاديوم والخاصين في ثلاثة صور في البحار: وهى إما ذائبة، أو غروانية ، أو فى شكل حبيبات ودقائق . وتوجد العديد من العوامل التى تؤثر على سمية الفلزات والمعادن الثقيلة فى المحلول ، منها على سبيل المثال لا الحصر :

- حالة المعدن فى الماء والتى يمكن تقسيمها الى قسمين للمواد العضوية والغير العضوية ، وهما: الحالة الذائبة (أيون، أيون مركب، وأيون كلابى أو جزئى)، والحالة الأخرى تتعلق بالحالة الصلبة (ما إذا كانت عالقة أو مترسبة أو ممتزة) .
- وجود معادن أو سموم أخرى وكيفية عملها (ماإذا كان متحدا أو متاخلا أو متناظرا) .
- العوامل المؤثرة فى فسيولوجية الكائن الحى مقارنة مع شكل المعدن فى الماء، وتتأثر هذه بعوامل متداخلة منها : درجة الحرارة ، والرقم الهيدروجينى ، وكمية الأكسجين المذاب ، والضوء ، ودرجة الملوحة .
- حالة الكائن الحى والتى تتأثر بعوامل مختلفة منها: وضع الكائن فى الحقة التاريخية المعينة من حياته (بيض، يرقة) ؛ والتغير فى دورة الحياة (طرح الشعر أو الريش أو الاهاب والتوالد والتكاثر)؛ والعمر؛ وحجم الكائن الحى ، ونوعه ، ونشاطه ، ومقدرته على التعايش فى حالات المجاعة أو البيئة العدائية ؛ ومدى إحتياجه لحماية إضافية (قوقعة مثلا) ؛ ولاتمة الكائن للتعايش ولتعود على المعدن قيد البحث .
- التجاوب السلوكى والتصرف والتغيرات السلوكية للكائن الحى .

ولتحديد أثر الملوثات على المسطحات المائية توجد بعض الخصائص اللازم تحديدها مثل
 : { ٣٨،٣٧،٣٥،٣٥،٣٤،٣٣،٣٢،٣١،٣٠،٢٩،٢٨ } :

- * درجة تركيز الملوثات .
- * مثابرة الملوث للثبات فى البيئة .
- * مصادر إنتاج الملوثات (الكم الإنتاجى والكيف والإستهلاك) .
- * قابلية الملوث للتجمع والتركيز فى بعض النظم أو الأحياء المائية .
- * درجة السمية وقابلية الملوث للتحويل من مركب كيميائى الى آخر ربما إزدادت به درجة السمية، مما يفاقم من المشاكل والتعقيدات فى مجال التلوث الكيميائى .

إن الأثر الناجم عن التخلص من العديد من المخلفات والمركبات يصعب تحديده ، كما وأن هناك قصور فى المعلومة العلمية عن الأثر الناجم من جراء التفاعلات الحادثة للملوثات مع بعضها البعض. مثلا 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 يستعصى تقويم وتحديد مثل هذا التصور ومن ثم العمل على تفاديه وتلافيه فى المدى المستقبل .

التلوث الناتج من جراء إستخدام المبيدات الحشرية فى مقاومة الآفات الزراعية وغيرها

يحدث التلوث بالمواد الكيميائية السامة الموجودة فى المبيدات الحشرية وخاصة الهيدروكربونات الكلورية فى المناطق التى تم رشها أو عند معالجة بذور النبات بالمبيدات. وقد يؤدى هذا التلوث إلى قتل الطيور وبعض الأحياء المائية. وخطر الطيور ربما ينتشر بواسطتها إلى مناطق أخرى عبر إنتفاف الملوثات بأجسامها أو عندما يتم إصطيادها بأكالات الطيور أو تلك التى تعيش على بيضها. ومثل هذه المخاطر تتفاقم نسبة لثبات المواد الكيميائية ومناعتها، لا سيما وقد صنعت هذه المواد أساسا كأداة دمار وتسمم وقتل .

التلوث الحرارى :

يحدث التلوث الحرارى من جراء صرف سوانل ساخنة من المصانع ومحطات توليد الكهرباء والطاقة وما مائلها من منشآت ، الشيء الذى يقود إلى إزدياد التآكل والتحات ، والتفاعلات الكيموحيوية والحيوية، ونقصان كمية الأكسجين اللازمة لحياة الكائنات البحرية ومن ثم القضاء على الأسماك والأحياء المائية الأخرى وبروز روائح ننتة ومياه عكرة وهلم جرا .

التلوث الإشعاعى :

يحدث هذا التلوث بفعل المواد والعناصر المشعة التى تؤثر على الحياة سلبا 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 .
- نوع الإشعاع .
- قوة الإشعاع ومقدرته للتغلغل داخل الخلايا .
- حساسية الخلايا والأعضاء المستقبلة للإشعاع .
- معدل الجرعة الصادرة من المادة المشعة .
- نسبة الخلايا والأعضاء وجسم الإنسان المعرض للإشعاع .

التلوث الهوائى :

يحدث هذا التلوث بطرق غير مباشرة وتنتقل الملوثات الهوائية وتتأثر بالرياح والأمطار مما يرفع من درجة تلوث البحار، فمثلا ثبت علميا 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 التى تهطل على المسطحات المائية وتسبب تلوثها . وربما أن الوقت للعاملين فى جهات الأرصاد الجوى لإدخال مقاييس الملوثات الهوائية فى حساباتهم ومناطق رصدهم والمحطات التى تقوم بجمع المعلومات على المستويين العام والخاص .

التلوث الزيتى أو النفطى :

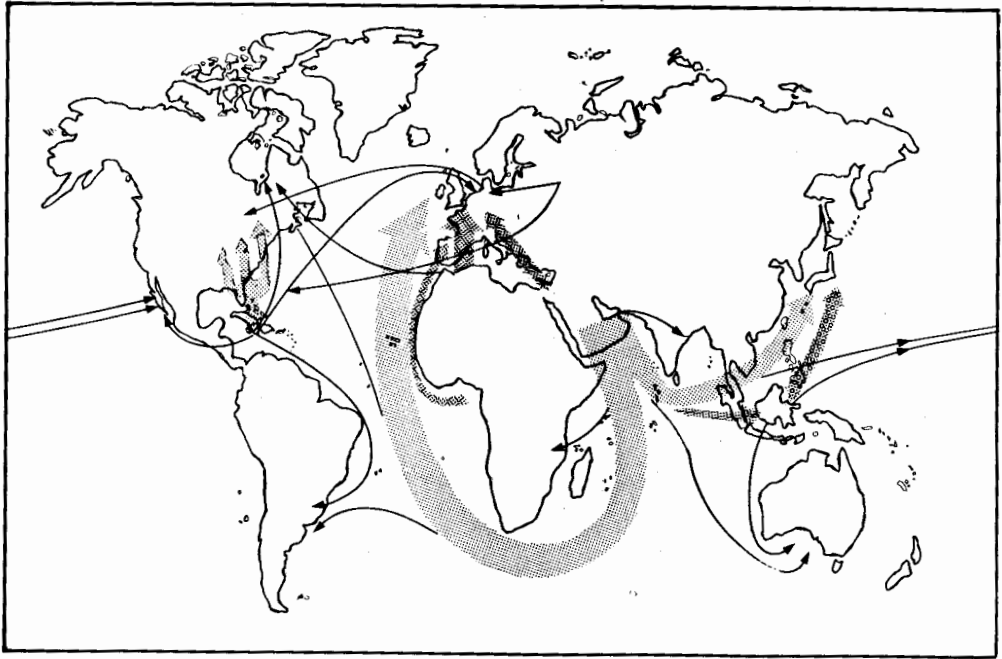
من أهم طرق دخول النفط للبحار هو نظافة حاملات النفط والبضائع، والتسرب من آبار النفط البحرية ، وصرف المخلفات السائلة لمصافى تكرير البترول، وحوادث السفن وحاملات النفط الخام، والهيدروكربونات البترولية، بالإضافة الى التخلص من الفضلات السائلة فى الأحوال العادية وغياب عوامل الحرب والكوارث البيئية الطبيعية والمصطنعة.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

يختلف الزيت الخام من مصادره المختلفة فى خصائصه ومكوناته الكيميائية ، كما وأن سمية الأجزاء المختلفة من الزيت الخام تختلف فيما بينها. و يسود الاعتقاد بأن درجة السمية تزداد فى سلسلة من البارفين ثم النفثالين والأوليفين ثم المواد الأروماتية. وفى أى مجموعة من الهيدروكربونات تزداد السمية بصغر حجم الجزيئات، مثلا الأوكتين والديكين أكثر سمية من غيرها، كما وأن الدودكين والبرفينات العليا تتعدم فيها السمية لأن الوزن الجزئى يؤثر على درجة الغليان ودرجة اللزوجة للزيت الخام .

لقد تسبب مثل هذا التلوث فى خلق مناظر غير مستحبة على السواحل والكورنيش والبلاجات الشئ الذى يضر كثيرا بالسياحة ، كما ويولد بيئة ينعدم أو يقل بها الأكسجين اللازم للحياة الحيوانية والنباتية والبحرية ، كما ويغير من العوامل والمؤثرات الطبيعية للبيئة المائية. فمثلا من المعروف أن سمك السلمون يتعرف على موطنه فى الأنهار بواسطة خاصة الشم (أو مذاق) الماء بفعل الهيدروكربونات الموجودة فى الماء لحد كبير. وإذا زادت هذه المركبات (من جراء التلوث الزيتى مثلا) فيربك هذا الوضع أسماك السلمون مما يجعلها ترفض العودة الى مواطنها أو يصعب عليها التعرف على هذه الأوطان .

يقود التلوث الزيتى الى قتل الطيور التى تعتمد فى غذائها على الأحياء البحرية أو الطيور التى تعيش فى البحار أو تهاجر إليها فى أحد فصول السنة ، مثال لتلك الطيور الغطاسة Pelagic diving birds والتي تعتمد فى غذائها على الغوص والصيد، وعندما تغوص عبر بقعة زيتية تنتشر بالزيت، الذى ربما تسبب جزئيا فى فنانها أو إلحاق أضرار بريشها. كما حدث فى كارثة توري كانيون (Torrey Canyon) فى عام ١٩٦٧م عندما تحطمت ناقلة النفط الخام عبر الصخور المغطاة فى الحيد المرجاني على القنال الإنجليزى، ومن ثم تمخض عن ذلك تلوث أكثر على الساحلين الفرنسى والإنجليزى . وكما حدث من تلوث مياه الخليج العربى أثناء حرب ناقلات النفط بين العراق وإيران. يوضح شكل (٩) أهم تحركات النفط والبترول عبر البحار .

شکل (۹)
أهم تحركات النفط عبر البحار



تتجنب الأسماك المخاطر الناجمة من البقعة الزيتية بمغادرة المنطقة الملوثة، وغيرها من الأحياء البحرية تحمل في جسمها كميات كبيرة من الهيدروكربونات المنتشرة من جراء التلوث الزيتي. ويتسبب تلوث منطقة ما بالنفط والبقع الزيتية في مخاطر إقتصادية لمصاندي الأسماك لاسيما ولا يرغب المستهلك في أكل الأسماك والكائنات البحرية المغطاة بالزيت نسبة للمنظر الغير مستحب 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 وربما كانت هناك أضرار ومخاطر لمستهلك الأسماك والأصداف الملوثة بالبترول حتى في حدود التركيز الصغيرة . والأثر ينبثق من جراء إستهلاك بعض المركبات السرطانية خاصة الهيدروكربونات 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 باختلاف طرق إنتاجها .

يبين الجدول (٨) أهم المركبات والملوثات البحرية ويحدد مدى إحتياجها الى قياس لتوضيح أسباب منع أو تحديد أو تقليل صرفها إلى البحار .

جدول (٨)
أهم الملوثات البحرية {٢٨}

الملوث	الخطر على أسباب ومنبع الحياة	الخطر على صحة الإنسان	إعاقة النشاطات البحرية	تقليق أسباب الراحة والمتعة
الفضلات المنزلية	++++	++++	++	++++
المواد الصلبة	++	-	+	+++
المواد الصلبة الخاملة و نفايات الحفر	+++	-	+	+++
الأوساخ التجارية الغير عضوية (معظمه)	++	++	-	++
الأوساخ التجارية العضوية	+++	-	++	++++/+++
المنظفات	+	-	++++	++++
المواد العضوية الكيميائية	متغيرة جدا	+++ (بعضها)	++/-	متغيرة
العناصر المشعة	-	+++	-	-
الفضلات العسكرية و الحربية	+	+	-	-
المبيدات	++++	+++	-	-

التلوث الحرارى	+++	+++	+++
البترول و النفط	+++	+	+++

المفتاح :

الرمز	الدرجة	المعنى
++++	هام	يحتاج إلى مقياس تحديد أو منع.
+++	مؤثر	من الأفضل تقويمه للتحديد أو المنع.
++	بسيط	من الواجب الحذر و الاحتياط كما و أنه يحتاج إلى دراسة مقارنة.
+	مشكوك فيه	يمثل حالة خاصة لاحتياج إلى تحديد أو منع.
-	ضعيف	لا يحتاج إلى تحديد أو منع.

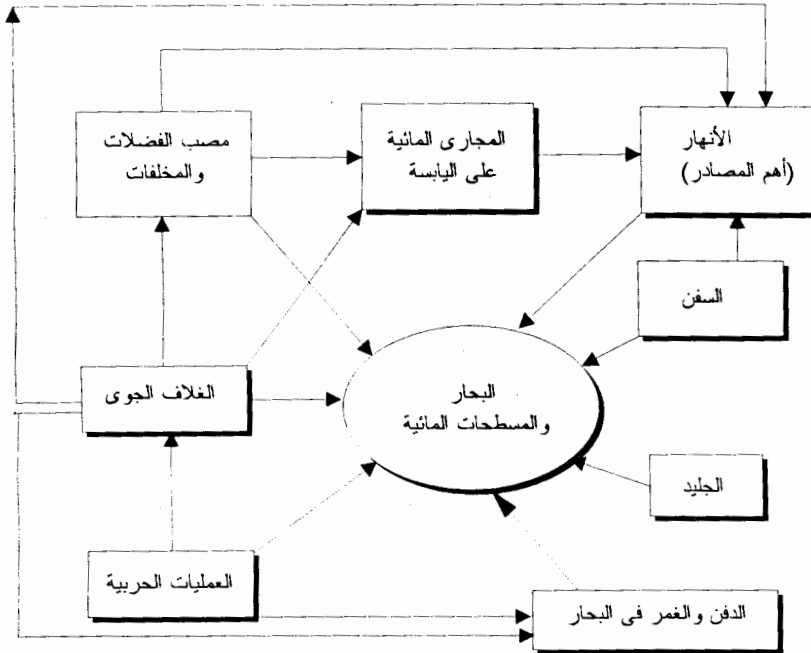
أساليب حماية البيئة البحرية من التلوث الناتجة منها {٢٨} :

- عند وضع برامج مكافحة أو تقليل تلوث البحار والمسطحات المائية هنالك صعاب وحجار عثرة تتمثل فى
- تحديد مصادر تلوث المسطحات المائية والعلاقة فيما بينهما والتداخل المنظور والمستتر .
 - نظم وأساليب إستخدام البحار .
 - طرق جمع المعلومات .
 - إختيار نقاط تجميع المعلومات وتوزيعها طبقا لجغرافية المنطقة وسهولة أخذ العينة وربما المدى والمسافة من مصدر التلوث .
 - النواحي الاقتصادية المتعلقة بجمع وترحيل وتوزيع العينات المتطلب إجراء إختبارات عليها .
 - المعلومات المرصودة والمتعلقة بالتلوث الكلى للبحار فى العالم .
 - نوع البرامج ومكان إستخدامها على مستوى المياه المحلية والإقليمية والدولية .
 - طبيعة مشكلة تلوث البحار وأثرها المحلى والإقليمى والقارى والدولى .
 - حجب المعلومات والحقائق العلمية والتجارب لأسباب إقتصادية أو عسكرية أو لضمان عدم نفشى 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 فى الحيد البحرى المجاور .
- يبين شكل (١٠) أهم الطرق التى تتخذها الملوثات للوصول للبحار والمسطحات المائية .

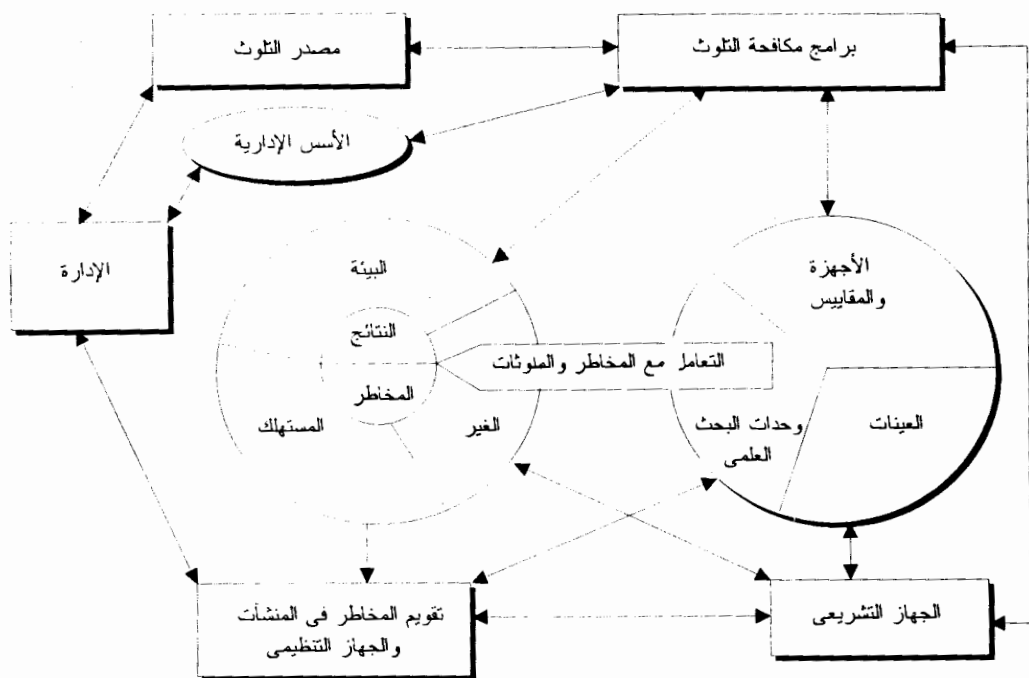
إن التلوث بين العديد من الدول المجاورة للبحار والمسطحات المائية ، أو عبور التلوث لمنطقة أخرى، ربما أدى الى تفاقم المخاطر والكوارث الناجمة وربما أدى الى حدوث أمراض لم تعرف من قبل. ومعالجة مثل هذه المخاطر تأخذ من الحيز الزمنى الشئ الكثير وذلك لمعرفة مصدر التلوث، وإيجاد علاقة بين العنصر الملوث الجالب للمرض أو الكارثة، ثم الأثر فى المدى البعيد ، ومحاسبة الملوث

والمصدر المنتج للتلوث. وهذا الأخير يحاول جهد المستطاع حجب المعلومة وإبعاد الشبهة أو الجنحة عنه، أو تأخير صدور الحكم لمدة طويلة تتفاوت والتقدم العلمى بالمنطقة ووجود التكنولوجيا (التقانة) الملائمة والعنصر البشرى ذى الكفاءة والقدرة العلمية لمواكبة المشكلة قيد البحث .

يبين شكل (١١) أدناه العلاقة المطردة فى البرامج المعدة لمكافحة التلوث وتداخلها مع النظم والأجهزة الإدارية والتشريعية من أجل خدمة المستهلك .



شكل (١٠)
طرق وصول الملوثات للبحار والمسطحات المائية ٢٨}



شكل (١١)

العلاقة بين البرامج المعدة لمكافحة التلوث والنظم والأجهزة الإدارية والتشريعية {٢٨}

٧ - ٥ أنماط استخدام المياه المعالجة

هناك أوجه عديدة لاستخدام المياه ذات المعالجة الجيدة إذ يمكن استخدامها مثلا في محطات توليد الطاقة، وتبريد المياه في مجال الصناعة، وزيادة المخزون الجوفي، واستخدامها في مناطق الترفيه والإستحمام والسباحة، ومكافحة الحرائق والكثير من الأوجه الصناعية بالإضافة الى الري وغيرها من أوجه وضروب الإستخدام المناسبة خاصة في المناطق التي تقل فيها المياه الطبيعية أو لا يمكن فيها الإيفاء بالمتطلبات من المياه نسبة لقلة أو شح الأمطار، أو لوجود كثافة سكانية كبيرة، أو لتكدس الصناعات، أو لكثرة إستغلال الأرض للإنتاج الزراعى والمنتجات الزراعية .

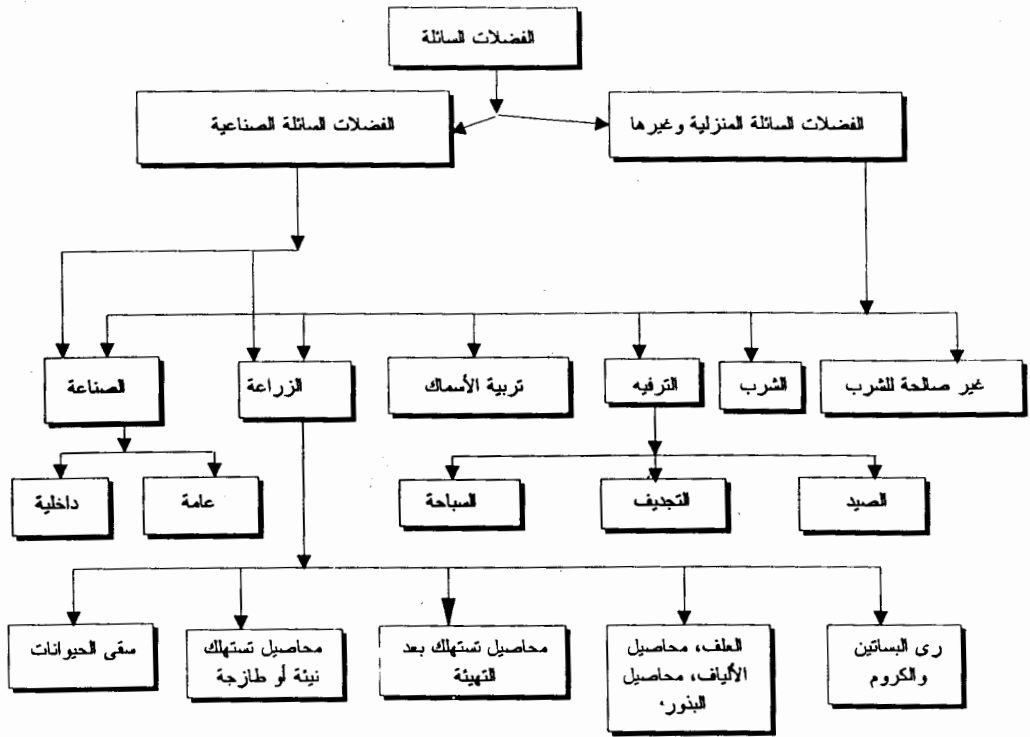
ومن محاسن استخدام المياه المعالجة ما يلي :

- ١- إعادة دوران المياه دونما اللجوء الى محاولة إتمام التنقية الجيدة وذلك بغية تقليل التكاليف .
- ٢- الحصول على بعض من مواد التغذية ومحسنات التربة والأسمدة من سائل الصرف الصحى (مثل النتروجين والفسفور والبوتاسيوم) كما وتزيد سعة التربة في تخزين المياه .
- ٣- تقليل صرف الملوثات للموارد المائية .
- ٤- المحافظة على كمية مياه الموارد المائية وترشيد إستخدامها للمضارب الهامة .
- ٥- تقنين وترشيد الإستخدام خاصة في المناطق الجافة .
- ٦- استخدام السائل النهائى المعالج للإستعمالات التي لا تتطلب خواص معينة ذات جودة عالية .
- ٧- لزيادة الغطاء النباتى وتغطية إحتياجات أخشاب الوقود للطبخ والتدفئة (خاصة للمناطق النامية) والمحميات والأحزمة الخضراء حول المدن وللزينة .
- ٨- لزيادة المخزون الجوفى .

وهناك العديد من العوامل التي تؤثر على استعمال المياه المعالجة ومن هذه العوامل ما يتعلق بمكوناتها وخواصها، ومنها ما يتعلق بالمناخى الجغرافية والإقتصادية والبيئية والمجتمعية ومدى قبول جمهور المستهلك لهذا النوع من الإستخدام بناءا على التعاليم الدينية والتقاليد والموروثات السائدة بالمنطقة وضروب استخدام المياه المعالجة في المشروعات المنفذة أو قيد التنفيذ بالمنطقة. ومن هذه الإستخدامات ما يلي : (أنظر شكل ١٣) .

(أ) الإستخدام الزراعى :

وهنا يتم استخدام المياه المعالجة لرى العديد من المزروعات، إعتادا على أسلوب الري المتبع، ونوع وكمية وخواص المزروعات، والغطاء النباتى، وطبغرافية وجغرافية وهيدروليكية ومناخ المنطقة، واستخدامات الأرض ، ووجود مواد التغذية النباتية في سائل الصرف الصحى ، وبعد منسوب المياه الجوفية، وتكلفة المعالجة والضخ والتوزيع ، والعوامل والمخاطر الصحية التي ربما نجمت من استخدام المياه المعالجة . وعادة تحتوى مياه الصرف الصحى على مواد تغذية نباتية محتوية على النتروجين



شكل (١٢)
نماذج استخدام الفضلات السائلة {٢٤}

والفسفور والبوتاسيوم وبعض العناصر المعدنية. غير أن مياه الصرف الصحي قد تحمل معها مواد كيميائية ضارة أو جراثيم أمراض مما يحد من استخدامها للمزروعات أو تفرض تحديد نوع النباتات التي يمكن ربيها بتلك المياه .

إن التخلص من الفضلات السائلة غير المعالجة (أو تلك التي خضعت لمعالجة جزئية) قد يأتي بمشاكل تلوث على نقاط التخلص الواقعة على الأرض أو المياه السطحية أو المياه الجوفية. غير أن التخطيط الجيد والسليم لإستخدام الفضلات السائلة في الزراعة والحياة المائية يمنع حدوث مثل هذه المشاكل، كما ويقلل كثيرا من التدهور، مما يغير بعض الشئ من تكلفة المشروع . وتزيد فائدة استخدام الفضلات السائلة للرى (بدلا من التخلص منها في المياه الجوفية) المناحي البيئية ، خاصة في المناطق التي تستهلك فيها المياه الجوفية بصورة كبرى ، أو تلك التي تعاني من مشاكل ارتفاع الملوحة مثل الذى يحدث في المناطق الساحلية .

ب) استخدام المياه لتربية الحيوانات والنباتات :

وتستخدم المياه المعالجة لتربية الحيوانات للحصول على المواد البروتينية مثلا عند انتاج كميات كبيرة من الطحالب والنباتات المائية العالقة phytoplankton، أو تستخدم لتربية الأسماك لإنتاج البروتين وإنتاج الزيوت. ويمكن استخدام المياه المعالجة لإنتاج النباتات مثل الاعشاب البحرية، أو لإنتاج أنواع معينة من النباتات ، أو فى إنتاج الكائنات المجهرية لإستعمالها فى فصل المعادن النبيلة، مثل تلك المستخدمة فى فصل الجواهر .

ج) استخدام عام وتجارى :

وهذا الإستخدام يشمل استهلاك المياه فى المتاجر والمنشآت والمكاتب والمؤسسات والمعاهد والمدارس والحدائق ودور العجزة والسجون وغيرها من المنشآت العامة، هذا بالإضافة الى استخدام المياه لرى الحدائق والميادين العامة . ويعتمد الإستهلاك فى هذا المحور على عدة عوامل تتعلق بالمناحي الاقتصادية والبيئية والجغرافية والسياسية وموقع المنشآت وأساليب إدارة المياه ومناحي التقنية وضروبها المختلفة. ومن أهم العوامل التى ربما تحد كثيرا من استهلاك المياه الراجعة تكلفة المعالجة ومواكبتها للتشريعات والمعايير والقوانين التى تحكم استخدام السائل النهائى .

د) استهلاك منزلى :

وهذا يتعلق باستهلاك المياه للمنازل من أجل الشرب والطبخ وغسيل الأوانى والوضوء والنظافة الشخصية والتخلص من الفضلات السائلة ورى الحدائق المنزلية، وغيرها من ضروب الإستهلاك داخل المنزل. وتؤثر على هذا النمط من الإستهلاك العديد من العوامل المتداخلة فيما بينها، مثل عدد الأشخاص، وحجم الأسرة، وكمية المياه المطلوبة، وخواص المياه، وتعريف المياه مقارنة بمتوسط الدخل

القومى ودخل الفرد، والعوامل المناخية المختلفة، ونوع وأنماط التوزيع، وعدد ونوع التركيبات الداخلية بالمنزل، والتقاليد والموروثات والمعتقدات والمناخ الدينية، ونظام حفظ الماء المتبع بالمنزل، والمستوى الثقافى والتعليمى والتثقيفى للفرد، بالإضافة الى جغرافية المنطقة وطبيعة الفرد .

ونظريا يمكن إعادة استخدام الماء الراجع للإستهلاك المنزلى بطريقة مباشرة غير أن التكلفة عالية جدا نسبة لمتطلبات تنقية المياه بالدرجة الكافية لتواكب معايير وتشريعات مياه الشرب. كما وهناك عوامل أخرى تحد من الإستخدام مثل احتمال إنتشار الأمراض والأوبئة وإمكانية حدوث الخطأ البشرى وإحتمال فشل عمل محطات التنقية، هذا بالإضافة الى المعايير الإجتماعية والعوامل الإقتصادية والثقافية والمحلية والوعى البينى والتقاليد والأعراف والمعتقدات الدينية. ويمكن إستخدام السائل النهائى المعالج بطرق غير مباشرة مثلا لتغذية المخزون الجوفى لمدة من الزمن قبل الإستخراج والضخ فى شبكات توزيع المياه {٢٤}، كما ويمكن إستخدام السائل النهائى المعالج بطرق غير مباشرة للصرف فى مورد ماء طبيعى ثم تنقية المياه قبل إستخدامها. وهناك إمكانية إستخدام الماء المعالج فى الإستعمالات المنزلية المتعلقة بنظافة المراض الحديث ورى الحديقة المنزلية. وتحد من هذا الإستخدام متطلبات مد شبكة أخرى وإحتمال تداخلها مع شبكة المياه النقية خاصة عند الترميم والإصلاح أو وقوع الحوادث. ونظام الشبكتين يمكن إستخدامه فى الصناعات القائمة بالقرب من نقاط التخلص من السائل النهائى {٢٢} .

هـ) مكافحة الحريق :

يمكن استخدام السائل النهائى المعالج فى مكافحة الحريق. ومن العوامل المؤثرة فى هذا النمط من الإستخدام: حجم ونوع المادة المصنع منها المنشآت، وعدد الطوابق، والمساحة المبنية، وتعرض المباني المجاورة لخطر الحريق، والضغط داخل شبكة المياه، وكمية ووضع وحجم خراطيم مياه الحريق .

و) تغذية المخزون الجوفى :

ويمكن إستخدام السائل النهائى المعالج لتغذية المخزون الجوفى بغرض تقليل مشاكل السحب الكبير، ولحفظ المياه السطحية، أو لزيادة كمية المياه الجوفية. وهناك العديد من الطرق المستخدمة لتغذية المخزون الجوفى. ويعتمد إختيار أى من هذه الطرق على عوامل عدة مثل طبغرافية وجيولوجية المنطقة، والعوامل الإقتصادية، والمناخ السائد، وكمية المياه المستخلصة، ودرجة المعالجة المتبعة. ومن هذه الطرق طريقة الإنتشار السطحى للمياه (وهذه تعنى وضع المياه فوق سطح الأرض بغية زيادة التسرب الى باطن الأرض) والتغذية عبر الحفر، والتغذية من خلال آبار الحقن، والتغذية بمياه الصرف الصحى، والتغذية غير المباشرة ، والتغذية بالبرك .

وإختيار الطريقة المناسبة لتغذية المخزون الجوفى تعتمد على تواجد ومقدار ماء التغذية، ووجود وتكلفة الأرض أعلى الخزان الجوفى، ونوع الخزان الجوفى، ودرجة تسرب الماء، والسعة التخزينية لمنطقة المياه الجوفية، وأى أثر للمياه السطحية المجاورة للخزان الجوفى قيد البحث .

ومن العوامل المؤثرة فى طريقة التغذية بمياه الصرف الصحى خواص الماء الراجع، خاصة درجات تركيز المواد الصلبة والنمو الحيوي. ومن المشاكل المتوقعة انسداد التربة من جراء تراكم الحبيبات الناعمة والدقيقة الموجودة فى الخزان الجوفي أو فى السائل النهائي المعالج أو من وجود المواد العالقة فى مياه التغذية والتي تفصل وتترسب متراكمة فى المنطقة المجاورة لمصفاة البئر أو نقاط التغذية. وأيضا يتزايد إنسداد التربة من التفاعلات الكيميائية التي ربما تنشأ بين ماء التغذية والمياه الطبيعية أو من جراء النمو الحيوي .

ومن الخواص المرغوبة فى السائل النهائي المعالج المستخدم لتغذية المخزون الجوفي ما يلي :

١- أن يخلو من المواد العالقة لتفادي إنسداد مسامية الخزان الجوفي .

٢- أن يخلو من البكتريا والفيروسات وغيرها من الكائنات الضارة .

