ResearchGate

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: https://www.researchgate.net/publication/291831852

Environmental engineering

Book · January 1995

DOI: 10.13140/RG.2.1.1688.4244

CITATIONS
0

READS
2,637

1 author:

Isam Mohammed Abdel-Magid
Imam Abdulrahman Bin Faisal University
193 PUBLICATIONS **344** CITATIONS

SEE PROFILE

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:

Research Project View project

environmental engineering View project

All content following this page was uploaded by Isam Mohammed Abdel-Magid on 26 January 2016.

The user has requested enhancement of the downloaded file.

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 عبد الماجد أحمد
جامعة السلطان قابوس
كلية الهندسة

١٩٩٥

دار
المستقبل للنشر والتوزيع
عمان ١١١١٨ الأردن
ص . ب. ١٨٤٢٤٨ تلفاكس ٦٥٨٢٦٣

حقوق الطبع محفوظة
١٤١٦هـ - ١٩٩٥م

رقم الايداع لدى دائرة المكتبة الوطنية
(١٩٩٥/٥/٤٦٤)

رقـــم التصنيف	:	٦٢٤
المؤلف ومن هوفي حكمه	:	عصام محمد عبد الماجد
عنـوان المصنف	:	الهندسة البيئية
رؤوس الموضوعـات	:	١- الهندسة المدنية
		٢-
رقـــم الايداع	:	(١٩٩٥ / ٥ / ٤٦٤)
الملاحظـــات	:	عمان : دار المستقبل

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

دار

المستقبل للنشر والتوزيع

عمان ١١١١٨ الأردن

ص . ب. ١٨٤٢٤٨ تلفاكس ٦٥٨٢٦٣

بسم الله الرحمن الرحيم

قال الله تعالى عز وجل:

" ربِّ اغفرْ لي ولوالديَّ ولمن دخلَ بيتيَ مؤمناً وللمؤمنينَ والمؤمناتِ ولاتزدِ الظالمينَ إلا تباراً" (٢٨) سُورةُ نوُح.

وقال الله تبارك وتعالى:

" يأيُّها النّاسُ اتقوا ربكمُ الذي خلقكم مّن نّفسٍ واحدةٍ وخلقَ منها زوجَها وبثَّ منهما رجالاً كثيراً ونساءً، واتقوا اللّهَ الذي تساءلونَ بهِ والأرحامَ، إنَّ اللّهَ كانَ عليكمْ رقيباً" (١) سورة النساء.

وقال الله جل جلاله:

" ووصّينا الإنسانَ بوالديهِ إحساناً، حملتهُ أمّهُ كُرهاً، ووضعتهُ كرهاً وحملهُ وفصالهُ ثلاثونَ شهراً، حتّى إذا بلغَ أشدّهُ وبلغَ أربعينَ سنةً قالَ ربِّ أوزعني أنْ أشكرَ نعمتكَ الّتي أنعمتَ عليَّ وعلى والديَّ وأنْ أعملَ صالحاً ترضاهُ وأصلحْ لي في ذريتي، إنّي تبتُ إليكَ وإنّي منَ المسلمينَ" (١٥) سورة الأحقاف.

الإهداء

إلى الأم الرؤوم أم سلمة والوالد العطوف محمد والزوجة الفضلى ليلى وفلذات الكبد لبنى وهشام ومحمد وتغريد وتسنيم وآية أهدي هذا الجهد المتواضع.

المؤلف

دمشق في رمضان ١٤١٥ هـ الموافق فبراير ١٩٩٥.

بسم الله الرحمن الرحيم

كلمة الناشر

ملئتني 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 الحياه 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 المعلومه الى أبناء هذه الأمه العظيمة .

وها هو الكتاب بعد جهد متواصل من المؤلف استغرق عام كامل وتواصل هذا الجهد لي كناشر مدة عام أيضا وآمل أن أكون قد أديت الأمانة وحملتها بكل شرف لتصل لكل من يخصه هذا الكتاب ويحقق الفائدة المرجوه 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 أدام انقطع عمله الا من ثلاث : صدقه جاريه ، أو علم ينتفع به أو ولد صالح يدعو له " صدق الرسول الكريم

والله نسأل التوفيق والسداد لما فيه خير هذه الأمه

عمان في ٢٣ / ٧ / ١٩٩٥

الناشر

فهيم 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 الا أن أخص بالشكر الجزيل وعظيم الإمتنان كل أفراد أسرتى الذين تحملوا الكثير وصبروا وصابروا وتفانوا أثناء مراحل الكتابة والطباعة والمراجعة والإخراج، فالشكر موصول للزوجة الفضلى ليلى صالح محمود لصبرها عند محاولة فتح طلاسم 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 للتعريب والذى تكرم مشكورا بمدنا بنسخ من المعاجم التى قامت اللجنه بوضعها وإجازتها .

كما ولا يفوتنا أن نخص بالشكر الأخ الأكرم فهيم مجدلاوى مدير دار المستقبل للنشر والتوزيع لقبوله نشر الكتاب وتشجيعه المتصل وحثه الدائم والدؤوب لنا لإتمام السفرعلى أكمل وجه، وما بذله والأخوة العاملين بالدار من جهد مقدر ليأتى 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 للتفاهم 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 الظواهرى (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 (الأمارات العربية المتحدة) للسماح بإعادة طباعة ورقتنا العلمية. والشكر موصول لأستاذنا وأخانا الأكرم د. عثمان أحمد حمد (كلية الهندسة، جامعة الأمارات 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 زياراتنا المكوكية له للرجوع الى مكتب قواميسه ومعاجمه العربية. وهنالك 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. رو مدير شركة رو للخدمات الهندسية لتفضلهم بالسماح لنا بإستخدام شكل ٣ (أنواع الموانع على حسب خصائصها الإنسيابية) فى الفصل الأول، وشكل ١٥ (رسم تخطيطى لنظافة مرشح رملى بالإجتراف 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 الديلزة) فى الفصل الثانى.
والشكر موصول لكين براون من قسم النشر بمنظمة المهندسين الميكانيكيين الأمريكية بنيويورك للموافقة على إعادة طبع شكل ٩ (معامل الإحتكاك لدفق مكتمل فى أنابيب دائرية) من المرجع الموضح فى الفصل الرابع من هذا الكتاب.

والشكر موصول لايل مارابيللو من جمعية المهندسين المدنيين الأمريكية لتكرمه بالسماح لنا بإستخدام شكل ٥ (التغيرات اليومية فى الدفق والحاجة الحيا-كيميائية للأكسجين والمواد العالقة فى الفضلات المنزلية لمجموعة صغيرة) فى الفصل الخامس، وشكل ٩ (معامل الإحتكاك 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 بالإنابة، جنيف، منظمة الصحة العالمية لتفضله بالموافقة على إعادة طبع شكل ١٢ (أنماط إستخدام الفضلات السائلة) وجدول ١٠ (الخطوط التوجيهية المقترحة للخواص الميكروبيلوجية عند إستخدام 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 النضيض) 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 الحمأة النشطة فى محطة التنقية) فى الفصل السادس، وجدول ١ (خصائص الحمأة 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.

"ربّنا لا تُزغْ قلوبنا بعدَ إذْ هديتنا وهبْ لنا منْ لدنكَ رحمةً إنّكَ أنتَ الوهّابُ". وسلام على المرسلين والحمد لله رب العالمين.

المؤلف

د. عصام محمد عبد الماجد أحمد

بسم ا لله الرحمن الرحيم

المقدمة

سبحان ربى العلى الأعلى الوهاب، والحمد لله الذى بنعمته تتم الصالحات، والسلام على أشرف المرسلين سيدنا ونبينا محمد وعلى آله وصحبه ومن إتبع هديه الى يوم الدين .

نبعت فكرة هذا الكتاب بعد أن قامت الدولة السودانية بإصلاح مسار التعليم العالى وتعريب مناهجه فى رجب من العام ١٤١٠ هـ الموافق فبراير ١٩٩٠، وبعد أن قامت الهيئة السودانية العليا للتعريب بإصدار سلسلة المعاجم العلمية المتخصصة. وعكفنا على تطوير أعمال ومجهودات قمنا بها فى مطلع الثمانينات فى مجال التأليف بلغة الضاد فى مشوارنا مع التعليم بلغة القرآن، فى محاولة لإثراء المكتبة العربية بكتاب علمى متخصص فى العلوم البيئية. ودعم فكرة الكتاب إفتقار المكتبة العربية الى كتاب حديث جامع، ومرجع علمى شامل يغطى الأسس النظرية والعملية، ويجد الطالب فى ثناياه ما يرومه من مسائل وتمارين، تعينه على هضم الدروس والمحاضرات فى مضمار الهندسة البيئية .

ومن المتوقع أن يستفيد من هذا الجهد المهندس المدنى والصحى والبيئى والكيميائى بالإضافة الى العاملين فى طب المجتمع ومفتش الصحة العامة ومهندس التخطيط البيئى ووصيفه الزراعى وجمهور الدارسين والعاملين فى حقل الهندسة الصحية، ولا غنى للباحث عنه. كما ووضع الكتاب متطرقا لموضوعات علمية شتى تفيد الأستاذ المدرس والطالب الجامعى أثناء تحضيرة لرسالة الدبلوم الأوسط أو البكالريوس أو الدبلوم العالى أوالماجستير. ومن المؤمل أن يفيد الكتاب فى تدريس مواد الهندسة البيئية، والهندسة الصحية، ومصادر وإمدادات المياه، وتنقية المياه، ومعالجة الفضلات السائلة، ومكافحة التلوث وغيرها من مفردات وأسماء المساقات الدراسية المختلفة إختلاف الجامعات وإهتماماتها البيئية. ويتوقع أن يساعد الكتاب فى تخطيط وتصميم وتقويم وتشغيل محطات تنقية المياه ومعالجة الفضلات السائلة .

وتطرق الكتاب عبر أبوابه الثلاث، وفصوله التسع، الى الكثير من الموضوعات العلمية الشيقة المتعلقة بإمدادات وتنقية المياه ومعالجة الفضلات والمخلفات السائلة ومكافحة تلوث الهواء .

إحتوى الباب الأول ثلاث فصول، شملت مصادر وتقانة وتوزيع المياه ومداخلات الخواص والإمداد والتوزيع. إذ تناول الفصل الأول دورة الماء الطبيعية، وخواص المياه والفضلات السائلة من طبيعية

(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 أبجديات علم المياه ونواميسها (الهايدرولوجيا) 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 وللبوادى والحضر والمجتمعات ذات الكثافة السكانية العالية. وعمر الفصل السابع بطرق معالجة الرواسب والحمأة 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 المحلولة لكل فرع للتبيان، كما ووضعت العديد من المسائل والتمارين النظرية والعملية لتزيد الفائدة وتكسب القارئ الخبرة المنشودة. وتضمن الكتاب العديد من الرسومات والأشكال الهندسية الإيضاحية والتصميمية. وتنوعت 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 والتى 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 (إنجليزى-عربى) الصادرة من الهيئة العليا للتعريب، التابعة لوزارة التربية والتعليم والبحث العلمى السودانية (والتى 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. عصام محمد عبد الماجد أحمد

الباب الأول

مصادر وتنقية وتوزيع المياه

الفصل الأول : خواص المياه

الفصل الثاني : تكنولوجيا تنقية المياه

الفصل الثالث : الهايدرولوجيا 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 فى الآتي:

١- وجود ونمو مملكة النبات والحيوان.

٢- من العوامل الأساسية لعمليات التمثيل الضوئي.

٣- مذيب للعديد من المواد العضوية والغيرعضوية، 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 الى 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 الى ٩٤ بالمائة، وأن أقل نسبة من الماء تصل إلى ٢٢ أو ٣٤بالمائة 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 (اليخضور) وضوء الشمس فيحدث التفاعل الوارد أدناه :

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

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

(أ) ري المزروعات وإنتاج المحاصيل والأطعمة.

(ب) إنتاج وتوليد الطاقة مثل الطاقة الهايدروليكية.

(جـ) إنتاج وتصنيع المنتجات والبضائع الصناعية.
(د) للتبـــريد ونقل الحرارة وتحضيـــر الحمامات للإستخدامـــات المتعددة مثل الطلاء الكهربائى Electroplating والرحلان الكهربائى 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 والحمأة .
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 الحيد 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 فى العالم	النسبة المئوية الماء العذب	النسبة المئوية للماء السائل المتاح (عذب وغير متجمد)
المياه الكلية	١٠٠		
مالحة	٩٥		
عذبة	٥		
المياه العذبة			
متجمدة	٤	٨٠	
سائلة	١	٢٠	
المياه العذبة السائلة			
المياه الجوفية	٠,٩٩	٠,١٩	٩٨
البحيرات	٠,٠١	٠,٢	١
التربة	٠,٠٠٢	٠,٠٤	٠,٢
الأنهار	٠,٠٠١	٠,٠٢	٠,١
الغلاف الجوى	٠,٠٠١	٠,٠٢	٠,١
الحيوية (الغطاء النباتى)	٠,٠٠٠٥	٠,٠٠١	٠,٠٠٥

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 الجوى ، 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 اختلت 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 ٠,٦٢ بالمائة من هذه المياه متاح للإستخدام البشري .

شكل (١) يبين رسم مبسط لدورة المياه الطبيعية

١-٣ مصادر المياه

تنقسم أهم مصادر المياه إلى ما يلي:

(أ) المياه السطحية: وينطوي تحت لوائها مياه البحيرات والبرك والبحار والأنهار والجداول 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 .

(جـ) 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 وطبغرافية المنطقة والغلاف النباتي والمدى الزمني وكثافة الأمطار وعوامل المناخ من رياح ورطوبة وحرارة وتبخر ونفاذية الطبقات الأرضية والمنطقة الجابية لهذه الأمطار .

(د) المياه المعالجة: وهذه من المصادر الغير مباشرة وتأتي إما من تحلية المياه المالحة (سطحية كانت أو 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 والمستقبلة .

(ب) التحكم في الدفق والتخلص النهائي .

(جـ) سن المؤشرات والمعايير والتشريعات والقوانين .

(د) إنشاء وحدات التنقية والمعالجة .

(هـ) تقويم كفاءة وحدات التنقية والمعالجة .

(و) وضع أنماط 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 هى 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 الحمأة والفضلات الصناعية أو من المحطات الحرارية مما ينتج معه تلوث حراري . وأهم مؤثرات إزدياد درجة الحرارة فى المياه ما يلي :

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

(ب) نقصان درجة تركيز الأكسجين الذائب .

(جـ) نقصان درجة ذوبانية الغازات .

(د) زيادة حاجة الأكسجين الحيا-كيميائى .

(هـ) زيادة معدلات التآكل والتحات .

(و) زيادة حساسية الكائنات المائية للمواد السمية الذائبة في البيئة المائية. فمثلا الزيادة في درجة الحرارة ينجـــم عنها تغيرات في أنواع الأسماك التي تعيش في الأنهار التي تتلقى فضلات ساخنة، كما وأن درجة الحرارة العالية يمكن أن تساعـــد في نمو النباتـــات 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 .
* الإرتفاع عن سطح البحر حيث تقل درجة الحرارة مع الإرتفاع .
* تأثير المدن : إن كميـــة الحرارة السنوية الناتجة فى المـــدن الكبيرة تعادل بالتقريب ثلث الإشعاع اللشمسي الواصل إلى منطقة مماثلة .

مما ورد ذكـره يتضـح أهميـة قيـاس ومراقبـة درجـة الحـرارة لمصـادر الميـاه والميـاه الراجعـة . وتبيـن المعادلة (١) علاقة درجات الحرارة المقاسة بالتدرج المنوى والفهرنهايت.

$$^oF = [9/5*C] + 32 \qquad ^oC = [5/9]*(F - 32) \qquad (١)$$

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.

$$C = [5/9]*(F - 32) \qquad (١)$$

٢- أوجد درجة الحرارة المماثلة للدرجة ٤١°ف :

$C_{٤١}$ = ٥/٩*(٤١ - ٣٢) = ٥° منوية.

٣- أعد الخطوات ١ و٢ أعلاه لإيجاد درجات الحرارة المطلوبة :

$C_{١٥٨}$ = ٥/٩*(١٥٨ - ٣٢) = ٧٠° منوية .

$C_{-٤٩}$ = ٥/٩*(- ٤٩ - ٣٢) = - ٤٥° 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 والتنقية 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 الخشنة لا تنتج هذه الظاهرة. كما وأن ظاهرة تندال مستخدمة كأحد المعايير الأساسية لقياس درجات العكارة الصغيرة في المياه المرشحة، وتدعى بالطريقة النيفلومترية Nephelometric method .

إن العكارة في الماء تنجم 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 الموادالمكونة 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 قياسى. وفي مجال تنقية المياه تصمم أجهزة قياس العكارة بحيث أن الضوء يتشتت 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 ٠,١ ميكرومتر) لا تنشر 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 الذى ينتج منه درجات عكارة عالية .

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

١- العكارة الناتجة من ١ملجم/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 الهايدروجين، 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 الميكروبى 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 التى 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 .

(جـ) إنتاج مواد مثل الأمونيا والكبريتيات والكلور والسيانيد وكبريتيد الهايدروجين .

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 المجارير، حيث البيئة اللاهوائية مما يغير معه لون الحمأة إلى الأسود وإنبثاق غاز كبريتيد الهايدروجين .

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 والمواءمة. ويبين جدول (٢) أهم أنواع الروائح الكريهة .

جدول (٢)
أهم أنواع الروائح الكريهة {٤}

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

تتغير قيمة المشرف للرائحة Odour Threshold (حد الرائحة الأقل للمادة، والذي لا يمكن كشفه بأنف الإنسان) تغيرا كبيرا 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 .
- التخثر (الترويب) والترشيح .
- الأزونة أوالكلورة .
- الأكسدة بمركبات الكلور (مثل الكلورامين وأكاسيد الكلور) .

اللون

تتكون الألوان فى المياه من المصادر الآتية :

- مصادر طبيعية مثل مستخلصات حطام المواد العضوية مثل أوراق الأشجاروالخشب وفحم المستنقعات Peat.
- مصادر صناعية مثل فضلات المناجم وصناعة النسيج والورق والأصباغ.
- الحمأة 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 وفضلات النباتات والحيوانات ومن المواد المتفتتة. ومن أهم المواد الملونة أحماض الدبال. والأحماض الدبالية عبارة عن مواد ناتجة من النباتات وهي مركبات متبلمرة مع مجموعات كاربوكسيلية وفينولية وتوجد كجزيئات كبيرة أو كمواد غروية.

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

- طريقة المقارنة النظرية للعينة مع محاليل ذات درجات لون معروفة بواسطة أنابيب نيسلر Nesseler tubes أو بالمقارنة مع أقراص اللون الزجاجية المدرجة والمخصصة لقياس اللون .
- طريقة المطياف الضوئي Spectrophotometer .
- الجهاز الحقلي Field kit .

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

يذاب مقدار ٥٠٠ مليجرام من بلاتينات البوتاسيوم المكلورة مع ٢٥٠ مليجرام من كلوريد الكوبالت $CocL_2$ مذابة في ١٠٠ مللتر من حمض الهايدروكلور المركز ومخففة الى لتر. هذا المحلول يمثل ٥٠٠ وحدة لون حقيقي TCU ويسمى أحيانا وحدة الهيزن Hazen. وبالنسبة لمياه الشرب فإن أعلى قيمة للون لا تتجاوز ١٥ وحدة لون حقيقي ، غير أن الوحدة المفضلة لها هي ٥ وحدات لون حقيقي. والكثير من الفضلات الصناعية ذات لون عالي وبعضها يحتوى على مواد ملونة تقاوم التفتت الحيوي، ومثال لهذا النوع من الفضلات تلك الناتجة من لب الخشب والمحتوية على مشتقات اللجنين. ومن المعروف أن الفضلات السائلة الحديثة ذات لون رمادي، غير أنه في حالة تفسخ المواد العضوية بفعل الكائنات الحية الدقيقة وعند نقصان الأكسجين فإن اللون يتغير الى الأسود {٥} .

تدل البيانات المدونه أدناه على نسبة الإمتصاص المئوية لعينات أمونيا. أوجد درجة تركيز الأمونيا للعينة المجهولة .

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

الحل:

١ – بإفتراض أن شدة العينة ودرجة إمتصاص الضوء تتناسب طرديا مع درجة تركيز الأيونات فعليه يمكن عمل رسم بيانى لدرجة تركيز الأمونيا مع نسبة الإمتصاص المئوية .

٢ – أوجد من الرسم البيانى درجة تركيزالعينة المجهولة المرادفة لنسبة إمتصاص مئوية 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 ٠,٥ الى ٢ ميكروموهوس/السم ، ويزداد مقدار الموصلية الى ما بين ٢ الى ٤ ميكروموهوس/السم بعد بضع أسابيع من تخزينها . وتعزى هذه الزيادة لإمتصاص ثانى أوكسيد الكربون من الجو ولإمتصاص الأمونيا بنسبة أقل .

إن الماء النقى موصل ردئ 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 .

$$a*EC = TDS \quad (٢)$$

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 – إستخدم المعادلة رقم ٢ لإيجاد الحد الثابت :

$a = TDS/EC = ١٤٠٠/٢٠٠٠ = ٠,٧$

٢ – أوجد الموصلية الكهربائية للعينة الأخرى بإستخدام القانون المدرج فى الخطوة ١ أعلاه :

$EC_2 = TDS_2/a = ٥٩٥٠/٠,٧ = ٨٥٠٠$ ميكروموهوس/سم .

الملوحة : Salinity

الملوحة عبارة عن المواد الصلبة الذائبة فى الماء بعد أن يتم تحويل كل الكربونات الى أكاسيد وتغييركل {٦} البروميد واليوديد الى كلوريد وبعد أكسدة كل المواد العضوية. ويمكن إيجاد الملوحة من المعادلة ٣.

$$\text{ملو} = ٠,٠٣ + ١,٨٠٥ * \text{كلو} \quad (Salinity = 0.03 + 1.805*Chlorinity) \quad (٣)$$

حيث:

ملو = درجة الملوحة للعينة (جم/كلجم) .

كلو = الكلورة (جم/كلجم) .

إن مصادر الكلوريد فى المياه الطبيعية تنجم من :

- نضح 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 منوية {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 كالطحالب 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 منوية، 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 المبينة فى جدول ٣.

جدول (٣)
تقسيم المواد الصلبة {٧، ٨}

المواد الصلبة	مقاس الحبيبة = ( )*١٠^-٦ متر
المترسبة	أكبر من ١٠٠
المفرطة الغروية	١ - ١٠٠
الغروية الحقيقية	٠,٠٠١ - ١
الذائبة	أقل من ٠,٠٠١

وأستخدم أقل مقاس (١*١٠^-٦ 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 والتى 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 والتى تم تبخيرها = ١٠٠ مللتر

وزن البوتقة الثابت مع وزن الموادالصلبة المجففة فى درجة حرارة ١٠٤ درجة منوية = ٤٤ ,٩٦٤٢ جم

وزن البوتقة والمواد المجففة لدرجة حرارة ٥٥٠ درجة منوية = 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 = ٠,٠٣٠٠ جرام = ٣٠ ملجم

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

= ٣٠*١٠٠٠/١٠٠ = ٣٠٠ 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 = ٠,٠١٠٠ جم = ١٠ ملجم/لتر

٤ – أوجد درجة تركيز المواد الصلبة الثابتة = ١٠*١٠٠٠/١٠٠ = ١٠٠ ملجم/لتر

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

= ٣٠٠ – ١٠٠ = ٢٠٠ 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^3. 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 الثقل النوعى .

الثقل النوعى = كثافة السائل/كثافة الماء (٤)

بما أن النشاط الجزيئى والمسافة بين الجزيئات تزداد بازدياد درجة الحرارة فيوجد (فى حجم من المائع) القليل من الجزيئات عند زيادة الحرارة. وبناءا على هذا فإن الكثافة تقل بازدياد درجة الحرارة. كما وأن زيادة الضغط تؤدى الى تداخل عدد كبير من الجزيئات الى داخل الحجم المعين مما يؤدى 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 للإنشطار اللحظى. تقسم الإشعاعية الى :

(أ) **إشعاعية مصنعة** : وهذه من صنع الإنسان وتنتج بواسطة قصف ذرة بجسيم أو عند التشعيع الكهرومغنطيسى.

(ب) **إشعاعية مستحثة** : وهذه الإشعاعية تتولد فى مادة ما بعد قصفها بنيترون 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 والنيترونات فى النواة مختلفة من النسب المعرفة للنوى المستقرة . وهذه النوى الغير مستقرة تنتهج إعادة تنظيم ذرى لحظى منتجة ومحررة لطاقة على شكل جسيمات أو إشعاع كهرومغناطيسى .

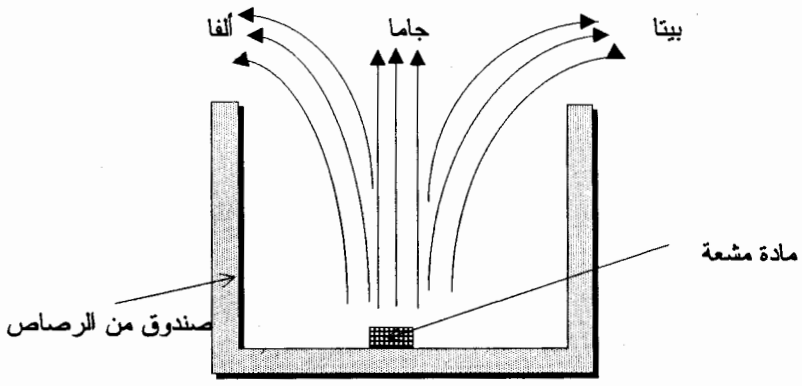
يحتوى الإشعاع الجسيمى على جسيمات ألفا وبيتا. أما الإشعاع الكهرومغناطيسى فيضم إنبعاث طاقة تسمى إنبعاثات جاما (أنظر شكل رقم ٢) .

وإنبعاثات ألفا عبارة عن جسيمات تتحرك ببطء وقليلة نسبة الشحنة الكهربائية الى الكتلة. وإنبعاثات ألفا عبارة عن ذرات هليوم فقدت إثنين من إلكتروناتها المدارية ، وبذا فإنها تحمل شحنة كهربائية موجبة. وتقذف هذه الجسيمات من المادة المشعة بنفس السرعة تقريبا (تعادل ١٠ بالمائة من سرعة الضوء). إنبعاثات ألفا يبلغ مداها بضع سنتميترات فى الهواء، وبمكن إيقاف معظمها فى الهواء أو بإستخدام صفيحة رقيقة من رقائق الألمونيوم أو بواسطة ورقة عادية. ولهذه الإنبعاثات 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 ($١٠^{٨} \times ٣$ م/ث). وتلك الجسيمات الأكثر طاقة قادرة على اختراق طبقة من الألمونيوم 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 في المعادلة ٥ .

$$X^{z}_{A} \longrightarrow Y^{z-4}_{A-2} + He^{4}_{2} \qquad (٥)$$

حيث:
X = الذرة الأم
Y = الذرة الوليد



يوجد مجال مغنطيسى عمودى على سطح الورقة

شكل (٢)
إنبعاثات 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 الى رادون .
أما فقدان جسيم بيتا فلا يتبعه تغير في رقم الكتلة للذرة المشعة، غير أن الرقم الذري يزيد بواحد كما هو موضح في المعادلة ٦ .

$$X^{z}_{A} \longrightarrow Y^{z}_{A+2} + e^{o}_{-1} \qquad (٦)$$

حيث:
e = جسيم بيتا (إلكترون).

ومثال لإشعاع بيتا تحول نظير اليورانيوم إلى نبتونيوم عندما تقصف نواة ذرة بجسيم مثل ألفا (He^{4}_{2}) أو بيتا (e^{o}_{-1}) أو نيترون (n^{1}) أو بروتون (H^{1}_{1}) أو ديوتيروم (D^{2}_{1})، 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 .
أما جسيمات جاما فإنها إشعاعات كهرومغنطيسية حقيقة تتحرك بسرعة الضوء . وهذه الأشعة تحتل حزمة بين الأشعة السينية بموجة قصيرة الطول، وعليه فإن لها قدرة كبيرة للإختراق. وأشعة جاما الحاوية على أكبر قدر من الطاقة، لها قدرة فائقة للتغلغل والإختراق مما يحتاج معه إلى عدة سنتمترات

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

$$E = mv^2 \qquad (٧)$$

حيث:

E = طاقة الإشعاعية المنبعثة (جم*سم/ ثانية/ ايرغ) .

m = كتلة الجسيم (جم) .

v = سرعة الضوء = ٣×١٠ ^ ٨ (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^{14}	٥٧٣٠ سنة	بيتا
كوبالت	Co^{60}	٥،٣ سنة	بيتا وجاما
سيزيوم	Cs^{137}	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 ×١٠^٥سنة	ألفا
يورانيوم	U^{238}	٤،٥١ ×١٠ ^ ٩سنة	ألفا

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 .

$$\text{Log } n_t/n_o = -k_t/2.303 \qquad (٨)$$

حيث:

n_o = عدد النوى الموجودة في الزمن صفر

n_t = عدد النوى الموجودة في الزمن ن

k_t = ثابت التلاشي لتفاعل محدد

$$k_t = 0.693/t_{0.5} \qquad (٩)$$

$t_{0.5}$ = عمر النصف للعنصر المعين.

الخصائص الإنسيابية للموائع (اللزوجة) Rheological Properties

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

$$\iota = F = -\mu * A * du \qquad (١٠)$$

حيث:

ق = قوة القص (نيوتن) .

ق = القص المقاوم (نيوتن / م٢) .

المساحة المعرضة لقوى القص (م٢) .

du = معدل القص = ممال السرعة (/ ث) .

ث = ثابت التناسب = معامل لزوجة المائع (نيوتن . ث/م٢) .

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

عرف معامل اللزوجة الكينماتية بأنه نسبة اللزوجة الديناميكية للكثافة، وتميز بالمترالمربع على الثانية (م٢/ث) طبقا للمعادلة ١١.

$$\mu = \mu / \qquad (١١)$$

حيث:

μ = درجة اللزوجة الكينماتية (م٢ / ث) .

μ = درجة اللزوجة الديناميكية (نيوتن . ث / م٢) .

ρ = كثافة المائع (كلجم / م٣) .

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 .

$$\text{Log } n_t/n_o = -k_t/2.303 \qquad (٨)$$

حيث:

n_o = عدد النوى الموجودة في الزمن صفر

n_t = عدد النوى الموجودة في الزمن ن

k_t = ثابت التلاشي لتفاعل محدد

$$k_t = 0.693/t_{0.5} \qquad (٩)$$

$t_{0.5}$ = عمر النصف للعنصر المعين.

الخصائص الإنسيابية للموائع (اللزوجة) Rheological Properties

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

$$\iota = F = -\mu * A * dv/dy \qquad (١٠)$$

حيث :

F = قوة القص (نيوتن) .

ι = القص المقاوم (نيوتن / م^2) .

A = المساحة المعرضة لقوى القص (م^2) .

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

μ = ثابت التناسب = معامل لزوجة المائع (نيوتن . ث/م^2) .

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 بالمترالمربع على الثانية (م^2 /ث) طبقا للمعادلة ١١.

$$\mu = \mu / \rho \qquad (١١)$$

حيث:

μ = درجة اللزوجة الكينماتية (م^2 / ث) .

μ = درجة اللزوجة الديناميكية (نيوتن . ث / م^2) .

ρ = كثافة المائع (كلجم / م^3) .

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 الحمأة المنبثقة بعد معالجة مياه المجارى.

والعوامل المؤثرة على درجة اللزوجة هى:

- التغيـــر فى درجـــة الحرارة: تقل لزوجة السوائل بإزدياد درجة الحرارة، غير أن لزوجة الغازات تزداد بإزدياد الحرارة .
- معدل تغير إجهاد القص .
- حالة الإنسياب والدفق للمائع .
- خواص المائع .

وتقسم الموائع بناءا على إنسيابها ودرجة لزوجتها الى (أنظر شكل ٣) :

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

(ب) موائع لا تعتمد على الزمن: وهذه الموائع يمكن تقسيمها الى عدة أقسام تحوى :

- اللدائن الكاذبة Pseudoplastic أو ترقيق القص: وهذه الموائع تصير أقل لزوجة بإزدياد معدل القص .
- المـوائع المتمددة Dilatant أو تغليظ القص : وهذه الموائع معاكسة للدائن الكاذبة. وهذه الظاهرة غير شائعة كما ولها علاقة بالعوالق التى بها جسيمات متنافرة .
- اللدائن اللزجة Viscoplastic أو لدائن بنجهام Bingham : وفى هـــذه الموائـــع فإن الإجهاد مطلـــوب ليبدأ المائع فى الإنسياب عند وجود طور صلب للعوالق بدرجة تركيز مناسبة لتكوين بنية مستمرة وغير موجهة .

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

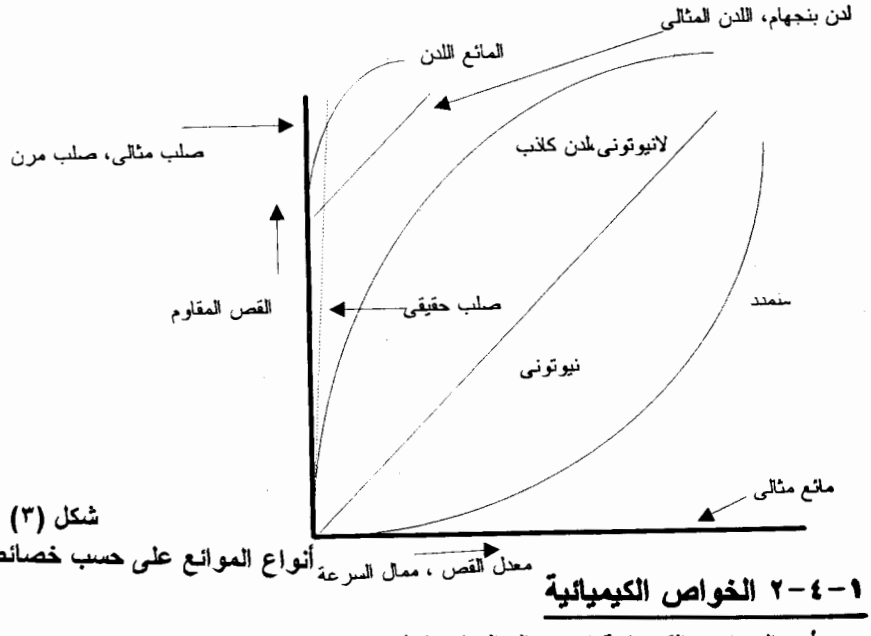
- موائع تكسوتروبية Thixotropic fluids: وهذه الموائع تحتوى على بنية يسهل كسرها مع الزمن وذلك عند قصها بمعدل معين حتى بلوغ الإتزان. إن القوى الداخلية التى تعمل على إعادة بناء البنية تساوى القوى العاملة عند حدوث الإتزان. تظهر فى هذا النوع من الموائع تخلف أنشوطى hysterisis عند زيادة معدل القص الى أن يصل أقصاه عندها يبدأ فى التناقص مع الزمن الى أن يصل الى أقل قيمة .
- الموائع الغير تكسوتروبية Anti-thixotropy أو الموائع المتلبنة Rheopexy : وهذه الموائع تعمل فى إتجاه معاكس للموائع التكسوتروبية .

بالنسبة للحمأة 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 تكستوتروبى بسيط {١٠،١١،١٢} .

محتوى النداوة للحمأة : Moisture content

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

محتوى النداوة = وزن الماء*١٠٠/ وزن الحمأة الرطبة (١٢)



شكل (٣)
أنواع الموائع على حسب خصائصها الإنسيابية {٥}

١-٤-٢ الخواص الكيميائية

ومن أهم الخواص الكيميائية فى مجال المياه ما يلي :

الرقم الهايدروجيني (pH)

الرقم الهايدروجيني عبارة عن مقياس طبيعة حمضية أو قلوية المحلول، ويؤثر على مياه الشرب ومياه المجاري. ويمكن إيجاد الرقم الهايدروجيني بإستخدام المعادلة ١٣.

$$pH = - \text{Log } [H^+] = \text{Log } (1/[H^+]) \quad (١٣)$$

حيث:

pH - الرقم الهايدروجيني

$[H^+]$ - درجة تركيز أيون الهايدروجين.

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

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

مثال (٥)

أي من هذه المحاليل أكثر حامضية: محلول رقمه الهايدروجيني ٥, ٣ أم محلول يحتوي على ٠,٠٠٥ منجم أيون هايدروجين في اللتر ؟

الحل:

١- الرقم الهايدروجيني للمحلول الأول: ٥, ٣ .

٢- أوجد الرقم الهايدروجيني للرقم الثاني :

$pH = -\log [H^+]$ = - لو ٠,٠٠٥/١٠٠٠ = ٤, ٣

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

القلوية

القلوية هي مقياس سعة المحلول المنظم Buffering capacity. وتنتج القلوية بسبب مركبات المواد الكيميائية الذائبة من الصخور والتربة، وأهم الأيونات المسببة للقلوية أيونات الهايدروكسيل 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^-, HPO_4^{--}, 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 الهايدروجينى الى أقل من ٦,٢ وذلك لأن بكتريا الميثان لا تعمل فى درجة أقل 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 أقل من ٧ . وتأتى الحامضية فى حالة المياه الملوثة من ثانى أوكسيد الكربون الذائب أو من الأحماض العضوية المنبثقة من التربة . كما وتتكون المياه الحامضية من جراء تلوث الهواء. وتسبب المياه الحمضية تفتيت 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 والإسترونسيوم والحديد والمنجنيز (أنظر جدول ٥) .

جدول (٥)

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

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

ويمكن تقسيم عسر الماء الى :

* عسر كربونى أو عسر مؤقت: ويحتوى على بيكربونات الكالسيوم وكربونات وبيكربونات المغنيسيوم.
* عسر غير كربونى أو عسر دائم: ويحتوى على كبريتات وكلوريد كل من الكالسيوم والمغنيسيوم .

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 أقل من القلوية الكلية، فإن كل العسر هو عسر كربونات، وينعدم حينها العسر الغير كربونى .

يمكن إيجاد عسر الماء {٦} من المعادلة ١٤.

عسر = ٤٩٧, ٢*Ca^{++} + ١١٨, ٤*Mg^{++} (١٤)

حيث:

عسر = عسر الماء مقاس بالملليمكافئ من كربونات الكالسيوم/لتر

Ca^{++} = درجة تركيز أيون الكالسيوم مقاس بالملليجرام/لتر .

Mg^{++} = درجة تركيز أيون المغنسيوم مقاس بالملليجرام/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 الملمس الخشن غير المرغوب فيه .
- تعمل كمانع 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 والشرايين .
- قتل الجراثيم نسبة لعلو الرقم الهايدروجينى الناتج من عملية إزالة عسر الماء .
- إزالة الحديد .
- شبه الإزالة للمركبات العضوية .
- إنخفاض درجة تركيز العناصر السامة مثل الزئبق والرصاص والخارصين .

يبين جـــدول (٦) أدنـــاه درجات عسر المـــاء طبقا لمعايير قياسه ، مقـــدرة بالمليجرام كربونـــات 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

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

مثال (٦)
عند 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 =

أ) حول درجات التركيز المعطاءة الى مللمكافئ/لتر .
ب) إذا قبل خطأ تجربة فى حدود ١٠ بالمائة هل يمكن معه إعتماد النتائج أعلاه ؟
ج) ارسم مخطط خطى Bar diagram لهذه العينة من الماء .
د) أوجد قيمة العسر الكلى والكربونى والغير كربونى للعينة .
هـ) بين الإتحادات الكيميائية المحتملة للأيونات الموجبة والسالبة لهذه العينة .

الحل
– أوجد درجات تركيز العناصر مقدرة بالمللمكافئ على اللتر وذلك بقسمة درجات التركيز المعطاة بالجرام/لتر على الوزن المكافئ لكل عنصر كما موضح فى الجدول أدناه .

٢ – حول درجات التركيز المقدرة باللمكافئ/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 = (٤٠+١٢+٣*١٦)/٢ = ٥٠

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

٣ – أوجد قيمة عسر الماء :

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

= ١ + ٠,٩ + ٠,٥ = ٢,٤ مللمكافئ/لتر = ٢,٤*٥٠ = ١٢٠ ملجم/لتر $CaCO_3$

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 = ١٢٠ – ٧٥ = ٤٥ ملجم/لتر $CaCO_3$.

٤ – أوجد الخطأ فى التجربة:

خطأ التجربة = (الكاتيونات – الأنيونات)/الكاتيونات = (٣,٤ – ٣,٦)*١٠٠/٣,٤ = – ٦ ٪

= (الأنيونات – الكاتيونات)/الأنيونات = (٣,٦ – ٣,٤)*١٠٠/٣,٦ = ٦ ٪

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

٥ – أرسم المخطط الخطى للماء كما هو مبين أدناه :

٣,٤ ٢,٤ ١,٩ ١

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

١,٥ ٢,٥ ٣,٦

٦ – أوجد الإتحادات الكيميائية المحتملة للعينة كما موضح فى الشكل أدناه :

	NaCl	$SrCl_2$	$SrSO_4$	$MgSO_4$	$Mg(HCO_3)_2$	$CaCO_3$
٠,٢	٠,٩	٠,١	٠,٥	٠,٤	٠,٥	١

تحتوى عينة الماء على:

كربونات الكالسيوم	= ١ ملليمكافئ/لتر	= ٥٠ ملجم/لتر $CaCO_3$
كربونات المغنسيوم	= ٠,٥ ملليمكافئ/لتر	= ٢٥ ملجم/لتر $CaCO_3$
كبريتات المغنسيوم	= ٠,٤ ملليمكافئ/لتر	= ٢٠ ملجم/لتر $CaCO_3$
كبريتات الإسترونسيوم	= ٠,٥ ملليمكافئ/لتر	= ٢٥ ملجم/لتر $CaCO_3$
كلوريد الإسترونسيوم	= ٠,١ ملليمكافئ/لتر	= ٥ ملجم/لتر $CaCO_3$
كلوريد الصوديوم	= ٠,٩ ملليمكافئ/لتر	= ٤٥ ملجم/لتر $CaCO_3$

الأكسجين الذائب

الأكسجين الذائب فى مياه المجارى أو فى المياه بصورة عامة مهم للحياة المائية، غير أن درجة ذوبانية الأكسجين فى الماء قليلة. وكمية الأكسجين التى يمكن أن توجد فى الماء تعتمد على ذوبانية الغاز والضغط الجزيئى للغاز فى الهواء ودرجة الحرارة ونقاء الماء وكمية ما به من شوائب .

الماء المشبع بالأكسجين طعم طيب ومذاق جيد ، غير أن الماء الخالى من الأكسجين له طعم ممل مستحب .

ويمكن إيجاد درجة تركيز الغاز من المعادلة رقم ١٥ .

$$C_g = P_g * MW/R \quad (١٥)$$

حيث :

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

P_g = الضغط الجزيئى للغاز فى حيز الغاز (باسكال =نيوتن/م^2).

$x_g * k_H$ = (١٦)

x_g = جزء مول الغاز

$x_g = n_g/(n_g +$ (١٧)

k_H = ثابت هنرى

n_g = مولات الغاز

n_w = مولات الماء

R_u = الثابت العالمى للغاز = ٨ ,٣١٤٣ جول/كيلفن*مول

T = درجة الحرارة المطلقة (كيلفن)

ودرجة تركيز الغاز عند التشبع توجد من المعادلة ١٨.

$$C_s = k_D * C_g \quad (١٨)$$

حيث:

C_s = درجة تركيز التشبع للغاز (جم/م^٣)

k_D = معامل التوزيع .

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

$$C' = C_s * (P - p_w)/(760 - p_w) \quad (١٩)$$

حيث:

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

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

P = الضغط القياسى (البارومترى) (ملم)

p_w = ضغط بخار الماء المتشبع عند درجة حرارة الماء (ملم)، أنظر الجدول أدناه :

جدول (٧)
ضغط بخار الماء {١٤، ١٥}

درجة الحرارة (° م)	ضغط البخار كيلو باسكال	ضغط البخار ملم 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 ٦, ٨ ملجم/لتر.

الحل:

١ – المعطيات: T = ٢٠° م، P = ٧١٠ ملم، C' = ٦, ٨ ملجم/لتر .

٢ – من جدول (٧) ولدرجة حرارة = ٢٠° م أوجد ضغط بخار الماء المتشبع = ٥, ١٧ ملم زئبق .

٣ – إستخدم المعادلة ١٩ لإيجاد درجة تركيز الغاز عند التشبع :

$٦, ٨ = C_S$ *(٧١٠ – ٥, ١٧)/(٧٦٠ – ٥, ١٧)

وعليه : C_S = ٢, ٩ ملجم/لتر

الحاجة للأكسجين : Oxygen Demand

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

أ) الحاجة الحيا–كيمائية للأكسجين : Biological Oxygen Demand

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

ب) قيمة البيرمنجنات :

وهى عبارة عن الأكسدة الكيمائية لعينة ما بإستخدام محلول بيرمنجنات البوتاسيوم .

ج) الحاجة الكيمائية للأكسجين :

وهى تعنى الأكسدة الكيمائية لعينة من الماء بإستخدام حمض الكبريت (VI) H_2SO_4 وثنائى كرومات البوتاسيوم .

الغازات الذائبة :

تحتوى المياه الطبيعية على غازات ذائبة بدرجات تركيز مختلفة إعتمادا على ذوبانية كل غاز فى الماء . وعندما تكون بيئة الماء لاهوائية عند وجود نشاط ميكروبى فيتواجد غاز الأمونيا وكبريتيد الهايدروجين وغاز الميثان .

الكلوريد :

تتنوع مصادر الكلوريد فى المياه الطبيعية ما يلى :

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

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

الكيماتية للماء. فمثلا بعض المياه التى 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 هى الكالسيوم أو الماغنسيوم {٦} .

ودرجة 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 ثانى 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 في الماء ومياه المجارى في أربع مصادر رئيسية وهي :

(أ) النتروجين العضوي : وهذا متحد عضويا في 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 المجاري غير أنه يوجد بدرجات قليلة في المياه الجوفية، لأنه يمتز لحبيبات التربة والطين ولا ينض بسهولة من التربة. وينتج الأمونيا بصورة كبيرة من عملية أكسدة المركبات العضوية النتروجينية وتميؤ اليوريا .

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

(د) النترات (٧): وتنتج النترات من أكسدة الأمونيا. ومن المعروف أن كميات النترات العالية في 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 في المياه السطحية، غير أنها قد توجد بكميات كبيرة في 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 والفضة والكروم والزرنيخ والبورون. ولابد من معرفة كمية هذه المعادن خاصة عند استخدام طرق المعالجة الحيوية في محطات المعالجة. وهنالك معادن أخرى تؤثر بسميتها مثل: النيكل والمنجنيز والزئبق .

مواد التغذية أو المواد الحيوية المنبهة : Biostrmulants

من أهم المواد الغذائية فى النشاط الحيـــوى النتروجين والفسفور إضافة الى بعض العناصر التي يحتاج إليها بكميات قليلة جدا مثل: الحديد والبوتاسيوم والمغنيسيوم والكـــالسيوم والكوبالت والنحاس والكبريت والخارصين. ولمعالجة ماء المجاري لا بد من إيجاد التوازن الغذائي المنـــــاسب للكائنات الحية لتقوم بمهامها في تفتيت المواد العضوية .

البروتينات :

البروتينات عبارة عن عناصر عضوية أزوتية (نتروجينية)، لها أوزان جزيئية عالية، وتوجد في المملكة الحيوانيـــة وبدرجة أقل في المملكة النباتية. يتغير تركيز البروتينات الموجودة من نسب منوية بسيطة فى الخضروات الحـــاوية للمـــاء مثل الطماطم، والخلايا الدهنية فى اللحوم، إلى نسب عالية جدا فى الفول واللحوم الهزيلة. يتكون البروتين من مجموعات ضخمة من الأحماض الأمينية، متحدة مع روابط ببتيد. ويضم الكربون والهايدروجين والأكسجين والنتروجين والكبريت وأحيانا الفسفور. والبروتينات معقدة فى تركيبها الكيمياتى، وغير ثابتة، وبعضها قابل للذوبان فى الماء، وبعضها غير قابل للذوبان فيه. ويتراوح الوزن الجزيئ منها ما بين ٢٠ ألف إلى ٢٠ مليون. ويتم تحلل البروتينات بفضل البكتريا، مما ينتج عنه روائح كريهة {٥، ١٦، ١٧، ١٨}. فمثلا عند معالجة الحمأة فإن البروتينات يمكن حلمأتها Hydrolysis إلى ببتون ببتيد، ومن ثم إلى أحماض أمينيـــة ، والتى تتفتت إلى أمونيا وكبريتيد الهايدروجين ومركبات عضوية بسيطة {٥}. وقد وجد أن المواد المحتوية على البروتين تمثـــل جزء كبير من الحمأة والمخلفات السائلة. كما وأن حبيبات الحمأة (إذا لم تكن مكونة من بروتين) تكون مغطـــاة بطبقة من البروتين تحكم تركيبها الطبيعى والكيمياتى. ويتراوح تركيز البروتين ما بين ١٥ - ٣٠ بالمائـــة من المواد العضوية الموجودة فى الحمأة المهضومة Digested Sludge ، و ٢٨ - ٥٠ بالمـــائة فى حالة الحمأة النشطة Activated Sludge {١١، ١٩، ٢٠} .

الشحوم والزيوت :

الزيـــوت والشحوم مركبـــات لا تذوب فى الماء ، لكنهـــا تـــذوب فى مذيبات عضوية مثل البترول والكلوروفورم والإيثر Ether، وهى مركبات استر الكحول أو الجليسرول والأحماض الدهنية، وتتكون من الكربون والهايدروجين والأكسجين بنسب مختلفة. والشحوم والزيوت أكثر ثباتا ضد التحلل البكتيرى من بقية المركبات العضوية، غير أنه يسهل تحطيمها بالأحماض المعدنيـــــة ، الشئ الذى يتكون معه الجليسرين والأحماض الدهنية .

وتطفو الزيوت والشحوم المعالجة الحيوية، كما وأنها تكون مناظر غير مستحبة عندما يتم التخلص منها على ضفاف الأنهار والسواحل . وعند تواجـــد الشحوم بكميات كبيرة - عند تنقية المياه - فإنها تسد المرشحات والفتحات ومسام المادة المرشحة، كما وأنهـــا تغطى حوائط أحواض الترسيب، وتتفكك لتزيد من قوة الزبد والغثاء. وتتأثر سلبا مرشحات النضيض وأحـــواض 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 والسيليولوزية والسكر. وتتركب من الكربون والهايدروجين والأكسجين. وتوجد بكثرة فى الطبيعة فى ممالك الحيوان والنبات . بعض الكربوهيدرات يذوب فى الماء مثل السكر والآخر غير قابل للذوبان فيه كالنشا مثلا. ويمكن تصنيف الكربوهيدرات لسكر بسيط (أحادى السكر) وسكر معقد (ثنائى السكر أومتعدد 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 بحلمأة 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 الهايدروجين . والجدير بالذكر أن تكوين الأحماض العضوية بنسب كبيرة يؤثر سلبا على النشاط والنمو الحيوى فى مياه المجارى وذلك بسبب إنخفاض الرقم الهايدروجينى .

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 . ووجود 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 لانهائى 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 السـرعة البطيئـة فى المناخ المعتدل ، كما ويمكن مماثلتها فى المختبر فى جهاز الحضانة. وتصل الأكسدة غالبا إلى ٩٥-٩٩ بالمائة فى مدة ٢٠ يوما . وتتراوح الأكسدة ما بين ٦٠-٧٠ بالمائة فى مدة الخمسة أيام المعمول بها فى الإختبار. عند إجراء الإختبـار فإن النتائـج تكون مختلفة بإختلاف درجة الحرارة نسبة لأن معدلات التفاعلات الحيوية تعتمد على درجة الحرارة. يحتـاج الإختبار إلى عزل الضوء فى مدة الحضانة لمنع الطحالب الموجودة فى العينة من إنتاج الأكسجين .

أفترض (لأغراض عملية) أن حاجة الأكسجين الحيا-كيميائى تتبع تفاعل من الـدرجة الأولى . وفى مثل هذه التفاعلات فإن معدل الأكسدة يتناسب طرديا مع درجة تركيز المواد العضويـة 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 فى المعادلة ٢٠ .

$$dL/dt = - k'L \qquad (٢٠)$$

حيث :

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

t - الزمن (يوم) .

k' - ثابت التفاعل (/ يوم) .

وبتكامل المعادلة ٢٠ ينتج :

$$L_t/L_o = e^{-k't} \quad L_t = 10^{-k_1 t} \qquad (٢١)$$

حيث :

L_t - حاجة الأكسجين الحيا-كيميائى المتبقية فى العينة عند الزمن ن .

L_o - حاجة الأكسجين الحيا-كيميائى المتبقية عند الزمن صفر .

- الكمية النهائية أو الكلية لحاجة الأكسجين الحيا-كيميائى .

k_1 - ثابت تفاعل الدرجة الأولى = ثابت معدل التفاعل .

$$k_1 = 0.4343 \qquad (٢٢)$$

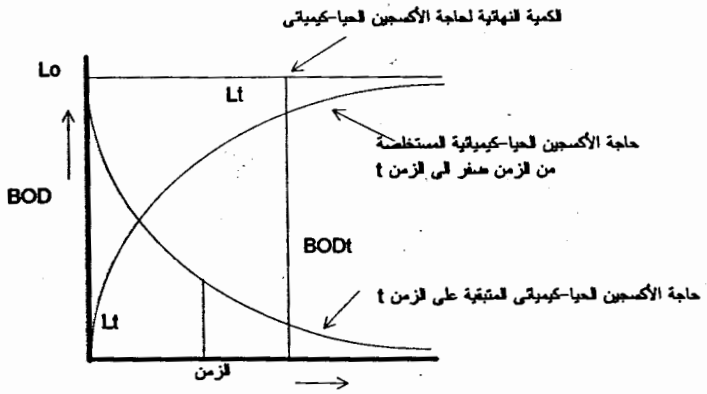
عـادة فمن الأهمية معرفة كمية الأكسجين المأخوذة والتى تعادل القيمة الموضحة فى المعادلة رقم ٢٣ .

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

ية الأكسجين الحيا-كيميائى فى مدة خمسة أيام يمكن إيجادها كما مبين فى المعادلة ٢٤ .

$$BOD_5^{20} = L_o(1 - 10^{-5k_1}) = L_o(1 - 10^{-5} \qquad (٢٤)$$

ل الشكل (٤) إستخدام هذه المعادلات.



شكل (٤)
تكوين منحنى حاجة الأكسجين الحيا-كيميائى للمرحلة الأولى

مثال (٨) :

أحسب حاجـــة الأكسجين الحيا-كيميائى القصوى لعينة وجد أن حاجة الأكسجين الحيا-كيميائى لها بعد مضى ٥ أيام بلغت ٣٠٠ ملجم/لتر عند درجة حرارة ٢٠° م ، علمـــا بأن ثابت معدل التفاعل ١٥,. على اليوم (للأساس ١٠) .

الحل :

١ - المعطيات: t = ٥ يوم ، k_1 = ١٥,. /يوم ، BOD_5^{20} = ٣٠٠ ملجم/لتر .

٢ - إستخدم معادلة الدرجة الأولى لمعدل التفاعل :

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

$$(^{-٥*١٥,.}-١٠ - ١)*L_o = ٣٠٠$$

وعليه : L_o = ٣٦٥ ملجم/لتر .

يمكن إيجاد قيمة كل من (L_o) و (k') بعمل سلسلة من الإختبارات لحاجة الأكسجين الحيا-كيميائى، مثل طريقة توماس . وطريقـــة توماس هذه تعتمد على توافق دالتين ، إذ يتـــم تحليل دالة ($1 - e^{-k't}$) ودالة ($k't(1 + k't/6)^{-3}$) وقد أتى توماس بالطريقة التقريبية المبينة فى معادلة ٢٥ .

$$BOD = L_o k't(1 + k't/6)^{-3} \qquad (٢٥)$$

والمعادلة ٢٥ يمكن تقريبها خطيا كما موضح فى المعادلة ٢٦ .

$$(t/BOD)^{1/3} = (k'L_o)^{-1/3} + ([k'^{2/3}]t/[6L_o^{1/3}]) \qquad (٢٦)$$

حيث :

BOD = حاجة الأكسجين الحيا-كيميائى التى بذلت فى الزمن t .

t = الزمن .

k' = ثابت معدل التفاعل (للأساس e) .

L_o = حاجة الأكسجين الحيا-كيميائى النهائية .

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

$$y = a + bx \quad (٢٧)$$

بحيث أن :

$$y = (t/BOD)^{1/3} \quad (٢٨)$$

$$a = (k'L_o)^{-1/3} \quad (٢٩)$$

$$b = k'^{2/3}/6L_o^{1/3} \quad (٣٠)$$

وعليـــه 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_o كما موضح فى المعادلات ٣١ و ٣٢ .

$$k' = 6b/a \quad (٣١)$$

$$L_o = 1/k'a^3 \quad (٣٢)$$

أو :

$$(t/BOD)^{1/3} = (2.3k_1L_o)^{-1/3} + [k_1^{2/3}]*t/[3.43L_o^{1/3}] \quad (٣٣)$$

حيث :

$$k_1 = 2.61b/a \quad (٣٤)$$

k_1 = ثابت معدل التفاعل (للأساس ١٠)

$$L_o = 1/(2.3k_1a^3) \quad (٣٥)$$

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

جدول (٨)

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

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 ٧٥٠	أكبر من ١٠٠٠

من المحددات لإختيار حاجة الأكسجين الحيا-كيميائى ما يلى :

- الحاجة الى أعداد كبيرة من البكتريا المتعددة والنشطة .
- الحاجـــة الى معالجـــة أولية خاصـــة عند التعامل مع فضلات سامة، كما وأنه لا بد من تقليل أثر بكتريـا النترتة .
- يقيس الإختبار فقط المواد العضوية القابلة للتفسخ .
- لا يحتوى الإختبار على دقة متكافئة بعد إستخدام المواد العضوية المذابة فى المحلول .
- يحتاج الى زمن أطول لعمل الإختبارات والحصول على النتائج .
- فتـــرة الخمسة أيـــام قد تطابق وقد لا تطابق النقطة التى تقل فيها المواد العضوية الذائبة والموجودة فى المحلول .

حاجة الأكسجين الكيميائى :

إختبـــار حاجة الأكسجين الكيميائى يعتمد على الأكسدة بالحمض مع ثنائى كرومات البوتاسيوم. ويضاف فى الإختبـــار مقدار محسوب من ثنائى كرومات البوتاسيوم ويتم غلى العينة المحمضة لمدة ساعتين ثم تبرد ومن ثم يتـــم تقدير كمية ثنائى الكرومات المتبقية بالمعايرة مع ٠,٢٥ محلول عيارى من كبريتات حديد (III) الأمونيوم بإستخدام دليـــل الفيروين لتحديـد نقطة النهائية للمعايرة. وبصورة عامة فإن نتائج حاجة الأكسجين الكيميائى أكبر من حاجة الأكسجين الحيـا-كيميائى، لاسيما ويقوم الإختبار بأكسدة المواد بطيئة التحلل الحيوى كالشحوم واللجنين مثلا {٢٤} .

١ - ٤ - ٣ الخواص الحيوية والبكتيريولوجية

Biological & Bacteriological Characteristics

تنقســـم الكائنـــات الحية الى ثلاثة ممالك تضم مملكة النبات Plantae ومملكة الحيوان Animalia ومملكة الكائنات الحيـــة 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:

* صناعـــة الطعـــام مثل تخميـــر العجيـــن لعمل الخبـــز بواسطـــة الفطرية السكرية الجعوية Saccharomyces cerevisiae وتحضير الخل بمساعدة بكتريا الحمـــض الخلى، وصناعة الجبن والزبد بمساعدة باكتريا الحمض اللبني والعصيات الملبنة (عصيات اللاكتوز) Lactobacilli.
* الصناعـــات الكيميائية كما فى صناعـــة الأسيتـــون والبيتانول بواسطـــة المطثيـــة اسيتوبوتيليكم Colstridium aceto-butylicum وصناعة بعض الأحماض العضوية كحمض الليمـــون Citric acid والحمـــض 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 والذى تنتجـــه الفطريـــات مثـــل الفطرية السكرية الجعوية Saccharomyces cervisiae.

- معالجة الأمراض المعدية وغيرها من تلك التى تصيب الإنسان والحيوان والنبات، مثل المعالجة بالمواد الكيميائية كالهرمونات والمضادات الحيوية. وأيضا إنتاج البنسلين بواسطة مصنفات المكنسية Penicillium spp. وتحضير الاستربتوميسين Streptomycin بواسطة الاستربتوميسين البروفاسينس والاستربتوميسين رايموسس S. aureofaciens, S. rimousus .
- معالجة الفضلات وتنقية المياه بالطرق الحيوية .
- إنتاج مواد التغذية المساعدة كغذاء للطيور والحيوانات .
- المدخلات الزراعية لتثبيت النتروجين فى التربة والبذور والتحكم الحيوى فى الحشرات والأعشاب وغيرها .
- موازنة الفضلات والمخلفات وإنتاج الأسمدة والوقود وغاز الميثان والغذاء والعلف .
- التنقية الذاتية للأنهار ومجارى المياه السطحية والتى استقبلت مياه المجارى أوالفضلات الصناعية السائلة الملوثة .

تجرى التجارب والقياسات البكترولوجية للماء لتحديد أفضل المعايير لسلامة وصلاحية المياه. وهنالك أنواع من الكائنات الحية الدقيقة يعزى اليها الطعم البغيض فى الماء والروائح الكريهة، وأنواع أخرى تساعد فى تآكل الخرسانة والمعادن المصنع 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 عمل التحاليل المتكاملة لتحديد وجود كل كائن على حدة. ولذا فقد اصطلح عالميا على تحديد إستخدام مؤشر، عند وجوده يزيد إحتمال وجود كائنات دقيقة أخرى ضارة. وهذا الكائن المؤشر من عائلة البكتريا القولونية ويعرف بالإشريكية القولونية Escherichia coli. وإذا ظهر فى الإختبار الحيوى وجود هذه البكتريا فغالبا ما تكون هذه المياه ملوثة بالفضلات البشرية مما يستدعى تنقية الماء قبل شربه . وقد تستدعى 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 والدسنتاريا الباسلية (الزحار الباسيلى) وإلتهاب الكبد المعدى (اليرقان) وإصابات الإسهال والجارديا .

(ب)الأمراض الناجمة عن عدم الغسل بالماء أو عدم وجوده Water-washed disease: وهذه الأمراض نتيجة لعدم الإستخدام الأمثل للماء أو لقلة إستعماله للصحة العامة والنظافة الشخصية . وأمثلة هذا النوع من الأمراض : إلتهابات الجلد والعيون (التراكوما والرمد الصديدى) والدسنتاريا الأميبية والباراتيفويد والأنكلستوما

(ج) الأمراض المتمركزة فى الماء Water-based diseases: جزء من حيـــاة الميكروب وناقل المرض يأخذ مجراه فى حيوان مائى لحين ملامسة جلد الإنسان أو ولوجـــــه من خـــلال العين والأنف والأذن وفتحات المخارج . مثال لهذه الأمراض : البلهارسيـــا والفرنديت Guinea worm والـــدودة الشريطيـــــة .

(د) الأمراض وثيقة الصلة بالماء Water-related diseases: وهذه الأمراض تعتمد فى وسائل إنتشارها على حيـــوانات أو حشرات أو غيرها من ناقلات المرض التى تعيش فى الماء أو بالقرب منه. ويقوم ناقل المـرض بعض أو مص دم الضحية، كما وتقوم القواقع بلفظ يرقات تسبح بحرية فى الماء، ثم تخترق الجلد عند الملامســـة أو بالطرق المباشرة. ومن أهم هذه الأمراض : الحمى الصفراء التى تنقلها بعوضة ايدس ايجبتاى و مـــرض الفلاريا والملاريا اللذان ينقلهما البعوض وعمى الجور الذى تنقله ذبابة الذكفاء (السيموليم) ومرض النوم الذى تنقله ذبابة التسى تسى .

١ – ٥ التشريعات والمعايير والقوانين المتعلقة بنوعية المياه :

إن تحديد مواصفات الماء كمصدر، أو للإستهـــلاك الإنسانى تحكمه أغراض ودواعى 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 هـذه المواصفات الى مؤشـــرات وخطـــوط توجيهية بواسطة منظمة الصحة العالمية كما موضح فى جدول ٩. ومن الملاحظ التركيز على الخواص البكتيريولوجية والميكربيولوجية (الحيوية) وذلك توخيا للسلامة الصحية للمستهلك. وتأتى فى المقام الثانى النواحى الكيميائيـــــة وذلك لأنها تتسبب فى مخاطر صحية بعد التعرض لها لفترة زمنية طويلة. كما وركزت الخطوط التوجيهية على المواد الكيميائية التراكمية مثل المعادن الثقيلة والمواد المسرطنة. وعلى ضوء ذلك يمكن أن تقـوم كل دولة بوضع معاييرها ومواصفاتها طبقا للظروف البيئية والمناخية والثقافية والإجتماعية والنواحى الإقتصادية السائدة بها .

إن طبيعة الخطوط التوجيهية لمنظمة الصحة العالمية لها السمات التالية:{٢٥،٥، 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 وخصـائص ميـاه الشـرب بمـا يضمـن جودتهـا للإسـتهلاك البشري لكل الإستخدامات المنزليـه العاديـة متضمنـه النظافـة الشـخصية وأيضـا الإحتياجـات الصناعيـة وهنالك بعض الإستخدامات الخاصة تتطلب جودة أعلى للمياه مثل غسيل الكلى .

٣- يعتمد الخط التوجيهي كمؤشر للكشف عن أسباب الزيادة في التركيزات، وذالك بغية أخذ الإحتياطـات اللازمة والمعالجة كما وأنه يستخدم للمشاورة مع جهات الإختصاص للنصح فيما يتعلق بالصحة العامة.

٤- لقد وضع الخط التوجيهي للمحافظة على الصحة عند إستخدام الماء للمدى الطويل .

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

ويوضح الجدول ٩ ملخص موجزا وعاما للخطوط التوجيهية لمنظمة الصحة العالمية والتى تحتوى على درجات التركيز الكلية الخاصة بكل مادة. والقيم الموضحة بالجدول لا تأتى بأى خطر صحى للمستهلك. أما الإفتراضات المتبعة لتقدير الخط التوجيهى تأخذ فى إعتبارها أن متوسط وزن المستهلك ٦٠ كيلوجرام والمستهلك حوالى ٢ لتر من الماء يوميا.

جدول (٩)

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

التوعية البكتيرولوجية:

...ن الحى	الخط التوجيهى
	العدد لكل ١٠٠ مللتر
المياه المستخدمة للشرب:	
...ريكية القولونية أو بكتريا القولونيات المحتملة للحرارة	لا توجد فى أى عينة
...اه النقية الداخلة إلى شبكة التوزيع	
...ريكية القولونية أو بكتريا القولونيات المحتملة للحرارة	لا توجد فى أى عينة
...ريا القولونيات (الكلية)	لا توجد فى أى عينة
...اه النقية داخل إلى شبكة التوزيع	
...ريكية القولونية أو بكتريا القولونيات المحتملة للحرارة	لا توجد فى أى عينة
...ريا القولونيات (الكلية)	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

...صر	ملجم /لتر	العنصر	ملجم /لتر
...ق	٠,٠٠٥	نحاس	١,..
...ج	٠,٠١	منجنيز	٠,٥
...م	٠,٧	زنبق	٠,٠٠١
...ن	٠,٣	مولبيدنوم	٠,.٧

كادميوم	٠,٠٠٣	نيكل	٠,٠٢
كروم	٠,٠٥	نترات (NO_3^-)	٥٠
نحاس	٢	نتريت (NO_2^-)	٣
سيانيد	٠,٠٧	سيلينيوم	٠,٠١
فلور	١,٥		

ج) المواد العضوية المؤثرة على الصحة

	ميكروجرام/لتر
ألكانات المكلورة	
رباعى كلوريد الكربون	٢
ثنائى كلور إيثان	٢٠
٢،١ ثنائىكلور إيثلين	٣٠
١،١،١ ثلاثى كلورايثان	٢٠٠٠
إيثين مكلور	
كلوريد الفينيل	٥
١،١ ثنائى كلور إيثين	٣٠
١،٢ ثنائى كلور إيثين	٥٠
ثلاثى كلور إيثين	٧٠
رباعى كلور إيثين	٤٠
الهيدروكربونات العطرية	
بنزين	١٠
تولوين	٧٠٠
زايلين	٥٠٠
إثيل بنزين	٣٠٠
ستيرين	٢٠
بنزو (أ) بيرين	٠,٧
البنزين المكلور	
أحادى كلور بنزين	٣٠٠
١،٢ ثنائى كلور بنزين	١٠٠٠
١،٤ ثنائى كلور بنزين	٣٠٠
ثلاثى كلور بنزين (الكلى)	٢٠
متعددة	
سداسى كلور بيوتادايين	٠,٦

د) المبيدات

	ميكروجرام/لتر
ألدرين/ ثنائى ألدرين	٠,٠٣
الكلوردين	٠,٢
٢،٤،د	٣٠

د.د.ت	٢
لندين	١

هـ) المطهرات ونواتجها

	مليجرام/لتر
أحادى كلورامين	٣
كلور	٥
بروموفورم	١٠٠
كلوروفورم	٢٠٠

و) المواد التى ربما أثارت شكوى من المستهلك

مناشط طبيعية:

اللون	١٥ TCU
الطعم والرائحة	مقبولة
درجة الحرارة	مقبولة
العكارة	٥ NTU

مواد غير عضوية

	ملجم/لتر
ألمونيوم	٠,٢
أمونيا	١,٥
كلوريد	٢٥٠
نحاس	١
كبريتيد الهايدروجين	٠,٠٥
حديد	٠,٣
منجنيز	٠,١

١ - ٦ تمارين عامة

١ - ٦ - ١ تمارين نظرية:

١) ما هى أهم المعاييرالهامة 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 فى نظم إمداد المياه. وأذكر أهم طرق إزالتها .
٥) ماهى وحدات قياس اللون ؟
٦) ما هى المركبات الجالبة للون فى الماء ؟
٧) كيف يمكن إزالة أو تقليل اللون من الماء ؟
٨) مـا هى الإعتراضات التى يمكن أن توجه لوجود المواد الصلبة أو الكلوريد أو الكبريتات أو الفلور أو عسر الماء عندما توجد بتراكيز عالية فيه ؟
٩) أذكر أهم الإنبعاثات الإشعاعية من مادة مشعة .
١٠) أذكر أهم الطرق المتاحة للتخلص من النفايات المشعة .
١١) ماهى العوامل المؤثرة على الرقم الهايدروجينى ؟
١٢) عرف عسر الماء، وأذكر مناقب ومثالب الماء العسر .
١٣) ما محاسن ومساوئ 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 فى الماء .
١٧) لمـــاذا لا يتم تحويل كل المواد العضوية الموجودة فى الفضلات السائلة الى ثانى أوكسيد الكربون والماء عبر عمليات المعالجة الحيوية ؟
١٨) ماهى معوقات إختبار حاجة الأكسجين الحيا-كيميائى ؟
١٩) ما أهميـة قيـاس كل من حاجـة الأكـسجين الحيا-كيميائى وحـاجة الأكـسجين الكيميائى للماء ولمياه المجارى ؟
٢٠) لماذا يستخدم قياس حاجة الأكسجين الحيا-كيميائى لمقارنة درجات التلوث ؟
٢١) لماذا تؤخذ فترة الحضانة والترخيم ٥ أيام وتحت درجـة حـرارة ٢٠° م فى إختبار حاجـة الأكسجين الحيا-كيميائى ؟
٢٢) ماهى بكتريا القولونيات؟ وما أهميتها لمياه الشرب ؟

١ - ٦ - ٢ تمارين عملية

١) أوجـــد درجـــة الحـــرارة التى تتساوى فيهـا قراءتى مقياسى الحرارة (الفهرنهايت والمئوى) ؟ (الإجابة: -٤٠) .

٢) ما ناتج قذف جسيمات ألفا من نواة Ra_{88}؟ (الإجابة: Ra_{86}^{222}) .

٣) نصـــف العمـر لنواة مشعة يساوى ٨ أيام. كم المدة اللازمة لتخزين عينة تحتوى على ٢٠ وحدة إشعاع من هذه النواة حتى يقل إشعاعها ويصل الى ٠,٢ وحدة؟ (الإجابة: ٥٣ يوم).

٤) أوجـــد الوزن المكافئ لكل من هذه المركبات : حمض الهـــايدروكلور وحمض الكبريت (VI) وبيكربونات الصوديوم وأيون النترات (V). (الإجابة: ٥, ٣٦، ٤٩، ٨٤، ٦٢) .

٥) يتفاعل العنصر أ مع العنصر ب طبقا للمعادلة التالية :

$$أ + ٢ب \rightleftharpoons جـ + د$$

أحســـب النسبة المئوية من عنصر أ التى سوف تدخل فى التفاعل علما بأن درجة تركيز العنصرين (أ) و (ب) عند بداية التفـــاعل تساوى ٣ ,٥ مول/لتر على الترتيب، وأن ثابت التفاعل يساوى الوحدة . (الإجابة: ٥٣ ٪) .

٦) أوجـــد درجـــة تركيز أيون الهايدروكسيل (بالمليجرام/لتر) لعينة ما علما بأن الرقم الهايدروجينى لها يعادل ٤, ٨. (الإجابة: ٠٤,. ملجم/لتر) .

٧) نتائج إختبار عينة من الماء كما موضحة أدناه (التركيزات مقدرة بالمللجرام على اللتر) :

Na^{++} = ١٥ ، K^{+} = ٢٥ ، Ca^{++} = ١٠ ، Mg^{++} = ١٢ ، Sr^{++} = ٦ ، Cl^{-} = ٣٥, ٥، HCO_3^{-} = ٧٠، SO_4^{--} = ٢٠، NO_3^{-} = ١٥ . أوجد :

أ - العسر الكلى للماء .

ب - عسر الكربونات .

جـ - أرسم المخطط الخطى للعينة .

د - أوجد مقدار الخطأ فى التجربة بإفتراض أن الخطأ المقبول يجب ألا يتجاوز ١٠ بالمائة .

هـ - أذكر الإتحادات 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) بـــإفتراض أنه لا يوجد خطأ فى القياس عدا فقدان نتيجة الكبريتات، وأن كل القلوية عبـــارة عن بيكربونات، أوجد قيمة الكبريتات المجهولة .

ب) أوجد قيمة العسر الكلى والعسر غير الكربونى للعينة مقاسة بالملجم/لتر CaO .

جـ) أرسم المخطط الخطى للعينة .

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

٩) أوجـــد قيمة تركيز التشبع للأكسجين المذاب فى الماء والذى يحتوى على ٥٠٠٠ ملجم/لتر من أيون الكلوريـــد عند درجـــة حرارة ٢٠° م وتحت ضغـــط جوى يعـــادل ٧٣ سم زئبـــق . (الإجابة: ٣٥, ٨ ملجم/لتر) .

١٠) أوجـــد قيمة حاجة الأكسجين الحيا-كيميائى (BOD_5) درجة حرارة ٢٥ ° م علما بأن قيمة حاجة الأكـــسجين الحيا-كيميائى فى فترة حضانة ٥ أيام وعند درجة حرارة ٢٠° م تعادل ٢٠٠ ملجم/لتر وأن قيمـــة ثـــابت التفاعـــل (للأساس e) يساوى ٢,. على اليوم. وأوجد قيمة الاكسجين الحيا كيميـــائي في فتـــــرة حضانة ٥ أيام ودرجة حرارة ٢٥ °م . وأوجد قيمة حاجة الأكسجين الحيـــا-كيميائى بعد فتـــــرة حضانـــــة ثلاثـــة أيـــام وعند درجـــة 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 قيمة التفاعل وحاجة الأكسجين الحيا-كيميائى بعد مضى ٥ أيام مستخدما معادلة التفاعل من الدرجة الأولى. (الإجابة: ٣٦,. /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 .

جـ) أوجد قيمة ثابت معدل التفاعل للأساس ١٠. (الإجابة: ٣٧,. /يوم، ١٧١ ملجم/لتر، ١٦,. /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 Reclamatio 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 colloi present in sewage I: A historical survey. II: The physical a chemical analysis of sewage", J. Soci., Chem. Indus., 5 1932, 255T, 349T.

8) Rudolfs, W. and Palmat, J. L., "Colloids in sewage I Separation of sewage colloids with the aid of the electro microscope", Sew. and Indus. Wastes, 24(3), 1952, 247-56.

9) Radiological Health", U.S. Department Health Education An 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 sludg dewatering behavior", 8th Pub. Health Engng. Conf. held in th Dept. of Civil Engng., Loughborough Univ. of Techno., 1975, 5.

12) Abdel-Magid, I. M. "The influence of additives on th 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 Technology, Herdurk, The Netherlands, 1976.

15) Vennard, J. K. and Street, R. L., "Elementary Fluid Mechanics", John Wiley and Sons, New York, 5th Edi., 1976.

-oo-

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, Herdurk, The Netherlands, 1976.

15) Vennard, J. K. and Street, R. L., "Elementary Fluid Mechanics", John Wiley and Sons, New York, 5th Edi., 1976.

-oo-

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

تكنولوجية 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 ونمائها 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 ومافتئ الكثير من هذه الأحداث المحزنة والمؤلمة. وترشيد الماء وحسن إستخدامه فيه المنفعة الراهنة والحاضرة والمستقبلة. 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 سنده 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 ماجة 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 داؤود 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^{3}) .

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 ومضاربها، 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 السطحى، 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 والمشتركة كمية المياه التى يمكن أن تستغل. وعادة فإن إستخدام المياه السطحية تحكمه نوع المياه، ودرجة التلوث الموجودة، وإمكانية تنقيتها بالموارد والإمكانيات 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 التنموية.

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 اختيار 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 في المقام الأول. ويبين شكل ١ نظام إفتراضى يمكن إتباعه لإنتقاء مصدر الماء لمجموعة من السكان. كما ويمكن اتباع المنهاج المرسوم في 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 كبريتد الهيدروجين وثاني أكسيد الكربون والأمونيا .

٥- إزالة العناصر الجالبة للون و المذاق والرائحة في الماء .

٦- إزالة الدهون والشحوم والزيوت .

٧- إزالة البكتريا والفيروسات والجراثيم الضارة بصحة الفرد .

٨- الإيفـــاء بمتطلبـــات نـــوع المياه من أجل العمليـــات 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- منـــــع تهشـــم أو تحطيم أو تآكـــل 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 الخضـروات، أحجـار مكسرة، أغصان الأشجار، عيدان وأخشـاب، وغيرهـا مـن الأجسـام الكبـيرة والتـى لا تشكل مخـاطر أو روائح غير مستحبة .

وتصنف المصافي بعدة طرق {٣، ٦، ٧، ٨، ٩، ١٠، ١١، ١٢، ١٣، ١٤} . فمثلا طبقا لطبيعة ودورة العمل تصنف المصافى الى مستمرة أو متقطعة ، كما وتقسم طبقا لنظـام التنظيـف المتبـع الـى يدويـة أو شبه يدوية أو آلية . وأيضا يمكن تقسيم المصافى على حسب فتحات المصفاة كما مبين فى الجدول (١) .

جدول (١)
تقسيم المصافي حسب مقاس فتحات المصفاة {٢}

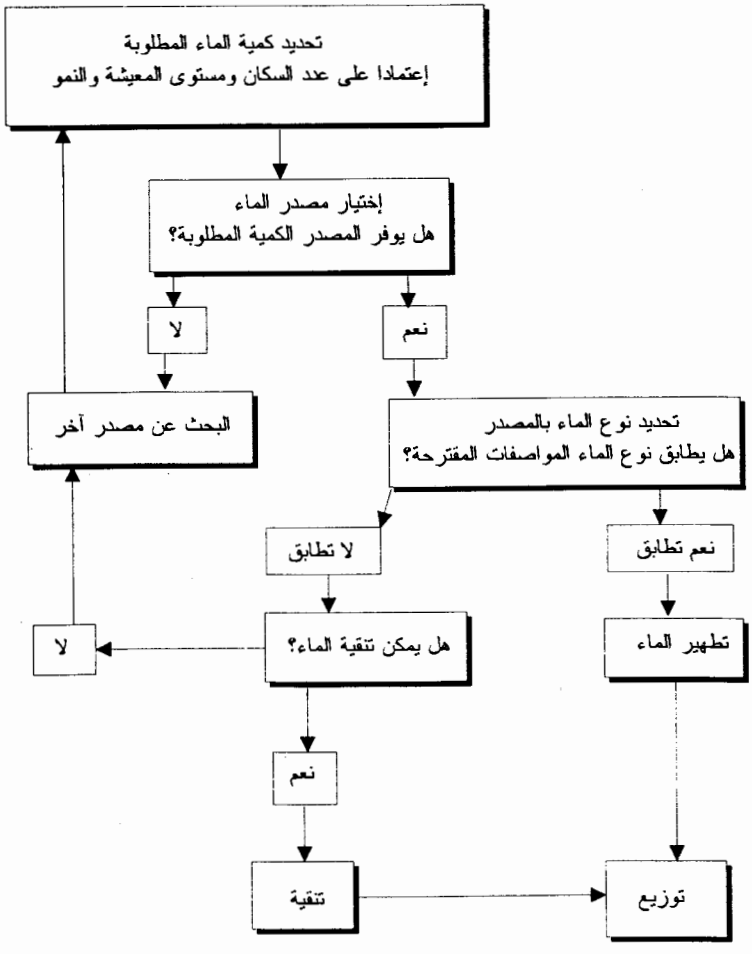
المصفاة	مقاس فتحات المصفاة (ملليمتر)
دقيقة جدا (ميكرومترية)	٠,٠٢ إلى ٠,٠٦
دقيقة	١ إلى ٢٠
متوسطة	٢٠ إلى ٤٠
كبيرة	أكبر من ٤٠٠

كما ويمكن تقسيم المصافى على حسب شكلها الى حاجز (راك) وقضبان وشباك . ويمكن أيضا تقسيم المصافى على حسب حالة سطح المصافى ما إذا كان ثابتا أم متحركا. (أنظر شكل ٣) {٢}. أما مصافى الحاجز (راك) أو ما يعرف بالمصافى الثابتة Rack, bar, fixed screens فهى من أبسط أنواع المصافى ومن أكثرها إستخداما فى محطات تنقية المياه. وتتكون هذه المصافى من حواجز معدنية متوازية تبعد عن بعضها بمقادير ثابتة حسب نوع المصافى 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 السمت عند إنسداد فتحات المصفاة بالمواد المحجوزة فيها.

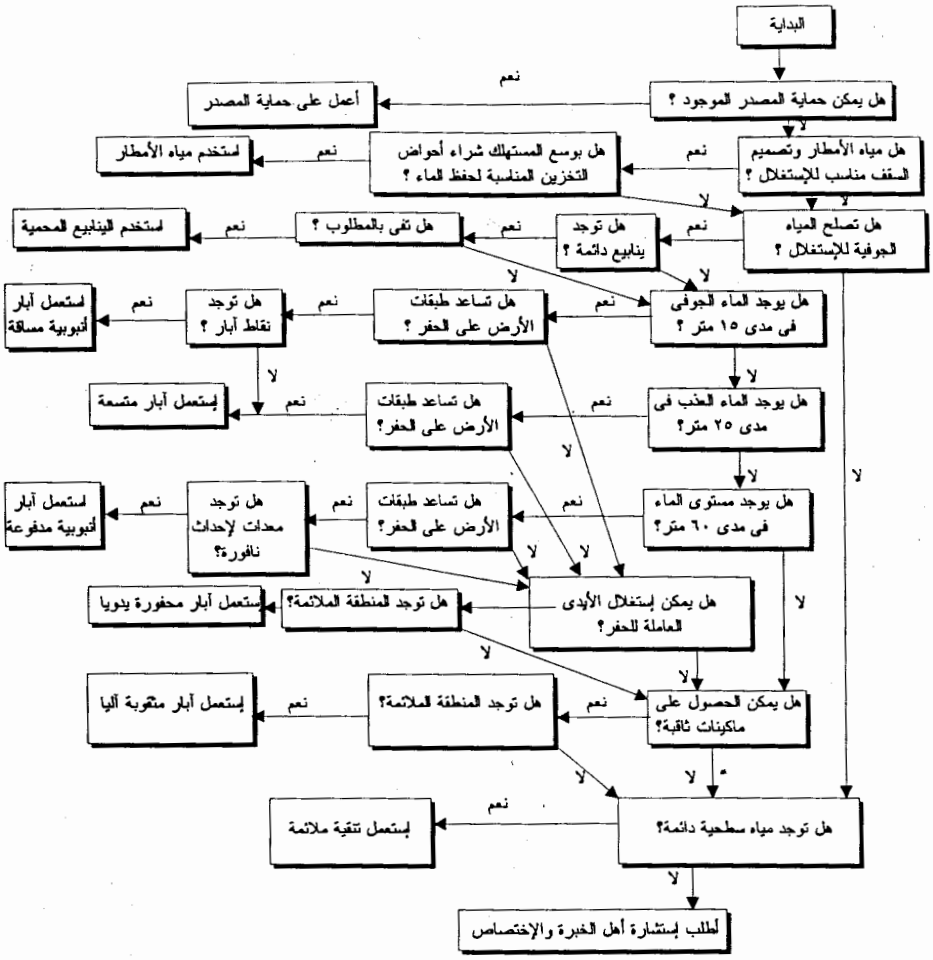
وبالنسبة لمحطات تنقية المياه الصغيرة فيمكن نظافة المصافى بالطرق اليدوية أما بالنسبة للمحطات الكبيرة فيتم التنظيف بالطرق الآلية.

ومن المنظور الهندسى يعمل على ألا تقل سرعة دفق الماء الداخل الى المصفاة عن ٠,٣ الى ٠,٥ متر/الثانية لكيلا تترسب المواد العالقة والرمل، ولأقل سرعة علاقة مع مقاس وكثافة الشوائب وسرعة دفق 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. والمصافى 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 المصافى فى المواضع المتوقع فيها كميات كبيرة من المواد الصلبة الدقيقة. وعادة تنظف مصافى الشباك بالطرق اليدوية.

ونسبة لحجز المواد على سطح المصفاة فإن فتحات المصفاة تقفل بعد مضى مدة من الزمن، مما يزيد معه المقاومة ضد إندفاق الماء، وبذا يزيد فقد السمت 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}. وتتم عملية النظافة لكى لا يقل فقد السمت عن ٠,٥ مترا.



شكل (٢)
إختيار مصدر المياه {٢}



شكل (١)

إنتقاء مصدر الماء { ١، ٢ }

أما مصفاة الطبل Drum screen فهى عبارة عن مصفاة مستمرة، تتكون من طبل أجوف قطره يتراوح بين ٢ الى ٥ أمتار. ويدور الطبل حول محوره الأفقى. وتنساب المياه عبر أحد طرفى الطبل لتخرج عبر فتحات المصفاة نسبة لأن الطرف الآخر مغلق وعندما يدور الطبل فى محوره فإن المواد المحجوزة 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 شباك 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 المحجوزة بالمصافى فى المحطة بالدفن فى الأرض أو تؤخذ للدفن الصحى . أما فى محطات معالجة الفضلات السائلة فعادة تكون المواد المحجوزة 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 المقنن 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 .

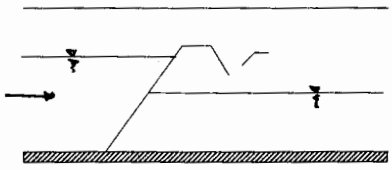
٣- إزالة النمو الحيوى بعد المعالجة الثانوية فى محطات معالجة الفضلات السائلة .

٤- إزالة المتلبدات الكيميائية .

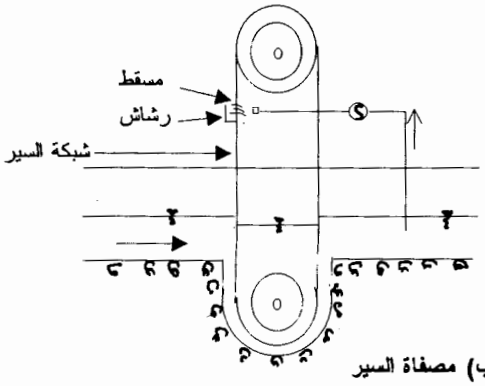
٥- تغليظ المواد فى مغلظ الحمأة Sludge thickener .

وتؤثر فى عملية الترسيب عدة عوامل تتداخل مع بعضها مؤثرة سلبا أو إيجابا على عملية الترسيب ومنها :

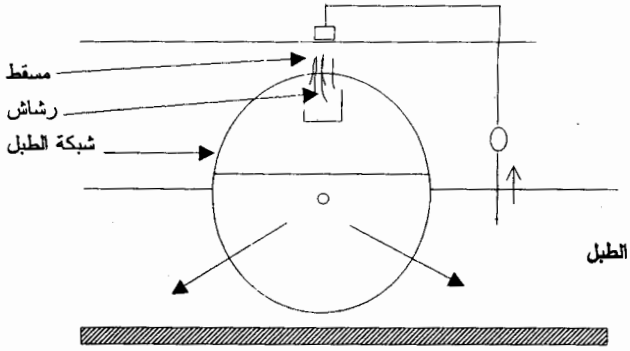
- حجم الحبيبات المراد ترسيبها .
- الثقل النوعى للحبيبات المترسبة .
- كمية ونوع ودرجة تركيز وشكل الحبيبات .
- زمن المكث المعطى لإتمام عملية الترسيب .



(أ) مصفاة القضبان



(ب) مصفاة السير



(ج) مصفاة الطبل

شكل (٣) بعض أنواع المصافى { ٣،٢}

- سرعة دفق الماء عبر الحوض .
- سرعة ترسيب الحبيبات .
- الخواص الطبيعية للماء (مثل درجة الحرارة، اللزوجة، وغيرها) .
- التفاعلات والتغيرات الكيميائية والحيوية بين الحبيبات والسائل الذى يتم فيه الترسيب .
- الظروف المحيطة بعملية الترسيب .

ويمكن زيادة كفاءة عملية الترسيب بإضافة مواد مساعدة مثل الطين أو البنتونيت 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 .

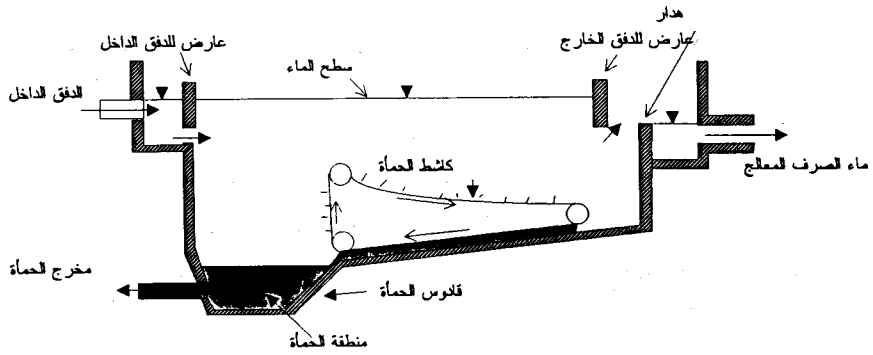
وتصعب المفاضلة بين أنواع أحواض الترسيب غير أن الأحواض التى تعمل بإستمرار تستخدم لمحطات تنقية المياه ذات السعة الكبيرة. ويمكن مفاضلة الأحواض الدائرية أو المربعة أو المستطيلة من حيث تكلفة الإنشاء ومعايير وأسس التصميم. وعامة فإن إختيار أى من الأنواع المختلفة لأحواض الترسيب يبنى على خبرة المصمم والمعايير الإقتصادية والإجتماعية {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 إعتمادا على البيئة المحلية لعدة أسباب منها :

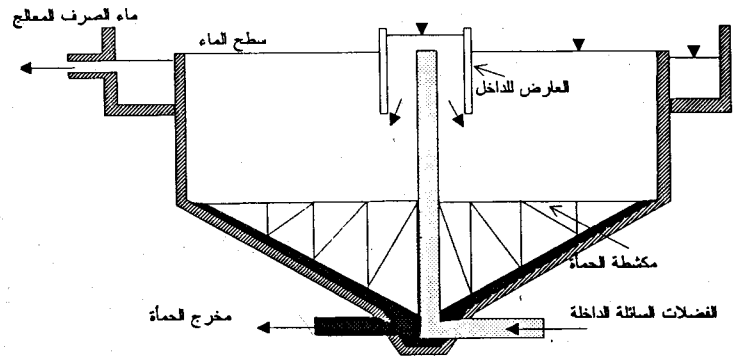
١- أنها تستخدم الأرض المتاحة بطريقة أفضل .
٢- توفر من التكلفة الكلية للإنشاء وتقلل من المواد المستخدمة للإنشاء .
٣- تعطى مجالا أفضل لإنتقاء مواد دائمة مثل الخرسانة سابقة الإجهاد لإزالة الحبيبات المتلبدة .

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

وظاهرة الترسيب تنقسم الى عدة أقسام إعتمادا 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 الدفق



رسم تخطيطي لحوض ترسيب دائري

شكل (٤) بعض أنواع أحواض الترسيب

يتم الترسيب المتفرد أو المتقطع Discrete settling عندما تضمحل قوى التجمع الطبيعية. وفى خلال فترة الترسيب تتبع كل حبيبة عالقة 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، والتى تتحقق لرقم رينولد أقل من ٠,٢ كما هو الحال فى الترسيب المعاق {١١} .

$$v'/v = (1 - C_v)^{4.65} \qquad (١)$$

حيث :

v' = سرعة الترسيب المعاق (م/ ث) .

v = سرعة ترسيب الحبيبة (م/ ث) .

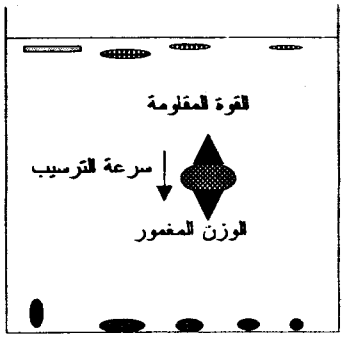
C_v = النسبة الحجمية = حجم الحبيبات / الحجم الكلى للعالق .

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 بإزدياد عمق حوض الترسيب وزيادة زمن المكث بالحوض .

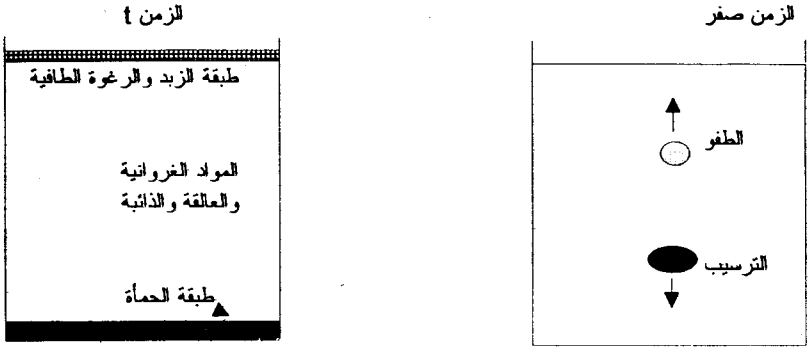
أما الترسيب المنضغط Compression settling فتترسب فيه الحبيبات مكونة بنية محددة، ويتم الترسيب بضغط الحبيبات على بعضها البعض .

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 المغمور مع قوى الإعاقة الإحتكاكية كما موضح فى المعادلة ٢، أنظر شكل (٥) .



أ - القوى العاملة على الترسب المتفرد للحبيبات



ب - الترسيب والطفو

شكل (٥) ترسيب الحبيبات

الوزن المغمور (وزن الحبيبة – قوى الدفع) = قوى الإعاقة الإحتكاكية

$$V*g*(\rho_S - \rho) = \rho*C_D*A(v5/2) \quad (٢)$$

حيث:

V = حجم الحبيبة (م^٣) .

g = عجلة الجاذبية الأرضية (م/ث^٢) .

ρ_S = كثافة الحبيبة (كجم/م^٣) .

ρ = كثافة سائل الترسيب (كجم/م^٣) .

C_D = معامـــل الإعـــــاقة الإحتكاكية (معامل السحب) ، ويعتمد علـى رقم رينولد ومقاس الحبيبة (أنظر شكل ٦) .

A = مساحة مقطع الحبيبة (م^٢) .

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

ويعتمد معامل الإعاقة الإحتكاكية على نوع الدفق ما إذا كان دفقا مضطربا أم دفقا صفحيا أم بين ذلك . وبالنسبة للدفق الصفحى الرأسى يقل رقم رينولد عن ٠,٥ ويمكـن إيجاد معامل الإعاقة الإحتكاكية من المعادلة ٣ .

$$C_D = 24/Re \quad (٣)$$

حيث :

C_D = معامل الإعاقة الإحتكاكية .

Re = رقم رينولد .

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

$$Re = \rho*v*d/\mu \quad (٤)$$

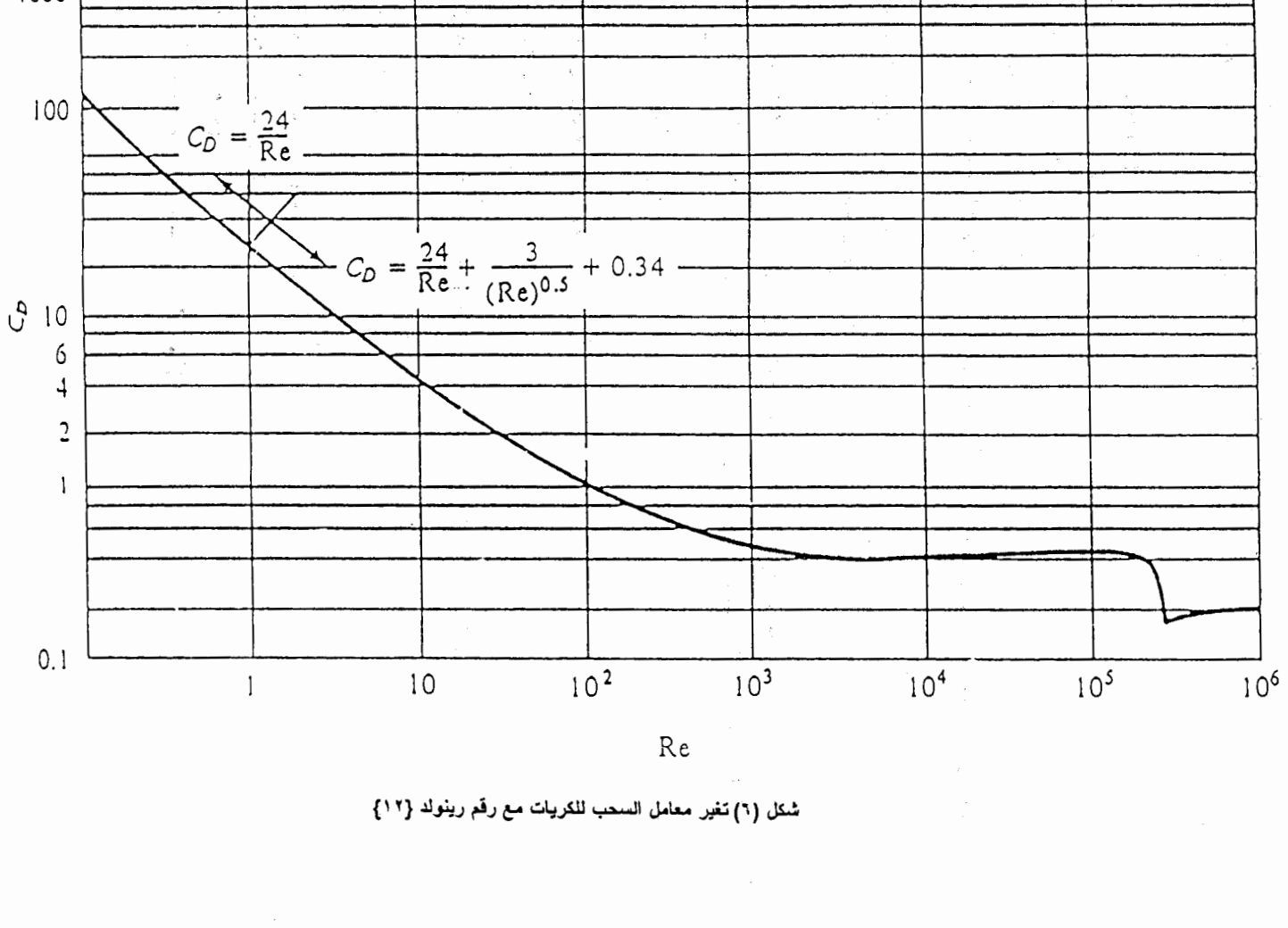
حيث :

ρ = كثافة سائل الترسيب (كجم/م^٣) .

v = سرعة الترسيب (م/ث) .

d = قطر الحبيبة (م) .

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



شكل (٦) تغير معامل السحب للكريات مع رقم رينولد {١٢}

وبإفتراض أن الحبيبة المترسبة كروية الشكل وتترسب تحت دفق صفحى فيمكن إيجاد سرعة الترسيب من قانون استوك كما موضح فى المعادلة ٥ .

$$v = g*d^2*(s.g. - 1)/18*\nu \qquad (٥)$$

حيث :

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

g = عجلة الجاذبية الأرضية (م/ث^2) .

d = قطر الحبيبة الكروية الشكل (م) .

s.g. = الكثافة النوعية للحبيبة .

ν = درجة اللزوجة الكينامتكية (م^2/ث) .

أما فى حالة الترسيب الذى يحدث عند دفق بين الصفحى والمضطرب فأن رقم رينولد يحسب على حسب المعادلة ٦ .

$$10^4 > Re > 0.5 \qquad (٦)$$

وعليه فيحسب معامل الإعاقة الإحتكاكية على حسب المعادلة ٧ .

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

حيث :

C_D = معامل الإعاقة الإحتكاكية .

Re = رقم رينولد .

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

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

وبالنسبة للدفق المضطرب فإن رقم رينولد يكون كما موضح فى المعادلة ٩.

$$500 < Re < 10^4 \qquad (٩)$$

ويمكن أخذ معامل الإعاقة الإحتكاكية كما مبين فى المعادلة ١٠ .

$$C_D = 0.4 \qquad (١٠)$$

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

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

مثال (١)

تترسب حبيبات صلبة فى ماء على درجة حرارة ١٥ °م . أوجد سرعة ترسيب الحبيبات علما بأن كثافتها النوعية تعادل ١,١ وقطرها المتوسط يعادل ٠,٠٤ ملم .

الحل:

١- المعطيات : s.g. = ١,١ ، d = ٠,٠٤ ملم .

٢- أوجد قيمة اللزوجة الكينماتيكية من جدول (ج) لدرجة الحرارة ١٥ °م . لتساوى

$\nu = ١,١٤٦ \times ١٠^{-٦}$ م^{٢}/ث .

٣- إفترض أن الترسيب يحدث طبقا لقانون استوك ، وعليه أوجد سرعة الترسيب من المعادلة

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

$v = [٩,٨١ \times (١٠٠٠ \div ٠,٠٤)^{٢} \times (١,١ - ١)] \div (١٨ \times ١,١٤٦ \times ١٠^{-٦}) = ٧,٦ \times ١٠^{-٥}$ م/ث .

٤- راجع رقم رينولد على ضوء هذه السرعة من المعادلة

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

$Re = (٧,٦ \times ١٠^{-٥} \times ٠,٠٤ \times ١٠^{-٣}) \div (١,١٤٦ \times ١٠^{-٦}) = ٣ \times ١٠^{-٣}$.

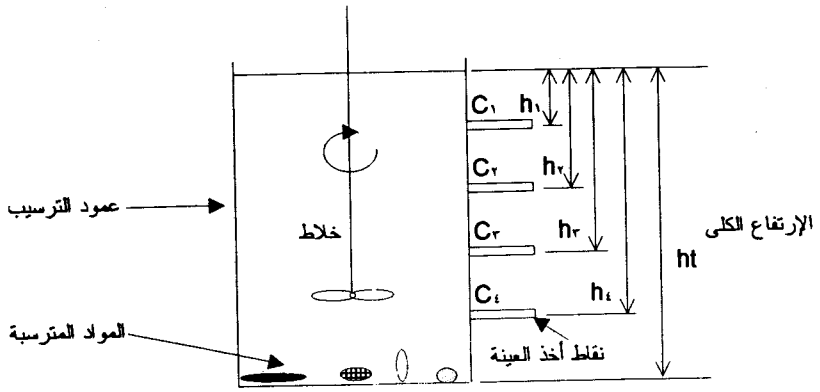
وبما أن رقم رينولد يقل عن ٠,٥ فبذا يكون الإفتراض صحيحا للدفق الصفحى الذى يتحقق عنده قانون استوك .

أما بالنسبة للحياة العملية فيصعب تحديد حجم ووزن وشكل الجسيمات المترسبة ، وعليه فإن درجة الترسيب تحسب بعمل تجربة مخبرية . وفي هذا الإختبار يستعمل عمود أسطواني ذو مقطع منتظم وبه فتحات منتهية بصنابير على أبعاد معروفة . وباستعمال 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_o) . وبأخذ عينات عبر الصنابير في زمن معين توجد درجات التركيز ($C_1, C_2, \ldots C_n$) للأبعاد المختلفة ($h_1, h_2, \ldots h_n$) وعليه فإن الجسيمات ذات سرعة الترسيب 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 والتى تكون سرعة ترسيبها أقل من v_1 يمكن إيجادها من المعادلة ١٢ .

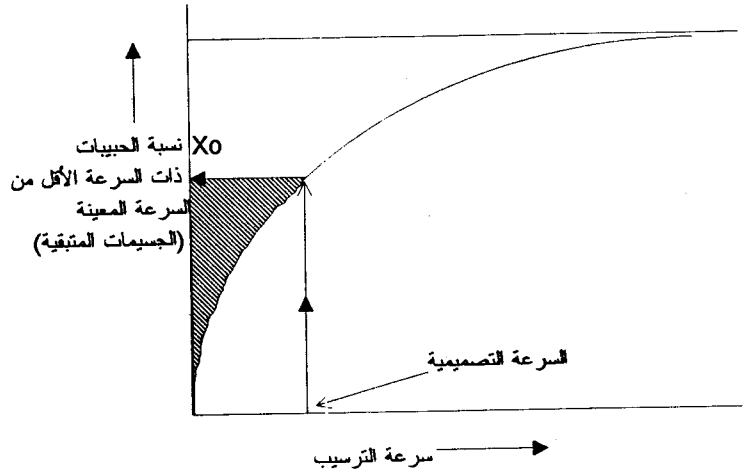
$$X_1 = C_1/C_o \qquad (١٢)$$

وبإعادة التجربة لفترات زمنية مختلفة يمكن رسم مخطط بيانى لخواص المواد العالقة كما موضح فى شكل (٨) . ومن الشكل (٨) أدناه يمكن إيجاد الإزالة الكلية فى الحوض ذى الإندفاق الأفقى والتى كما موضحة المعادلة ١٣.

$$X_T = 100 - X_o + (1/v_{so})* \int_{o}^{X_o} v*dx$$



شكل (٧) جهاز عمود الترسيب



شكل (٨) منحنى التوزيع المتردد التراكمى

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

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

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 يزاد بضربه فى معامل يتراوح بين ١,٢٥ الى ١,٥ طبقا لنتائج وتجارب فعلية عديدة أجريت لعدد من أحواض الترسيب {٨}.

مثال ٢:

تضم محطة معالجة أربعة أجهزة ترسيب لتعالج دفق ينساب بمعدل ٢٠ مترا مكعبا على الدقيقة. قطر كل من أجهزة الترسيب الدائرى ٢٠ مترا . 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)				
	صفر	١	٢	٣	٦
٠,٥	٢٩٠	١٩٧	٢٦١	٢٧٣	٢٨١
١	٢٩٠	١٠٧	٢٠٠	٢٤١	٢٧٦
١,٥	٢٩٠	٨٧	١٢٢	٢٠٣	٢٥٥
٢	٢٩٠	٨٤	١١٠	١٦٠	٢٤٧
٢,٥	٢٩٠	٨١	٩٣	١٢٨	٢٢٣

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

الحل:

١- المعطيات: N = ٤ حوض ، Q = ٢٠ م^3/دقيقة، D = ٢٠ م، بيانات عمود الترسيب .

٢- أوجد سرعة الترسيب والنسبة المئوية للمواد الصلبة المتبقية فى السائل الخارج من نقاط أخذ العينة فى عمود الترسيب للفترات الزمنية المختلفة كما مبين أدناه :

سرعة الترسيب = عمق نقطة أخذ العينة ÷ زمن المكث

النسبة المئوية للمواد الصلبة المتبقية فى السائل الخارج (النسبة المئوية للمواد الصلبة العالقة التى لها سرعة ترسيب أقل من السرعة المعينة) = 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 التراكمى برسم النسبة المئوية للمواد المتبقية فى السائل الخارج من الحوض مع سرعة الترسيب كما موضح فى شكل حل مثال ٢ .

٤- أوجد الدفق المنساب لكل حوض = الدفق الكلى ÷ عدد الأحواض

= (٢٠ ÷ ٦٠) ÷ ٤ = ٠,٠٨٣ م^3/ ث .

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

A = (٣,١٤ ÷ ٤)×٢٠ ^{2} = ٣١٤,٢ م^2.

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

v_s = ٠,٠٨٣ ÷ ٣١٤,٢ = ٢,٦٥×١٠$^{-4}$ م/ ث

= ٠,٢٦٥ ملم/ ث .

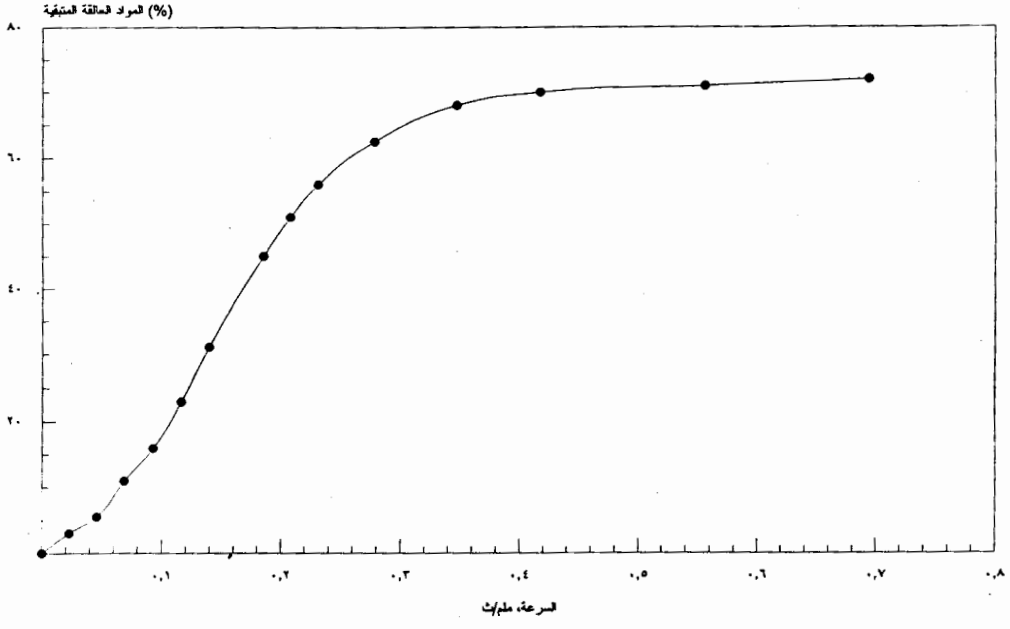
٧- أوجد من منحنى التوزيع المتردد التراكمى وللسرعة التصميمية التى تعادل ٠,٢٦٥ ملم/ ث قيمة X_o = ٦٥٪

٨- أوجد الكفاءة الكلية لحوض الترسيب من المعادلة

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

حيث يمكن إيجاد جزء التكامل من إيجاد المساحة بين المحور الصادى ومنحنى التوزيع المتردد التراكمى والخط الأفقى من نقطة تقاطع المنحنى والسرعة التصميمية ليساوى ٨,٧٣×١٠$^{-٣}$، ويمكن إيجاد المساحة بالتقريب من الرسم البيانى أو بإستخدام نظرية سمسون أو نظرية نيوتن-رافسون أو بإستخدام المساح ، وبذا يمكن إيجاد الكفاءة الكلية للحوض

X_T = ١٠٠ - ٦٥ + (٨,٧٣×١٠$^{-٣}$ ÷ ٢,٦٥×١٠$^{-٤}$) = ٧٠ ٪ .



شكل حل مثال ٢

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

$$C_e = C_o*(1 - X_T)$$

$$C_e = ٢٩٠ \times (١ - ٠,٧) = ٨٧ \text{ ملجم/ لتر.}$$

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 .

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

حيث:

Re = رقم رينولد .

ρ = كثافة السائل (كجم/ م^٣) .

v_H = سرعة الدفق الأفقيـة (م/ ث) .

r_H = نصف القطر الهيدروليكى (م) .

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

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

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

$$v_H = Q/A = Q/B*h \qquad (١٦)$$

حيث:

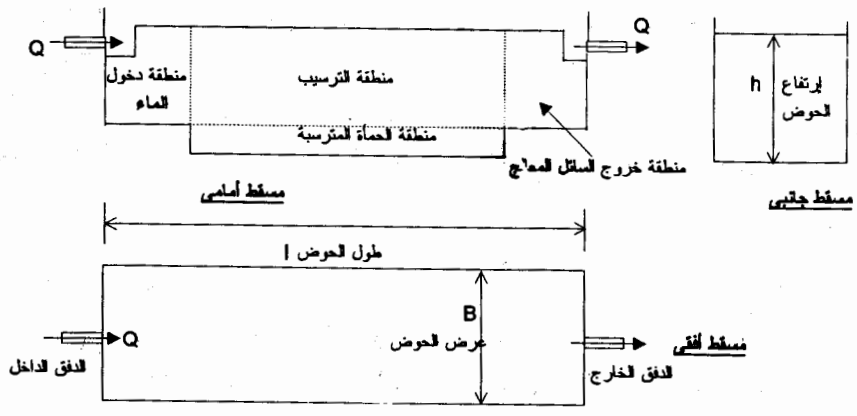
v_H = سرعة الدفق الأفقية (م/ ث) .

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 تخطيطى لحوض ترسيب مستطيل أفقى الدفق

أمـــا نصف القطـــر الهـــايدروليكى فهو عبـــارة عن نسبة المساحـــة الى المحيـــط المبتل كما مبين فى المعادلة (١٧)

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

حيث :

r_H = نصف القطر الهايدروليكى (م) .

A = مساحة مقطع الحوض العمودى على الإندفاق الأفقى (م^2) .

w_p = المحيط المبتل(م) .

وبـــأخذ المعـــادلات (١٦) و(١٧) فى الإعتبار فيمكن إعادة كتابة المعادلة (١٥) لتقرأ كما مـوضح فى المعادلة (١٨) .

$$Re = Q/\nu^*(B + 2h) \qquad (١٨)$$

كما يمكن أخذ المعادلة (١٢) فى الإعتبار كما مدرج فى المعادلة (١٩) .

$$v_s = Q/A = Q/BL \qquad (١٩)$$

حيث :

L = طول حوض الترسيب (م) .

وعليه يمكن كتابة المعادلة (١٨) لتقرأ

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

وللحصول على دفق صفحى فلا بد من تقليل رقم رينولد . وتبين المعادلات (١٨) و (٢٠) أن رقم رينولد يمكن تقليله بعمل التالى :

- 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 الإندفاق 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 الهايدروليكى (بين الماء المندفق والحبيبات المترسبة) وقوى الإحتكاك الميكانيكى (بين المترسبات فى قعر الحوض) . ويمكن إيجاد سرعة الجرف كما موضح فى المعادلة (٢١) .

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

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 إتجاه الدفق. غير أن قوى الإحتكاك 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 تصل 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 مثلا بسبب عدم تساوى توزيع الماء الداخل 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 الإتزان بزيادة نسبة قوى القصر الذاتى وقوى الجاذبية، أو ما يعرف برقم فرود Froude number والذى يمكن إيجاده من المعادلة ٢٢.

$$Fr = v_H^2 / g^* r_H \qquad (٢٢)$$

حيث :

Fr = رقم فرود .

v_H = سرعة الإندفاق الأفقية (م/ ث) .

g = عجلة الجاذبية الأرضية (م/ ث^٢) .

r_H = نصف القطر الهايدروليكى (م) .