ولا تسبب الديدان والبيض والحيوانات الأولية (البروتوزوا Protozoa) مشاكل لأن حركتها داخل المياه الجوفية محدودة . وفي بعض الأبحاث وجد أن البكتريا يمكنها أن تتحرك لمسافة ٣٠ متر والفيروسات لمسافة ٦٠ متر فى التربة الرملية والتربة الناعمة، غير أنها تتحرك لمسافات أكبر فى تربة الحصى والصخور المتصدعة {٢٣} .

ز) الإستهلاك الصناعي :

يمكن إستخدام المياه الراجعة فى المنشآت الصناعية. ومن العوامل المؤثرة فى هذا النمط من الإستهلاك: نوع وطبيعة وحجم المنشأة الصناعية، والوحدات الصناعية المستخدمة، والزيادة فى الإنتاج والصناعة، والقوانين والمعايير المتعلقة بخواص ونوع الماء الخام الداخلى فى الصناعة، وتكلفة الماء الراجع مقارنة بالمياه الطبيعية، والنمو الإقتصادى. ويمكن استخدام المياه فى إعادة الدوران دونما الحاجة الى معالجة أو بعد إجراء معالجة جزئية أو كلية داخل المنشأة الصناعية. كما ويمكن استخدام المياه فى وحدات أخرى غير الوحدات التى صدرت منها المياه أو تستخدم فى صناعات أخرى طبقا لنوع المياه وإحتياجات الصناعة لها. وتعتمد الجودة المطلوب لإعادة دوران المياه فى المنشآت الصناعية على الصناعة المعنية، فمثلا بالنسبة لصناعة النسيج يحتاج الى مياه ذات نوعية عالية الجودة، وفى صناعة الورق يحتاج الى التحكم فى درجات تركيز المانجنيز والحديد، وفى صناعة التعليب يحتاج الى مياه عالية الجودة مع التركيز على درجات تركيز الفلور والنترات خاصة عند استخدامها للأطفال الرضع. ولا يتأثر استخدام المياه فى عمليات التبريد بالتنوع كثيرا {٥، ٢١} .

ح) إستخدام السائل النهائي فى إستصلاح الأراضي والزينة والترفيه :

من الممكن استخدام السائل النهائي المعالج فى ملء البرك الإصطناعية بغرض الترفيه والمناظر الخلابة، أو بغرض الصيد والتجديف والتزلج والسباحة، ولنمو نباتات الزينة فى الحدائق، والأحزمة الخضراء، والغطاء النباتى فى جوانب الطرق، وفى ميادين الجولف. ومن أهم العوامل المؤثرة: نوعية المياه حسب

الإستخدام، وتكلفة ترحيل السائل النهائي، وتعرض الجمهور لأى مخاطر صحية. وعند إعادة إستخدام المياه للسباحة فهناك إحتتمالات المخاطر الصحية الناجمة من السابحين أنفسهم بزيادة أعداد الكائنات الحية الدقيقة الضارة، أو زيادة تراكيز المواد الكيميائية، أو زيادة تحاميل المواد الصلبة العالقة والذائبة مما يؤثر على درجة شفافية الماء بالبركة ويشكل مصدر إزعاج للمستخدمين للمنشأة. ويمكن التحكم فى نوعية المياه داخل البركة طبقا للخواص الطبيعية والكيميائية والحيوية للماء الموجود بها، أو التحكم فى أعداد مرتادى البركة، ومراعاة المناخى الصحية عند الإستخدام طبقا للمعايير والقوانين المقيدة لهم، وطبقا لتجديد المياه أو معالجتها، والعوامل الإقتصادية المؤثرة. كما ويمكن استخدام السائل النهائي فى زراعة الغابات، ويمكن أيضا استخدام الحمأة فى عمليات تسميد الأراضى التى يمكن إستصلاحها للغابات .

إن إستخدام الفضلات السائلة فى إستصلاح الأراضى وزراعة الغابات حول المدن الكبيرة يفيد البيئة المحيطة خاصة فى المناطق النامية حيث تعاني المناطق حول المدن من القطع الجائر للغابات بغرض الحصول على الطاقة والوقود كما وأن الحزام الشجري يساعد فى موازنة الغابات حول المدن ويحد من التصحر والزوابع الرملية .

٧ - ٦ التشريعات والأحكام والمعايير القانونية

إن غياب التشريعات والأوامر الخاصة بحماية البيئة من جراء صرف المخلفات والفضلات الضارة والمواد الملوثة يولد تلوثا ربما تعزز تجافيه والحيولة دون وقوعه. كما وأن غياب التشريع والمعايير يجعل من السهل على المتسببين فى تلوث البيئة التخلص مما لديهم من مخلفات بأى صورة كانت دون مراعاة لتأثيرات سريعة أو بطيئة الحدوث .

إن المعايير اللازمة لتحديد أو التخلص من التلوث تتخذ على أسس إجتماعية وقانونية وهى تتأثر فيما بينها بصورة كبيرة . والقيود اللازمة لذلك تهدف أساسا إلى الآتى :-

- تجنب أى مخاطر واضحة لصحة الإنسان والحيوان .
- منع أو تقليل التلوث البيئى .
- منع تولد أى مؤثر ضار بسكان المنطقة المجاورة للملوثات أو النشاط التلوثى .
- مواكبة التشريعات والقوانين والأعراف والتقاليد السائدة بالمنطقة .

عند وضع التشريع للمواد والملوثات الضارة لأبد من ملاحظة :-

- درجة تركيز الملوثات فى أعضاء الأحياء المائية .
- دخول الأحياء المائية كمواذ تغذية للإنسان عبر السلسلة الغذائية .
- الإستهلاك اليومى للفرد أو درجة تعرض الفرد للملوثات .
- عادات الأكل لدى الشعوب المتأثرة والمتاخمة لمصدر التلوث .

- التقاليد والعادات ذات الجدوى السائدة بالمنطقة .
- تحديد المجموعة السكانية الأكثر تعرضا للتلوث من جراء عادات إستهلاك الطعام البحري أو التعرض لمياه البحار بصورة مباشرة مثلا عند إستخدام المياه، أو بصورة غير مباشرة مثلا نتيجة للحرفة أو الترفيه والإستجمام .
- الأثر المركب للملوثات بالمنطقة وأثر كل ملوث على حدة .
- الخواص الطبيعية والكيميائية والحيوية للملوثات (ضغط البخار، الإتزان عند التعرض للأشعة فوق البنفسجية والضوء، سهولة التفكيت الحيوى، .. إلخ) .
- درجة السمية ومقدار التعرض الملائم دون إستحداث لأى مخاطر أو أمراض أو ما شاكلها .

هذا وإن وضع التشريع والمعايير القانونية للتخلص من الملوثات وتحجيمها بغية المحافظة على البيئة البحرية يعتمد أساسا على النواحي الإقتصادية المتاحة، وما يلزم من إستخدام لتكنولوجيا تتبسط أو تتعقد طبقا لمستوى المحافظة المناط به مجارة التشريع للحيد من التأثير السلبي على المجتمع والبيئة محليا وإقليميا ودوليا .

وللحيلولة دونما تلوث البحار أو تقليل الأضرار والمخاطر التى تنبثق من جراء صب الملوثات بها لا بد من :-

- * تحديد عمق الموضوع عن طريق المؤتمرات والندوات العلمية المختصة على المستويات المحلية والإقليمية والدولية .
- * عقد ورش العمل والدورات العلمية لتدريب العمال المهرة وزيادة كفاءة الكوادر الفنية .
- * قيام وإيجاد المنظمات والجمعيات (الرسمية و الشعبية) العاملة لحماية البيئة .
- * وضع الخطط المبرمجة والمنهجية لصد التلوث .
- * وضع التشريعات اللازمة للحد من مدى تفاقم أو حدوث أو إستسراء التلوث والإصرار على تنفيذ هذه التشريعات .

أما فيما يتعلق بالموضوع الأخير فلا بد من وضع مؤشرات لنوع وتقسيم التشريعات المطلوبة والتى يمكن تقسيمها إلى ثلاثة أقسام رئيسية {٣٨،٣٧،٣٥،٣٤،٣٣،٣٢،٣١،٣٠،٢٩،٢٨} :-

(أ) القانون الدولى لحماية البحار :-

- فى مثل هذه القوانين العامة هنالك عدة مؤثرات تلعب دورا كبيرا فى تحديدها وتحبيدها ومنها :
- حرية إستخدام البحار .
- الحقوق المكتسبة للمياه الإقليمية وانتهاكها .
- المعايير العامة للقانون الدولى لأنهم (فى 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 التطبيقي والمنطقي والمؤسس المطلوب والمنشود عند حدوث التلوث .
 - المصالح الفردية والعالمية وتداخلها طبقا للمعايير الاجتماعية وغيرها .
- حق الدفاع عن النفس وحق البقاء والوجود والحاجة .

(ب) تشريعات وأحكام على المستوى الدولي :-

وهذه يمكن تقسيمها إلى عدة أقسام طبقا لنوع التلوث السائد والمعرفة بالملوثات. كما وأن هذه التشريعات تتغير بتغير درجة التلوث ومخاطرها وجلب التكنولوجيا لملوثات جديدة. ومن أهم التشريعات المطلوبة :

(ب-١) التلوث من السفن و يتضمن :-

- تلوث زيتي .
- تلوث كيميائي بالأوساخ والفضلات وغيرها من مواد سامة وضارة .
- تلوث نووي من السفن ذات المفاعلات النووية ، أو تلك التي تحمل مواد مشعة .

(ب-٢) التلوث من جراء دفن و ردم الأوساخ و الفضلات و يتضمن :-

- الأوساخ الإشعاعية .
- المخلفات بصورة عامة .

(ب-٣) التلوث من جراء العمليات البحرية و الغلاف القارى :-

(ب-٤) التلوث من العمليات العسكرية البحرية و يتضمن :-

- عمليات نووية .
- عمليات حيوية .
- معدات الدمار والردع السامة .

(ب-٥) التلوث بطرق غير مباشرة أخرى.

(ج) تشريعات وأحكام ومعايير على المستوى الإقليمي :-

وهذه يمكن أن تتضمن ما يلي :-

- ١ - التضامن ولتعامل المشترك عند حوادث التلوث الزيتي .
- ٢ - التلوث من جراء المواد المشعة .
- ٣ - دفن ورمم الملوثات في البحار .
- ٤ - التلوث من جراء مصادر ذات أصول صادرة من اليابسة .
- ٥ - التلوث بفعل العمليات والاستكشافات الواقعة على الغلاف القارى وعر البحار .
- ٦ - التكاتف المطرد للتحكم فى نقاء البيئة البحرية .
- ٧ - تحكم غير مباشر يدرج فيه التحكم فى تلوث مياه اليابسة والهواء والإنتاج المحلى للملوثات .

(د) تشريعات على المستوى المحلى :-

وهذه التشريعات تعتمد كثيرا على التقدم العلمى ، والنمو الحضارى للمنطقة وما بها من عوامل تكنولوجية، وما تحتويه من أدوات وسبل قياسية وأجهزة مخبرية وكفاءات بشرية ومهارات فنية ، والنواحى الإقتصادية والإجتماعية السائدة . ويمكن أن تضم ما يلى من التشريعات :-

- ١ - تشريعات عامة لحماية البيئة المحلية .
- ٢ - تشريعات رصد التلوث الزيتى أو غير الزيتى من السفن ومخازن البحار .
- ٣ - تشريعات دفن الملوثات المشعة أو المواد السامة الأخرى فى البحار .
- ٤ - تشريعات للتلوث الناجم من الغلاف القارى وقعر البحار من جراء المناجم والاستكشافات والعمليات المطردة بالمنطقة .
- ٥ - تشريعات للتلوث من مواد أخرى من اليابسة .
- ٦ - تشريعات لآى تلوث ثانوى للبحار عبر الأنهار والمسطحات المائية داخل اليابسة أو تلوث الغلاف الجوى ، أو من جراء الصناعة وأسس الإنتاج أو التخلص من الفضلات والمخلفات البشرية والحيوانية والزراعية والتجارية وما ماثلها .

تتحد التشريعات والقوانين والأحكام المتعلقة بالتلوث فى أهدافها ودوافعها فى أى منطقة أو بلاد، غير أنها تختلف من بلد لآخر طبقا لمعايير ومتغيرات متعددة منها :-

- * النواحى الإجتماعية .
- * المعايير الإدارية .
- * التقاليد والموروثات .
- * التنمية المحلية والأهداف العامة للمنطقة بها .
- * النواحى الإقتصادية والمالية .
- * درجة العون الذاتى للمواطنين .

كما وأن التشريعات والقوانين في حد ذاتها ليست بالكافية بل يجب متابعة تنفيذها والحرص عليها ، وهذا يتطلب تواجد المعامل والمخابر المركزية لفحص خصائص ومواصفات المخلفات والفضلات دوريا على مدار العام . كما ويتطلب التشريع وجود جهات ذات إختصاص تعمل جنباً الى جنب مع جهات الفحص والتجارب . وبهذا المفهوم التكافلي يتسنى العمل في بيئة صالحة خالية أو قليلة التلوث ويبين شكل (١٣) تصور لنوع التعاون وأساليبه بين الفئات المختلفة لمكافحة التلوث والمحافظة على البيئة .

تختلف المعايير والتشريعات بغرض وطرق إستخدام السائل النهائي المعالج ومن أكبر أساليب الإستهلاك الإستخدام الزراعي وري المحاصيل وقد استخدمت مياه الصرف الصحي بطرق مباشرة أو غير مباشرة للري . ولابد من توخي الحذر عند ري المحاصيل التي تؤكل نيئة وغير مطبوخة . ومن المعايير التي أتبعت تحديد القيمة الحيا كيميائية للأكسجين وتحديد قيمة درجات تركيز المواد الصلبة العالقة في السائل النهائي المعالج . غير أن المناحي البكتريولوجية تشكل الخطر الحقيقي للصحة العامة . وقد حدد في بعض المعايير لبعض الدول قيمة كائنات القولونيات Coliform organisms بحيث أن لا تتجاوز ٢٣ أو ٢٠٢ قولونيات على ١٠٠ ملتر ، وفي بعض المعايير الأخرى حدد رقم القولونيات الكلية في حدود ١٠٠ كائن على ١٠٠ ملتر عند إستخدام المياه لري المحاصيل في نظم الري غير المحددة Unrestricted irrigation . (كائنات القولونيات هي فصيلة من البكتريا في السبيل المعوي لذوات الثدي وهي تنتمي إلى الإمعانيات ، وبعض من هذه الكائنات خاصة القولونيات البرازية Faecal coliforms عادة توجد في براز الإنسان وروث الحيوان وتستخدم كمؤشر للتلوث البرازي) ولتحقيق هذه المعايير لا بد من معالجة الفضلات السائلة بالمعالجة الأولية بالترسيب والمعالجة التقليدية الحيوية الثانية يتبعها كلورة مكثفة ومحكمة . وقد أشارت بعض الدراسات الى أن السائل النهائي من برك الموازنة لا يحوى جراثيم ضارة ، ويمكن إستخدامه لري المحاصيل وفي الحياة المائية ، إلا إذا كانت الأرض غير متاحة للإستغلال أو غالبية الثمن ، أو عندما لا تسمح الظروف المحلية بإستخدام برك الموازنة . والغرض من وضع المعايير البكتريولوجية هو الحد من الخطر الصحي المحتمل عند تواجد الكائنات البرازية ، ووضع المعيار لتحديد أعداد البكتريا التي يمكن إكتشافها بالفحص الدوري أو التي يمكن أن توجد في نواتج محطة المعالجة . وفي بعض الأحوال وضعت معايير تقارب معايير المياه المستخدمة للشرب . غير أن وجود الكائنات البرازية (هي كائنات عادة تعيش في أمعاء الإنسان وبعض نوات الدم الحار بدون أن تسبب أي مرض) ، أو حتى الجراثيم في ماء الصرف الصحي لا تعني إمكانية حدوث حالات مرض جديدة ، لأن حدوث حالات المرض الأخرى تحتاج الى عوامل أخرى متداخلة تعتمد على الأحوال المحلية . وفي مجال الباتيات ولصون الصحة العامة يبحث عن حالات الأمراض التي يمكن أن تعزى لإستخدام ماء الصرف الصحي وليس فقط الى وجود جراثيم الأمراض . وقد أشارت البحوث الى أهمية وضع معايير لتلك الأمراض التي تتجم من التعرض لماء الصرف الصحي ، خاصة تلك التي لا تكتشف بالتقانات العادية المتبعة في التحاليل البكتريولوجية التقليدية للفضلات السائلة ، ولا تعمل وحدات المعالجة على التخلص

منها، مثل بيض الديدان، والتي تأتي بأمراض الديدان خاصة لمشغلي المحطات والعاملين بها والمتعرضين للمزروعات المروية بسائل الصرف الصحي .

من المشاكل المحتملة عند استخدام الفضلات السائلة للرى أو عند استخدام الحماة لإستصلاح الأراضي هي مشاكل تلوث المياه الجوفية، مثلاً بتراكم النتترات. وتعتمد درجة التلوث بالنتترات على الظروف المحلية ومعدل استخدام المياه وطبيعة التربة. فمثلاً عند وجود منطقة متجانسة غير مشبعة فوق الطبقة المشبعة من الخزان الجوفى فإنها تعمل على إزالة معظم الملوثات مما يقلل كثيراً من احتمالات تلوث الخزان الجوفى، إلا فى حالة وجود طبقة ضحلة غير مشبعة عالية المسامية فوق الخزان خاصة عندما تكون هذه الطبقة من الصخور المتصدعة، فتزيد مخاطر التلوث بالنتترات فى هذه الحالة. وزراعة النباتات تقلل من النتروجين الموجود .

ولا بد من أخذ الحيطة عند إستخدام الفضلات السائلة لمنع توالد نواقل المرض مثل البعوض والديدان، ومثل البعوضة الماصة *Culex pipions* والتي بالإضافة الى ما تأتى به من إزعاج، كذلك تنقل داء الخيطيات (داء الفيلاريا) *Bancroftian filarrasis* فى معظم المناطق الموبوءة. وربما إحتوت الفضلات السائلة خاصة تلك التى بها فضلات صناعية على مواد كيميائية ضارة بالإنسان والنبات والحياة المائية مثل المعادن الثقيلة والمواد العضوية غير قابلة للتفسخ. وتلوث البورون سام للنبات خاصة لليومون والحمضيات مما يستدعى المراقبة الدقيقة لمنع وجود مثل هذه الملوثات .

ومن المحتمل أن يؤدى (فى المدى البعيد) إستخدام الفضلات السائلة لمدة طويلة للرى الى تراكم المواد السامة أو تزايد الملوحة فى التربة مما يؤدى الى إنتقالها وتراكمها فى النبات وربما وجدت طريقها للإنسان عبر السلسلة الغذائية .

وقد أسخدمت الفضلات السائلة فى مزروعات مثل نبات ألفا، والذرة الشامى (الذرة الصفراء)، والشوفان، والشعير، والعلف والقطن، والأحزمة الخضراء والميادين الخضراء وميادين الجولف .

تجد الجراثيم من بكتريا وفيروسات وبروتوزوا وديدان طريقها من أجسام الضحايا المصابين بالمرض عبر البراز الى آخرين عن طريق الفم (أكل المأكولات والفواكه الملوثة بجراثيم المرض)، أو عن طريق الجلد (مثل حالات البلهارسيا أو الدودة الشصية). ويحتوى البراز أو الفضلات السائلة على العديد من الجراثيم خاصة فى المناطق الموبوءة بالإسهال وجراثيم الأمعاء. كما وقد تحتوى مياه الرى بالفضلات السائلة على ديدان مثل الديدان الكروية (الصر الخراطيني) *Roundworm Ascaris lumbricoides* و الدودة الشصية الملقوة العفجية *Hookworm Ancylostoma duodenale* والدودة الشصية الفتاكة الأمريكية *Necator americanus* والديدان السوطية المسلكة الشعرية الرأس *Human whipworm*

Trichuris trichiura والتي يمكن أن تنتشر عن طريق الرى بالفضلات السائلة الخام غير المعالجة أو تلك التي لم تتم معالجتها جيدا. كما وقد تحتوي الفضلات السائلة على بيض الديدان مثل الدودة الشريطية العزلاء *Tapeworm Taenia saginata* (من البقر) والشريطية الوحيدة *T. solium* (من الخنزير)، ولانتشارها لا بد من دخولها الى حيوان (بقر أو خنزير) قبل أن تؤثر على الإنسان بأكل لحم الحيوان نيئا (غير مطبوخ). ورعى الماشية فى الأراضى المستصلحة بالفضلات السائلة ربما أصابها ببرقات الشريطية العزلاء *Tapeworm Taenia saginata* وربما أصابها بالكيسة المذنبة *Cysticercus* *bovis* وربما زادت نواحي الرى بالرش (الترشاش) من احتمال الإصابة بأمراض فيروسية وبكتيرية. ويعتبر العلف من أهم طرق الانتقال فى المناطق التى يتم رعيها بالفضلات السائلة .

ويختلف الزمن الذى يمكن أن تعيشه الجراثيم البرازية فى التربة وفى المحصول باختلاف عوامل المناخ وطرق الكشف والتحديد. ويبين الجدول (٩) زمن العيش لبعض الجراثيم البرازية فى المناطق الدافئة والتي تكون درجة الحرارة فيها بين ٢٠ الى ٣٠ م .

وللمحافظة على الصحة العامة عند إعادة إستخدام الفضلات السائلة لا بد من معالجة الفضلات السائلة أو تحديد المحاصيل والمزروعات التى يمكن أن تسقى بها، أو التحكم فى مقدار دفع السائل للحقول، أو التحكم فى التعرض، وزيادة الإصحاح البيئى فى المنطقة، أو بأخذ هذه المعايير مجتمعة متى ما سمحت الظروف المحلية والإقتصادية والاجتماعية بذلك .

وفى معظم التشريعات نجد أن التحديد تم بالنسبة لأقصى عدد أو العدد المسموح به للقولونيات البرازية كمؤشر، وذلك نسبة لوجود علاقة بين الجراثيم وتراكيز المؤشرات، لتشابه خواص معيشتها البيئية، ومعدل إزالتها أو فئاتها فى محطات المعالجة. غير أن العدد الكلى للقولونيات لايعتمد عليه كثيرا لتحديد التلوث البرازي، وذلك لأن كل القولونيات ليست من مصدر برازي خاصة فى المناطق ذات المناخ الدافئ، إذ أن نسبة كبيرة منها من أصل غير برازي. كما وأن القولونيات البرازية ليست مؤشر جيد لوجود تلوث بالفيروسات أو بالبروتوزوا أو الديدان. وبيض الديدان له علاقة كبيرة وأثر عظيم على الصحة العامة والخطر من احتمال إنتشار الأمراض عند استخدام المياه للري فى المناطق الموبوءة بأمراض الديدان .

ويمكن اتباع جدول (١٠) للخطوط التوجيهية المقترحة بواسطة منظمة الصحة العالمية للخصائص الميكروبيولوجية عند استخدام المياه فى الزراعة {٢٤} .

يمكن تقسيم المحاصيل على حسب تعرض المجموعة لها والدرجة الصحية المطلوبة والتقسيم المتبع فى الجدول (١٠) كما يلي :

جدول (١٠)

الخطوط التوجيهية المقترحة للخواص الميكروبيولوجية عند استخدام الفضلات المسائلة لصلصات الري الزراعي، أ، {٢٤}

القسم	حالات إعادة الاستخدام	المجموعة المعرضة	الدودة الممسودة المعوية (منورة) ب) متوسط حسابي عدد البيض لكل لتر ج) Intestinal nematodes	القولونيات البرازية متوسط العدد الهندسي لكل مائة مللتر ج)	المعالجة المتوقعة للفضلات المسائلة التي تأتي بالنوعية الميكروبيولوجية المتوخاة
I	رى المحصولات التي يمكن أن تؤكل نيئة وغير مطبوخة رى الميادين الرياضية ، رى الميادين والحدائق العامة د)	عمال ، مستهلكين ، جمهور	أقل من لو يساوي ١	أقل من لو يساوي ١٠٠٠ د)	برك موازنة على لتوالي تصمم للإبقاء بالنوعية الميكروبيولوجية المحددة ، لو تستخدم أتماط معالجة أخرى مكافئة
II	رى محاصيل الحبوب ، رى المحاصيل الصناعية ، رى محاصيل العلف ، رى المراعي، سقى الأشجار و)	عمال	أقل من لو يساوي ١	لا يوجد خط توجيهي مقترح	الحفظ في برك موازنة لمدة ٨ إلى ١٠ أيام ، لو أي أسلوب مكافئ آخر لإزالة الديدان والقولونيات البرازية
III	رى 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 لترسيب المبنى

المفتاح

أ) في حالات معينة لا بد من تغيير الخطوط التوجيهية طبقا للمعايير الوبائية والاجتماعية والثقافية والعوامل البيئية

ب) الصفر الخراطيطي والديدان الشخصية

ج) أثناء فترة الري

د) بالنسبة للحدائق العامة وحدائق الفنادق من الأنسب وضع خط توجيهي أكثر صرامة مثلا أقل من لو يساوي ٢٠٠ قولونيات برازية لكل ١٠٠ مللتر نسبة لملازمة الجمهور لها

و) في حالة رى لشجار الفواكه لا بد من وقف الري لمدة لسبعين قبل جنى الفواكه كما ويمنع أخذ الفواكه الملقاة على الأرض. كما ويمنع استخدام الري بالترشاش

جدول (٩)

الزمن الذي تعيشه بعض الجراثيم البرازية في كل من التربة والمحصول (على درجة حرارة ٢٠ - ٣٠ م) {٢٥،٢٤،}

فترة حياة الجرثومة		الجرثومة
في المحصول	في التربة	
أقل من ٦٠ عادة أقل من ١٥ يوما	أقل من ١٠٠ (عادة أقل من ٢٠ يوما)	(أ) فيروسات حمات معوية
أقل من ٣٠ عادة أقل من ١٥ يوما	أقل من ٧٠ (عادة أقل من ٢٠ يوما)	(ب) بكتريا الكائنات القولونية
أقل من ٣٠ عادة أقل من ١٥ يوما	أقل من ٧٠ (عادة أقل من ٢٠ يوما)	المصنفات السلمونية
أقل من ٥ عادة أقل من يومين	أقل من ٢٠ (عادة أقل من ١٠ يوما)	الضمة الهيضية
أقل من ١٠ عادة أقل من يومين	أقل من ٢٠ (عادة أقل من ١٠ يوما)	(ج) الحيوانات الأولى المتحولة الحالة للنسج
أقل من ٦٠ عادة أقل من ٣٠ يوما	عدة شهور	(د) ديدان بيض الصفر الخراطيني
أقل من ٣٠ عادة أقل من ١٠ يوما	أقل من ٩٠ (عادة أقل من ٣٠ يوما)	يرقات النودة الشصية
أقل من ٦٠ عادة أقل من ٣٠ يوما	عدة شهور	بيض الشريطية العزلاء
أقل من ٦٠ عادة أقل من ٣٠ يوما	عدة شهور	بيض المسلكة الشعرية الرأس

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 الفلفل، وفي هذه الأحوال لابد من التأكد من أن المحصول لا يتلوث بالري بالترشاش أو بالوقوع على الأرض، كما وأن تلوث المطبخ بهذه المحاصيل قبل الطبخ لا يأتي بمخاطر صحية. ولتحقيق المعايير والمواصفات والتشريعات لابد من تكاتف وتعاون الوحدات المختلفة العاملة بالدولة لتحقيق الأهداف المنشودة وتوخي السلامة العامة والمحافظة عليها .

ويمكن تعديل جدول (١٠) بكل منطقة أو دولة لتنماشى مع 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 .

وبالنسبة لإستخدام السائل النهائي في الحياة المائية فيمكن مثلاً في حالة برك إنتاج السمك أخذ خط توجيهي تجريبي للمتوسط الهندسي لأعداد القولونيات البرازية تعادل أو تقل من ١٠٠٠ لكل ١٠٠ مللتر. ولا بد من مراعاة عدم تلوث عضلات الأسماك بالجراثيم والبكتريا. والمعروف أن تلوث عضلات الأسماك بالجراثيم يزداد بزيادة مدة تعرض الأسماك لمياه ملوثة. وبالنسبة للديدان فيمكن أخذ خط توجيهي بعدم وجود عيوش بيض المتقويات Viable trematode eggs في الفضلات السائلة لمنع حدوث أمراض الديدان .

أما بالنسبة للحماة الناتجة من عمليات معالجة الفضلات السائلة فعادة ما يتم التخلص منها بالطمر في الأرض أو الترميد أو قذفها في البحر أو بإستخدامها كسماد للإستصلاح الزراعي لفوائدها من ناحية إحتوائها على مواد التغذية ولتحسينها للتربة. ولا بد من أخذ الحيطة والحذر عند التعامل مع الحماة لا سيما وتقوم وحدات معالجة الفضلات السائلة بإزالة بيض الديدان بواسطة الترسيب ليتراكم في الحماة، ويمكنه العيش في هذه البيئة لمدة قد تصل إلى العام {٢٤}، هذا بالإضافة إلى تراكم الكثير من الجراثيم. ولإستخدام الحماة بأمّن من مشاكل البيض لابد من حفظ الحماة لمدة أطول، فمثلاً يمكن تجفيفها في الشمس لمدة ٦ إلى ١٢ شهراً في المناطق الحارة أو عمل معالجة لها بحيث ترتفع درجة الحرارة إلى مستوى يقتل البيض خاصة بالنسبة لديدان الصفر الخراطيني التي هي من أكثر الجراثيم إصراراً ومثابرة للعيش في الحماة. أو من الممكن إستخدام وحدات التسميد الهوائي composting لخليط من الحماة والفضلات السائلة لتعمل على رفع درجة الحرارة إلى ٥٥ م أو أكثر لقتل الجراثيم .

٧ - ٧ تمارين نظرية وعملية

٧ - ٧ - ١ تمارين نظرية

- (١) ما هي مصادر المخلفات السائلة في منطقتك ؟
- (٢) ابن بعض العوامل الهامة المؤثرة على نوع وكمية الفضلات السائلة في مجتمعك ؟
- (٣) ما هو الفرق بين العمليات الموحدة والمعالجات الموحدة في محطات معالجة الفضلات السائلة .
أذكر بعض الأمثلة لكل واحدة منها .
- (٤) ما هي الأسباب الدافعة لمعالجة الفضلات السائلة ؟
- (٥) ما هي أهم أوجه استخدامات الفضلات السائلة والحماة ؟
- (٦) ما هي المشاكل التي يمكن أن تتجم عندما تتواجد المنظفات الصناعية أو المبيدات أو المركبات السامة بتركيزات عالية في الفضلات السائلة ؟
- (٧) كيف تحسن عملية الترشيح من نوع الماء ؟
- (٨) ارسم مخطط كروكي موضحا عليه الواجهة والمنظر العلوي لمرشح رملي سريع وارسم مخطط آخر لمرشح رملي بطيء .
- (٩) لماذا يوجد فرق واضح في نشاط النمو الحيوي ما بين مرشح الرمل البطيء ومرشح الرمل السريع ؟
- (١٠) ما مساوئ فقد السمات السالبة على عملية الترشيح ؟
- (١١) كيف يمكن نظافة مرشح الرمل البطيء ؟ وكيف تتم نظافة مرشح الرمل السريع ؟
- (١٢) أذكر الفروق الرئيسية بين مرشحات الرمل البطيئة والسريعة .
- (١٣) ما هي مساوئ وفوائد مرشحات الرمل البطيئة ؟
- (١٤) ما هي أهم الطرق المستخدمة لنزع الماء من الحماة ؟ أي طريقة تفضل لبلدتك ؟
- (١٥) ما فائدة عملية نزع الماء من الحماة ؟
- (١٦) لماذا يصعب نزع الماء من الحماة ؟
- (١٧) ما هي أهم العوامل المؤثرة على ترشيح الماء من الحماة ؟
- (١٨) ما هي محاسن ومساوئ طريقة التخفيف عند إستخدامها للتخلص من الفضلات السائلة المنزلية ؟
هل توصي بإستخدام هذه الطريقة للتخلص من الفضلات الصناعية السائلة ؟ ولماذا ؟
- (١٩) أذكر قانون التخفيف وابن الإفتراضات فيه .
- (٢٠) كيف يمكن تقسيم الأنهار على حسب قيمة الحاجة الحيا كيميائية للأكسجين الموجودة بها ؟
- (٢١) ما هي مصادر تجديد الأكسجين في المسطحات المائية ؟ أذكر أهم العوامل المؤثرة في كل مصدر .
- (٢٢) لماذا تتناقص كمية الأكسجين الذائب في الأنهار ؟
- (٢٣) أذكر فوائد نموذج استريتر وفيليس . ما هي أوجه القصور في هذا النموذج ؟
- (٢٤) عرف ما يلي: التنقية الذاتية للمياه السطحية ، ثابت إعادة التهوية ، الزمن الحرج ، نقصان الأكسجين .
- (٢٥) ما هي الأوجه المناسبة لإعادة إستخدام المياه المعالجة ؟

- (٢٦) أذكر محاسن ومساوىء إعادة إستخدام ودوران المياه الراجعة أو السائل النهائي المعالج .
- (٢٧) ما هي الفوائد العامة لعلم الأوبئة ؟
- (٢٨) تحدث بإيجاز عن المخاطر المحتملة عند عدم تقويم المشروع الهندسي التتموى من منظور الصحة العامة.
- (٢٩) أذكر بعض المخاطر الصحية المحتمل حدوثها من جراء إستخدام الفضلات السائلة في رى المحاصيل .
- (٣٠) ما هي أهم العوامل الواجب أخذها في الإعتبار عند وضع التشريعات العامة للتخلص من السائل المعالج النهائي ؟
- (٣١) تحدث عن الخطوط العامة لمنظمة الصحة العالمية للخواص الميكروبيولوجية عند استخدام الفضلات السائلة للري الزراعي ؟ هل توصى بتطبيق هذه المقترحات في منطقتك ؟ ولماذا ؟
- (٣٢) ما هي مخاطر وجود الصفر الخراطيني في الحمأة ؟

٧ - ٧ - ٢ تمارين عملية

- (١) أخذت عينة من حمأة للترشيح عبر قمع بكنر . أوجد معامل المقاومة النوعية للحمأة ، علما بأن :
- قطر ورقة الترشيح = ٧ سم .
- التفريغ الهوائي المستخدم = ٦٥ كيلو باسكال .
- تركيز المواد الصلبة في عينة حجمها ٥٠ مللتر = ٥, ٤ جرام .
- ميلان رسم t/V مع V = ١٠ × ٠, ٨ / ١٢ م/ث .
- درجة حرارة الراشح = ٢٠ °م . (الإجابة : ٤, ١٠ × ١٧ م/كجم) .
- (٢) في جهاز قياس المقاومة النوعية تم الحصول على النتائج الموضحة أدناه :
- ضغط التفريغ الهوائي = ٩٠ كيلو نيوتن / م^٢ .
- درجة حرارة الراشح = ٢٠ °م .
- تركيز المواد الصلبة = ٥ بالمائة .
- مساحة ورقة الترشيح = ٤٤, ١٨ × ١٠ - م^٢ .
- حجم العينة = ١٠٠ مللتر .