وبتعويض المعادلات ١٦ و١٧ و١٩ يمكن إعادة كتابة المعادلة ٢٢ كما موضح فى المعادلة ٢٣

$$Fr = [Q^{2*}(B + 2h)] / (g^*B;^*h;) = [v_s5^*L5^*(1 + 2h/B)] / g^*h; \qquad (٢٣)$$

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

* زيادة الماء الداخل لحوض الترسيب .
* تقليل عرض الحوض .
* تقليل عمق الحوض .
* زيادة طول الحوض .

وهذا يعنى أنه لتحقيق الإتزان داخل حوض الترسيب فمن الأنسب تصميم حوض ضيق وضحل وطويل. وهذا الشرط يعاكس كلية شرط تفادى الإندفاق المضطرب. وعليه فمن المتبع أخذ أرقام كبيرة لفرود 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 .

$$Fr \geq 10^{-5} \qquad (٢٤)$$

مثال ٣ :

يراد معالجة محلول عالق فى حوض ترسيب أفقى، عرضه ٨ مترا، وطوله ٢٥ مترا، وإرتفاعه ١,٥ مترا. أدخل العالق الى حوض الترسيب بمعدل دفق يساوى ١٠ مترا مكعبا على الدقيقة. بإفتراض أن الترسيب مثالى أوجد قيمة رقم فرود 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

ν = ١,٠١١×١٠$^{-٦}$ م^{٢}/ث .

٣- أوجد نصف القطر الهايدروليكى من المعادلة

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

r_H = (١,٥×٨) ÷ (٨ + ١,٥×٢) = ١,١ م

٤- أوجد سرعة الدفق الأفقى للماء من المعادلة

$$v_H = Q/ Bh$$

v_H = (١٠ ÷ ٦٠) ÷ (٨ × ١,٥) = ٠,٠١٣٩ م/ث .

٥- أوجد قيمة رقم رينولد من المعادلة

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

Re = (١,١×٠,٠١٣٩) ÷ (١,٠١١×١٠$^{-٦}$) = ١٥١٢٤

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

٦- أوجد قيمة رقم فرود من المعادلة

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

Fr = (٠,٠١٣٩)^{٢} ÷ (١,١×٩,٨١) = ١,٨×١٠$^{-٥}$.

وبما أن رقم فرود أكبر من ١٠$^{-٥}$ ، فعليه ليس هنالك مشاكل إتزان .

الترسيب المتلبد

عندما يترك عالق من الجسيمات المختلفة الكثافة لتترسب، فإن لكل حبيبة سرعة ترسيب مختلفة عن الحبيبات الأخرى، وعليه فإن الحبيبات ذات السرعة الأقل (أقل كثافة) تلحق بها الحبيبات ذات السرعة الأكبر (حجم أو وزن أكبر). وهذه الحالة تولد العديد من التصادمات التى تؤدى الى إتحاد الحبيبات وتكوينها للمتلبدات، 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.

$$R_T = (\Delta h_1/h_t)*(R_1 + R_2)/2 + \ldots . + (\Delta h_n/h_t)*(R_n + R_{n+1})/2 \qquad (٢٥)$$

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		
	٠,٥ م	١ م	١,٥ م
١٠	٥	٤	٤
٢٠	٧	٦	٥
٤٠	٤٠	٨	٧
٦٠	٦٥	٢٢	٩
٨٠	٧٥	٤٥	١٧
٩٠	٨٠	٥٣	٣٠
١٠٠	٨٥	٦٠	٣٧
١١٠	٩٥	٧٠	٥٠

الحل:

١- المعطيات: C_o = ١٨٨ ملجم/ لتر، h = ١,٥ م، t = ٨٠ دقيقة .

٢- أرســـم خطوط التركيزات المتساوية للبيانات المعطاة برسم عمق الحوض والزمن مع النسبة المئوية للمواد الصلبة العالقة المزالة كما موضح فى 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 بإستخدام المعادلة

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

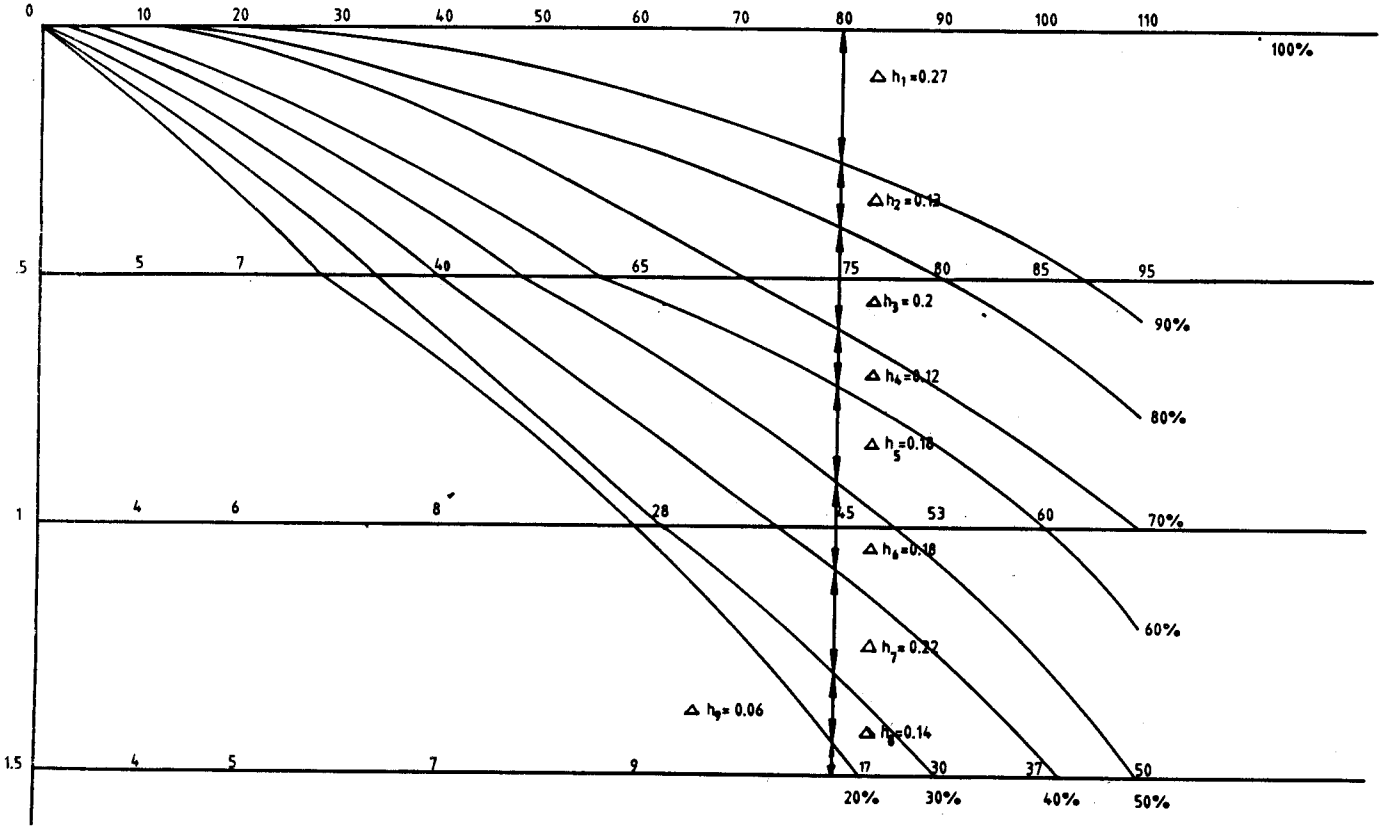
R_T = ٦٠ ٪ .

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

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

$\therefore C_e$ = ١٨٨×(١ - ٠,٦) = ٧٥ ملجم/ لتر .

رسم حل مثال 4



العمق (م)

الزمن (دقيقة)

٢ - ٤ - ٣ التلبد والترويب Flocculation & Coagulation

التلبد والترويب من العمليات الهامة فى وحدات تنقية الماء ومعالجة الفضلات السائلة ، والتى تستخدم للتخلص من المواد الغروانية التى 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 ترسبها وبذا تزيد سرعتها. وعملية التلبد تعتمد على فرصة إلتقاء الحبيبات ، والدفق السطحى ، 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 مروبة 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 $Al_2(SO_4)_3 .18H_2O$، وشب النشادر، وشب البوتاسيوم، وألومنات الصوديوم $NaAlO_2$.

ب) مروبات الحديد وتضم الكوبراس المكلور

Chlorinated copperas $FeSO_4 .7H_2O + Cl_2$, $Fe_2(SO_4)_3 + FeCl_3$، وكلوريد الحديد (III) $FeCl_3.6H_2O$ ، وكبريتات الحديد (III) $Fe_2(SO_4)_3.7H_2O$ ، وكبريتات الحديد (II) $FeSO_4.7H_2O$.

جـ) مساعدات 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 التى 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 لتكون عالق يمكن إعادة إزالة الماء منه وإضافة الماء له بسهولة، ومن هذه المركبات النشا المذاب، والصمغ، والصابون، والمنظفات المصنعة، والدم Blood serum، والبروتين. وهذه المواد تصعب إزالتها بطرق المعالجة التقليدية.

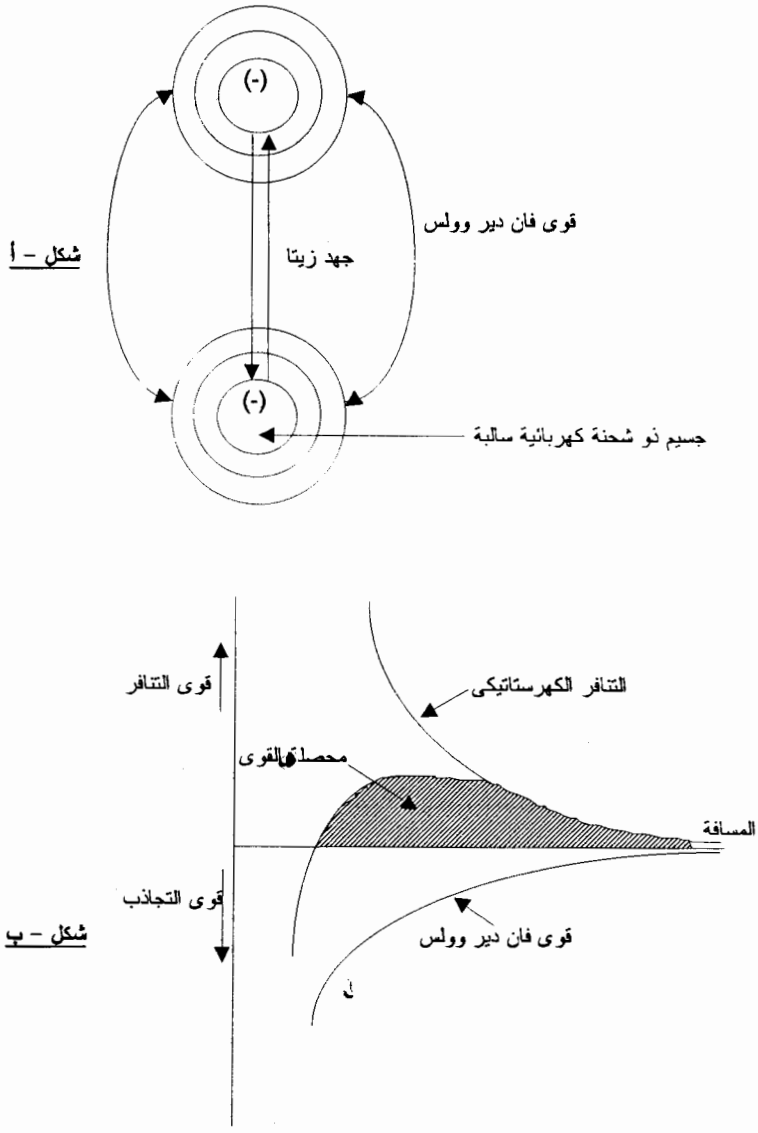
أما المواد الكارهة للماء فلا تتشتت مرة أخرى لحظيا عند إزالة الماء منها. ولا توجد قوى كبرى تربط الجسيمات مع الماء، كما ويعتمد الإتزان على التنافر . ومثال لهذه المواد معظم المواد غير العضوية والعضوية فى الماء الطبيعى العكر، وغرويات أكاسيد الفلزات .

أما العوالق الغروانية فهى من أكثر المكونات للعوالق المتزنة فى الماء. وعليه فخواص الجسيمات الغروانية من الأهمية بمكان . وهذه الجسيمات الغروانية أكثر تعقيدا فى أشكالها من الجسيمات الكروية الشكل. وتؤثر هذه الخاصية كثيرا على خواصها. ومن الأشكال التى يمكن أن تتواجد: أشكال الكرة، والأهليليجى ، والصفيحة ، 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 العادى.
- تمنع الإصطدامات الكثيرة بين الحبيبات (حركة براون Brownian motion) ترسبها تحت قوى الجاذبية الأرضية .
- للمواد الغروية قابلية للتلبد 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 التى تربط الحبيبات المتجمعة مع بعضها البعض فهى 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. وتنشأ قوى فان دير وول من نقل الشحنات الإلكترونية داخل الجسيمات المحايدة . وهذا الفعل يركز الشحنات الموجبة على جهة من الحبيبة، ويركز الشحنات السالبة فى الجهة المغايرة 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 .



شكل (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 فهى 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 التشتت ، فتترسب كل حبيبة بنفس سرعة الترسيب ، ولا يتم ترسيب حبيبة أسرع من الإخريات. وعليه فلا توجد فرص تلامس مما لا ينتج تلبدا كثيرا .

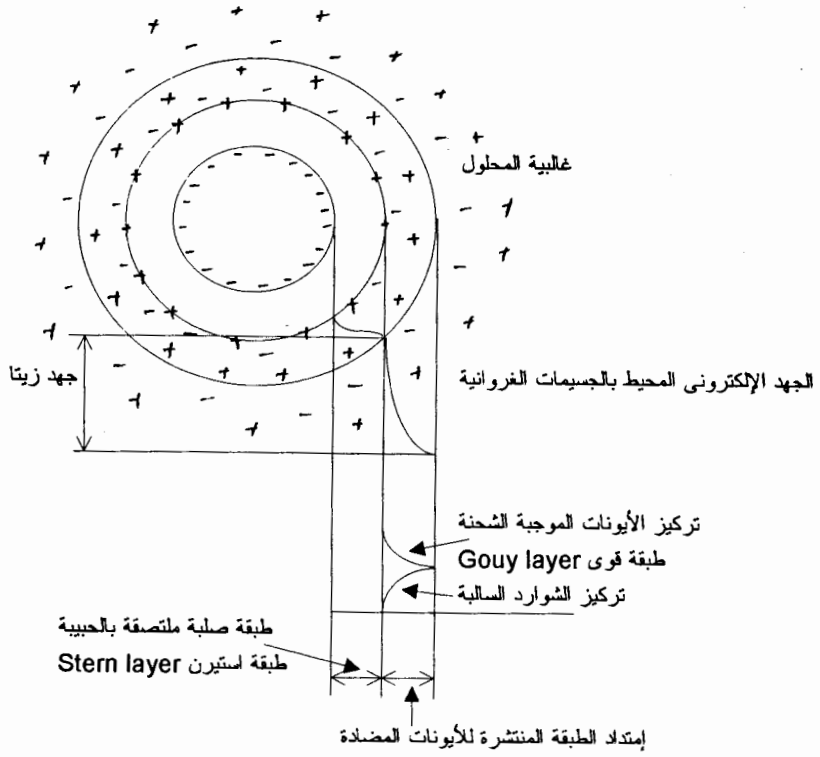
أما إذا كان النظام متعدد التشتت ، فتترسب الحبيبات الكبيرة بسرعات ترسيب أكبر من سرعة ترسيب الحبيبات الصغيرة، وعليه فهنالك فرصا أكبر للتصادم بين الحبيبات. وأحد القوى التى تمنع تلبد الجسيمات يتعلق بوجود الشحنة على سطحها. ونسبة لأن الحبيبات تحمل شحنات كهربائية متماثلة، فإنها تنفر من بعضها البعض. ويقلل هذا التنافر من فرص التجمع. غير أن إضافة مواد غروانية أخرى تحمل شحنات مضادة للجسيمات تعمل على معادلة الشحن مما يزيد من فرص التصادم بين الحبيبات وتلبدها.

إن الحبيبات الغروانية والمواد الصلبة العالقة المتواجدة فى الماء تحمل شحنة كهربائية سالبة. وهذه الشحنة تحث 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 الجسيم الغروانى بجذب طبقة حولها من الأيونات الموجبة . وتأتى هذه الأيونات الموجبة إما من المحلول العالق أو من سطح الجسيم 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 الجسيم الغروانى والأيونات حوله) بالطبقة الكهربائية الثنائية {١١، ١٢، ١٩} .

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



شكل (١١) أساسيات الرحلان الكهربائى، جهد زيتا [١١،١٢،١٩]

الأيونات الى تنافرها وحجزها بالقرب من الجسيم مكونة الجزء المنتشر من الطبقة الثنائية أو ما يسمى بالطبقة المنتشرة Diffuse layer . ينجذب الجسيم الغروانى 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 الجسيم الغروانى ، كما وتطرد الأيونات السالبة لأى أملاح موجودة من جوار الجسيم الغروانى . يعتمد سمك الطبقة المنتشرة على درجة تركيز الأملاح الموجودة فى المحلول . كما وأن طول الطبقة ينقص الى بضع أنقستروومات بزيادة تركيز الأملاح .

ويمكن تعريف جهد زيتا على إنه ذلك الجهد على السطح، والذى يقوم بفصل الجزء المتحرك من الطبقة الثنائية عن الطبقة المنتشرة . وعليه فهو عبارة عن قياس شحنة الطبقة المنتشرة على وحدة مساحة الجسم الغروانى، وقياس لمدى الشحنة من جسم المادة الغروانية. ويمكن إيجاد جهد زيتا من المعادلة ٢٦.

$$ZP = (4*\pi*B*q^{+}) / D_I \qquad (٢٦)$$

حيث :

ZP = جهد زيتا (فولت) .

B = سمك الطبقة الجدارية Boundary layer .

q^{+} = الشحنة فى الجسيم الغروانى .

D_I = ثابت العزل Dielectric constant .

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

$$U = (y*A) / (t*i*R_s) \qquad (٢٧)$$

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

$$ZP = (4*\pi*F*U) / D_I \qquad (٢٨)$$

حيث :

F = درجة اللزوجة الديناميكية (نيوتن×ث/م^{٢}) .

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 ٢×١٠$^{-٤}$ الى ٤×١٠$^{-٤}$ 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 إختبار الوعاء Jar test. ومن الأهداف العامة لهذا الإختبار :

- تحديد كفاءة عمل المروبات المختلفة .
- تحديد الجرعة الأمثل Optimum dose لعملية الترويب .
- إيجاد الرقم الهايدروجينى الأمثل لعملية الترويب .
- تحديد أفضل وأكفأ نمط للعديد من المروبات المختلفة .

وطريقة الإختبار يمكن تلخيصها فى النقاط التالية :

١- تملأ ٦ كؤوس سعة ٢ لتر بمقدار معلوم من العينة المراد إختبارها .

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 الهايدروجينى الأمثل لبعض المروبات

جدول (٢)

الرقم الهايدروجينى الأمثل لبعض المروبات المختارة {١١}

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

أمـــا التلبـد للجسيمات الغروانية فيتم على مرحلتيـن تسمى الأولـى التلبـد حول الحركـى Perikinetic floculation ، ويدعى الثانى التلبد المتحرك فى نفس الأتجاه Orthokinetic floculation . إن التلبد حول الحركى يمثل المرحلة الأولى من التلبد . وفى هذا النوع تلتصـق الجسيمات ببعضهـا البعـض أثنـاء حركتها العشـوائية 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 تقل عن الدقيقة. ويمكن تمثيل معدل التلبد حول الحركى كما مدرج فى المعادلة ٢٩ .

$$I_{pk} = 8\,\pi^{*}C_{DM}{}^{*}d^{*}n5 \qquad (٢٩)$$

حيث :

I_{pk} = معدل التلبد حول الحركى .

C_{DM} = معامل الإنتشار .

d = المقاس الأولى للجسيم .

n = عدد التصادمات .

أما التلبد المتحرك فى نفس الإتجاه فيمثل المرحلة الثانية من التلبد. وفيـه تتحـرك الجسيمات مـع بعضهـا البعض بواسطة حركة الماء الهادئة. ويعتمد معدل التلبد على طبيعة الجسيمات، ومقاسها، وتركيز المـواد الصلبة، وميل سرعة القص للسائل. ويمكن تقدير التلبد المتحرك فى نفس الإتجاه من المعادلة ٣٠ .

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

حيث :

I_{orth} = التلبد المتحرك فى نفس الإتجاه .

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 . وعليـه فإن الحبيبات ذات المسار السريع يمكن أن تلحق وتصطدم مع الحبيبات ذات المسار البطئ الإندفاق. ويمكن إيجـاد القـدرة اللازمـة لتحريـك البدال عبر المائع من المعادلة ٣١ .

$$w = \rho^{*}C_{D}{}^{*}(A^{*}v^{3}/2) \qquad (٣١)$$

حيث :

w = القدرة اللازمة لدفع البدال عبر المائع (جول/ث) .

ρ = كثافة المائع (كجم/ م^{٣}) .

C_D = معامل السحب .

A = مساحة البدال (م^2) .

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

عادة تكون القدرة المطلوبة فى حدود ٢ الى ٥ كيلووات على المتر المكعب على الدقيقة .

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

$$G = \sqrt{(w/\mu * V)} \qquad (٣٢)$$

حيث :

G = ميل السرعة (على الثانية) .

μ = درجة اللزوجة الديناميكية (نيوتن×ث/م^2) .

V = حجم الحوض (م^3) .

ويعتمد ميل السرعة الذى يقع بين ٣٠ الى ٦٠ (على الثانية) على التصميم الهندسى {٢٠} . وبما أن الزمن من المعايير المهمة فى عملية التلبد، فعادة فى التصميم الهندسى تؤخذ مقادير G*t لتقع فى حدود ١٠×١ ^{٤} الى ١٠×١ ^{٥} حيث t هى زمن المكث فى جهاز الترويب .

مثال ٥ :

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

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

أوجد 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 /ث ، V = ٣٠٠٠ م^3 .

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

μ = ١,٠٠٩×١٠$^{-٣}$ نيوتن×ث/م^2 ، ρ = ٩٩٨,٢ كجم/ م^3 .

٣- أوجد متطلب القدرة النظرية بإستخدام المعادلة

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

$w = ١٠٠٠,٩ \times ١٠^{-٣} \times (٦٠)^٢ \times ٣٠٠٠ = ١٠,٩$ كيلووات .

٤- أوجد سرعة البدال = ٠,٧٥ × (سرعة طرف البدال)

= ٠,٧٥×٠,٦ = ٠,٤٥ م/ ث .

٥- أوجد مساحة البدال المطلوبة من المعادلة

$$A = (2w) / (\rho * C_D * v3)$$

$A = (٢ \times ١٠,٩ \times ١٠^{٣}) \div [٩٨٨,٢ \times ١,٧ \times (٠,٤٥)^٣] = ١٤٢$ م^٢ .

أما طرق تغذية المروبات فيمكن أن تتم بأحد هذه الطرق :

- تغذية جافة : وهـذا 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 الخلـــط . 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 :

$$Al_2(SO_4)_3 \longrightarrow 2Al(H_2O)_6^{3+} + 3SO_4^{=}$$

٢- الحلمـــأة (الإذابة بالماء) Hydrolysis : الحلمأة تعنى إنتاج هايدروكسيدات معقدة عالية الشحنة من جسيمات المعدن وحجز الحبيبات المتفردة فى المترسب الكيميائى. وكمثال لذلك :

$$[Al(H_2O)_6]^{3+} + H_2O \xrightarrow{pH = 1.5} [Al(H_2O)_5OH]^{2+} + H_3O^+$$

$$[Al(H_2O)_5OH]^{2+} + H_2O \xrightarrow{pH = 2} [Al(H_2O)_4(OH)_2]^{+} + H_3O^+$$

$$[Al(H_2O)_4(OH)_2]^{+} + H_2O \xrightarrow{pH = 4.5} [Al(H_2O)_3(OH)_3] + H_3O^+$$

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

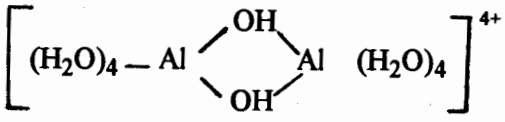
$$[Al(H_2O)_3(OH)_3] + H_2O \xrightarrow{pH = 8} [Al(H_2O)_2(OH)_4]^{-} + H_3O^+$$

وبذا تزداد القلوية بزيادة الرقم الهايدروجينى .

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

$[Al_6(OH)_{15}]^{3+}$ و $[Al_7(OH)_{17}]^{4+}$ و $[Al_8(OH)_{20}]^{4+}$ و $[Al_{13}(OH)_{34}]^{5+}$

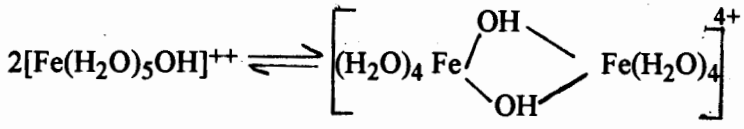
وفى الواقع يمكن تمثيل تكوين الأنواع متعددة النووية Polynuclear كما فى النموذج الموضح أدناه



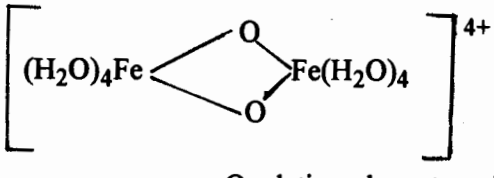
وهذه العمليات المعقدة يمكن تبسيطها فى المعادلة التالية

$$Al_2(SO_4)_3 + 6H_2O \rightleftharpoons 2Al(OH)_3 + 3H_2SO_4$$

وبالنسبة لحلماة أملاح الحديد فيمكن تمثيلها كما يلى :



وتسمى بنزع الماء Olation, dehydration .



وتسمى إضافة الماء Oxolation, depeotonation .

ويمكن تمثيلها بصورة مبسطة كما موضح أدناه :

$$Fe^{+++} + 6H_2O \rightleftharpoons Fe(OH)_3 + 3H_3O^+$$
$$3H_3O^+ + 3HCO_3^- \rightleftharpoons 3CO_2 + 6H_2O$$

وعليه تكون معادلة التفاعل الكلى كما يلى:

$$Fe^{+++} + 3HCO_3^- \rightleftharpoons Fe(OH)_3 + 3CO_2$$

٢ - ٤ - ٤ التهوية

يمكن تعريف التهوية على أنها الطريقة التى 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 لتسهل إزالتهما .
- التخلص من كبريتيد الهايدروجين للحيلولة دونما حدوث طعم ورائحة ولتقليل تآكل الفلزات وتفتيت الخرسانة .
- إزالة ثانى أكسيد الكربون لتقليل درجة تآكل الماء للمواد ولموازنة الرقم الهايدروجينى .
- 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 توخى 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 والتىتنشر الماء فى شرائح وبذا تسهل تهويته. كما يمكن إتمام عملية التهوية بالتهوية الميكانيكية، وفيها ينتشر الهواء فى شكل فقاقيع فوق السطح، وهى ذات مساحة سطح كبيرة .{٤، ٦، ٧، ١٣، ٢٢، ٢٣، ٢٤، ٢٥، ٢٦}
إن أجهزة التهوية بالمساقط فى 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 الذى يمكن إذابته فى الماء على عدة عوامل منها: طبيعة الغاز، ودرجة تركيز الغاز فى حيز الغاز، ودرجة حرارة الماء ، وكمية الشوائب الموجودة فى الماء . عندما تزداد درجة الحرارة تزداد قابلية ذوبانية الغاز . وكلما زادت كمية الشوائب فى الماء كلما قلت قابلية الغاز للذوبان .
وعندما تزداد درجة تركيز الغاز فى حيز الغاز، كذلك تزداد درجة تركيز الغاز للتشبع فى الماء طبقا للعلاقة الموضحة فى المعادلة ٣٣ .

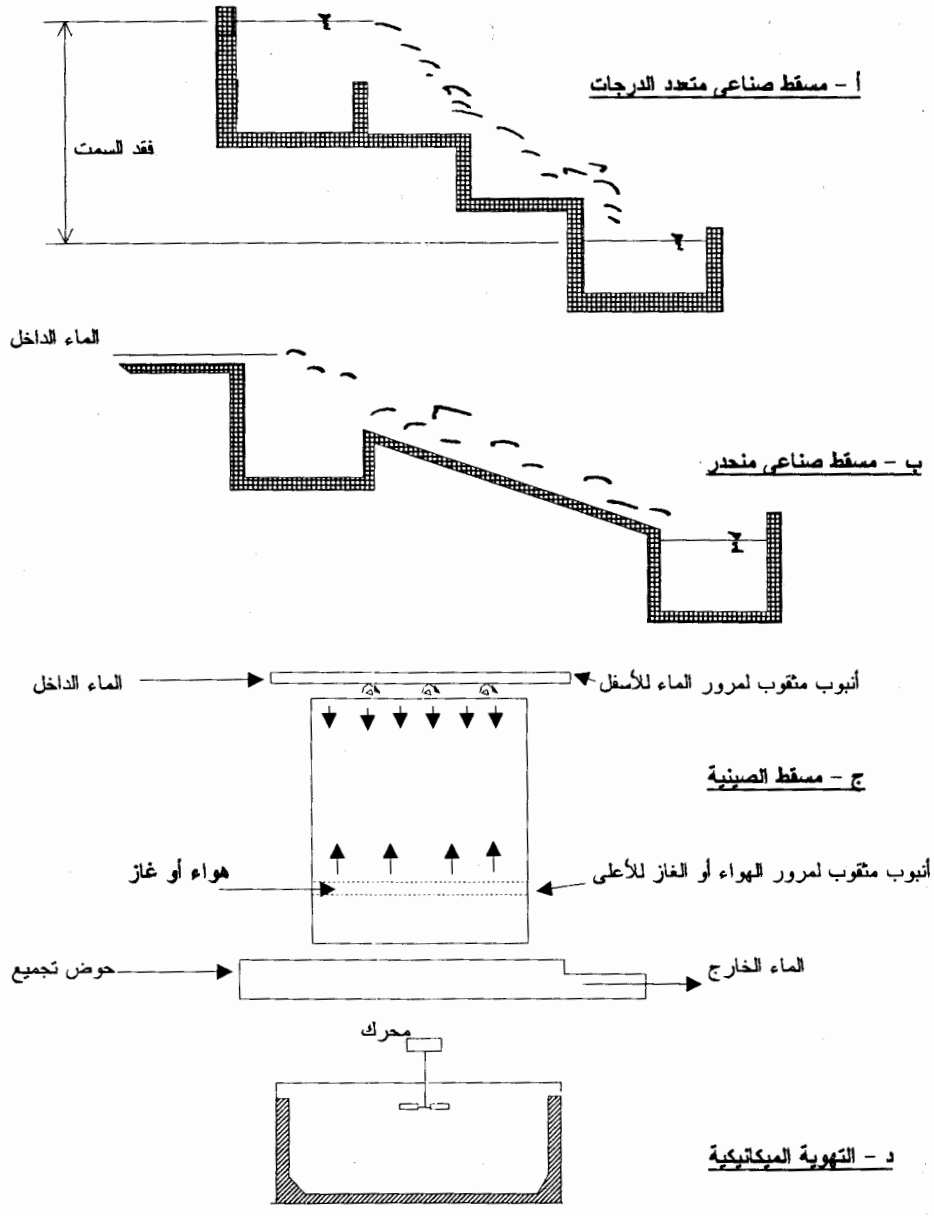
$$C_s = k_D * C_g \qquad (٣٣)$$

حيث :

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

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

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



شكل (١٢) بعض أنواع أجهزة التهوية

جدول (٣)
معامل التوزيع لبعض الغازات فى الماء

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

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

$$C_g = P*MW / R*T \qquad (٣٤)$$

حيث :

C_g – درجة تركيز الغاز فى حيز الغاز (ملجم/ لتر) .

P – الضغط (باسكال) .

MW – الوزن الجزيئى للغاز .

R – ثابت الغاز العالمى (جول/ كلفن×مول) .

T – درجة الحرارة (كلفن) .

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

$$C_s = k_H*P \qquad (٣٥)$$

حيث :

k_H – ثابت هنرى (جم / م^3 × باسكال – جم / جول) .

وتبين المعادلة ٣٦ علاقة ثابت هنرى بالمتغيرات المؤثرة عليه .

$$k_H = k_D*MW / R*T \qquad (٣٦)$$

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

$$C_s = k_b*(MW*P) / R*T_o \qquad (٣٧)$$

حيث :

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

$$k_b = k_D*(T_o / T) \qquad (٣٨)$$

حيث :

k_b = ثابت بنزن للإمتصاص (جم/ جول) .

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

T = درجة الحرارة (كلفن) .

تنتج زيادة درجة الحرارة نقصانا فى 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 فى درجة الحرارة على معامل التوزيع كما مبين فى المعادلة ٣٩ .

$$(k_D)_2 = (k_D)_1 * e^{\lambda(T2 - T1)} \qquad (٣٩)$$

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 .

$$C_s = k_D*C_g / \varphi \qquad (٤٠)$$

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

$$dm/dt = - D*A*(Mc/Mx) \qquad (٤١)$$

حيث :

dn_i/dt = معدل تغير كتلة انتشار الغاز .

D = ثابت الإنتشار الجزيئي (م^2 / ث) (إنظر جدول ٤) .

A = المساحة (م^2) .

Mc/Mx = ميل درجة التركيز والتي تتغير بالإنتشار .

x = المسافة من المساحة البينة .

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

وهنالـــك 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

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

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

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

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 الإنتشار الجزيئى لبعض الغازات فى الماء

الغاز	ثابت الإنتشار الجزيئى (10^{-5} م^2/ث) درجة الحرارة (°م)		
	١٠	٢٠	٣٠
ثانى أكسيد الكربون	١,٣	١,٦٨	٢,٢٦
هيدروجين	٣,٩٨	٥,١٣	٦,٩
كبريتيد الهيدروجين	١,٠٩	١,٤١	١,٩
ميثان	١,١٦	١,٥	٢,٠٢
نتروجين	١,٢٧	١,٦٤	٢,٢
أكسجين	١,٣٩	١,٨	٢,٤٢

مثال (٦) :

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

الحل :

١- المعطيات $C_o = C_s \times ٠,٢$ ، $T = ١٨$ °م .

٢- أوجد كفاءة كل درجة من المعادلة $K = (C_e - C_o) / (C_s - C_o)$

$K = [(C_s \times ٠,٣٥) - \text{صفر}] / (C_s - \text{صفر}) = ٠,٣٥ = ٣٥$ بالمائة .

٣- أوجد درجة تركيـــز الأكسجين عند التشبع من جدول (ب) في الملاحق عند الحرارة ١٨ °م لتساوي $C_s = ٩,٥$ ملجم/لتر .

٤- أوجد درجة تركيز الماء الجوفي الداخل للمسقط

$C_o = C_s \times ٠,٢ = ٩,٥ \times ٠,٢ = ١,٩$ ملجم/لتر .

٥- أوجد درجة الأكسجين الخارج من الدرجة الأولى باستخدام المعادلة

$$C_e = C_o + K (C_s - C_o)$$

$C_{e١} = ١,٩ + ٠,٣٥ \times (٩,٥ - ١,٩) = ٤,٥٦$ ملجم/لتر .

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

$C_{eII} = ٤,٥٦ + ٠,٣٥ \times (٩,٥ - ٤,٥٦) = ٦,٢٨٩$ ملجم/لتر .

وهكذا درجة تركيز الأكسجين فى الماء الخارج من الدرجة الثالثة يساوى :

$C_{eIII} = ٦,٢٨٩ + ٠,٣٥ \times (٩,٥ - ٦,٢٨٩) = ٧,٤١$ ملجم/لتر .

$C_{eIV} = ٧,٤١ + ٠,٣٥ \times (٩,٥ - ٧,٤١) = ٨,١٤$ ملجم/لتر .

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

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

وحيث : $N = ٤$ ، $K_n = ٠,٣٥$ ، $C_o = ٣,٣٢٥$

فعليه :

$C_N = ٩,٥ - (١,٩ - ٩,٥) \times (١ - ٠,٣٥)^٤ = ٨,١٤$ ملجم/لتر .

٢ - ٤ - ٥ الترشيح

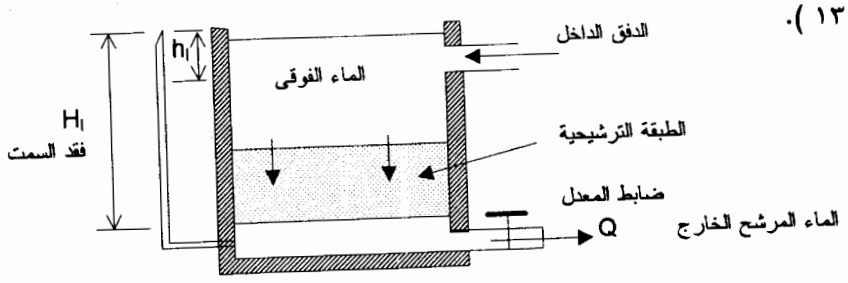
يعـرف الترشيـــح بأنه عملية فصل السائـــل مما يحويه من الجسيمات الصلبة عبر فاصل أو حاجز ذي مسامات تمنع مرور الجسيمات عبرها وتسمح بمرور الراشح .

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 البكتريا 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 ، والزجـاج ، واللدائـن ، والخرسـانة المسامية، والتربة Diatomaceious Earth. وقد أثبت الرمل محاسنه مقارنة بالمواد الأخرى المستخدمة كمادة ترشيحية .

(أنظر شكل ١٣).



شكل (١٣) رسم تخطيطى لفقدان السمت فى 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 الصابة 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 لاتنتج 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 ٤٤أ .

$$N = 12 \sqrt{Q} \qquad (٤٤أ)$$

حيث :

N = عدد مرشحات الرمل السريع .

Q = معدل دفق الماء ($م^3$ / ث) .

أما لإيجاد عدد مرشحات الرمل البطئ فيمكن استخدام المعادلة التجريبية المدرجة في المعادلة ٤٤ب .

$$N = 15 \sqrt{Q} \qquad (٤٤ب)$$

مثال (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: $Q = ١٠٠٠$ م^٣ / اليوم ، $v_f = ٨,٥$ م^٣ / م^٢ يوم

٢- أوجد عدد المرشحات بإستخدام المعادلة

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

$$N = ١٢ \quad [١٠٠٠ \div (٢٤ \times ٦٠ \times ٦٠)]^{٠,٥} = ٢$$

يمكن أخذ ٣ مرشحات (مرشح إحتياطي) .

٣- أوجد المساحة الكلية للمرشحات باستخدام المعادلة

$$A = Q / v_f$$

$$A = ١٠٠٠ \div ٨,٥ = ١١٧,٦ \text{ م}^٢$$

٤- أوجد مساحة كل مرشح من المعادلة

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

حيث :

A = المساحة الكلية .

A_n = وحدة مساحة كل مرشح .

وعليه فإن $A_n = ١١٧,٦ \div (٣ - ١) = ٥٨,٨$ م^٢

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 وكوزني Carman Kozny equation لإيجاد فقد السمت عبر المرشح .

(أ) معادلة روس :

إستخدم روس التحليل البعدي Dimentional Analysis لإيجاد فقد السمت خلال المرشح وتمثل المعادلة ٤٥ معادلة روس .

$$h_f = (1.067 * C_D * v^2 * l) / (g * d * \phi * e^4) \qquad (٤٥)$$

حيث :

h_f = فقد السمت للمرشح (م) .

C_D = معامل السحب أو معامل نيوتن للسحب .

$$C_D = (24 / Re) + (3 / \sqrt{Re}) + 0.34 \qquad (٤٦)$$

v_f = سرعة الترشيح (م / ث) .

l = إرتفاع الطبقة الترشيحية (م) .

g = عجلة الجاذبية الأرضية (م / ث^2) .

d = قطر حبيبات الرمل (م) .

ϕ = معامل 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 {٣،٨،٢٧}

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 السمت عبر الطبقة الترشيحية :

$$h_f = [E * (1-e) * v_f^2 * L] / (g * d * \phi * e^3) \qquad (٤٧)$$

حيث :

$$E = [150\ (1-e) / Re] + 1.75 \qquad (٤٨)$$

مثال (٨) :

إستخدم مرشح ثنائي الطبقات مكون من رمل وانثراسايت في محطة نتقية مياه له الخواص المدرجة أدناه:

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

١) أوجد فقد السمت خلال المرشح مستخدما معادلة روس.

٢) أوجد الخطأ المئوي المتوقع عند استخدام معادلة كارمن كوزني لإيجاد فقد السمت.

الحل :

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

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

v_f = ١٠ ÷ (٦٠×٦٠) = ٢,٧٨×١٠$^{-٣}$ م/ث .

٢) أوجد فقد السمت عبر الطبقة الترشيحية بإستخدام معادلة روس .

طبقة الإنثراسايت :

أوجد رقم رينولد $Re = v^*d / \nu$

حيث :

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

Re = ٢,٧٨ × ١٠$^{-٣}$ × ١,٨ × ١٠$^{-٣}$ ÷ ١,١٤ × ١٠$^{-٦}$ = ٤,٣٩

- أوجد معامل نيوتن للسحب :

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

C_D = (٢٤÷٤,٣٩) + [٣ ÷ (٤,٣٩)^{٠,٥}] + (٠,٣٤) = ٧,٢٤

أوجد فقد السمت عبر هذه الطبقة :

h_f = ١,٠٦٧ × ٧,٢٤ × (٢,٧٨ × ١٠$^{-٣}$)^{٢} × ٠,٧ ÷ (٩,٨١ × ١,٨ × ١٠$^{-٣}$ × ٠,٩ × ٠,٥ ^{٤})

= ٠,٠٤٢ م = ٤٢ ملم .

طبقة الرمل :

Re = ٢,٧٨ × ١٠^-٣ × ٠,٩ × ١٠^-٣ ÷ ١،١٤ × ١٠^-٦ = ٢,١٩

• أوجد معامل نيوتن للسحب :

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

C_D = (٢٤ ÷ ٢,١٩) + [٣ ÷ (٢,١٩)^٠,٥] + (٠,٣٤) = ١٣,٣١

أوجد فقد السمت عبر هذه الطبقة :

h_f = ١,٠٦٧ × ١٣,٣١ × (٢,٧٨ × ١٠^-٣)^٢ × ٠,٦ ÷ (٩,٨١ × ٠,٩ × ١٠^-٣ × ٠,٩٥ × ٠,٥^٤)

= ٠,١٢٥ م = ١٢٥ ملم .

فقد السمت الكلى على الطبقة الترشيحية = فقد السمت عبر طبقة الإنثراسايت + فقد السمت عبر طبقة الرمل

= ٤٢ + ١٢٥ = ١٦٧ ملم .

٣) أوجد فقد السمت عبر الطبقة الترشيحية بإستخدام معادلة كارمن وكوزنى

طبقة الإنثراسايت :

Re = ٤,٣٩

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

E = [٤,٣٩ ÷ (٠,٥ - ١) × ١٥٠] + ١,٧٥ = ١٨,٨٣.

$h_f = [E*(1-e)*v_f^2*L] / (g*d*\phi*e^3)$ (٤٧)

h_f = [١٨,٨٣ × (٠,٥ - ١) × (٢,٧٨ × ١٠^-٣)^٢] ÷ [٠,٧ × ١,٨ × ٩,٨١ × ١٠^-٣ × ٠,٩ × (٠,٥)^٣]

= ٠,٠٢٦ متر = ٢٦ ملم .

طبقة الرمل :

Re = ٢,١٩ .

E = [١٥٠ × (٠,٥ - ١) ÷ ٢,١٩] + ١,٧٥ = ٣٦ .

h_f = [٣٦ × (٠,٥ - ١) × (٢,٧٨ × ١٠^-٣)^٢] ÷ [٠,٦ × ٠,٩ × ٩,٨١ × ١٠^-٣ × ٠,٩٥ × (٠,٥)^٣]

= ٠,٠٧٩ متر = ٧٩ ملم .

فقد السمت الكلى = ٢٦ + ٧٩ = ١٠٥ ملم .

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

= [(١٦٧ - ١٠٥) × ١٠٠] ÷ ١٦٧ = ٣٧ ٪ .

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

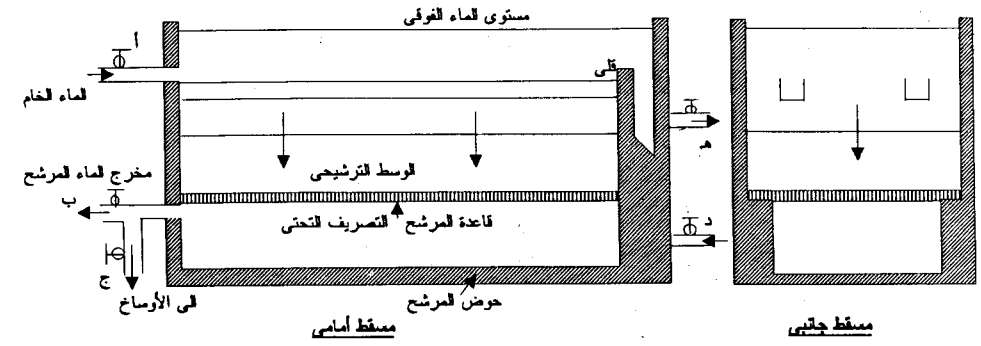
يبين الشكل (١٤) رسم تخطيطى لمرشح رملى سريع يتم فيه إدخال الماء الخام عبر الصمام (أ) لتنساب المياه عبر الطبقة الترشيحية ، ومن ثم عبر نظام التصريف التحتى لتمر خارج المرشح عبر الصمام (ب). ونسبة للإنسداد التدريجى لمسام الطبقة الترشيحية تزداد مقاومة مسار المياه الى الأسفل عبر الطبقة الترشيحية، مما يخفض من 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 الإتجاه المعاكس أو ما يسمى بالإجتراف الخلفى (أنظر الشكل ١٥). ولا بد أن يكون الإجتراف الخلفى كبير ليسمح بتمدد الوسط الترشيحى 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 :

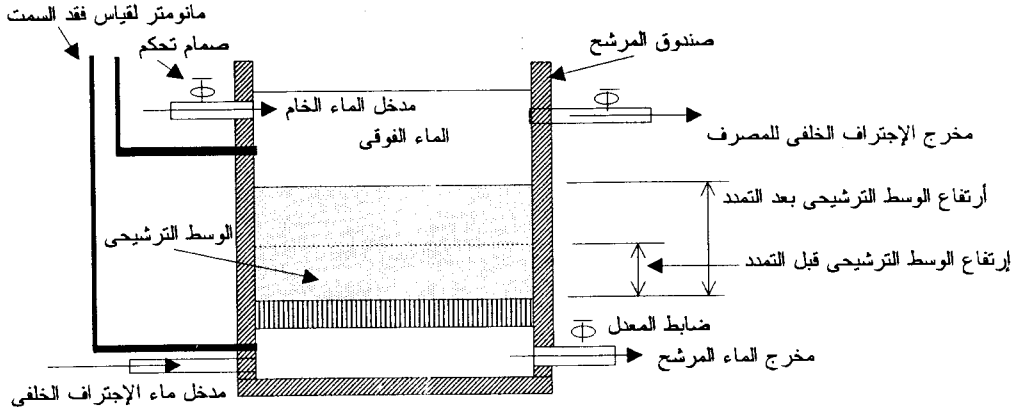
١- مرشحات ضغط المكبس (أنظر الشكل (١٦)): وفى هذه المرشحات توجد الطبقة الترشيحية ونظام التصريف التحتى داخل وعاء ضغط محكم ضد نفاذ الماء ومصنوع من الحديد أو من مادة مماثلة. ويمكن أن تكون قوة دفع الماء لإتمام عملية الترشيح كبيرة بحيث تسمح بالحصول على الزمن الترشيحى المطلوب. ومن المعروف أن مرشحات ضغط المكبس ليست سهلة التركيب والتشغيل والترميم والصيانة.

٢- مرشحات الدفق الرأسى المنساب الى أعلى (أنظر الشكل (١٧)): هذه المرشحات تساعد على الحصول على نظام متدرج من الترشيح من وسط ترشيحى خشن الى وسط ناعم. ويساعد الوسط الترشيحى الخشن فى إزالة أكبر قدر من الشوائب العالقة بدون زيادة كبيرة فى مقاومة الطبقة الترشيحية .

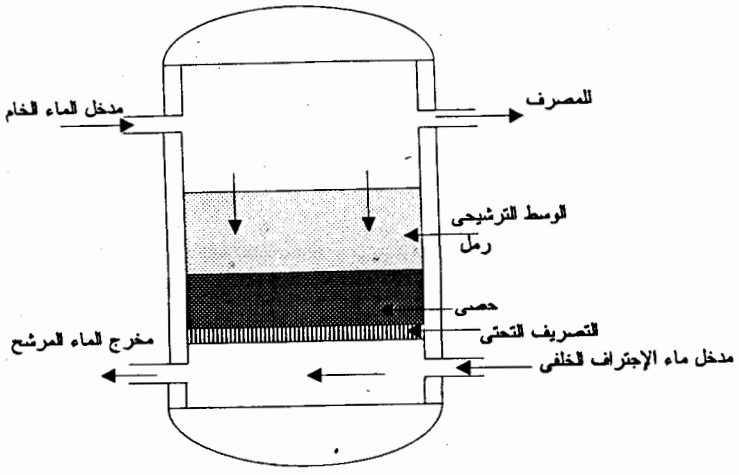
٣- المرشحات متعددة الطبقات (أنظر الشكل (١٨)): وهذه المرشحات تعمل تحت تأثير الجاذبية الأرضية، ويتكون المرشح من عدة طبقات ترشيحية تبدأ بالرمل الخشن ويتدرج الى الرمل الناعم فى إتجاه سريان الماء المرشح .



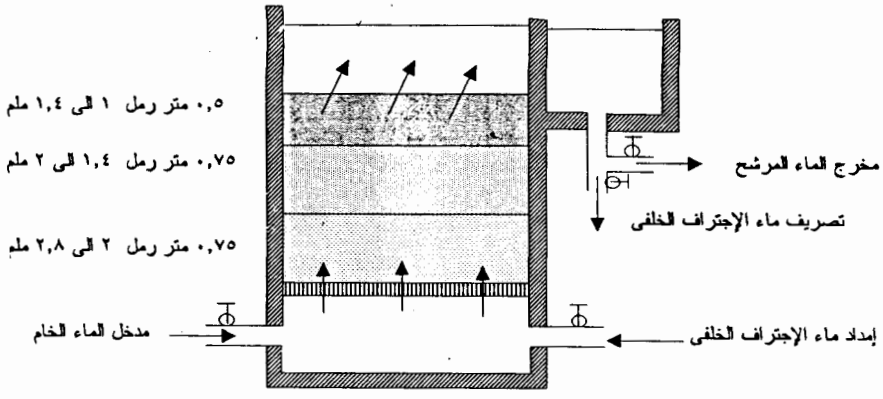
شكل (١٤) رسم تخطيطى لمرشح رملى سريع {١٤،١٧،٢٩}



شكل (١٥) رسم تخطيطى لنظافة مرشح رملى سريع بالإجتراف الخلفى {٢٩}



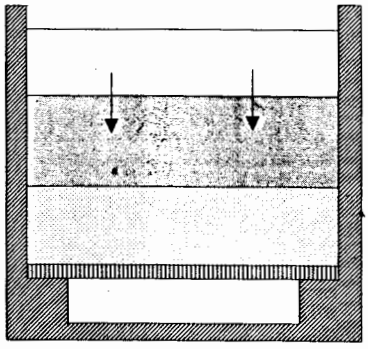
شكل (١٦) رسم تخطيطى لمرشح ضغط المكبس { ١٧،٢١،٢٩}



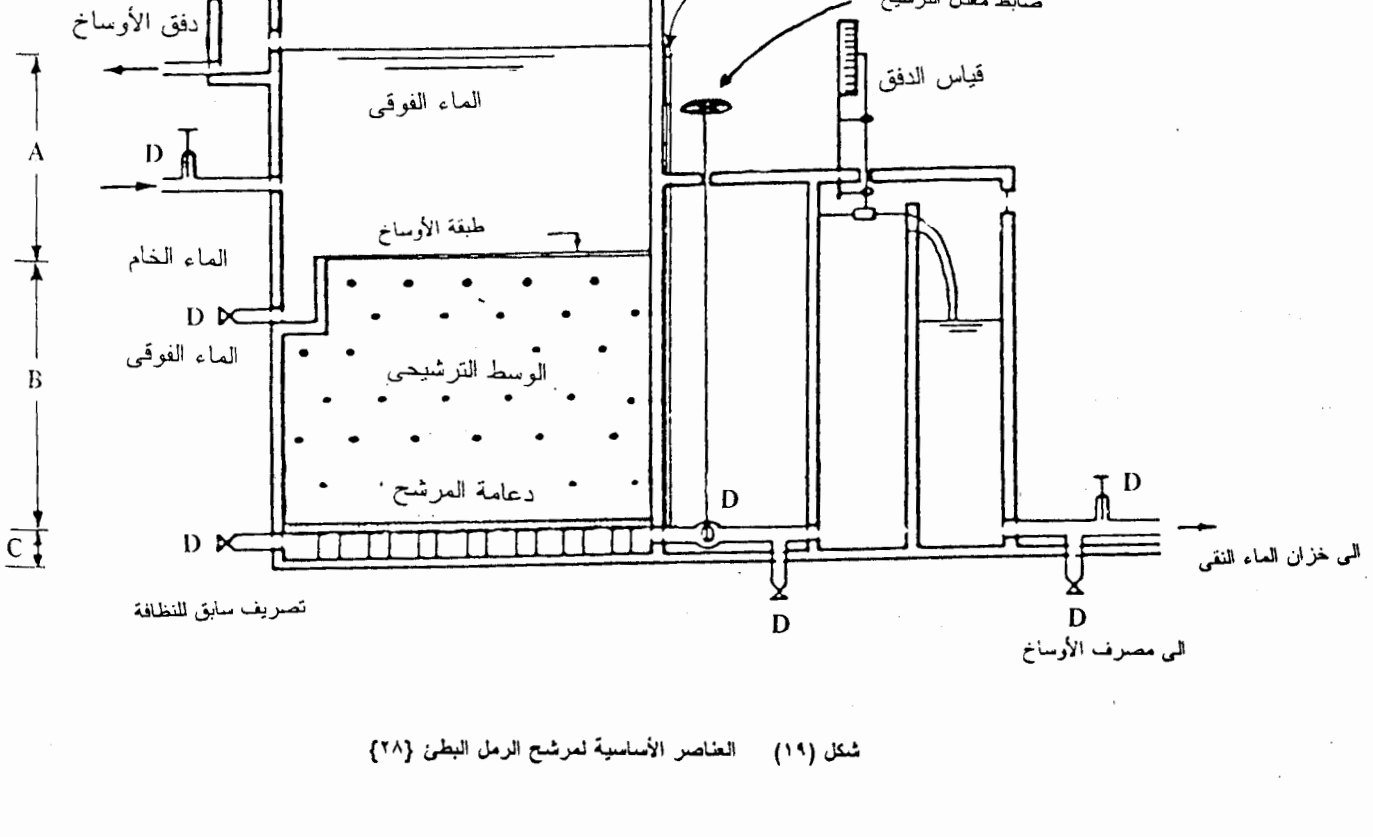
شكل (١٧) مرشح الدفق الرأسى المنسياب الى الأعلى { ١٤،١٧،٢٩}

مفتاح

يتكون الوسط الترشيحى من
٠,٦ أنثراسايت ١,٦ ملم، كثافة نوعية ١,٥
٠,٤ رمل ٠,٨ ملم، كثافة نوعية ٢



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



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

نواحي تصميم المرشحات

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

- إستخدام حبيبات رمل لا يقل قطرها عن ٠,٨ ملم.
- من المستحسن إستخدام عمق كبير للمرشـح . مثلا من المقترح إستخدام عمق ٦٠ الى ٨٠ سم للتنقية الدقيقة التالية للتخثر والتـــرسيب ، وعمق ٨٠ الى ١٢٠ سم للتنقية الإبتدائية السابقة للترشيح الرملى البطئ ، وعمق ١٥٠ الى ٣٠٠ سم لإزالة الحديد من المياه الجوفية مثلا {١٤} .
- قيمة سرعة الترشيح ٥ متر /ساعة .
- يـــؤخذ عمق الميـــاه 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 الترشيحى أثناء عملية الدفق الخلفى المستخدم لنظافة المرشح السريع .

مرشحات الرمل البطئ

يمثل الشكل (١٩) رسم تخطيطى لمرشح رمل بطئ. ويتكون المرشح من وسط ترشيحى من رمل نـاعم، تمر عبره المياه المراد ترشيحها. ويقوم المرشح بحجز الغالبية العظمـى من الشوائب العالقة فى الطبقة العليا من الوسط الترشيحى والتى لا تتجاوز عمق ٠,٥ الى ٢ سم. وهذا يساعد على نظافة المرشح والتى 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 :

- إنتـــاج 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 صيانته رخيصة .
- طريقة عمل المرشحات سهلة، خاصة للعامل مشغل المرشح .

ومن الملاحظ أن العيب الأساسى لإستخدام هذه المرشحات يكمن فى المساحـات الكبيرة التى تحتاجهـا المرشحـات . وهذه ربما تمثل عقبة 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 الترشيحى. 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 والذى يعمل على حمل الوسط الترشيحى ، 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 . تواجد 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 الترشيحى وتعمل على زيادة المقاومة تجاه سريان المياه أسفل المرشح، كما وأن الفقاعات المرتفعة والتى لها قد (مقاس) كبير تعمل على تكوين ثقوب فى الوسط الترشيحى مما يسمح بمرور المياه خلاله دونما الحصول على تنقية ملائمة .