الزمن (دقيقة)	الحجم الراشح المجمع (مللتر)
٢	٤, ٩
٣	٦, ٤
٤	٧, ٧
٥	٨, ٨
٦	٩, ٨
٧	١٠, ٨
١٠	١٣, ٤
١٢	١٥
١٥	١٧, ٢
٢٠	٢٠, ٢

أوجد معامل المقاومة النوعية . (الإجابة : $1,5 \times 10^{-17}$ م/كجم) .
 (٣) تم قياس المقاومة النوعية لحماة تحت ضغط ٤٩ كيلوباسكال ووجد أن مقاومتها النوعية تساوي 10.05 متر/كجم . أوجد المقاومة النوعية لنفس الحماة عندما يتغير الضغط الى ٩٥ ، ٦٨ ، كيلوباسكال ، علما بأن معامل الإنضاغطية يساوي $0,8$. (الإجابة : $6,6 \times 10^{-12}$ م/كجم) .
 (٤) تصب أربعة مصانع أ ، ب ، ج ، د فضلاتها السائلة في محطة المعالجة القريبة منها . ويبين الجدول المذكور أدناه كمية ودرجة تركيز قيمة الحاجة الحيا كيميائية للأكسجين لكل مصنع .

المصنع	معدل الدفع (م ^٣ /دقيقة)	قيمة الحاجة الحيا كيميائية (جزء في المليون)
أ	٢٠	٢٥٠
ب	١٠	٤٠٠
ج	٢٥	
د	١٥	٣٠٠

- أوجد الدفع الكلي لمحطة المعالجة .
- قدر قيمة الحاجة الحيا كيميائية للأكسجين الصادرة من المصنع " ج " إذا علم أن قيمة الحاجة الحيا كيميائية للأكسجين الداخلة لمحطة المعالجة تبلغ 265 ملجم/لتر . (الإجابة : 1167 لتر/ثانية ، 202 جزء في المليون) .
- (٥) ينساب مجرى مائي بمعدل دفع 50 متر مكعب على الدقيقة والحاجة الحيا كيميائية للأكسجين فيه تعادل 3 ملجم على اللتر ، كما وأن ماء مشبع بالأكسجين وعلى درجة حرارة 20°C . اتخذ هذا المجرى للتخلص من سائل نهائي معالج ينساب بمعدل دفع يصل الى 8 متر مكعب في الدقيقة وتبلغ الحاجة (المدة خمسة أيام) الحيا كيميائية للأكسجين به مقدار " ص " . بافتراض أن أعلى معدل لنقصان الأكسجين الذائب لا يتجاوز مقدار 4 ملجم/لتر ، وأن درجة حرارة الخليط لم يطرأ عليها أي تغيير من جراء دفع السائل النهائي ، وأن معدل إعادة التهوية يساوي 4 ، ، وثابت معدل التفاعل $0,15$ على اليوم ، أوجد أقصى قيمة للحاجة الحيا كيميائية للأكسجين للسائل النهائي " ص " . (الإجابة : 26 ملجم/لتر) .
- (٦) ارسم منحني ترخيم الأكسجين للمسألة (٥) لمسافات مختلفة مختارة أدنى النهر .

7.8 References

- 1) 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.
- 2) ElHassan, B. M. and Abdel-Magid, I. M., "Environment and Industry: Treatment of Industrial Wastes", Institute of Environmental Studies, Khartoum University, Khartoum, 1986, (In Arabic).
- 3) Wilson, F., "Design calculations in wastewater treatment", E & FN Spon. Ltd., London 1981.
- 4) Abdel-Magid, I.M. "Selected problems in wastewater engineering", Khartoum University Press, National Research Council, Khartoum 1986.
- 5) Rowe, D.R, and Abdel-Magid, I.M., "Wastewater Reclamation and Reuse", Lewis Pub., New York, 1995.
- 6) 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.
- 7) Water Pollution Control Federation, "Sludge Dewatering, Manual of Practice No. 20", Washington, 1969.
- 8) Coackley, P. "The Dewatering Treatment", Ph.D. thesis, London University, 1953.
- 9) Carman, P. C., "Fundamental Principles of Industrial Filtration", Transactions of the Institution of Chemical Engineers, 1938, Vol. 16, 168 - 188.
- 10) Nathanson, J. A., Basic Environmental Technology: Water Supply, Waste Disposal and Pollution Control, John Wiley and Sons, New York, 1986.
- 11) Metcalf and Eddy Inc., "Wastewater engineering: treatment disposal reuse", 3rd Ed., McGraw-Hill Inc., New York, 1991.
- 12) McGhee, T.J., and Steel, E.W. "Water supply and sewerage", 6th Ed., McGraw- Hill, New York 1991.
- 13) Viessman, W. and Hammer, M. J., Water Supply and Pollution Control, Harper and Row Pub., New York, 1985.
- 14) Vesilind, P.A. and Peirce, J.J., "Environmental pollution and control", 2nd Ed., Butterworth-Heinemann, London, 1990.
- 15) Vernick, A. S., and Walker E. C., "Handbook of Wastewater Treatment Precesses, Pollution Engineering and Technology, 19, Marcel Dekker, New York, 1981.
- 16) Van del Leeden, F., Troise, F. L., and Todd, D. K., "The Water Encyclopedia", 2nd Edi., Lewis Publishers, Chelsea, Michigan, 1990.
- 17) O'Conner, D. and Dobbins, W., "The Mechanism of Reaeration in Natural Streams", J. Sanitary Engineering Division, ASCE, SA6, 1956.
- 18) Fair, G. M., Moore, E. W., and Thomas, H. A., "The Natural Purification of River Muds and Pollutinal Sediments", J. Sewage Works, 13: 270, 1941.
- 19) Whipple, G.C., and Whipple, M. C., "Solubility of Oxygen in Sea Water", J. Amer. Chemical Society, 33, 362, 1911.
- 20) Hammer, M. J., Water and Wastewater Technology", Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1986.

- 21) Peavy, H. S.; Rowe, D. R. and Tchobanoglous, G., Environmental Engineering, McGraw-Hill Book Co., New York, 1985.
- 22) Pescod, M. B. and Alka, O., "Reuse of Effluents in the Book Developing World Water, Edited by WEDC, Grosvenor Press International, Hong Kong, 336 - 338.
- 23) Mullick, M. A., Wastewater Treatment Processes in the Middle East, The Book Guild Ltd., Sussex, England, 1987.
- 24) WHO Scientific Group, "Health Guidelines for the Use of Wastewater in Agriculture and Aquaculture", WHO, Technical Report Series 778, WHO, Geneva, 1989.
- 25) Feachem, F. G., et. al., "Sanitation and Disease Health Aspects of Excreta and Wastewater Management", Chichester, John Wiley, 1983.
- 26) WEF and ASCE, "Design of Municipal Wastewater Treatment Plants", Vol. II, Water Environment Federation and American Society of Civil Engineers, 1992, 880.
- 27) Davis, M. L., and Cornwell, D. A., "Introduction to Environmental Engineering", McGraw Hill Inc., New York, 2nd Edi., Chemical Engineering Series, 1991.
- 28) Abdel-Magid, I.M., Hamid, H. I., and Chalabi, M. F., "Pollution of Marine Environment (Causes, hazards, appropriate guidelines and rules for its protection), Paper Presented at the Conference on Protection of Marine Environment, held at the Faculty of Sharia and Law, University of United Arab Emirates, during the period 26 to 27 April 1989 (In Arabic).
- 29) Goldberg, E. D., "The Health of the Oceans", The UNESCO Press, Paris, 1976.
- 30) 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.
- 31) Peirson, D. H.; Gawse, P. A.; Salmon, L.; and Cambray, R. S., "Trace Elements in the Atmosphere Environment", Nature, Vol. 241, 1973, 252-256.
- 32) 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.
- 33) Llod-Jones, C. P., "The Evaporation of DDT", Nature, Vol. 229, 1971, 65-66.
- 34) Blamer, M. and Sass, J., "Oil Pollution: Persistence and Degradation of Spilled Fuel Oil", Science, Vol. 167, 1972, 1120-1122.
- 35) Finch, J., "The Planning and Organization of Industrial Wastes Control Programs Industrial Wastes Guide No. 1", WHO, wd70.6.
- 36) Johnson, R. Edi., "Marine Pollution", Academic Press, London, 1976.
- 37) Shumway, D. L., and Palensky, J. R., "Impairment of the Flavour of Fish by Water Pollutants", E. P. A. R3-73-010, Feb., 1973.
- 38) Bridgewater, A. V., and Mumford, C. J., "Waste Recycling and Pollution Control Handbook", George Godwin Ltd., London, 1979.

الباب الثالث

مكافحة تلوث الهواء

الفصل الثامن : ملوثات الهواء

الفصل التاسع : المعايير الهوائية ومكافحة تلوث الهواء

الفصل الثامن

ملوثات الهواء

٨ - ١ مقدمة

يعتبر الهواء من أهم العناصر الأساسية والضرورية لإستمرار حياة الإنسان. فمثلا تستقبل رئة الإنسان ذو النشاط العادى ما يقارب الخمسة عشر كيلوجراما من الهواء يوميا. وعليه فمن الواجب تجافى أى تعرض للعناصر المحدثة للتلوث الجوى، لا سيما وبإستطاعة الهواء تشتيت ونشر الملوثات فى حيز كبير ومنطقة واسعة، ربما بعدت كثيرا عن مصدر التلوث ومنبعه، دون أى تقيد بالحدود الجغرافية أو السياسية أو الطبيعية أو ما شاكلها .

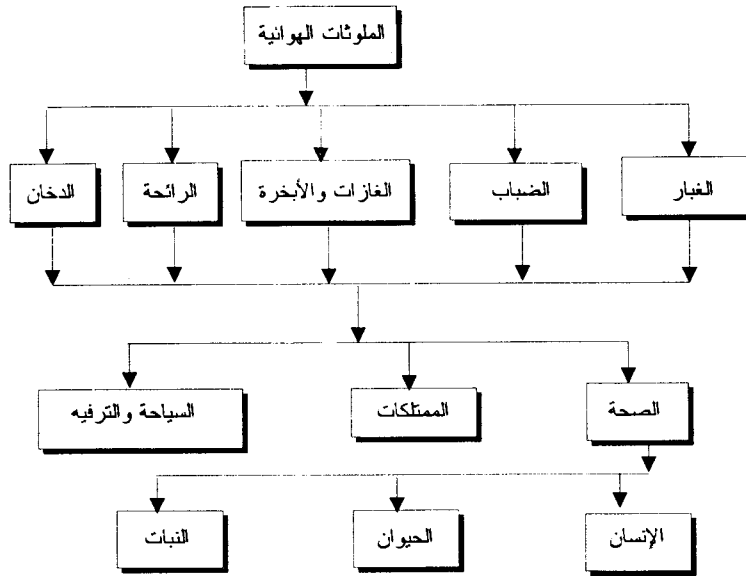
ويعنى تلوث الهواء وجود ملوثات له فى الغلاف الجوى أو فى الهواء الخارجى بتركيز مناسب، وبخواص معينة، ولفترة زمنية كافية، تهدد أو تضر حياة الإنسان وممتلكاته أو تؤثر على مملكتى الحيوان والنبات. وربما أضرت هذه الملوثات وأثرت كثيرا فى الإستفادة من أساليب التقانة الحديثة الهامة والأساسية لتقدم ورقى ورفاهية الإنسان. ومثال لهذه الملوثات الهوائية: الأتربة والغازات والضباب والرائحة والدخان والضبخان والأبخرة السامة وما شاكلها من أنواع الملوثات المختلفة والمتعددة والمتجددة تجدد التصنيع والابتكارات البشرية (أنظر شكل ١) .

٨ - ٢ مصادر تلوث الهواء

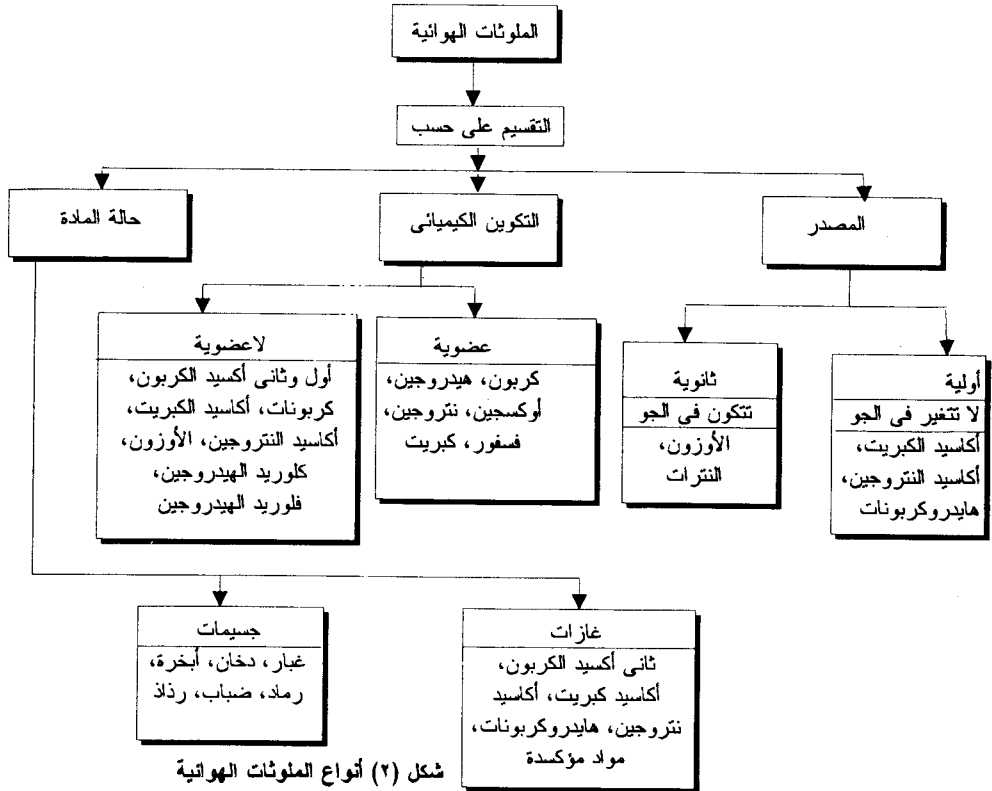
يمكن تقسيم مصادر الملوثات الهوائية الى قسمين أساسيين يضمان {١} {أنظر شكل ٢} :

أ - المصادر الطبيعية: وهذه المصادر تضم الهباء Pollen، والغبار، والأتربة، والرمل (خاصة فى المناطق الجافة أو الصحراوية)، وحبيبات الدخان (الناتجة من الحرائق وثورات البراكين)، والأبخرة، والمتحوصلات الدقيقة جدا Spores، والغازات الناتجة من التحلل اللاهوائى للمواد العضوية (مثل أول أكسيد الكربون - الناتج من تحطم الميثان - ، وغاز كبريتيد الهيدروجين وغاز الميثان)، والضباب (خاصة فى المناطق الرطبة المنخفضة) ، والهيدروكربونات فى شكل تربين Terpenes من أشجار الصنوبر .

ب - المصادر الإصطناعية Anthropogenic: وهذه المصادر تحوى أكاسيد الكبريت، وأكاسيد النتروجين، والهيدروكربونات، وأول أكسيد الكربون، والمواد العالقة. وتنتج هذه الملوثات عادة من وسائل النقل (مثل سيارات الإحتراق الداخلى والطائرات والقطارات والبواخر)، وحرق الوقود من المصادر الثابتة ومحطات توليد القوى الكهربائية، والصناعات القائمة (مثل الصناعات الكيماوية وصناعة الورق وتكرير البترول وصناعة الفلزات) والتخلص من النفايات والمواد الصلبة (المنزلية والتجارية والصناعية والزراعية) والحرائق، .. إلخ .



شكل (١) تلوث الهواء والآثار المترتبة عليه



شكل (٢) أنواع الملوثات الهوائية

كما ويمكن تصنيف الملوثات الهوائية إما على حسب المصدر أو التكوين الكيميائي للملوثات أو طبقاً لحالة المادة على حسب ما موضح أدناه :

أ - التقسيم على حسب المصدر :

تقسم الملوثات على حسب مصدرها الى الآتى :

(أ) ملوثات أولية: وهذا القسم يمثل الملوثات التى تنفث مباشرة الى الغلاف الجوى وتظل بالهيئة والشكل الذى نفثت فيه دون أن يطرأ عليها أى تغير. ومن أمثلة هذه الملوثات: أكاسيد الكبريت SO_x ، وأكاسيد النتروجين NO_x ، والهيدروكربونات HC .

(ب) ملوثات ثانوية: وهى تمثل الملوثات التى تكونت فى الغلاف الجوى بفضل التفاعلات الكيميائية الضوئية Photochemical أو بالحلمأة (التحلل بالماء Hydrolysis) أو بالأكسدة. وأمثلة لهذه الملوثات: الأوزون ونترات البيروكسى أستيل (PAN) .

ب - التقسيم على حسب التكوين الكيميائي :

ويمكن تقسيم الملوثات الأولية والثانوية على حسب مكوناتها الكيميائية الى :

(١) مركبات عضوية: وهذه تحتوى على الكربون والهيدروجين، كما وتحتوى على عناصر أخرى مثل الأوكسجين والنتروجين والفسفور والكبريت. ومن أمثلتها: الهيدروكربونات، والألدهيد، وحمض الكربوكسيل، والكحول، والاستر، والإيثر، والأمينات .

(٢) مواد غير عضوية: ومن أمثلة هذه الملوثات أول أكسيد الكربون وثانى أكسيد الكربون وأكاسيد الكبريت وأكاسيد النتروجين والأوزون وكبريتيد الهيدروجين وفلوريد الهيدروجين .

ج) التقسيم على حسب حالة المادة :

وهنا يتم التقسيم الى جسيماتى وغازى .

(١) التقسيم الجسيماتى Particulate: ويضم هذا القسم مواد (سائلة أو صلبة) ناعمة منتشرة. ومن هذه المواد: الأبخرة والدخان والأتربة والرماد والرذاذ والضباب. وفى حالات معينة تترسب الجسيمات من الغلاف الجوى .

أما الغبار Dust فيتكون 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 بسبب مباشرة عن طريق نقل المواد (مثل الفحم والأسمنت)، أو كنواتج ثانوية لعمليات ميكانيكية (مثل نشر الأخشاب)، أو كمتبقى من عمليات ميكانيكية (مثل صهر الرمل). و لا ينتشر الغبار بسرعة، غير أنه يتعلق فى الهواء أو مع الغازات الأخرى. وأحيانا يترسب الغبار تحت تأثير قوى الجاذبية الأرضية. ويقدر مقاس جسيمات الغبار ما بين ١ الى ١٠٠٠٠ ميكرومتر {١} .

أما الدخان Smoke فهو عبارة عن جسيمات صلبة ناعمة ناتجة من الحرق غير الكامل للمواد العضوية. ومن أمثلة هذه المواد: الفحم والخشب والتبغ. ويتكون الدخان من الكربون (كعنصر أساسي) بالإضافة إلى بعض العناصر الأخرى. وعادة يتراوح قطر حبيبات الدخان بين ٠.٥ إلى ١ ميكرومتر {١}.

أما الأبخرة Fumes فهي عبارة عن جسيمات صلبة ناعمة، غالبا تكون أكاسيد معدنية فلزية (أكاسيد خارصين وأكاسيد رصاص). وتتكون الأبخرة من جراء تكثف أبخرة المواد الصلبة. وربما نتجت الأبخرة من تسامي أو تكلس أو صهر المعادن. ويتراوح مقاسها بين ٠.٠٣ إلى ٠.٣ ميكرومتر. والجدير بالذكر أن الأبخرة يمكن تخزينها وترسيبها.

يتكون الرذاذ Mist من الحبيبات أو القطيرات السائلة المتكونة من تكثيف البخار، أو من جراء انتشار السائل، أو من تفاعلات كيميائية معينة مثل: تكوين رذاذ حمض الكبريت IV. عادة يكون قطر الحبيبات أقل من ١٠ ميكرومتر. ويطلق على الرذاذ اسم الضباب fog عندما يزيد تركيز الرذاذ لدرجة كبيرة تعوق الرؤية.

وبالإضافة لما ورد ذكره قد توجد كائنات حية دقيقة منتشرة في الغلاف الجوي، مثل البروتوزوا والبكتيريا والفيروسات والطحالب والفطريات. وعادة تعيش هذه الكائنات الحية الدقيقة لفترة زمنية قصيرة 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 البكتيريا والفطريات يمكنها عمل متحوصلات دقيقة تمكنها من العيش لمدة أطول وتحت ظروف قاسية.

(٢) التقسيم الغازي: ويضم هذا التقسيم الغازات المبتعثة إلى الغلاف الجوي ولا تترسب منه. ومن أمثلة هذه الملوثات: أكاسيد الكربون وأكاسيد الكبريت والهيدروكربونات.

٨-٣ الآثار المترتبة على تلوث الهواء

غالبا يحدث تلوث الهواء بسبب الغازات الناتجة من الصناعات مثل صناعة الأسمنت والأسبستس والمحاجر والصناعات البتروكيميائية وغيرها من الصناعات، ومن جراء العديد من النشاطات البشرية والطبيعية. ويوضح جدول (١) بعض الأمثلة للملوثات الهامة ومصادرها الرئيسية.

جدول (١)
بعض أمثلة الملوثات الغازية الرئيسية {٥، ٤، ٢}

المصدر	الملوث
محطات توليد الكهرباء، ومصافي ومحطات تكرير البترول، وصناعات الحديد والصلب، وصناعة الورق، وصناعة الكبريتيت، وحرق الفحم والنفط، وتتيقية وصهر وسباكة المعادن .	ثاني أكسيد الكبريت
مصانع إنتاج حمض الكبريت IV، وإنتاج الطوب (الطابوق) الصناعي .	ثالث أكسيد الكبريت
محطات توليد الطاقة، وعمليات صهر المعادن .	الكبريت والكبريتيد
صناعات الحديد، ومحطات توليد الكهرباء، والمسابك، وصناعة الأسمنت.	الدخان أو الغبار أو الأتربة
احتراق الوقود، وتبخر أكاسيد المعادن، وسيارات الغازولين.	أول أكسيد الكربون
احتراق الوقود.	ثاني أكسيد الكربون
محطات إنتاج حمض النتريك، وتوليد الكهرباء، والحديد والصلب، والأسمدة، والحرق تحت الحرارة العالية، وتتنظيف المعادن، والمتفجرات، وإنتاج حمض الكبريت VI .	أكاسيد النتروجين (الأزوت)
مصانع إنتاج النشادر والأسمدة .	الأمونيا (النشادر)
محطات التنظيف والتجفيف .	الهيدروكربونات الكلورة
تكرير وتصفية البترول .	ميركبتانات
إستخراج النحاس .	أكاسيد الخارصين
مصانع إنتاج الكلور، وإنتاج الأمونيا، وإنتاج الكروم، ومحطات تنقية المياه ومحطات معالجة الفضلات والمخلفات السائلة .	هيدروجين الكلور، الكلور
طلاء المعادن، وأفران الصهر، وأعمال الصباغة .	سيانيد الهيدروجين
تصفية النفط (عامل مساعد)، وصناعة الزجاج، وإستخراج السيليكا، وناتج ثانوى عند الإنتاج الإلكتروليتى للألمونيوم .	فلور الهيدروجين

وتزداد المشاكل المترتبة على تلوث الهواء نتيجة لإزدياد درجة تركيز المواد الحامضية، والملوثات المنبعثة أو المنتشرة فيه. وفى هذا المنحى تؤثر كذلك العديد من العوامل على درجة التلوث مثل: محتوى الرطوبة ودرجة الحرارة وسرعة الرياح، وإرتفاع الكثافة السكانية، وزيادة النشاط الصناعى، والمتغيرات الثقافية والاجتماعية والبيئية والاقتصادية .

ومن الأمثلة لمشاكل تلوث الهواء تلك التى تحدث لأكاسيد النتروجين (الصادرة من محطات توليد الطاقة والمصانع) منتجة ثاني أكسيد النتروجين والذى له آثار وخيمة على الصحة العامة حتى عند درجات التركيز القليلة. كما وأن أكاسيد النتروجين والهيدروكربونات (الناجمة من إحتراق الغازات داخل المركبات البترولية) تتأكسد كيميائيا مع غازات الهواء وعند وجود ضوء الشمس تتكون العديد من الملوثات المختلفة. وقد تؤدي هذه الملوثات الى تكوين الضبخان Smog ، أوتحد من الرؤية، أوتعمل

على تهيج العيون، أو تلحق أضراراً على الجهاز التنفسي. أما الأكسدة الكهروكيميائية فينتج عنها غازات مثل: الأوزون وثاني أكسيد النتروجين والبيروكسي استيلينيتريت. والجدير بالذكر أن الأوزون يعوق التنفس الطبيعي عند التعرض له في درجات تركيز ١.٠ ملجم/لتر لمدة ساعتين. كما وقد تزيد هذه الملوثات من تكرار الإصابة بداء الربو، وقد تهيج العيون، وتقلل من الكفاءة الرياضية للفرد، وتؤثر على الرئتين عند الأطفال، وربما تسببت في حدوث بعض الأمراض المسرطنة {٤}.

واستنشاق حبيبات المواد العالقة قد يقودها إلى الرئة. وتعمل شعيرات الأنف على حجز معظم الحبيبات ذات القطر الذي يربو عن ١٠ ميكرومتر من الدخول إلى الجهاز التنفسي. بينما تجد الحبيبات ذات الحجم الأصغر (تلك التي يقع قطرها بين ٢ إلى ٣ 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 .

إن بعض الغازات والمركبات (مثل: ثاني أكسيد الكبريت وكبريتيد الهيدروجين والكبريتات) قد توجد طبيعياً بنسب قليلة في الهواء الجوي. ويزيد من درجات تركيزها النشاط الصناعي وازدياد الكثافة السكانية. أو قد تزداد قيمها بصورة طبيعية (مثلاً يتكون كبريتيد الهيدروجين عند التحلل الحيوي للمواد العضوية). ويعتمد هذا التأثير على عوامل مختلفة متداخلة مع بعضها البعض مثل: سرعة الرياح السائدة بالمنطقة، وطول المداخل المستخدمة لنفث الملوثات، وسرعة تدفق الغازات من المداخل، والطبغرافية المحلية للمنطقة .

وفيما يختص بغاز ثاني أكسيد الكبريت فهو غاز سريع الذوبان، يجد طريقه بسهولة لدم الإنسان عند استنشاقه، ومن ثم يؤثر على الجهاز التنفسي حتى عند درجات التركيز القليلة. وربما أدى هذا الغاز إلى الموت خاصة عند أولئك الأشخاص الذين يعانون من أمراض القلب أو أمراض الرئة، وربما أهلك كذلك كبار السن إذا شاء المولى عز وجل .

وتزداد كمية أول أكسيد الكربون في الجو نتيجة العمليات الصناعية أو بواسطة الطرق الطبيعية. ومن أمثلة الطرق الصناعية المنتجة لأول أكسيد الكربون: الاحتراق 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 لقابليته للإتحاد مع هيمجلوبين الدم مكوناً كربوكسي هيمجلوبين. وهذا المركب المتكون أكثر ثباتاً من الأكسي هيمجلوبين بما يربو عن المائتي ضعف، ويؤثر سلباً على الجزيئات والكريات الحاملة للدم، وربما قاد إلى أضرار وخيمة طبقاً لحالة الإنسان الصحية، ومدة

التعرض، ودرجة تركيز الغاز. وقد يؤثر غاز أول أوكسيد الكربون على الجهاز العصبى الرئيسى، والقلب، وضغط الدم، وعلى المرأة الحامل (الثنى الذى ربما أتى بمواليد ناقصى الوزن والنمو). ويبين الجدول رقم ٢ بعض الآثار الفسيولوجية لأول أوكسيد الكربون .

جدول (٢)
بعض الآثار الفسيولوجية لأول أوكسيد الكربون {٣، ٤}

الأثر المحتمل	درجة التركيز (ملجم/لتر)
مسموح به لعدة ساعات .	١٠٠
لا توجد مخاطر بعد مضى ساعة واحدة .	٤٠٠ الى ٥٠٠
بعض الأثر بعد مضى ساعة .	٦٠٠ الى ٧٠٠
سئنة ولكن لا تتجم عنها أعراض خطرة بعد مضى ساعة	١٠٠٠ الى ١٢٠٠
خطرة عند التعرض لمدة ساعة .	١٥٠٠ الى ٢٠٠٠
شديدة الخطورة فى مدة أقل من ساعة .	٤٠٠٠ أو أكثر

أما غاز كبريتيد الهيدروجين فينتج من جراء التفتيت الحيوى للمواد العضوية (خاصة فى محطات المعالجة)، وعند التنقيب عن الغاز الطبيعى أو النفط. ويتم إستخدام الغاز فى الصناعة مثلا لإنتاج عنصر الكبريت، أو حمض الكبريت VI، أو لإنتاج الماء الثقيل (والذى يستخدم كمهدئ للنيوترونات فى محطات الطاقة النووية). ولغاز كبريتيد الهيدروجين رائحة البيض الفاسد. وهو غاز سام لا لون له، يذوب فى عدة سوائل مثل: الماء، والكحول، والأثير، والكربونات القلوية، والبيكربونات. وغاز كبريتيد الهيدروجين ضار بالجهاز العصبى، ومهيج للجهاز التنفسى عند إستنشاقه، ومهيج للعيون. وهذا الغاز سريع الإمتصاص بواسطة الدم داخل الرئة. وفى بداية التعرض للغاز تؤدى الكمية المستنشقة الى سرعة التنفس (Hyperpnoea)، والتى يتبعها خمول وعدم نشاط فى الجهاز التنفسى (Apnoea). أما فى درجات التركيز العالية فإن غاز كبريتيد الهيدروجين قد يؤدى الى الشلل الفورى. وربما ترتب على إستنشاق الغاز موت المصاب من جراء الإختناق (Asphyxia) ما لم يتم إسعافه عن طريق التنفس الصناعى إذا كان قلبه لازال نابضا وإذا شاء الله سبحانه وتعالى. وربما أدى وجود غاز كبريتيد الهيدروجين الى حدوث حالات من القيء والصداع وفقدان الشهية والأرق عند تواجده بنسب بسيطة فى البيئة المحيطة .

ويمكن تلخيص الأضرار والمشاكل التى قد تحدث من جراء التلوث الهوائى فى النقاط المذكورة أدناه :

- ١- مضايقات ومشاكل فردية : مثل عدم وضوح الرؤيا ، والروائح الكريهة .
- ٢- مشاكل إقتصادية وإجتماعية : 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 المنحنى درجة وحساسية النبات للتلوث، وخصائص الملوثات ودرجة التركيز وزمن التلوث، ونفوق أو مرض الحيوانات النافعة والأليفة عند تعرضها لملوثات طبيعية أو مصنعة مثل ثاني أكسيد الكبريت والغازات الحمضية (مما يضر بالإقتصاد القومى). ويؤدى التلوث الى زيادة عوامل تعرية الحجارة فى المنشآت، وتفتت المنشآت الأثرية والتاريخية والتراثية وتهديد بقاء التراث القومى. كما وأن بعض أنواع النسيج تتأثر بالتلوث الهوائى ومثال لذلك تأثر النيلون عند تعرضه لغاز ثاني أكسيد الكبريت .

٣- أضرار أمنية : ومثال لذلك الزيادة المطردة فى معدلات حوادث السير والمرور (البرى والبحرى والجوى) الناتجة من جراء عدم وضوح الرؤية (أو إعدامها) بسبب التلوث الهوائى .

٤- مشاكل صحية : وهذه المشاكل تتعلق بالكائنات الحية من إنسان أو حيوان. وقد تحدث هذه المشاكل على المدى القصير أو تظهر آثارها على المدى المتوسط أو الطويل. ويبين جدول (٣) المخاطر والآثار الصحية لبعض الملوثات والغازات .