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

جدول (٦)

مقارنة بين مرشحات الرمل السريع ومرشحات الرمل البطئ

المنشط	مرشحات الرمل السريع	مرشحات الرمل البطئ
أسباب التنقية	- فصل المواد الصلبة العالقة - التخلص من الجراثيم	- التخلص من الجراثيم - إتمام المعالجة
الوضع فى محطة التنقية	* بعد التلبيد والترويب أو بعد الترسيب	* مع أو بدون التلبيد والترويب، أو بعد مرشحات الرمل السريعة
الكفاءة	تعتمد على خواص الماء الخام وعلى معايير التصميم	
عكارة الماء الخام المسموح بها	عالية متوسطة (تقل عن ١٥ NTU)	
العمر التصميمى	(من ١٠ الى ١٥ سنة)	
العمر الإفتراضى	طويل نسبيا	
سرعة الترشيح م/ساعة	من ٥ الى ١٥	من ٠,١ الى ٠,٢
المساحة الكلية	دفق الماء ÷ السرعة الترشيحية	
مساحة كل وحدة ترشيح	المساحة الكلية + (عدد المرشحات - ١) A/(N - ١)، A/(N - ٢)	
الأبعاد	$L = 2A^*/\sqrt{(N+1)}$, $B = (N+1)^*L/2N$	
مقاس الحبيبات الفعال (ملم)	من ٠,٤ الى ٣	من ٠,١٥ الى ٠,٣٥
معامل الأنتظام C_U	أكبر من ١,٢ الى ١,٥	(أقل من ٣ الى ٥ (٢,٥، بالمتوسط)
إرتفاع الوسط الترشيحى (م)	من ٠,٦ الى ٣	من ٠,٨ الى ١,٢
إرتفاع الماء الفوقى (م)	من ١ الى ١,٥	من ١ الى ١,٥
أقل إرتفاع قبل إعادة وضع الرمل	يعتمد على التنقية	حوالى ٠,٥ متر
(عدد المرشحات (أقل عدد مرشحان)	$12^*\sqrt{Q}$	$15^*\sqrt{Q}$
فترة التشغيل	(٢٤، ساعة فى اليوم (لا يسمح بالتشغيل المتقطع)	
الفترة الزمنية بين عمليتى نظافة	من ١٢ الى ٧٢ ساعة	من ٢٠ الى ٦٠ يوما أو أكثر
مقاومة الوسط الترشيحى	من ١,٥ الى ٤ متر	
طريقة النظافة	بالإجتراف الخلفى بواسطة الماء أو بالماء والهواء	جرف الطبقة العليا بحدود ٠,٥، الى ٢ سم
إزالة الحمأة	يدويا أو ميكانيكيا (آليا) أو هايدروليكيا	
المادة المستخدمة لبناء المرشح	خرسانة، طابوق، طوب، مواد بلاستيكية	
الترميم والإصلاح	مستمر	
المخاطر	نمو الطحالب، التغير فى نوع الماء، الإنسداد	
مقاييس التحكم	فقد السمت، معدل الدفق، العكارة	
أهم المعايير النوعية التى يتم إختيارها	العكارة، الخواص الحيوية والميكروبولوجية	

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 والتى 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 ممتلئة 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 والعناصر الممتزة . والإمتزاز الطبيعى هو عملية عكسية، كما وأن المواد الممتزة لا تذوب فى المادة الصلبة المازة، غير أنها تبقى داخل أسطحها. أما الإمتزاز الكيميائى (أو التمزز 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 الإلتصاق 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، والغرابيل 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 .

$$(x/m) = k*C^{1/n} \qquad (٤٩)$$

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 الحبيبى لإزاة 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 منوية. وهنا فإن الملوثات العضوية الممتزة تتطاير أو تتكربن مما يساعد على التخلص منها، وبذا يستعيد الكربون نشاطه.

٢ – ٥ – ٢ طرق تحلية 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 .

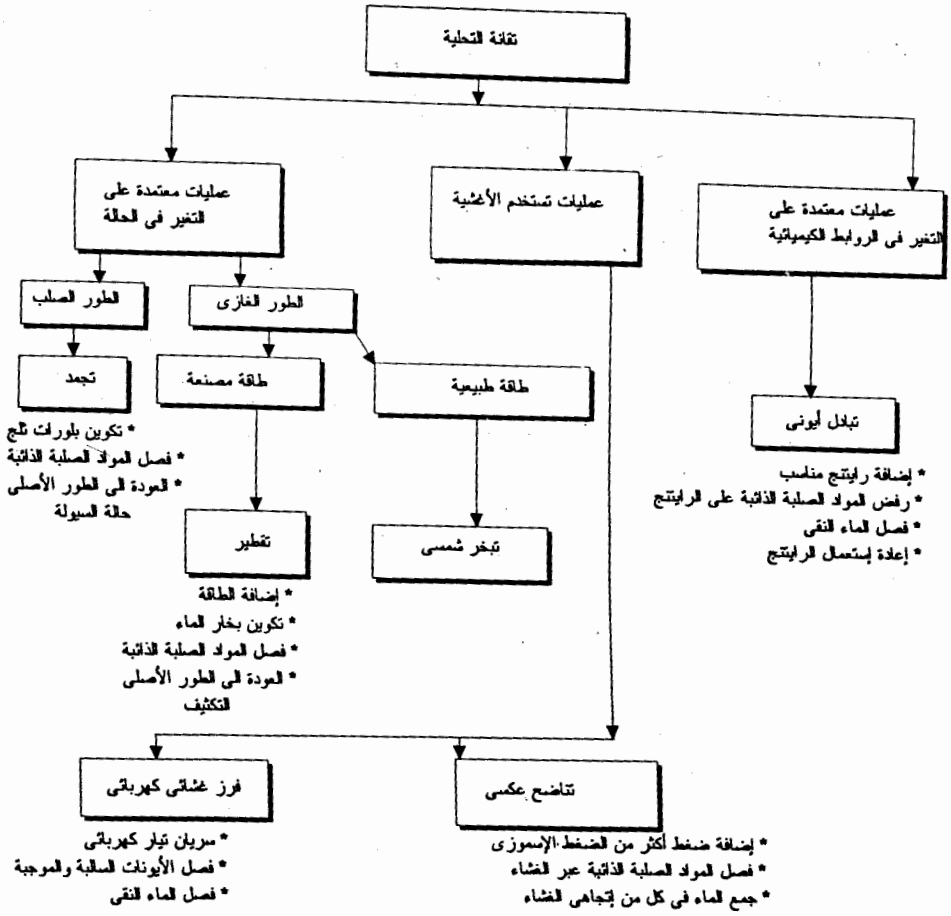
جدول (٧)
درجات تركيز المواد الصلبة الذائبة لعدد من أنواع المياه {٢٩، ٣٠، ٣١}

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 إتمام تحلية المياه بطرق عديدة منها التقطير، والتجمد، والتناضح العكسى، والديلزة. 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 (الديلزة)، والتجمد .

٢ – ٥ – ٢ – 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

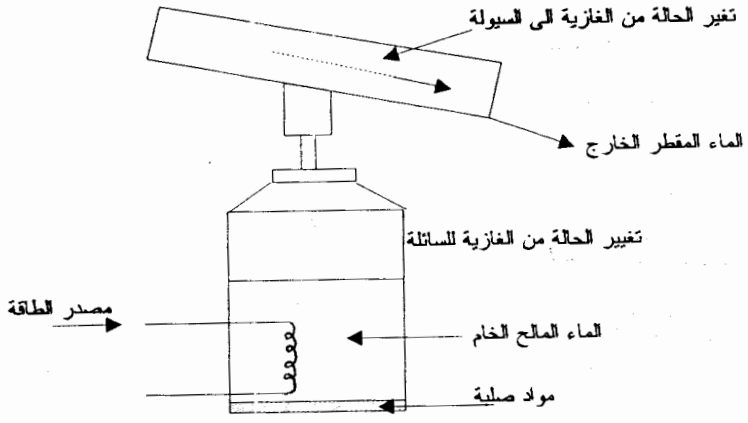
المواد الصلبة الذائبة ويسمى مسار المحلول الملحى المركز. ومن ثم يتم تكثيف البخار للحصول على الماء النقى .

ومن محاسن هذه الطريقة لتحلية الماء :

- التخلص من الجـــراثيم والكائنات الحية الدقيقة الضارة الموجودة فى الماء الخام من بكتريا وفيروسات وبروتوزوا وغيرها .
- التخلص من المواد الصلبة غير الطيارة التى يمكن أن تتواجد فى الماء الخام مثل الغازات الذائبة كغاز ثانى أكسيد الكربون والأمونيا (النوشادر) .

ومن محدات هذه الطريقة الترسبات، والتى تحد من أقصى درجة حرارة يمكن تحقيقها. ومن المواد الكيمياتية التى تزيد من الترسبات كبريتات الكالسيوم (الجبص)، والكربونات، والهايدروكسيد. وهذه الترسبات الحادثة على أسطح المبادلات الحرارية تعوق أداء الوحدات وتهدر الطاقة، وربما تم إغلاق المحطة ليتسنى إزالتها .

وطريقة التقطير تعتمد أساسا على التغير فى حالة المادة. وعادة يحتاج الى وحدتى 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 {٢٩،٣٠،٣١}

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

ويمكن تقسيم الترسبات الى الأنواع التالية :

أ) ترسبات قلوية : وهذه الترسبات تضم كربونات الكالسيوم وهايدروكسيد الماغنيسيوم نسبة لقلوية ماء البحر. وهذه الترسبات تحد من الدرجة القصوى للحرارة التى يمكن إستخدامها فى 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 الترسبات تصعب إزالتها لأنها لا تذوب فى 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 الهايدروكلور. كما ويتم التخلص من المترسبـــات بإضافة مواد كيميائية تمنع أو تحد من تكوين المترسبـــات . ومن هذه المـواد الكيميائية المواد العضوية مثل النشا، والدبغ Tannin، وبعض المستخلصات النباتية، والمواد متعددة الفوسفات المضافة مثل سداسى 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 وجـــرف المترسبـــات من على أسطـــح الأنـــابيب ويمكن مساعدة العملية بإضافة مواد مساعدة فى الكشط .

ومن الطرق المستخدمة أيضا لإزالة المترسبات تلك التى تعتمد على إزالة العناصر المكونة للترسب مثل أيونات الكالسيوم والماغنسيوم والبيكربونات والكبريتات. وتتم إزالة هذه الأيونات بإضافة أحماض لإزالـة البيكربونات ، وتبادل الكاتيونات عبر الراتينج لإزالة أيونات الكالسيوم ، وإضـــافة مركب كربونات الجير والمـــاغنسيوم لترسيب أيونات الكالسيوم وأيونات البيكربونات ، كمـــا ويمكن إستخـــدام الأغشية المنتقاة للأيونات لتمرير الأيونات أحادية التكافؤ عبر الغشاء ومنع الأيونات ثنائية التكافؤ من العبور، مثل أيونات الكالسيوم والماغنسيوم والكبريتات .

وهنالك 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 ، وهايدروكسيد الماغنسيوم ، والحبيبات الزجاجية وغيرها من المواد .

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

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

$$Q_i = U_i * A_i * \Delta T_i \qquad (٥٠)$$

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 الداخل لمبادل الحرارة .

$$\Delta T_i = T_o - T_i \qquad (٥١)$$

حيث :

T_o = درجة حرارة البخار الداخل لوحدة التقطير .

T_i = درجة غليان الماء فى الوحدة رقم i .

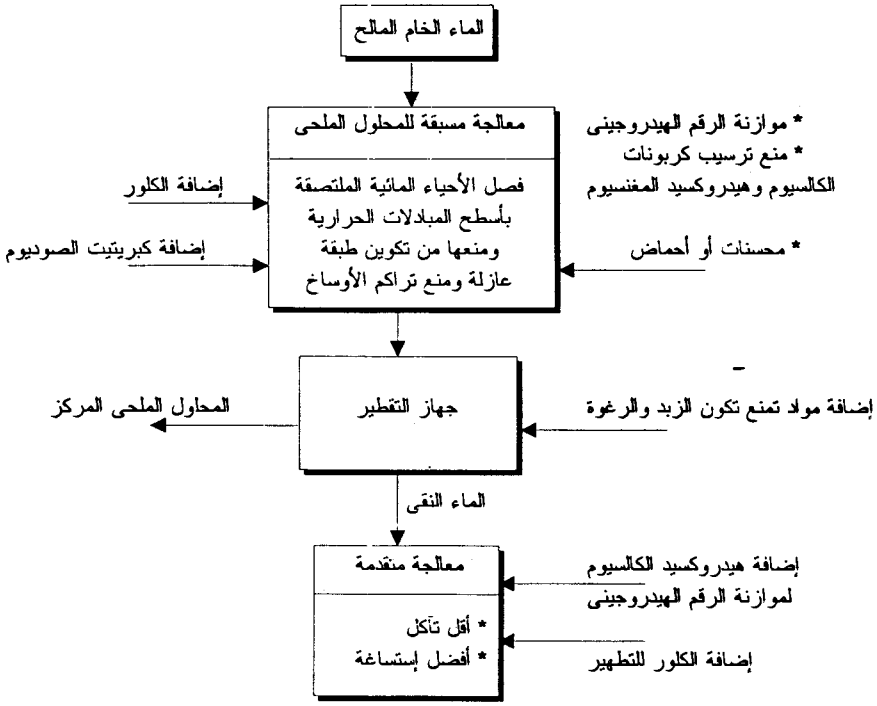
والحرارة التى تتحول الى طاقة كامنة للتبخر فى الوحدة الأولى تنتج كمية معينة من الماء المقطر. وهذه الكمية من الماء المقطر تستخدم كبخار فى الوحدة التالية ، وبهذه الطريقة تنشأ نفس الكمية من الحرارة الموجودة فى الوحدة الأولى فى الوحدة التالية . وبإفتراض مساحات متطابقة لمبادلات الحرارة ونفس الكميات من الحرارة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

$$U_i * \Delta T_i = c \qquad (٥٢)$$

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 . بإفتراض أن المراحل الثلاثة لها نفس مساحة مبـــادلات 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: $U_1 : U_2 : U_3$ = ٤,٨ : ٣,٢ : ١,٩ .

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

$$U_i * \Delta T_i = c$$

٣- أوجد النقصان الكلى فى درجة الحرارة بعد المرحلة الثالثة

$$\Delta T = \Delta T_1 + \Delta T_2 + \Delta T_3$$ = ١٢٠ - ٦٠ = ٦٠ م .

من المعادلة $U_i * \Delta T_i = C$

$$\Delta T_1 = C/U_1$$

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

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

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

وعليه

ΔT_1 = ٦٠ ÷ [١ + (٣,٢ ÷ ٤,٨) + (١,٩ ÷ ٤,٨)] = ١١,٩٤ م .

وبالمثل :

ΔT_2 = ٦٠ ÷ [(٣,٢ ÷ ٤,٨) + ١ + (١,٩ ÷ ٣,٢)] = ١٧,٩٠ م .

ΔT_3 = ٦٠ ÷ [(١,٩ ÷ ٤,٨) + (٣,٢ ÷ ١,٩) + ١] = ٣٠,١٦ م .

٢ - ٥ - ٢ - 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 الشمسى .

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 الساند زيادة على ذلك أثر تغير الموسم عليها .

٢ – ٥ – ٢ – ٣ التناضح العكسى Reverse osmosis (الإسموزية العكسية)

التناضح أو الإسموزية كلمة أشتقت من الكلمة الإغريقية Osmos والتى تعنى النبض. والتناضح هو عبارة عن إنتقال المذيب عبر غشاء شبه مسامى 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 الحلولى (الإسموزى). والضغط الحلولى 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 الحلولى 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 الهايدروستايكى على القوى الدافعة لفرق ضغط البخار. وبالنسبة للمذيب غير المنضغط فيمكن إيجاد الضغط الحلولى عند الإتزان كما موضح فى المعادلة ٥٣ .

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

حيث :

P_{osm} = الضغط الحلولى (ضغط جوى، جو)

R = ثابت الغاز العالمى لكل الغازات = ٠,٠٨٢ (لتر×جو/مول×كلفن)

= ٨,٣١٤ (جول/ كلفن×مول).

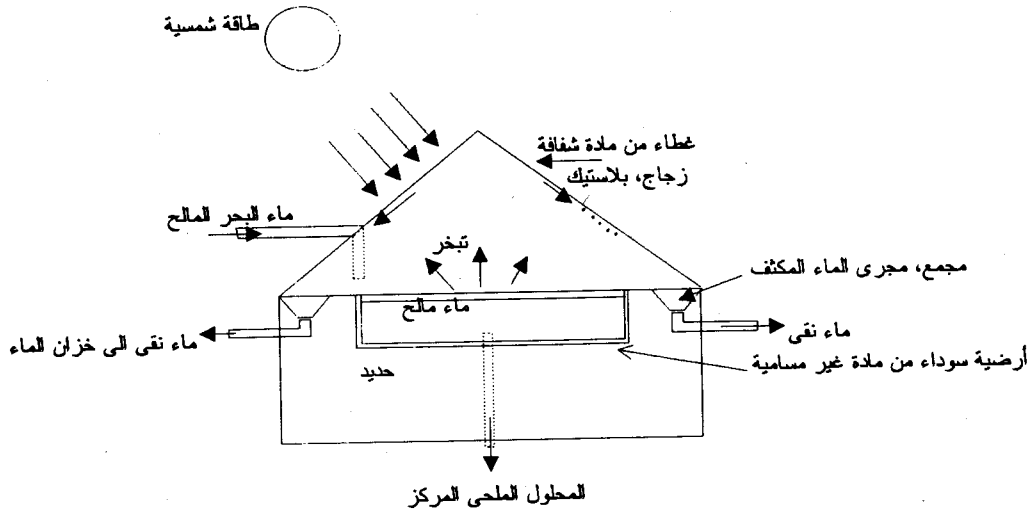
T = درجة الحرارة (كلفن) .

V = حجم المذيب على المول = ٠,٠١٨ لتر من الماء .

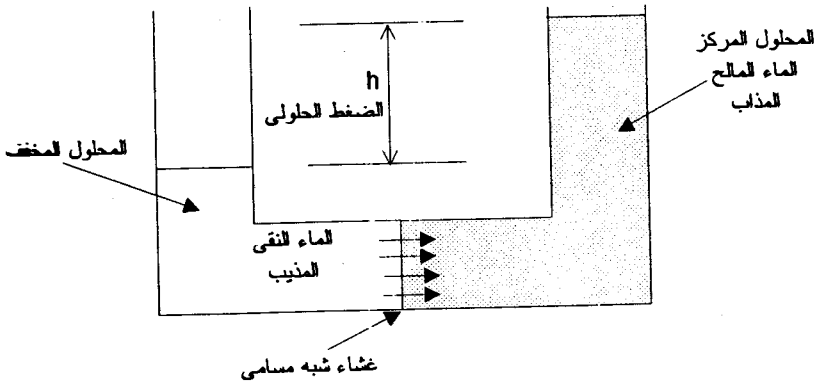
P_o = ضغط بخار المذيب فى المحلول المخفف .

P = ضغط بخار المذيب فى المحلول المركز .

ويمكن إيجاد ثابت الغاز العالمى من المعادلة ٥٤.



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



شكل (٢٤) التناضح والضغط الحلولى، الأسموزى

$$R = P*V / n*T \qquad (٥٤)$$

حيث :

P = الضغط .

V = حجم الغاز .

n = عدد المولات .

T = درجة الحرارة .

مثال ١٠ :

ضغط بخار محلول ملحى بدرجة حرارة ٢٠ م يساوى ٢,٢٩ كيلو باسكال. أوجد الضغط الحلولى 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_o = ٢,٣٣ كيلو باسكال

٣- أوجد درجة الحرارة بمقياس كلفن :

T = ٢٧٣,١٦ + ٢٠ = ٢٩٣,١٦ كلفن .

٤- أوجد الضغط الحلولى من المعادلة

$$P_{osm} = (RT/V)*\ln (P_o/P)$$

P_{osm} = (٢٩٣,١٦×٨,٣١٤) × لن (٢,٣٣ ÷ ٢,٢٩) = ٤٢,٢ 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 الحلولى للتركيز المولارى للحبيبات فى المحلول المركز كما مبين فى المعادلة ٥٥ .

$$P_{osm} = C*R*T \qquad (٥٥)$$

حيث :

P_{osm} = الضغط الحلولى (جو) .

C = التركيز المولارى للحبيبات (مولار M) .

R = ثابت الغاز العالمى لكل الغازات (لتر×جو/مول×كلفن) .

T = درجة الحرارة (كلفن) .

مثال ٢ :

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)
الكاتيونات (الشوارد الموجبة)	
Ca^{++}	٠,٢
Mg^{++}	٠,٥
Na^{+}	٠,٥
K^{+}	٠,١٥
الأنيونات (الشوارد السالبة)	
$SO_4^{=}$	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 الحلولى عبر الغشاء شبه المسامى .

الحل :

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

٢- أوجد درجة تركيز الأيونات المولارية بإستخدام المعادلة :

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

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

وعليه يمكن تركيز باقى الأيونات لتكون :

Mg^{++} = ٠,٠٢١ ، Na^{+} = ٠,٠٢٢ ، K^{+} = ٠,٠٠٤ ، $SO_4^{=}$ = ٠,٠٠١

HCO_3^{-} = ٠,٠٠٧ ، NO_3^{-} = ٠,٠١٦ ، Cl^{-} = ٠,٠١٧ .

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

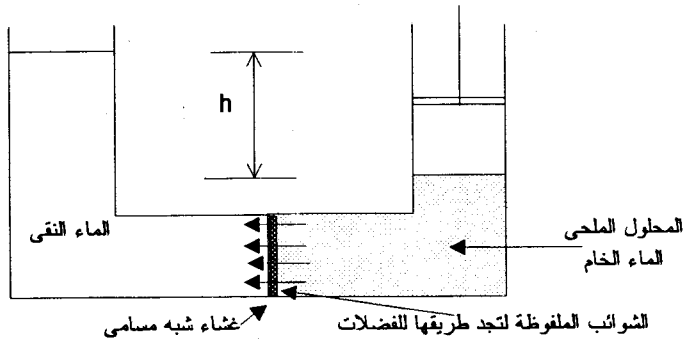
C = ٠,١٠٢ .

٤- أوجد الضغط الحلولى بإستخدام معادلة رولت بفرض أن المحلول مخفف

$$P_{osm} = C*R*T$$

$$P_{osm} = (٢٠ + ٢٧٣,١٦) \times ٠,٠٨ \times ٠,١٠٢ = ٢,٤ \text{ جو} .$$

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 الحلولى 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 بكتريا 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 تهيئة 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 الترسيب. ومن المعالجة المسبقة أيضا منع حلمأة الأغشية المصنعة من خلات السيللوز، ويتم هذا بموازنة الرقم الهايروجينى. 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 .

$$Q_w = k*A*(\Delta P - \Delta P_{osm}) / t \qquad (٥٦)$$

حيث :

Q_w = فيض الماء .

k = معامل نفاذية الغشاء لمرور الماء .

A = مساحة الغشاء .

ΔP = فرق الضغط العامل عبر الغشاء .

ΔP_{osm} = فرق الضغط الحلولى عبر الغشاء .

t = الزمن .

أما إنسياب الملح عبر الغشاء فيمكن إيجاده من المعادلة ٥٧ .

$$Q_s = k_s*A*\Delta C_s / t \qquad (٥٧)$$

حيث :

Q_s = فيض الأملاح .

k_s = معامل نفاذية الغشاء للملح .

A = مساحة الغشاء .

ΔC_s = فرق درجة تركيز المواد الذائبة عبر الغشاء .

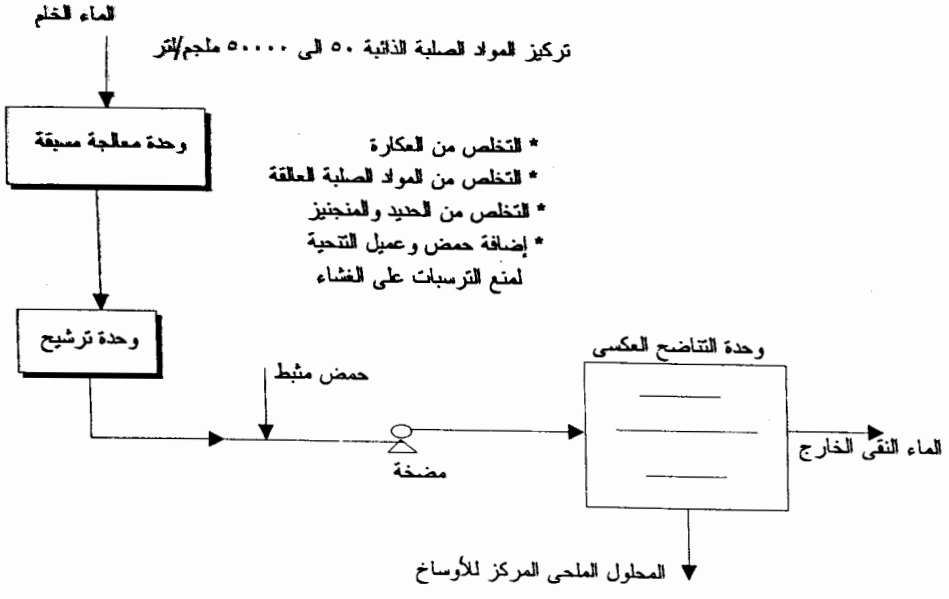
t = الزمن .

ولرفع كفاءة عملية التناضح العكسى لا بد من الإختيار 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 التشييد فى وحدات الفرز الغشائى .
- لا بد أن يتحمل الغشاء الضغط الواقع عليه .
- لا بد أن يعطى الغشاء كفاءة جيدة وأداءا 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 خلات السيللوز Cellulose acetate)، والبوليميرات التجارية (مثل الكحول متعدد الفينيل Polyvinyl alcohol، ومتعدد رباعى فثالى متعدد الإثيلين Polyethylene tetraphthalate)، والعديد من البوليميرات المختلفة .

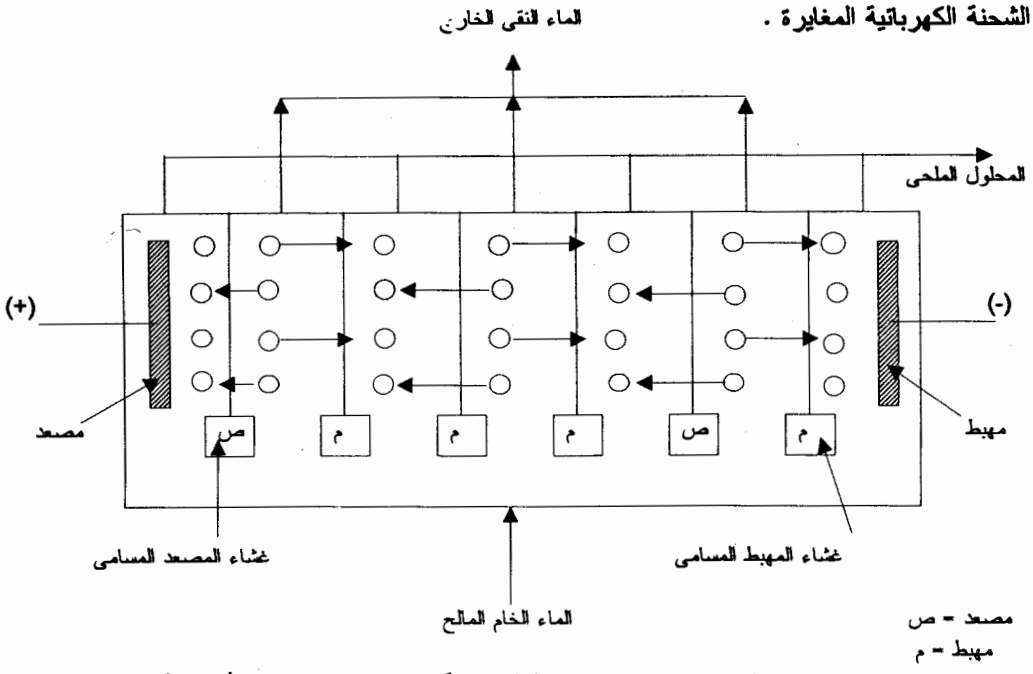
ويبين الشكل (٢٦) مخطط لوضع التناضح العكسى فى محطة تحلية مياه



شكل (٢٦) مخطط يوضح وحدة التناضح العكسى فى محطة التحلية {٢٩}

٢ – ٥ – ٢ – ٤ الفرز الغشائى الكهربائى (الديلزة) Electrodialysis

عملية الفرز الغشائى يتم فيها توصيل الأيونات من محلول الى آخر عبر غشاء إنتقائى للأيونات تحت جهد تيار كهربائى . وعادة يتكون جهاز الفرز الغشائى الكهربائى من صفوف تبادلية من أغشية إنتقاء شوارد موجبة وأغشية إنتقاء شوارد سالبة يمر خلالها تيار كهربائى. وتفصل الأغشية من بعضها البعض بحشايا gaskets لتكون حجرات يمر خلالها المحلول كما موضح فى شكل (٢٧)، {١٠، ٢٩، ٣٣}، ويتم إنشاء الأغشية بحيث أنها تسمح بمرور الأيونات المنتقاة. وهذه الأيونات تنبع من المواد المذابة فى الماء لتكون الشوارد الموجبة والشوارد السالبة. ويتم فى عملية الفرز الغشائى جذب الأيونات التى تحمل الشحنة الكهربائية المغايرة .



شكل (٢٧) رسم تخطيطى لعملية الفرز الغشائى الكهربائى أو عملية الديلزة {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 و٤٠ بالمائة من أيونات الصوديوم ، وعليه فهنالك 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 .

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

حيث :

i - كثافة التيار (أمبير*جم / سم^2) .

Eff_1 - كفاءة التيار لحمل الأيونات المضادة عبر الغشاء (٪) .

Eff - كفاءة التيار لحمل نفس الأيونات فى المحلول الملامس للغشاء (٪) .

Far - ثابت فرادى (= ٢٦,٨ أمبير×ساعة) .

C_{MD} - ثابت الإنتشار للإلكتروليت على درجة حرارة الحلمأة .

C_o - درجة تركيز الإلكتروليت فى داخل الحجرات .

C - درجة تركيز الإلكتروليت على السطح الفاصل بين الغشاء والمحلول .

B - سمك طبقة الإنتشار على السطح الفاصل .

وأقصى قيمة للتيار يمكن إيجادها عندما تكون C = صفرا فى المعادلة ٥٨، كما موضح فى المعادلة ٥٩

$$i_{max} = (100*Far*C_{MD}*C_o) / [B*(Eff_1 - Eff)] \qquad (٥٩)$$

حيث :

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

أما عيوب عملية الفرز الغشائى فتدرج فى الآتى :

- العملية غير إقتصادية لتحلية مياه البحر .
- يحتـــاج الى معالجة مسبقة ذات تكلفة عالية، لا سيما وأن هذه الطريقة حساسة بالنسبة الى الأيونات العضوية .
- تؤثـــر عليها المياه التى تكثر بها الكبريتات، إذ أن عملية الفرز الغشائى 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 ١٩:

أستخدم جهاز فرز غشائى 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 فى المحلول الملامس للغشاء = ٦٠ ٪ .

سمك طبقة الإنتشار على السطح الفاصل = ٠,٠٠٤ سم .

ثابت الإنتشار للإلكتروليت على درجة حرارة الحلمأة = ١٠$^{-٥}$ سم^2/ ث .

أوجد أقصى كثافة للتيار .

الحل :

١- المعطيـــات: $C_o = TDS$ = ٢٠٠٠ ملجم/ لتر ، Eff_1 = ٧٥ ٪ ، Eff = ٦٠ ٪ ،
B = ٠,٠٠٤ سم ، C_{MD} = ١٠$^{-٥}$ سم^{٢}/ ث .

٢- أوجد الكثافة القصوى للتيار من المعادلة

$$i_{max} = (100*Far*C_{MD}*C_o) / [B*(Eff_1 - Eff)]$$

i_{max} = (٢٦,٨×٦٠×٦٠ أمبير×ثانية)×(١٠$^{-٥}$ سم^{٢}/ ث)×(٢٠٠٠×١٠$^{-٣}$ جم/ سم^{٣})
÷ [(١٠٠×٠,٠٠٤ سم)×(٧٥ - ٦٠)] = ٣,٢×١٠$^{-٤}$ أمبير×جم/ سم^{٢} .

٢ - ٥ - ٣ الراتنجات لتبادل الأيونات Ion exchange resins

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

وعامة يمكن تقسيم الراتينجات الى :

- مبـــادلات شوارد موجبة : وهذه تقوم بتبادل الكاتيونات. وتقسم الى راتينجات ضعيفة الحمضيـــة (تحتوى على مجموعـــة كربوكسيل كمبادلات)، وراتينجات قوية الحمضية (تحتوى على أحمـاض سلفونية كمبادلات) .
- مبـــادلات شوارد سالبة: وهذه تقوم بتبادل الأيونات. ويمكن تقسيمها الى راتينجات ضعيفة القلوية (تحتوى على مجموعة أمينية)، وراتينجات قوية القلوية (تحتوى على مجموعة الأمونيوم) .
- مبـــادلات لأيونات محددة (المجموعات الإنتقائية): وهذه المبادلات تقوم بتبادل الشوارد الموجبـــة والسالبـــة على حد سواء. وتحتوى على كميات إنتقائية مناسبة لحجز أيونات محددة تفضلها على أيونات أخرى .

ويمكن تبسيط عملية تبادل الأيونات فى المعادلات التالية

$$Res^-H^+ + Na^+ \longrightarrow Res^-Na^+ + H^+$$

$$2\,Res\text{-}Na^{+} + Ca^{++} \longrightarrow Res_2\text{-}Ca^{++} + 2Na^{+}$$

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

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

ويمكن تقسيم طرق التطهير الى :

١) <u>طرق طبيعية (فيزيائية)</u> 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 والتى ترفع فيها درجة الحرارة الى ٨٠ م لمدة عشر دقائق لقتل الخلايا الحية .

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

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

جدول (٨)
طرق التطهير

الطريقة	المحاسن	المساوئ
أ) طرق طبيعية		
الأشعة فوق البنفسجية	* عملية سهلة الإنشاء والتشغيل * لا تتغير بحدها خواص السائل المطهر . * لا تتفاعل الأشعة فوق البنفسجيةمع المركبات الموجودة في السائل . * تحتاج الى زمن تلامس قليل . * لا تنتج روائح أو طعم . * لا تولد زيادة الإضافة مخاطر .	* لا يتكون باقي في السائل . * تحتاج الى 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 الى طاقة كبيرة وأجهزة غالية الثمن .
أيونات المعادن	* تستخدم كميات قليلة من الأيون * لا تنتج مواد سامة . *تنتج متبقى يحمى الصحة العامة * لا يعتمد عمل الأيون على تركيز الكائنات الدقيقة الموجودة . * تؤثر على أنواع عديدة من الجراثيم .	* تحتاج الى معالجة مسبقة مناسبة . * تتأثر بالتغير فى درجة الحرارة والرقم الهيدروجينى . * ذات تكلفة عالية . * تتأثر بالخواص الكيميائية للسائل المعالج .
ب) طرق كيميائية		
الكلورة	* الكلور فعال فى إزالة الجراثيم * طريقة جيدة يمكن الإعتماد عليها * تنتج متبقى للحماية ضد النمو الثانوى .	* تحتاج الى ضمان للإيفاء بالطلب . * تحتاج الى منطقة معينة ذات مواصفات محددة للتخزين . * قد يتفاعل الكلور مع المواد العضوية ويكون مركبات ضارة بالصحة . * مخاطر عند الترحيل والنقل .
الأزونة	* أكثر فاعلية وأكبر كفاءة من الكلور لمدى أكبر من الحرارة والرقم الهيدروجينى . * تحتاج الى فترات تلامس قليلة * لا تكون مركبات ضارة بالصحة * لا توجد مخاطر من تخزين المادة أو ترحيلها . * لا تنتج روائح مع مكونات السائل الواجب تطهيره . * تأتى بتطهير سريع وجيد .	* صعوبة الترحيل والتخزين لعدم ثبات الأوزون . * الأوزون قليل الذوبانية فى الماء . * يصعب قياس تركيز الأوزون فى الماء . *يحتاج الأوزون الى تقانة عالية لإنتاجه . * الأوزون غاز سام جدا . * لا ينتج متبقى يحمى الصحة العامة . * ذات تكلفة عالية لشراء الأجهزة والتشغيل وإحتياجات الكهرباء . * تحتاج الى معالجة مسبقة عندما تكثر المواد العضوية والطحالب . * تحتاج الى عمال مهرة للتشغيل .

٢) طرق كيميائية

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

ومن المواصفات المطلوبة للمادة المطهرة الجيدة ما يلى: {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 فى درجات التركيز المطلوبة لإتمام التطهير .
- أن تأتى ببقى بعد إتمام عملية التطهير .
- أن لا تسبب طعم أو رائحة أو لون للماء فى 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 فى 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 أكسدتها بالمادة المطهرة .
- خواص السائل المراد تطهيره (درجة العكارة، الرقم الهايدروجينى، 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 فى 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 الكهربائى Electrolysis لمحلول ملحى من كلوريد الصوديوم والصودا الكاوية والهايدروجين .
- قليل الذوبانية فى 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 الهايدروكلور Hydrochloric acid كما مبين فى المعادلة التالية :

$$Cl_2 + H_2O \rightleftharpoons HCl + HOCl$$

وتتأين الأحماض المتكونة الى :

$$HCl \rightleftharpoons H^+ + Cl^-$$

$$HOCl \rightleftharpoons H^+ + OCl^-$$

ويعتبر حمض الكلور HOCl (I) أكثر المطهرات فعالية، ويسمى الكلور المتواجد Available chlorine، ويحدث أكثر التطهير على الرقم الهايدروجينى الحمضى. ويعطى الجدول (٩) فكرة عامة عن القيم المقترحة لأقل كلور مطلوب لتطهير الماء وقتل البكتريا .

جدول (٩)

القيم الدنيا المقترحة للكلور المتبقى لتطهير المياه { ١٢، ٢٩}

الرقم الهيدروجينى	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 فى وجود الماء ليكون الكلورامينات على حسب التفاعلات الموضحة أدناه :

أحادى كلورامين $NH_3 + Cl_2 \rightleftharpoons NH_2Cl + HCl$

ثنائى كلورامين $NH_2Cl + Cl_2 \rightleftharpoons NHCl_2 + HCl$

ثلاثى كلورامين (ثلاثى كلوريد النتروجين) $NHCl_2 + Cl_2 \rightleftharpoons NCl_3 + HCl$

ويمكن وضع التفاعل النهائى كما موضح فى المعادلة أدناه :

$$NH_3 + 3Cl_2 \rightleftharpoons NCl_3 + 3HCl$$

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

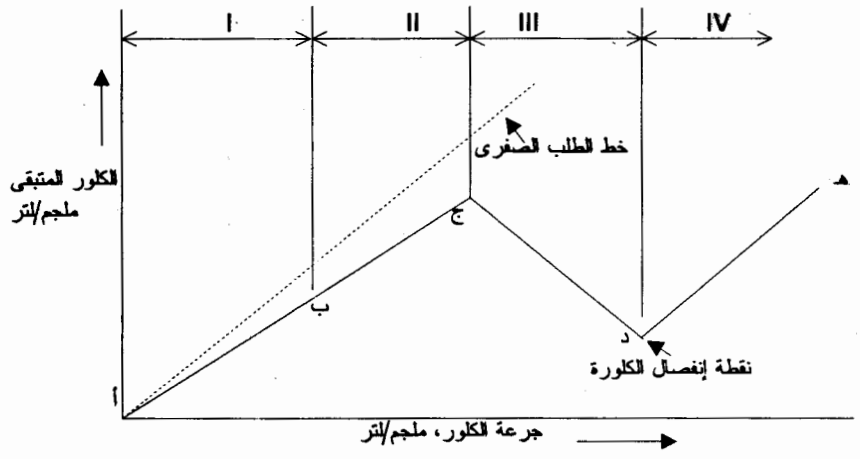
د) أكسدة المواد العضوية. ويتفاعل الكلور مع المواد العضوية مكونا ثلاثى هالوجينات الميثان Trihalomethanes وغيرها من المواد العضوية المكلورة. وتحتوى ثلاثى هالوجينات الميثان على الكلوروفورم ($CHCl_3$ Chloroform)، وثنائى كلوربروم الميثان (Bromodichloromethane $CHBrCl_2$)، وثنائى بروم كلور الميثان (Dibromochloromethane $CHBr_2Cl$)، والبروموفورم (Bromoform $CHBr_3$). وقد وجد أن الكلوروفورم مادة مسرطنة للحيوانات ويحتمل أن يكون مادة مسرطنة أيضا للإنسان {١٨} .

تتولد الأمونيا فى الماء من حلمأة البول طبقا للتفاعل المبين أدناه :

$$(NH_2)_2CO + H_2O \rightleftharpoons 2NH_3 + CO_2$$

أو ربما تنتج من تفسخ المواد العضوية مثل البروتين. وتفاعل الكلور مع الأمونيا يقود الى مفهوم نقطة إنفصال الكلورة Breakpoint chlorination، والتى تعرف بأنها كمية الكلور اللازمة لتحدث أقل كمية من الكلور المتبقى. ويبين الشكل (٢٨) تفاعلات الكلور مع الأمونيا فى وجود الماء. فمن المنطقة (أ) الى (ب) فإن إضافة الكلور تولد التفاعلات السريعة بين الكلور والعناصر الموجودة فى 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 وثنائى الكلورامين والتى تسمى الكلور المتحد المتواجد Combined available chlorine. ومن المنطقة (ج) الى المنطقة (د) فإن إضافة الكلور تقلل الكلور المتواجد بسبب إنتاج ثلاثى الكلورامين والنتروجين والتى لا تعتبر مواد مطهرة. وبإضافة مزيدا من الكلور يتم أكسدة كل الأمونيا فى النقطة (د) والتى تسمى نقطة إنفصال 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 البكتريا 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، أحادى وثنائى الكلورامين
III	أكسدة الكلورامين
IV	الكلور الحر المتواجد

شكل (٢٨) تفاعلات الكلور مع الأمونيا فى وجود الماء { ٢،٨،١٠،١٣،١٨،٢٩،٣٧،٣٨،٣٩،٤٠}

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 فى المعادلة ٦٠ .

$$(dN/dt) = - k*N \qquad (٦٠)$$

حيث :

N = عدد الجراثيم الحية فى الزمن t .

t = الزمن (يوم) .

k = ثابت (على اليوم) .

وعند تكامل المعادلة ٦٠ مع أخذ $N = N_o$ عند t = صفر، تنتج المعادلة ٦١ .

$$(N/N_o) = e^{-kt} \qquad (٦١)$$

حيث :

N = عدد الجراثيم الحية فى الزمن t .

N_o = عدد الجراثيم الحية فى الزمن صفر .

t = الزمن (يوم) .

k = ثابت (على اليوم) .

وتعتمد درجة قتل الجراثيم على عدد الجراثيم الموجودة أصلا. وعندما تكون للجراثيم نفس المقاومة فإن قتلها يتبع تنظيم أسى، وبذا فإن القتل الكلى لا يتحقق. وكفاءة التطهير تذكر كنسبة منوية لنسبة الجراثيم التى تم قتلها الى عدد الجراثيم الموجودة أصلا. ولا يسرى قانون جيك على كل الجراثيم، ويعتمد قتل الجراثيم على عوامل عدة متداخلة مع بعضها مثل: كفاءة المطهر للتغلغل فى نوى خلايا الكائنات الحية، والزمن اللازم للمطهر لإتمام هذا التغلغل، وكمية المطهر، وعدد ونوع الجراثيم المتواجدة. كما ويمكن إستخدام المعادلة ٦٢ لعلاقة تركيز الكلور وزمن التلامس .

$$C^n*t = k \qquad (٦٢)$$

حيث :

C = درجة تركيز الكلور (ملجم/ لتر) .

t = زمن التلامس (دقيقة) .

n, k = ثوابت تجريبية تتحقق لنظام معين .

وأثر التطهير فى درجة الحرارة يمكن إيجادة من معادلة هـ وف أرهيينيوس {٨، ١٠، ٢٩} الموضحة فى المعادلة ٦٣ .

$$\ln (t_1 / t_2) = [E'^*(T_2 - T_1)] / R \qquad (٦٣)$$

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:

مستخدما قانون جيك أوجد زمن التلامس اللازم لمطهر ليتمكن من تحقيق درجة قتل ٩٩,٩٩ بالمائة علما 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 = - (١ ÷ ٠,٠٦)× لو [(١٠٠ - ٩٩,٩٩) ÷ ١٠٠] = ٦٧ ثانية .

٢-٧ تمارين نظرية وعملية

٢-٧-١ 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 الإختلافات بينها مدعما 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 الإستفادة من رقم رينولد ورقم فرود في عمليات الترسيب ؟

(١٥) ما الفرق بين الترويب والتلبد ؟

(١٦) كيف تعمـــل مواد الترويب سالبة الشحنة الكهربائية وتلك التي لا تحمل شحنة كهربائية من المواد المتبلمرة ؟

(١٧) ما هو أثـــــــر زيادة الرقم الهايدروجيني على مادة كبريتات الألمونيوم عند استخدامها في عملية الترويب ؟

(١٨) مـــا الفرق بين جهد زيتا والجهد الكهرحركي أو الرحلان الكهربائي؟ وما فوائد إيجادها في عمليات المعالجة والتنقيه ؟

(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 السمت: 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 البطئ؟ أيهما تفضل لمدينتك ؟ ولماذا؟

(٢٦) إذكر فوائد عملية الإمتزاز في محطة تنقية المياه ؟

(٢٧) إذكـــر طرق تحلية المياه مع بيان محاسن ومساوئ كل طريقة ؟ أي من هذه الطرق تفضل لتحلية مياه جوفية مالحة ؟

(٢٨) إذكر الفرق بين التطهير والبسترة والتعقيم .

(٢٩) ماهي مساوئ كل من عمليات الكلورة والأزونة ؟

٢-٧-٢ تمارين عملية

(١) تتـــــرسب 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) صمـــم حـــوض ترسيب ماتي 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 إزالـــة الجسيمات (ب) الكروية الشكل وذات القطر البالغ ٠,٣ ملم في حوض الترسيب، علما بأن الحبيبات (ب) لها نفس الكثافة النوعية للحبيبات (أ). (الإجابة ٣٦٪) .

(٣) بلـــدة تعـداد سكانها ٩٥ ألف نسمة ومتوسط استهلاك الفرد للماء لديهم يبلغ ٢٨٠ لتر على اليوم. أشـــارت التجارب المخبرية أن عينة الماء البالغ حجمها ٥٠ مللتر تحتوي على ٩,٦٤ ملجرام من المواد الصلبة العالقة. وأشارت التجارب على جهاز عمود الترسيب إلى أن التوزيع المتردد التراكمي للحبيبات المترسبة تتبع خطا مستقيما 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 . إفترض أن الترسيب متفرد .

(أ) أوجد كفاءة حوض الترسيب .

(ب) أوجد درجة تركيز المواد الصلبة في السائل الخارج من وحدة الترسيب .

(جـ) أوجد زمن مكث الحوض (زمن الترسيب بالحوض)

(د) كيف يمكن تحسين الحوض بناءا على قيم أرقام فرود 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) إرسم منحنى التوزيع المتردد التراكمي للعينة للترسيب المتفرد .

(ب) أوجد النسبة المئوية لكفـــــاءة حوض الترسيب للتخلص من الشوائب والمواد العالقة، علما بأن مساحة الحوض تعادل ١٢٠ متر مربع ، والمـــــاء الداخل اليه ينساب بمعدل دفق 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 فى السائل النهائى 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 عمقـــــه ١,٢ متر صمم لســـرعة ترسيب تعادل ١ متر على الساعة . (الإجابة : ٧٥٪) .

(٦) استخدم جهاز ترسيب له الخواص التالية في محطة معالجة ضمن وحدات المعالجة الموجودة

المنشط	القيمة
درجة حرارة الخليط المترسب	٢٢ °م
معامل السحب للبدال المستطيل	١,٥
سرعة طرف البدال	ع
السرعة النسبية للبدال ÷ سرعة طرف البدال	٧٠ ٪
مساحة البدال	١٢٠ م^{٢}
ميل السرعة	٥٠ على الثانية
حجم جهاز الترويب	٢٠٠٠ م^{٣}

(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 علما بأن درجة حرارة الماء تعادل ٢٠ °م (الإجابة : ٣ درجات) .

٩) مرشح رملى 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 منسابة بسرعة ٥٠ سم فى الساعة . أوجد فقد السمت عبر المرشح بإستخدام معادلات فقد السمت . (الإجابة : ٧ ,١٠ ، ٦ ,٧ سم) .

١٠) أدخلت مياه سطحية ذات تركيز مواد صلبة يعادل ١٢٠ ملجم/ لتر الى مرشح رملى سريع بسرعة ٠,١ سم/ ثانية. علما بأن إحتياجات الماء المطلوبة تعادل ٢٥ مترا مكعبا على الدقيقة، أوجد :

أ) عدد المرشحات المطلوبة .

ب) مساحة المرشح الواحد . (الإجابة ١٠ إثنان إحتياطى ، ٥٢ متر مربع) .

١١) مـــــرشح رملى إرتفاع وسطه الترشيحى ٨٠ سم ، ومكون من حبيبات منتظمة معامل نفاذيتها ٤٠ بالمائة . إذا كانت سرعـــــة الترشيح ٦٠٠٠ لتر/ اليوم/ المتر المربع ، وأقصى فقد سمت محسوبا بمعادلة روس يساوى ٨٣ ملم ، أوجد متوسط قطر حبيبات الرمل المستخدمـــــة . هل هذا المقاس مقبـــولا ؟ (إستخدم معامـــــل لزوجـــة كينماتيكية يعـــادل ١,٣ × ١٠-٦ متر مربع/ ثانية) . (الإجابة ٠,٣ ملم).

١٢) مرشـــح رمل بطئ إرتفاع وسطه الترشيحى ١,٥ مترا ويتكون من رمـــل منتظم قطره ٠,٢ ملم ، ومعامل نفاذيته ٤٥ بالمائـــة . إذا كان فقد سمت المرشح محسوب بمعادلة كارمن وكوزنى يساوى ٨ سم ، أوجد السرعة الترشيحية للماء (الذى تصل درجة حرارته الى ٢٠م) عبر المرشح. أرسم فقد السمت لأرقام مختلفة من سرعة الترشيح. (الإجابة ٣,٦ م/يوم) .

١٣) جهـاز تقطير ثنائى المرحلة به مبادلات حرارية لها نفس المساحة، وتتناسب معاملات إنتقال الحرارة بها بنسبة ٥ الى ٣,٥ . أدخـــل بخار جاف على درجة حرارة ١٢٠ م للمرحلة الأولى من جهاز التقطيـــر. أوجد النقصان فى درجة الحرارة فى المرحلة الثانية عندما تكون درجة الحرارة ٦٠ م. (الإجابة ٣٥,٣ م).

١٤) محلول ملحى على درجة حرارة ٣٠ م له ضغط بخار يعادل ٤,١٣ كيلو باسكـــال . أوجد الضغط الحلولى 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)
بوتاسيوم	٠,٠٠٥	نترات	٠,٠٢
صوديوم	٠,٠٢	كبريتات	٠,٠١

أستخدم التناضح العكسى لتحلية المياه على ضغط ٢,٥ جو . أوجـد قيمة تركيز أيونات البيكربونات (ص) بالملجرام/ لتر. (الإجابة ١,٣ ملجم/ لتر) .

١٦) يمكـن إنتاج الكلوروفورم $CHCl_3$ من التفاعل الكيمياتى بين الكلور والميثان. ونواتج التفاعل هى الكلوروفورم وحمض الهـــايدروكلور. أوجد كمية الكلور اللازمـــــة لإنتاج ربع كيلو جرام من

١٧) أستخدم مسحوق تبييض لتطهير بئر جوفى نصف قطره ٠,٥ متر، وبه ماء على إرتفاع ٣ أمتـــار . أوجد كمية مسحوق التبييض المطلوبة لوضع جرعة تعادل ٦٠ ملجم/ لتر علما بأن تركيز الكلـــور 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

استخـــدمت طريقة التناضح العكسي لتحلية المياه، وكان فرق الضغط الحلولي بين طرفي الغشاء شبه المسامي الفاصـل 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) في محطـــة تنقية مياه استخدم الكلور لتطهير دفق المياه اليومي البالغ ١٤٠٠٠ متر مكعب. إذا تم استخـــدام ٤,٢ كجم من الكلور فى اليـــوم . أوجـــد مقدار جرعـــة الكلور المضافـة . (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 Edi., 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 Edi., 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) Callely, 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. edi.,"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) Buros, 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 Mc Carty, P. L., "Chemistry for Environmen tal 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., Edi., "Perry's Chemical Engineers' Handbook", 6th Edi., 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

الهايدرولوجيا وتلوث المياه

٣-١ مقدمة

الهايدرولوجيا (علم خصائص المياه ونواميسهـــا) 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 الهايدرولوجيا {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 ، ومنهـــا تجد طريقهـــا إلى البحر مـــرة أخـــرى (أنظر شكل ١ في 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 الإرصاد الجوى

إن الخصائص الهايدرولوجية 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 والنتح. ويختص علم الإرصاد 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 نزح كل الماء من هواء رطب داخل وعاء مغلق كما موضح فى المعادلة ١.

$$e = P - P' \qquad (١)$$

حيث :

e = ضغط البخار .

P = الضغط الكلى للهواء الرطب .

P' = ضغط الهواء الجاف .

وإن اقصى 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 المتشبع .

الرطوبة النسبية: هى النسبة المئوية لضغط البخار الحقيقى مقارنة الى ضغط البخار المتشبع. وعليه فإنها عبارة عن نسبة محتوى الندى فى حيز ما الى محتوى الندى الذى يمكن أن يحتويه الحيز عند التشبع.

$$h = 100 * e/e_s \qquad (٢)$$

حيث:

h = الرطوبة النسبية (٪) .

e = ضغط البخار الحقيقى .

e_s = ضغط البخار المتشبع (أنظر جدول (أ) في 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 المتشبع 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 التيرمومتر الرطب المغطى أقل من قراءة التيرمومتر الجاف وذلك نسبة للتبخر. وهذا الفرق فى القراءتين يسمى الإنخفاض 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 حبيبى desicant 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 تيرمومتر فى السائل. وتؤخذ نقطة الندى على أنها درجة الحرارة المتوسطة بين تلك التى

يظهر فيها التكثيف خلال التبريد ودرجة الحرارة التى 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 .

$$e_w - e = \gamma (t - t_w) \qquad (٣)$$

حيث :

e_w = ضغط الغاز الجزئى لمقياس الحرارة الرطب (توجد من جداول) .

e = ضغط الهواء .

t_w = درجة حرارة مقياس الحرارة الرطب .

γ = ثابت جهاز قياس الرطوبة (وبإفتراض أن سرعة الهواء عبر بصيلة مقياس الحرارة تزيد عن ٣ م/ث وأن درجة الحرارة مقدرة بالتدرج المنوى ولقيمة e المقدرة بالمللبار فإن γ = ٠,٠٦٦، وبالنسبة لقيمة e المقدرة بالمللمتر زئبق فإن قيمة γ = ٠,٠٤٨٥) .

مثال (١) :

كتلة من الهواء لها درجة حرارة ٢٢° م ورطوبة نسبية ٨٥ ٪. أوجد ضغط البخار المتشبع، وضغط البخار الحقيقى، والعجز فى التشبع، ونقطة الندى.

الحل :

١- المعطيات: t = ٢٨ °م ، h = ٨٥٪

٢- أوجد من جدول (أ) ولدرجة حرارة ٢٢ °م قيمة ضغط البخار المتشبع = e_s = ٢٦,٨٢ ملم زئبق

٣- أوجد ضغط البخار الحقيقى من المعادلة : $h = 100 * e / e_s$

$$٨٥ = ١٠٠ * e / ٢٦,٨٢$$

وعليه ضغط البخار الحقيقى = e = ٢٢,٨٥ ملم زئبق .

٤- العجز فى التشبع = $e_s - e$ = ٢٦,٨٢ - ٢٢,٨٥ = ٣,٩٧ ملم زئبق .

٥- أوجد نقطة الندى على أنها درجة الحرارة التى يتساوى عندها e_s و e ، وبما أن :

e_s = ٢٢,٨٥ ملم زئبق

فعليه ومن جدول (أ) ولقيمة e_s = ٢٢,٨٥ يمكن إيجاد درجة الحرارة وبذا نقطة الندى = ٢٥,٤ °م .

درجة الحرارة : من العوامل المؤثرة على درجة الحرارة خطوط العرض وأثر المسطحات المائية والأرض والإرتفاع عن سطح البحر وأثر المدن والغطاء النباتى .

الإشعاع : إن مصـــدر الطاقـة الأولـى لـدورة الميـــاه الطبيعيـة هـو عبر إشـعاع الطاقـة الحراريـة مـن 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 الـى عوامـل عديدة مثل : طـــول موجـة أشـعة الطاقـــة ، ومكونـــات الغـلاف الجـوى ، ودرجـة الحـرارة ، والإنعكاسات مـن والـى 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 المؤثـرة علـى الرياح فمن المتوقع أن إتجاه الرياح يكون من مناطق الضغط العالى الى مناطق الضغط المنخفـض ، كمـا وأن سرعة الرياح تتغير بتغير الضغط. ويمكن استخدام قانون بز بالوت Buys Ballot لمعرفة منـاطق الضغط. ونص القانون " إذا وقف مشاهد موليا ظهره للرياح فإن منطقة الضغط المنخفض تقع على شماله فى الجزء الشمالى من الكرة الأرضية، وتقع علىيمينه فى الجزء الجنوبى من الكرة الأرضية " {١} .
ويمكن قياس الرياح أو قوتها بمقياس الرياح Anemometer . كما ويمكن قيـاس إتجـاه الريـاح بـدوارة الرياح Wind Vane . ونسبة لعوامل الإحتكاك الأرضية والمسطحات المائية التى تهب عبرهـا الريـاح فمن الأهمية بمكان تحديد الإرتفاع عن سطح البحر عند أى قياس للرياح. وعلاقـة السـرعة مـع الإرتفـاع يمكن إيجادها من المعادلة ٤ .

$$u/u_o = (z/z_o)^a \qquad (٤)$$

حيث :

u_o = سرعة الرياح على الإرتفاع z_o .

u = سرعة الرياح على الإرتفاع الأكثر z .

a = مقدار يتغير مع تغير خشونة السطح واتزان الغلاف الجوى ، ويقع ما بيـن ٠,١ الـى ٠,٦ والقيمـة الغالبة (١ / ٧) .

مثال (٢) :
تم قياس سرعة الرياح لإرتفاعين ٥ و ١٠ متر ووجـدت القيـم الآتيـة ٦,٢٥ و ٦,٩٣ متـر/ثانيـة علـى الترتيب. أوجد سرعة الرياح لإرتفاع مترين .