٥- مخاطر صحية للنبات : يتفاوت هنا حجم الضرر الناتج طبقا لعوامل مختلفة ومتداخلة فيما بينها. ومن هذه العوامل : نوع وعمر النبات ومدى تأثره بالملوثات، وتركيز الملوث والزمن اللازم لإحداث الأعطاب. فمثلا إنتاج الأتلين - من عوادم السيارات وإحتراق الغازات الطبيعية وبعض الصناعات الكيميائية - يؤثر فى أداء الهرمونات والإنزيمات النباتية، أو يحد من النمو ، أو يغير فيه خاصية فى الألياف والزهور، وكمثال ذلك تلف الطماطم عند تعرضها للأتيلين لمدة ٤٨ ساعة فى درجة تركيز ١ ملجم/لتر. وكذلك تؤثر مبيدات الحشائش فى إتلاف الأوراق كما يحدث عندما يتعرض القطن أو العنب لمبيد ٢ ، ٤ - د (D-2,4) بتركيز يقارب جزء فى المليون. كما ويحطم ثاني أكسيد النتروجين الكلوروفيل (الليخضور) مما يغير من لون أوراق النبات من الأخضر إلى الأصفر أو الأبيض فى درجات تركيز ٢ الى ٣ ملجم/لتر، وربما يحد من نمو النبات. ويغير الأوزون من لون الأوراق (فى الجزء العلوى منها) كما فى العنب، وذلك عند تعرضه للأوزون فى درجات تركيز حوالى ٤ ملجم/لتر. كما ويفقد النبات خلاياه عند التعرض للأوزون لمدة طويلة {١} . والجدير بالذكر أن حساسية النبات للملوثات الهوائية أكثر من تلك الموجودة عند الحيوان، مما حدا بجعلها معيارا للتكهن ومعرفة مدى التلوث وشدته. وتتفاوت حساسية النباتات للتلوث طبقا لنوع النبات، فمثلا ربما كان من الأجدى التحول من زراعة نبات الألفا ألفا (أبو سبعين) لزراعة القمح عند وجود كميات كبيرة من ثاني أكسيد الكبريت الى نبات آخر يلائم التلوث الموجود أو يساعد على التخلص منه .

جدول (٣)
الآثار الصحية لبعض الملوثات والغازات {٥،٤}

الغاز أو الملوث	المخاطر الصحية
ثاني أكسيد الكبريت	داء الربو والنزلات الشعبية ، التهابات الرئة ، مهيج للجهاز التنفسي ، يولد أمراض القلب والمشكلات النفسية لدى الأطفال، يتلف المحاصيل في درجات تركيز ٠.٣ ملجم/لتر .
أكاسيد الكبريت الأخرى.	قاتل عند التعرض لدرجات تركيز عالية ، مهيج حساس ، سام جدا .
كبريتيد الهيدروجين	داء الربو والنزلات الشعبية، يزيد من مخاطر التهابات الرئة، مهيج للعيون والجهاز التنفسي، يحد من الرؤية في درجات تركيز ٢٥ ملجم/لتر. وتؤثر درجات تركيز ٢٠٠ ملجم/لتر على صحة الإنسان .
الأكثرية والحببيات الصغيرة الحجم.	يسبب تلف الرئة عند مرضى الرئة، سام، يتلف النباتات .
الأوزون	سام، يأتي بمخاطر لمرضى القلب عند درجات تركيز ٣٠ ملجم/لتر، ربما أتلّف الجهاز العصبي الرئيسي، يقلل من مقدرة الدم لحمل الأكسجين.
أول أكسيد الكربون	ربما أتلّف الرئة، سام وتعادل سميته أربعة أضعاف سمية حامض النتريك وتبدأ السمية على درجة تركيز ٠.٥ ملجم/لتر .
ثاني أكسيد النتروجين	سام للأعصاب، اضطرابات نفسية، خدر، فقدان للوعي .
ثنائي كبريتيد الكربون	يتراكم في الجسم، ربما أتلّف مهمة هيمجلوبين الدم .
الرصاص	تولد الضباب السدخاني وتؤثر على الرؤية عند درجات تركيز ٠.١٥ الى ٢٥ ملجم/لتر .
الهيدروكربونات	يسبب مرض الأسبستس، ربما أتى ببعض الأمراض السرطانية .
الأسبستس	يتلف الرئة ، يأتي بمرض البرليوسس عند درجات تركيز تربو على ٠.١ ملجم/لتر
البيريوليوم	مخدر، سام، ربما أتى ببعض الأمراض السرطانية .
الأيثر	ينزع تكلس العظام ، مهيج للجزء العلوى من الجهاز التنفسي ، مهيج لقرنية العين ، صداع، موت .
الفلور	تسمم الماشية بالفلور ومركباته، مهيج قوى، مضر لكل خلايا الجسم، يضر الحمضيات والنباتات، يؤثر على أسنان وعظام الحيوانات .
فلوريد الهيدروجين	مهيج للعيون والجهاز التنفسي .
الكلور	يؤثر على الخلايا العصبية .
سيانيد الهيدروجين	

الأمطار الحمضية : Acid rain

تزداد درجة التلوث الهوائى فى بعض المناطق الصناعية مما يزيد معه تراكيز الغازات الحامضية مثل ثاني أكسيد الكبريت SO_2 ، وأكاسيد النتروجين NO_x . وبعد إطلاق هذه الغازات فى الغلاف الجوى يتم تحويلها الى كبريتات و نترات، والتي تتحد مع الماء لتكون أحماض الكبريت H_2SO_4 والهيدروكلور المخففة. ومن ثم تعود الى الأرض فى شكل ندى أو ضباب أو ضبخان أو رذاذ أو قططية (طبقة جليدية رقيقة)

أو ثلج أو أمطار مكونة الأمطار الحمضية Acid Rains. عادة تكون الأمطار النقية حمضية بعض الشيء، إذ لها رقم هيدروجيني في حدود ٥,٦. وهذا ناتج بسبب الإتزان بين مياه الأمطار وثنائي 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 الى ٤ أو ٣ في بعض الأحوال النادرة. وتؤثر هذه الأمطار الحمضية على المنشآت والمباني وتؤدي الى تآكلها وتحاتها، كما وتهدد هذه الأمطار المصادر المائية وما بها من كائنات حية (حيوانية ونباتية). وربما أضرت بالإنسان ومنتجاته الزراعية والصناعية وما يمتلكه من حيوانات وغابات. كما وأن الأمطار الحمضية يمكنها إذابة المعادن (مثل الرصاص والنحاس) من أنابيب الماء البارد والساخن. كما وقد يتسرب المطر الحمضي الى المخزون الجوفي ويزيد من ذوبانية المعادن السامة {٥}. ومن المعروف أن المياه الجوفية تتكون ببطء من المياه السطحية المناسبة 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 التفكير في أمر الموازنة المطلوبة، ويقود هذا الوضع الى زيادة تركيز المواد الموجودة مثل الرصاص والكارصين والألومنيوم والمعادن الثقيلة مما قد يؤثر على الصحة العامة، ويقود الى الكثير من المشاكل الصحية، ومايتبعها من عواقب وخيمة. ويؤثر المطر الحمضي على السياحة ومناطق الترفيه والإستجمام على ضفاف البحيرات وشواطئ الأنهار، الشيء الذي قد يؤثر سلبا على الإقتصاد القومي. ومن المعروف أن الملوثات يمكن حملها لمسافات شاسعة تقدر بمئات بل آلاف الكيلومترات طبقا لنوع الرياح السائدة ويشار الى هذا الوضع بالمدى الكبير لنقل الملوثات الهوائية. وهناك بعض الأنواع من النباتات والحيوانات المحلية Biota مثل الرخويات وتلك التي تضم الحيوانات ذات الدرع (مثل القواقع، والبطلينوس - حيوان من الرخويات يلتصق بالصخور - Limpet، وبلح البحر، والمحار) تعتمد اعتمادا كبيرا على الكالسيوم لبناء درعها الخارجى الواقى لها. وبما أن الأمطار الحمضية تنذيب بسهولة كربونات الكالسيوم وتتدخل في عملية أخذ الكالسيوم بواسطة هذه الكائنات، فعليه لا يمكن لهذه الكائنات العيش والنمو في هذه البيئة. وتستدعى هذه الآثار الضارة للأمطار الحمضية أخذ الحيطة وتدبير الإدارة الناجعة للحيد منها ومنع حدوثها. وللأمطار الحمضية تداخلات مع الغلاف الجوى والتربة والماء والمرتسبات وأثارها على الإنسان والحيوان والنبات والكائنات الحية الدقيقة. غير أنه لا توجد حلول سريعة، ويحتاج التنظيف الى 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.

وتتفاوت نسبة الأمطار الحمضية من منطقة لأخرى طبقا لمتغيرات عديدة منها: حجم وكمية الملوثات الهوائية بالمنطقة، وعدد وحجم وكفاءة المناطق الصناعية، والغطائين المائي والنباتى بالمنطقة، وطبغرافية وجغرافية وجيولوجية المنطقة، وعوامل الطقس والمناخ: مثل الرياح والحرارة والرطوبة والتبخر، وعدد السكان والكثافة السكانية، والنظم المتبعة للتقليل والحد من نفث الملوثات الى الغلاف الجوى.

ولتفادى الخطورة الناجمة من التلوث الهوائى والأمطار الحمضية فربما يمكن إتمام ذلك عن طريق معالجة الغازات الناتجة من الصناعات ذات الأثر الكبير، وربما عن طريق إستخدام وقود يحوى نسبة قليلة من الكبريت فى وسائل النقل والمواصلات، أو بالتخلص من الكبريت أثناء تصفية النفط بالهدرجة Hydrogenation ، أو بإزالة ثانى أكسيد الكبريت بالمزج مع مادة ماصة مثل الجير أو الحجر الجيرى، أو بالجوء الى مستحدثات وأساليب التقنية الحديثة وإستخدام الطاقة الجديدة والمتجددة، وترشيد إستخدام وترقيع أساليب التقنية المستخدمة حالياً، أو بعمل الكثير من هذه الأمثلة الواقية والمفيدة .

نقصان طبقة الأوزون :

إن وجود الأوزون فى طبقات الجو العليا (٢٠ الى ٤٠ كيلومتر أو أكثر) يعمل كدرع واقى وحاجز مرشح للأشعة فوق البنفسجية. إذ أن زيادة تعرض الجلد للأشعة فوق البنفسجية يقود الى الإصابة بسرطان الجلد .

يتكون الأوزون فى الطبقة الجوية العليا (استراتوسفير Stratosphere) عندما تقوم الأشعة فوق البنفسجية (ذات الطول الأقل من ٢٤٢ نانومتر والصالرة من الشمس) بتعطيم الأكسجين الجزيئى الى ذرات يمكنها التفاعل مع الأكسجين لتكوين الأوزون. وتستمر هذه العملية فى وجود ضوء الشمس، وقد تقود الى زيادة الأوزون فى الطبقة الجوية العليا ما لم توازنها عمليات نقصان وإنخفاض الأوزون. وتضم عمليات نقصان الأوزون فعل الأشعة فوق البنفسجية والطيف المرئى ذات الموجة الطويلة (أكبر من ٣٢٠ نانومتر)، وتضم أيضا تفاعلات الأوزون الكيميائية مع الأكسجين وتداخلها مع أكاسيد النتروجين المفردة ، والتي تأتى من إنتشار أكسيد النتروجين، (N_2O) للأعلى من التربة، وتنتج هذه العملية ٦٠ الى ٧٠ بالمائة من النقصان والإنخفاض. ويؤدى الإتران بين عمليات تخليق الأوزون ونقصانه الى زيادة طبقة الأوزون فى الإستراتوسفير .

يقوم الأوزون بامتصاص الأشعة الشمسية ليؤدى الى زيادة الحرارة فى 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 واقى .

وتضم المواد التى تعمل على نقصان طبقة الأوزون: بعض الغازات العاملة لتغيير العمليات الكيميائية والتفاعلات المذكورة أعلاه، والكلورفلوركربون (مثل CF_2Cl_2 و $CFCI_3$) المستخدمة كدافع للأيرسول Aerosol propellants وفى عمليات التبريد. وتتراكم هذه المواد فى الغلاف الجوى وتظل فى حالة ثبات وإستقرار على الإرتفاعات القليلة، غير أنها تتحطم فى طبقة الإستراتوسفير باعثة الكلور الذى يتفاعل مع الأوزون. وقد أثبتت البحوث العلمية أن طبقة الأوزون قد تناقصت بنسبة ٢,٥ بالمائة فى العقد الماضى عبر مستوى العالم {٦}. ومنذ العام ١٩٧٨ لوحظ أن تركيز الأوزون قل بدرجة كبيرة فى

قارة أنتاركتيكا، ربما بسبب مواد كلورفلوركربون. ويؤدى الإنتاج المستمر لهذه المواد الى نقصان الكبير فى هذه الطبقة الواقية، مما يزيد من كمية الأشعة فوق البنفسجية التى تصل الأرض، الشئ الذى قد يزيد من حالات سرطان الجلد. كما وأن النقصان فى تركيز الأوزون يقود الى تبريد طبقة الإستراتوسفير مما قد يؤدى الى تدفئة سطح الأرض، غير أن هذا الأثر قد تغطيه تغيرات أخرى .

أثر خاصية البيت الأخضر (الزجاجى) Green house effect :

إذا زادت كمية ثانى أكسيد الكربون عن المعدلات العادية فى الغلاف الجوى قد يؤدى ذلك الى تغير فى المناخ. وتعود الإهتزازات الداخلية ودورة ثانى أكسيد الكربون الى إمتصاص الأشعة دون الحمراء. وبذا يقوم ثانى أكسيد الكربون فى الهواء بإمتصاص جزء من الحرارة التى تعكسها الأرض عادة الى الغلاف الجوى، ويقوم بإرجاعها مرة أخرى لسطح الأرض. وعليه لثانى أكسيد الكربون أثر يماثل أثر البيوت الزجاجية المستخدمة فى الزراعة، إذ يقوم بحجز الحرارة التى يمكن أن تضيع بالإشعاع. ومن المحتمل أن يقود تراكم ثانى أكسيد الكربون فى الغلاف الجوى الى حجز كمية مناسبة من الحرارة لتسخين الأرض بصورة كبيرة مما قد يؤدى الى إذابة بعض الجليد فى القارات القطبية الجليدية. غير أنه لا يوجد دليل على أن هذا الاحتمال يمكن أن يحدث {٧}. وتشير بعض الدراسات الى أنه من المتوقع أن تضاعف تراكيز ثانى أكسيد الكربون فى الغلاف الجوى فى منتصف أو أوائل القرن الحادى والعشرين، لترتفع درجات الحرارة العالمية الى ٢ الى ٣ درجات على مقياس كلفن، مما قد يؤدى الى تغيير كبير فى السقوط وتوزيع الجليد {٨}.

ومن المعايير التى يمكن أخذها فى الاعتبار عند التفكير فى التحكم وتجنب خاصية البيت الزجاجى:

- تقليل نفث ثانى أكسيد الكربون من العمليات الصناعية المتقدمة وإستخدام الوقود الطمرى Fossil fuel
- الحد من إمداد النفط قد يسارع من إستخدام نظم قليلة الكفاءة الإحتراقية مما قد يفاقم من نفث تراكيز أكبر من ثانى أكسيد الكربون للغلاف الجوى .
- تحديد إستخدام كلورفلوركربون للتحكم فى بعض الغازات المؤثرة على خاصية البيت الزجاجى (غير ثانى أكسيد الكربون) .
- التحكم فى عملية تبادلات كربون التربة والكربون الحيوى فى التربة بالإضافة الى ثانى أكسيد الكربون
- تقليل القطع الجائر للغابات للإستخدام الزراعى لأنه يؤدى الى إستخدام الأرض كنظام تخزين كربونى قليل الكفاءة، كما وأن هذا الإجراء سيفاقم من الحرق وزيادة ثانى أكسيد الكربون .
- منع إهدار الغابات والإدارة الجيدة للغابات .
- الإدارة الجيدة والمرشدة للأرض والمصادر الطبيعية {٨} .

ولكل هذه الأسباب مجتمعة لا بد من سن القوانين الخاصة بالمكافحة والحد من التلوث الهوائى. ويمكن إتعام ذلك بتقليل هذه الغازات الحمضية، وإنشاء المداخن ذات الإرتفاعات المناسبة لتساعد على تشتت تلك

الملوثات. غير أن بعضها يجد طريقه للغلاف الجوى ليؤثر فى مناطق بعيدة من المصدر، فمثلا ينتج حرق الفحم ما يقارب ٦٠ بالمائة من الملوثات الكبرى، وينتج حرق المخلفات البترولية ما يقارب ٣٠ بالمائة منها وما تبقى تنتجه المصانع .

وقد وضعت المواصفات والمعايير الصحية للهواء الطبيعى الصالح للحياة، لاسيما وتتأثر سلامة الهواء بمقدار النقاء الكيميائى ودرجة الحرارة والرطوبة وغيرها من العوامل المناخية والطبيعية والصناعية. غير أنه يحدث كثيرا إخلال بهذه المواصفات طبقا للنشاط البشرى نتيجة الإطراد المتزايد فى عمليات الاحتراق (مثل التسخين والحرق المباشر للمواد العضوية وغير العضوية) أو من النشاط الصناعى (مثلا من آلات الاحتراق الداخلى وعوادم السيارات) أو بسبب تولد الغازات والأدخنة والأبخرة من المناشط الصناعية والزراعية والمنزلية. وقد تودى هذه الأنشطة مجتمعة الى تغيير خواص وتكوين الهواء مثل: إزدیاد المواد العالقة وإرتفاع درجة الحرارة والرطوبة وتغير اللون والرائحة والكثافة .

٨ - ٤ إدارة نوعية الهواء

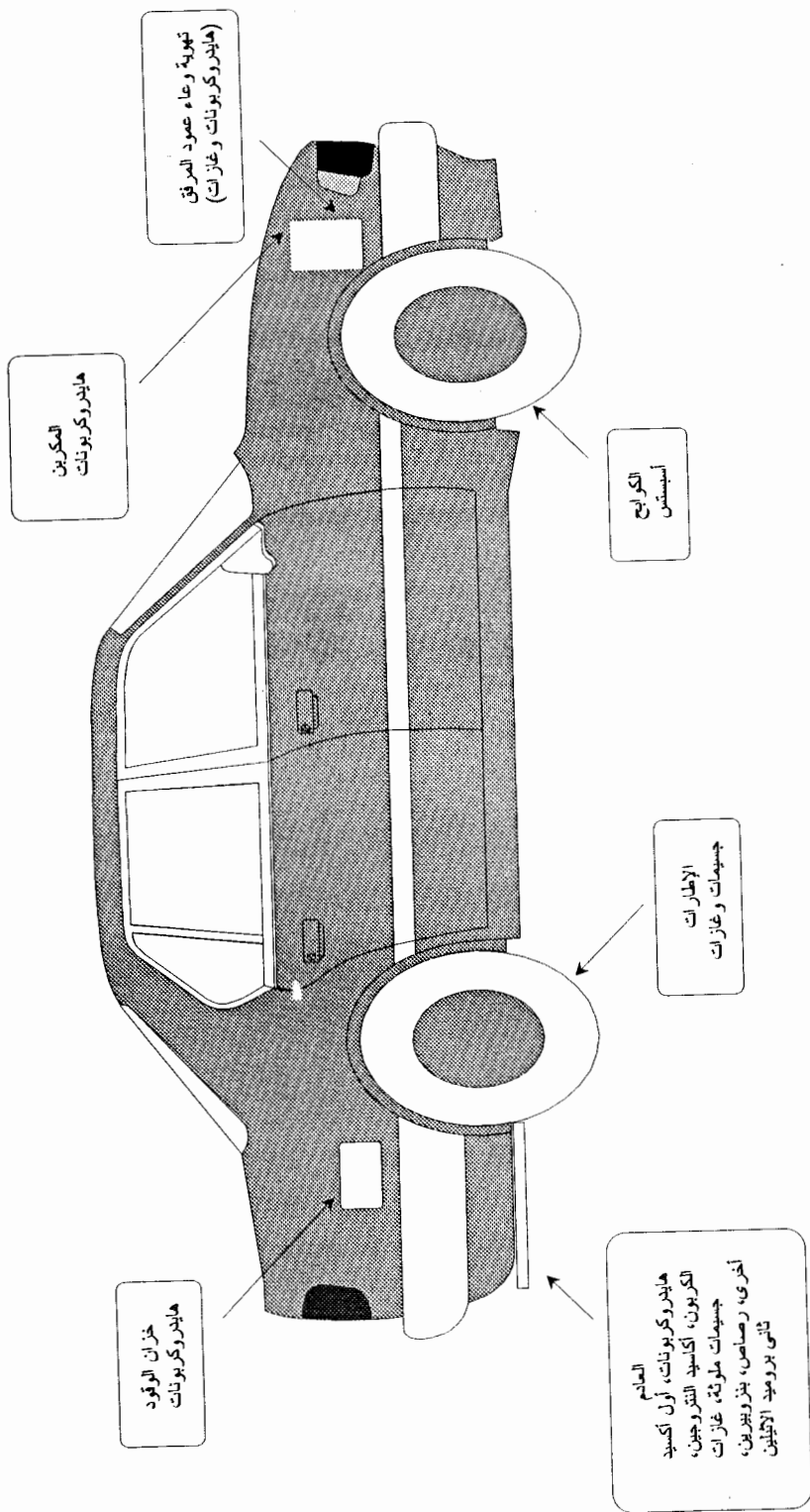
إدارة نوعية الهواء تعالج الأنماط والطرق المتبعة للتحكم فى نوعية هواء الغلاف الجوى. ومن أهم الخطوات الهامة فى هذا الصدد: إستحداث معايير وتشريعات وموجهات التحكم فى تلوث الهواء، ووضع التصور الكامل للإستراتيجيات المتبعة أو تلك التى يمكن إتباعها للتحكم فى الملوثات، وبيان طريقة تطبيق التشريعات، والأحكام الصادرة، وتحديد الجهة المنوط بها تطبيق القانون، وإستحداث سبل وأنماط جيدة لقياس الملوثات، والتأكد من درجات تركيز السموم والغازات والأبخرة والملوثات المنفوثة الى الغلاف الجوى. وتلعب شبكات القياس والمتابعة وجمع المعلومات دورا كبيرا فى التحكم فى الملوثات على مستوى المناطق والأقاليم .

وتتغير التشريعات والقوانين طبقا لعوامل عدة منها طبيعة الملوثات، ودرجات تركيزها، وخواصها، والتفاعلات الممكنة بين الملوثات المختلفة، والآثار الضارة بالإنسان والحيوان والنبات والممتلكات. كما وتتغير التشريعات والأحكام طبقا للمناخ والحالة الصحية والدراسات الطبية للملوثات والنفايات الموجودة.

٨ - ٥ تمارين عامة

- (١) ماذا يعنى تعبير التلوث الهوائى ؟
- (٢) أذكر مصادر تلوث الهواء الرئيسية، وأذكر أمثلة لتلك الملوثات الخارجة من كل مصدر.
- (٣) ماهو الفرق بين الملوثات الأولية والملوثات الثانوية ؟
- (٤) كيف يمكن تقسيم الملوثات الهوائية على حسب تكوينها الكيميائى ؟
- (٥) ما الفرق بين الرذاذ والضباب ؟
- (٦) لماذا لا تعيش الكائنات الحية الدقيقة لفترة طويلة فى الغلاف الجوى ؟
- (٧) أذكر الآثار التى يمكن أن تترتب على تلوث الهواء .
- (٨) ما فائدة سن المواصفات والتشريعات المنوط بها مكافحة التلوث الهوائى ؟
- (٩) ما هى الأمطار الحامضية ؟ وكيف تتكون ؟
- (١٠) كيف يمكن أن تؤثر المياه الحمضية على المخزون المائى الجوفى ؟
- (١١) ما هى المشاكل التى يمكن أن تنجم من الغازات التالية: أكاسيد الكبريت وأكاسيد النتروجين وكبريتيد الهيدروجين والأثلين وفلوريد الهيدروجين .
- (١٢) كيف تزيد كمية أول أوكسيد الكربون فى الجو ؟
- (١٣) تحدث بليجاز عن أهم الآثار الفسيولوجية المترتبة على وجود أول أوكسيد الكربون فى الغلاف الجوى المحيط بمنطقة معينة .
- (١٤) كيف تزيد كمية الأوزون فى طبقة الأوزون .
- (١٥) ماهى الآثار الضارة التى يمكن أن تترتب على نقصان تركيز الأوزون فى الغلاف الجوى ؟
- (١٦) أذكر أمثلة للمواد التى تعمل على تقليل الأوزون فى الغلاف الجوى .
- (١٧) إين كيفية مكافحة نقصان طبقة الأوزون .
- (١٨) تحدث بليجاز عن خاصية البيت الزجاجى الناتجة من زيادة ثانى أكسيد الكربون فى الغلاف الجوى.

- Peavy, H.S.; Rowe, D. R. and Tchobanoglous, G., "Environmental Engineering", McGraw-Hill Book Co., New York, 1985. (١)
- Salvato, J. A., "Environmental Engineering and Sanitation", Wiley-Interscience, New York, 1992. (٢)
- Rossano, A.T., "Air Pollution Control-Guide Book for Management", McGraw-Hill Book Co., New York, 1974. (٣)
- (٤) الحسن، ب. م. وعبد الماجد، ع. م.، "الصناعة والبيئة - معالجة المخلفات الصناعية"، معهد الدراسات البيئية، جامعة الخرطوم، الخرطوم، ١٩٨٦.
- Perry, R. H., Green, D. W., and Maloney, J. O., "Perry's Chemical Engineers' Handbook", 6th Edi., (5 McGraw Hill Book Co., New York, 1985.
- Davis, M. L. and Cornwell, D. A., "Introduction to Environmental Engineering", McGraw Hill Inter. (6 Edi., Chemical Engng. Series, 2nd Edi., New York 1991.
- Vesilind, P. A., Peirce J. J. and Weiner, R. F., "Environmental Engineering", 2nd Edi., Butterworths, (7 Boston, 1988.
- Henry, J. G., and Heinke, G. W., "Environmental Science and Engineering", Prentice Hall, Englewood (8 Cliffs, 1989.



رسم تخطيطي يبين أهم مناطق الملوثات الهوائية الصادرة من السيارة

الفصل التاسع

المعايير الهوائية ومكافحة تلوث الهواء

٩-١ تلوث الهواء والتشريعات الهوائية

يتم وضع التشريعات عادة لحالات الهواء السائد Ambient air conditions، ويقصد بالهواء السائد الهواء المحيط بنا { ٢،١ } .

ومن الأهداف العامة وفوائد التشريعات مايلي :

- ١- حماية الصحة العامة (للإنسان والحيوان) .
- ٢- حماية المصلحة العامة (مثل المباني والمنتجات الزراعية والحيوانية والصناعية) .
- ٣- حماية النباتات والحيوانات والممتلكات .

ويمكن تقسيم التشريعات إلى عدة محاور ومن هذه التقسيمات :

١- تشريعات أولية أو رئيسية .

٢- تشريعات ثانوية .

تختص التشريعات الأولية أو الرئيسية بمعدلات ونوع الهواء الهامة مع أخذ هامش للسلامة يحمي الصحة العامة، غير أن هذه التشريعات لا تمنع حدوث الآثار الضارة من تلوث الهواء {٤} .

أما التشريعات الثانوية فهي تعمل على حماية الأفراد ، حتى ذوي الحساسية بما فيهم كبار السن والأشخاص الذين لهم مشاكل وأمراض في الجهاز التنفسي {٣} ، كما تقوم هذه التشريعات بالحماية من آثار النظم الأخرى {٥} .

وتوضع التشريعات للعديد من العينات لمدة متوسطة من الزمن، لأن الآثار الناجمة تعتمد على درجة تركيز الملوث وزمن التعرض .

كما ويمكن تقسيم التشريعات الى :

١- تشريعات ذات مدى محتمل Tolerable range: وهذه تختص بدرجات التركيز المطلوبة للحد من التلوث دونما إبطاء .

٢- تشريعات ذات مدى مقبول (أو مسموح به) Acceptable range: ويعطى هذا المدى حماية مناسبة ضد الآثار الضارة .

٣- تشريعات ذات مدى مرغوب Desirable range: ويعطى هذا المدى أهداف عامة طويلة المدى لنوع الهواء ، كما ويأتى بأساسيات سياسة عدم التلوث للمناطق غير المتعرضة للتلوث بالمنطقة . وقد لوحظ أن الحبيبات التى لها صلة وثيقة بالآثار الصحية الضارة ذات أقطار تساوى ١٠ ميكرومتر أو أقل {٢} .

كما ويمكن تقسيم التشريعات بصورة عامة الى {٣} :

١- تشريعات نوع الهواء السائد Ambient air quality standards وهذه تعرف التراكيز المقبولة للملوثات الهوائية .

٢- تشريعات الانبعاث Emission standards: وهذه تعرف المعدلات المسموح بها والتي يتم على ضوءها إطلاق الملوثات من مصادر إنتاجها.

وعادة يتم وضع تشريعات الانبعاث للمصادر الجديدة، أو عند إجراء تعديلات على المصادر الثابتة، مثل محطات إطلاق طاقة الوقود الطمرى، والمرامد، ومحطات الأسمت البورتلاندى، ومحطات حمض النتريك، ومصافي النفط، ومحطات معالجة الفضلات السائلة، والمصهورات المختلفة {٣} .

ويمكن وضع التشريعات الوطنية أو المحلية للمواد السائدة لملوثات الأداء Criteria pollutants، مثل أول أكسيد الكربون، والرصاص، وأكسيد النتروجين، والأوزون، وثانى أكسيد الكبريت، والجسيمات التى يقل قطرها عن ١٠ ميكرومتر. ومن الواجب مراجعة ملوثات الأداء باستمرار، وإتمام تعديلها على حسب المعلومات العلمية والبحثية المتاحة .

عادة يتم تمييز درجة تركيز الملوثات على حسب الحجم، مثل تعبير جزء من المليون (ppm)، والتي تعنى حجم الملوث لكل مليون حجم من خليط الهواء كما موضح فى المعادلة ١ .

$$\text{جزء من المليون} = (\text{حجم واحد من الملوث الغازى}) \div (\text{مليون حجم من الهواء}) \quad (١)$$

وفى بعض الأحيان يعبر عن تراكيز الغازات بوحدات مختلطة من الكتلة على وحدة حجم الغاز، مثل ميكروجرام على المتر المكعب، أو مليجرام على المتر المكعب. أما العلاقة بين الوحدات الحجمية (ppm) ووحدات تركيز الكتلة على الحجم، فتعتمد على ضغط الغاز ودرجة الحرارة بالإضافة الى الوزن الجزيئى للغاز. ومن المعلوم أن المول الواحد من الغاز المثالى على درجة حرارة صفر درجة مئوية وضغط جوى واحد (جو) يملأ حيزاً مقداره ٢٢,٤ لتراً. وتبين المعادلة ٢ هذه العلاقة .

$$C_g = C_p \cdot (MW \cdot 1000) / V \quad (٢)$$

حيث :

$$C_g = \text{درجة تركيز الغاز، ميكروجرام/م}^3$$

$$C_p = \text{درجة تركيز الغاز، جزء من المليون} .$$

$$MW = \text{الوزن الجزيئي للغاز، جرام كتلة مول} .$$

$$V = \text{حجم الغاز، لتر/ مول} .$$

ومن فوائد التقدير الحجمي لدرجة التركيز (ppm) أنه لا يتغير بتغير درجة الحرارة والضغط، مثل الوحدات المختلطة من ميكروجرام/م^٣.

مثال ١ :

هواء على درجة حرارة صفر درجة مئوية وعلى ضغط واحد جو يحتوى على ٠,٤ جزء من المليون من ثاني أكسيد النيتروجين . وضع درجة تركيز الغاز بوحدة ميكروجرام على المتر المكعب .

الحل :

- ١- المعطيات: T = صفر °م ، P = ١ جو ، C_p = ٠,٤ جزء من المليون .
- ٢- أوجد الوزن الجزيئي لغاز ثاني أكسيد النيتروجين NO₂

$$MW = 14 + (2 \times 16) = 46 \text{ جرام/ مول} .$$
- ٣- أوجد درجة تركيز الغاز بوحدة ميكروجرام/ متر مكعب باستخدام المعادلة

$$C_g = C_p \cdot (MW \cdot 1000) / V$$

$$C_g = 821 \text{ ميكروجرام/م}^3 = 22,4 \div (1000 \times 46 \times 0,4)$$

دليل تشريعات الملوث PSI Pollutant standards index

تمت تنمية هذا الدليل ليكامل عدة عوامل معقدة تكون في مجملها نوعية الهواء {٦}. ويستخدم الدليل لإيضاح تقويم عام عن نوعية الهواء اليومية للجمهور. ويضم الدليل القياسات السائدة لأهم ملوثات الأداء في صورة أرقام محددة. فمثلاً نجد أن الدليل الذى قامت بوضعه جمعية حماية البيئة الأمريكية يربط خمس من الملوثات تضم أول أكسيد الكربون، وثاني أكسيد الكبريت، والجسيمات الكلية العالقة، والمواد المؤكسدة الكيميائية - ضوئية أو الأوزون، وثاني أكسيد النيتروجين كما موضح فى جدول (١). ويذكر أن نوعية الهواء جيدة عندما يكون المقياس السائد لكل ملوثات الأداء لها دليل تشريعات ملوث يساوى ٥٠ أو أقل. ويبين جدول (١) ملخص مختصر للأثر الصحى المتعلق بعدة مستويات لدليل تشريعات الملوث .