الحل :

١- المعطيات: $u_o = ٥$ $z_o = ٦,٢٥$ $u = ١٠$ $z = ٦,٩٣$

٢- أوجد مقدار a من المعادلة ٤: $u/u_o = (z/z_o)^a$

$$٦,٩٣ \div ٦,٢٥ = (١٠ \div ٥)^a$$

وعليه: $a = ٠,١٥$

٣- أوجد سرعة الرياح لإرتفاع مترين من المعادلة :

$u_0 \div ٦,٢٥ = ٠,١٥ (٢ \div ٥)$

وعليه u_0 = ٥,٤٥ 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 الديناميكى أو التبريد الأدياباتى 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 السقيط Precipitation علىحسب العوامل المؤثرة على التصاعد وهى :

أ) السقيط التقليدى : ويسببه صعود الهواء الخفيف الساخن الى طبقات باردة وأكثر كثافة . وهذا النوع من السقيط موضعى وشدته تتفاوت من أمطار خفيفة الى عواصف رعدية .

ب) السقيط Orographic وينتج من الصعود الميكانيكى فوق قمم الجبال والمرتفعات. ومعظم الأمطار الساقطة تكون فى الميل المواجه للرياح .

ج) السقيط الإعصارى Cyclonic وينتج من صعود الهواء واتجاهه الى منطقة ضغط منخفض أو أعاصير ، وينقسم هذا النوع من السقيط 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 السقيط هذه متداخلة مع بعضها البعض مما يصعب معه تحديد نوع السقيط بالمنطقة {٥} . ويبين جدول (١) صور السقيط .

جدول (١)
صور السقيط {٥}

صورة السقيط	معدل السقوط (ملم/ساعة)
خفيف	٢,٥
متوسط	٢,٨ - ٧,٦
غزير	أكثر من ٧,٦

يمكن قياس كل أشكال السقيط اعتمادا على الإرتفاع العمودى للماء المتجمع فى سطح مستو وذلك عندما يستمر السقيط متواجدا فى منطقة السقوط. ويتم القياس باستخدام مقياس المطر Rain Guage . ومصادر الخطأ فى تسجيل القراءات بمقياس المطر يمكن إجمالها فى الآتى :

- خطأ فى قراءة تدريج المقياس .
- إزاحة بعض من المياه المجمعة .
- تغير فى منطقة الإستقبال .
- فقدان بعض الماء لاستخدامه لبلل القمع وداخل السطح .
- تدفق بعض من المياه من جامع المياه ومسجلها .
- عطب فى الأجهزة بسبب الرياح .
- ميلان جهاز قياس المطر.

ويقدر عمق هطول الأمطار فى منطقة ما بإحدى الطرق الآتية :

١) **طريقة المتوسط الحسابى** : وفى هذه الطريقة يوجد المتوسط الحسابى للأمطار الهاطلة من عدة محطات قياس . ويمكن استخدام المعادلة ٥ لحساب المتوسط الحسابى لمياه الأمطار .

$$P_{av} = \sum_{i=1}^{n} P_i/n \qquad (٥)$$

حيث :

P_{av} = متوسط الأمطار الهاطلة (ملم) .

P_i = مقدار الأمطار الهاطلة فى المحطة i (ملم) .

n = عدد المحطات .

٢) **طريقة مضلع ثايسن Thiessen Polygon** : ويفترض فى هذه الطريقة أن كمية الأمطار فى أى محطة يمكن تطبيقها لمنتصف المسافة للمحطة الثانية الواقعة فى أى إتجاه منها. ويتم التطبيق بعمل شبكة مضلع ثايسن . ويتكون المضلع من المنصفات العمودية للخطوط التى تربط المحطات القريبة مع بعضها البعض . وتؤخذ مساحة كل مضلع موجود لتقدير الأمطار للمحطة الواقعة فى منتصف المضلع . ولابد من تغيير المضلعات عند إضافة أو حذف أى محطة من الشبكة أو عند فقدان بيانات أى محطة . وتبين المعادلة ٦ طريقة الحساب المتبعة .

$$P_{mean} = (A_1/A)P_1 + (A_2/A)P_2 + \ldots\ldots + (A_n/A)P_n = \sum_{i=1}^{n}\left(A_iP_i/\sum_{i=1}^{n}A_i\right) \qquad (٦)$$

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^2) .

مثال ٣ :

أظهرت سجلات محطات قياس أ، ب، ج، د نتائج أمطار ٢٤,٤ ، ٢٥ و٦, ١٩ و٧, ٢١ و٢, ٢٤ ملم على الترتيب . وقد تم حساب متوسط الأمطار بطريقة مضلع ثايسن ووجدت مساحات المضلعات المحيطة بكل محطة على الترتيب ٣٠ و٢٥ و٢٣ و٣٨ كيلومتر مربع. أوجد متوسط الأمطار فى المنطقة.

الحل :

١- المعطيات: $P_{أ}$ = ٢٤,٤ ملم، $P_{ب}$ = ٢٥، $P_{ج}$ = ١٩,٦، $P_{د}$ = ٢١,٧، $P_{هـ}$ = ٢٤,٢

$A_{أ}$ = ٣٠، $A_{ب}$ = ٢٥، $A_{ج}$ = ٢٣، $A_{د}$ = ٣٨ كلم^2

٢- أوجد المساحة الكلية لمنطقة هطول الأمطار = ٣٠ + ٢٥ + ٢٣ + ٣٨ = ١١٦ كلم^2

٣- أوجد متوسط الأمطار باستخدام طريقة ثايسن

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

P_{mean} = (٣٠÷١١٦)*٢٤,٤ + (٢٥÷١١٦)*٢٥ + (٢٣÷١١٦)*١٩,٦ + (٣٨÷١١٦)*٢١,٧ + (٣٨÷١١٦)*٢٤,٢

= ٢٣ 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 الحجوم المرحلية وتقسم على المساحة الكلية كما موضح فى المعادلة ٧ .

$$P_i = [(A_1(P_1+P_2)/2)+(A_2(P_2+P_3)/2)+...+(A_n(P_{n-1} + P_n)/2)]/ (A_1+A_2 + ..+ A_n)$$

$$P_i = \sum_{i=1}^{n} [A_i(P_{n-1} - P_n)/ \sum A_i$$

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 الآنية 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 السقيط السنوى العادى فى كل محطة فى حدود ١٠٪ من السقيط فى المحطة المفقود سجلها فيعتمد المتوسط الحسابى للسقيط فى المحطات الثلاث كبديل للسجل المفقود .

٢- إذا كان السقيط السنوى العادى فى أى واحدة من المحطات الثلاث يختلف عن السقيط 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 .

$$P_X = (1/3)[(N_X/N_A)*P_A + (N_X/N_B)*P_B + (N_X/N_C)*P_C \ ] \quad (٨)$$

حيث :

A,B & C = محطات القياس .

P_X = السجل المفقود من محطة X .

N = السقيط السنوى العادى .

مثال (٤)

فقد سجل أمطار من محطة X فى أحد الأيام العاصفة. وقد وجدت تقديرات الأمطار فى ثلاثة محطات A وB وC محيطة بالمحطة X تساوى ٦٠، ٥٠، ٤٠ ملم على الترتيب. علما بأن السقيط السنوى العادى فى المحطات X وA وB وCهى ٧١، ٧٨، ٥٨، ٤٤ سم على الترتيب . أوجد قيمة السقيط 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 السقيط أثناء الزوبعة فى المحطة X بإستخدام المعادلة رقم ٨ :

P_X = (١÷٣)*{(٧١*٦÷٧٨) + (٧١*٥÷٥٨) + (٧١*٤÷٤٤)} = ٦ سم .

هنالك علاقة بين شدة المطر Intensity وفترة هطوله Duration. وتعرف شدة الأمطار بمقياس كمية الأمطار الهابط 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 لإستمراره حسب العلاقة الموضحة فى المعادلة ٩.

$$i = a/(t + b) \quad (٩)$$

حيث :

i = شدة الأمطار (ملم/ساعة) .

t = زمن الأمطار (ساعة) ، عادة يكون بين ٥ الى ١٢٠ دقيقة .

a,b = ثوابت مكانية .

ولفترة هطول أكثر من ساعتين نستخدم المعادلة ١٠.

$$i = c/t^n \quad (١٠)$$

حيث :

c,n = ثوابت مكانية.

أما العلاقة بين شدة الأمطار وفترة هطولها وترددها Frequeency فيمكن إيجادها من العلاقة المبينة فى المعادلة ١١ .

$$P = [(1.214*10^5/600)*Nt]^{0.282} - 2.54 \quad (١١)$$

حيث :

P = كمية الأمطار (منسوب الأمطار) Depth

N = التردد الحادث ، وعادة يقدر مرة كل N سنة ، حيث N = (10/n)

n = عدد مرات التردد كل عشرة سنوات .

t = فترة الهطول (دقيقة) .

$$i = 60P/t \quad (١٢)$$

حيث :

i = شدة الأمطار (ملم/ساعة) .

وبتعويض المعادلة (١٢) فى المعادلة (١١) ينتج :

$$i = (60/T)*[(202.3*NT)^{0.282} - 2.54] \quad (١٣)$$

التبخر والنتح Evaporation & Transpiration : يعرف التبخر بأنه الطريقة التى تتحول بها المواد من الصورة السائلة الى الصورة الغازية عبر نقل الطاقة الحرارية {٦} ، كما ويعرف النتح بأنه الطريقة التى تتبخر بها المياه من الأسطح الرطبة وتلك التى تم نتحها بواسطة النباتات {٦}. أهمية طريقة التبخر فى دراسة مصادر المياه تتمثل فى الآتى :

- 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 الجزئيات عبر سطح الماء ينتج ضغط يسمى ضغط البخار. والجزئيات المنطلقة تتصادم مع تلك الجزئيات الموجودة فى الهواء ، مما ينتج عنه إرتدادها الى الماء مرة أخرى. وعندما يتساوى عدد الجزئيات الخارجة مع عدد الجزئيات 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 . وعلية 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 بإيجاد 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 بإزدياد الحرارة نسبة لإزدياد طاقة حركة جزئيات الماء بإزدياد 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 بإزدياد الإرتفاع يزيد من معدل إنبثاق الجزئيات من سطح الماء ، نسبة لوجود جزئيات أقل فى الجو فوق السطح المتبخر، وبالتالى تداخل أقل . ويقل التبخر بإزدياد 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 للثقل النوعى الى أن يحدث إنصهار ، عادة يكون فى ثقل نوعى يساوى ٣, ١ {١} .

و) طبيعة سطح التبخر : لسطح الماء المستو ضغط بخار أكبرمن السطح المقعر. كما وله ضغط بخار أصغر من السطح المحدب{١} . وعادة يتبخر الماء من أوراق الأشجار والشجيرات بسرعة ، وذلك للتعرض المرغوب والذى 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 النتح 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 كثيرالقياس 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 تطبيق لقانون بقاء الكتلة {٤} وعليه فإن :

التبخر = الداخل – الخارج – المخزون (١٤)

أو : السقيط + التبخر الرشحى + الدفق الصحى + دفق المياه الجوفى + المخزون = صفر (١٥)

$$ET = P + I + Q_u + Q_s + S \quad (١٦)$$

حيث :

ET = التبخر الرشحى .

P = السقيط الكلى .

Q_u = دفق المياه الجوفية .

I = الدفق السطحى الداخل .

Q_s = الدفق السطحى الخارج .

S = التغير فى المخزون (للمياه السطحية والجوفية) .

٣) طريقة إنتقال الكتلة Mass Transfer: يمكن وضع علاقة التبخر وضغط البخار فى صورة نقل أدنى ميل التركيز {٤} كما موضح بالمعادلة ١٧ أدناه :

$$EV = b(e_s - e) \quad (١٧)$$

حيث :

EV = التبخر .

e_s = ضغط البخار المتشبع عند درجة الحرارة السطحية .

e = ضغط البخار الحقيقى على الإرتفاع المطلوب أعلى السطح .

b = ثابت تجريبى .

٤) طريقة ميزانية الطاقة Energy Budget : وهذه الطريقة شبيهة بميزان الماء عدا أنها تختص بإستمرارية دفق 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 .

$$EV = [E_s - E_r - E_b + E_v - E_O]/[\rho L(1 + R)] \quad (١٨)$$

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 بوين Bowen .

$$R = [0.61P(T_w - T_a)]/[1000(e_s - e_a)] \quad (١٩)$$

P = الضغط الجوى (ملليبار).

T_w = درجة حرارة سطح الماء (° منوية) .

T_a = درجة حرارة الهواء (° منوية) .

e_s = ضغط البخار المتشبع (ملليبار) عند درجة الحرارة T_w .

e_a = ضغط بخار الهواء (ملليبار) {٦} .

٥) الصيغ التجريبية Empirical Formulae : هذه الطرق تستخدم بيانات الإرصاد الجوى لإفتراض أن هنالك مياه كثيرة متواجدة . والعديد من هذه الصيغ مبنى على علاقات الديناميكا الهوائية Aerodynamic ولها الصيغة العامة الموضحة فى المعادلة ٢٠ .

$$EV_a = C(e_s - e)f(u) \quad (٢٠)$$

حيث :

EV_a = التبخر من سطح الماء المكشوف على وحدة الزمن (ملم/يوم) .

C = ثابت تجريبى .

e_s = ضغط بخار الهواء المتشبع (ملليبار) عند درجة الحرارة t درجة منوية (ملم زئبق) .

e = ضغط بخار الهواء الحقيقى (ملليبار) عند درجة الحرارة t درجة منوية (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 تعطى الحرارة الكامنة للتبخر .
(ب) لابد من وجود عامل لإزاحة التبخر الحادث .

وتفترض معادلات بنمان الصور المدرجة أدناه :

$$EV_o = [\Delta H + \gamma EV_a] / [\Delta + \gamma] \quad (٢١)$$

$$EV_o = EV_1(t, n/D) + EV_2(t, R_A, n/D) + EV_3(t, n/D, h) + EV_4(t, u_2, h) \quad (٢٢)$$

حيث :
EV_o = التبخر من سطح الماء أو ما يعادله من طاقة حرارية .
= ميلان منحنى ضغط البخار لدرجة الحرارة t .
H = مقدار الطاقة النهائية المتبقية على سطح الماء .
EV_a = التبخر الإفتراضى لدرجات الحرارة المتساوية للماء والهواء .
Δ = ثابت جهاز قياس الرطوبة = ٠,٦٦ إذا كانت درجة الحرارة مقاسة بالمنوية و e مقاسة بالملليبار.
e = ضغط بخار الهواء الحقيقى 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 الشمسى الواصل الى الغلاف الجوى بإفتراض غياب السحب وأن الغلاف الجوى 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 الهايدرولوجيا. وأهمية التسرب تكمن فى أثره على الجريان السطحى ، وإيجاد محتوى نداوة التربة ، وعلاقته بنتح النباتات ، وعلاقته بالتبخر من التربة، وأهميته لأصدقاء البيئة والمزارع. ومن العوامل التى تؤثر على التسرب مايلى :

١) النفاذ السطحى : ربما كان سطح التربة مغلق بهجرة الحبيبات الناعمة أو نسبة لأوضاع بعض الحبيبات الأخرى والتى 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 النداوة الموجود. كما وتعتمد مسامية التربة على البناء والنسيج وتركيز المواد العضوية والنشاط الحيوى وتغلغل جذور النبات والمواد الغروية المنتفخة) .

٤) خواص الطبقة النفاذية: وهذه تتعلق :

* بالتربة خاصة مقاس المسامات وتوزيع مقاس المسامات والنفاذية وطبيعة التربة (رمل أو طين) وتكوين التربة وخواص الإنتفاخ .

* بالنباتات والتى 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 Infiltrometers : ويستخدم الجهاز فى المنطقة الجابية Water Shed الصغيرة أو للإختبارات أو مناطق أخذت كعينات من ضمن مناطق جابية كبيرة. ومن هذه الأجهزة :

* أجهزة مقارنة السقيط 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 الهايدروجراف لتقدير التسرب Hydrograph Analysis : وفوائد هذه الطريقة للقياس أنها تأخذ فى الإعتبار قياس التغير فى الأمطار. وتضم تأثير عوامل عدة تحدث عمليا مثل : معدل الدفق، والميلان ، والتربة ، والغطاء النباتى ، والمخزون، وزمن الجريان . وتستخدم هذه الطريقة أحد أو عدة صيغ أساسية مثل: علاقة زمن الهطول والدفق، وعلاقة الزمن والتكثيف، وعلاقة متوسط التسرب . ويبين معامل التسرب Infiltarion Index بصورة عامة معدل متوسط التسرب أثناء مدة الزوبعة والأمطار .

وفيما يلى شرح موجز لبعض معامل التسرب :

١) دليل فاى 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 فاى بأنه معدل الأمطار الذى يتساوى أعلى منه حجم الأمطار وحجم سيل الأمطار (الدفق السطحى).

مثال (٥) :

المطر الكلى لمنطقة ما يساوى ٦٠ ملم مقسمة على حسب الجدول أدناه :

الزمن (ساعة)	شدة الأمطار (ملم/ساعة)
صفر	صفر
١	٥
٢	٩
٣	١٦
٤	١١
٥	٨
٦	٧
٧	٤

أوجد مقدار دليل فاى 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 فاى: فإن معدل الأمطار الأعلى من فاى = معدل الأمطار الأدنى من فاى + معدل الإنسياب السطحى

$$١*(٩ \quad \phi) + ١*(١٦ - \phi) + ١*(١١ - \phi) + ١*(٨ - \phi) + ١*(٧ - \phi) = ١*٥ + ١*\phi + \phi*١ + \phi*١ + \phi*١$$

ومن هذه العلاقة يمكن إيجاد دليل فاى = ϕ = ٣, ٤ ملم/ساعة .

٢) دليل دبليو W - Index : وهذا تحسين لدليل فاى 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.

$$W = F/t_f = (P - Q - S)/t_f \qquad (٢٣)$$

حيث :

W = دليل دبليو .

F = التسرب الكلى .

t_f = الزمن الكلى الذى تكون فيه شدة الأمطار أكبر من W .

P = المطر الكلى .

Q = الدفق السطحى .

S = المخزون السطحى 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 ودليل فـ اى . ويستخدم عادة فى قياس أقصى فيضان. إن كمية الأمطار التى يكون إمتصاصها بالتربة وتجد طريقها كدفق سطحى 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 .

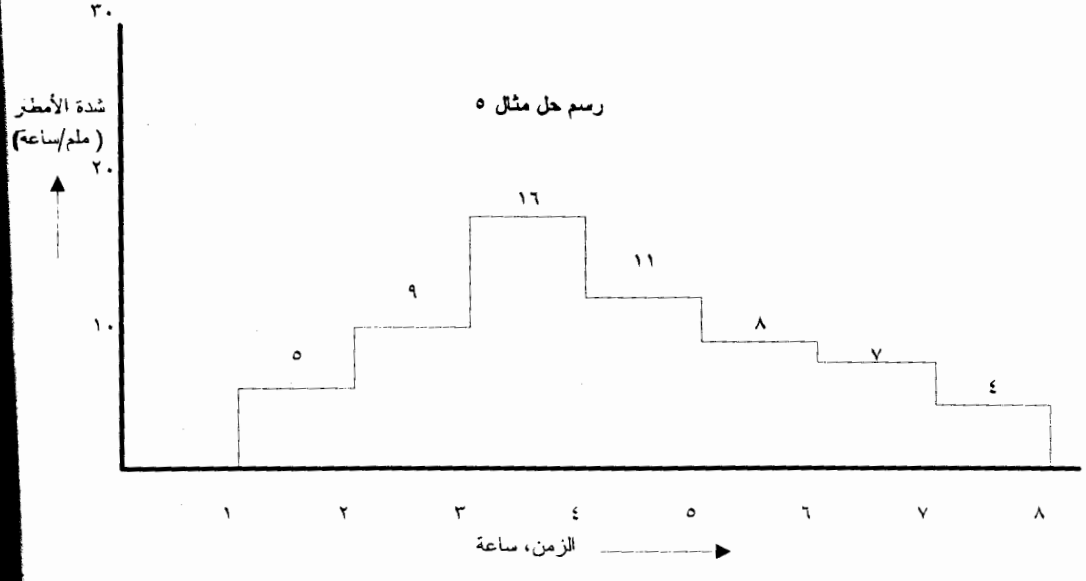
$$I_t = I_o * k^t \qquad (٢٤)$$

حيث :

I_t = قيمة الدليل المخفضة بعد t يوم (ملم) .

I_o = قيمة الدليل الأولية (ملم) .

k = ثابت يتراوح بين ٨٥,. الى ٩٨,. وعادة تؤخذ قيمته لتساوى 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 تنساب 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 .

$$v = k*i \qquad (٢٥)$$

حيث :

v = سرعة إنسياب الماء = السرعة النسبية .

k = ميل التدرج السائلى Hydraulic Gradient = ميل السمت المقاس فى إتجاه سريان الماء .

i = معامل النفاذية = التوصيلية الهايدروليكية .

ولحوض ماء جوفى Aquifer محدد فإن معدل السريان يمكن إيجاده من المعادلة ٢٦ .

$$Q = v*A \qquad (٢٦)$$

حيث :

Q = معدل سريان الماء .

A = مساحة حوض الماء الجوفى العمودية على إتجاه السريان .

$$i = d\phi/dl \qquad (٢٧)$$

حيث :

l = المسافة فى إتجاه خط الإنسياب .

ϕ = السمت 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 :

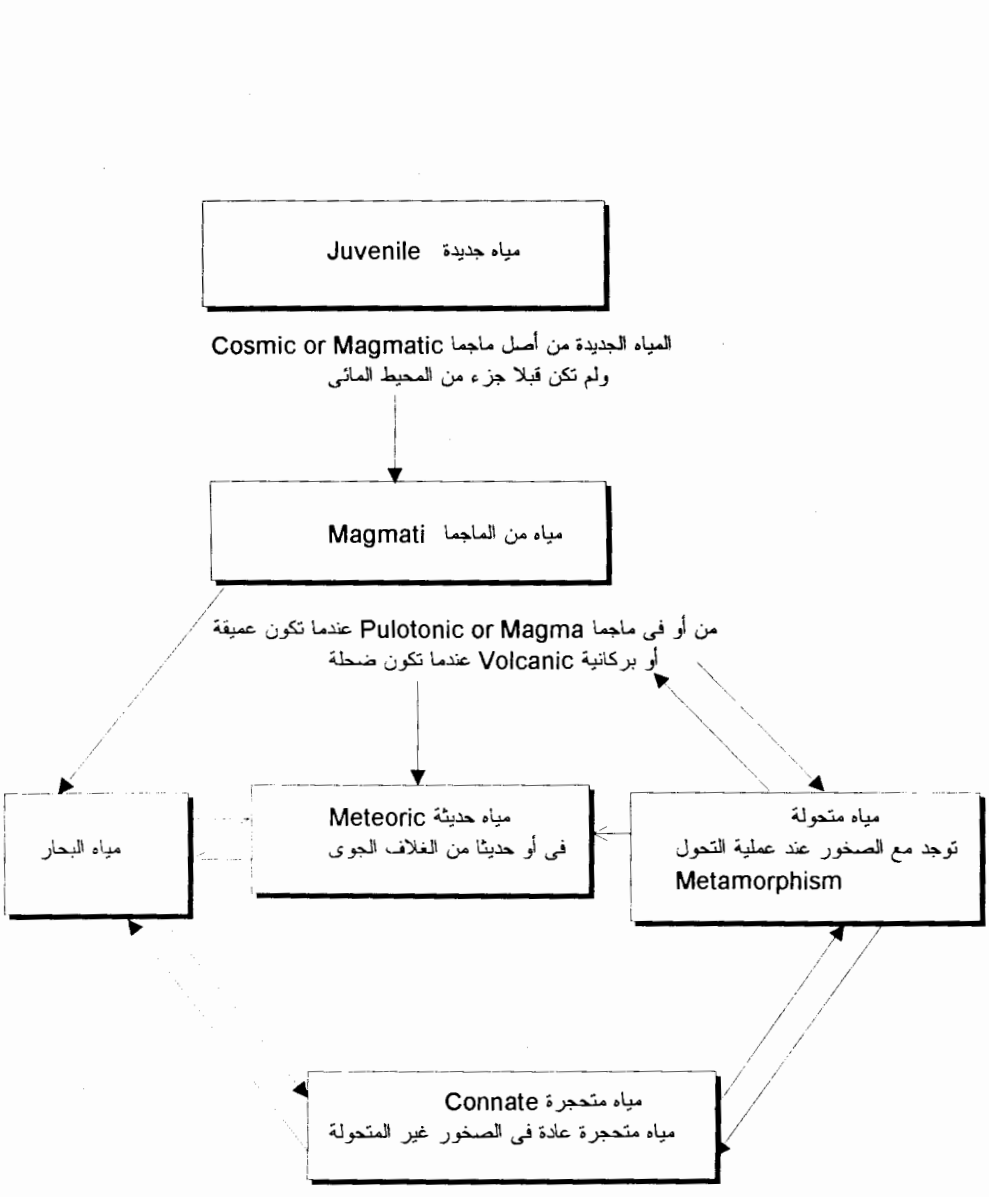
$$v' = v.n_e \qquad (٢٨)$$

حيث:

v' = السرعة الحقيقية .

v = السرعة النسبية .

n_e = المسامية الفعالة .



شكل (١٠)
أنواع المياه الجوفية

n_e = المسامية الفعالة .

أما بالنسبة لسريان الماء خلال حوض الماء الجوفى المحجوز Confined Aguifer فيمكن إستخدام قاعدة دارسى كما موضح فى المعادلة ٢٩ .

$$v_x = - k *(d\phi/dx) \qquad (٢٩)$$

حيث :

v_x = السرعة النسبية فى إتجاه x .

k = معامل نفاذية الحوض .

ϕ = السمت الممكن .

x = مسافة فى إتجاه خط الإنسياب.

ويمكن إيجاد سريان الماء عبر حوض الماء الجوفى فى وحدة عرض الحوض من المادلة ٣٠ .

$$q = - k H(d\phi/dx) \qquad (٣٠)$$

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 :

$$dq/dx = 0 \qquad (٣١)$$

وبمفاضلة المعادلة ٣٠ بالنسبة الى x وتعويضها فى المعادلة ٣١ ينتج :

$$dq/dx = - kH(d^2\phi/dx^2) = 0$$

$$d^2\phi/dx^2 = 0 \qquad (٣٢)$$

ويمكن حل المعادلة التفاضلية ٣٢ كما موضح فى المعادلة ٣٣ .

$$\phi= c_1x + c_2 \qquad (٣٣)$$

حيث :

ϕ = السمت فوق مرجع مناسب .

c_1 و c_1 = ثوابت التكامل .

وبإفتراض أن ϕ = صفر عند x = صفر، ومن معادلة دارسى $-v/k = d\phi/dx$ فتصبح المعادلة ٣٣ :

$$\phi= - vx/k \qquad (٣٤)$$

وتوضـــح المعادلة ٣٤ أن السمت 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 Aguifer فيمكن إستخدام قاعدة دارسى كما موضح فى المعادلة ٢٩ .

$$v_x = - k *(d\phi/dx) \quad (٢٩)$$

حيث :

v_x = السرعة النسبية فى إتجاه x .

k = معامل نفاذية الحوض .

ϕ = السمت الممكن .

x = مسافة فى إتجاه خط الإنسياب.

ويمكن إيجاد سريان الماء عبر حوض الماء الجوفى فى وحدة عرض الحوض من المادلة 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 .

$$\phi = c_1x + c_2 \quad (٣٣)$$

حيث :

ϕ = السمت فوق مرجع مناسب .

c_1 و c_1 = ثوابت التكامل .

وبإفتراض أن ϕ = صفر عند x = صفر، ومن معادلة دارسى $d\phi/dx = -v/k$ فتصبح المعادلة ٣٣ :

$$\phi = - vx/k \quad (٣٤)$$

وتوضـــح المعادلة ٣٤ أن السمت يتناقص خطيا فى إتجاه إنسياب الماء مع معدل الإنسياب فى إتجاه X الموجب .

أما بالنسبة لإنسياب وحيد الإتجاه 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 تقريبى. وإفتراضات ديبو تحوى الآتي :

١) تتناسب السرعة مع مماس الميل الهايدروليكى .

٢) يكون الإنسياب فى أى نقطة فى الإتجاه الأفقى، ومنتظما فى الإتجاه الرأسى .

وعليه يمكن إيجاد الإنسياب كما مبين فى المعادلة ٣٥ .

$$q = - kh(dh/dx) \qquad (٣٥)$$

وبتكامل المعادلة ٣٥ للحدود $h = h_o$ عندما تكون x = صفر، ينتج :

$$q = k(h_o^2 - h^2)/2x \qquad (٣٦)$$

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 الإعتبار. 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 الإعتبار فيمكن صياغة معادلة عامة كما موضح فى المعادلة ٣٧ .

$$d^2h/ dx^2 + d^2h/ dy^2 + d^2h/ dz^2 = (S/kH)*(dh/ dt) \qquad (٣٧)$$

حيث :

H = عمق حوض الماء الجوفى المحجوز .

والمعادلة المقارنة لحوض الماء الجوفى غير المحجوز لاخطية، غير أن المعادلة ٣٧ يمكن تطبيقها عندما تكون التغيرات فى العمق المتشبع 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 .

$$q = - kH(dh/dx) \qquad (٣٨)$$

وبتفاضل المعادلة ٤١ بالنسبة الى x ينتج :

$$dq/dx = - k[d^2(h^2)/dx^2]/2 \qquad (٣٩)$$

ومعادلة الإستمرارية Continuity Equation

$$dq/dx = 0 \qquad (٤٠)$$

وبتعويض المعادلة ٤٠ فى المعادلة ٣٩ ينتج :

$$d^2(h^2)/dx^2 = 0 \qquad (٤١)$$

وفى حالة أن حوض الماء الجوفى يغذى بواسطة الأمطار الهاطلة على سطح الأرض ، وبإفتراض أن معدل التسرب الكلى للمياه هو N فتنتج المعادلة ٤٢ .

$$d^2(h^2)/dx^2 = -2N/k \qquad (٤٢)$$

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 ٠,٤ 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 = صفر ، h = ٢٦ م ، x = ٨٠٠ م ، h = ٢٥ م ، k = ٠,٥ م/ساعة ، H = ٢٥ م .

٢ - أوجد معدل التسرب الكلى للميـــاه الناتجة من الأمطار = N = ٧٠*٠,٩٥/١٠٠ = ٠,٦٦٥ م/السنة = ٠,٦٦٥/٣٦٥ = ١,٨٢ *١٠$^{-٣}$ م/يوم .

٣ - أوجد معامل النفاذية = k = ٠,٥ م/ساعة = ٠,٤*٢٤ = ٩,٦ 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 :

$a_2 = ٦٧٦$ و $a_1 = ٠,٠٣٧$

وعليه : $h^2 = -Nx^2/k + 0.037x + 676$

٥ - أوجد الإنسياب: $q = -kh(dh/dx)$

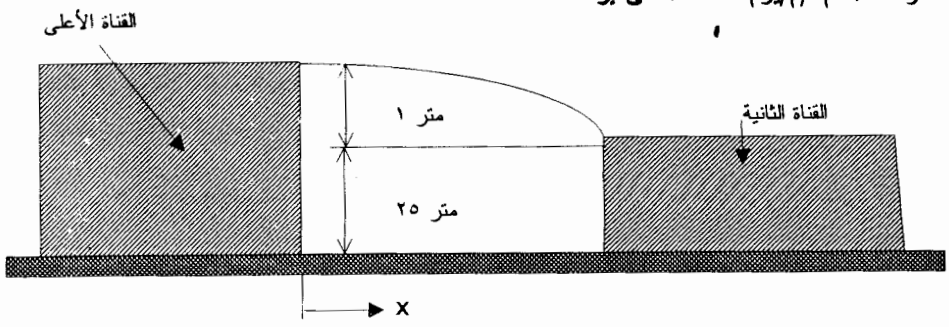
ومن المعادلة فى الخطوة ٤ أعلاه أوجد : $dh^2/dx^2 = 2h(dh/dx) = -2Nx/k + 0.037$

وعليه : $q = Nx - 0.0187k$

عند x = ٨٠٠ م، q = ١,٨٢ *١٠$^{-٣}$*٨٠٠ - ٠,٠١٨٧*٠,٤ = ١,٤٢ م^٣/م/يوم .

وعند x = صفر، q = - ٠,٠١٨٧ * ٠,٠٤ * ١٤ = - ٠,٢٧ م٣/م/يوم .

وهذه النتائج تعنى أن الدفق من الخزان الى كلتا القناتين بمعدل إنسياب ٠,٢ ١ م٣ / م /يوم للقناة الأقل إرتفاعا و ٠,٢٧ م٣/م/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، والمنقولية Transmissibility ، وعرض الحوض ، وإنشاء وتشييد 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 شعرية فيمكن إيجاد إنسياب المياه فى الحوض المائى المحجوز كما موضح فى المعادلة ٢٦ .

$$Q = vA \qquad (٢٦)$$

حيث :

Q = إنسياب المياه عبر الحوض المائى (م٣/ث) .

v = سرعة الإنسياب (م/ث) .

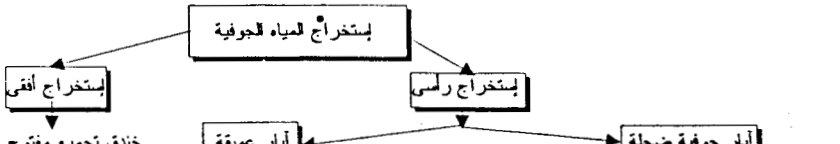
A = المساحة العمودية لإتجاه الإنسياب (م٢) .

وبأخذ هبوط مستوى الماء الجوفي الحسبان فيمكن إيجاد الإنسياب كما موضح في المعادلة ٤٣ .

$$Q = VA = - K*(ds/dr)* 2\ TT\ r\ H \qquad (٤٣)$$

حيث :

Q = معدل إنسياب الماء الجوفي (م٣/ث) .



	آبار يدوية Hand Dug	آبار منساقة Driven	آبار نافورة Jetted	آبار متقوبة Bore Hol	آبار متقوبة دربكين Drilled
القطر	متر واحد أو أكثر (١ - ١٠)	(٣ - ١٠) سم		(سم ٢٠) (تصل الى ١م للتى تعمل بالطاقة)	كبير
العمق	من ٦ الى متر ٢٠	أكبر من ١٥م	أكبر من ١٥م	عادة ١٥ متر (قد تصل الى ٣٠م)	٣٠ - ٥٠ وقد تصل الى الكيلو متر أو أكثر
الإنشاء	يدوى	يدوى، مطرقة هابطة، مطرقة هوائية أو sledge	يقطع إنسياب مائى للأسفل ذو سرعة عالية	المثقاب الكهربائى المشغل يدويا أو آليا	بإستخدام أجهزة التثقيب والحفر
الشباك Casing	تبطين بالخشب، خوازيق، خرصانة فى داخل البئر لتقوية الجدران	شباك خارجية للحماية والتقوية على الأقل لبعد ٣م أسفل السطح	شباك مؤقتة خارجية		خوازيق حديد لتفادى إنهيار الجدران
إنتاجية البئر متر مكعب/يوم	٢٥٠٠-٧٥٠٠ منزلية أكثر من ٥٠٠	١٠٠ - ٢٥٠			
مصفاة Screen	-	موجودة	موجودة	موجودة	موجودة أسفل الشباك (casing)
الغرض	لخدمات ماء الشرب بالمنازل الفردية	تخدم الإستهلاك المنزلى، الإستهلاك المؤقت، البحث والتنقيب والمراقبة	الإختبارات، البحث والمراقبة وإزالة الماء		الإستهلاك الكبير للصناعة والزراعة والبلديات
المشاكل والصعاب	تلوث كبير	تصلح للطبقات غير الثابتة والتى لا تحتوى على حصى كبير أو صخور	تلائم الطبقات غير الثابتة unconsolidated	مشاكل الحفر للطبقات الرملية وطبقات الحصى	

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) .

وبإستخدام معادلة الإستمرارية فإن :

$Q = Q_o$ = ثابت (٤٤)

وبتعويض المعادلة ٤٤ في المعادلة ٤٣ ينتج :

$$d s = (Q_o/2TT\ KH)*(dr/r) \quad (٤٥)$$

وبتكامل المعادلة (٤٥) للحدود $S = S_1$ و $r = r_1$ ينتج :

$$S_1 - S_2 = (Q_o/2TT\ KH)*\ln (r_2/r_1) \quad (٤٦)$$

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.

$$K = [Q/2TTH\ (S_1 - S_2)]*\ \ln (r_2 / r_1) \quad (٤٧)$$

وتعرف المنقولية Transmissibility أو التوصيلية الهايدروليكية Hydraulic Conductivity لحوض ما جوفي على أنها عبارة عن المعدل الذي تنقل به مياه (لها لزوجة كينماتيكية معينة) عبر وحدة عرض لحوض ماء جوفي وتحت وحدة ميل هايدروليكي. ويمكن إيجاد المنقولية من المعادلة (٤٨) .

$$T = KH \quad (٤٨)$$

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) .

$$T = [Q/2TT\ (S_1 - S_2)]*\ln (r_2/r_1 \quad (٤٩)$$

$$s = (Q_0/2TT\ K\ H)^* \ln r + C \qquad (٥٠)$$

وبإفتراض $s = 0$ عندما تكون $r = R$ فتصبح المعادلة ٥٠ كما موضح أدناه :

$$S = (Qo/2TT\ K\ H)^* \ln (R/r) \qquad (٥١)$$

حيث :

R = نصف قطر دائرة التأثير Circle of Influence (م)

مثال (٧) :

يتم نزح الماء من بئر بمعدل ٢٥٠ م^3 على الساعة. تصل البئر إلى نهاية حوض الماء الجوفي ذي النفاذية التى تساوى ٥٠ متر/ يوم وعمقه ٢٥متر. علما بأن قطر البئر الخارجي ٠,٥ متر، ونصف قطر دائرة التأثير يساوى ٢٠٠٠ متر، أوجد المنقولية للحوض وهبوط مستوى الماء الجوفي .

الحل :

١) المعطيات : Q_0 = ٢٠٠ × ٢٤ م^3 / يوم ، H = ١٥م ، K = ٢٥ متر/ يوم ، R = ٢٠٠م ، r = ٠,٥/ ٢ = ٠,٢٥ م

٢) المنقولية بإستخدام المعادلة: $T = K\ H$

T = ٥٠ × ٢٥ = ١٢٥٠ م^2 / يوم .

٣) أوجد مستوى هبوط الماء الجوفي :

$S = (Q_0/2TT\ K\ H)^* \ln R/r$ = (٢٠٠ × ٢٤ ÷ ٢ × TT × ٥٠ × ٢٥) ln (٢٠٠ ÷ ٠,٥ ٢) = ١, ٤ م

(٢) الإنسياب المستقر عبر الحوض الجوفي غير المحجوز: Steady Unconfined Flow

وبإستخدام فرضيات ديبو Dupuit يمكن إيجاد الدفق من بئر محفورة في حوض ماء جوفي غير محجوز من المعادلة ٥٢ .

$$Q = 2TT\ r\ h\ K\ ^*(dh/dr) \qquad (٥٢)$$

حيث :

Q = الدفق الخارج من البئر للمسافة r .

ومن معادلة الإستمرارية :

$$Q = Qo = \text{ثابت} \qquad (٤٤)$$

وبتعويض المعادلة ٤٤ في المعادلة ٥٢ وللحدود عند $h = H$ $r = R$ وعند $h = h_0$ $r = r_0$ ينتج:

$$Q_0 = [TTk\ (H^2 - h_0^2)]/(\ln R/r_0) \qquad (٥٣)$$

مثال (٨) : عمق حوض جوفي غير محجوز ٢٠ متر ونفاذيته ٤٥ م/ يوم . تصل إلى عمق الحوض بئر نصف قطرها ٢٥سم . إذا بلغ هبوط مستوى الماء في البئر ١,٥ متر ، أوجد مقدار الماء المتدفق من البئر (باللتر/ يوم) علما بأن نصف القطر الذي يتلاشى عنده هبوط مستوى البئر Zero drawdown يبلغ ٤٠٠ متر .

الحل :

١- المعطيات : H = ٢٠م ، K = ٤٥ م/ يوم ، r = ٠,٢٥ م ، s = ١,٥ م ، R = ٤٠٠ متر.

٢- هبوط مستوى البئر : $s = H - h_o$ أو :

$h_o - ٢٠ = ١,٥$

وعليه : $h_o = ١٨,٥$ م .

٣- إستخدم المعادلة ٥٣ لإيجاد الماء المتدفق من البئر :

$Q_o = TT * ٤٥ (٢٠^٢ - ١٨,٥^٢) / \log_e (٤٠٠/٠,٢٥) = ٦,٦١١$ متر٣ / يوم = ١٣ لتر / يوم .

(٣) الإنسياب المستقر من خزان مياه جوفي غير محجوز وفي وجود الأمطار :

عندما تتواجد أمطار فمن معادلة الإستمرارية ينتج :

$$dQ/dr = - 2TT\ r\ N \qquad (٥٤)$$

حيث :

N = معدل الأمطار الساقطة .

وبتكامل المعادلة ٥٤ للحدود : $Q = Q_o$ ، عند صفر = $r = r_o$

و $Q = Q$ عند $r = r$ ينتج :

$$Q = Q_o - TTr^2\ N \qquad (٥٥)$$

ومن قانون دارسى :

$$Q = 2\ TT\ r\ h\ K\ (dh/dr) \qquad (٥٢)$$

وبتفاضل المعادلة (٥٢) ينتج :

$$h\ d\ h = (Q_o - TT\ r^2 N)\ dr/_{2\ TT\ K\ r} \qquad (٥٦)$$

وبتعويض المعادلة ٥٦ في المعـــــادلة ٥٥ وللحـــــدود : $h = h$ عند $r = r$ و $h = H$ عند $r = R$ ينتج :

$$H^2 - h^2 = (Q_o/TTK)\ \ln(R/r) - (N/2k)*(R^2 - r^2) \qquad (٥٧)$$

مثال (٩) : بئر قطرها ٥٠سم 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 ١,٢ 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 = ٠,٢٥ م ، H = ٤٥ م

٢- أوجد قيمة h لكل بئر :

عند r_1 = ٢٥ $h_1 = S_1 - H$ = ٤٥ - ١,١ = ٤٣,٩ م .

وعند r_2 = ١٥ h_2 = ٤٥ - ١,٢ = ٤٢,٩ م .

بما أن Q ثابتة للآبار فعليه وبإستخدام المعادلة ٥٣ :

{TT K $(H^2 - h^2)$/(LnR/r)} للبئر الأولي = {TT K $(H^2 - h^2)$/(LnR/r)} للبئر الثانية

(٤٥ ٢ - ٤٣,٩ ٢)/لو(R ÷ ٢٥) = (٤٥ ٢ - ٤٢,٩ ٢)/لو(R ÷ ١٥)

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 ٢ - ٤٢,٩ ٢)/لو(٤٤ ÷ ١٥)

وعليه : K = ١,١١ متر / يوم .

• أوجد منقولية الحوض : T = K H = ١,١١ × ٤٥ = ٥٠١ م٢ / يوم .

• أوجد مستوى هبوط الماء في البئر :

$h^2 = H^2 - (Q_0/TTk)* \ln R/r_0$

h^2 = ٤٥ ٢ - (١١,١*TT/((٠,٢٥/٤٤)Ln*٦٠٠٠)

h = ٣٣,٧ م .

مستوى الهبوط عند البئر = ٤٥ - ٣٣,٧ = ١١,٣ م .

٣-٥ الإنسياب السطحي Surface runff

الإنسياب السطحي هو عبارة عن ذلك الجزء من السقيط أو أي دفق آخر يظهر كنهر 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

المنطقـــة الجابيـــة (المنطقة الجـــابية هي عبارة عن حاجز يفصـــل منطقتى تجفيف (تجميع للمياه) عن بعضهـــا البعض .

ويمكن تقسيم الإنسياب على حسب مصدره إلى {٦} :

١) **إنسياب سطحي** : وهذا يمثل جزء الإنسياب الذي يجري فوق سطح الأرض من خلال قنوات أو أنهار ليصل إلى مخرج الجابية .

٢) **إنسياب تحت السطحي** : ويمثل الجزء من الأمطار المتسربة إلى التربة والمتحركة جانبيا عبر الأفق الأعلى للتربة ليمثل المياه الجوفية الضحلة .

٣) **إنسياب جوفي** : ويمثل الجزء من الإنسياب من جراء تخلخل المياه المتسربة إلى داخل الأرض مكونة المياه الجوفية .

ولأسباب عملية لتحليل الإنسياب السطحي فإن القيمة الكلية لإنسياب الأنهار تنقسم إلى نوعين : إنسياب مباشر Direct Flow وإنسياب قاعدي Base Flow . والإنسياب المباشر هو عبارة عن الإنسياب الذي يدخل النهر مباشرة بعد هطول الأمطار أو ذوبان الجليد . أما الإنسياب القاعدي فيمثل الإنسياب الواقعى .

ومن العوامل المؤثرة على الإنسياب 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 الإنسياب (مثل: أنواع النباتات وتكوينها وعمرها وكثافتها، والموسم، وحجم الزوبعة)، والعوامل المؤثرة على التبخر (مثل: درجة الحرارة، والرياح، والضغط الجوي، والمواد الصلبة الذائبة، ونوع وشكل السطح المتبخر)، والعوامل المؤثرة على النتح 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، والإستخدام، والغطاء، ونوع التربة، وجيولوجية وديمقرافية المنطقة) . ومثل خواص المجرى (والتي تتعلق بالخواص الهايدروليكية للمجرى وتتحكم في حركة إنسياب مياه النهر وكمية المخزون) .

ويتم قياس دفق 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 الدفق كما مبين فى المعادلة ٥٨ .

$$Q = v_{av} * A \qquad (٥٨)$$

حيث :

Q = دفق النهر (م^3 / ث) .

v_{av} = السرعة المتوسطة للنهر (م/ ث) .

A = 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 .

$$(v_{av})_{\text{vertical section}} = (v_{0.2\ depth} + v_{0.8\ depth})/2 \qquad (٥٩)$$

حيث :

v_{av} = السرعة المتوسطة .

$v_{0.2\ depth}$ = السرعة على إرتفاع ٠,٢ من عمق النهر .

$v_{0.8\ depth}$ = 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 بالدفعة 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. فكيفى قياس السرعة لبعد ٠,٦ من العمق الكلي {١} .

(ب) إنشاءات قياس الإنسياب (إنشاءات التحكم Control Structures):

وهذه محصورة للأنهار الصغيرة والجداول ، وذلك نسبه 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 ويحسب الإنسياب كما هو مبين في المعادلة ٦٠ .

$$Q = C\ L(g)^{0.5}*(d)^{1.5} \qquad (٦٠)$$

حيث :

Q = الدفق (م^3/ث) .

C = معامل الدفق .

L = طول حافة الهدار (م) .

g = عجلة الجاذبية الأرضية (م/ث^2) .

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 المتقلصة Contracted Openings .

$$Q = CA_c*[2g*(\Delta h + \{\alpha v^2_{av}/2g\} - h_f)]^{0.5} \quad (٦١)$$

حيث :

Q = الدفق .

C = معامل الدفق .

A_c = مساحة أقل مقطع .

Δh = فرق الإرتفاع 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 الإحتكاك بين القطاع القريب وأقل قطاع .

(٣) الخزان أو الحاجز الترابى: 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) برابخ Culvert الطريق العام .

(٥) بإستخدام حسابات المساحة والميل من معادلاتها مثل :

أ) صيغة شيزي مانننق Chezy - Manning Formula

$$q = (1/n) A R_h^{2/3} s^{0.5} \quad (٦٣)$$

حيث :

q = الدفق .

n = معامل الإنسياب (يساوى ٠,٠٣٥ للأنهار الطبيعية) .

A - مساحة المقطع (م^2) .

R_h - نصف القطر الهايدروكيلي - 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 .

$$Q = C\ i\ A \qquad (٦٤أ)$$

$$Q = 0.278*CiA \qquad (٦٤ب)$$

حيث :

Q - إنسياب الذروة (قدم^3/ ث في المعادلة ٦٤أ ، م^3/ث في المعادلة ٦٤ب) .

C - معامل الإنسياب وتعتمد على خواص المنطقة الجابية .

i - شدة الأمطار (بوصة / ساعة في المعادلة ٦٤أ ، مامتر/ث في المعادلة ٦٤ب) .

A - مساحة الجابية (فدان في المعادلة ٦٤أ ، كلم^2 في المعادلة ٦٤ب) .

ومن الإفتراضات 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 = صفر عند I = 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} .

جـ) قياس التخفيف (القياس الكيمياتي) Diluhiun Gauging

وهذا مناسب للجداول ذات الإنسياب القليل الإضطراب ، كما وأن الأعماق والإنسياب غير ملائمة لجهاز قياس التيار ، وإنشاءات القياس باهظة الثمن . وتستخدم المواد الكيمياتية 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 . وأيضا تحتاج هذه الطريقة إلى عمال مهرة .

(جـ) المواد المشعة الإستشفافية Radioactive Tracers وتحقن نسبة معلومة من المادة الإستشفافية 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 .

$$q = [(c_t/c_e) - 1]^* q_t \qquad (٦٥)$$

حيث:

q = الدفق .

c_t = درجة تركيز المادة الإستشفافية الداخلة للجدول .

ce = درجة تركيز المادة الإستشفافية عند التوازن .

q_t = معدل دفق المادة الإستشفافية للجدول .

ومن عيوب هذه الطريقة التكاليف العالية كما ويحتاج إلى أخذ الحيطة والحذر لتجنب مخاطر التعرض للإشعاع .

(د) قياس بالتموجات فوق الصوتية Ultrasonic Gauging يعتمد في تشغيل هذه الطريقة على الآثار المترتبه 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 . وهنالك 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 التدريج 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 تعزي إلى :

• تخزين المجرى Channel Storage:: إذ كلما زاد إرتفاع مستوى النهر فإن المياه يتم تخزينها مؤقتا في مجرى النهر .

• التغيرات في ميل السطح : والتي تحدث من جراء تحرك موجة الفيضان عبر المجرى. وفي هذا المنحى فإن موجة الفيضان التي تمر أدنى نهر قليل الإنحدار ربما غيرت من تدرج الطاقة Energy Gradient لدرجة مناسبة ، تجعل القياسات تنحرف عن منحنى التعديل . وهذا الإنحراف من المعدل الطبيعي ينتج من جراء التغير في تصرف الماء بالنسبة إلى سرعة موجة الفيضان ، ومعدل تغير إرتفاع الجهاز . ويمكن عمل ضبط مناسب دونما حاجة الى إستخدام مقياس مساعد . ويمكن وضع هذا الضبط {٧} في معادلة تقرأ كما مبين فى المعادلة ٦٦ .

$$Q_a/Q = [1 + ((1/Us)* dh/dt)]^{0.5} \qquad (٦٦)$$

حيث :

Q_a – للتصرف الحقيقي أو التصرف المقاس (م^3 / ث) .

Q – التصرف في الحالة المستقرة (التصرف من منحني التعديل) (م^3 / 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 ١,٣ مرة بالنسبة لسرعة الماء المتوسطة في الجدول (٢) المنتظم الإنسياب أثناء الفيضان كما هو موضح في المعادلة ٦٧ .

$$U = 1.3\ Q_a/A \qquad (٦٧)$$

حيث :

A – مساحة المقطع .

وبتعويض المعادلة ٦٧ في المعادلة ٦٦ ينتج :

$$Q_a/Q = [1 + \{(A/1.3\ Q_a s)*dh/dt\}]^{0.5} \qquad (٦٨)$$

ومن المستحسن دراسة التغيرات في الإنسياب بالتحليل الإحصائي . ومن هذه الطرق المستخدمة فى هذا الشأن :

أ) منحنى إستدامة الإنسياب Flow Duration Curve : ويبين منحنى إستدامة الإنسياب لنقطة محددة في النهر جزء الزمن الذي يساوي فيه الإنسياب أو يزيد عن قيمة محددة . ومن منطلق إحصائي فإن منحنى إستدامة الإنسياب يمثل منحنى تكرار تجمعى 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 اليومى ينتج عنه منحنىأكثر ميلا من البيانات السنوية. وذلك لأن البيانات السنوية لها قابلية التجمع وتدمج التغيرات فى الفترة اليومية القصيرة للبيانات .

(ب) منحنى إنسياب الكتلة Flow Mass Curve

وهذا المنحنى يمثل رسم بياني لقيم تجمعية للمقادير الهايدرولوجية 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 .

$$V = \int_{t_1}^{t_2} Q_t * d\,t = \sum_{t=t_1}^{t_2} (Q_t * \Delta\, t) \qquad (٦٩)$$

حيث :

V = حجم الإنسياب .

Q = التصرف كدالة في الزمن {٦} .

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 الإحداث الصادي لأي نقطة فيه كمية المياه الكلية التي إنسابت عبر محطة معينة في النهر خلال الفترة الزمنية الممثلة بمقدار الإحداث السيني لنفس النقطة في المنحنى . ولإيجاد سعة الخزان المطلوب للحفاظ على تصرف منتظم في النهر، يرسم خط مماسي Draft Line للنقطة التى في بداية الفترة الحرجة على منحنى الكتلة . ويساوي ميل هذا الخط التصرف المنتظم المضبط . وتمثل أقصى مسافة (في إتجاه الإحداث الصادي) بين هذا الخط ومنحنى الكتلة سعة التخزين المطلوبة للحفاظ على هذا المعدل. والإحداث 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} :

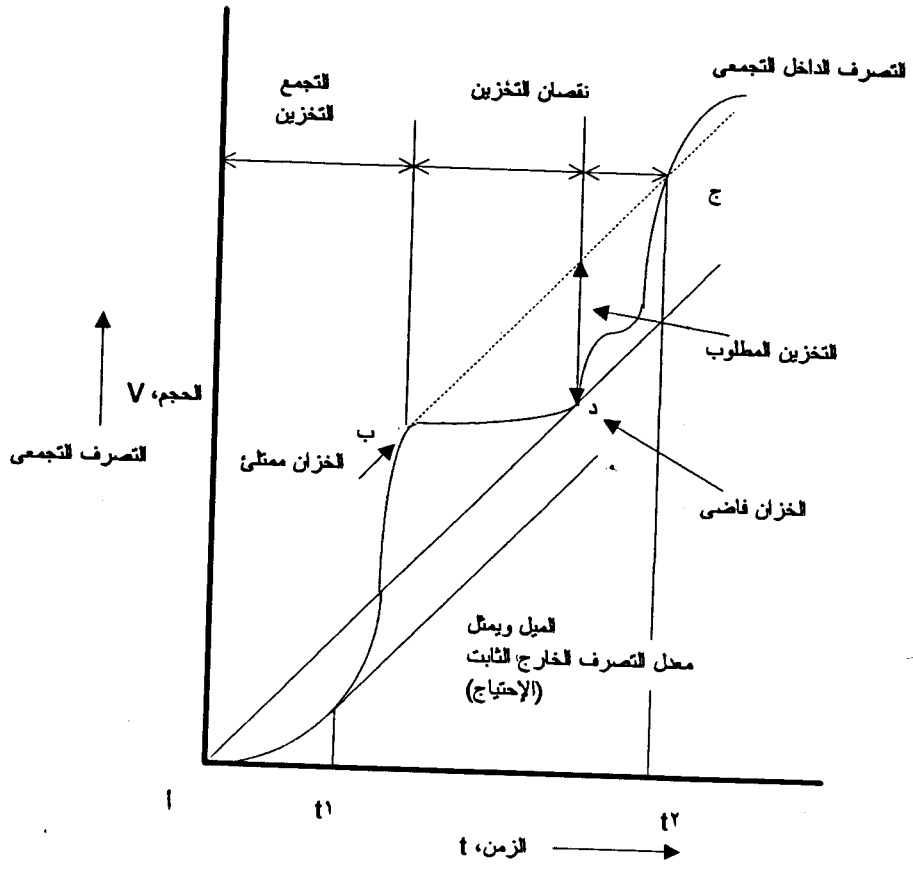
١- من النقطة (أ) إلى النقطة (ب) فإن معدل التصرف الداخل يفوق معدل الإستهلاك وأن الخزان ممتلئ وفائض .

٢- في النقطة (ب) فإن معدل التصرف الداخل يساوي معدل الإستهلاك ، وعليه فإن الخزان ممتلئ لكنه غير فائض .

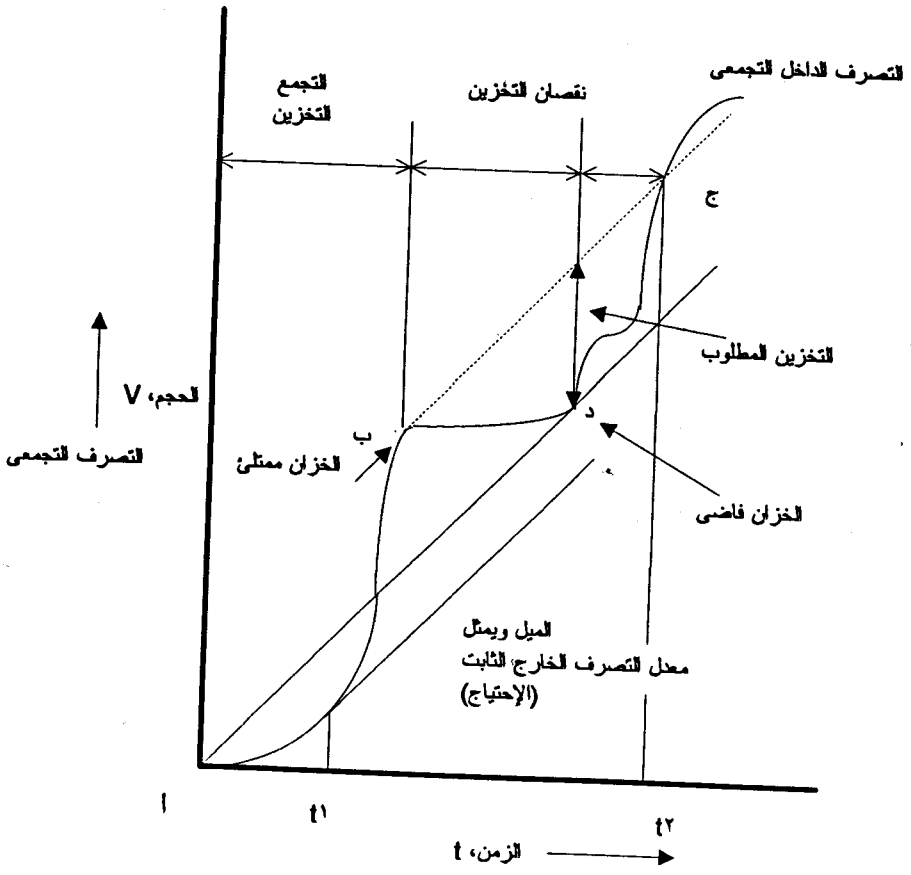
٣- من النقطة (ب) إلى النقطة (د) فإن معدل الإستهلاك يفوق معدل التصرف الداخل ، وأن مقدار هبوط مستوى الماء يزداد .