جدول (١)
دليل تشريعات الملوثات ومواصفات نوع الهواء والآثار الصحية المترتبة عليه {٦،٣}

التحذير	الآثار الصحية	الوصف	دليل تشريعات الملوث
لا بد أن يقلل مرضى القلب أو مرضى الجهاز التنفسي من بذل أي مجهود عضلي أو ممارسة النشاط خارج المنزل	زيادة معتدلة في الأعراض عند الأشخاص الغالبين للتأثر، كما وتظهر أعراض تهيجات عند الأشخاص الأصحاء	جيد متوسط غير صحي	صفر إلى ٥٠ من ٥١ إلى ١٠٠ من ١٠١ إلى ١٩٩
يقع كبار السن ومرضى القلب والرئة داخل المنازل، ويقال النشاط العضلي	زيادة كبيرة في الأعراض، ونقصان التمارين المحتملة عند مرضى القلب ومرضى الرئة، كما وتنتشر الأعراض عند الأصحاء	غير صحي بدرجة كبرى خطر	من ٢٠٠ إلى ٢٩٩ من ٣٠٠ إلى ٣٩٩
يقع كبار السن والمرضى داخل المنزل ويمتنعوا عن بذل التمارين العضلية ويمتنع جمهور الناس عن النشاط خارج المنزل	حذوث بعض الأمراض بالإضافة إلى زيادة كبرى في الأعراض، ونقصان التمارين المحتملة عند الأشخاص الأصحاء	خطر	من ٤٠٠ لو أكثر
يقع كل الناس داخل المنازل وتغلق النوافذ والأبواب، ويقال كل الأشخاص التمارين العضلية ويجنبوا حركة المرور	ربما حدث موت للمرضى وكبار السن، أعراض ضارة للأشخاص الأصحاء تؤثر على نشاطهم المعدي		

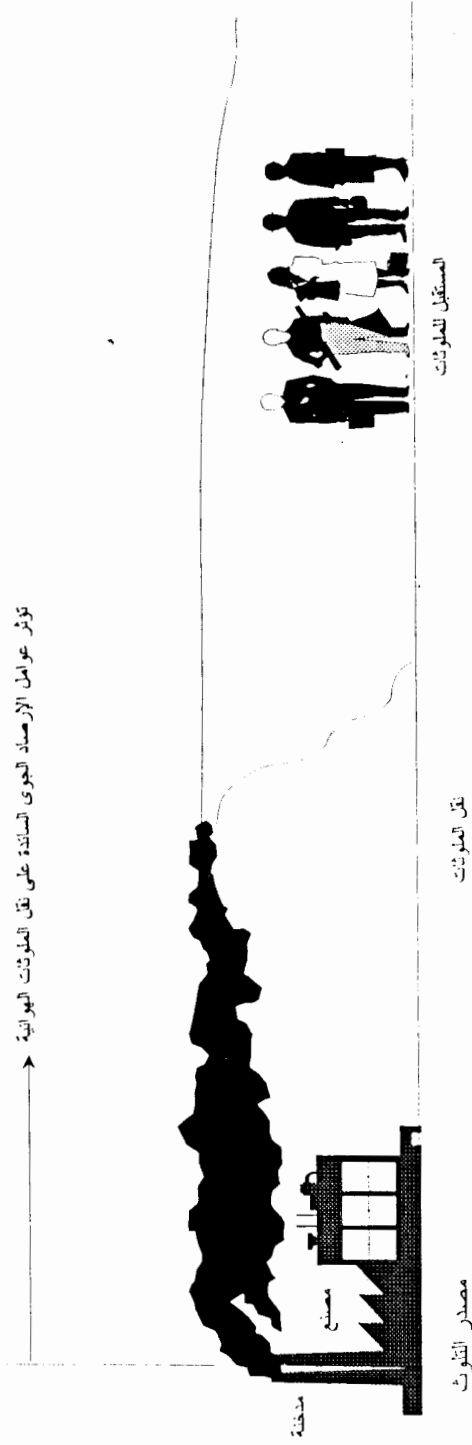
٩ - ٢ الإحصاء الجوي وتلوث الهواء

تؤثر عوامل الأرصاد الجوية بصورة كبرى على تلوث الهواء. وتحكم مشاكل تلوث الهواء ثلاث عناصر: هي مصدر التلوث، وحركة الملوث، والمستقبل للتلوث Recipient، كما موضح في شكل (١). وتحكم حركة الهواء مؤثرات الأرصاد الجوية. يتمدد الغلاف الجوي باستمرار ويقوم بضغط الغازات في عمليات تبادل الحرارة مستخدما الطاقة الشمسية لإتمام هذه الحركة. كما وأن فرق الحرارة الدافعة بين خط الإستواء والقطبين يعطى الدورة الكلية الأولية للغلاف الجوي المحيط بالأرض. أما الطقس فينتج من دوران الأرض متحدة مع فرق موصلية الحرارة في البحار وعلى اليابسة {١} .

ومن أهم العوامل المؤثرة في حركة نقل الملوثات: الرياح السائدة، والإضطراب، ودرجة الحرارة في الغلاف الجوي . ويتم نقل الملوثات اعتمادا على سرعة الرياح وفي اتجاه حركتها {٥}. وتعتمد سرعة الرياح جزئيا على خارطة الضغط الجوي. وعندما تكون منحنيات تساوى الضغط الجوي Isobars (الخطوط ذات الضغط المتساوى) متقاربة لبعضها البعض ينحدر ميل الضغط وتزيد سرعة الرياح نسبيا. وعندما تكون خطوط تساوى الضغط الجوي متباعدة من بعضها تكون الرياح خفيفة، وربما غير موجودة {١} .

ويتم إنتشار الملوثات تحت عوامل الإضطراب عندما تتبعث في شكل ريشة Plume من مصدر مستمر أو في شكل نفخة (نفث متقطع) Puff من مصدر فوري {٥}. وكلما زادت سرعة الرياح زاد

تؤثر عوامل الإحصاء الهوى السائدة على نقل الملوثات الهوائية

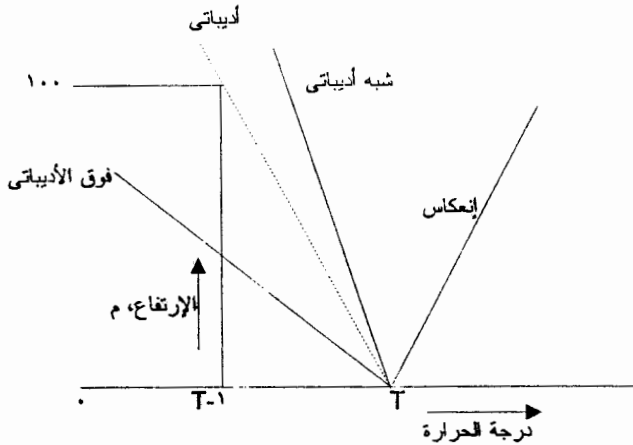


شكل (١) إنتقال الملوثات الهوائية

الإضطراب الميكانيكي. وزيادة الإضطراب الميكانيكي تسهل انتشار ونشر الملوثات في الغلاف الجوي {١}. تتأثر سرعة الرياح واتجاهها والإضطراب في الطبقة الهوائية على ارتفاع ١ كيلومتر أعلى سطح الأرض (حيث تنفث معظم الملوثات) بصورة كبرى-بينية الغلاف الجوي الراسي والتي يطلق عليها معدل إنقضاء الحرارة Lapse rate of temperature {٥}. ويكون مقطع الهواء مستقرا لبعض درجات الحرارة وهذا يعني أن الهواء على ارتفاع معين تعمل عليه قوى طبيعية تجعله يميل إلى الإستقرار على ذلك الارتفاع. ويقلل الهواء المستقر من انتشار وتخفيف الملوثات. 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 الإستقرار الراسي للغلاف الجوي معيار هام يساعد لإيجاد قابلية الغلاف الجوي لتخفيف المواد المبتعثة {٣}.

الانتشار الراسي للملوثات :

عندما ترتفع كتلة من الهواء عبر الغلاف الجوي للأرض يقل الضغط عليها من جزيئات الهواء المحيط بها، وبذا تتمدد. ويؤدي هذا التمدد إلى نقصان حرارة كتلة الهواء. ومعدل تبريد الهواء الجاف المرتفع إلى أعلى يسمى 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 المعنى والهواء المحيط بها. وتسمى قياسات الحرارة والارتفاعات الحقيقية معدل الإنقضاء الموجود Prevailing lapse rates كما موضح في شكل (٢)، ومن ثم يمكن تعريف الحالات الآتية :



شكل (٢) معدل الإنقضاء الموجود ومعدل الإنقضاء الجاف الأديباتي

- معدل إنقضاء معتدل Neutral lapse rate: ويحدث عندما يكون معدل الإنقضاء الموجود مساوياً لمعدل الإنقضاء الأديباتي، حيث تتولد حالة إتزان معتدل .
- معدل إنقضاء فوق الأديباتي، أو معدل إنقضاء قوى Super adiabatic lapse rate: وتحدث هذه

- الحالة عندما تهبط درجة حرارة الغلاف الجوى الى أكثر من درجة مئوية واحدة لكل مائة متر .
- معدل إنقضاء شبه أديباتى، أو معدل إنقضاء ضعيف Subadiabatic lapse rate: ويتفرد بهبوط فى الحرارة الى أقل من درجة مئوية واحدة لكل مائة متر .
- معدل إنقضاء عكسى Inversion: وهذه حالة خاصة لمعدل إنقضاء ضعيف ، ويوجد فيها هواء ساخن فوق هواء بارد {٢} .
- حالة تدخن Fumigation: وهذه حالة خطيرة ، يتم فيها حجز الملوثات الهوائية تحت حالة عكس وتمزج بفعل معدل الإنقضاء الكبير .
- الريشة الحلقيّة Looping plume: وهذه أيضا حالة خطيرة نسبة للتركيز العالى للملوثات على سطح الأرض عند ملامسة الريشة لسطح الأرض {٢}.

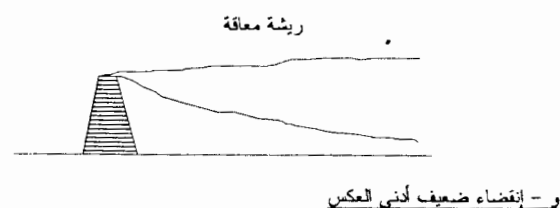
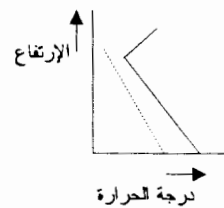
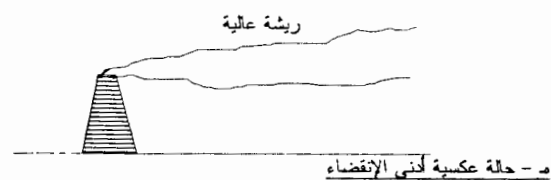
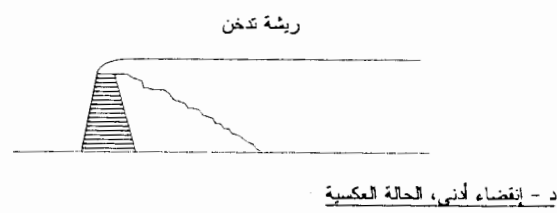
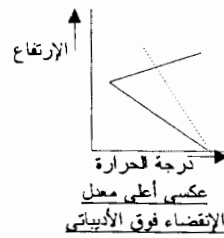
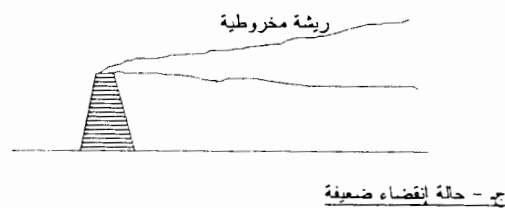
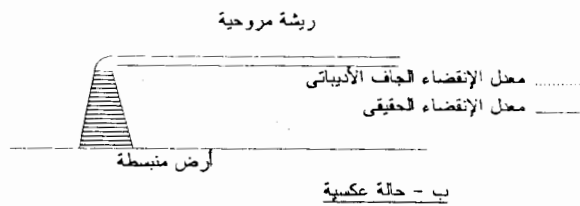
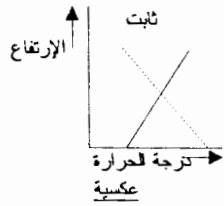
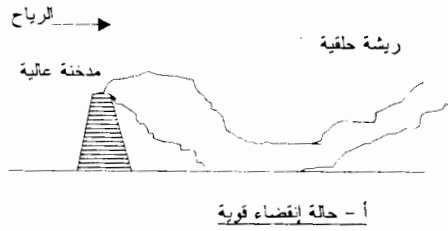
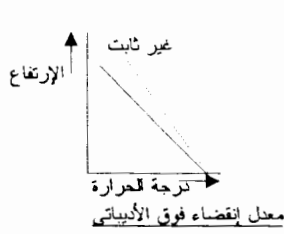
وغالبا يتم التعرف على إتزان الغلاف الجوى بنوع الريشة (ذيل الدخان Smoke trails) المنبعثة من المداخن . ويبين شكل (٣) عدة أحوال للريشة وثبات وإستقرار الغلاف الجوى .

٩ - ٣ نماذج إنتشار الملوثات

يمكن تعريف الإنتشار على أنه عملية نشر المواد المبتعثة على منطقة كبيرة تعمل على تخفيف تركيز الملوثات المعنية. أما نموذج الإنتشار فهو عبارة عن وصف رياضى لعملية نقل وإنتشار الملوثات وإيجاد قيمها مقارنة بالمصدر وعوامل الرصد الجوى عبر فترة زمنية محددة. وتنتج محصلة الحسابات العددية تقديرا لتركيز ملوث معين، فى مناطق محددة، وفترات زمنية معروفة. ويتم التحقق من النموذج بقياس تركيز ملوث هوائى معين ومقارنة نتائج القياس مع القيم المحسوبة والمقدرة عن طريق النموذج، عبر إستخدام معايير إحصائية معينة ومتفق عليها .

أما عوامل الرصد الجوى المطلوب إدراجها فى النموذج الرياضى فتحتوى إتجاه وسرعة الرياح، وثبات الغلاف الجوى. وفى بعض النماذج يؤخذ أيضا: معدل الإنقضاء، وإرتفاع الخلط الرأسى فى الإعتبار. ويمكن تقسيم النماذج على النحو التالى :

- (أ) نماذج قصيرة الأجل: وهذه النماذج تختار لتحقيق أحد أو كل الأهداف التالية :
- تقدير درجات التركيز السائدة عندما يصعب عمليا أخذ عينة (مثلا بالنسبة للأنهار والبحيرات أو عند الإرتفاعات الشاهقة) .
- تقدير الإنخفاض الطارئ المطلوب عند مصدر التلوث مقارنة بفترات ركود الهواء فى حالة الإنذار من التلوث الهوائى .
- تقدير أكثر المناطق (فوق سطح الأرض) المحتمل تواجد أكبر تركيز للملوثات بها فى المدى القصير، وذلك كجزء من خطة تقويم تختار بها أنسب منطقة لوضع جهاز رصد ومراقبة تلوث الهواء .



شكل (٣) أشكال ريشة الدخان وإستقرار الهواء الجوي

(ب) نماذج مناخية: وتستخدم النماذج المناخية 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. وتستخدم النماذج طويلة الأجل للمساعدة لتنمية أو تطوير أو مراجعة أو تعديل تشريعات المواد المبتعثة {١} .

وهناك العديد من نماذج الانتشار التجريبية المطورة. وتعتبر 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 {٦}. وتفترض 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 {٣}. ومن أهم الافتراضات المدرجة عند تحليل النموذج ما يلي {٣،٢} :

- إستمرارية نفث الملوث من المصدر .
- عمليات الانتشار والابتعاث تتبع حالة مستقرة أو مطردة (Steady state) ($dC/dt = 0$) .
- غالبا تتحرك الملوثات أدنى إتجاه الرياح .
- لا تتغير سرعة الرياح بالنسبة للزمن أو الارتفاع .
- الملوث محافظ ، أي أنه لا يفقد بالإضمحلال ، أو بالتفتت، أو بالتفاعل الكيميائي، أو بالترسيب، ولا يحجز جزء منه عندما يصل الأرض بل ينعكس جميعه .
- تعتبر الأرض مستوية تقريبا أو تعتبر المنطقة مفتوحة .
- تكون أكبر درجة تركيز لجزيئات الملوث على خط الريشة المركزي .
- تنتشر الجزيئات تلقائيا من مناطق التركيز العالية إلى مناطق التركيز المنخفضة .

ويبين شكل (٤) رسم مبسط لنموذج جوسيان .

توضح المعادلة ٣ معادلة ريشة جوسيان لتركيز الغاز أو الإيروسول ذي القطر الأقل من ٢٠ ميكرومتر والمحسوب على ارتفاع مستوى الأرض لمسافة (X) أدنى إتجاه الرياح {٦،٥،٣،٢،١} .

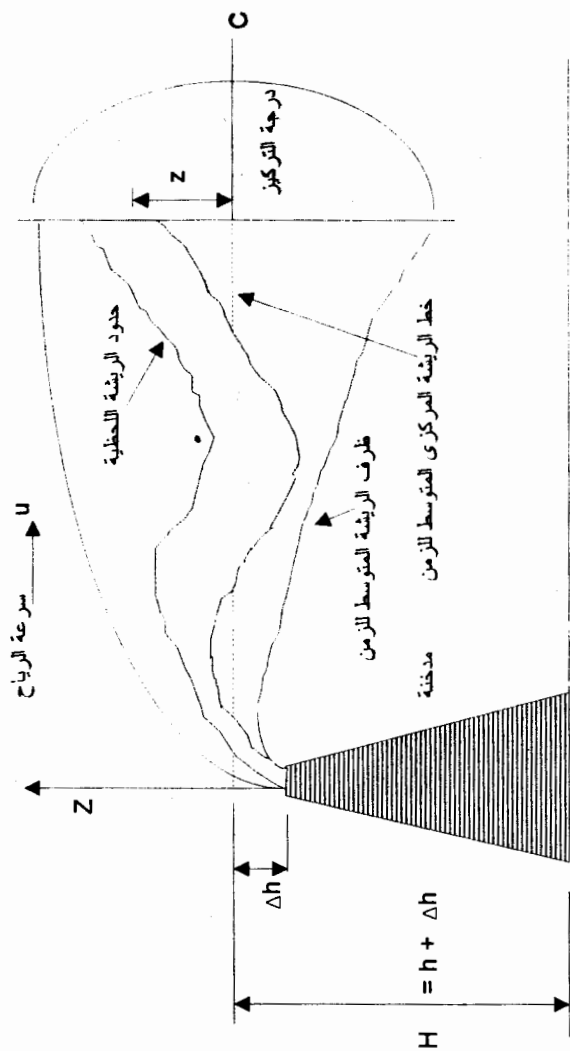
$$C(x,y) = (Q/(\pi\sigma_y\sigma_z)) \left[\exp(-1/2 (H/\sigma_z)^2) \right] \exp[-1/2 (y/\sigma_y)^2] \quad (٣)$$

حيث :

$C(x,y)$ = درجة تركيز الملوث على سطح الأرض على النقطة (X, y)، جم/م^٣ .

Q = معدل المواد المبتعثة أو الملوثات ، جم/ث .

U = سرعة الرياح المتوسطة على ارتفاع المدخنة الفعال، م/ث .



المسافة المباشرة (أبني اتجاه الرياح) من مصدر التلوث

شكل (٤) نموذج جوسيان

σ_y = الإنحراف المعياري الأفقي لتركيز الريشة ، والتي تقدر للمسافات (x) أدنى اتجاه الرياح ، م (انظر شكل ٥) .

σ_z = الإنحراف المعياري الرأسي لتركيز الريشة والتي تقدر للمسافات (x) أدنى اتجاه الرياح ، م (انظر شكل ٥) .

H = ارتفاع المدخنة للفعال ، م .

أما ارتفاع المدخنة للفعال فيمكن تقديره من المعادلة ٤ .

$$H = h + \Delta h \quad (٤)$$

حيث :

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 .

اما ارتفاع الريشة Δh فيمكن حسابه من معادلة هولاند { ٧،٦،١ } الموضحة في المعادلة ٥ .

$$\Delta h = (v_s d / u) [1.5 + (2.68 \times 10^{-2} P ((T_s - T_a) / T_s) d)] \quad (٥)$$

حيث:

Δh = ارتفاع الريشة أعلى المدخنة ، م .

v_s = سرعة غاز المدخنة ، م/ث .

d = القطر الداخلي للمدخنة ، م .

u = سرعة الرياح ، م/ث .

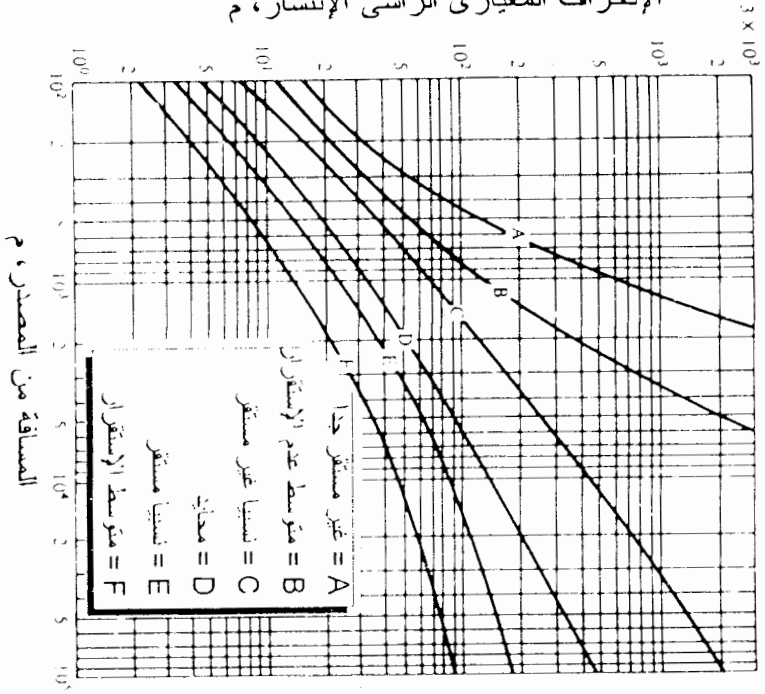
P = الضغط البارومتري ، كيلو باسكال .

T_s = درجة حرارة غاز المدخنة ، كلفن .

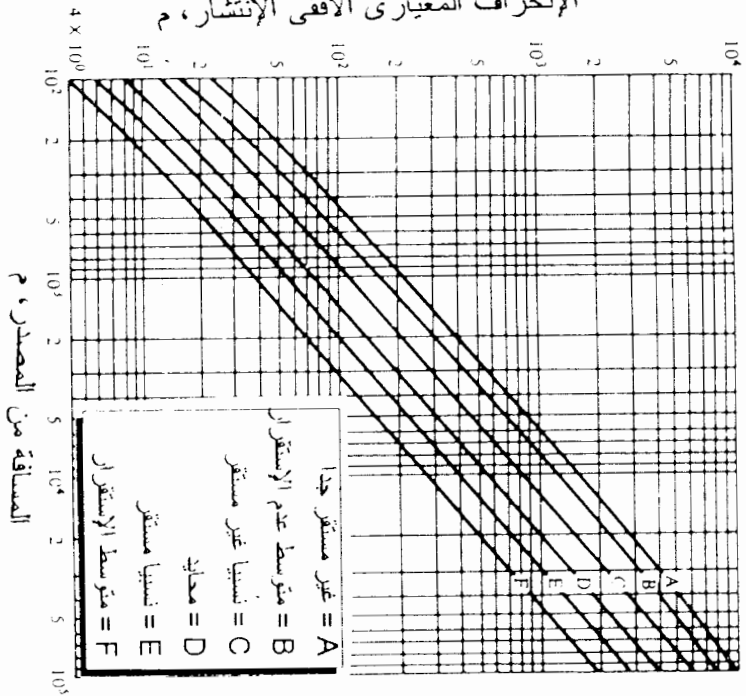
T_a = درجة حرارة الهواء ، كلفن .

تعتمد قيم الإنحراف المعياري σ_y و σ_z على إضطراب البنية أو الإستقرار للغلاف الجوي، هذا بالإضافة على اعتمادها على المسافة من المصدر. ويمكن تقسيم الإستقرار الى مصنفات إستقرار من A الى F. ينسب A الى حالة غلاف جوى غير مستقرة جدا فوق الأدبياتى، ويعنى القسم B حالة غلاف جوى غير مستقرة، وينسب القسم C الى حالة غلاف جوى غير مستقرة نسبيا الى حالة محايدة، وينسب القسم D الى حالة غلاف جوى مستقرة دون الأدبياتى، ويعنى القسم E حالة غلاف جوى مستقرة، أما القسم F فهو

الإنحراف المعياري الرأسى للإنتشار، م



الإنحراف المعياري الأفقى للإنتشار، م



شكل (٥)

معامل إنتشار الريشة كدالة فى المسافة أدنى إتجاه الرياح من المصدر { ١٠، ٢٠، ٥٠، ١٠٠ }

حالة غلاف جوى مستقرة جدا. ويوضح الجدول (٢) مفتاح لأقسام الإستقرار وسرعات الرياح التى تتناغم وتتماسك مع بعضها البعض .

جدول (٢)
أقسام إستقرار الغلاف الجوى { ٦,٥,٣,٢,١ }

سرعة الرياح السطحية على إرتفاع ١٠ متر (م/ث)	النهار	الليل
الإشعاع الشمسى الساقط	مقدار العتمة	
قوى	متوسط	قليل
معظمه صافى	معظمه عتمة	
أقل من ٢	A	A - B
٢ الى ٣	A - B	B
٣ الى ٥	B	B - C
٥ الى ٦	C	C - D
أكبر من ٦	C	D

مفتاح :

- A غير مستقر جدا .
- B متوسط عدم الإستقرار .
- C نسبيا غير مستقر .
- D محايد (لابد من إفتراض أن حالة العتمة خلال النهار أو الليل بغض النظر عن سرعة الرياح) .
- E نسبيا مستقر .
- F متوسط الإستقرار .

مثال (٢)

أوجد الإرتفاع الفعال لمدخنة باستخدام البيانات التالية :

- إرتفاع المدخنة الطبيعى ١٨٠ متر.
- قطر المدخنة الداخلى ١ متر.
- سرعة الرياح ٣,٤ م/ث .
- درجة حرارة الهواء ٢٠°م .
- الضغط البارومتري ١٠٠ كيلوباسكال .
- سرعة غاز المدخنة ٨,٥ م/ث .

درجة حرارة غاز المتخنة ١٤٠ م.

الحل :

١ - المعطيات : $T_s = ٨٠٠$ م/ث ، $d = ١$ م ، $u = ٣٠٤$ م/ث ، $T_a = ٢٠$ م ، $P = ١٠٠$ كيلو باسكال .

٢ - أوجد درجات الحرارة بتقدير كلفن :

$$T_s = ١٤٠ + ٢٧٣,١٦ = ٤١٣,١٦ \text{ كلفن}$$

$$T_a = ٢٠ + ٢٧٣,١٦ = ٢٩٣,١٦ \text{ كلفن}$$

٣ - أوجد إرتفاع الريشة من المعادلة :

$$\Delta h = (v_s d / u) [1.5 + (2.68 \times 10^{-2} P (T_s - T_a) / T_s) d]$$

$$\Delta h = [١ \times (٤١٣,١٦ \div (٢٩٣,١٦ - ٤١٣,١٦) \times ١٠٠ \times ٢^{-١٠} \times ٢,٦٨) + ١,٥] (٣,٤ \div ١ \times ٨,٥) = ٥,٧ \text{ متر .}$$

٤ - أوجد الإرتفاع الفعال للعدخنة من المعادلة : $H = h + \Delta h$

$$H = ١٨٠ + ٥,٧ = ١٨٥,٧ \text{ متر .}$$

مثال (٣)

إذا كان معدل نفث الغاز في مثال ٢ يصل الى ١ كيلوجرام على الثانية، أوجد درجة تركيز الغاز على الخط المركزي لمسافة ٥ كيلومترات أدنى اتجاه الرياح في حالة غلاف جوى معتمة .

الحل :

١ - المعطيات : $Q = ١٠٠٠$ جم/ث .

٢ - حالة الغلاف الجوى المعتمة تعنى من جدول ٢ أن حالة الإستقرار هي D. كما وأن الخط المركزى تعنى أن $y = ٠$ صفر .

٣ - أوجد قيم الانحراف المعياري من شكل (٥) للمسافة ٥ كيلومتر أدنى اتجاه الرياح ولحالة إستقرار D .

$$\sigma_y = ٣٠٠ \text{ متر .}$$

$$\sigma_z = ٩٠ \text{ متر .}$$

٤ - أوجد درجة التركيز باستخدام المعادلة :

$$C (x, y) = (Q / (\pi u \sigma_y \sigma_z)) [\exp (-1/2 (H / \sigma_z)^2)] \exp [-1/2 (y / \sigma_y)^2]$$

$$C (x, y) = (٢ \div (٣٠٠ \div ٠)) \exp (٢ \div (٩٠ \div ١٨٥,٧)) \exp ((١٠ \times ٣٠٠ \times ٣,٤ \times \pi) \div ١٠٠٠) = ٤١٢ \text{ ميكروجرام/م}^٣ .$$

٩ - ٤ : مكافحة تلوث الهواء

توجد فى الغلاف الجوى سبل طبيعية تقوم بعمليات التنظيف الذاتية، والتي بدونها لا تصلح الطبقة الجوية السفلى (التروبوسفير) لعيش الإنسان (أنظر شكل ٦). وتضم عمليات التنظف الطبيعية التششت والترسيب تحت الجاذبية والتلبد والإمتصاص والسقيط والإمتزاز .

يقوم التششت، بفعل تيار الرياح، بتقليل درجة تركيز الملوثات فى منطقة معينة. أما الترسيب تحت قوى الجاذبية فيقوم بإزالة الجسيمات ذات القطر الأكبر من ٢٠ ميكرومتر فى الغلاف الجوى. ويقوم التلبد بالمساعدة فى إزالة الجسيمات ذات القطر الأقل من ٠.١ ميكرومتر. أما الإمتصاص فيحدث أدنى مستوى السحب، ويساعد فى تجميع الغازات والجسيمات لتسهيل نفاذها أو كتسها مع الأمطار أو الضباب. أما الإمتزاز فيحدث أساسا فى طبقة الاحتكاك فى الغلاف الجوى، وهى الطبقة الأقرب الى سطح الأرض. ويقوم الإمتزاز بالإستقطاب الإلكتروستاتى للغازات والسوائل أو الملوثات الصلبة لسطح ما حيث تتركز وتحتجز فيه {٦} .

ومن أهداف التحكم فى أو مكافحة تلوث الهواء الإتيان بغلاف جوى لا تحدث فيه الملوثات أى آثار أو مخاطر سلبية أو ضارة بنشاط الإنسان. وعليه فإن أحسن سبيل لمكافحة تلوث الهواء هى منع إنتاج الملوثات، فمثلا يمكن منع نفث الملوثات الرصاصية من السيارات بحرق وقود خالى من الرصاص، كما ويمكن تقليل نفث أكاسيد النتروجين لدرجة كبيرة بإعادة تصميم المحركات {٥}. ويبين شكل (٧) صورة عامة لطرق مكافحة تلوث الهواء .

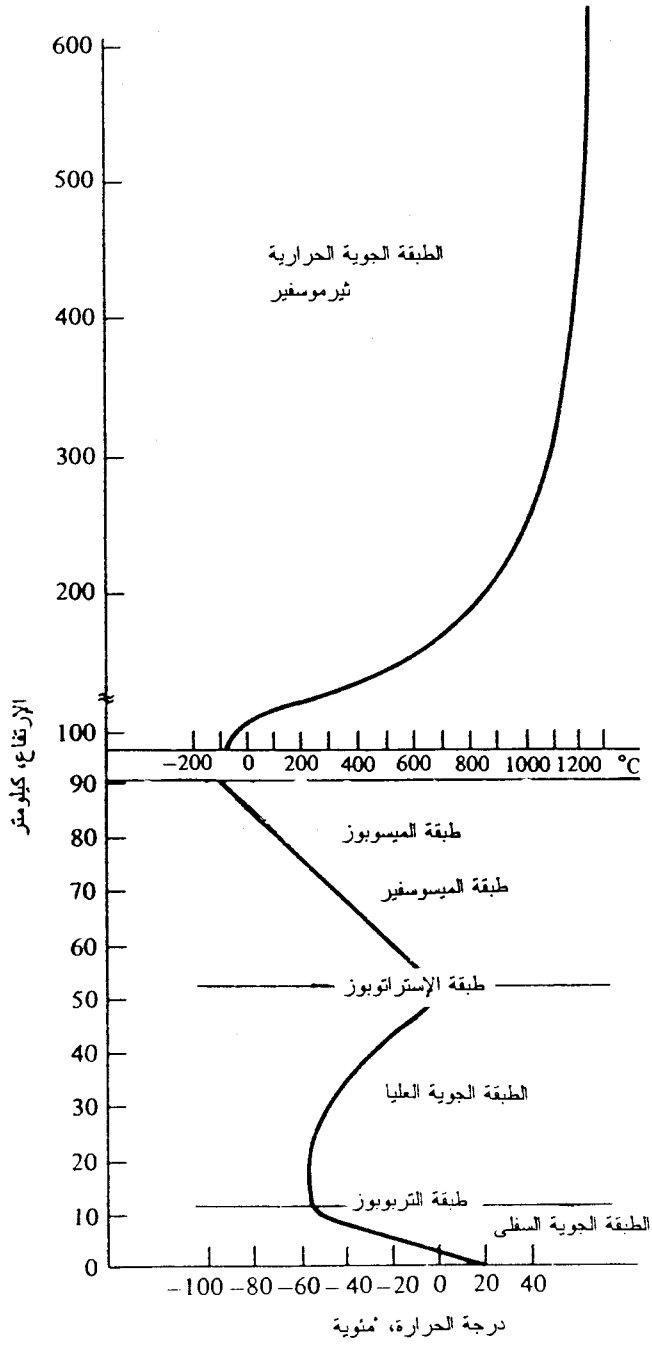
ويمكن تقسيم طرق مكافحة تلوث الهواء العديدة التقليدية الى تلك الطرق المتعلقة بمكافحة الملوثات الغازية، وتلك الطرق المتعلقة بمكافحة تلوث الجسيمات. وهذا التقسيم يعتمد على الفرق فى مقاسات الملوثات، إذ أن جزيئات الغازات لها قطر يبلغ ٠.١ ناتومتر تقريبا، أما أقطار الجسيمات فتبلغ ٠.١ ميكرومتر أو أكثر.