٤- فى النقطة (د) فإن معدل الإستهلاك يساوي معدل التصرف الداخل ، ويكون هبوط مستوى الماء في أقصاه .

٥- من النقطة (د) إلى النقطة (جـ) فإن معدل التصرف الداخل يزيد عن معدل الإستهلاك ، ويقل هبوط مستوى الماء .



شكل (٣)
منحنى الكتلة (مخطط ربل)



شكل (٣)
منحنى الكتلة (مخطط ريل)

٦- في النقطة (جـ) فإن الخزان ممتلئ مرة أخرى .
٧- من النقطة (جـ) إلى النقطة (هـ) فإن الظروف تماثل تلك من النقطة (أ) إلى النقطة (ب) .
٨- أعلى مسافات رأسية بين النقاط (ب) و (جـ) و (ب) (د) (جـ) والتي تحدث عند النقطة (د) وتمثل التخـزين 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 .

(جـ) الهايدروجراف : وهو عبارة عن رسم بياني لحجم الإنسياب مع الزمن . ويمثل الهايدروجراف 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 .

$$Q_t = Q_o * e^{-\alpha t} \qquad (٧٠)$$

حيث :
Q_t - التصرف عند نهاية الزمن t .
Q_a - 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 طيلة 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، ومعـدلات التصريف السطحي الأخرى من أمطار مرصـودة {٧} . وللمزيـد من المعلومـات عن الهايدروجراف والنظريات المواكبة له وطرق إستخدامه وتحليله فيرجى الرجوع إلى الكتب المتخصصة في الهايدرولوجيا .

٦-٣ الفيضان Flood Routing

الفيضـان يعبر عن إنسياب عالى نسبيا يعلو الضفاف الطبيعية أو الإصطناعية على أي مسافة في الجدول {٦} . ويمكن قياس الفيضان مقارنة بالإرتفاع 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 ، وذلـك بإعتبار البيانات المماثلة لنقطة في الجدول. أي أنها طريقة توضح كيفية نقصان مقدار موجة الفيضان وإطالة الزمن بإستخدام التخزين في مرحلة بين نقطتين {٢} .
ويمكن إيجاد التخزين لمرحلة بالآتي :

(أ) عمل مسح طبغرافي وهايدرولوجي 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 يملي ما يلى :

الإنسياب الداخل – الإنسياب الخارج = التغير في التخزين

$$I - D = \Delta S / \Delta t \qquad (٧١)$$

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 الإحداثات الرأسية للهايدروجراف 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 التصرف الداخل والإنسياب على حسب المعادلة ٧٢ .

$$S = K[XI + (1 - X)D] \qquad (٧٢)$$

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 طبيعيا طبقات التربة أثناء تغلغل المياه ونفاذها من خلالها . وتعتمد المسافة التي يمكن أن يقطعها الملوث على نوع وكمية الملوث ، وطبغرافية المنطقة ، وهايدرولوجية 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 تأثرها بعوامل أخرى مثل قوى الإمتزاز . ومما يفاقم من مخاطر الملوثات السرعة البطيئة التي تنساب بها المياه عبر طبقات التربة ، ففي المتوسط تنساب المياه الجوفية بسرعة تقدر بحوالي ٣٠ متر على السنة {٨} إعتمادا 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 الكيمياتي ، 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 إستخدام المياه وربما أتى بمخاطر صحية من جراء التسمم أو عن طريق إنتشار الأمراض . ويمكن إجمال مصادر وأنواع الملوثات التي قد تجد طريقها لخزان المياه الجوفي في الآتي :

أ) المواد العضوية المصنعة :

وتضم هذه المواد مجموعات تسمى بالهايدروكربونات المكلورة مثل ثلاثي كلور الإثلين 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 ، الشيئ 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 إقتدى الحال العمل على معالجة المياه الجوفية بإستخدام الوحدات المناسبة مثل وحدات التهوءة 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 تاثر سلبا على نوعية المياه في الغالب الأعم وبذا فإنها لا تشكل مشاكل صحية .

ح) 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 عضويه مثل ثنائي الفينول متعدد الكلورة Polyshlorinated biphenol (PCB) والبنزين . وايضا وجد ثلاثي كلورإيثيلين 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 والمنطاق الحضارية المنعزلة او حيثما لايوجد نظام صرف صحي قد تبث ملوثاتها للمياه الجوفية . فمثلا يتسرب السائل الناتج من وحدة التحليل اللاهوائي Septis tank الا المياه الجوفية طبقا لاسلوب التخلص النهعائي المتبع . وقد تتلوث المياه الجوفية بالبكتريا البرازية والفيروسات . وفي بعض الأحوال تتلوث المياه بمواد عضوية مثل ثلاثي كلور الإيثلين المسرطن عند إستخدام المنظفات الحاوية له لنظافة أحواض التحليل اللاهوائي . ومن الملوثات الأخرى المحتملة : المنظفات والنترات والكلوريدات . وتزداد المخاطر الصحية وتتغير بناءا 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 (مثلما يوجد في طبقات الرمل والحصى) فينساب 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 الهايدروجين. 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 والخارصين 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 تقرن مترسبات الفحم بمادة البايرايت (FeS_2) Pyrite 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 الدهاليز 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 الموائع والمواد الكيميائية بصورة عادية في الكثير من المنشآت الصناعية والتجارية . وتخضع هذه الخزانات والأنابيب الموصلة اليها الى إنهيارات منشآتها مما يسهل معه تسرب محتوياتها للمياه الجوفية المحيطة . ومن أكثر أنواع التسرب حدوثا تسرب الزيت والجازولين من الخزانات الحديدية الصدينة 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 الألياف الزجاجية Fibreglass بدلا من خزانات الحديد .

ط) الحوادث والكوارث البيئية :

تؤدي حوادث القطارات 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 الإيثلين

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 الرى 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 والجبص 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 الرى ، 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 الإتزان 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 {٨ ، ١٠} .

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 والتهشم بفعل الحوادث أو جذور الأشجار أو الأحمال الثقيلة أو الإنزلاقات الأرضية أو الزلازل أو فقدان دعامة الأساس أو كنتيجة لقوى القص في حالة الهبوط المتفاوت لنقاط التفتيش . وربما أدى التسرب من المجاري الى رفع نسبة الأكسجين الحيا كيمياتي والأكسجين الكيمياتي

والنترات والمواد العضوية وربما زاد من أعداد البكتريا في المياه الجوفية . وفي المناطق المكدسة بالصناعات ربما رفع التسرب من شبكات المجاري من درجات تركيز المعادن الثقيلة مثل الزرنيخ والكادميوم والكروم والكوبالت والنحاس والحديد والمنجنيز والرصاص والزنبق طبقا لنوع الصناعات السائدة بالمنطقة ومقدار التسرب .

م) 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 وتتشبع بسوائل ومواد الروث . ثم تقوم مياه الأمطار بحمل الملوثات وربما أوصلتها للمياه الجوفية . ومن هذه الملوثات الأملاح والأحمال العضوية ومركبات النيتروجين والبكتريا .

تحتاج عوامل التنقية الطبيعية المتطلبة 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 الملائمة والرادعة للتخلص من النفايات .

٢- سن التشريعات الملزمة للإختيار الأمثل لتحديد منطقة ووضع وتصميم وتشييد 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 النداوة ، وعمل المسوحات الجيولوجية ، وعمل التصوير الجوى ، وتحديد الملوثات ، وإستخدامات المياه الجوفية .

إن إزالة الملوثة 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 وهايدوكسيل 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 طبقا 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 الطمى 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 الفارق 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 اهمية 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) أذكر أهم طرق تلوث المياه الجوفية .

٢٣) كيف يمكن الحد من أو منع تلوث المياه الجوفية ؟

٢٤) أذكر أنسب الطرق المستخدمة لتنقية المياه الجوفية المحتوية على نفط .

٣-٨-٢ تمارين عملية :-

١) كتلة من الهواء لها درجة حرارة ٢٥ °م ، ورطوبة نسبية ٩٤٪ . أوجد :

أ) ضغط البخار المتشبع .

ب) ضغط البخار الحقيقي .

جـ) العجز في التشبع .

د) نقطة الندى . (الإجابة : ٧٥ ,٢٣ ، ٣٣ ,٢٢ ، ٤٣ ,١ ملم زئبق ، ٢٤ °م) .

٢) تم قياس سرعة الرياح لإرتفاعين ١٠ و ١٥ متر ، ووجدت القيم ٧ ,١٢ و ٤٦ ,١٣ متر/ثانية على الترتيب .

أوجد سرعة الرياح لإرتفاع مترين وثلاثة أمتار (الإجابة : ١٤ ,١٠ ، ٧٣ ,١٠ م/ث) .

٣) تم الحصول على السجلات التالية في منطقة لقياس الأمطار من المحطات الموجودة :

رقم المحطة	مقدار الأمطار (ملم)
١	٢ ,١٣
٢	٣ ,١٦
٣	٥ ,١٤
٤	٦ ,١١
٥	٢ ,١٥

أوجد متوسط هطول الأمطار بطريقة المتوسط الحسابي . (الإجابة : ١٦ ,١٤ملم) .

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 (كلم٢)	متوسط الأمطار (ملم)	مساحة مضلع ثايسن المحيط بالمحطة
١	١ ,٣٠	٤٥
٢	٦ ,٢٨	٣٦
٣	٢ ,٣٤	٤٠
٤	٣ ,٣١	٢٧
٥	٧ ,٢٩	٣٢
٦	٥ ,٣٢	٤١

أوجد متوسط الأمطار بالمنطقة بإستخدام طريقة ثايسن . وما مقدار الخطأ عند إستخدام طريقة المتوسط الحسابي ؟ ولماذا ؟ (الإجابة : ١ ,٣١ ملم) .

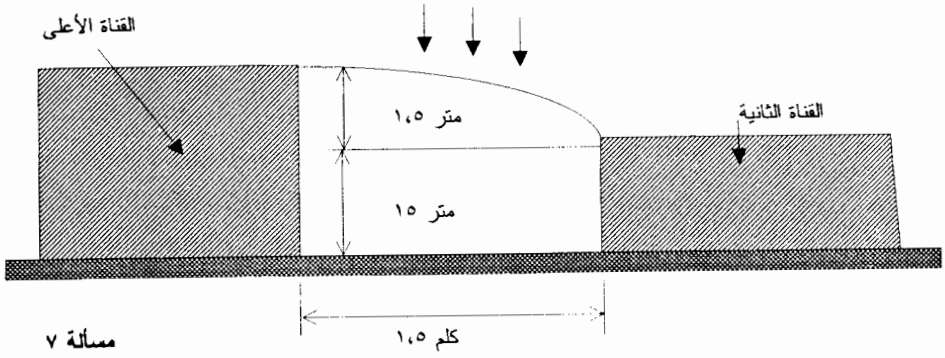
٥) فقد سجل أمطار أحد الأيام العاصفة من المحطة (د) . وأشارت قراءات السجلات لثلاثة محطات (أ) و (ب) و (ج) محيطة بالمحطة (د) الى ٥٥ و ٤٨ و ٤١ ملم على الترتيب ، ومتوسط السقيط للمحطات (أ) و (ب) و (ج) و (د) هي٦٦ و ٥٨ و ٤٧ و ٦٤ سم على الترتيب.
أوجد قيمة السقيط للمحطة (د) أثناء الزوبعة المفقود سجلها . (الإجابة : 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 ٢٠ملم . (الإجابة : ٥ملم/ساعة)

٧) يبين الشكل أدناه خزان ماء جوفي تجاوره قناتين ترتفع إحداهما 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 : ١,٨٢ ، ٢,٢٩ م٣/م/يوم) .



مسألة ٧

٨) أوجد مقدار الماء المندفق من بئر قطرها ٣٠سم 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 ٣٠سم 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 ، ٦,٧ 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.

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 الإستهلاك المختلفة ، ينبغى التفكير فى حفظها لحين الإحتياج لها أو ريثما يتم توزيعها. ومن الواجب العمل على حفظ وخزن 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 :

) 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} .

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 الإستهلاك المختلفة ، ينبغى التفكير فى حفظها لحين الإحتياج لها أو ريثما يتم توزيعها. ومن الواجب العمل على حفظ وخزن 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)

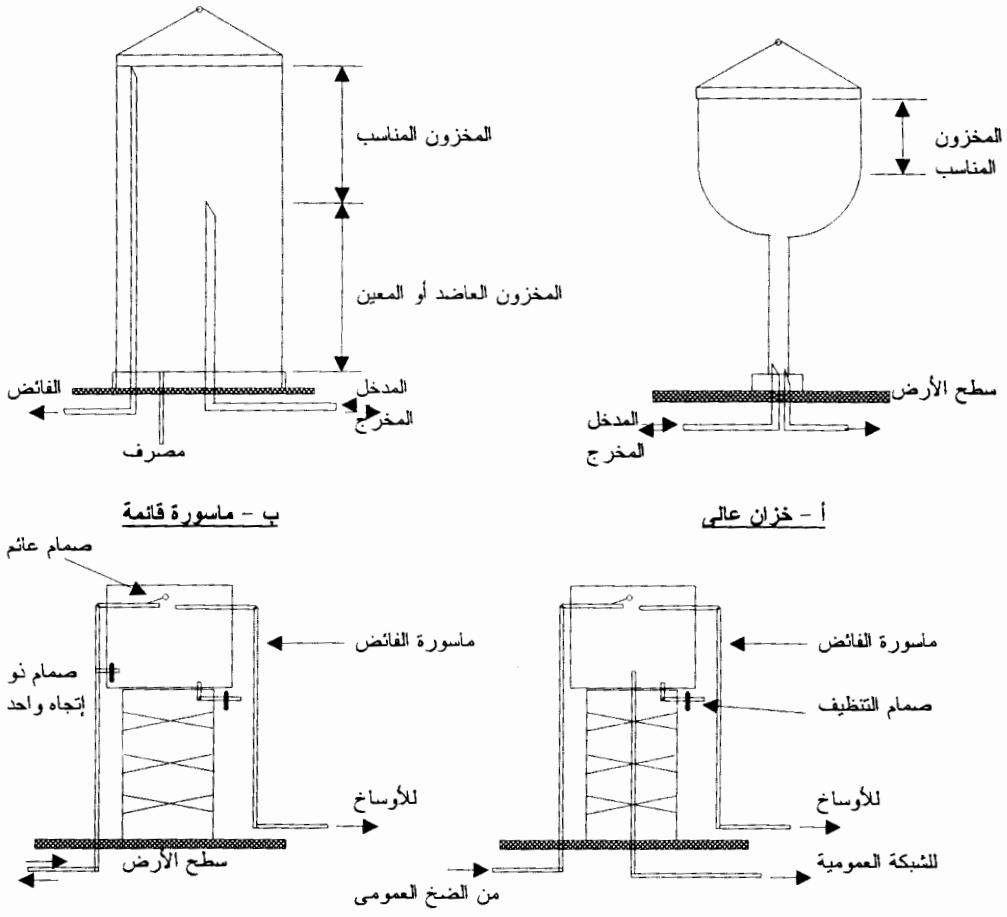
من الأهداف المنشودة لتخزين المياه قبل وبعد التنقية ما يلى :

- 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} .



شكل (١) بعض أنواع خزانات الماء {٢،٧،٢٧،٢٨}

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 الإستهلاك المختلفة ، ينبغى التفكير فى حفظها لحين الإحتياج لها أو ريثما يتم توزيعها. ومن الواجب العمل على حفظ وخزن 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 :

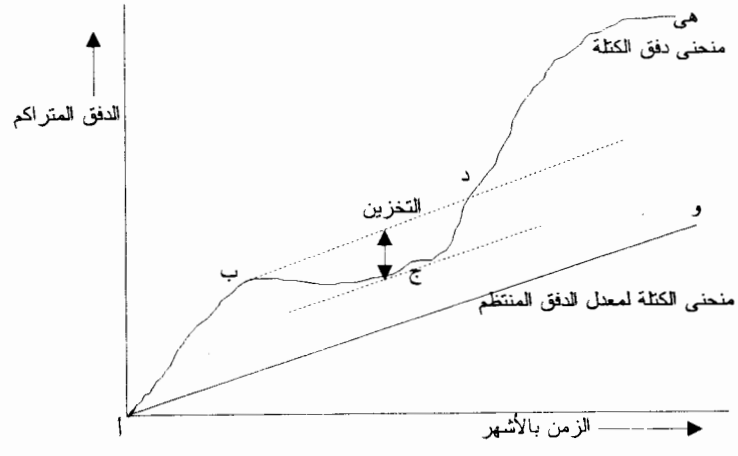
أ) مستودع التخزين (مستودع حفظ ، إمداد مباشر Impounding reservoir) :

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 التى تصيب محطات الطاقة، كما وتساعد فى تقليل الأحجام والمقاسات المطلوبة من الأنابيب ومحطات المعالجة. وعادة يؤخذ حجم الماء المطلوب لمعادلة أقصى دفق فى الساعة، مساوية ٢٠ بالمائة من الدفق اليومى المطلوب للمنطقة {٢} .

ويحسب حجم التخزين بواسطة الطرق القياسية، أو بواسطة الطرق البيانية. وتعنى الطرق القياسية: تلك النظم العددية لتحليل السجلات السابقة للمجرى المائى 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 بإختيار أقصى قيم مطلوبة للتخزين {٣، ٤} . ويمكن تعريف منحنى دفق الكتلة بأنه عبارة عن رسم بيانى للقيم التراكمية لمقدار هايدروليجى (مثل الدفق السطحى أو غيره من الدفق) بالنسبة الى الزمن أو البيانات. ويستخدم منحنى دفق الكتلة لمعرفة أثر التخزين فى أسلوب إنسياب الماء فى المجرى المائى، ولتقدير الدفق المنتظم. ويمكن تحديد سعة الخزان (المطلوبة للمحافظة على الدفق المنتظم فى المجرى المائى) من منحنى دفق الكتلة (أنظر شكل ٢). وكما موضح بالشكل (٢) يمثل الخط المستقيم ما يسمى بخط السحب Draft line، والذى يرسم مماسا لنقطة تمثل بداية الزمن الحرج على منحنى دفق الكتلة، ويمثل ميل خط السحب الدفق المنظم 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 فى المخزون مقارنة بالطلب، وربما نجم عن هذا الوضع طفح الخزان .



شكل (٢) نحنى دفق الكتلة، رسم ربل {٤،٣}

ومن العوامل المؤثرة على تخزين المياه : نظم التصميم المتبعة ، والظروف الجغرافية والجيولوجيـــة ، وطبغرافيـــة المنطقـــة ، والمناخ السائـــد ، 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 الداخل عن معدل الإستهلاك، ويكون الخزان ممتلئا وفائضا.
- على النقطـــة (ب) يساوى معـــــدل الدفق الداخل معـــدل الإستخدام ، ويكون الخزان ممتلئا غير أنه لا يطفح.
- من النقطـة (ب) الى النقطة (جـ) يربو معدل الإستهلاك عن معدل الدفق الداخل ، كما وأن النضوب فى التخزين (أو نقصان التخزين) يزداد .
- على النقطة (جـ) يساوى معدل الإستخدام معدل الدفق الداخل، ويكون نضوب الخزان فى أوجه .
- من النقطـة (جـ) الى النقطة (د) يربو معدل الدفق الداخل على معدل الإستهلاك ، ويتناقص النضوب فى الخزان .
- على النقطة (د) يكون الخزان ممتلئا مرة أخرى .
- من النقطـــــة (د) الى النقطـــــة (هـ) تتماثل هذه الحالة مع تلك من النقطـــة (أ) الى النقطة (ب) على المنحنى .
- أكبـــر قيمة عموديـة بين (ب د) و (ب جـ د) والتى تحدث على النقطة (جـ) تعبر عن قيمة النخزين المطلوب للحصول على معدل الإستهلاك أثناء فترة التحاريق من النقطة (ب) الى النقطة (جـ) .

مثال ١ :

يقوم مستَودع مائى بإمداد معدل دفق منتظم يساوى ٢,٥ متر مكعبا على الثانية ، مستخدما كميات المياه المجمعة من منطقة جابية معينة . أظهرت سجـــلات دفق النهـــر الشهرية البيانـــات 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

إفترض أن الإستهلاك منتظم ولا يوجد فقدان للمياه ، أوجد مقدار التخزين اللازم لمواكبة الإستهلاك المنتظم .

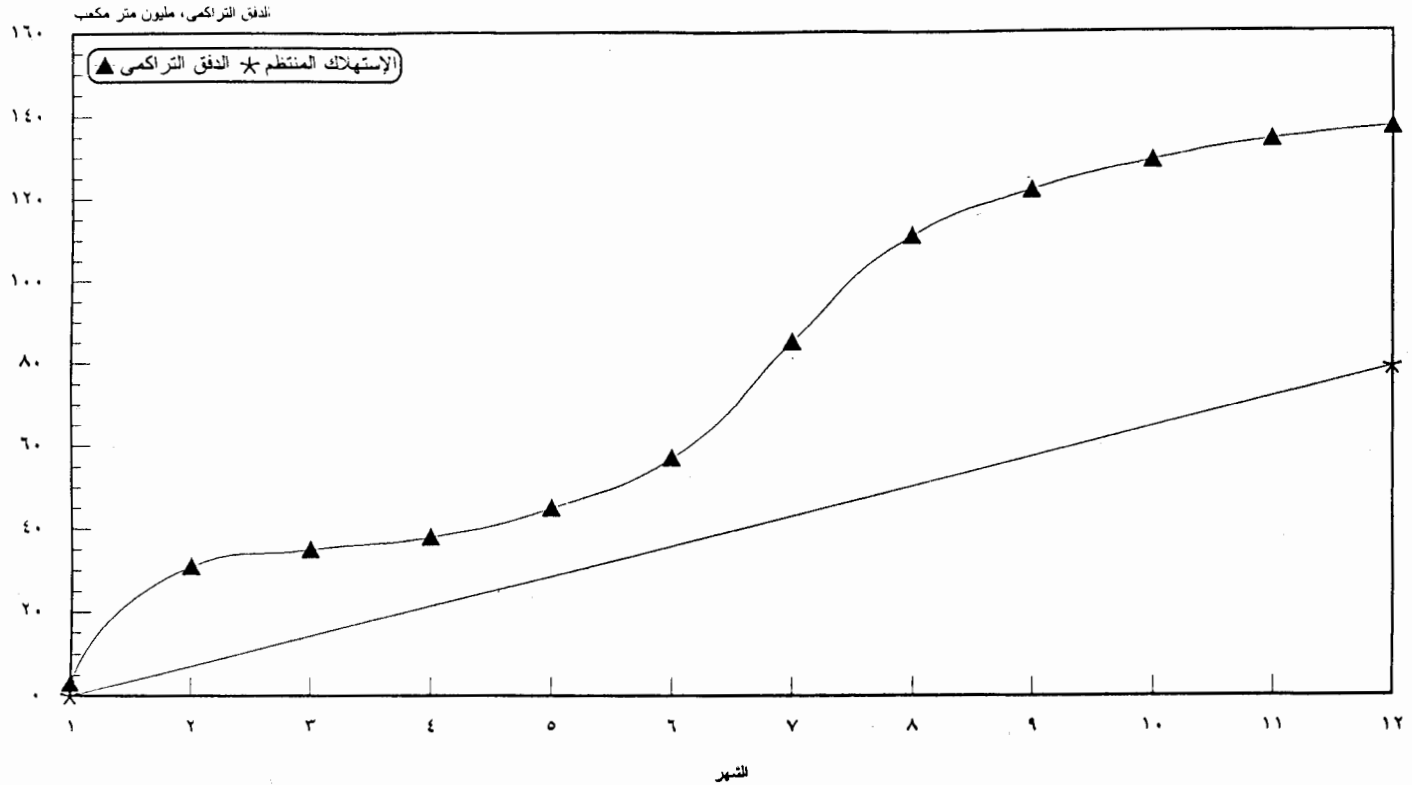
الحل :

١- المعطيات: الإستهلاك المنتظم ٢,٥ م^{٣}/ ث ، وبيانات المياه الشهرية .

٢- أوجد الدفق التراكمى الكلى كما موضح فى الجدول أدناه :

الشهر	الدفق الشهرى	الدفق 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- إرســـــــم منحنى دفق الكتلة للبيانـات المتحصل عليها فى الخطوة ٢ أعلاه برسم قيم الدفق التراكمى



منحنى دفق الكتلة للمثال ١

كمتغير بالنسبة للشهور .

٤- أوجد قيمة معدل الإستهلاك المنتظم السنوى (لشهر ديسمبر)

= ٢,٥ (م^{٣}/ ث) × ٣٦٠٠ (ث/ ساعة) × ٢٤ (ساعة/ يوم) × ٣٦٥ (يوم/ سنة)

= ٧٨,٨ × ١٠ ^{٦} م^{٣}/ سنة .

٥- إرسم خط السحب المنتظم من نقطة الأصل الى النقطة (و) على منحنى دفق الكتلة .

إرســـم خطا موازيا لخط السحب من النقطة التى يكون فيها الخزان ممتلئا ، ثم أوجد قيمة أقل تخزين مطلوب للمستودع لمواكبة الإستهلاك = ١٠ × ١٠ ^{٦} 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 النواحى 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 لايحتاج 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 المـــاء ، والكميـــات المطلوبة من الميـــاه مقارنة بالمتاح من المصـــادر المختلفة، والنواحي الفنية

والإجتماعية بالمنطقة .

ومن العوامل المؤثرة على أنماط توزيع المياه {٦} :
(أ) طرق الإستهلاك من ناحية الكم والكيف والنوع .
(ب) تعريفة الماء .
(جـ) المواد المطلوبة للإنشاء والتشييد والإصلاح والترميم والصيانة الدورية .
(د) وجود التقانة 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 للإستعمال 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. وينبغى 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 والدساكر 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 الإقتصادية والإجتماعية 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}. وفى حالة تبعثر المنازل فى المناطق الريفية يمكن أن تؤخذ مسافة ٥٠٠ متر كحد أقصى، وتكون كمية المياه الممكن الحصول عليها من الحنفية العامة فى حدود ٢٠ لتر من الماء فى الدقيقة. ويستحسن ألا يتعدى عدد المستهلكين المستخدمين لكل حنفية واحدة ٤٠ الى ٧٠ فردا. وفى حالة تعدد الحنفيات فى منطقة ما يمكن أن يصل عدد المستهلكين من ٢٥٠ الى ٣٠٠ فردا. ولا ينبغى أن يتعدى الرقم ٥٠٠ مستهلكا بأى حال من الأحوال لتفادى تكوين صفوف الماء الطويلة، وضياع الزمن، وإزدياد إحتمالات التلوث خاصة من الأطفال، وتفادى المشاكل التى تحدث من جراء إحتكاك الناس مع بعضهم البعض فى 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 الإستفادة 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، والإستفادة من هذه المعلومات فى المنشآت المستقبلية، أو لزيادة عدد حنفيات المياه العامة، أو لتحديد تعريفة الماء .
- أن يكون ضغط الماء مناسبا .
- يستحسن إستخدام حنفيات مصنعة من مواد يسهل تواجدها محليا، بغية القيام بعمليات الإصلاح والترميم، وأن تكون الحنفيات قوية لتتحمل 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 البلوفينيل أو البوليثين)، 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 بإرتفاع المنازل المحيطة. ولكن فى معظم المناطق تستخدم المضخات لضخ الماء من المصادر المائية (مثل الآبار، أو البرك، أو الأنهار، أو الخيران، أوغيرها). 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 .
- سهلة 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 هنالك 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 .

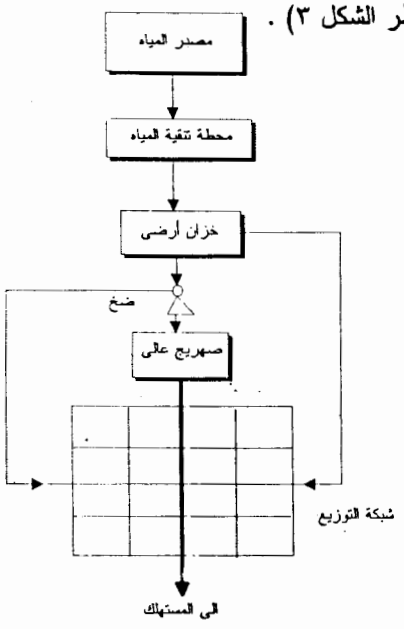
- إنخفاض مستوى الماء فى البئر بعيدا عن المضخة .
- عـــــدم متابعة عمـــــــل المضخات وعدم تحليل أسباب العطب وعدم وغياب الإستخدام الأمثـــل للسجلات للمتابعة .

عادة تعتمد تكلفة شبكات التوزيع بدرجة كبرى على طول المواسير وبدرجة أقل على قطر المواسير، وعليه فمن الأفضل تصميم الشبكات حتى لاتسمح بمرور كمية كبيرة من الماء لتسهيل التحول إلى طرق ونظم توزيع أفضل دون ممارسة زيادة كبيرة في 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 برصفائهم في المدن الذين يستعملون ماء مأمون من النواحي الصحية، وفي بكل الكميات المطلوبة، وفي متناول الأيدى، 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 لتنساب منه المياه الى شبكة التوزيع بالمدن (أنظر الشكل ٣) .



شكل (٣) توزيع المياه للإستهلاك {٧}

٤-٣-٢-١ ضخ الماء إلى الخزان العلوي

ولضخ الماء الى الخزان العلوى تستخدم مضخات ذات ضغط عالي يمكنها من رفع الماء، ويستحسن على الأقل إستعمال مضختين لتفادي مشاكل الأعطاب وتوقف تدفق المياه عند حدوثها .

أما بالنسبة الى كيفية تشييد الخزان العلوى فيمكن أن يستخدم الخزان المعدنى (مصنع من الحديد الصلب) أو الخزان الخرسانى 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 فى 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 الى 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 آليا فى المحطة المتحكمة فى التوزيع المركزى .

أما إذا كان حجم الإستهلاك كبيرا جدا ويوجد إختلاف شاسع بين معدلات الإستهلاك (الأقصى والأدنى والمتوسط) فيلجأ الى مساعدة خزان التخزين العلوي (للإيفاء 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 فى خواص الماء أو نمو بكتريا ضارة) قد يؤدي إلى عواقب صحية وخيمة تنتشر على مستوى المدينة .

٤-٣-٢-٢ شبكة التوزيع (أنظر الشكل ٤)

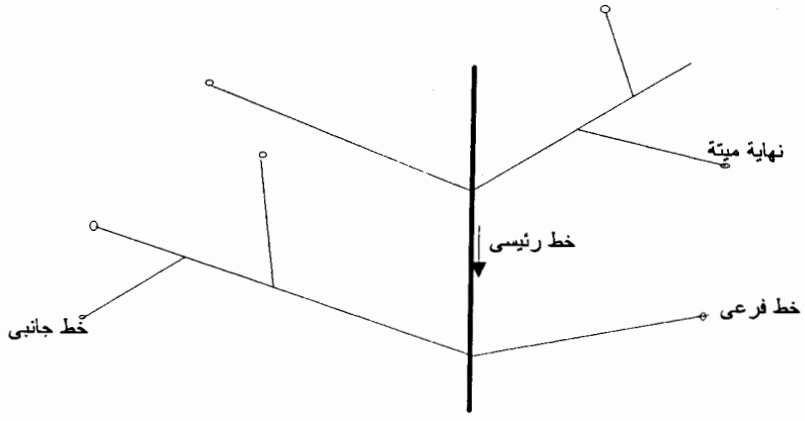
الأنماط المستخدمة لتوزيع المياه فى شبكات التوزيع عبارة عن شبكات من الأنابيب فى شبكات من الطرق المارة فيها . وتصمم الشبكة لتخدم كل القطاعات: من أفراد ، ومناطق تجارية وصناعية ، وغيرها من الأماكن العامة .

ويعتمد نوع الدفق وخواصه على عوامل عديدة منها: تخطيط الشوارع والطرق، وطبغرافية وجيولوجية منطقة الشبكة، وموقع الشبكة، ونوع الخزانات والمستودعات .

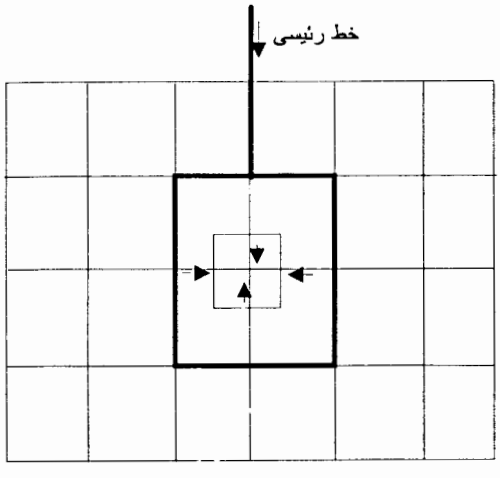
عند إنسياب المياه تحت ضغط معقول من الخزان العلوي أو عن طريق الضخ المباشر، أو الإثنين معا، فإنها تسرى من خلال خط التوزيع الرئيسى (الماسورة الرئيسية) إلى الخطوط الفرعية داخل الشبكة ومن ثم الى نقاط الإستهلاك. وهنالك أكثر من نوع من الشبكات الموزعة لمياه المدن تقسم طبقا للشكل ومبادئ التصميم . ومن أهم هذه الأنواع: النوع الشجري والنوع الدائري .

(أ) النوع الشجري Branching pattern with dead ends : (أنظر شكل ٥)

فى 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 الشجرى بساطة التوزيع.



شكل (٥) التوزيع الشجرى



شكل (٤) التوزيع عن طريق شبكة المياه {٢٨،٧٠}

وبساطة تصميم شبكة الأنابيب، والإستخدام الإقتصادى لأطوال الأنابيب، وقلة التكلفة والإنشاء، وإنسياب المياه فى نفس الإتجاه ربما يسمح بوجود ماسورة واحدة لتغذية منطقة ما. أما مساوئ النظام فتضم 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 أى 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 السمت 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 إختبارها مبدئيا من حيث التسرب وحجمه وبعد ذلك تطهيرها بواسطة محلول مادة مطهرة فعالة، مثل

الكلور 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 الإنسياب 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 الصفحى (أو الطبقى أو الرقائقى) Laminar flow: وفى هذا النوع من الدفق تنساب جزيئات المائع عبر ملساء 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 .

جـ) الدفق للمائع المثالى Ideal flow: يتم الدفق لمائع ليس به قوى إحتكاك وغير منضغط Incompressible. والمائع عديم الإحتكاك غير لزج ويمكن عكس عمليات تدفقه .

د) الدفق الكاظم للحرارة أو الدفق الإدبياتى diabatic flow: وفى هذا النوع من الدفق يتم نقل الحرارة من والى المائع .

هـ) الدفق المستقر Steady flow: (أنظر شكل ٧). وفى هذا النوع من الإنسياب لا تتغير حالة المائع على أى نقطة فى المائع بالنسبة للزمن، أى أن الإنسياب لا يحدث فيه تغير للكثافة، أو الضغط، أو الحرارة بالنسبة للزمن كما موضح فى المعادلة ١ .

$$\partial T / \partial t = 0, \qquad \partial P / \partial t = 0, \qquad \partial \rho / \partial t = 0 \qquad (١)$$

حيث :

ρ = الكثافة (كجم/ م^٣) .

t = الزمن (ث) .

P = الضغط (باسكال) .

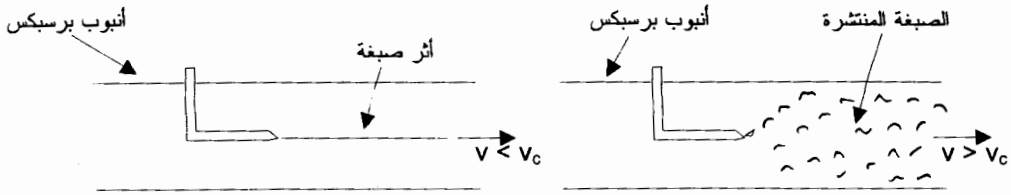
T = درجة الحرارة (كلفن) .

و) الإنسياب غير المستقر Unsteady flow: (أنظر شكل ٧). وفى هذا النوع من الدفق تتغير الخواص فى أى نقطة فى المائع بتغير الزمن .

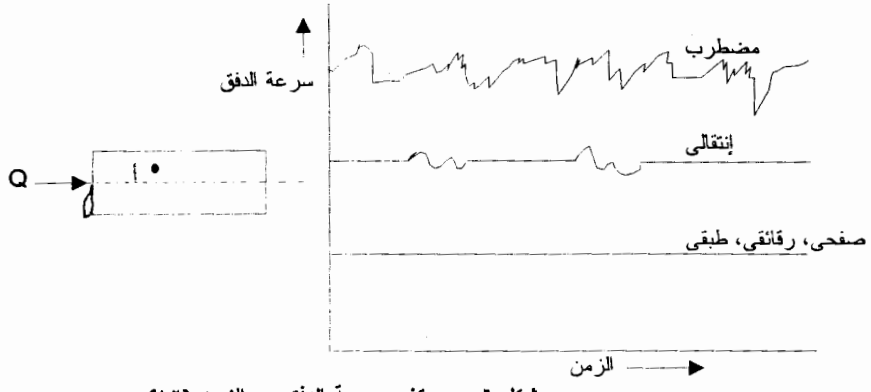
ز) الإنسياب المنتظم Uniform flow: وفى هذا النوع من الإنسياب فإن موجه السرعة على أى نقطة فى المائع يكون متطابق فى المقدار والإتجاه فى أى زمن كما موضح فى المعادلة ٢ .

$$\partial v / \partial s = 0 \qquad (٢)$$

حيث :

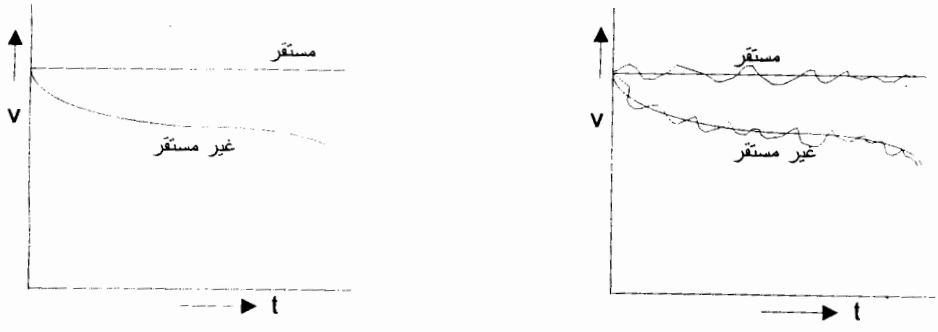


شكل ٦-أ مسار وسلوك الصبغة فى أنبوب {١٠}



شكل ٦-ب تغير سرعة الدفق مع الزمن {١٢}

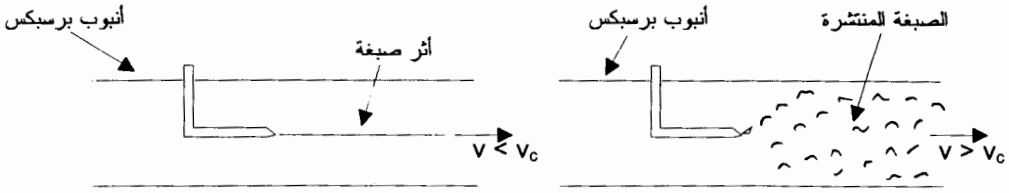
شكل ٦ أنواع الدفق



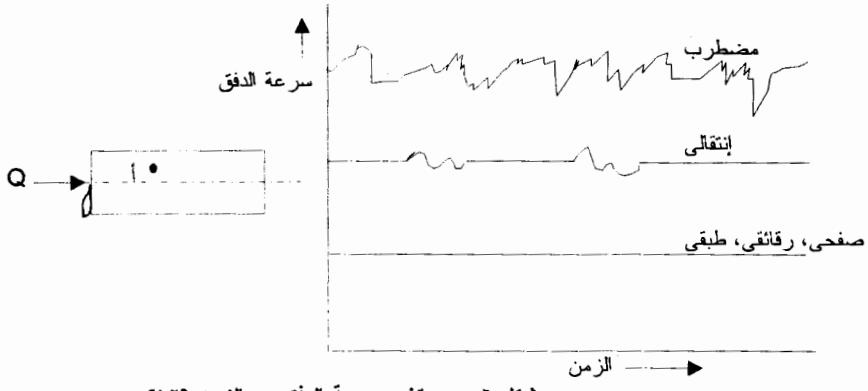
شكل ٧ - ب دفق صفحى أو رقائقى

شكل ٧ - أ دفق مضطرب

شكل (٧) الإنسياب المستقر و الإنسياب الغير مستقر {١٠}

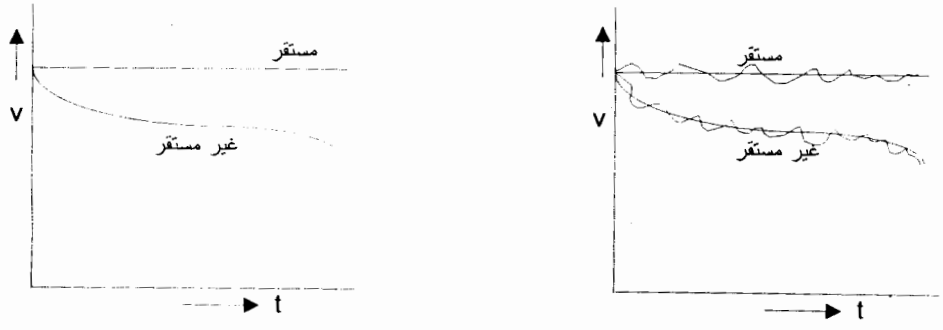


شكل ٦-أ مسار وسلوك الصبغة فى أنبوب {١٠}



شكل ٦-ب تغير سرعة الدفق مع الزمن {١٢}

شكل ٦ أنواع الدفق



شكل ٧ - ب دفق صفحى أو رقائقى

شكل ٧ - أ دفق مضطرب

شكل (٧) الإنسياب المستقر و الإنسياب 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

$$\partial v / \partial s = 0 \qquad (٣)$$

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 دائريا. كما وتصمم لتتحمل فرق ضغط كبير على جدرانها بدون تشوه فى شكلها {٤، ١٢}. 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 .

$$Re = \rho * v * D / \mu \qquad (٤)$$

حيث :

Re = رقم رينولد (لا بعدى) .

ρ = كثافة المائع (كجم/ م^3) .

v = سرعة الدفق (م/ ث) .

D = قطر الأنبوب (م) .

μ = درجة اللزوجة الديناميكية (نيوتن*ث/ م^2) .

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 الصفحى ونظيره المضطرب داخل أنبوب أفقى. كما ويمثل الجدول أثر بعض العوامل على الدفق والضغط .

جدول (٢)
مقارنة بين الدفق الصفحى والدفق المضطرب {١٢}

العامل المؤثر	الدفق الصفحى	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 $\Delta P \sim g\,\varepsilon^c$	يعتمد الضغط على خشونة الأنبوب $\Delta P = f(\varepsilon)$

يمكن إيجاد معدل الدفق غير المنضغط فى أنبوب أفقى (أنظر شكل ٨) بإعتبار أن الدفق نيوتونى وصفحى كما مدرج فى المعادلة ٥ ، والتى تمثل معادلة بواسيولى Poiseulli's law .

$$Q = \pi * D^4 * \Delta P / 128 * \mu * L \qquad (٥)$$

حيث :

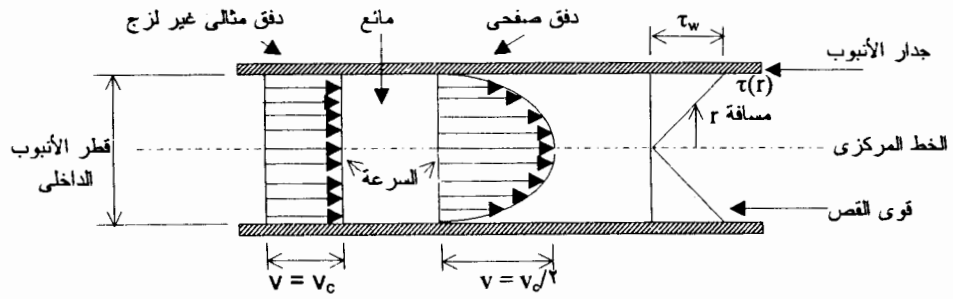
Q = معدل الدفق (م^3/ ث) .

D = قطر الأنبوب الأفقى (م) .

ΔP = هبوط الضغط داخل الأنبوب (باسكال) .

μ = درجة اللزوجة الديناميكية (نيوتن*ث/ م^2) .

L = طول الأنبوب (م) .



شكل (٨) تغير السرعة وقوى القص داخل أنبوب يحوى مائع

وبالنسبة للأنابيب التى تميل بزاوية φ على الأفقى يمكن إيجاد معدل الدفق خلالها من المعادلة ٦ .

$$Q = \pi*D^4*(\Delta P - \gamma*L*\sin\varphi) / 128*\mu*L \qquad (٦)$$

حيث :

γ - كثافة السائل (كجم/ م^3) .

φ = زاوية ميل الأنبوب مع الخط الأفقى (°) .

ويمكن إيجاد قيمة سرعة الدفق بقسمة المعادلة ٥ على مساحة مقطع الأنبوب كما مبين فى المعادلة ٧ .

$$v = D^2*\Delta P / 32*\mu*L \qquad (٧)$$

حيث :

v - السرعة المتوسطة للدفق (م/ ث) .

D - قطر الأنبوب (م) .

ΔP - هبوط الضغط (باسكال) .

μ - درجة اللزوجة الديناميكية (نيوتن*ث/ م^2) .

L - طول الأنبوب (م) .

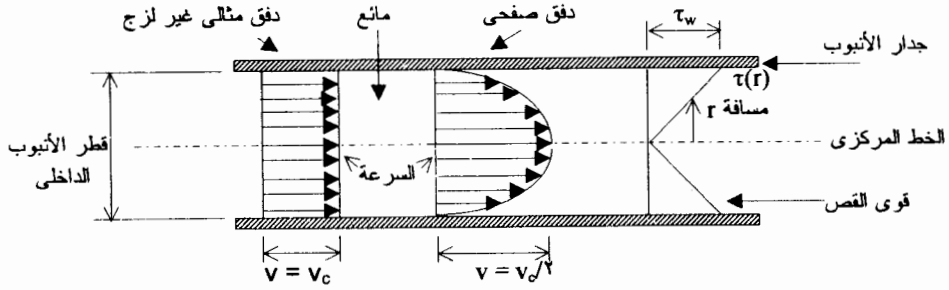
ويوضع المعادلة ٧ فى صورة القيمة اللابعدية $\Delta P/(\rho*v^2/2)$ تنتج معادلة دارسى ويسباش Darcy-Weisbach equation الموضحة فى المعادلة ٨ .

$$h_f = 32*\mu*(L/D)*(v^2/\gamma) = f*(L/D)*(v^2/2*g) \qquad (٨)$$

حيث :

h_f - فقد السمت (النقصان فى خط الميل الهايدروليكى) (م*نيوتن/نيوتن) .

μ - درجة اللزوجة الديناميكية (نيوتن*ث/ م^2) .



شكل (٨) تغير السرعة وقوى القص داخل أنبوب يحوى مائع

وبالنسبة للأنابيب التى تميل بزاوية φ على الأفقى يمكن إيجاد معدل الدفق خلالها من المعادلة ٦ .

$$Q = \pi*D^4*(\Delta P - \gamma*L*\sin\varphi) / 128*\mu*L \qquad (٦)$$

حيث :

γ = كثافة السائل (كجم/ م^3) .

φ = زاوية ميل الأنبوب مع الخط الأفقى (°) .

ويمكن إيجاد قيمة سرعة الدفق بقسمة المعادلة ٥ على مساحة مقطع الأنبوب كما مبين فى المعادلة ٧ .

$$v = D^2*\Delta P / 32*\mu*L \qquad (٧)$$

حيث :

v = السرعة المتوسطة للدفق (م/ ث) .

D = قطر الأنبوب (م) .

ΔP = هبوط الضغط (باسكال) .

μ = درجة اللزوجة الديناميكية (نيوتن*ث/ م^2) .

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 .

$$h_f = 32*\mu*(L/D)*(v^2/\gamma) = f*(L/D)*(v^2/2*g) \qquad (٨)$$

حيث :

h_f = فقد السمت (النقصان فى خط الميل الهايدروليكى) (م*نيوتن/نيوتن) .

μ = درجة اللزوجة الديناميكية (نيوتن*ث/ م^2) .

L = طول الماسورة (م) .

D = قطر الماسورة (م) .

v = متوسط سرعة الدفق (م/ث) .

γ = الوزن النوعى (نيوتن/ م^3) .

g = عجلة الجاذبية الأرضية (م/ ث^2) .

f = معامل الإحتكاك أو معامل دارسى للإحتكاك .

وبالنسبة للدفق الصفحى فيمكن إيجاد معامل الإحتكاك من المعادلة ٩ .

$$f = 64 / Re \qquad (٩)$$

أما بالنسبة للدفق المضطرب فيمكن إيجاد معامل الإحتكاك من معادلة كولبروك Colebrook للأنابيب الجديدة النظيفة وللدفق غير المنضغط كما موضح فى المعادلة ١٠ .

$$(1/\sqrt{f}) = -2*\log [((\varepsilon /D)/3.7) + (2.51/(Re*\sqrt{f}))] \qquad (١٠)$$

حيث :

f = معامل كولبروك للإحتكاك .

ε = المعامل النسبى للإحتكاك (م) .

D = قطر الأنبوب (م) .

Re = رقم رينولد (لا بعدى) .

كما ويمكـــــن أن تستخدم رســـــم مودى Moody's diagram {١٣} لتحديد قيمة معامل الإحتكاك (شكل ٩) .

مثال ١ :

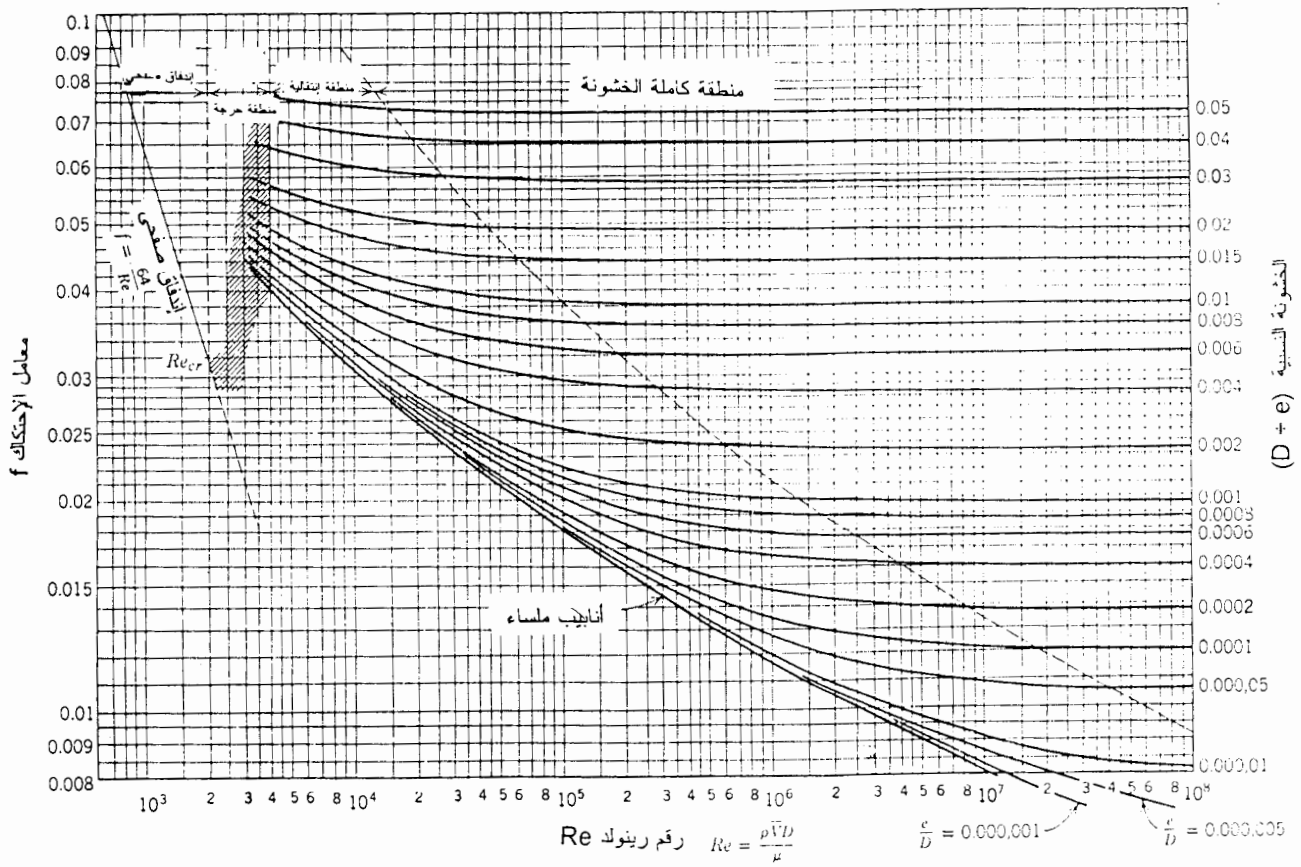
يندفع مائع عبر أنبوب قطره ٥ ملم وطوله ١٥ سم بمعدل إندفاق ٠,٢ لتر فـي الدقيقـة. بـافتراض أن فقد السمت في الأنبوب يقارب ٨٠ سم، أوجد درجـة اللزوجـة الكينامتيكيـة للمـائع. كيـف تصنـف نـوع الدفق داخل الأنبوب ؟

الحل :

١- المعطيات: D = ٥ ملم = ٥×١٠$^{-٣}$ م، L = ١٥ سم = ٠,١٥ م، Q = ٠,٢ لتر/دقيقة = (٠,٢×١٠$^{-٣}$) ÷ ٦٠ = ٣,٣×١٠$^{-٦}$ م^3/ ث، h_f = ٨٠ سم = ٠,٨ م .

٢- أحسب درجة اللزوجة الكينامتيكية من المعادلة

$$\nu = \pi*D^4*\Delta P / 128*Q*L*\rho$$



شكل (٩) معامل الإحتكاك لدفق مكتمل فى أنابيب دائرية {١٣}

$$= \pi * D^4 * g * h_f / 128 * Q * L$$

$\nu = [\pi \times (٥ \times ١٠^{-٣})^٤ \times ٩,٨١ \times ٠,٨] \div [١٢٨ \times ٣,٣ \times ١٠^{-٦} \times ٠,١٥] = ٢,٤٣ \times ١٠^{-٤}$ م^٢/ ث

٣- أوجد السرعة المتوسطة للدفق من المعادلة

$$v = Q / A$$

$v = (٣,٣ \times ١٠^{-٦}) \div [(\pi \div ٤) \times (٥ \times ١٠^{-٣})^٢] = ٠,١٦٨$ م/ ث .

٤- أوجد رقم رينولد من المعادلة

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

$Re = (٠,١٦٨ \times ٥ \times ١٠^{-٣}) \div (٢,٤٣ \times ١٠^{-٤}) = ٣,٥$.

وبما أن رقم رينولد يقل عن ٢١٠٠ فيمكن اعتبار الدفق صفحي .

وعـــادة في الحياه العملية يكون الدفق مضطربا في الأنابيب والمواسير الحاملة للمياه. وتتواجد الفروق الواضحـــة بين الدفق الصفحي والدفق المضطرب في مركبات السرعة، والضغط، وقوى القص، ودرجة الحرارة، وغيرها من المتغيرات المؤثرة. ولايوجد 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 فى المعادلة ١١ .

$$u(t) / v_c = [1 - (r / R)]^{1/n} \qquad (١١)$$

حيث :

u = السرعة على الزمن t (م/ ث) .

v_c = قيمة السرعة على الخط المركزى (م/ ث) .

r = المسافة القطرية من الخط المركزى (م) (أنظر شكل ٨) .

R = نصف قطر الأنبوب (م) .

n = ثابت يعتمد على رقم رينولد (عادة يؤخذ ليساوى ٧) .

والسرعة على الخط المركزى يمكن إيجادها من المعادلة ١٢ .

$$v_c = \Delta P * D^2 / 16 * \mu * L \qquad (١٢)$$

حيث :

v_c = سرعة الدفق على الخط المركزى (م/ ث) .

ΔP = هبوط الضغط (باسكال) .

D = 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 الإحتكاك المطلق ٠,٠٧ ملم. أوجد فقد السمت نتيجة للإحتكاك، وأوجد القدرة المطلوبة لإتمام الإندفاق .

الحل :

١- المعطيات: T = ٢٠ °م، D = ٥٠ ملم، L = ٦٤٠ م، Q = ٢٥ لتر/ دقيقة، g = ٠,٠٧ ملم

٢- أوجد من جدول (جـ) ولدرجة حرارة ٢٠ °م قيمة درجة اللزوجة الديناميكية والكثافة

μ = ١,٠٠٨٧ × ١٠$^{-٣}$ نيوتن*ث/ م^{٢}، ρ = ٩٩٨,٢٠٣ كجم/ م^{٣} .

٣- أوجد سرعة الدفق من المعادلة

$$v = Q / A$$

v = (٢٥ × ١٠$^{-٣}$) ÷ [٦٠ × (٤ ÷ π) × (٥٠ × ١٠$^{-٣}$)^{٢}] = ٠,٢١٢ م/ ث .

٤- أوجد رقم رينولد من المعادلة

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

Re = [٩٩٨,٢٠٣ × ٠,٢١٢ × ٥٠ ×١٠$^{-٣}$] ÷ (١,٠٠٨٧ × ١٠$^{-٣}$) = ١٠٥٠٠

وهذا الرقم أكبر من ٤٠٠٠ مما يعنى أن الدفق مضطرب .

٥- أوجد معامل الإحتكاك (f) من رسم مودى (شكل ٧) لقيمة Re = ١٠٥٠٠

ولقيمة (ε / D) = (٠,٠٧ × ١٠$^{-٣}$) ÷ (٥٠ × ١٠$^{-٣}$) = ١,٤ × ١٠$^{-٣}$.

f = ٠,٠٣٢.

أو بإستخدام معادلة كولبروك

$$1/\sqrt{f} = -2*\log [((1.4*10^{-3})/3.7) + (2.51/(10500*\sqrt{f}))]$$

ومن التجربة والخطأ (أو بإستخدام طريقة نيوتن رافسون) يمكن تقدير معامل الإحتكاك ليساوى :

f = ٠,٠٣٢٦ .

٦- أوجد فقد السمت من المعادلة

$$h_f = f*(L/D)*(v^2/2*g)$$

h_f = ٠,٠٣٢٦ × [٦٤٠ ÷ (٥٠ × ١٠$^{-٣}$)] × [(٠,٢١٢)^{٢} ÷ (٩,٨١×٢)] = ٠,٩٦ مترا .

إن معظم أنواع فقد السمت Losses التى تحدث فى النظام تكون من جراء الإحتكاك عبر المقاطع المستقيمة من الأنابيب، وتسمى بالفقد الأكبر Major losses. وهنالك فقد عبر المحابس Valves والصمامات والثنيات والإنحناءات فى الأنابيب والأكواع Tees وتسمى بالفقد الأصغر Minor losses. ومن الطرق المتبعة لتقدير فقد السمت الأصغر أو هبوط الضغط يمكن إستخدام المعادلة ١٣ .

$$h = k*v^2 / 2*g \qquad (١٣)$$

حيث :

h = فقد السمت الأصغر (م) .

k = ثابت الفقد، والذى يعتمد على هندسة الأجزاء والتركيبات كما ويعتمد على خواص المائع .

v = سرعة الدفق (م/ ث) .

g = عجلة الجاذبية الأرضية (م/ ث^2) .

ولتحديد فقد السمت فى الأنابيب تستخدم طرق عديدة للأنابيب الموصولة على التوالى وتلك الموصولة على التوازى. 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 تراكميا لها، ومن معادلة الإستمرارية يمكن كتابة المعادلة ١٤ .

$$Q = Q_1 = Q_2 = ... = Q_i \qquad (١٤)$$

حيث :

Q = معدل الدفق الداخل للأنابيب (م^3/ث) .

Q_i = معدل الدفق الداخل للأنبوب رقم i (م^3/ث) .

ومن معادلة الطاقة يمكن كتابة المعادلة ١٥ .

$$(hL)_T = (hL)_1 + (hL)_2 + ... + (hL)_N = \sum_{i=1}^{N} (hL)i \qquad (١٥)$$

حيث :

$(h_L)_T$ = فقد السمت الكلى عبر الأنابيب (م) .

$(h_L)_i$ = 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

$$(h_L)_T = \sum_{i=1}^{N} (f_i * L_i/D_i) * (v_i^2/2g) + \sum_{i=1}^{N} k_i * (v_i^2/2g) \qquad (١٦)$$

حيث :

$(h_L)_T$ = فقد السمت الكلي للأنابيب (م) .

f_i = معامل الإحتكاك للأنبوب رقم i .

v_i = سرعة الدفق داخل الأنبوب i (م/ث) .

D_i = قطر الأنبوب i (م) .

g = عجلة الجاذبية الأرضية (م/ ث^2) .

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 .

$$L_e = (f / f_s) * L * (D_s / D)^5 \qquad (١٧)$$

حيث :

L_e = الطول المكافئ (الجديد) (م) .

f = معامل الإحتكاك للأنبوب المراد تغييره .

f_s = معامل الإحتكاك 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 الإحتكاك يساوي ٠,٠٢ و ٠,٠١٥ لكل منهما على الترتيب. إذا كان فقد السمت يساوي ٥ أمتار أوجد معدل الدفق (أ) مستخدما طريقة السرعة والسمت المكافئة (ب) طريقة الطول المكافئ .

الحل :

١- المعطيات: الأنبوب الأول L_1= ٣٠٠ م ، D_1 = ٢٥٠ ملم ، f_1 = ٠,٠٢ ،

الأنبوب الثانى L_2 = ٢٤٠ م ، D_2 = ١٥٠ ملم، f_1 = ٠,٠١٥ ، h_L = ٥ م.

٢- (أ) طريقة السرعة والسمت المكافئة :

إستخدم معادلة الإستمرارية للأنبوبين بإفتراض أن الدفق غير منضغط

$$Q = A_1 * v_1 = A_2 * v_2$$

أو $$(\pi/4) * D_1^2 * v_1 = (\pi/4) * D_2^2 * v_2$$

ويمكن إيجاد السرعة فى الأنبوب الثانى من المعادلة

$$v_2 = v_1 * (D_1/D_2)^2$$

$$v_2 = (٢٥٠ \div ١٥٠)^٢ \times v_1 = ٢,٧٨ \times v_1$$

٣- إستخدم معادلة الطاقة للأنبوبين

$$h_L = (f_1 * L_1/D_1) * (v_1^2/2g) + (f_2 * L_2/D_2) * (v_2^2/2g)$$

$$٥ = [٠,٠٢ \times ٣٠٠ \times (v_1)^٢] \div [٢ \times ٩,٨١ \times ١٠^{-٣} \times ٢٥٠] +$$

$$[٠,٠١٥ \times ٢٤٠ \times (v_1 \times ٢,٧٨)^٢] \div [٢ \times ٩,٨١ \times ١٠^{-٣} \times ١٥٠] = ١٠,٦٨ \times (v_1)^٢$$

وعليه: v_1 = ٠,٦٨٤ م/ ث .

٤- أوجد معدل الدفق من المعادلة $Q = A_1 * v_1$

$$Q = ٠,٦٨٤ \times (٤ \div \pi) \times (٢٥٠ \times ١٠^{-٣})^٢ = ٠,٠٣٤ \text{ م}^٣/\text{ ث} .$$

٥- ب) طريقة الطول المكافئ :

إختر الأنبوب ذا القطر ٢٥٠ ملم ، وعليه لإيجاد الطول المكافئ للأنبوب الثانى إستخدم المعادلة

$$L_e = (f / f_s) * L * (D_s / D)^5$$

$$L_e = (٠,٠١٥ \div ٠,٠٢) \times ٢٤٠ \times (٢٥٠ \div ١٥٠)^٥ = ٢٣١٥ \text{ م} .$$

٦- أوجد الطول الكلى المكافئ (لأنبوب قطره ٢٥٠ ملم ومعامل إحتكاكه ٠,٠٢)

$$= ٣٠٠ + ٢٣١٥ = ٢٦١٥ \text{ م}$$

٧- إستخدم معادلة الطاقة للأنبوب الجديد

$$h_f = (f * L/D) * (v^2/2g)$$

$$٥ = [٠,٠٢ \times ٢٦١٥ \times (v)^٢] \div [٢ \times ٩,٨١ \times ١٠^{-٣} \times ٢٥٠]$$

ومنها يمكن إيجاد

$$v = ٠,٦٨٤ \text{ م/ ث} .$$

٨- أوجد الدفق الداخل للأنبوب من المعادلة $Q = A * v$

$$Q = ٠,٦٨٤ \times (٤ \div \pi) \times (٢٥٠ \times ١٠^{-٣})^٢ = ٠,٠٣٤ \text{ م}^٣/\text{ ث} .$$

أما بالنسبة للأنابيب الموصلة على التوازى فإن فقد السمت فى أى خط يكون متساويا، ومعدل الدفق الكلى هو عبارة عن مجموع معدل الدفق فى كل أنبوب فى الحلقة. فمثلا يمثل الشكل (١٠) أربعة أنابيب متصلة على التوازى، وبإستخدام معادلة الإستمرارية يمكن كتابة المعادلة ١٨ .

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 = \sum_{i=1}^{N} Q_i \qquad (١٨)$$

حيث :

Q = الدفق الكلى الداخل للشبكة (م^3/ ث) .

Q_i = الدفق فى الأنبوب رقم i (م^3/ ث) .

N = عدد الأنابيب المتصلة على التوازى .

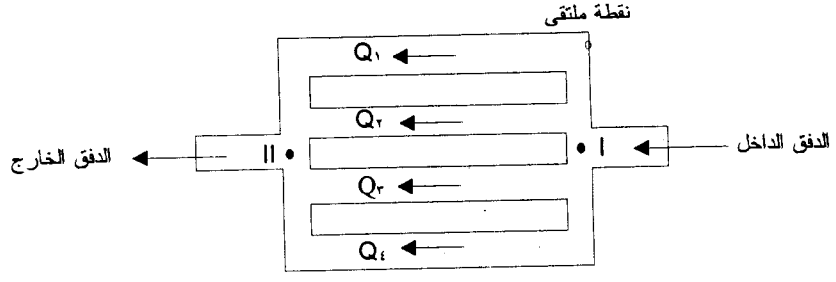
وتنتج معادلة الطاقة ما يلى :

$$(h_L)_T = (h_L)_1 = (h_L)_2 = \ldots\ldots = (h_L)_i \qquad (١٩)$$

حيث :

$(h_L)_T$ = فقد السمت الكلى (م) .

$(h_L)_i$ = فقد السمت للأنبوب رقم i (م) .



شكل (١٠) أنابيب موصلة على التوازى

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 الهايدروليكى على كل من النقطتين I و II معروفا. وفى هذه الحالة يسهل إيجاد معدل الدفق فى كل أنبوب، لأن فقد السمت عبارة عن الهبوط فى ميل الخط الهايدروليكى. والدفق الكلى هو عبارة عن مجموع الدفق لكل أنبوب .

ب) يتطلب إيجاد فقد السمت وتوزيع الدفق فى كل أنبوب بمعرفة الدفق الكلى .

والحالة الأخيرة معقدة لأن فقد السمت 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 إحتوت 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، بإفتراض قيم للدفق فى كل أنبوب، أو بإفتراض فقد السمت فى نقاط الملتقى، ثم للتأكد من أن القيم المفترضة تحقق ما يلى:

١) فقد السمت بين أى ملتقيين يتساوى لكل المسارات بين النقطتتيين .

٢) الدفق الداخل لكل نقطة ملتقى يساوى الدفق الخارج من النقطة .

وعندما لا تحقق القيم المفترضة الحالات المذكورة أعلاه فى 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 هاردى كروس Hardy Cross method. وهذه الطريقة تعطى نظاما لتقدير قيمة التصليح لكل حلقة Loop، أو ملتقى على حدة، بفرض أن الظروف فى بقية الشبكة لا تتغير. ولكن التصليح لجزء يؤثر على الأجزاء الأخرى وبذا فإن التوازى فى فقد السمت والدفق لا يتأتى من أول تصليح. غير أن تكرار الطريقة يأتى بالإقتراب من التوازن المنشود .

ويمكن إيجاز الطريقة المتبعة للحل بالنسبة للحلقات على النحو التالى :

أ) تتحقق معادلة الإستمرارية فى كل نقاط الملتقى. أى أن كمية الدفق الداخلة فى نقطة الملتقى تساوى مجموع الدفق الخارج (حاوية على أى ماء مضاف أو سحب من النظام على نقطة الملتقى)، كما مبين فى قانون كيرشوف للملتقى Kirchoff's node law فى المعادلة ٢٠ .

$$\Sigma_{i=1} \; Q_i = 0 \qquad (٢٠)$$

حيث :

Q_i = معدل الدفق على نقطة الملتقى رقم i (م^٣/ ث). (الدفق يكون موجبا إذا كان فى إتجاه عقرب الساعة) .

N = عدد نقاط الملتقى .

ب) يتحقق قانون بقاء الطاقة. وهنا فإن فقد الطاقة يتساوى فى كل المسارات التى تمر عبرها المياه. أى بمعنى أن المجموع الجبرى لفقد السمت يساوى صفرا عبر أى حلقة مغلقة من الأنابيب. كما وأن مجموع فقد السمت للأنابيب التى توصل مصدرين لها سمت ثابت تساوى فرق السمت بين المصدرين. وهذا يعنى أن المجموع الجبرى لفقد السمت لأى حلقة (عبر مسار معين) يساوى صفرا كما موضح فى المعادلة ٢١.

$$(\Sigma h_f)_{loop} = 0 \qquad (٢١)$$

وعندما يراد تحليل الشبكة فهنالك إحدى حالتين :

• موازنة فقد السمت بتصحيح الدفق الإفتراضى .

• موازنة الدفق بتصحيح فقد السمت الإفتراضى .

(١) طريقة إفتراض تصميم الدفق الإفتراضى (طريقة موازنة فقد السمت) :

وطريقة هاردى كروس تقوم بتحليل الشبكة بإستخدام الحالة الأولى، مفترضة الدفق فى كل أنبوب، ومن ثم يحسب عدم الإتزان 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 السمت يمكن إستخدام إحدى معادلات فقد السمت والتى تأخذ الصورة العامة الموضحة فى المعادلة ٢٢ .

$$h_f = k*Q^n \qquad (٢٢)$$

حيث :

h_f = فقد السمت (م) .

Q = معدل الدفق فى الأنبوب (م^3/ ث) .

k = معامل المقاومة (حد ثابت يعتمد على هندسة الأنبوب ، وقطره ، وطوله ، والمواد المصنع منها ، وعمر الأنبوب ، وخواص المائع مثل اللزوجة ، ودرجة الحرارة) .

n = ثابت أسى لكل الأنابيب. وعند إستخدام معادلة دارسى ويسباش Darcy-Weisbach : $[h_f = f*(L/D)*(v^2/2*g)]$ فإن n = ٢، وعند إستخدام معادلة مانننج Manning's equation: $[v = (1/n)*r_H^{2/3}*s^{1/2}]$ 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

$$Q_2 = Q_1 + \Delta Q_1 \qquad (٢٣)$$

حيث :

Q_2 = الدفق الإفتراضى الثانى (بعد التصحيح) (م^3/ ث) .

Q_1 = الدفق الإفتراضى الأول (قبل التصحيح) (م^3/ ث) .

ΔQ_1 = معامل التصحيح الأول .

أما مجموع فواقد السمت حول أى حلقة (بأخذ أرقام الدفق المفترض) فتوجد من المعادلة ٢٤

$$(h_f)_1 = \Sigma (k*Q_1^n) \qquad (٢٤)$$

حيث :

$(h_f)_1$ = فقد السمت الأول (م) .

ومجموع فواقد السمت بعد القيام بالتصليح الأول يمكن إيجاده من المعادلة ٢٥

$$(h_f)_2 = \Sigma [k*(Q_1 + \Delta Q_1)^n] \quad (٢٥)$$

حيث :

$(h_f)_2$ = المجموع الجبرى لفواقد السمت حول الحلقة .

ويمكن إعادة كتابة المعادلة ٢٥ لمتوالية مع إهمال الحدود الصغى لتقرأ كما مبين فى المعادلة ٢٦ .

$$(h_f)_2 = \Sigma [k*(Q_1^n + n\, Q_1^{n-1} * \Delta Q_1)] \quad (٢٦)$$

غير أن $(h_f)_2$ = صفر للحلقة، وعليه فمن المعادلة ٢٦ ينتج معيار التصحيح المدرج فى المعادلة ٢٧.

$$\Delta Q_1 = - \Sigma h_f / (n\, \Sigma(h/Q)) \quad (٢٧)$$

وتعنى إشارة السلب تناقص الدفق الموجب (الدفق فى إتجاه عقرب الساعة)، وتزايد الدفق السالب (عكس إتجاه عقرب الساعة). وهذه الطريقة تكرر الى أن يتم الحصول على الدقة المتوخاة {٤، ١١،١٣، ١٤} .

ويمكن تلخيص طريقة هاردى كروس كما مبين أدناه {٤، ١١،١٣، ١٤، ١٥،١٦} :

- يتم تحديد الهيئة الهندسية للشبكة .
- يفترض دفق مناسب فى كل أنبوب (ولا بد من تحقيق معادلة الإستمرارية فى كل ملتقى، ويؤخذ الدفق الموجب فى إتجاه عقرب الساعة لينتج فقد سمت موجب) .
- يتم تحديد الآتى لكل حلقة فى الشبكة :
  - يحدد مصطلح إشارات .
  - يوجد فقد السمت فى كل أنبوب .
  - يحسب المجموع الجبرى لفواقد السمت حول الحلقة .
  - يحسب مجموع كميات Σh و $n\, \Sigma(h/Q)$ لكل أنبوب فى الحلقة بغض النظر عن الإتجاه .
  - يعمل التصحيح اللازم للدفق داخل الحلقة .
  - يعاد تكرار الخطوات أعلاه لكل حلقة فى الشبكة مع عمل التصحيح اللازم لكل أنبوب الى أن يتم الحصول على الدقة المنشودة. ولابد من مراعاة عمل التصليح من أكثر من حلقة للعنصر المشترك بينها.

٢) طريقة إفتراض تصحيح فقد السمت (طريقة موازنة الدفق)

وفى هذه الطريقة يتم إفتراض خطأ فى فقد السمت على نقطة الملتقى. ويمكن إختصار هذه الطريقة فى الخطوات التالية :

- يفترض فقد السمت على نقطة الملتقى أ .
- يوجد معدل الدفق فى كل الأنابيب، بإستخدام فقد السمت المفترض على نقطة الملتقى .
- يوجد مجموع معدل الدفق لنقطة الملتقى (الدفق الموجب هو الدفق الداخل) ΣQ .
- تحسب نسبة الدفق لفقد السمت ($Q \div h$) لكل أنبوب .
  - يوجد مجموع قيم نسبة الدفق لفقد السمت $\Sigma (Q/h)$.
  - يوجد تصحيح فقد السمت كما موضح فى المعادلة ٢٨ .

$$\Delta h = (n*\Sigma Q) / \Sigma(Q/h) \qquad (٢٨)$$

- يصحح فقد السمت على نقطة الملتقى .
- تكرر الطريقة أعلاه الى أن يتم الحصول على قيم يمكن أن تهمل للمقدار Δh .

ومن مساوئ طريقة هاردى كروس {٤، ١٧، ١٨، ١٩، ٢٠، ٢١، ٢٢} :

- تهدر زمن كبير وتحتاج الى عمل ضخم 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 .
- طريقـــة معقدة عندما تستخدم لتحليل شبكة معقدة أو نظام يضم مستودعات مائية وشبكة ومضخات داخلية وصمامات وغيرها من التركيبات .

ويستعصى عمل هـذه الطريقـة بالنسبة لشبكات الميـاه الكبيرة، وعليـه يلجأ للحاسـوب لإتمـام التحـاليل. وهنالك 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 المصنعـة منهـا، وملتقى الأنابيب، وإرتفاع الملتقى، وخواص المضخـات المطلوبـة، وأنـواع الصمامـات والمحـابس، هـذا بالإضافة الى المعلومات التشغيلية: مثل كمية المياه الكلية المطلوبة والمنتجة، والفواقد فـى النظـام، ونقـاط صمامات التحكم، وإرتفاعات المستودعات والخزانات .

مثال ٤ :

أوجد معدل الدفق فى كل أنبوب من أنابيب الحلقة الموضحة على الرسم، علمـا بـأن الدفـق الكلـى الداخـل عند النقطة (أ) يساوى ٥٠٠ لترا على الثانية. (إستخدم معادلة هيزن وليام) .

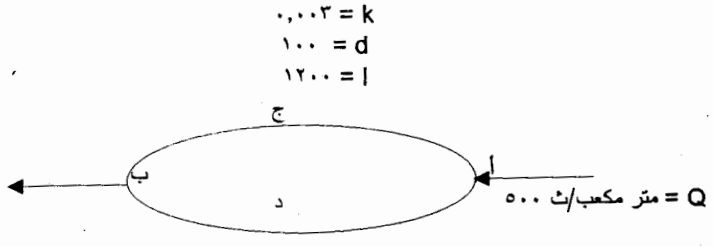
الحل:

١- المعطيات: Q = ٥٠٠ لتر/ ث، خواص الأنبوبين.

٢- • إفتـــــرض الدفق فى كل من الأنبوبين علما بأن الأنبوب الطويل الضيق تزيد فيه المقاومة للدفق (الدفق فى إتجاه عقرب الساعة موجب).

• أوجد فقد السمت مستخدما معادلة هيزن وليام $h_f = kQ^{1.85}$

• أوجد معامل التصحيح $\Delta Q_1 = - \Sigma h_f / (n \Sigma(h/Q))$



شكل مثال ٤

k = ٠,٠٠٤ متر
d = ٢٠٠ ملم
l = ٤٠٠ متر

وهذه الخطوات موضحة على الجدول الآتى :

الأنبوب	k	Q المفترض	h (= $kQ^{1.85}$)	Q ÷ h	ΔQ
الضبط الأول:					
أ جـ ب	٣×١٠^{-٣}	- ١٠٠	- ١٥,٠٤	٠,١٠٠٤	
أ د ب	٣×١٠^{-٤}	٤٠٠	٢٦,٠٥	٠,٠٦٥١	
			١١,٠١	٠,١٦٥٥	- ٣٦
الضبط الثانى:					
أ جـ ب	٣×١٠^{-٣}	- ١٣٦	- ٢٦,٥٦	٠,١٩٥٣	
أ د ب	٣×١٠^{-٤}	٣٦٤	٢١,٨٨	٠,٠٦	
			- ٤,٦٨	٠,٢٥٥٣	١٠
الضبط الثالث:					
أ جـ ب	٣×١٠^{-٣}	- ١٢٦	- ٢٣,٠٦	٠,١٨٣	
أ د ب	٣×١٠^{-٤}	٣٧٤	٢٣	٠,٠٦١٥	
			- ٠,٠٦	٠,٢٤٤٥	- ٠,١٣

وعليه يكـــون معـــــدل الدفـق ١٢٦ لـتر علـى الثانيـــــة فـى الأنبـوب ا جـ د ، و ٣٧٤ لـتر علـى الثانية فى الأنبوب أ د ب .

من العوامل الواجب مراعاتها عند إختيار المواسير للشبكة ما يلى :-

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 التقانة الملائمة للتشغيل والإصلاح .

غالبا تكون المواد المستعملة للمواسير من الآتي :-

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 المبلمرة .

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 نطـاق واسـع. كمـا 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، كمـا وأن هنـالك خطر نمو البكتريا الحديدية في بعض المواسير المعدنية. وعليه يجب التأكد وأخذ الحيطة وعمـل التحـاليل المناسبة لمعرفة خواص الماء وسرعة تدفقه والضغط المؤثر على الأنابيب عند إختيارها .

٤ - ٥ توزيع المياه للمستهلكين

يتم توزيـــع المياه لنقاط الإستهلاك بطريقة مستمرة (كمـا فـي المـدن الكبـيرة) أو بطريقـة متقطعـة مثـلا لساعـــات معينة من اليوم على حسب العوامـــــل الإقتصاديـة والهندسـية المؤثـرة وعنـد التحكـم فـي 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، وثمن المتر المكعب المحدد من الجهات المسؤولة عن توصيل وإمداد المياه .

ومن مميزات العدادات الفردية ما يلى :-
١- تحديد الإستهلاك الفعلي للمستهلك، ومن ثم جمع البيانات عن الإستهلاك الفعلى 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 وقراءتها 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 فى إستخدامه) .
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 ولابد من الأخذ فى الإعتبار ما ورد فى السنة الشريفة لما فى صحيح البخارى ٢٣٦٩ قال حدثنى عبدُ اللّه بنُ محمدٍ حدثّنا سُفيانُ عن عمرٍو عن أبى صالحٍ السّمانِ عن أبى هريرةَ رضىَ اللّه عنه عنِ النبىِّ صلى الله عليه وسلم قال: "ثلاثةٌ لا يُكلّمهمُ اللّه يومَ القيامةِ ولا يَنظُرُ إليهم: رجلٌ حَلَفَ على سِلعةٍ لقد أعطى بها أكثرَ مما أعطى وهوَ كاذبٌ، ورجلٌ حلفَ على يَمينٍ كاذبةٍ بعدَ العصرِ ليقتطِعَ بها مالَ رجلٍ مسلمٍ، ورجلٌ مَنعَ فَضلَ مائهِ فيقولُ اللّه: اليومَ أمنعُكَ فَضلى كما مَنعتَ فضلَ مالم تَعمَلْ يداكَ".

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 تتـــــأثر بعدد السكـــــان عند التصميم وعند نهاية عمر المحطة

(Design period)، ومعدلات الإستهلاك وتغيرها خلال اليوم والموسم والسنة والمتوقع عند نهاية عمر المحطة أو الشبكة أو كلاهما .

٢- الضغط في الشبكة وإستمرارية 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 التردي والتدهور الصحي والبيئي كما موضح في الشكل ١١.

إن إدارة قطاعي المياه والإصحاح من الإهمية 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 البين {٧} .

والإقتصاد فى إستعمال الماء من الأهمية بمكان ويحثنا ديننا الحنيف على ذلك، وقد جرى ذكر حديث النبى صلى الله عليه وسلم عن الإقتصاد فى الماء عند الوضوء وإن كان الإغتراف من البحر فى صدر الباب الثانى .

٤ - ٦ التآكل والتحات

تعمـــل التحاليل المناسبة للمياه لمعرفة نوعيتها تفاديا للمخاطر والأضرار التى 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 لانقلير Langelier index :-

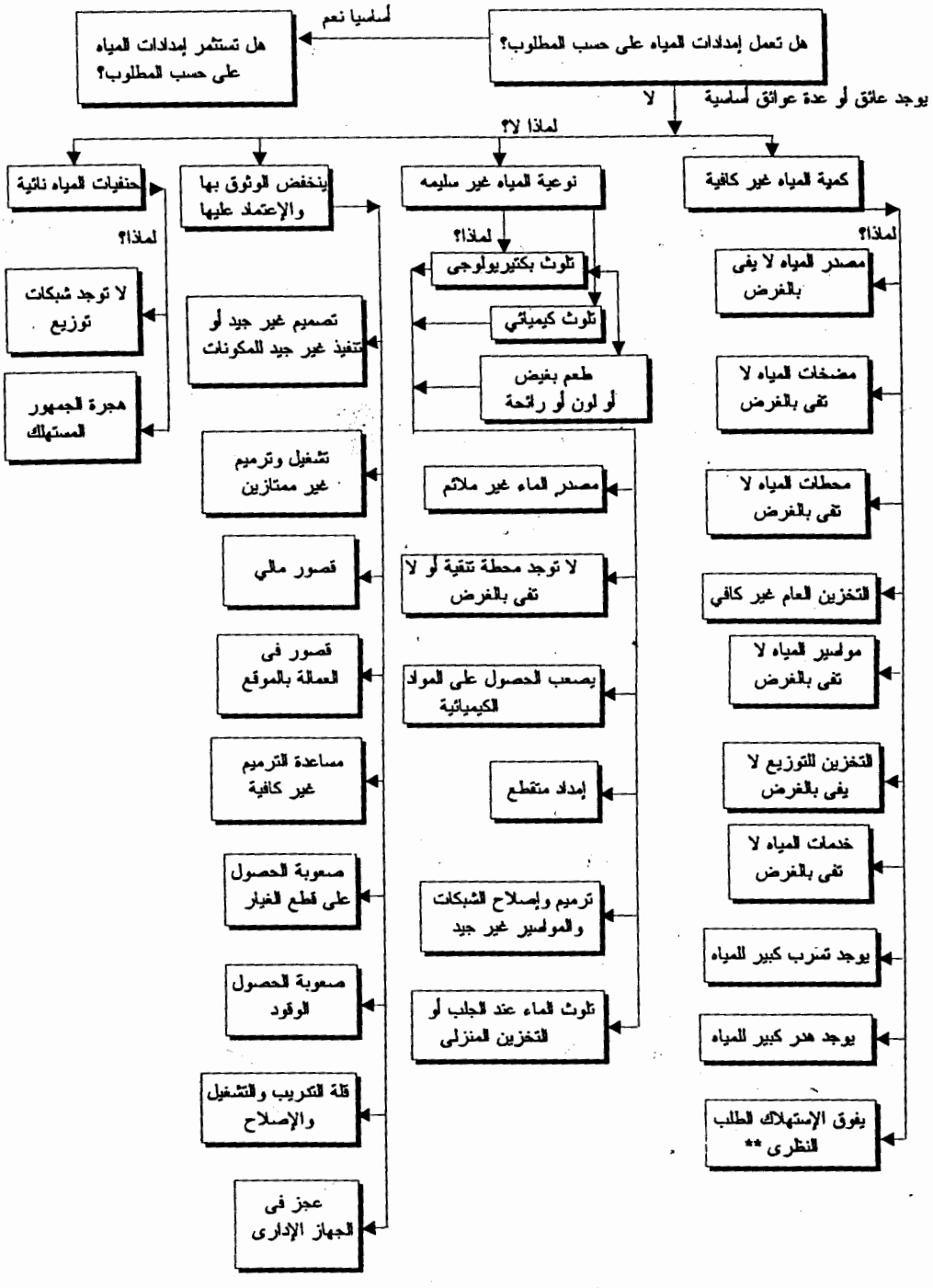
معامل لانقلير هو عبارة عن مصطلح ومعيار لمعرفة قابلية المياه لإذابة أو ترسيب قشور كربونات الكالسيوم في الأنابيب. ويمكن إيجاد المعامل بإستخدام المعادلة ٢٩ .

$$LI = pH_a - pH_s \qquad (٢٩)$$

حيث أن :

LI = معامل لانقلير.

pH_a = الرقم الهايدروجيني الفعلي أو المقاس للماء .



شكل (١١) بعض أسباب تدهور إمدادات المياه {٢٣،٧،}

pH_s = الرقم الهايدروجيني عند التشبع .

$$\square pH_s = pk_2 - pk' + pCa^{++} + pAlk + \Psi \qquad (٣٠)$$

حيث أن :

$pk_2 - pk'$ = ثابت الإذابة والذي يعتمد على درجة الحرارة وكمية المواد الذائبة الكلية أو الشدة الأيونية

pCa^{++} = اللوغريثم السالب للتركيز الأيونى للكالسيوم، مكافئ/ لتر .

pAlk = اللوغريثم السالب للقلوية الكلية، مكافئ كربونات الكالسيوم/ لتر .

Ψ = معامل تصحيح الملوحة

$$\Psi = 2.5\vartheta^{0.5}/(1 + 5.3\vartheta^{0.5} + 5.5\vartheta) \qquad (٣١)$$

حيث :

ϑ = الشدة الأيونية .

ويبين الجدول ٣ الحالات المحتملة للماء طبقا لمعامل لاتقلير .

جدول (٣)
حالة الماء بناء على قيمة معامل لاتقلير

معامل لاتقلير	حالة الماء
أقل من صفر (سالب)	تحت التشبع مما يولد التأكل 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 فى المعادلة ٣٢ .

$$RI = 2\ pH_s - pH_a \qquad (٣٢)$$

حيث :

RI = معامل رايزنر .

pH_s = الرقم الهايدروجيني عند التشبع .

pH_a = الرقم الهايدروجيني 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 الأسمنتي بدون عواقب وخيمة. وتبين المعادلة ٣٣ العلاقة بين معامل التحات والرقم الهيدروجيني والقلوية الكلية وعسر الماء.

$$AI = pH + Log\,(Alk)*(Ca^{++}) \qquad (٣٣)$$

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 طبقا لمعيار التحات .

جدول (٥)
حالة الماء مقدرة بمعامل التحات

معامل التحات	حالة الماء
أقل من أو يساوي ١٠	شديد التآكل.
١٠ الى ١١,٩	متوسط التآكل.
أكبر من ١٢	غير أكال.

وقد لوحظ أن الماء الذي يحتوي على معامل تحات أقل من أو يساوي ١٠ يولد تآكل شديد جدا ويكون أكال أو حات لمعظم المواد المستخدمة في شبكات المياه أو أنابيب المباني .

ولتحديد نوع الإختبارات والقياسات الواجب عملها طبقا لنوع المادة المصنعة منها المواسير أو الأنابيب يمكن إتباع الجدول (٦) .

جدول (٦)

بعض المعايير المستحسن قياسها عند اختبارات تآكل ونحات المياه (٢٤،٢٥،٢٦)

مادة الأنبوبة	المعيار
حديد، حديد زهر	الحديد ، المنجنيز ، الموصيلة الكهربائية ، كمية لأكسجين المذاب، اللون .
(عندما يكون مغطى بأسمنت) الفولاذ	الرقم الهيدروجيني، القلويه، الكالسيوم، الرصاص . الحديد، المنجنيز، الموصيلة الكهربائية، كمية الأكسجين المذاب، اللون، الرقم الهيدروجيني .
خرسانة اسطوانية	الرقم الهيدروجيني، القلويه، الكالسيوم، الموصلية الكهربائية .
الأسبستس الأسمنتى	الرقم الهيدروجيني، القلويه، الكالسيوم، ألياف الأسبستس ، الموصلية الكهربائية .
الحديد المجلفن	الخارصين ،الكادميوم ،الرصاص ،الحديد ،كمية الأكسجين المذاب، الرقم الهيدروجيني ، اللون ، الموصلية الكهربائية

مثال (٥)

أجريت تحاليل على عينة من الماء ووجدت البيانات التالية :

الرقم الهيدروجينى = ٧,٨، القلوية الكلية = ٢٠٠ ملجم كربونات كالسيوم/لتر

العسر الكلى = ٣٠٠ملجم كربونات كالسيوم/لتر .

هل هذا الماء حارق أم مرسب؟ (إستخدم معادلة معامل التحات) .

الحل :-

١ - المعطيات: pH = ٧,٨، Alk = ٢٠٠، Ca^{++} = ٣٠٠ .

٢ - أوجد معامل التحات من المعادلة: $AI = pH + Log (Alk)*(Ca^{++})$

AI = ٧,٨ + لو (٢٠٠×٣٠٠) = ١٢,٦

٣ - مقدار معامل التحات أكبر من ١٢، وهذا يعنى أن الماء غير حارق (أنظر 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 منحنى الكتلة (منحنى ربل)؟ استخدم الرسم للأيضاح .
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 الحياه العملية الدفق المضطرب أم الدفق الطبقي ؟
١٢) اذكر الفروق بين الدفق الصفحي والدفق المضطرب ؟
١٣) ما فائدة رسم مودي ؟
١٤) إكتب 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) إكتب باختصار عن كيفية التآكل والتحات في الأنابيب المصنعة من مادة الأسبستس الأسمنتي .

٤-٧-٢ تمارين عملية :

(١) استخدم خزان لتخزين مياه تساعد على الإمداد المنتظم بمعدل يساوي ١٥٠ متر مكعب على الدقيقة. وأظهرت التحاليل المجمعة، 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

أوجـــد مقـــدار التخزين المطلوب لمواكبـــــة الإستهـــلاك المنتظم بفرض أنه لايوجد فقدان للماء (الإجابة ١٦×١٠ ٦ مترمكعب) .

٢) ينساب ماء على درجة حرارة ٢٠° م، عبر أنبوب قطره ٠,٠٥ ملم، بمعدل دفق يساوي ٥ مللتر في الساعة. أوجد سرعة الـــدفق عبر الأنبوب، وأبن مـــا إذا كان الـــــدفق مضطـــرب أم صفحي . (الإجابة ٧,٧ ملم/ث صفحي) .

٣) ينساب ماء على درجة حرارة ٢٠°م عبر أنبوب دائري بمعدل ٢٠٠٠ لـتر فـي الدقيقـة إذا كـان قطـر الأنبوب ٨٠ ملم وطوله ٢٥٠ متر والخشونة النسبية g = ٠,٣ ملم أوجد فقد السمت بين طرفي الأنبوب. (الإجابة ٧١ ملم) .

٤) أنبوب أفقي قطره ١٠سم وطوله ٢٨٥ متر يحمـل مـاء علـى درجـة حـرارة ٢٥°م. معـامل الإحتكـاك المطلق للأنبوب يساوي ٠,٠٥ ملم ومعدل اندفاق الماء يساوي ٠,٠٦ متر مكعب في الدقيقة .

(أ) أوجد فقد السمت نتيجة للإحتكاك .

(ب) احسب القدرة المطلوبة لإستمرار إندفاق المـاء فـي الأنبـوب بـافتراض أن الدفـق صفحـي فـي حالـة، وبافتراض أن الدفق مضطرب فى حالة أخرى . ماذا تستنتج من هذه المسألة. (الإجابة: ٦٨ ملم) .

٥) يمثل الشكل أدناه ثلاثة أنابيب متصلة على التوازي لتوصيل الميـاه مـن الخـزان (أ) إلـى الخـزان (ب) على فقد سمت يعادل ٩ م أوجد معدل الدفق من الخزان (أ) إلى الخزان (ب) مستخدما :

(أ) طريقة السرعة والسمت المتكافئة .

(ب) طريقة الطول المكافئ علما بأن معامل الإحتكلك يساوي ٠,٠١٨ لكل أنبوب. (الإجابة ٦٠ لتر/ث)

٦) تتكون شبكـــة ميـــاه من حلقتين (أنظر رسم شكل مسألة ٦)، وتحوى ثلاثة أنابيب أ جـ ب، أ د ب، أ هـ ب، أقطارها ٢٥٠، ٢٠٠، ٣٠٠ ملم، وأطوالها ٥٠٠، ٢٠٠، ١٠٠ متر علـى الـترتيب. معـامل الإحتكاك لكل أنبوب يساوى ٠,٠٠٢ وإرتفـاع النقطـة (أ) ١٦ م وإرتفـاع النقطـة (ب) ١٥ متر، وتحمل الأنابيب ماء على درجة حرارة ٢٠°م يندفق بمعدل ١٥٠٠ متر مكعب علـى السـاعة. أمـا الضغط علـى النقطة (أ) فيساوى ١٠٠ كيلو باسكال. مستخدما معادلة دارسى ويسباش :

أ) أوجد معدل الدفق فى كل أنبوب .

ب) أوجد الضغط على النقطة (ب). (الإجابة: ٤٩٢، ٤٥٠، ٥٥٤ م٣/ساعة، ١٤٤ كيلو باسكال) .

٧) تدخل مياه للحلقة الموضحة على الرسم عند النقطـة (أ) بمعدل دفـق يسـاوى ٣٠٠ لـتر علـى الثانيـة، وتغذى المناطق المجاورة عبر نقاط الملتقى ب، جـ، د بمعدلات ٥٠، ١٠٠، ١٥٠ لـتر علـى الثانيـة علـى الترتيب. أطوال الأنـابيب أب، ب جـ، جـ د، أد ٢٠٠، ٤٠٠، ٢٥٠، ٣٠٠ متر وأقطارهـا ٤٠٠، ٥٠٠، ٤٠٠، ٥٠٠ ملم ومعامل الإحتكاك لها ٠,٠٢، ٠,٠١٥، ٠,٠٣، ٠,٠٢ على الترتيب. تعمل الأنابيب على درجة حرارة ٢٠م، ويساوى الضغط على النقطة (أ) ١٥٠ كيلو باسكال .

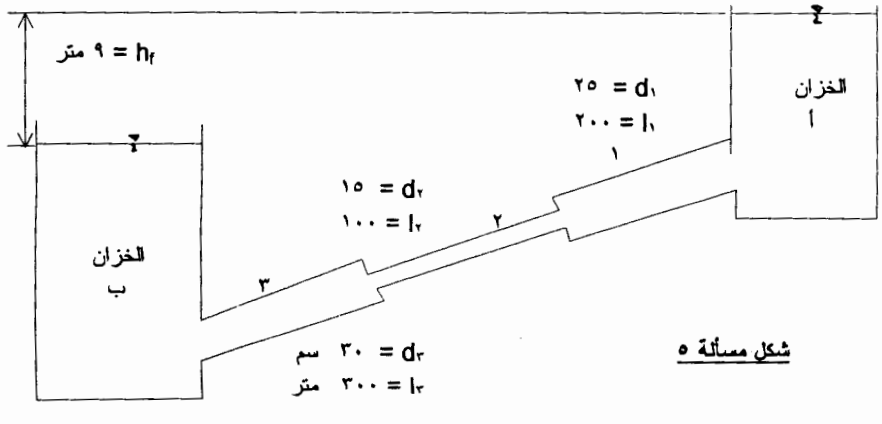
ا) أوجد معدل الدفق فى كل أنبوب .

ب) أوجد الضغط على النقـــــاط ب، جـ، د. (إستخدم معادلة دارســى ويسباش لإيجـــــاد فقد السمت).
(الإجابة: ١٢١، ٧١، ٢٩، ١٧٩ لتر/ث، ١٤٥,٤،١٥٠، ١٤٤٤,٤، ١٤٣,٩ كيلو باسكال) .

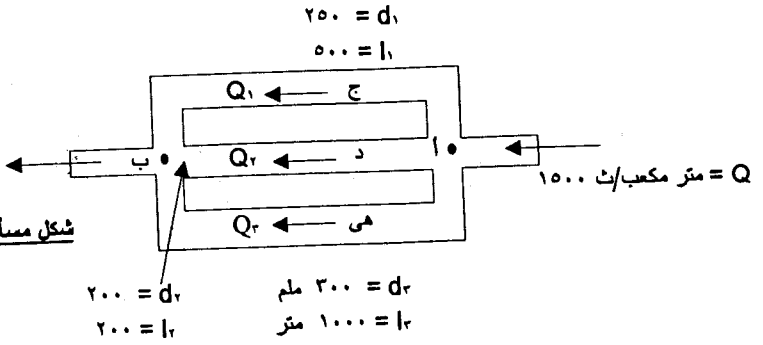
٨) أخذت عينة من الماء وأجريت عليها بعض الإختبارات، وأظهرت النتائج الجدول المدرج أدناه :

المنشط	القيمة
الرقم الهيدروجينى	٦,٦
أيون الكالسيوم	٤ مليمكافئ/لتر
أيون الماغنيسيوم	٢٠ ملجم ماغنيسيوم/لتر
القلوية	١٥٠ ملجم كربونات كالسيوم/لتر

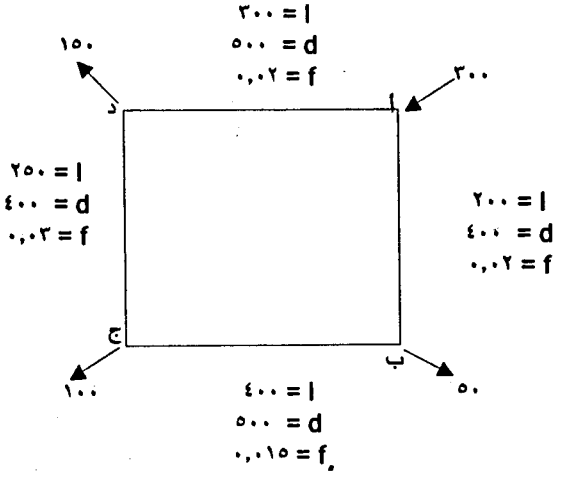
أوجد مإذا كان الماء حارق أم مترسب باستخدام معامل التحات. الإجابة متوسط التحات) .



شكل مسألة ٥



شكل مسألة ٦



شكل مسألة ٧

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. 29, No. 3, 1959, pp. 51-58.
21) Liu. K. T., "The Numerical Analysis of Water Supply Networks by a Digital Computer", Proceedings, IAHR 13th 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 عقباها . وتختلف مصادر الفضلات السائلة بإختلاف 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 ، أوتغير فى خواص الفضلات، أوإنتاج 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 . وهنالك 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 : "لعله أن يخفف عنهما ما لم تيبسا ." [الحديث ٢١٦ أطرافه فى ٢١٨، ١٣٦١، ١٣٧٨، ٦٠٥٢، ٦٠٥٥] .

ثم هنالك أسلوب الصرف الصحى والذى تجرى مناقشته فى هذا الفصل مع التركيز على أنماط التصاميم المتبعة لشبكات المجارى أو الصرف الصحى .

٥ - ٢ الصرف الصحى

يتم الصرف الصحى بواسطة أنابيب أو قنوات تسمى مجارير (مجارى) الصرف الصحى من ضمن شبكة المجارى. ويعرف المجرور على أنه أنبوب أو ماسورة أو قناة فى الغالب الأعم مغلقة غير أنها ليست ممتلئة لحمل الحمأة والفضلات السائلة . ومن أهداف المجارى ما يلى :

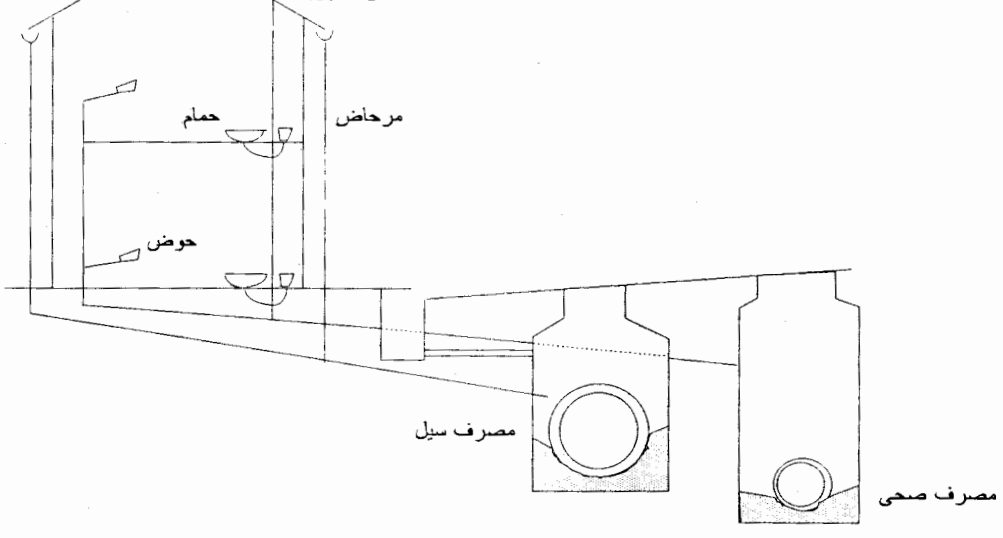
١) جمع الفضلات السائلة ونقلها الى نقاط المعالجة أو نقاط التخلص النهائى .

٢) المحافظة على الصحة العامة ورفاهية المنطقة المأهولة بالمجمعات السكانية أو بمشاريع التنمية .

وتقود المناحى 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 والحمأة الداخلة للمعالجة قليلة .
- تقل التكلفة مقارنة بنظام المجارى الموحد عندما يحتاج الى ضخ الفضلات .

أما مساوئ النظام فتضم {١} :

- يحتـــــاج الى نظافة وكشط للأوساخ ، وهذه عملية مكلفة . والإحتياج الى النظافة ناتج من صعوبة التأكد من استمرار وجود سرعة التنظيف الذاتية فى المجرور عدا عندما يتم إستخدام ميل كبير .
- يحتـــاج الى ثنائيـــــة السباكـــة بالمنزل ، كما وأن وجود شبكتين للمجارى فى الطريق تقـــود الى زحمـــة المرور وتأخيره ، 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 (أنظر 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} :

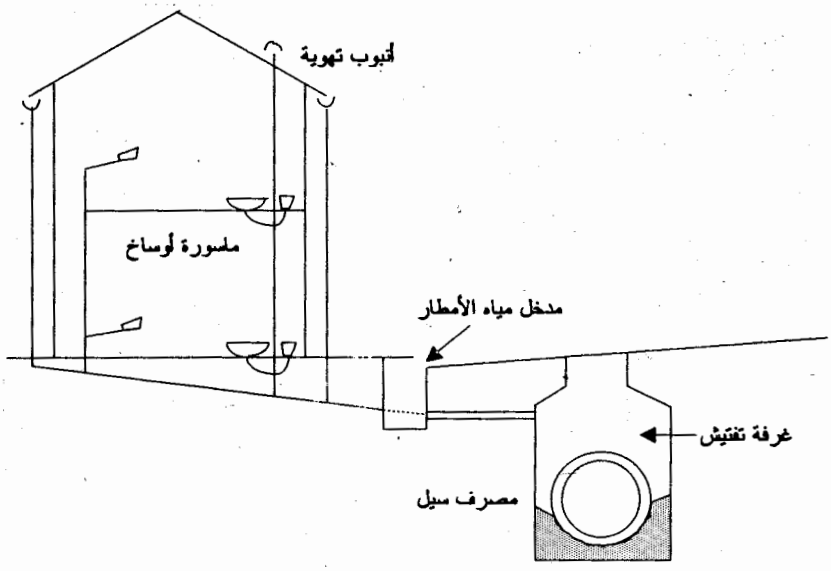
- تقوم مياه الأمطار بتخفيف الحمأة مما يساعد فى سهولة معالجتها فى محطات المعالجة .
- تقلل مياه الأمطار من إقتصاديات المعالجة .
- تساعد المياه فى النظافة والكشط المستمر للأوساخ المترسبة فى المجارى .
- المجارى أكبر فى حجمها مما يساعد على نظافتها .
- يقلل النظام من السباكة المنزلية ويتفادى تصميمه عمل شبكتين .

جـ) النظام شبه المنفصل Pseudo-separate (partially separate) sewer system (أنظر الشكل (٣))

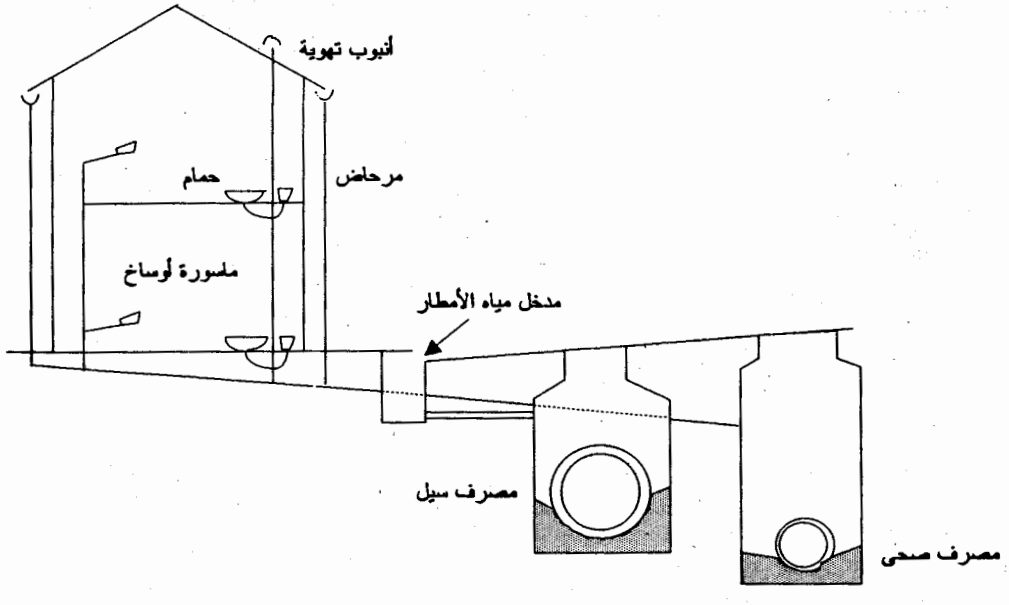
وهذا النظام خليط بين النظامين السابقين ، بحيث يقوم نظام شبكة مجارى بإستقبال الفضلات السائلة وجزء من مياه الأمطار والسيول والمياه السطحية (مثلا المياه المجمعة من أسطح المنازل والتى تجد طريقها الى الشبكة) ، ويقوم جزء آخر من النظام بنقل الجزء المتبقى من مياه الأمطار والسيول والمياه السطحية .

قد يقود سوء الإستخدام للمصارف الصحية الى مشاكل عديدة منها :

- الإنفجارات .
- حدوث الحرائق .
- الإنسـدادات (من جـراء الشحـوم والـــدهون والزيـوت أو الأحمـــال القاعية وغيرها من الأنقاض والأوساخ) .



شكل (٢) نظام المجارى الصحية الموحد



شكل (٣) نظام المجارى الصحية شبه المنفصل

- الأعطـــاب والخلل (مثلا من جـــراء 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 للتفسخ) .

ولعمل التصميم الجيد المناسب لشبكة المجارى فلا بد من القيام بالدراسات للفحص والإستقراء فيما يتعلق:

- بالنواحى الطبغرافيـة ، والجيولوجيـة ، والجغرافيـة ، والهايدرولوجيـة ، والهايدروليكية للمنطقـة .
- بخـواص المياه السطحية والجوفية (مثلا النفاذية ، ومستوى المياه الجوفية ، والتسرب ، ومعامل الدفق السطحى ، 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) .
- بقطـــاع الخدمـات الأخرى بالمنطقة (مثل وضع شبكة المياه، وخطوط إمدادات الكهرباء ، وخطوط الهاتف والمايكروويف ، وأنابيب الغاز ، وعرض الشارع وحالته من سفلتة وغيرها) .
- بالمبانى الموجودة وإرتفاعاتها .
- بخطة التنمية للمنطقة .
- بالصناعات القائمة والمتوقعة .
- بالسكـان (الكثافـة السكانية ، والنمو ، والمواليد ، والوفيات ، والهجرة، والزمن التصميمى مع الخطة الرئيسية) .
- بالرصـــد الجـوى والبيانات الهايدرولوجية المتعلقة بأقصى وأدنى متوسط للأمطار ، ودفق الأنهار ، ومستوى البحر والتيارات السائدة، والرياح ، والرطوبة ، والحرارة ، والتبخر) .
- بتاريخ المنطقة وحدوث كوارث طبيعية مثل الزلازل والبراكين وغيرها .
- بالبيانـــات السياسية ، والقوانين المؤثـــرة على توصيلات المجارى ، ومعدلات الدفق ، وجهات الإختصاص .
- بالبيانات الإقتصادية .
- بالبيانات العامة الأخرى مثل السياحة ، وإعادة الإستخدام ، والدوران وغيرها .

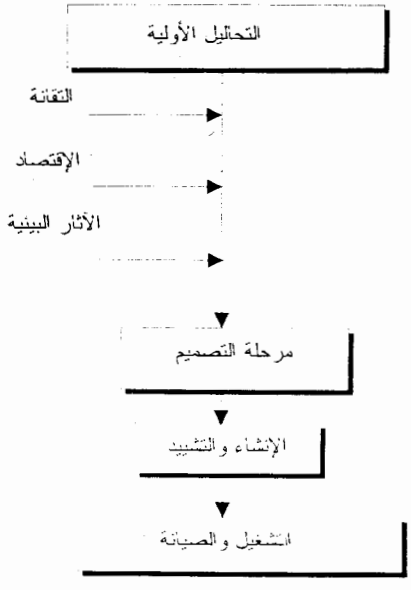
ويمكن تقسيم المسوحات والفحوصات الإستقرائية الى محاور محددة مثل :

- **المحور الطبيعى** : المتعلـــق بطبغرافيـــة 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 السياســى** : ويتعلـق بالحـــــدود السياسـية ، والإتفاقيـات ، وبروتوكـولات الخدمـات ، والقوانين المتعلقة بالمعالجة المبدئية للفضلات الصناعية ، وتلك المتعلقة بإعادة الإستخدام والـــدوران ،

وتلـك المتعلقة بالصرف للمجارى المائيـة ، وغيرهـا مـن قوانيـن وأنمـاط إستخدامها وطريقـة تطبيقهـا ، والجهات الصادرة منها، وكيفية تغييرها لتتناسب والتغيرات الطارئة فى المجتمع ، والدراسات والبحوث .

* **محـور الصحـة والدفـق الصحـى:** ويتعلـق بكميـة الفضـلات السـائلة ، وقوتهـا ، وتكوينهـا ، وطريقـة التخلص منها ، والقوانين المواكبة لها ، والمناحى السياسية والإجتماعية والإقتصادية والصحية .
* **المحور المالى .**

ويبين الشكل (٤) الأطوار التى يمكن أن يمر عليها مشروع الصرف الصحى .

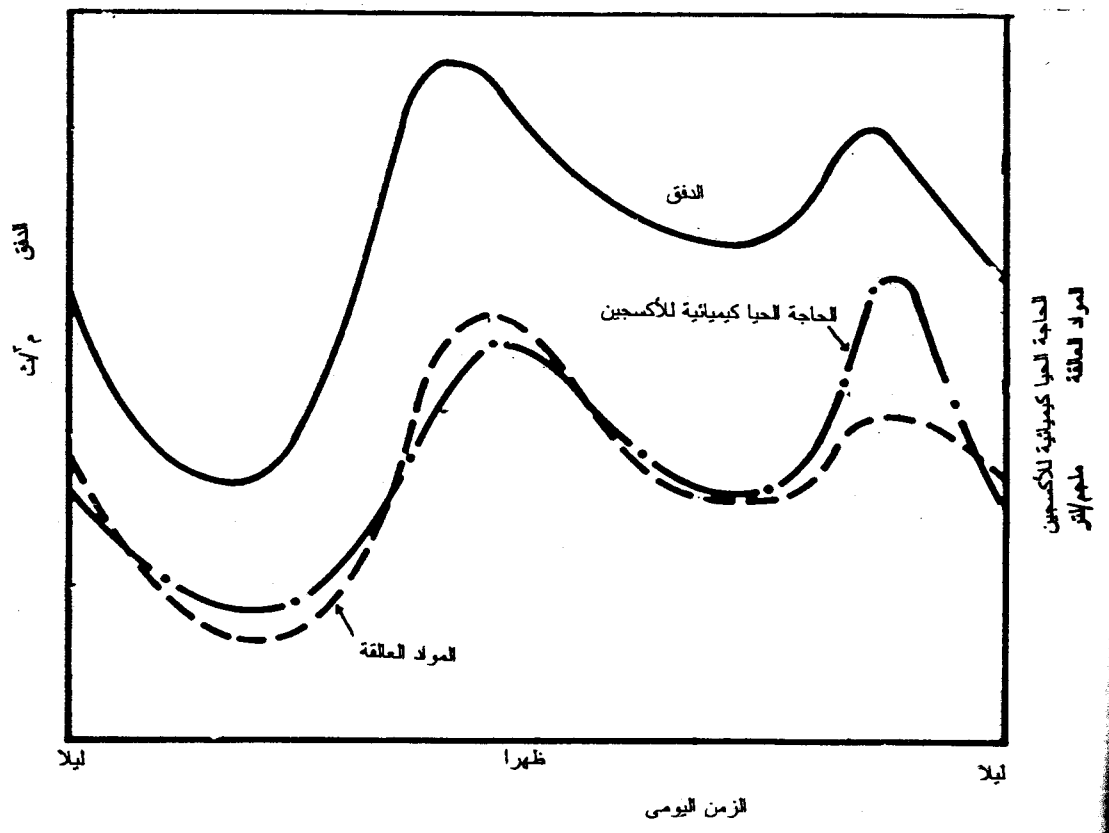


شكل (٤) أطوار مشروع الصرف الصحى

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 قليـل 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 والسادسـة مساء عندما يعود الناس من العمـل أو يستيقظون من قيلولة ما بعد الظهر، كما مبين فى الشكل (٥) . أما الدفق الصادر من المنشـآت التجاريـة والصناعية فعادة يحـدث معظمـه أثنـاء سـاعات النهـار بمعدل ثـابت . وعنـد التصميم يقدر الدفـق لفترة مستقبلة تسمى بفترة التصميم ، والتى عادة تؤخذ بين ٢٥ الى ٥٠ سنة . ويؤخذ أقصى دفق للتصميم الذى يتحقق من تشبع الكثافة السكانية . ولتحديد معدل دفق الفضلات يبنى التقدير على أقصى إستخدام للمياه أو يبنـى على الكثافـة السكانيـة ، أو يحسب من عدد المبانـى ، أو طبقـا للإمتـدادات المحتاجـة لتوصيلات مجارى . وعند حساب كميات الدفق الداخلة للمجرور لا بد من إضافة أى مياه تجد طريقها إليـه من

خـلال التشققات فى الأنابيب ، أو الوصلات المعطوبة ، أو عبر التوصيلات المتقاطعة ، أو خلال غـرف التفتيش غير الجيدة التصميـم ، أو عبر غطاء غرفة التفتيش المغمور، أو مـن التوصيـلات المنزليـة غـير الجيـدة ، 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 سكانية صغيرة

وأنواع الدفق الى يجب أخذها فى الإعتبار عند التصميم تضم :

أقصى معدل دفق : يجب أن لا تزيد السـرعات والقوى الهايدروليكيـة عن تلك المحددة طبقا لخـواص ولأحمال المواد المصنوع منها المجرور.