ويمكن التحكم فى الملوثات المبتعثة بطرق عديدة كما موضح فى شكل (٨) .

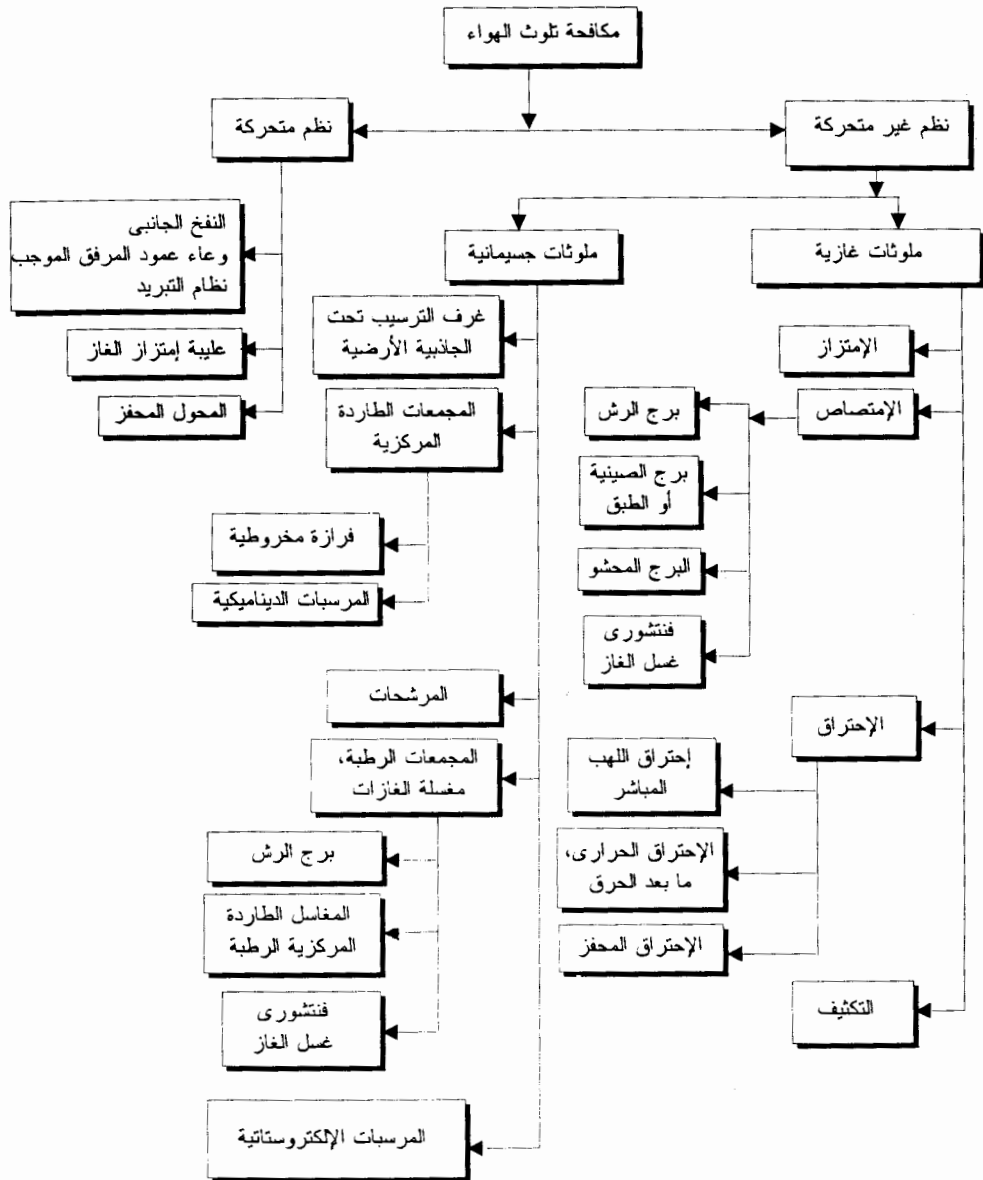
٩ - ٤ - أ طرق ضبط التلوث الهوائى للمصادر الثابتة

٩ - ٤ - أ - ١ الملوثات الغازية Gaseous pollutants

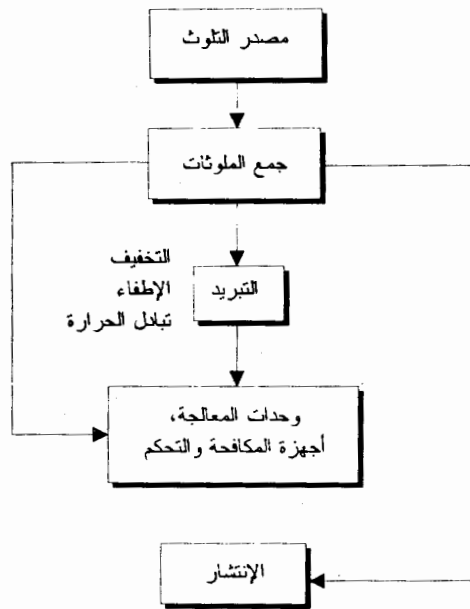
إن أهم الغازات المؤثرة على تلوث الهواء هى أكاسيد الكبريت SO_x ، وأكاسيد الكربون (خاصة أول أكسيد الكربون)، وأكاسيد النتروجين NO_x ، والغازات الحمضية العضوية وغير العضوية، والهيدروكربونات {٦}. ويمكن تخفيض درجات تركيز الغازات غير المطلوبة بإحدى أو كل الطرق الآتية :



شكل (٦) مقطع الحرارة للغلاف الجوى



شكل (٧) نظم تجميع الملوثات ومكافحة تلوث الهواء



شكل (٨) مكافحة الملوثات المبتعدة للغلاف الجوي

- تقليل أو منع إنتاج الغاز غير المرغوب فيه .
- حث الغازات للتفاعل بعد الإنتاج في عمليات كيميائية تنتج نواتج أخرى غير ضارة ولا تشكل خطورة أو تولد مشاكل .
- الإزالة المنتقاة للنواتج غير المرغوب فيها من نظام الغاز بواسطة الإمتصاص، والذي يعنى نقل جزيئات الغاز الى السائل .
- الإزالة المنتقاة للغاز غير المرغوب فيه بالإمتزاز، والذي يعنى ترسيب جزيئات الغاز فى سطح صلب (٥) .

(١) عمليات الإمتزاز Adsorption processes

يتم الإمتزاز المنقى للغاز فى مفارش أو مواد مازة صلبة يتم مرور الغاز عن طريقها. وتختار المادة المازة اعتمادا على قابليتها لتجميع الغاز المطلوب (٥). ويبين جدول (٣) بعض الأمثلة للمواد المازة المستخدمة .

جدول (٣)
أمثلة لمواد مازة مختارة (٤، ٥، ٦)

نوع المادة المازة	أهم الاستخدامات
الكربون النشط	لإزالة جزيئات الهيدروكربونات الخفيفة (الرائحة)، تنقية الغازات، إسترجاع المذيبات .
الألمونيا النشطة	تجفيف الغازات والهواء والسوائل .
بوكسيت Bauxite (صخر يستخرج منه الألمونيوم)	معالجة أجزاء النفط، تجفيف الغازات والسوائل .
عظم الفحم 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 .

أما المواد الصلبة المستخدمة كمادة مازة فعادة تكون مسامية، ولها نسبة مساحة الى حجم عالية. والمواد المازة الصلبة ذات بنية تسمح بحشوها فى الأبراج، وتقاوم الكسر، ويمكن تجديدها وإعادة إستخدامها بعد تشبعها بجزيئات الغاز (٤) .

٢) عمليات الإمتصاص (غسل الغاز) Absorption devices (Scrubbing)

عملية الإمتصاص عبارة عن عملية نقل الكتلة المذاب فيها الغاز الى المحلول. ويمكن أن يتبع أو لا يتبع عملية الإذابة تفاعل مع بعض العناصر فى المحلول. ونقل الكتلة عبارة عن عملية إنتشار يتحرك فيها الغاز الملوث من نقاط ذات تركيز عالى الى نقاط ذات تركيز أقل {١}. ويتم إمتصاص الغازات الملوثة بإستخدام محلول مختار فى مغسلة رطبة، أو برج محشو، أو برج فقاعات. وعادة تضم الغازات، التى يتم التحكم فيها بعملية الإمتصاص، ثانى أكسيد الكبريت، وكبريتيد الهيدروجين، وكلوريد الهيدروجين، والكلور، والأمونيا، وأكاسيد النتروجين، والهيدروكربونات ذات درجة الغليان المنخفضة {٤}.

ومن المواصفات المطلوبة للمواد الماصة أو المذيبة ما يلى {٤، ٦} :

- لها ضغط بخار قليل لتخفيض الفاقد .
- لها درجة تجمد منخفضة .
- لا تكون طيارة نسبيا .
- متواجدة بسهولة .
- لا تكون أكالة ، لتقليل تصليح الجهاز وتقليل تكلفة الصيانة .
- سعرها مناسب ، وغير باهظ .
- غير سامة .
- غير قابلة للإشتعال .
- مأمونة كيميائيا .

وبين جدول (٤) بعض أمثلة للمذيبات المستخدمة فى نظافة وغسيل الغازات .

جدول (٤)
أمثلة للمذيبات المنظفة للغازات

المذيب	الاستخدام
الماء	يزيل ثانى أكسيد الكربون ، والكلور ، وكلوريد الهيدروجين ، وفلوريد الهيدروجين
أمونيا وأمينات (زيلين ، وثانى ميثيل أنيلين)	إزالة ثانى أكسيد الكبريت SO_2
ثانى إيثانولمين	إزالة كبريتيد الهيدروجين
الغازولين السائل	إزالة بخار الهيدروكربونات الخفيفة

٣) الإحتراق أو الترميد Combustion or Incineration

الإحتراق عبارة عن عملية لتحويل الملوثات الهوائية (غالباً الهيدروكربونات أو أول أكسيد الكربون) الى ثاني أكسيد الكربون غير الضار والماء. ولا بد أن ينتج جهاز الإحتراق أقل مركبات غير محترقة. ولحدوث أكبر كفاءة إحتراق فمن الواجب الحصول على مجموعة العناصر الأساسية للإحتراق من الأكسجين ، ودرجة الحرارة ، والإضطراب ، والزمن {٦} .

ويمكن تقسيم الإحتراق طبقاً لنوع المواد الملوثة المطلوب أكسدتها الى ما يلي :

- إحتراق اللهب المباشر Direct flame combustion: ويتم فيها إحتراق الغازات الملوثة مباشرة فى جهاز إحتراق بإضافة أو بدون إضافة وقود مساعد. وتستخدم هذه الطريقة فى محطات كيمياء البترول ومصافى النفط .
- الإحتراق الحرارى (أو ما بعد الحرق) Thermal combustion (after burner) : ويتم تسخين الغاز الملوث مسبقاً، عادة باستخدام مبادل حرارى. ومن ثم يدخل الغاز المسخن مسبقاً الى منطقة الإحتراق التى يوجد بها موقد مزود بالوقود الملحق .
- الإحتراق المحفز Catalytic combustion: ويستخدم العامل المساعد ليزيد من معدل الأكسدة دون أن يدخل فى التغير الكيميائى، مما يخفف من زمن المكث المطلوب للترميد .

٤) التكثيف Condensation

يتم تكثيف مركب ما على درجة حرارة معينة إذا تم زيادة ضغطه الجزئى الى أن يساوى أو يفوق ضغط بخاره على درجة الحرارة المعنية. كما يحدث التكثيف إذا تم تخفيض درجة حرارة خليط من الغازات الى درجة حرارة التشبع ليتساوى ضغط بخاره مع ضغطه الجزئى {٦} .

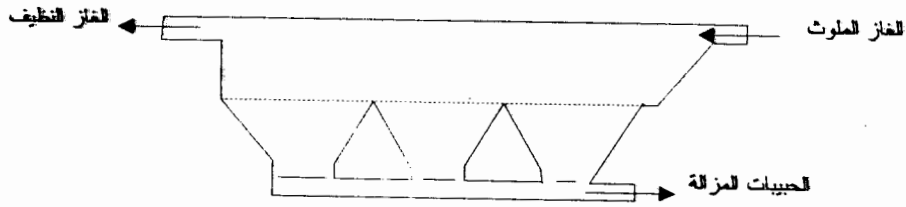
ومن أسباب استخدام المكثفات ما يلى :

- الإسترجاع الإقتصادى للنواتج المفيدة .
- إزالة الأجزاء التى يمكن أن تكون أكالة أو ضارة لأجزاء أخرى فى النظام .
- تقليل حجم الغاز الخارج {٤} .

٩ - ٤ - أ - ٢ ملوثات الجسيمات Particulate contaminants

١) غرف الترسيب تحت الجاذبية Gravitational settling chambers

غرف الترسيب تحت الجاذبية الأرضية مبسطة فى التصميم والتشغيل، كما وأنها نظم تجميع رخيصة تستغل فيها قوى الجاذبية الأرضية لترسيب الحبيبات فى حركتها الرأسية {٥}. غير أن كفاءة الغرف قليلة لإزالة الحبيبات الصغيرة {٦}. ويمكن بواسطة غرف الترسيب إزالة الحبيبات الكبيرة والتى يزيد قطرها عن ١٠٠ ميكرومتر {٢}. ويبين شكل (٩) رسم تخطيطى مبسط لغرف الترسيب تحت الجاذبية .



شكل (٩) رسم تخطيطي لغرف الترسيب تحت قوى الجاذبية الأرضية

ويمكن إيجاد كفاءة غرف الترسيب تحت الجاذبية {٥} من المعادلة ٦ .

$$(٦) \quad E = 100 * [1 - \exp(-g * d_p^2 * \rho_p * L / 18 * \mu * u * h)]$$

حيث :

E = كفاءة الإزالة ، % .

g = عجلة الجاذبية الأرضية ، م/ث^٢ .

d_p = قطر الحبيبة ، م .

ρ_p = كثافة الحبيبة ، كجم/م^٣ .

L = طول المجمع ، م .

μ = درجة لزوجة الغاز الديناميكية ، نيوتن/م^٢ .

u = السرعة الأفقية للغاز والحبيبة عبر المجمع ، م/ث .

h = إرتفاع المجمع ، م .

مثال (٤)

أوجد قطر الجسيمات العالقة في مسار هوائى ملوث على درجة حرارة ١٢٠ م°، وتحت الضغط الجوى. يتحرك الهواء الملوث عبر غرفة ترسيب بسرعة ٠,٩ م/ث. طول غرفة الترسيب ٤ م، وإرتفاعها ١ م، ويمكنها إزالة ٥٥ بالمائة من الحبيبات. يمكن أخذ كثافة الحبيبات لتساوى ٢٠٠٠ كجم/م^٣ .

الحل :

١- المعطيات: T = ١٢٠ م°، u = ٠,٩ م/ث، L = ٤ م، h = ١ م، E = ٥٥ %، ρ_p = ٢٠٠٠ كجم/م^٣ .

٢- أوجد درجة اللزوجة للهواء طبقاً لدرجة الحرارة ١٢٠ م°، من الملاحق جدول (و) لتساوى

$$\mu = 2,26 \times 10^{-5} \text{ نيوتن/م}^2$$

٣- أوجد قطر الحبيبات من معادلة الكفاءة :

$$E = 100 * [1 - \exp(-g * d_p^2 * \rho_p * L / 18 * \mu * u * h)]$$

$$55 = 100 * [1 - \exp(-9,81 * d_p^2 * 2000 * 4 / (18 * 2,26 \times 10^{-5} * 0,9 * 1))]$$

$$d_p = 61 \text{ ميكرومتر} .$$

(٢) المجمعات الطاردة المركزية Centrifugal collectors :

تستخدم هذه المجمعات القوى الطاردة المركزية لفصل الحبيبات من نظام الغاز . وعادة تضم المجمعات الطاردة المركزية المستخدمة: الفرازة المخروطية والمرسبات الديناميكية {٦} .

(أ) الفرازات المخروطية cyclone :

تقوم الفرازات المخروطية بتجميع الحبيبات ذات القطر الأكبر من ١٠ ميكرومتر. والفرازة المخروطية هي مجمع ذو قصور ذاتي لا توجد به أجزاء متحركة. ويتسارع الغاز الحامل للجسيمات الملوثة عبر حركة حلزونية تولد قوى طرد مركزية على الحبيبة. وتتدفع الحبيبات خارج الغاز الدائر وترتطم بجدار أسطوانة الفرازة. ومن ثم تنزل الحبيبة إلى قعر المخروط ليتم إزالتها عبر نظام صمام محكم. وأبعاد للفرازة المخروطية القياسية وحيدة الأسطوانة Standard sigle barrel cyclone كما موضحة على شكل (١٠) .

أما كفاءة الفرازة المخروطية فيمكن تقديرها باستخدام {٦،٥،٢،١} معادلة ٧ .

$$d_{50} = [9\mu B / (2\pi N u_i (\rho_p - \rho_g))]^{1/2} \quad (٧)$$

حيث :

d_{50} = قطر القطع ٥٠ بالمائة (قطر الحبيبة الذي تكون كفاءة التجميع عنده تعادل ٥٠ بالمائة) ، م .

μ - اللزوجة الديناميكية للغاز ، باسكال.ث .

B - عرض مدخل الفرازة المخروطية ، م .

N - عدد اللفات الخارجية الفعال في الفرازة المخروطية .

u_i - سرعة الغاز الداخل ، م/ث .

ρ_p - كثافة الجسيمات الملوثة ، كجم/م^٣ .

ρ_g - كثافة الغاز ، كجم/م^٣ (عادة تفترض مساوية صفر {٢}) .

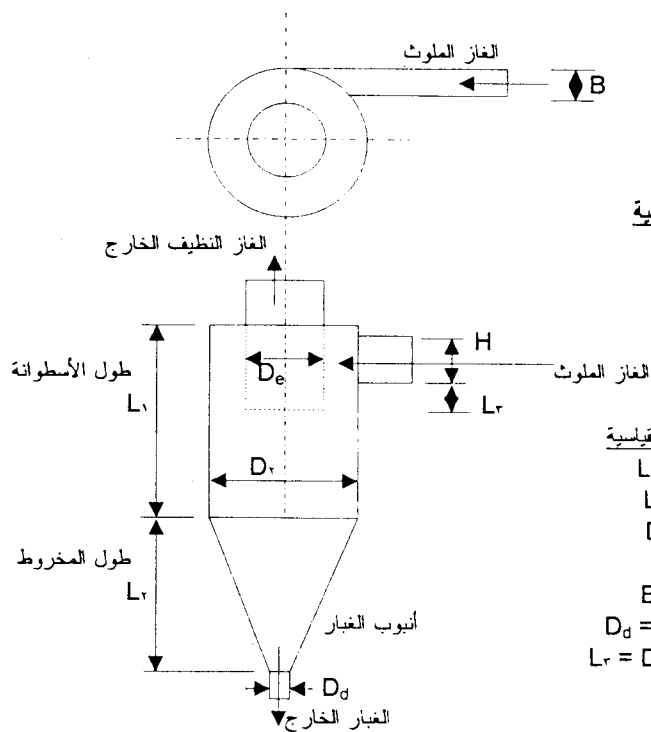
عادة تؤخذ عدد اللفات الفعالة {٢} لتساوي ٤ أو يمكن إيجادها من المعادلة ٨ .

$$N = (\pi/H) * (2L_1 + L_2) \quad (٨)$$

حيث :

N - العدد الفعال لللفات الموجودة مستعرضا في الفرازة المخروطية .

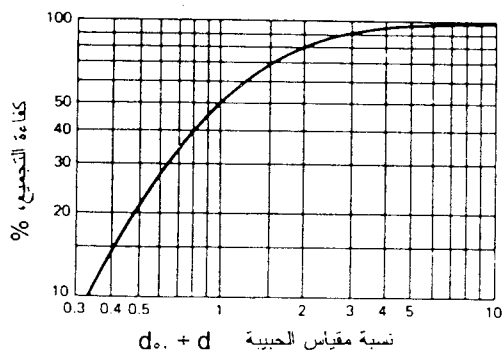
H - طول المدخل ، م .



أ - رسم تخطيطي للفرازة المخروطية

أبعاد الفرازة المخروطية القياسية

- $L_v = 2D_v$ طول الأسطوانة
- $L_r = 2D_v$ طول المخروط
- $D_e = D_v/2$ قطر المخرج
- $H = D_v/2$ طول المدخل
- $B = D_v/4$ علاص المدخل
- $D_d = D_v/4$ قطر مخرج الغبار
- $L_r = D_v/8$ طول مجرى المخرج



ب - كفاءة الفرازة المخروطية

شكل (١٠) الفرازة المخروطية {٧،٦،٢،١}

L₁ - طول الأسطوانة ، م .

L₂ - طول المخروط ، م .

مثال (٥)

فرازة مخروطية ذات عرض داخلي يساوى ٤٠ سم وبها ٤ لفات فعالة. القطر المتوسط للحبيبات المطلوب إزالتها ٢٥ ميكرومتر وكثافتها ١٠٠٠ كجم / م^٣. يتحرك مسار الهواء بسرعة ٨ م/ث ودرجة حرارته ٥٣٠٠ م. أوجد الكفاءة المتوقعة لإزالة الحبيبات .

الحل :

١- المعطيات: B = ٠,٤ م ، N = ٤ ، U_i = ٨ م/ث ، ρ_p = ١٠٠٠ كجم/م^٣ ، T = ٥٣٠٠ م .

٢- أوجد من جدول (و) في الملاحق درجة اللزوجة المرادفة لدرجة حرارة ٥٣٠٠ م لتساوي μ = ١٠×٢,٩٨ - ٥ نيوتن/م^٢ ، والكثافة تساوي ρ_g = ٠,٦٢ كجم/م^٣ .

٣- أوجد d₅₀ من المعادلة $d_{50} = [9\mu B / (2\pi Nu_i (\rho_p - \rho_g))]^2$

d₅₀ = [٩μB / (2π Nu_i (ρ_p - ρ_g))]² = ٠,٤×٥ - ١٠×٢,٩٨×٩ = ٠,٠٥ [((٠,٦٢ - ١٠٠٠) × ٤×٢π) ÷ (٠,٤×٥ - ١٠×٢,٩٨×٩)] = ٢٣,١ ميكرومتر .

٤- أوجد نسبة d ÷ d₅₀ = ٢٥ ÷ ٢٣,١ ميكرومتر = ١,٠٨

٥- أوجد الإزالة المتوقعة من رسم (١٠ ب) طبقاً لنسبة d ÷ d₅₀ = ١,٠٨

وبذا ، E = ٥٣ %

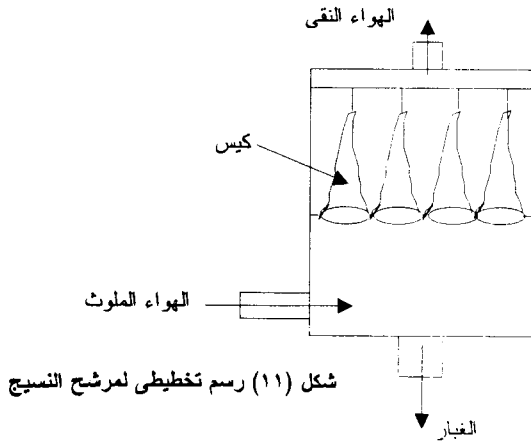
(ب) المرسبات الديناميكية Dynamic precipitatos

إن المرسبات الديناميكية وحدات تعمل على أسس الطرد المركزي بواسطة ريش دوارة. وهذه الوحدات ذات كفاءة عالية من كفاءة الفرازة المخروطية. وعند التشغيل يفضل تجنب وضع مواد ذات ألياف رطبة بها لأنها تعوق أداء المرسبات {٦} .

(٣) المرشحات (مجمعات النسيج والحصيرة الليفية أو مرشحات الكيس)

Filters (Fabric and fibrous mat collectors or Baghouse filters)

يمثل عمل مرشحات النسيج أداء منظفات الشفط Vacuum cleaners. وتستخدم المرشحات لإزالة المواد الصلبة الجافة من مسار الغاز الجاف والذي على درجة حرارة قليلة تتفاوت بين صفر و ٢٧٥°م {٥} . وتصنع مرشحات النسيج من قماش منسوج أو من لباد Felt. ويضم النسيج الذى تصنع منه مرشحات النسيج: القطن والألياف الزجاجية المخلفة. وتختلف ملائمة كل منها طبقاً لنوع الغاز ودرجة حرارة الجسيمات والخواص الكيميائية والفيزيائية. ويمكن إزالة المواد التى يكون قطرها فى حدود ٥ ميكرومتر بواسطة مرشحات النسيج. يبين شكل (١١) رسم تخطيطى لمرشح النسيج .



شكل (١١) رسم تخطيطي لمرشح النسيج

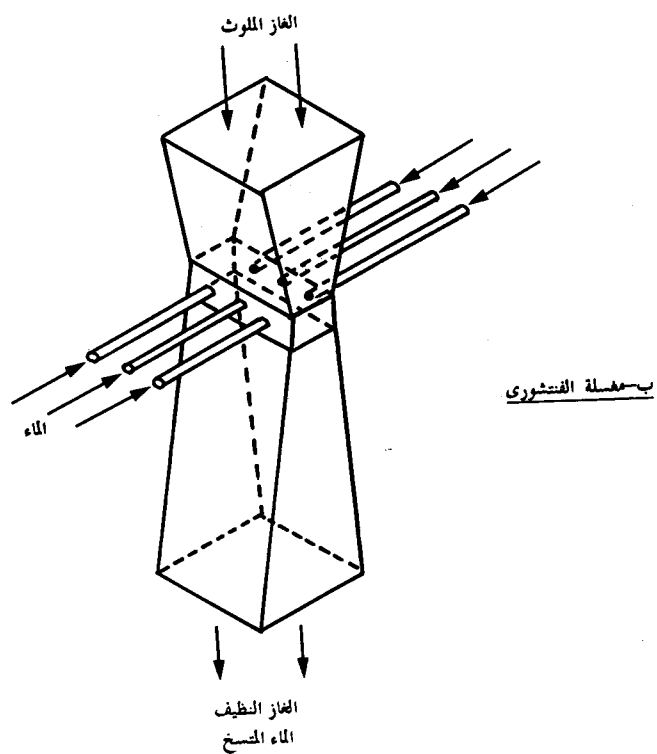
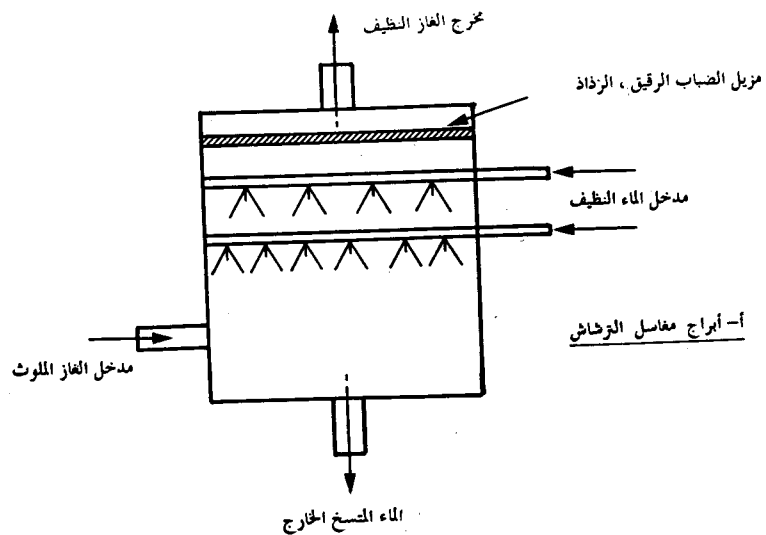
٤) المجمعات الرطبة (مغسلة الغازات) (Wet collectors (Scrubbers))

تصمم المجمعات الرطبة لزيادة مقاس الحبيبة باستخدام نقيطات الماء أو الطين السائل Slurry. وتوجد أنماط وتصاميم وأشكال مختلفة للمجمعات الرطبة، منها النظم التقليدية والفنتشورية والمغاسل الطاردة المركزية وأبراج الرش والأبراج المحشية. ويمثل الشكل (١١٢) رسم تخطيطي لأبراج مغاسل الترشاش، ويوضح الشكل ١٢ ب مغاسل الفنتشورى. ويعتبر برج الترشاش المبسط طريقة فعالة لإزالة الجسيمات الكبيرة. وتزيد مغاسل الغاز ذات الكفاءة العالية من تلامس الماء والهواء بفضل حركة عنيفة فى مقطع ذو عنق ضيق يسمح بمرور الماء من خلاله. وعادة تزيد كفاءة مغسلة الغاز كلما زادت إصطدامات الغاز والماء، وكلما قلت فقاعات الغاز أو نقيطات الماء {٢}.

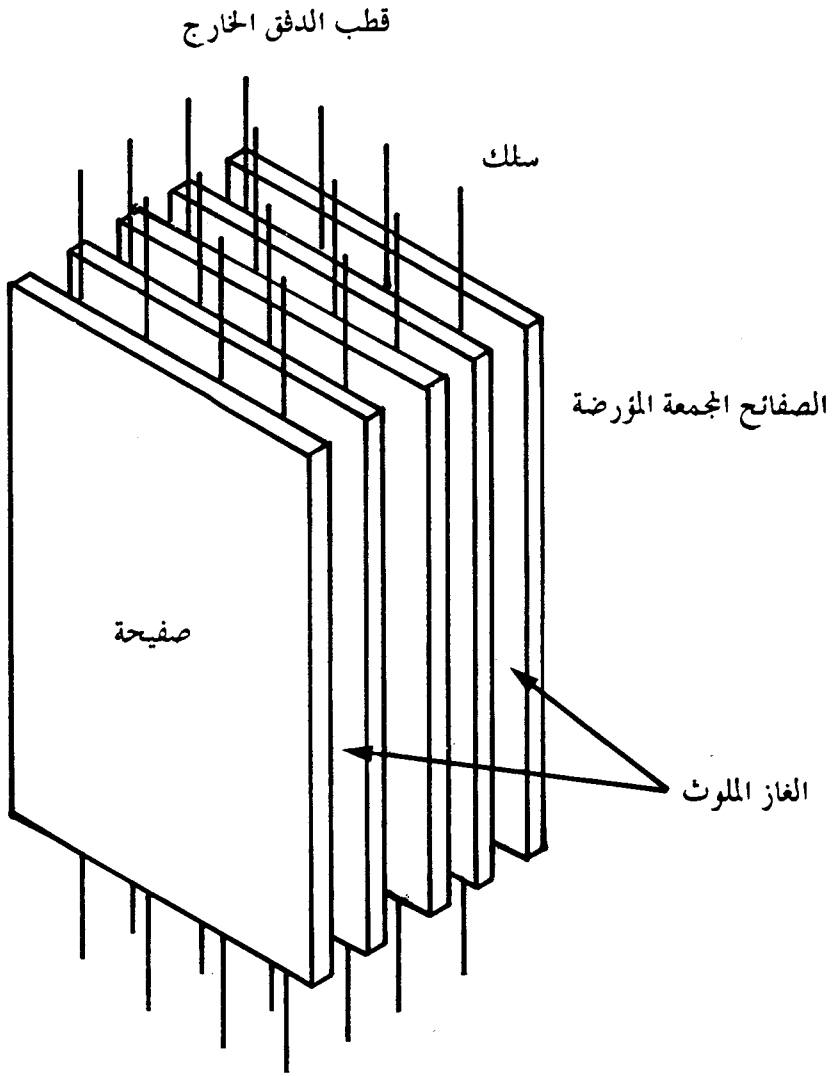
أما فى مغسلة الفنتشورى فيتم تصميم دفع الماء عبر مقطع عنق الفنتشورى، ويتم إدخال الماء تحت مسار ضغط على عمودى على إتجاه دفع الغاز. وبذا تتمكن مغسلة الفنتشورى من إزالة الجسيمات التى يزيد مقاسها عن ٥ ميكرومتر {٢}.

٥) المرسبات الإلكتروستاتية Electrostatic precipitators

تصمم المرسبات الإلكتروستاتية من صفائح وأسلاك بالتناوب (أنظر شكل ١٣). ويتم تثبيت تيار كبير مباشر (يتراوح بين ٣٠ الى ٧٥ كيلو فولت) بين الأسلاك والصفائح. وهذه الحالة تنتج حقل أيونى بين السلك والصفحة، وعندما يمر مسار الغاز، المحمل بالجسيمات والملوثات، بين السلك والصفحة يتم تعلق الأيونات بالجسيمات، مما يجعلها تحمل شحنة كهربائية سالبة. ومن ثم ترتحل الجسيمات نحو الصفحة الموجبة الشحنة لتلتصق بها. وتطرق الصفائح على فترات متكررة ليسمح بسقوط شريحة الجسيمات الملبدة الى قادوس معين. والمرسبات الإلكتروستاتية ذات كفاءة عالية، وتستخدم لتجميع الحبيبات الجافة من مسار غاز ساخن. ومن المستحب أن تكون سرعة الغاز خلال المرسب أقل من ١,٥ متر على الثانية ليسمح برحيل وهجرة الحبيبات، وعليه تسمح سرعة الترسيب الإنتهائية بحمل الشريحة حملها الى القادوس قبل خروجها من المرسب {١}.



شكل (١٢) رسم تخطيطي لبعض المجمعات و المغاسل الرطبة



شكل (١٣) رسم تخطيطي للمرئب الالكتروستاتى

أما علاقة الكفاءة ومقاس الحبيبة بالنسبة للمراسب الإلكتروستاتي فتتبع دالة خطية المنحنى تماثل تلك الموضحة للفرازة المخروطية كما مبين في المعادلة ٩ .

$$(٩) \quad E = 100(1 - e^{-Aw/Q})$$

حيث :

E - كفاءة المراسب الإلكتروستاتي ، % .

A - مساحة صفائح التجميع ، م^٢ .

w - سرعة إنسياق Drift velocity الحبيبات المشحونة نحو قطب المجمع (سرعة هجرة أو رحيل الحبيبات) ، م/ث .

Q - معدل دفع مسار الغاز ، م^٣/ث .

ويمكن إيجاد سرعة الإنسياق من المعادلة ١٠ .

$$(١٠) \quad w = a \cdot d_p$$

حيث :

w - سرعة الإنسياق ، م/ث .

d_p - مقاس الحبيبة ، م .

a - ثابت .

وعادة تكون سرعة إنسياق الحبيبات المشحونة نحو قطب المجمع في حدود ٠,٠٣ الى ٠,٢ م/ث {٦,٢}.

مثال (٦)

يمكن لمراسب إلكترونستاتي إزالة جسيمات من مدخنة تتحرك الغازات منها بمعدل ٤٠٠ متر مكعب في الدقيقة. أوجد مساحة الصفيحة اللازمة لإزالة ٩٨ بالمائة من الحبيبات، علما بأن سرعة إنسياق الحبيبات المشحونة نحو قطب المجمع تساوي ٠,٢ متر على الثانية، وقطر الحبيبة المتوسط ٠,٤ ميكرومتر .

الحل :

١ - المعطيات: Q = ٤٠٠ ÷ ٦٠ م^٣/ث، E = ٩٨ %، w = ٠,٢ م/ث، d_p = ٠,٤ ميكرومتر .

٢ - أوجد مساحة الصفيحة اللازمة لإتمام إزالة الجسيمات من المعادلة: E = 100(1 - e^{-Aw/Q})

$$٩٨ = 100(1 - e^{-Aw/Q}) \Rightarrow ٠,٢ = 1 - e^{-Aw/Q} \Rightarrow e^{-Aw/Q} = ٠,٢ \Rightarrow -Aw/Q = \ln(٠,٢) \Rightarrow Aw/Q = -\ln(٠,٢) = ١,٦٠٩٤$$

٩ - ٤ - ب مصادر تلوث الهواء المتحركة Mobile sources

تحتوى مصادر التلوث من السيارات ما يلى {٢} :

- * تبخر الهيدروكربونات من خزات الوقود .
 - * تبخر الهيدروكربونات من المبخر (المكربن) Carburetor أو أداة مزج الهواء بمركبات البترول والبنزين .
 - * نفث الغازولين غير المحترق والهيدروكربونات المؤكسدة جزئيا من وعاء عمود المرفق Crankcase .
 - * نفث أكاسيد النتروجين NO_x والهيدروكربونات وأول أكسيد الكربون من العادم Exhaust .
- ويبين شكل (١٤) رسم تخطيطى لأهم مناطق الملوثات الصادرة من السيارة .

وبالنسبة للنفث المتبخر من خزان الوقود والمكربن فقد تم إزالته بتخزين الأبخرة المبتعثة فى عليبة بها كربون نشط. وعادة تنتج الأبخرة عند بدء تشغيل أو غلق المحرك وعندما يبدأ الغازولين فى المكربن فى التبخر. وبعد ذلك يتم إزالة الأبخرة بالهواء لتحترق فى المحرك .

كما ويمكن إزالة المبتعثات من وعاء عمود المرفق بإغلاق التهوية للغلاف الجوى، وإعادة دوران الغازات المنبعثة فى المشعب (وصلة بفتحات جانبية Manifold) الداخلى. 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 ٦٠ بالمائة، ويأتى عبرها كل أكاسيد النتروجين وأول أكسيد الكربون والرصاص المنبعث من السيارة {٢}. وتزداد المشاكل عند انخفاض الكفاءة التشغيلية للسيارة نسبة لظروف السيقا، أو لضعف الصيانة الدورية المطلوبة. وعامة تتدنى كفاءة تشغيل السيارات وتتفاقم مشاكل التلوث الهوائى من المواد المبتعثة منها عند الوقوف القصير المتقطع والمتكرر، والسيقة بسرعات بطيئة، وتكرار بدء التشغيل والوقوف {٦} .

ومن طرق مكافحة إبتعاث الملوثات من الإحتراق الداخلى بالمحرك ضبط المحرك Tune up، وإعادة دوران غاز العادم، وتطوير المحرك، وإستخدام المفاعلات المحفزة .

وعامة فإن أهم وأحسن خطوة فى طريق مكافحة تلوث الهواء ومنعه هى وضع إستراتيجية لتقليل إنتاج الملوثات. وبما أن نسبة كبيرة من الملوثات الهوائية تنتج من إحتراق الوقود الطمرى، فلا بد من ترشيد إستخدام الطاقة فى سبيل تقليل الملوثات. ومن المتوقع أن تأتى التقانة العلمية والتكنولوجيا الحديثة بما يساعد نحو إنتاج مرادم وأجهزة إحتراق تحسن من إستخدام الوقود، وصنع سيارات أصغر وأخف لتقليل

تلوث الهواء، أو إستخدام مصادر أخرى بديلة مثل الطاقة النظيفة (شمسية، هوائية، نووية) أو إستخدام وقود بديل نظيف .

ولابد من العمل لرفع الوعى البيئى بالملوثات الهوائية بغية حماية البيئة. وعادة تحتوى الإستراتيجية القومية على برامج تنقيفية تقوم بإستحداثها وتطبيقها الوزارات والبلديات المختلفة أو جهات الاختصاص. ويتم إبرازها عبر أجهزة الأعلام (مثل الصحف السيارة والتلفاز والمذياع وغيرها من وسائل التقانة المرئية والمسموعة)، بالإضافة لإستخدام الكتيبات والدوريات والملصقات وغيرها، فى تكامل ومساندة مدروسة وواضحة المعالم بين الوحدات المختلفة، من خلال أطر ومشاريع وبرامج تخاطب الوعى البيئى. تركز هذه البرامج فى حملتها على المدارس والشباب والمرأة والمزارع والصناعى والعامل فى المؤسسات المختلفة. ومحدات هذه المجهودات تتضح بطبيعتها المنفصلة أحيانا والمستميلة أحيانا أخرى، بالإضافة الى أن هذه المجهودات قد تنفقر الى الصفات التعليمية والاستساغية فى جوانب أخرى. وعليه فلا بد من التركيز على البرامج المناسبة لإزدياد تنقيف وتوعية المجتمع عبر نشر وتوزيع الكتيبات والملصقات ومعايير التشريع وغيرها وذلك بإستخدام كل السبل والإمكانات والموارد المتاحة والعوامل الإجتماعية والدينية والثقافية(١٥) .

٩ - ٥ - ٥ تمارين نظرية وعملية

٩ - ٥ - ١ تمارين نظرية

- (١) ما فائدة التشريعات والأحكام القانونية لمكافحة تلوث الهواء ؟
- (٢) ما هى الأقسام الهامة للتشريعات الهوائية؟ أى نوع من هذه الأقسام تقترح العمل به فى منطقتك؟ ولماذا؟
- (٣) ما فائدة التقدير الحجمى لدرجة تركيز الملوث ؟
- (٤) تحدث بإسهاب عن دليل تشريعات الملوث وعلاقته بنوع ومواصفات الهواء .
- (٥) ما أهمية قياس عناصر الإرصاء الجوى فى معيار تلوث الهواء ؟
- (٦) أذكر أهم العوامل المؤثرة فى حركة نقل الملوثات الهوائية من منطقة لأخرى .
- (٧) ما هو الفرق بين معدل الإنقضاء الجاف الأديبائى، ومعدل الإنقضاء فوق الأديبائى، ومعدل الإنقضاء المعتدل، ومعدل الإنقضاء شبه الأديبائى، ومعدل الإنقضاء العكسى ؟
- (٨) عرف ما يلى: الإنتشار، التدخن، النموذج المناخى .
- (٩) أذكر عوامل الرصد الجوى المطلوب إدراجها فى النموذج الرياضى .
- (١٠) أذكر أهم الإقتراحات المدرجة فى نموذج جوسيان .
- (١١) ما هى أهم أقسام حالة إستقرار الغلاف الجوى ؟

- (١٢) أذكر أهم الطرق المتبعة لجمع الملوثات الهوائية الغازية .
- (١٣) أذكر أهم الطرق المتبعة لجمع الملوثات الهوائية الجسيمانية .
- (١٤) ماهى أهداف مكافحة تلوث الهواء ؟
- (١٥) أذكر أهم خمس ملوثات غازية فى منطقتك .
- (١٦) ما الفرق بين الإمتصاص والإمتزاز ؟
- (١٧) كيف يمكن تقليل الأثر السلبى للملوثات الغازية ؟
- (١٨) أذكر خمس أمثلة لمواد مازة تستخدم فى عمليات التحكم فى تلوث الهواء .
- (١٩) أذكر ثلاث أمثلة لمذيبات تستخدم لإزالة الغازات الملوثة .
- (٢٠) ما الفرق بين إحتراق اللهب المباشر والإحتراق الحرارى ؟
- (٢١) لماذا تستخدم المكثفات فى مجال مكافحة تلوث الهواء ؟
- (٢٢) أذكر أفضل طريقة يمكن إتخاذها للتخلص من حبيبات ملوثة يزيد قطرها عن ١١٠ ميكرومتر .
- (٢٣) كيف تعمل الفرازة المخروطية ؟
- (٢٤) أكتب بليجاز عن المرسبات الإلكتروستاتية ومحاسنها لتجميع الملوثات الهوائية .
- (٢٥) ماهى أهم الإجراءات التى يجب إتباعها للحد من الأثار الضارة للملوثات الهوائية فى حالة الكوارث الطبيعية أو عند إندلاع الحروب؟

٩ - ٥ - ٢ تمارين عملية

- (١) يحتوى هواء على درجة حرارة صفر درجة مئوية وضغط جوى ١ على ٠,٠٦ جم/م^٣ من أول أكسيد الكربون. أوجد درجة تركيز الغاز بالوحدة من المليون (الإجابة: ١١٨) .
- (٢) أوجد الطول الفعال لمدخنة تنفث غاز تعادل سرعة خروجه ١٠ متر على الثانية ودرجة حرارته ٢٥٠م، علما بأن الطول الحقيقى للمدخنة ١٥٠ متر وقطرها الداخلى ١,٣ متر، والضغط البارومتري ٩٠ كيلوباسكال ، ودرجة حرارة الهواء ١٨م ، وسرعة الرياح ٤ متر على الثانية (الإجابة: ١٥٩,٤ متر) .
- (٣) أوجد درجة تركيز الخط المركزى على مسافة ٧ كيلومتر لغاز ينفث بمعدل ٢١٠٠ جرام فى الثانية بسرعة خروج ٩ متر على الثانية ودرجة حرارة ٣١٠ درجة مئوية. طول المدخنة الطبيعى ١٩٠ متر، وقطرها الداخلى ١,١ متر، والضغط البارومتري ١١٠ كيلوباسكال، ودرجة حرارة الغلاف الجوى المحيط ٢١م. يمكن إفتراض أن حالة الغلاف الجوى المحيط معتمة، وسرعة الرياح ٤ متر على الثانية (الإجابة: ٥٩٢ ميكروجرام/م^٣) .
- (٤) أوجد كفاءة إزالة الحبيبات ذات القطر ١٢٠ ميكرومتر فى غرفة ترسيب تحت الجاذبية طولها ٣,٥ م ، وإرتفاعها ١,٢ م ، استخدمت لترسيب حبيبات من تيار غاز على درجة حرارة ٢٠٠م ،

وتحت ضغط جوى، ويتحرك بسرعة ١,٥ م/ث فى المجمع . يمكن أخذ كثافة الحبيبات لتساوى ٣٢٠٠ كيلوجرام على المتر المكعب (الإجابة : ٨٥ %).

٥) يندفق تيار هوائى يحمل ملوثات على درجة حرارة ١٠٠ درجة مئوية بسرعة ٢ متر على الثانية عبر فرازة مخروطية لها مقاسات قياسية وقطرها ٠,٥ متر. أوجد الكفاءة المتوقعة لإزالة نظام الحبيبات الملوثة، علما بأن كثافتها ١,٨ جم/سم^٣ وقطرها ٦ ميكرومتر (الإجابة: ٧١ %).

٦) أوجد المساحة المطلوبة لإزالة جسيمات ملوثة من غاز عند تمريره داخل مرسب إلكتروستاتى طبقا للبيانات التالية :

معدل إندفاق الغاز ٧٠٠ متر مكعب فى الدقيقة .

سرعة إنسياب الحبيبات المشحونة نحو قطب المرسب تساوى ١٠ متر على الدقيقة .

كفاءة إزالة الحبيبات ٩٧ % .

قطر الحبيبة المتوسط ٥٠٠ نانومتر .

أوجد الزيـادة المطلوبة فى المساحة عند رفع الكفاءة الى ٩٩,٥ بالمائة .

(الإجابة: ٢٤٥,٥ م^٢، ١٢٥,٤ م^٢) .

9.6 References

- 1) Davis, M. L., and Cornwell, D. A., "Introduction to Environmental Engineering", McGraw Hill Inc., New York, 2nd Ed., Chemical Engineering Series, 1991.
- 2) Vesilind, P. A., Peirce, J. J., Weiner, R. F. "Environmental engineering", 2nd Ed., Butterworth-Heinemann, Boston, 1990.
- 3) Masters, G. M., "Introduction to Environmental Engineering and Science", Prentice Hall, Englewood Cliffs, Newjersey, 1991.
- 4) Stern, A. C., Boubel, R. W., Turner, D. B., and Fox, D. L., "Fundamentals of Air Pollution", 2nd Ed., Academic Press INC., Orlando, Florida, 1984.
- 5) Henry, J. G. and Heinke, G. W., "environmental Science and Engineering", Prentice Hall, Englewood Cliffs, 1989.
- 6) Peavy, H. S.; Rowe, D. R.; and Tchobanoglous, G. "Environmental engineering", McGraw-Hill Book Co., New York, 1985.
- 7) 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.
- 8) Lapple, C. E., "Processes Use Many Collection Types", Chemical Engineer, Vol. 58(5), 144, May 1951.
- 9) Zannetti, P., "Air Pollution Modelling: Theories, Computational Methods and Available Software", Van Nostrand Reinhold, New York, 1990.
- 10) Davis, M. L., "Air Resources Management Primer", Amer. Soci. Civil Engrs., ASCE, New York, 1973.
- 11) Al-Shatti, A. K. S., and Harrington, J. M. Edi., "The Environmental and Health Impact of the Kuwaiti Oil Fires", Proceedings of an International Symposium held at the University of Birmingham, 17th October 1991, Institute of Occupational Health, University of Birmingham, Edgbaston, 1992.
- 12) Pearman, G. I., Edi., "Limiting Greenhouse Effects: Controlling Carbon Dioxide Emissions", Report of the Dahlem Workshop on Limiting the Greenhouse Effect: Options for Controlling Atmospheric Carbon Dioxide Accumulation, John Wiley and Sons, Chichester, 1992.
- 13) Sandroni, S. Edi., "Regional and Long-range Transport of Air Pollution", Elsevier, Amsterdam, 1987.

- 14) Brown, R. H., Curtis, M., Saunders, K. J., and Vandendriessche, S., "Clean Air at Work: New Trends in Assessment and Measurement for the 1990s", Proceedings on an International Symposium held in Luxembourg, 9-13 September 1991, Organized by the Commission of the European Communities, Health and Safety Directorate and the Community Bureau of Reference, Royal Society of Chemistry Special Publication No. 108, Royal Society of Chemistry, Cambridge, 1992.
- 15) 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 Friedrich Naumann Stiftung.

الملاحق

منطق (أ)
ضبط بخار الماء المشبع بدلالة الحرارة {1}

ضبط البخار المشبع										درجة الحرارة (متوية)
٠.٩	٠.٨	٠.٧	٠.٦	٠.٥	٠.٤	٠.٣	٠.٢	٠.١	٠	
٤.٨٩	٤.٨٦	٤.٨٢	٤.٧٨	٤.٧٥	٤.٧١	٤.٦٩	٤.٦٥	٤.٦٢	٤.٥٨	٠
٥.٢٥	٥.٢١	٥.١٨	٥.١٤	٥.١١	٥.٠٧	٥.٠٣	٥	٤.٩٦	٤.٩٢	١
٥.٦٤	٥.٦	٥.٥٧	٥.٥٣	٥.٤٨	٥.٤٤	٥.٤	٥.٣٧	٥.٣٣	٥.٢٩	٢
٦.٠٦	٦.٠١	٥.٩٧	٥.٩٣	٥.٨٩	٥.٨٤	٥.٨	٥.٧٦	٥.٧٢	٥.٦٨	٣
٦.٤٩	٦.٤٥	٦.٤	٦.٣٦	٦.٣١	٦.٢٧	٦.٢٣	٦.١٨	٦.١٤	٦.١	٤
٦.٩٦	٦.٩١	٦.٨٦	٦.٨٢	٦.٧٧	٦.٧٢	٦.٦٨	٦.٥٤	٦.٥٨	٦.٥٤	٥
٧.٤٦	٧.٤١	٧.٣٦	٧.٣١	٧.٢٥	٧.٢	٧.١٦	٧.١١	٧.٠٦	٧.٠١	٦
٧.٩٨	٧.٩٣	٧.٨٨	٧.٨٢	٧.٧٧	٧.٧٢	٧.٦٧	٧.٦١	٧.٥٦	٧.٥١	٧
٨.٥٤	٨.٤٨	٨.٤٣	٨.٣٧	٨.٣٢	٨.٢٦	٨.٢١	٨.١٥	٨.١	٨.٠٤	٨
٩.١٤	٩.٠٨	٩.٠٢	٨.٩٦	٨.٩	٨.٨٤	٨.٧٨	٨.٧٣	٨.٦٧	٨.٦١	٩
٩.٧٧	٩.٧١	٩.٦٥	٩.٥٨	٩.٥٢	٩.٤٦	٩.٣٩	٩.٣٣	٩.٢٦	٩.٢	١٠
١٠.٤٥	١٠.٣٨	١٠.٣١	١٠.٢٤	١٠.١٧	١٠.١	١٠.٠٣	٩.٩٧	٩.٩	٩.٨٤	١١
١١.١٥	١١.٠٨	١١	١٠.٩٣	١٠.٨٦	١٠.٧٩	١٠.٧٢	١٠.٦٦	١٠.٥٨	١٠.٥٢	١٢
١١.٩١	١١.٨٣	١١.٧٦	١١.٦٨	١١.٦	١١.٥٣	١١.٥٥	١١.٣٨	١١.٣	١١.٢٣	١٣
١٢.٧	١٢.٦٢	١٢.٥٤	١٢.٤٦	١٢.٣٨	١٢.٣١	١٢.٢٢	١٢.١٤	١٢.٠٦	١١.٩٨	١٤
١٣.٥٤	١٣.٥٥	١٣.٣٧	١٣.٢٨	١٣.٢	١٣.١١	١٣.٠٣	١٢.٩٥	١٢.٨٦	١٢.٧٨	١٥
١٤.٤٤	١٤.٣٥	١٤.٢٦	١٤.١٧	١٤.٠٨	١٣.٩٩	١٣.٩	١٣.٨	١٣.٧١	١٣.٦٣	١٦
١٥.٣٨	١٥.٢٧	١٥.١٧	١٥.٠٩	١٤.٩٩	١٤.٩	١٤.٨	١٤.٧١	١٤.٦٢	١٤.٥٣	١٧
١٦.٣٦	١٦.٢٦	١٦.١٦	١٦.٠٦	١٥.٩٦	١٥.٩٦	١٥.٨٦	١٥.٧٦	١٥.٦٦	١٥.٥٦	١٨
١٧.٤٣	١٧.٣٢	١٧.٢١	١٧.١	١٧	١٦.٩	١٦.٧٩	١٦.٦٨	١٦.٥٧	١٦.٤٦	١٩
١٨.٥٤	١٨.٤٣	١٨.٣١	١٨.٢	١٨.٠٨	١٧.٩٧	١٧.٨٦	١٧.٧٥	١٧.٦٤	١٧.٥٣	٢٠
١٩.٧	١٩.٥٨	١٩.٤٦	١٩.٣٥	١٩.٢٣	١٩.١١	١٩	١٨.٨٨	١٨.٧٧	١٨.٦٥	٢١
٢٠.٩٣	٢٠.٨	٢٠.٦٩	٢٠.٥٨	٢٠.٤٣	٢٠.٣١	٢٠.١٩	٢٠.٠٦	١٩.٩٤	١٩.٨٢	٢٢
٢١.٣٣	٢١.٢١	٢١.٩٧	٢١.٨٤	٢١.٧١	٢١.٥٨	٢١.٤٥	٢١.٣٢	٢١.١٩	٢١.٠٥	٢٣
٢٢.٦	٢٢.٤٥	٢٢.٣١	٢٢.١٩	٢٢.٠٥	٢١.٩١	٢١.٧٦	٢١.٦٣	٢١.٥	٢١.٣٧	٢٤
٢٣.٠٨	٢٢.٩٤	٢٢.٧٩	٢٢.٦٤	٢٢.٤٩	٢٢.٣٥	٢٢.٢	٢٢.٠٣	٢١.٩	٢١.٧٥	٢٥
٢٣.٦	٢٣.٤٦	٢٣.٣٢	٢٣.١٨	٢٣.٠٣	٢٢.٨٩	٢٢.٧٤	٢٢.٦	٢٢.٤٥	٢٢.٣١	٢٦
٢٤.١٦	٢٤	٢٣.٨٥	٢٣.٦٩	٢٣.٥٣	٢٣.٣٧	٢٣.٢١	٢٣.٠٥	٢٢.٩	٢٢.٧٤	٢٧
٢٤.٨٥	٢٤.٦٨	٢٤.٥١	٢٤.٣٤	٢٤.١٧	٢٤	٢٣.٨٣	٢٣.٦٦	٢٣.٤٩	٢٣.٣٢	٢٨
٢٥.٦٤	٢٥.٤٦	٢٥.٣٨	٢٥.٢١	٢٥.٠٤	٢٤.٨٧	٢٤.٧١	٢٤.٥٤	٢٤.٣٧	٢٤.٢١	٢٩
٢٦.٥٢	٢٦.٣٣	٢٦.١٤	٢٦.٠٥	٢٥.٩٦	٢٥.٨٧	٢٥.٧٨	٢٥.٦٩	٢٥.٦٠	٢٥.٥١	٣٠

ملحق (ب)

قيم تركيز التشبع للأكسجين الذائب في الماء والمعرض لمياه مشبعة بهواء يحتوى على
٢٠.٩ % كسجين وتحت ضغط يعادل ٧٦٠ ملم زئبق {٦.٥.٤.٣.٢}

الفروق لكل ١٠٠ ملجم كلوريد	كمية الكلوريد الذائب في الماء (ملجم/لتر)				درجة الحرارة (منوبة)
	٢.٠٠٠	١.٠٠٠	٥.٠٠٠	صفر	
٠.٠١٧	١١.٣	١٣	١٣.٨	١٤.٦	صفر
٠.٠١٦	١١	١٢.٦	١٣.٤	١٤.٢	١
٠.٠١٥	١٠.٨	١٢.٣	١٣.١	١٣.٨	٢
٠.٠١٥	١٠.٥	١٢	١٢.٧	١٣.٥	٣
٠.٠١٤	١٠.٣	١١.٧	١٢.٤	١٣.١	٤
٠.٠١٤	١٠	١١.٤	١٢.١	١٢.٨	٥
٠.٠١٤	٩.٨	١١.١	١١.٨	١٢.٥	٦
٠.٠١٣	٩.٦	١٠.٩	١١.٥	١٢.٢	٧
٠.٠١٣	٩.٤	١٠.٦	١١.٢	١١.٩	٨
٠.٠١٢	٩.٢	١٠.٤	١١	١١.٦	٩
٠.٠١٢	٩	١٠.١	١٠.٧	١١.٣	١٠
٠.٠١١	٨.٨	٩.٩	١٠.٥	١١.١	١١
٠.٠١١	٨.٦	٩.٧	١٠.٣	١٠.٨	١٢
٠.٠١١	٨.٥	٩.٥	١٠.١	١٠.٦	١٣
٠.٠١	٨.٣	٩.٣	٩.٩	١٠.٤	١٤
٠.٠١	٨.١	٩.١	٩.٧	١٠.٢	١٥
٠.٠١	٨	٩	٩.٥	١٠	١٦
٠.٠١	٧.٨	٨.٨	٩.٣	٩.٧	١٧
٠.٠٠٩	٧.٧	٨.٦	٩.١	٩.٥	١٨
٠.٠٠٩	٧.٦	٨.٥	٨.٩	٩.٤	١٩
٠.٠٠٩	٧.٤	٨.٣	٨.٧	٩.٢	٢٠
٠.٠٠٩	٧.٣	٨.١	٨.٦	٩	٢١
٠.٠٠٨	٧.١	٨	٨.٤	٨.٨	٢٢
٠.٠٠٨	٧	٧.٩	٨.٣	٨.٧	٢٣
٠.٠٠٨	٦.٩	٧.٧	٨.١	٨.٥	٢٤
٠.٠٠٨	٦.٧	٧.٦	٨	٨.٤	٢٥
٠.٠٠٨	٦.٦	٧.٤	٧.٨	٨.٢	٢٦
٠.٠٠٨	٦.٥	٧.٣	٧.٧	٨.١	٢٧
٠.٠٠٨	٦.٤	٧.١	٧.٥	٧.٩	٢٨
٠.٠٠٨	٦.٣	٧	٧.٤	٧.٨	٢٩
٠.٠٠٨	٦.١	٦.٩	٧.٣	٧.٦	٣٠

ملحق (ج)

بعض الخواص الطبيعية للماء {٧، ٢، ٢}

درجة الحرارة (مئوية)	الكثافة جم / م مكعب	درجة اللزوجة الديناميكية $\mu \times 10^{-1}$ نيوتن*ث/متر مربع	درجة اللزوجة الكينماتيكية $\nu \times 10^{-1}$ متر مربع/ث
صفر	٩٩٩,٨	١,٧٩٢	١,٧٩٢
٢	٩٩٩,٩	١,٦٧٤	١,٦٧٤
٤	١٠٠٠	١,٥٦٨	١,٥٦٨
٥	٩٩٩,٩	١,٥١٩	١,٥١٩
٦	٩٩٩,٩	١,٤٧٣	١,٤٧٣
٧	٩٩٩,٩	١,٤٢٩	١,٤٢٩
٨	٩٩٩,٨	١,٣٧٨	١,٣٨٨
٩	٩٩٩,٧	١,٣٤٨	١,٣٤٨
١٠	٩٩٩,٧	١,٣١	١,٣١
١١	٩٩٩,٦	١,٢٧٤	١,٢٧٤
١٢	٩٩٩,٥	١,٢٣٩	١,٢٤
١٣	٩٩٩,٤	١,٢٠٦	١,٢٠٧
١٤	٩٩٩,٢	١,١٧٥	١,١٧٦
١٥	٩٩٩	١,١٤٥	١,١٤٦
١٦	٩٩٨,٩	١,١١٦	١,١١٧
١٧	٩٩٨,٨	١,٠٨٧	١,٠٨٩
١٨	٩٩٨,٦	١,٠٦	١,٠٦٢
١٩	٩٩٨,٤	١,٠٣٤	١,٠٣٦
٢٠	٩٩٨,٢	١,٠٠٩	١,٠١١
٢٥	٩٩٧,١	٠,٨٩٥	٠,٨٩٨
٣٠	٩٩٥,٧	٠,٨	٠,٨٠٤
٣٥	٩٩٤,١	٠,٧٢١	٠,٧٢٥
٤٠	٩٩٢,٢	٠,٦٥٦	٠,٦٦١
٤٥	٩٩٠,٢	٠,٥٩٩	٠,٦٠٥
٥٠	٩٨٨,١	٠,٥٤٩	٠,٥٥٦
٥٥	٩٨٥,٧	٠,٥٠٦	٠,٥١٣
٦٠	٩٨٣,٢	٠,٤٦٩	٠,٤٧٧
٦٥	٩٨٠,٦	٠,٤٣٦	٠,٤٤٤
٧٠	٩٧٧,٨	٠,٤٠٦	٠,٤١٥
٧٥	٩٧٤,٩	٠,٣٨	٠,٣٩
٨٠	٩٧١,٨	٠,٣٥٧	٠,٣٦٧
٨٥	٩٦٨,٦	٠,٣٣٦	٠,٣٤٧
٩٠	٩٦٥,٣	٠,٣١٧	٠,٣٢٨
٩٥	٩٦١,٩	٠,٢٩٩	٠,٣١١
١٠٠	٩٥٨,٤	٠,٢٨٤	٠,٢٩٦

ملحق (د)

بعض خواص الغازات العادية (تحت ضغط ١ جو ودرجة حرارة ٢٠ درجة مئوية)

الغاز	لوزن الجزيئي	الكثافة كجم/م ^٣	لوزن النوعي نيوتن/م ^٣	ثابت الغاز ول/كجم.كلفن	درجة للزوج	
					الديناميكية نيوتن/م ^٢ ث	الديناميكية م ^٢ /ث
أرجون Ar	٣٩,٩	١,٦٦	١٦,٣	٢٠,٨	٥-١٠×٢,٢٤	٥-١٠×١,٣٥
الهواء الجاف	٢٨,٩٦	١,٢٣	١١,٨	٢٨٧	٥-١٠×١,٧٩	٥-١٠×١,٤٦
كلور Cl _٢	٧٠,٩١	٢,٩٥	٢٨,٩	١١٧	٥-١٠×١,٠٣	٥-١٠×٠,٣٥
ميثان CH _٤	١٦,٠٤	٠,٦٦٧	٦,٥٤	٥١٨	٥-١٠×١,٣٤	٥-١٠×٢,٠١
أول أكسيد الكربون CO	٢٨,٠١	١,١٦	١١,٤	٢٩٧	٥-١٠×١,٨٢	٥-١٠×١,٥٧
ثاني أكسيد الكربون CO _٢	٤٤,٠١	١,٨٢	١٧,٩	١٨٩	٥-١٠×١,٤٨	٥-١٠×٠,٨١
هيدروجين H _٢	٢,٠٢	٠,٠٨٤	٠,٨٢٢	٤١٢٤	٥-١٠×٩,١	٥-١٠×١,٠٨
هليوم He	٤,٠٠٣	٠,١٦٦	١,٦٣	٢٠٧٧	٥-١٠×١,٩٧	٥-١٠×١,١٩
نتروجين N _٢	٢٨,٠٢	١,١٦	١١,٤	٢٩٧	٥-١٠×١,٧٦	٥-١٠×١,٤٤
أكسجين O _٢	٣٢	١,٣٤	١٣,١	٢٦٠	٥-١٠×٢	٥-١٠×١,٥

ملحق (هـ)

بعض خواص السوائل العادية (الضغط ١ جو ودرجة الحرارة ٢٠ درجة مئوية)

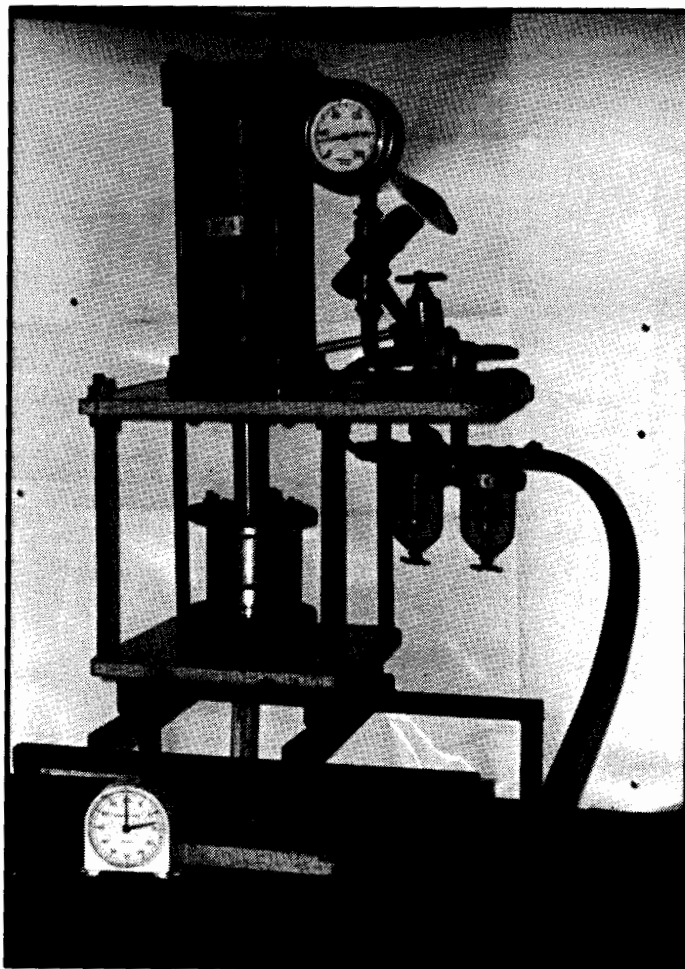
السائل	الكثافة كجم/م ^٣	لوزن النوعي نيوتن/م ^٣	درجة للزوج		للتوتر السطح نيوتن/م	ضغط البخار نيوتن/م ^٢ ث
			الديناميكية نيوتن/م ^٢ ث	الديناميكية م ^٢ /ث		
أمونيا	٦٠٨	٦٢	٥-١٠×٢,٢	٥-١٠×٣,٥	٥-١٠×٢,١٣	٥-١٠×٩,١
بنزين	٨٨١	٨٩,٩	٥-١٠×٦,٥	٥-١٠×٧,٢	٥-١٠×٢,٩	٥-١٠×١,٠١
رباعي كلوريد الكربون	١٥٩٠	١٦٢	٥-١٠×٩,٧	٥-١٠×٦	٥-١٠×٢,٧	٥-١٠×١,٢
إيثانول	٦٨٩	٧٠,٢	٥-١٠×١,٢	٥-١٠×١,٧	٥-١٠×٢,٣	٥-١٠×٥,٧
إثيل الكحول	٧٨٩	٧,٧٤	٥-١٠×١,١٩	٥-١٠×١,٥١	٥-١٠×٢,٣	٥-١٠×٥,٩
غازولين	٦٨٠	٦٩,٣	٥-١٠×٢,٩	٥-١٠×٤,٢	٥-١٠×٢,٢	٥-١٠×٥,٥
جلسرين	١٢٦٠	١٢٨,٤	١,٥	٥-١٠×١,٢	٥-١٠×٦,٣	٥-١٠×١,٤
كيروسين	٨٠٤	٨٢	٥-١٠×١,٩	٥-١٠×٢,٣	٥-١٠×٢,٨	٥-١٠×٣,١
زئبق	١٣٦٠٠	١٣٣	٥-١٠×١,٦	٥-١٠×١,٢	٠,٤٧	٥-١٠×١,١
ماء البحر	١٠٢٥	١٠٤,٥	٥-١٠×١,١	٥-١٠×١,١	٥-١٠×٧,٣	٥-١٠×١,٨

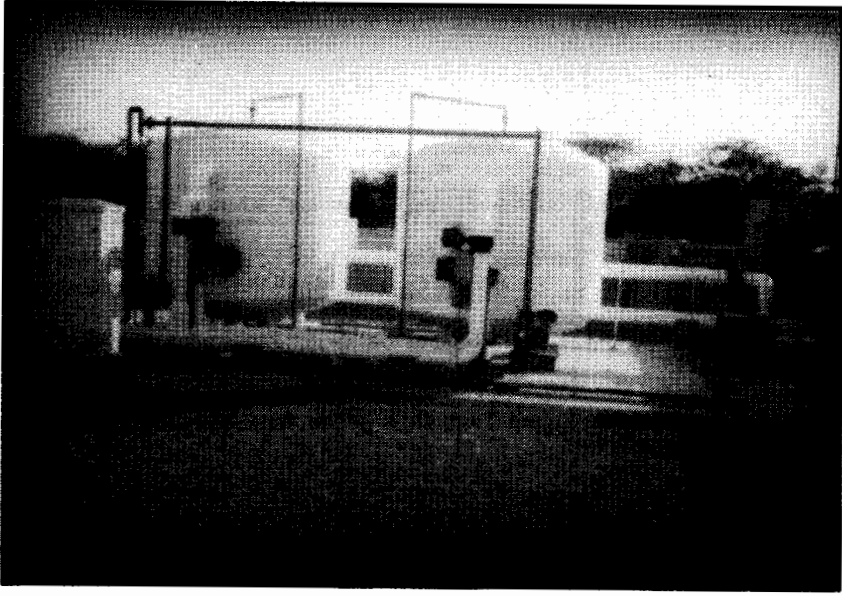
ملحق (و)
خواص الهواء على الضغط الجوي القياسي

درجة الزوجة		لوزن النوعي	الكثافة	درجة الحرارة
الديناميكية	الديناميكية	نيوتن/م ^٢	كجم/م ^٣	م
م / ث	نيوتن °م / ث			
١٠.٠٤	١٠.٥٧	١٤,٨٥	١,٥١	٤٠ -
١٠.١٦	١٠.٦١	١٣,٦٨	١,٤	٢٠ -
١٠.٣٢	١٠.٧١	١٢,٦٧	١,٢٩	٠
١٠.٣٦	١٠.٧٣	١٢,٤٥	١,٢٧	٥
١٠.٤١	١٠.٧٦	١٢,٢٣	١,٢٥	١٠
١٠.٤٧	١٠.٨	١٢,٠١	١,٢٣	١٥
١٠.٥١	١٠.٨٢	١١,٨١	١,٢	٢٠
١٠.٥٦	١٠.٨٥	١١,٦١	١,١٨	٢٥
١٠.٦	١٠.٨٦	١١,٤٣	١,١٧	٣٠
١٠.٦٩	١٠.٩١	١١,٠٥	١,١٣	٤٠
١٠.٧٩	١٠.٩٥	١٠,٨٨	١,١١	٥٠
١٠.٨٩	١٠.٩٢	١٠,٤	١,٠٦	٦٠
١٠.٩٩	١٠.٩٢,٠٤	١٠,٠٩	١,٠٣	٧٠
١٠.٩٢,٠٩	١٠.٩٢,٠٩	٩,٨١	١	٨٠
١٠.٩٢,١٩	١٠.٩٢,١٣	٩,٥٤	٠,٩٧	٩٠
١٠.٩٢,٢٩	١٠.٩٢,١٧	٩,٢٨	٠,٩٥	١٠٠
١٠.٩٢,٥١	١٠.٩٢,٢٦	٨,٨٢	٠,٩	١٢٠
١٠.٩٢,٧٤	١٠.٩٢,٣٤	٨,٣٨	٠,٨٥	١٤٠
١٠.٩٢,٩٧	١٠.٩٢,٤٢	٧,٩٩	٠,٨١	١٦٠
١٠.٩٣,٢	١٠.٩٢,٥	٧,٦٥	٠,٧٨	١٨٠
١٠.٩٣,٤٤	١٠.٩٢,٥٧	٧,٣٢	٠,٧٥	٢٠٠
١٠.٩٤,٨٤	١٠.٩٢,٩٨	٦,٠٤	٠,٦٢	٣٠٠
١٠.٩٦,٣٤	١٠.٩٢,٣٢	٥,١٤	٠,٥٢	٤٠٠
١٠.٩٧,٩٧	١٠.٩٣,٦٤	٤,٤٨	٠,٤٦	٥٠٠
١٠.٩٩,٧٥	١٠.٩٣,٩	٣,٩٢	٠,٤	٦٠٠
١٠.١١,٧	١٠.٩٤,٢١	٣,٥٣	٠,٣٦	٧٠٠
١٠.١٣,٧	١٠.٩٤,٥٢	٣,٢٤	٠,٣٣	٨٠٠
١٠.١٥,٩	١٠.٩٤,٧٧	٢,٩٤	٠,٣	٩٠٠
١٠.١٨,٢	١٠.٩٥,٠٤	٢,٧٢	٠,٢٨	١٠٠٠

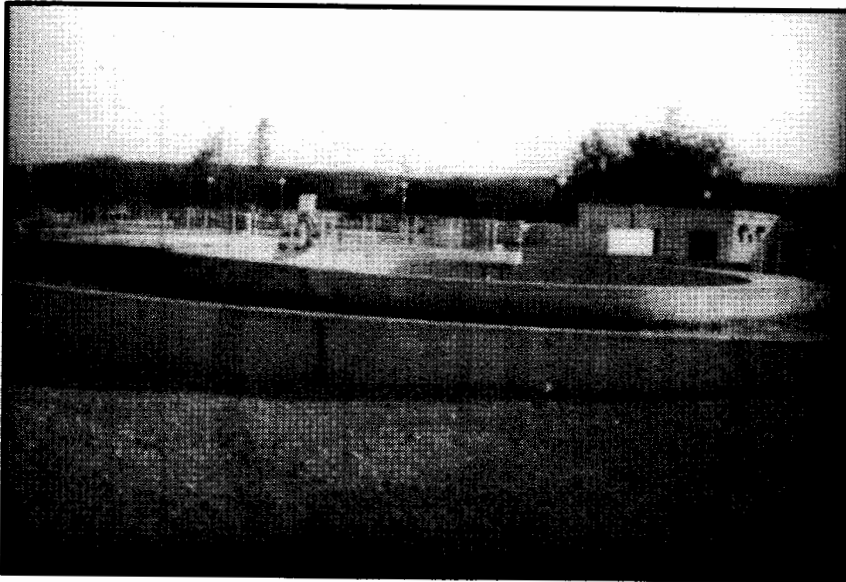
References

- 1) Wilson, E.M., "Engineering Hydrology", Macmillan Education, 4th Ed., London, 1990.
- 2) Abdel-Magid, I.M. "Selected problems in wastewater engineering", Khartoum University Press, National Research Council, Khartoum 1986.
- 3) McGhee, T. J., and Steel, E. W. "Water supply and sewerage", 6th Ed., McGraw- Hill, New York 1991.
- 4) Whipple, G.C., and Whipple, M. C., "Solubility of Oxygen in Sea Water", J. Amer. Chemical Society, 33, 362, 1911.
- 5) Rowe, D.R, and Abdel-Magid, I.M., "Handbook of Wastewater Reclamation and Reuse", Lewis Pub., Chelsea, Michigan, 1995.
- 6) Hammer, M. J., "Water and wastewater technology", 2nd Ed., Wiley, New York 1986.
- 7) Van del Leeden, F., Troise, F. L., and Todd, D. K., "The Water Encyclopedia", 2nd Edi., Lewis Publishers, Chelsea, Michigan, 1990.





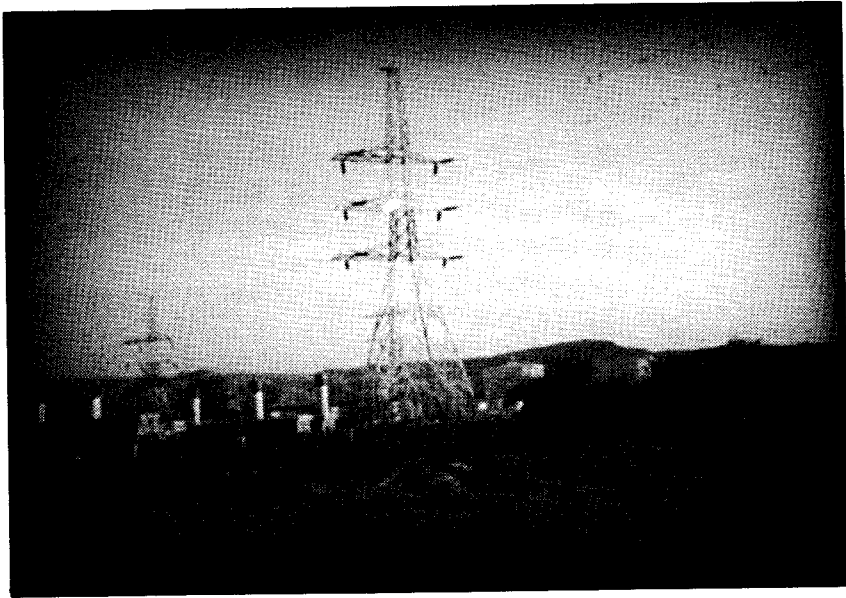
مرشحات رملية تحت الضغط



حوض مزدوج للترسيب والحماة النشطة



كشط أحواض التجفيف



مداخن مصانع



التهوية في حوض الحماية النشطة



أحواض التجفيف

لَا يَكْفُ اللَّهُ نَفْسًا إِلَّا وَسْعَهَا لَهَا مَا كَسَبَتْ وَعَلَيْهَا مَا اكْتَسَبَتْ رَبَّنَا لَا تُؤَاخِذْنَا إِنْ نَسِينَا أَوْ أَخْطَأْنَا رَبَّنَا
وَلَا تَحْمِلْ عَلَيْنَا إَصْرًا كَمَا حَمَلْتَهُ عَلَى الَّذِينَ مِنْ قَبْلِنَا رَبَّنَا وَلَا تَحْمِلْنَا مَا لَا طَاقَةَ لَنَا بِهِ وَاعْفُ عَنَّا
وَاعْفِرْ لَنَا وَارْحَمْنَا أَنْتَ مَوْلَانَا فَانصُرْنَا عَلَى الْقَوْمِ الْكَافِرِينَ {٢٨٦} البقرة .

وهذا آخر الكتاب، والحمد لله تعالى، وصلى الله على سيدنا محمد وآله وصحبه وسلم تسليماً كثيراً الى
يوم الدين .

دعواهم فيها سبحاتك اللهم وتحيتهم فيها سلام وآخر دعواهم أن الحمد لله رب العالمين
{١٠} يونس .

رمضان ١٤١٥ الموافق فبراير ١٩٩٥

الفهرس

صفحة

٣

٥

٧

الإهداء

شكر وتقدير

المقدمة

الباب الأول: مصادر تنقية وتوزيع المياه

الفصل الأول: خواص المياه

١-١ مقدمة

٢-١ دورة الماء الطبيعية

٣-١ مصادر المياه

٤-١ خصائص المياه

١-٤-١ الخصائص الطبيعية أو الفيزيائية

٢-٤-١ الخواص الكيميائية

٣-٤-١ الخواص الحيوية والبكتريولوجية

٥-١ التشريعات والمعايير والقوانين المتعلقة بنوعية المياه

٦-١ تمارين عامة

المراجع والمصادر

الفصل الثاني: تكنولوجيا تنقية المياه:

١-٢ مقدمة

٢-٢ إختيار مصدر المياه

٣-٢ أهداف تنقية المياه

٤-٢ وحدات تنقية المياه الطبيعية

١-٤-٢ المصافي

٢-٤-٢ الترسيب والطفو

٣-٤-٢ التلبد والترويب

٤-٤-٢ التهوية

٥-٤-٢ الترشيح

٥-٢ وحدات التنقية المتقدمة

١-٥-٢ الإمتزاز

١١٦	٢-٥-٢ طرق تحلية المياه
١١٦	١-٢-٥-٢ التقطير
١٢٢	٢-٢-٥-٢ التقطير الشمسي
١٢٣	٣-٢-٥-٢ التناضح العكسي
١٣٠	٤-٢-٥-٢ الفرز الغشائي الكهربائي (الديلزة)
١٣٢	٣-٥-٢ الراتنج لتبادل الأيونات
١٣٣	٦-٢ التطهير
١٤١	٧-٢ تمارين نظرية وعملية
١٤٧	المراجع والمصادر
١٤٩	<u>الفصل الثالث: الهيدروولوجيا وتلوث المياه</u>
١٤٩	١-٣ مقدمة
١٤٩	٢-٣ معلومات الإرساد الجوي
١٦١	٣-٣ الترسيب والتخلخل
١٦٥	٤-٣ المياه الجوفية
١٧٦	٥-٣ الإنسياب السطحي
١٨٥	٦-٣ الفيضان
١٨٧	٧-٣ تلوث المياه الجوفية
١٩٢	٨-٣ تمارين نظرية وعملية
١٩٥	المراجع والمصادر
١٩٧	<u>الفصل الرابع: تخزين المياه وتوزيعها</u>
١٩٧	١-٤ مقدمة
١٩٧	٢-٤ تخزين المياه
٢٠٣	٣-٤ توزيع المياه
٢٠٤	١-٣-٤ توزيع المياه للمناطق الريفية
٢٠٧	٢-٣-٤ توزيع المياه للمناطق الحضرية (المدن)
٢١١	٤-٤ الدفق عبر أنابيب المياه
٢٢٩	٥-٤ توزيع المياه للمستهلكين
٢٣١	٦-٤ التآكل والتحات
٢٣٦	٧-٤ تمارين نظرية وعملية
٢٤٠	المراجع والمصادر

الباب الثاني: معالجة الفضلات والمخلفات السائلة وطرق التخلص منها

الفصل الخامس

١-٥ مقدمة

٢-٥ الصرف الصحي

٣-٥ معدل دفع الفضلات السائلة الى شبكة المجاري

٤-٥ مياه الأمطار والسيول والمياه السطحية

٥-٥ هاييدرولوجيا الصرف الصحي

٦-٥ تصميم المجرور

٧-٥ التآكل في المصارف الصحية

٨-٥ تمارين عامة

المراجع والمصادر

الفصل السادس: معالجة الفضلات والمخلفات السائلة

١-٦ مقدمة

٢-٦ معالجة الفضلات السائلة

٣-٦ إزالة الرواسب غير العضوية

٤-٦ المعالجة الثانوية

٥-٦ طرق وتقانة المعالجة الثانوية

٦-٦ طرق المعالجة بالنمو العالق (الحماية النشطة)

٧-٦ طرق المعالجة بالنمو المرتبط أو المتصل

١-٧-٦ مرشح النضيف

٢-٧-٦ الأقراص الدوارة الحيوية

٨-٦ طرق المعالجة بالنمو العالق والنمو المرتبط (برك موازنة الأوساخ)

٩-٦ مرحاض الحفرة

١٠-٦ أحواض التحليل اللاهوائي (أو التعفن أو التخزين)

١١-٦ تمارين عامة

المراجع والمصادر

الفصل السابع: معالجة الحمأة والتخلص النهائي من الرواسب والمخلفات السائلة

١-٧ هضم الحمأة

٢-٧ نزع الماء من الحمأة

٣-٧ طرق التخلص من السائل النهائي

٣٦١	١-٣-٧ التخلص بالتخفيف
٣٦٣	٢-٣-٧ التخلص من السائل النهائي في موارد المياه الطبيعية
٣٧٣	٤-٧ تلوث البيئة البحرية
٣٨٥	٥-٧ أنماط استخدام المياه المعالجة
٣٩٠	٦-٧ المعايير والتشريعات والأحكام القانونية المتعلقة بأنماط التخلص النهائي من الفضلات والمخلفات السائلة
٤٠٢	٧-٧ تمارين نظرية وعملية
٤٠٥	المراجع والمصادر

الباب الثالث: مكافحة تلوث الهواء

٤٠٩	<u>الفصل الثامن: ملوثات الهواء</u>
٤٠٩	١-٨ مقدمة
٤٠٩	٢-٨ مصادر تلوث الهواء
٤١٢	٣-٨ الآثار المترتبة على تلوث الهواء
٤٢١	٤-٨ إدارة نوعية الهواء
٤٢٢	٥-٨ تمارين عامة
٤٢٣	المراجع والمصادر
٤٢٥	<u>الفصل التاسع: المعايير الهوائية ومكافحة تلوث الهواء</u>
٤٢٥	١-٩ تلوث الهواء والتشريعات الهوائية
٤٢٨	٢-٩ الإحصاء الجوي وتلوث الهواء
٤٣١	٣-٩ نماذج انتشار الملوثات
٤٣٩	٤-٩ مكافحة تلوث الهواء
٤٣٩	٤-٩-أ طرق ضبط التلوث الهوائي للمصادر الثابتة
٤٥٤	٤-٩-ب مصادر تلوث الهواء المتحركة
٤٥٦	٥-٩ تمارين نظرية وعملية
٤٥٩	المراجع والمصادر
٤٦١	الملاحق
٤٧٣	الفهرس

دار المستقبل للنشر والتوزيع كتب الدار

مختارات من الشعر الحديث	المناحة للمهندسين	علم وظائف الأعضاء
ادارة المشتريات والمخازن	المواصفات العامة للأبنية	أساسيات في طب العيون
ادارة المبيعات	الهندسة البيئية	تخزين الأدوية وحفظها
مبادئ التسويق	تكنولوجيا الخياطة	بنوك الدم
سلوك المستهلك	تصميم الأزياء	تاريخ الرياضيات
الادارة المقارنة الحديثة	تصميم المخططات والخياطة	العلوم العامة
أساسيات الادارة المالية	الكمبيوتر وتطبيقاته	مقدمة في الكيمياء العضوية
محاسبة التكاليف الصناعية	التصميم المنطقي	علم الأحياء الدقيقة ج ١ / ٢
محاسبة المنشآت الخاصة	البرمجة بلغة التجميع ج ١ / ٢	علم العنيمات اللاصقة
المحاسبة الحكومية	البرمجة بلغة كوبرول	الكيمياء الحيوية
أبعاد التنمية في الوطن العربي	البرمجة بلغة فورتران	مبادئ في الصحة العامة
المالية العامة (علوم مصرفية)	البرمجة بلغة بيسك	الإسعاف الأولي
المعاملات المالية في الاسلام	البرمجة بلغة باسكال	الأحياء الدقيقة عملي
التدريبات العملية في التجارة	تراكيب البيانات	الدمويات عملي
اللغة العربية - لثقافة العامة	قواعد البيانات	الأجهزة الطبية عملي
دليل البحث والتقويم التربوي	نظم التشغيل	الكيمياء التحليلية عملي
سيكولوجية الطفولة	تحليل وتصميم نظم المعلومات	الكيمياء العضوية عملي
الشامل في اللغة العربية	مقدمة في الحاسوب	الكيمياء الحيوية عملي
الجغرافيا المناخية	معالجة النصوص	المناعة والأمصال عملي
السياسة الفرنسية تجاه -	بحوث العمليات	الأردار والطفيليات عملي
الثورة العربية الكبرى	نظم تشغيل انجليزي	مبادئ التصميم
مرايا صغيرة	البرمجة الهيكلية بلغة باسكال	مبادئ إنتقال الحرارة
		الهندسة البينية

عمان ١١١١٨ الأردن ص.ب ١٨٤٢٤٨ تليفاكس ٦٥٨٢٦٣

دار المستقبل للنشر والتوزيع

تأسست عام ١٩٨٤

تُعنى بطباعة ونشر الكتب العلمية

المؤلفة والمترجمة مساهمة منها في تعريب الكتاب

الجامعي المتخصص

عضو في اتحاد الناشرين الأردنيين

تم صف وإخراج

ومونتاج

الكتاب

على

جهاز الكمبيوتر

IBM

الخاص بالدار

الأخطاء المطبعية الواردة بكتاب الهندسة البيئية

الصفحة	السطر	الخطأ	الصواب
٥	٢٧	والبيئة، جامعة	والبيئة، جامعة الهرموك. والشكر أيضا متمم
			للأغوة الأفاضل ماجد سعود الحمري وأور سميد العروسي (مركز تقنيات التعليم، جامعة السلطان قابوس) وتيسير مروهون الريامي (كلية الهندسة، جامعة السلطان قابوس) للقيام بعمل بعض الرسومات. ونشكر كل الهيئات والمنظمات والجهات العلمية المختلفة والتي سمحت باستخدام بعض منبجتها العلمية التي جمعت وأكملت هذا الكتاب. ونخص بالشكر كرسن ميرت مدير وحدة النشر بمركز أبحاث المياه البريطاني للموافقة على إعادة طبع شكل ١٩ (العناصر الأساسية لعرض الحمل البطي) من المرجع المعين في الفصل الثاني. أيضا
١٣	٢٦	$6C_6H_{12}O_6$	$C_6H_{12}O_6$
١٤	٢٨	١٩	١٩,٧
١٥	١٢	شكل (١) يبين	شكل (١) في صفحة ٢٨٦ يبين
٢٧	١٤	Y_{A+2}	Y_{A+1}
٢٩	١٤	$\tau = F = -\mu \cdot A \cdot dv/dy$	$\tau = F/A = -\mu \cdot dv/dy$
٢٩	٢٦	$\mu = \mu/\rho$	$v = \mu/\rho$
٢٩	٢٨	$\mu = \text{درجة} \dots$	$v = \text{درجة} \dots$
٤١	١	Biostimulants	Biostimulants
٤٩	٢٨	نحاس = ٠,٠١	رصاص = ٠,٠١
٥٠	١٧	١,٢ ثنائي كلور ايثين	٢,١ ثنائي كلور ايثين
٥٠	٢٩	١,٢ ثنائي كلور بنزين	٢,١ ثنائي كلور بنزين
٥٠	٣٠	١,٤ ثنائي كلور بنزين	٤,١ ثنائي كلور بنزين
٥٣	١٢	٥,٣	٣ و ٥
٥٣	١٧	NA^{++}	Na^+
٦٩	٢	$\rho \cdot C_D \cdot A \cdot (v/2)$	$\rho \cdot C_D \cdot A \cdot (v^2/2)$
٨٠	١٥	$Fr = [Q^2 \cdot (B+2h)] / g \cdot B \cdot h; [v_s^2 \cdot L^5 \cdot (1+2hLB)] / g \cdot h;$	$Fr = [Q^2 \cdot (B+2h)] / g \cdot B^3 \cdot h^3 = [v_s^2 \cdot L^2 \cdot (1+2hLB)] / g \cdot h^3$
٨٣	٢	$\lambda = \text{دقيقة}$	$\tau = ٨٠ \text{ دقيقة}$
٩٠	٢٧	$4 \cdot \pi \cdot F \cdot U$	$4 \cdot \pi \cdot \mu \cdot U$
٩١	٢	F	μ
٩٢	٧	$I_{pk} = 8 \cdot \pi \cdot C_{DM} \cdot d \cdot n^5$	$I_{pk} = 8 \cdot \pi \cdot C_{DM} \cdot d \cdot n^2$
٩٩	٢٤	$-D \cdot A \cdot Mc/Mx$	$-D \cdot A \cdot \partial c / \partial x$
١٠٠	٣	Mc/Mx	$\partial c / \partial x$
١٠٣	١٧	الكبيريات	الممرضات
١٠٤	١٥	$A_{11} = A / (N - 2)$	$A_{11} = A / (N - 1)$
١٠٧	٥	3/%Re	3/√Re
١٤٥	١٩	أيونات	أيونات
١٤٥	٢٩	كيلوجرام من	كيلوجرام من الكلوروفورم.
١٥١	٢٦	خطوط العرض	دوائر العرض
١٥٢	١١	الأرضية {١}	الأرضية وذلك نتيجة لتأثير دوران الأرض {١}
١٥٢	٢١	(٧ / ١)	(٧ ÷ ١)
١٥٣	١٧	Crontal	Frontal
١٥٧	٤	Frequency	Frequency
١٦١	١٢	= ميلان ...	= ميلان ...
١٦١	١٥	= ثابت جهاز ...	γ ~ ثابت جهاز ...
١٦٣	٢٢	φ٠١	٢٢,٥ = φ × ١
١٦٥	٢٦	$v' = v \cdot n_e$	$v' = v / n_e$
١٦٧	٢٦	c_1 و c_2	c_1 و c_2
١٦٩	١٠	٩٥ ملم.	٩٥٠ ملم.

الصفحة	السطر	الخطأ	المصواب
١٦٩	١٥	= ٩٥ ملم،	= ٩٥٠ ملم،
١٧٤	١	ويمكن تكامل المعادلة ٥٤ الى ما لا نهاية على حسب ما موضح فى المعادلة ٥٠.	
١٨٠	٢٥	Diluhun	Dilution
١٨١	٢٨	تغزى	تغزى
١٨٥	١٢	Q_8	Q_0
١٨٦	١٥	زمن	زمن الفيضان
١٨٦	١٦	فى ال routing	فى تقدير الفيضان
١٨٨	٤	Polyshlorinated	Polychlorinated
١٨٨	١١	Septis	Septic
١٩٣	٢٣	رقم المحطة (كلم ^٢)	المحيط بالمحطة (كلم ^٢)
٢١١	٩	عبر ملساء	عبر مسارات ملساء
٢١٣	٥	$\partial v / \partial s = 0$	$\partial v / \partial s \neq 0$
٢١٤	١٨	g	ε
٢١٤	١٩	$\Delta P \sim g \varepsilon^0$	$\Delta P \sim \varepsilon^0$
٢١٥	٧	$v = v_c / T$	$v = v_c / 2$
٢١٦	١٤	= المعامل ..	= المعامل ..
٢١٩	٨	$g = ٠,٠٧$ ملم	$\varepsilon = ٠,٠٧$ ملم
٢٢٢	١	f_1	f_2
٢٢٤	١٥	$\sum_{i=1}^N Q_i = 0$	$\sum_{i=1}^N (Q_i) = 0$
٢٣٧	٧	$g = ٠,٣$ ملم	$\varepsilon = ٠,٣$ ملم
٢٢٨	٣٢	٠,٢٤٤٤٥	٠,٢٤٤٥
٢٣٧	١٤	التوازى	التوالى
٢٤٠	١٠	Lewis Publishers	CRC Lewis Publishers
٢٤٧	١	* لا توجد مخاطر قد تقود الى ثلوث الأنهار والمجارى المائية إذ لا يؤخذ الى الاعتبار عند التصميم صرف...	
٢٥١	٤	الحيا كيميائية والمواد ..	الحيا كيميائية للأكسجين و ..
٢٥٢	٣	$Q_p (2 \text{ to } 3) * Q_a$	$Q_p = (2 \text{ to } 3) * Q_a$
٢٦٢	٢٠	$٠,٠١٦ \div$	$٠,٠١٣ \div$
٢٦٤	٢	Q^*	$Q * \Delta$
٢٧٧	٨	s^2	$s^{1/2}$
٢٧٨	٧	s^2	$s^{1/2}$
٢٧٨	٢٤	$= (0.45 \dots$	$\phi = (0.45 * a \dots$
٢٧٩	٢٧	خيرية	غيرية
٢٩١	١٣	$h/L = 10$	$L/h = 10$
٢٩١	١٨	$h/L = 25$	$L/h = 25$
٢٩٤	٥	المنترنة Nitrosomonas	المنترنة
٢٩٤	٦	المنترنة Nitrobacter	المنترنة
٣١٥	٣	$(4A / \pi) 0.5$	$(4A / \pi) 0.5$
٣١٥	١٩	الحميل	التحميل
٣١٧	٢٣ (شكل ١٠)	N	N_2
٣١٧	٢٣ (شكل ١٠)	$CO_2, NH_3, PO_4^{3-}, H_2O, N_2, O_2, CH_4, CO, NH, PO, HO, N, O, CH$	$CO_2, NH_3, PO_4^{3-}, H_2O, N_2, O_2, CH_4, CO, NH, PO, HO, N, O, CH$
٣١٩	٣	Unacrobic	Anacrobic

الصواب	الخطأ	السطر	الصفحة
الم ١ المسألة (١٩) لأن لها حساسية ١١ ١٠ إلى ١١ ١٠ (٤-٧) والضعف وملاءمة وعلى التعود شكل ١٢ <i>Culex pipiens</i> <i>filariasis</i> ألفا ألفا ١٢ ١٠ ث/م الحيا- كيميائية للأكسجين حمض الكبريت VI أذناه { ٤-١ } المنحى - 1/2 كجم/م مكعب جول/كجم × كلفن ٥-١٠ × ٣٢	الم ١ مل المسألة (٢٠) لأن حساسية ١١ ١٠ إلى ١١ ١٠ (٧، ٤) والزهن ولانتمه ولنعود شكل ١٣ <i>Culex pipiens</i> <i>filariasis</i> ألفا ١٢ ١٠ ث/م الحيا كيميائية حمض الكبريت IV أذناه: المنحى - 1/2 جم/م مكعب ول/كجم. كلفن ٥-١٠ × ٣٢	٢٠ ٤ ٥ ٩ ٢٤ ٨ ١٧ ١٧ ٢٣ ١١ ١٢ ١٩ ١٥ ٨ ٩ ٢٨ ١ ٢٤ ٤ ٤ ٢٨	٣٢٦ ٣٤٢ ٣٤٦ ٣٥٥ ٣٧٣ ٣٧٥ ٣٧٧ ٣٧٧ ٣٨٥ ٣٩٦ ٣٩٦ ٣٩٦ ٤٠٢ ٤٠٣ ٤١٣ ٤١٥ ٤١٦ ٤٣٣ ٤٦٤ ٤٦٥ ٤٦٦



عن المؤلف

د. عصام محمد عبد الماجد أحمد

* ولد بمدينة رفاعة بالسودان فى ١٩ يوليو ١٩٥٢ م .

* تلقى تعليمه الأولى والثانوى برفاعة، والمتوسط بأبى حراز .

* تخرج من القسم المدنى فى كلية الهندسة بجامعة الخرطوم (السودان)، بمرتبة الشرف الأولى

* نال دبلوم الرى من جامعة بادوفا (إيطاليا)، وماجستير الهندسة الصحية من

جامعة دلفت (هولندا)، والدكتوراة فى الهندسة البيئية من جامعة استراثكلايد (بريطانيا)

* للمؤلف العديد من البحوث والأوراق العلمية والكتب الدراسية والمرجعية (باللغتين

العربية والإنكليزية) فى مضمار الهندسة البيئية

* عمل فى جامعة الخرطوم وجامعة الإمارات العربية المتحدة وجامعة السلطان قابوس



المستقبل للنشر والتوزيع

عمان ١١١١٨ الأردن

ص.ب. ١٨٤٢٤٨ تليفاكس ٦٥٨٢٦٣