أقـــل 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 والشـحوم

والدهون على جدران المجرور. والعلاقة بين أقصى معدل دفق والدفق المتوسط يمكن إيجاده من المعادلة (١) .

$$Q_p (2 \text{ to } 3)^* Q_a \quad (١)$$

حيث :

Q_p = أقصى معدل دفق (م^3/ ث) .

Q_a = معدل الدفق المتوسط (م^3/ ث) .

٥ - ٤ مياه الأمطار والسيول والمياه السطحية Storm water

من أكبر مصادر هذا النوع من المياه هو الأمطار. ومن العوامل المؤثرة فى الكميات الصادرة منها : شدة الأمطار، وفترة هطولها ، والزوابع ، والمسافة التى تقطعها المياه قبل أن تصل الى المجرور، ومعامل النفاذية ، وميل المنطقة الجابية ، وشكل وحجم منطقة التصريف . ويمكن تقدير معدل دفق السيل بإستخدام معادلة لويد وديفيد Lloyd Davies method ، أو ما يسمى بالصيغة العقلية Rational method ، والتى تصلح لمنطقة لا تزيد مساحتها عن ١٥ كيلو متر مربع . والصيغة العقلية موضحة فى المعادلة (٢) .

$$Q = 0.278^*C^*I^*A \quad (٢)$$

حيث :

Q = أقصى معدل دفق لنقطة محددة (م^3/ ث) .

C = ثابت السيل (لا بعدى) .

I = متوسط شدة الأمطار Rainfall intensity (ملم/ ساعة) .

A = مساحة منطقة التصريف (كيلو متر مربع) .

ويمكن إيجاد ثابت السيل من الجدول (١) ويخضع للمعادلة (٣)

$$Q < C < 1 \quad (٣)$$

وثابت السيل يمثل نسبة السيل الى الأمطار، أو الجزء من الأمطار المتساقط الذى يظهر على شكل دفق سطحى . ويعتمد ثابت السيل على نوع وخواص السطح . ويمكن إيجاد شدة الأمطار من المعادلة (٤) .

$$I = 750/ (t + 10) \quad (٤)$$

حيث :

I = شدة الأمطار (ملم/ ساعة) .

t = زمن التركيز ، ويعبر عن مجموع زمن دخول وخروج الدفق (دقيقة) .

جدول (١)
ثابت السيل للصيغة العقلية {١، ٢، ٣، ٤، ٥، ٦، ٧}

المنطقة	القيمة
المدينة والمنطقة التجارية	٠,٧ الى ٠,٩٥
المنطقة السكنية:	
• أسرة واحدة	٠,٣ الى ٠,٥
• وحدات سكنية منفصلة	٠,٤ الى ٠,٦
• وحدات سكنية متصلة	٠,٦ الى ٠,٧٥
• الضاحية	٠,٢٥ الى ٠,٤
المنطقة الصناعية:	
• صناعات ثقيلة	٠,٦ الى ٠,٩
• صناعات خفيفة	٠,٥ الى ٠,٨
الحدائق والمناطق غير المطورة	٠,١ الى ٠,٣
الرصيف:	
• الأسفلتى	٠,٧ الى ٠,٩٥
• الخرسانى	٠,٨ الى ٠,٩٥
• الطوب (أو الطابوق)	٠,٧ الى ٠,٨٥
وسط المدينة (المنطقة الحضرية)	٠,٧ الى ٠,٩
منطقة الملاعب	٠,٢ الى ٠,٣٥
المناطق المخضرة	٠,٠٥ الى ٠,٣٥
الأسطح غير النافذة للماء (سدودية للماء)	٠,٧ الى ٠,٩٥
مساحات الأخشاب	٠,٠١ الى ٠,١
الطرق المرصوفة	٠,٨ الى ٠,٩

وتفضـــل فى مجارير السيل سرعة تصميمية كبيرة مقارنة بالمجارى الصحية بسبب الرمال الثقيلة والمود غير العضويـة التى تجد طريقها للمجرور. ويستحسن أن تكون أقل سرعة فى حدود ٠,٧٥ الى ٠,٩ متر على الثانيـة . ونسبة للخواص الحاكة للمواد الصلبة فمن المستحسن تفادى السرعات الكبيرة ، وتعـــد السرعة ٢,٤ متر على الثانية مناسبة كحد أعلى {٨} .

ولتحديد قطر القنوات المفتوحة أو المكشوفة للمجرور يمكن إستخدام معادلة مانينج Manning equation كما موضح فى المعادلة (٥) .

$$v = (1/n)*rH^{2/3}*s^{1/2} \qquad (٥)$$

حيث :

v = سرعة الدفق (م/ ث) .

n = ثابت مانننج (أنظر جدول (٢)) .

r_H = نصف القطر الهايدروليكى (م) .

s = معدل الميل (م/م) .

ويمكن إيجاد نصف القطر الهايدروليكى من المعادلة (٦) .

$$r_H = A / w_p \qquad (٦)$$

حيث :

r_H = نصف القطر الهايدروليكى (م) .

A = مساحة المقطع العمودى على إتجاه السرعة (م^2) .

w_p = المحيط المبتل (م) .

وبالنسبة لأنبوب دائرى يمكن إيجاد نصف القطر الهايدروليكى من المعادلة (٧) .

$$r_H = D/4 \qquad (٧)$$

حيث :

D = قطر المجرور (م).

ويمكن إيجاد معدل الدفق من المعادلة ٨.

$$Q = A*v \qquad (٨)$$

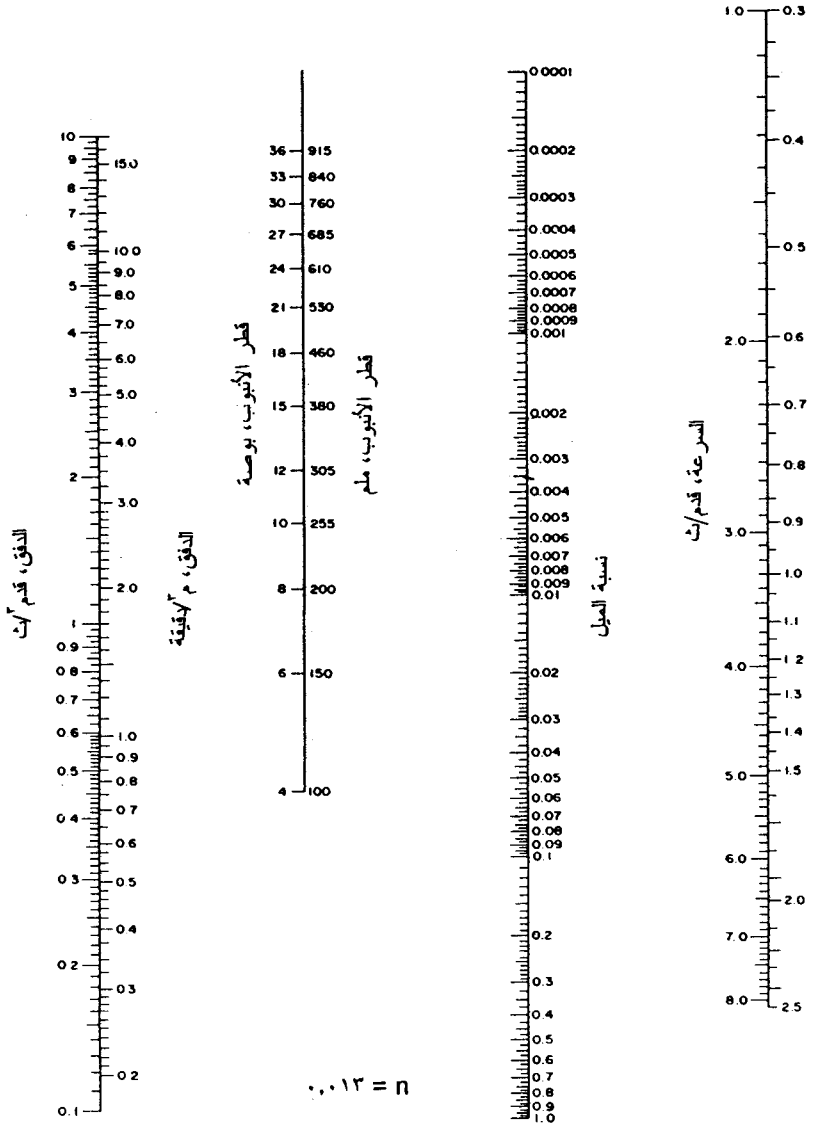
حيث :

Q = معدل الدفق (م^3/ ث) .

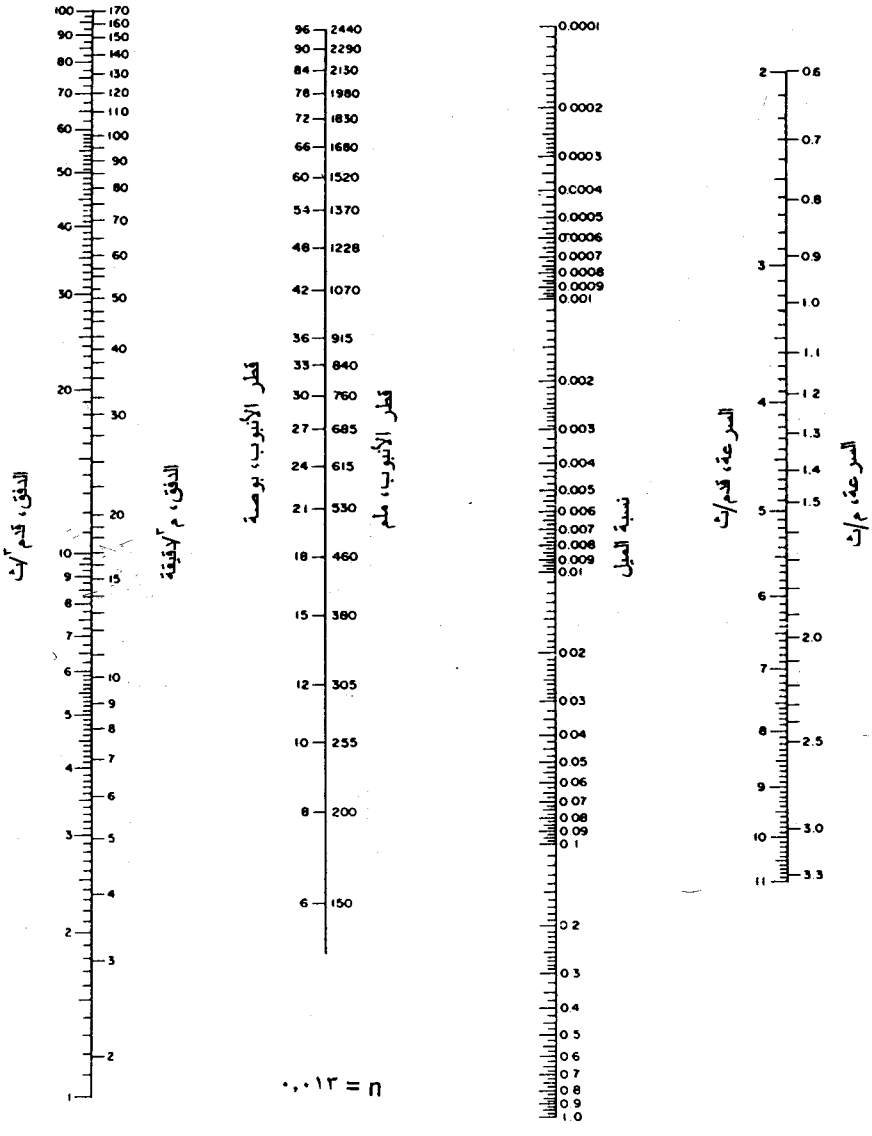
A = مساحة المقطع (م^2) .

v = سرعة الدفق (م/ ث) .

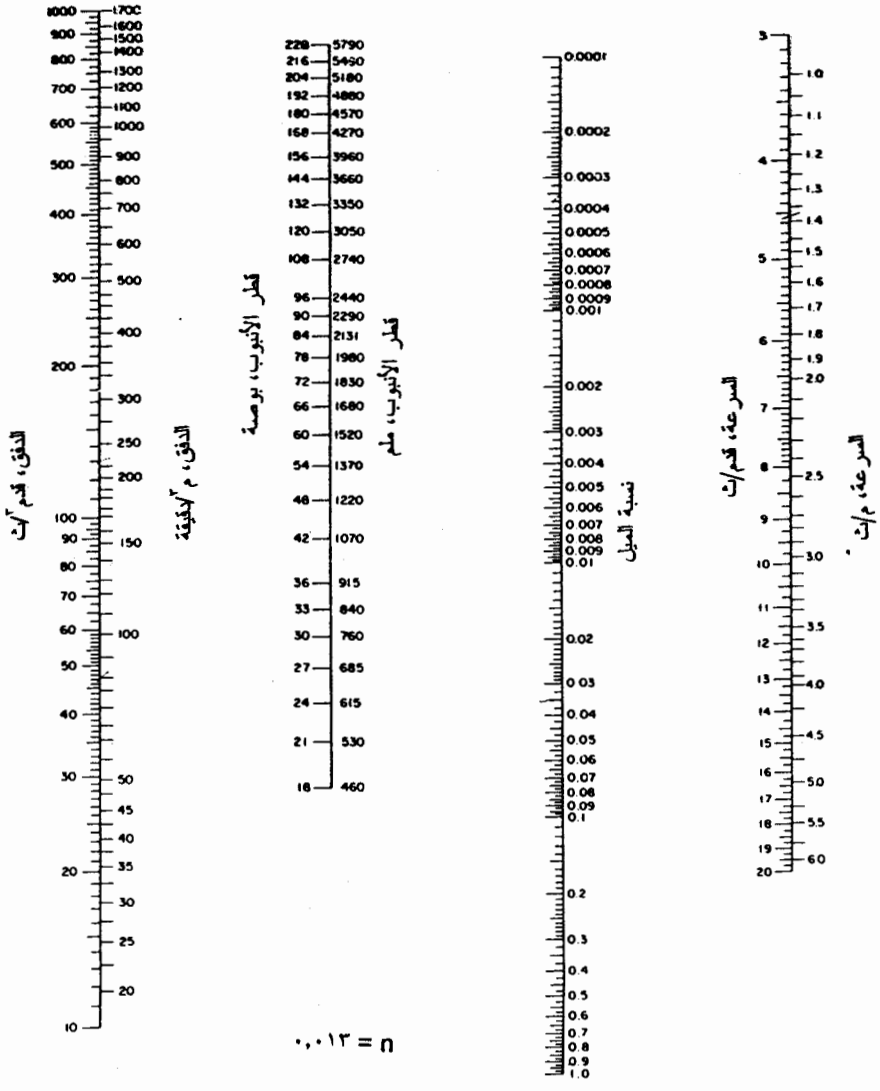
كما ويمكن حل معادلة مانننج بيانيا {٨} عن طريق المخطط بيانى المعادلة Nomograph ، كما موضح فى أشكال ٦ و٧ للأنابيب الممتلئة .



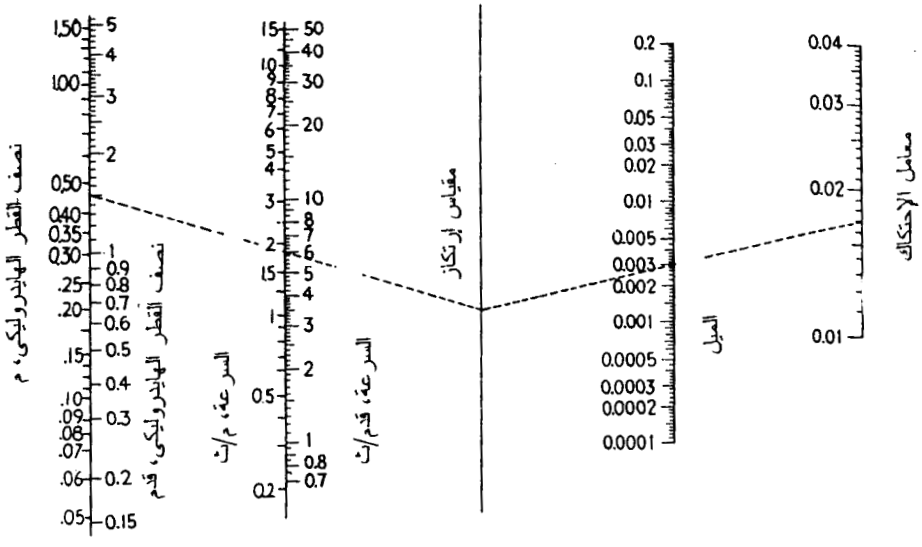
شكل ٦-أ بياني معادلة ماننج للدفق خلال الأنابيب الدائرية الممتلئة [٨، ٩، ١٠]



شكل ٦–ب بياني معادلة ماننج للدفق خلال الأنابيب الدائرية الممتلئة



شكل ٦-ج بيانى معادلة ماننج للدفق خلال الأنابيب الدائرية الممتلئة



شكل (٧) بياني معادلة مبنى على صيغة مانننج (٨)

خزان المياه العلوي

وصف السطح	n
أنبوب بلاستيكى، أو الخشب المستوى النظيف، أو الحديد الزهر الأسفلتى	٠,٠٠٩
معدن أملس، الأسمنت الجيد	٠,٠١
أنبوب أسبستس	٠,٠١١
أنبوب حديد زهر بخشونة 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
أنهار طبيعية:	
نظيف، مستقيم الضفاف	٠,٠٣
متعرج، بعض البرك، مناطق ضحلة	٠,٠٤
متعرج، بعض البرك، مقاطع حجارة	٠,٠٥٥
بطئ، 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 = سرعة الدفق (م/ ث) .

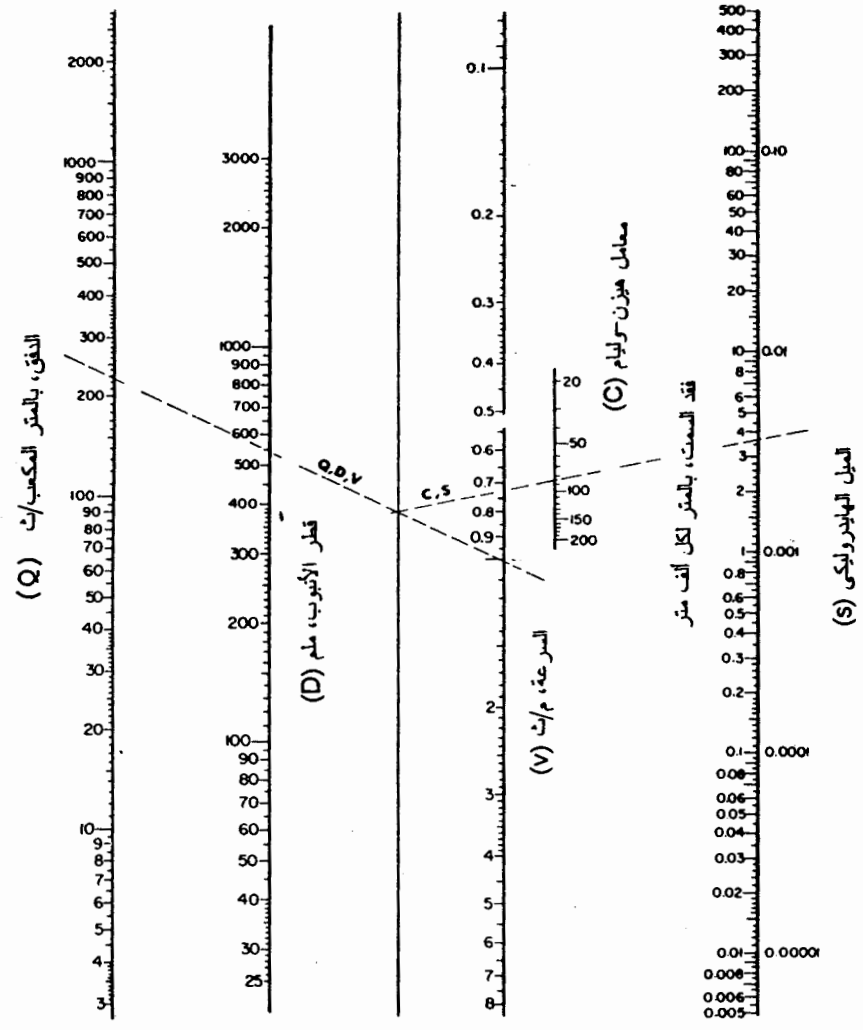
r_H = نصف القطر الهايدروليكى (م) .

s = الميل الهايدروليكى (م/م) .

ويمكن حل معادلة هيزن وليام بواسطة بيانى المعادلة {٩} كما هو ممثل فى الشكل (٨) .

ويوجد معدل الدفق من المعادلة (١٠) .

$$Q = 0.278*C*D^{2.63}*s^{0.54} \quad (١٠)$$



شكل (٨) بيانى معادلة هيزن-وليام للدفق خلال الأنابيب تحت الضغط {٩}

حيث :

Q = معدل الدفق (م^3/ ث) .

C = ثابت إحتكاك الأنبوب . ويمكن إيجاده من جدول (٣) .

جدول (٣)

قيم ثابت إحتكاك الأنبوب لمعادلة هيزن وليام {٥، ٨، ١٢،٩}

نوع الأنبوب	C
أنبوب الإسبستس الأسمنتى	١٢٠ - ١٤٠
أنبوب النحاس الأصفر	١٣٠ - ١٤٠
مجرور الطوب	١٠٠
الحديد الزهر:	
• جديد غير مبطن	١٣٠
• قديم غير مبطن	٤٠ - ١٢٠
• مبطن بالأسمنت	١٣٠ - ١٥٠
• مبطن بالبتيومين	١٤٠ - ١٥٠
• مطلى بالقار (القطران)	١١٥ - ١٣٥
الخرسانة أو مبطنة بالخرسانة:	
• أنواع الحديد	١٤٠
• أنواع الخشب	١٢٠
• متوسطة	١٣٠
النحاس	١٣٠ - ١٤٠
خرطوم الحريق (مبطن بالمطاط)	١٣٥
الحديد المغلفن	١٢٠
زجاج	١٤٠
رصاص	١٣٠ - ١٤٠
طوب	١٢٠ - ١٥٠
بلاستيك	١٤٠ - ١٥٠
فولاذ :	
• مبطن بالقطران والفحم	١٤٥ - ١٥٠
• جديد غير مبطن	١٤٠ - ١٥٠
• مبرشم	١٤٠ - ١٥٠
القصدير	١٣٠
حديد جديد ملحوم	١٢٠

مثال ١ :

أوجد حجم مجرور دائرى لنقل السيل من منطقة صرف تبلغ ربع كيلومتر مربع ، تنحدر بميل ١ فى ٣٠٠ . علما بأن زمن التركيز يساوى ٥٠ دقيقة وأن ثابت السيل يساوى ٠,٣٥ وثابت مانينج يعادل ٠,٠١٣ .

الحل :

١- المعطيات: A = ٠,٢٥ كلم٢، s = ١ ÷ ٣٠٠ ، t = ٥٠ دقيقة ، C = ٠,٣٥، n = ٠,٠١٣ .

٢- أوجد شدة الأمطار من المعادلة :

$$I = 750/(t + 10)$$

I = ٧٥٠ ÷ (١٠ + ٥٠) = ١٢,٥ ملم/ ساعة .

٣- أوجد دفق السيل من الصيغة العقلية :

$$Q = 0.278*C*I*A$$

Q = ٠,٢٧٨ × ٠,٣٥ × ١٢,٥ × ٠,٢٥ = ٠,٣ م٣/ ث .

= ١٨ م٣/ دقيقة .

٤- أوجد قطر المجرور بإستخدام بيانى معادلة مانينج أو بإستخدام معادلة مانينج

$$Q = (1/n)*(D/4)^{2/3}*s^{1/2}*(\pi/4)*D^2 = (\pi/4^{5/3})*(D^{8/3}/n)*s^{1/2}$$

$$D = [(Q*4^{5/3}*n)/(\pi*s^{1/2})]^{3/8}$$

D = [(٠,٣ × ٤ ^٥/٣ × ٠,٠١٣) ÷ (١ ÷ ٣٠٠ } × π)]^٣/٨ = ١,٦٤ م .

٥- إستخدم معادلة مانينج لإيجاد سرعة الدفق

$$v = (1/n)*r_H^{2/3}*s^{1/2}$$

v = (١ ÷ ٠,٠١٦) × (٠,٤)^٢/٣ × (٠,٠١)^٠,٥ = ٣,٤ م/ث .

مثال ٢ :

أوجد مقدار الدفق وسرعة الدفق لأنبوب قطره ١,٦ مترا ، موضوع على ميل ٠,٠١ . علما بأن ثابت مانينج يساوى ٠,٠١٦ .

الحل :

١- المعطيات : D = ١,٦ م ، s = ٠,٠١ ، n = ٠,٠١٦ .

٢- استخدم بيانى المعادلة المبنى على صيغة مانينج ، وارسم خطا مستقيما يوصل ثابت مانينج ٠,٠١٦ مع الميل ٠,٠١ ثم مد الخط ليقطع خط المرتكز Pivot line .

٣- أوجد نصف القطر الهايدروليكى للأنبوب الممتلئ .

$$r_H = D/4$$

r_H = ١,٦ ÷ ٤ = ٠,٤ مترا .

٤- أوصل النقطـــــة على خط المرتكـــــز ونصف القطـــر الهايدروليكي ليقطع خط السرعة على السرعة = ٣, ٤ م/ث .

وعليه :

الدفق = (Π ÷ ٤) × (١, ٦)^{٢} × ٣, ٤ = ٦, ٨ م^{٣}/ث .

٥ - ٥ هايدروليكا الصرف الصحى

معظم التقديرات وهايدروليكا 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 الداخل والخارج . وعادة يتغير الضغط بوضوح من ساعة الى أخرى ويشـار اليـه بـالدفق شبه المستقر Quasi-steady flow .
- تطبق معادلة الإستمرارية كما موضح فى المعادلة ١١ .

$$Q = A*v \qquad (١١)$$

حيث :

Q - معدل الدفق (م^{٣}/ث).

A - مساحة المقطع (م^{٢}).

v - سرعة الدفق المتوسطة عبر المقطع (م/ ث).

- تطبق معادلة بيرنولى Bernoull's equation كما موضح فى المعادلة ١٢

$$(P/\gamma) + (v^2/2*g) + z = H \qquad (١٢)$$

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 - الإرتفاع لنقطة فى المقطع عبر خط إنسياب أعلى من مرجع إسناد معين (م) .

H - الطاقة الحدية (م) .

☜ تستخدم معادلة كمية الحركة Momentum equation كما موضحة فى المعادلة ١٣ .

$$\Sigma F = (\gamma^* Q^*) v)/ g \qquad (١٣)$$

حيث :

ΣF = مجمـــوع كل القوى المؤثرة على السائل المنحصر بين قطاعين ، وتضم قوى الضغط والوزن والإحتكاك (نيوتن)

γ = الوزن النوعى (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 يلى {٢، ٣، ٧، ٨، ٩، ١٠، ١٣، ١٤، ١٥، ١٦، ١٧، ١٨} :

١) معادلة دارسى – ويسباش للدفق خلال الأنابيب Darcy - Weisbach equation

كما موضحة فى المعادلة ١٤ (أنظر فصل ٤)

$$h_f = f^*(L/D)^*(v^2/2^*g) \qquad (١٤)$$

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 دى جيزى Chezy equation

وهذه كما مبينة فى المعادلة ١٥ .

$$v = C^* r_H^{2/3} * s^{1/2} \qquad (١٥)$$

حيث :

v = سرعة الدفق (م/ ث) .

C = معامل الإحتكاك أو معامل دى جيزى (م$^{١/٢}$/ ث) .

r_H = نصف القطر الهايدروليكى (م) .

s = ميل القعر (م/ م) .

هنالـــــك العديد من المعادلات لإيجاد معامل الإحتكاك أو معامل دى جيزى مثل صيغة غانغولت وكتر Ganguillet & Kutter فى أبحاثهم عن الأنهار والدفق المفتوح {١٩} ، كما مبين فى المعادلة ١٦ .

$$C = [23 + (0.00155/ s) + (1/n)] / [1 + \{23 + (0.00155/ s)*(n/\sqrt{r_H})\}] \qquad (١٦)$$

حيث :

C = معامل الإحتكاك أو معامل دى جيزى (م$^{٠.٥}$/ ث) .

n = معامل الخشونة ، والذى يزداد بزيادة خشونة حدود القناة (ثابت مانينج) .

r_H = نصف القطر الهايدروليكى (م) .

كما ويمكن إيجاد معامل دى جيزى من صيغة بازن Bazin formula ، والتى لا تربـــط معامـــل دى جيزى بميل القعر، كما موضحة فى المعادلة ١٧ .

$$C = 86.9 / [1 + (k/\sqrt{r_H})] \qquad (١٧)$$

حيث :

C = معامل الإحتكاك أو معامل دى جيزى (م$^{٠.٥}$/ ث) .

r_H = نصف القطر الهايدروليكى (م) .

k = ثابت يعتمد على خشونة السطح (أنظر 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

٣) صيغة مانينج Manning's formula (أو صيغة ستريكلر Strickler's formula)

معادلة مانينج من أكثر المعادلات شيوعا وإستعمالا لسهولتها ، وتبين المعادلة ٥ هذه الصيغة .

وينبغى المحافظة على أقل سرعة لتفادى تراكم المواد الصلبة والمترسبات ، وبالتالى تفسخها وإنتاج الغازات الكريهة وغير المستحبة ، مثل كبريتيد الهايدروجين ، والذى بالإضافة الى طبيعة رائحة البيض الفاسد فيه فقد يؤدى 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 الدفق الذى يمكن أن ينقله أنبوب قطره ٩٠٠ ملم موضوع بميل يساوى المتر لكل كيلومتر ، علما بأن معامل مانننج ٠,٠١٣ وثابت إحتكاك الأنبوب = ١٠٠ .

أ) بإستخدام معادلة دى جيزى .

ب) بإستخدام معادلة مانننج .

جـ) بإستخدام معادلة هيزن – وليام .

الحل :

١- المعطيات: D = ٠,٩ م ، s = ١ ÷ ١٠٠٠ = ٠,٠٠١ .

٢- استخدم معادلة دى جيزى لإيجاد الدفق

* أوجد نصف القطر الهايدروليكى

$r_H = D \div 4$ = ٠,٩ ÷ ٤ = ٠,٢٢٥ م .

* أوجد قيمة C من معادلة كتر

$$C = [23 + (0.00155/ s) + (1/n)] / [1 + \{23 + (0.00155/ s)*(n/\sqrt{r_H})\}]$$

C = [٢٣ + (٠,٠٠١٥٥ ÷ ٠,٠٠١) + (١ ÷ ٠,٠١٣)] ÷

[١ + {٢٣ + (٠,٠٠١٥٥ ÷ ٠,٠٠١)}×{٠,٠١٣×(٠,٢٢٥)^٠,٥}

= ٦٠,٦٦

* أوجد سرعة الدفق من معادلة دى جيزى: $v = C*r_H^{2/3}*s^{1/2}$

v = ٦٠,٦٦ × (٠,٢٢٥)^(٢÷٣) × (٠,٠٠١)^٠,٥

= ٠,٧١ م/ ث .

أوجد معدل الدفق من معادلة دى جيزى :

Q = ٠,٧١ × (٤ ÷ π) × (٠,٩)^٢ = ٠,٤٥ م^٣/ ث .

٣- استخدم معادلة مانننج لإيجاد سرعة الدفق

$$v = (1/n)*r_H^{2/3}*s^{1/2}$$

v = (١ ÷ ٠,٠١٣) × (٠,٢٢٥)^(٢÷٣) × (٠,٠٠١)^٠,٥

= ٠,٩ م/ث.

أوجد معدل الدفق

$Q = ٠,٩ \times (٤ \div \pi) \times (٠,٩)^{٢} = ٠,٥٧$ م^{٣}/ ث .

٤- استخدم معادلة هيزن وليام بفرض C = ١٠٠

$$Q = 0.278 * C * D^{2.63} * s^{0.54}$$

$Q = ٠,٢٧٨ \times ١٠٠ \times (٠,٩)^{٢,٦٣} \times (٠,٠٠١)^{٠,٥٤} = ٠,٥١$ م^{٣}/ ث .

٥ - ٦ تصميم المجرور

تحوى معايير التصميم إيجاد سعة الأنبوب وأقل وأقصى ميل ، وإرتفاعات مناسيب الدفق ، والتغيرات فى حجم الدفق . ويمكن أن تبنى الحسابات إما على أساس الدفق الذى يملأ كل مقطع الأنبوب (دفق كامل)، أو على أساس أن الدفق يملأ جزء من مقطع الأنبوب (دفق جزئى) . وبالنسبة للدفق الكامل يمكن إيجاد حجم وميل المجرور بإستخدام المعادلات المذكورة آنفا . أما بالنسبة للدفق الجزئى فيمكن إيجاده بإستخدام رسم العناصر الهايدروليكية Hydraulic element diagram الموضحة على الشكل (٩) للأنابيب الدائرية . وعند إستخدام رسم العناصر الهايدروليكية لا بد من إستخدام معادلة مانينج أو رسم بيانى معادلة مانينج (شكل ٧) ، لإيجاد حالة المجرور الممتلئ ، ثم توجد النسبة بين أى عنصرين هايدروليكيين 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 ممتلئا. أوجد سرعة الدفق وإرتفاع المنسوب عندما يكون ممتلئا جزئيا حاملا دفقا يساوى ٠,٢٥٣ متر مكعب فى الثانية . (ثابت مانينج = ٠,٠١٣) .

الحل :

١- المعطيات: D = ١,٠٧ م ، s = ٠,٠٠٢ ، Q_p = ٠,٢٥٣ ، n = ٠,٠١٣

٢- أوجد سرعة الدفق من معادلة مانينج

$$v = (1/n) * r_H^{2/3} * s^{1/2}$$

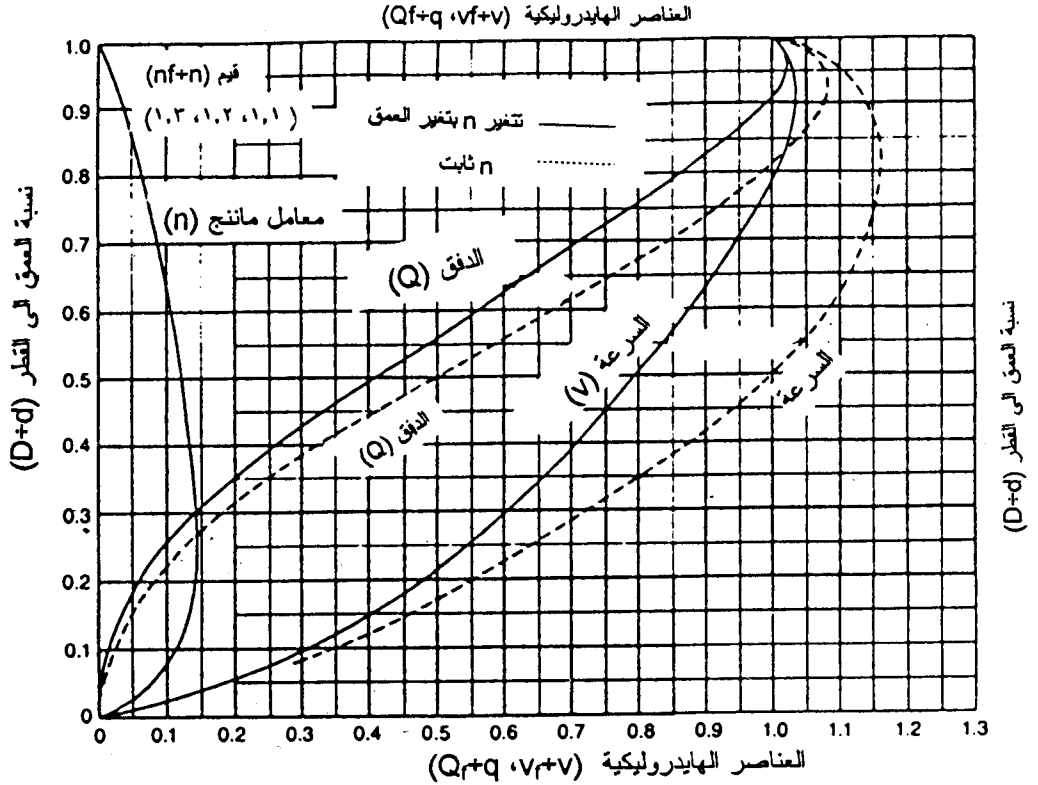
$v = (١ \div ٠,٠١٣) \times (١,٠٧ \div ٤)^{٢ \div ٣} \times (٠,٠٠٢)^{٠,٥} = ١,٤٣$ م/ ث .

(أو يمكن إيجاد السرعة من بيانى معادلة مانينج شكل (٦) لتساوى v = ١,٤٣ م/ ث)

معدل الدفق $Q = A * v$

$Q = (٤ \div \pi) \times (١,٠٧)^{٢} \times ١,٤٣ = ١,٢٩$ م^{٣}/ ث = ٧٧,٤ م^{٣}/ دقيقة .

٣- بالنسبة للدفق الجزئى :



شكل (٩) رسم العناصر الهايدروليكية للأنابيب الدائرية

جدول (٥)

العناصر الهايدروليكية للأنابيب ذات الدفق الجزئى

نسبة العمق $D_f \div D_p$	نسبة نصف القطر الهايدروليكى الى العمق $D_f \div (r_H)_p$	نسبة المساحة $A_f \div A_p$	نسبة نصف القطر الهايدروليكى $(r_H)_f \div (r_H)_p$	نفس قيمة ثابت مانننج (n)	
				نسبة السرعة $v_f \div v_p$	نسبة الدفق $Q_f \div Q_p$
٠,١	٠,٠٦٤	٠,٠٥٢	٠,٢٥٤	٠,٤٠١	٠,٠٢١
٠,١٥	٠,٠٩٣	٠,٠٩٤	٠,٣٧٢	٠,٥١٧	٠,٠٤٩
٠,٢	٠,١٢١	٠,١٤٢	٠,٤٨٢	٠,٦١٧	٠,٠٨٧
٠,٢٥	٠,١٤٧	٠,١٩٦	٠,٥٨٧	٠,٧٠٢	٠,١٣٧
٠,٣	٠,١٧١	٠,٢٥٢	٠,٦٨٤	٠,٧٧٦	٠,١٩٦
٠,٣٥	٠,١٩٤	٠,٣١٢	٠,٧٧٤	٠,٨٤٥	٠,٢٦٣
٠,٤	٠,٢١٤	٠,٣٧٤	٠,٨٥٧	٠,٩٠٢	٠,٣٣٧
٠,٤٥	٠,٢٣٣	٠,٤٣٦	٠,٩٣٢	٠,٩٥٤	٠,٤١٦
٠,٥	٠,٢٥	٠,٥	١	١	٠,٥
٠,٥٥	٠,٢٦٥	٠,٥٦٤	١,٠٦	١,٠٤	٠,٥٨٦
٠,٦	٠,٢٧٨	٠,٦٢٦	١,١١١	١,٠٧٣	٠,٦٧٢
٠,٦٥	٠,٢٨٨	٠,٦٨٨	١,١٥٣	١,٠٩٩	٠,٧٥٦
٠,٧	٠,٢٩٦	٠,٧٤٨	١,١٨٥	١,١١٩	٠,٨٣٨
٠,٧٥	٠,٣٠٢	٠,٨٠٤	١,٢٠٧	١,١٣٤	٠,٩١١
٠,٨	٠,٣٠٤	٠,٨٥٨	١,٢١٧	١,١٣٩	٠,٩٧٨
٠,٨٥	٠,٣٠٣	٠,٩٠٦	١,٢١٣	١,١٣٧	١,٠٣
٠,٩	٠,٢٩٨	٠,٩٤٨	١,١٩٢	١,١٢٤	١,٠٦٦
٠,٩٥	٠,٢٨٦	٠,٩٨١	١,١٤٦	١,٠٩٥	١,٠٧٤
١	٠,٢٥	١	١	١	١

* أوجد نسبة الدفق الجزئى للدفق الكلى

$Q_f \div Q_p = (٦٠ \times ٠,٢٥٣) \div ٧٧,٤ = ٠,١٩٦$.

* إستخـدم هذه النسبة أفقيا فى مخطط رسم العناصر الهايدروليكية وأرسم عمودياً ليقطع منحنى الدفق على نقطـــة محددة . ومن هذه النقطة ارسم خطا أفقيا ليقطع المحور الصادى ، ويعطى نسبة العمق الجزئى الى العمق الكلى (قطر الأنبوب) أى :

$d \div D = ٠,٣٤$

* وعليه أوجد عمق الدفق الجزئى .

$d = ٠,٣٤ \times ١,٠٧ = ٠,٣٦$ م .

* لإيجـــاد السـرعة ، من خط العمق (٠,٣٦) ارسم خطا أفقيا الى اليمين ليقطع منحنى السرعة ، ثم ارسم خطا عموديا من نقطة التقاطع على منحنى السرعة . وأوجد نسبة السرعة لتقرأ :

$v_f \div v_p = ٠,٦٨$

وعليه يمكن إيجاد السرعة الجزئية

$v_p = ٠,٦٨ \times ١,٤٣ = ٠,٩٧$ م/ ث .

أما السرعة اللازمة للنظافة الذاتيـــة للمجرور، ولمنع ترسيب المواد الصلبة فيه ، وحملها عبر الأنبوب يمكن إيجادها من المعادلة ٢٠ .

$$v_{sc} = (r_H^{1/6}/n) * \sqrt{B(s.g. -1)*d} = \sqrt{8*B*g*(s.g. -1)*d/f} \qquad (٢٠)$$

حيث :

v_{sc} = سرعة النظافة الذاتية (م/ ث) .

r_H = نصف القطر الهايدروليكى (م) .

B = ثابت يعتمد على خواص جرف المترسبات (لا بعدى) .

s.g. = الكثافة النوعية (لا بعدى) .

d = مقاس الحبيبات المترسبة (م) .

n = ثابت الإحتكاك (ثابت مانننج وكتر) ($م^{١\div٦}$) .

f = 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 تكـــون

السرعة فى حدود ٠,٩١ م/ ث أو أكثر أينما تيسر ذلك . وعليه فتكون أقل سرعة فى الحدود المدرجة فى المعادلة ٢١ لأقصى دفق .

٠,٦ م/ ث < أقل سرعة تصميمية < ٣,٥ م/ ث . (٢١)

ويمكن تلخيص أهم نقاط تؤخذ فى الإعتبار عند تصميم المجارىعلى 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 دفق السيل .
- يوجد إرتفاع وميل وقطر المجرور ، وسعة وسرعة الدفق . 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 الدفق 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 والثنيات والإنحناءات أو الدفق 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 الدفق بسرعة مناسبة تمنع تسرب المواد الصلبة ، وتقوم بالنظافة الذاتية . وبالنسبة لتوصيلات المنازل يؤخذ الميل ليساوى ٢ بالمائة ، وأقل ميل يؤخذ ليساوى ١ بالمائة .
- لا يوضع المجرور الصحى فى نفس الأخدود مع أنابيب المياه للمحافظة على الصحة العامة . ويتم إختيار المجرور فى الشارع بناءا 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 بنفاذ 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 .

- عـــادة يوضع المجرور بالقرب من منتصف الشارع أو الطريق لكى 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 .
- تمنـــع زراعة الأشجار والشجيرات وإقامة الأسوار والجدران الساندة وغيرها من العوائق الأرضية والتى يمكن أن تتداخل مع منفذ خط المجارى .
- التهوية القسرية للمجرور تعتبر عملا خاصا يستخدم لحل مشكلة معينة .
- يستخـــدم عمق المجرور المناسب ليخدم الدفق القادم من المنطقة الرافدة ، وليمنع رجوع الفضلات السائلة من خـــلال نقاط الإرتباط . ويعمل على ألا يقل أعلى المجرور عن المتر أدنى أرضية الطابق السفلى(العنبر أو البدروم) الذى يخدمه .
- تصمـــم المجارى ذات القطر ٣٧٥ ملم للدفق الكامل (ممتلئة)، وتصمم المجارى الكبيرة القطر للدفق الجزئى لتكون ممتلئة الى ثلاث أرباعها .
- تصمـــم غرف التفتيش لتسمح بالنفاذ الى المجرور للمراقبة وإجراء أعمال الصيانة. ويعمل على أن تحـــدث أقل تداخـــل مع هايدروليكا المجرور ، وأن تدوم طويلا ، وعادة تكون غير نافذة للماء وتتحمل الضغط والأحمال .

عـــــادة تكـــون غرف التفتيش دائريـــــة الشكل ، والأبعاد الداخلية كافية لممارسة التفتيش والنظافة بدون صعوبة .

عـــادة يكـــون القطـــر الداخلى فى حدود ١ الى ١,٢ مترا للمجارى الصغيرة. ويستخدم فى إنشاء غرف التفتيش الطـــوب والطابـــوق والخرسانة المسلحة والألياف الزجاجية وغيرها. ويصنع غطاء غرفة التفتيش من الحديـــد الزهـــر أو الحديـــد الزهـــر المطيلى عادة بفتحة ٦٠٠ الى ٩٠٠ ملم، وتتحمل المركبات ذات الوزن ٧٥ الى ٢٠٠ كيلو جرام . ويجب أن يكون الغطـــاء 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 الإختيار والمفاضلة بين الأنابيب التى تصلح للمجارى ينبغى موازنة الفوائد والقيود والمحدات . ومن أهم العوامل التى تحكم عملية الإختيار والمفاضلة بين المواد المصنع منها الأنابيب ما يلى :

- نوع الإستخدام المزمع .
- خواص الفضلات السائلة .
- حالات الجرف والتحات والتآكل الكيميائى والحيوى .
- متطلبات التشييد .
- خواص الأنابيب وأحجامها وأوزانها .

•• متطلبات الدفق : من سرعة الدفق ، وحجم الأنبوب ، وميل الأنبوب ، وقوة الإحتكاك .
•• التسرب أو التخلخل لداخل المجرور .
•• العوامل الإقتصادية من سعر التكلفة والتشييد والصيانة وغيرها .

وهنالك 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 المطيلى Dutile iron ، والفولاذ .
جـ) أنابيب اللدائن الحرارية Thermoplastic pipes: وهى مصنعة من مواد بلاستيكية كرر تليينها وتقويتها بالتبريد عبر مدى حرارى معين لكل نوع من البلاستيك مثل متعدد الأثيلين Polyethelene ، والكلوريد متعدد الفينيل Polyvinyl chloride .
د) أنابيب بلاستيكية صلدة بالحرارة Thermoset plastic pipes : مثل المونة البلاستيكية المسلحة Reinforced plastic mortar ، والراتينج المسلح الصلد بالحرارة .

ويوضح الجدول (٦) محاسن ومساوئ 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 دفق ممكن . غير أن هذه السعة يمكن أن تقل جزئيا أوكليا من جراء تراكم المترسبات والشحوم والدهون وغيرها من المواد ، أو من تغلغل الجذور أو التربة خلال التشققات فى المفاصل . وقلة السعة تواكبها مشاكل طفح 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 المستقبلة .

٥ - ٧ التآكل فى المصارف الصحية

تعتبر البيئة داخل المجرور بيئة تآكل عندما يتم إنتاج غاز كبريتيد الهايدروجين . ومن الآثار الضارة وغير المستحبة لكبريتيد الهايدروجين 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 الحمأة النشطة ويزيد من متطلبات الكلور . وإنتاج كبريتيد الهايدروجين فى محطات المعالجة يقود الى شكوى الجمهور .

جدول (٦)
محاسن ومساوئ بعض الأنابيب المختارة

الأنبوب	المحاسن	المساوئ	الأستخدام
١) أنابيب صلدة			
أ) أسبستس أسمنتى (١٠٠-٩٠٠ ملم قطر)	* طويلة * (مدى قوة القص كبير (متينة) * توجد معها أنواع عديدة من التركيبات	* قابلة للتآكل عند وجود الأحماض * قابلة للقص وكسر العوارض عند الطمر غير الجيد * العوارض قليلة المتانة	للدفق تحت تأثير الجاذبية والدفق تحت الضغط
ب) الحديد الزهر والحديد الرمادى قطر ٥٠ ملم الى ١,٢ م	* طويلة * تتحمل الضغط العالى وسعة تحميلية للأحمال	* قابلة للتآكل عند وجود الأحماض * قابلة للتآكل الكيميائى فى التربة الأكالة * قابلة للقص وكسر العوارض عند الطمر غير الجيد * وزنها كبير	للدفق تحت تأثير الجاذبية والدفق تحت الضغط
ج) الخرسانة (١٠٠-٩٠٠ ملم قطر) الخرسانة المسلحة والخرسانة سابقة الإجهاد (٣٠٠ ملم - ٥ متر)	* لها مدى قوى قص كبير ومدى ضغط كبير * يوجد مدى كبير من الأقطار * أطوال 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 المطيلى (حديد + رمادى + سيريوم + ماغنسيوم) (٧٥ ملم - ١,٣٥ م)	* أطوال مختلفة * قوة قص كبيرة * متانة عوارض كبيرة * تتحمل الضغط العالى وسعة تحميلية للأحمال	* قابلة للتآكل الكيميائى فى التربة الأكالة *قابلة للتآكل عند وجود الأحماض * وزنها كبير	للدفق تحت تأثير الجاذبية والدفق تحت الضغط
ب) فولاذ (٢٠٠ ملم - ٣ م)	* وزنها خفيف * أطوال مختلفة	*قابلة للتآكل عند وجود الأحماض * عرضة للتآكل الكيميائى عند وضعها فى تربة أكالة * صعوبة عمل التوصيلات العرضية * معامل هايدروليكى ضعيف * عرضة للثنى والإنحراف عند طمرها غير الجيد *عرضة للتآكل بالدفق المضطرب	تستعمل نادرا، وإذا إستعملت تبطن بطبقة حماية من المواد الملدنة أو الأسبستس أو البيتومين ..... إلخ
٣) أنابيب الدائن الحرارية			
أ) متعدد الأثيلين (١٠٠ ملم - ١,٢ م)	* أطوال عديدة مختلفة * وزنها خفيف * متانة للصدمات * سهلة القطع فى الحقل	* قليلة المتانة ضد الشد * الأطوال الموجودة محدودة * قابلة للتشقق * عرضة للثنى والإنحراف عند طمرها غير الجيد * قابلة للتآكل ببعض المواد الكيميائية العضوية * تؤثر عليها الأشعة فوق البنفسجية	للدفق تحت تأثير الجاذبية والدفق تحت الضغط
ب) كلوريد متعدد الفينيل (١٠٠ - ٦٧٥ ملم)	* طويلة للوضع * متانة ضد الصدمات * سهلة القطع فى الحقل	* قابلة للتآكل ببعض المواد الكيميائية العضوية * عرضة للثنى والإنحراف عند طمرها غير الجيد * محدودة مدى القطر * يتغير سطحها بالأشعة فوق البنفسجية	للدفق تحت تأثير الجاذبية والدفق تحت الضغط
٤) الأنابيب البلاستيكية الصلدة بالحرارة			
أ) الراتينج المسلح الصلد بالحرارة (٢٥ - ٣٠٠ ملم)	* خفيفة الوزن * أطوال متعددة	* قابلة للتآكل فى بعض البيئات * عرضة للثنى والإنحراف عند طمرها غير الجيد * قابلة للتآكل ببعض المواد الكيميائية العضوية * قابلة للتغير فى سطحها من أثر الأشعة فوق البنفسجية	للدفق تحت تأثير الجاذبية والدفق تحت الضغط
ب) المونة البلاستيكية المسلحة (٢٠٠ ملم - ٣,٦ م)	* خفيفة الوزن * أطوال متعددة	* قابلة للتآكل فى بعض البيئات * عرضة للثنى والإنحراف عند طمرها غير الجيد * قابلة للتآكل ببعض المواد الكيميائية العضوية * قابلة للتغير فى سطحها من أثر الأشعة فوق البنفسجية	للدفق تحت تأثير الجاذبية والدفق تحت الضغط

- إنتاج غاز كبريتيد الهايدروجين السام .

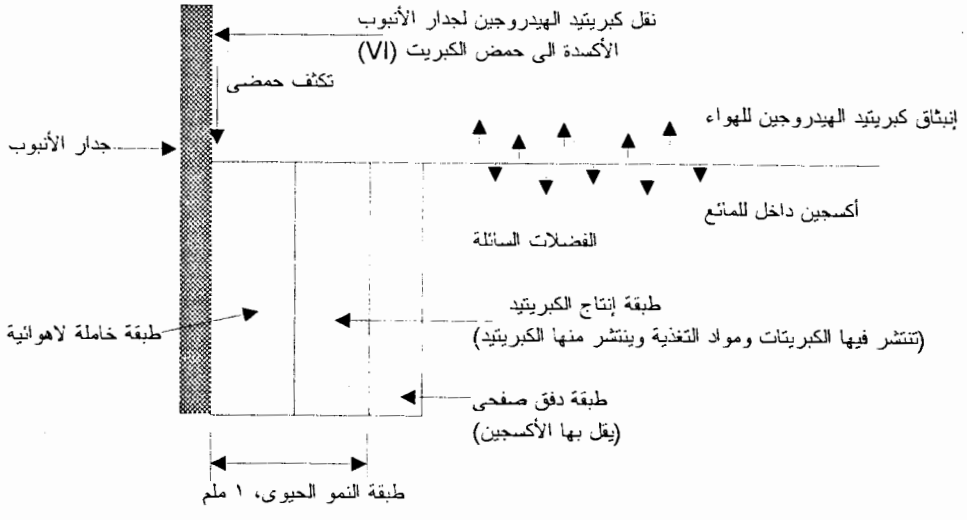
تقوم البكتريا اللاهوائية بإختزال الكبريتات الموجودة فى الفضلات السائلة داخل المجرور الى الكبريتيد طبقا للمعادلة الموضحة أدناه :

كبريتات + مواد عضوية $\xrightarrow{\text{بكتريا لاهوائية}}$ كبريتيد + ماء + ثانى أكسيد الكربون .

$$SO_4^{=} + \text{organic matter} \xrightarrow{\text{anaerobic bacteria}} S^{=} + H_2O + CO_2$$

$$S^{=} + 2H^{+} \longrightarrow H_2S\uparrow$$

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 الهايدروجين وأيون HS^- ، ويسمى هذا الخليط بالكبريتيد الذائب. وعندما يكون الرقم الهايدروجينى للفضلات السائلة المحتوية على كبريتيد فى حدود ٧ فإن ٥٠ ٪ من الكبريتيد الذائب يكون كبريتيد الهايدروجين 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 .

+ نقصـان التخفيف : مثلا 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 نسبيا (قطره لا يزيد عن ٦٠٠ ملم) ينساب الدفق خلاله تحت تأثير قوى الجاذبية الأرضية، ومن هذه المؤشرات صيغة زيتا {١٣، ٢١} الموضحة فى المعادلة ٢٢ .

$$Z = (BOD_e * w_p) / (s^2 * Q^{0.33} * B) \qquad (٢٢)$$

حيث :

Z = دالة زيتا .

BOD_e = الحاجة الحيا كيميائية للأكسجين الفعالة .

w_p = المحيط المبتل (قدم) .

s = الميل الهايدروليكى .

Q = معدل الدفق (قدم^3/ ث) .

B = عرض السطح (قدم) .

ويبين الجدول (٧) حالة الكبريتيد لقيم مختلفة من دالة زيتا

جدول (٧)

حالة الكبريتيد لقيم مختلفة من دالة زيتا {١٣، ٢١}

قيمة زيتا	حالة الكبريتيد
أقل من ٥٠٠٠	نادرا ما يتم إنتاج كبريتيد
٥٠٠٠ < Z < ١٠٠٠٠	حالة إنتاج هامشى للكبريتيد
١٠٠٠٠ < Z	إنتاج عادى للكبريتيد

مثال ٥ :

مصرف صحى قطره ٤٦٠ ملم (١٨") صمم لنقل فضلات سائلة بمعدل دفق ١ متر مكعب على الثانيـة ، ووضع المصرف على ميل ٠,٠٠٢ . بين حالـة 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^3/ ث ، s = ٠,٠٠٢ ، w_p = ١,٦٤ قدم ، B = ٠,٩٨ قدم ، BOD_e = ٣٢٥ ملجم/ لتر .

٢- أوجد دالة زيتا من المعادلة

$$Z = (BOD_e * w_p) / (s^2 * Q^{0.33} * B)$$

$$Z = (٣٢٥ \times ١,٦٤) \div [(٠,٠٠٢)^{٠,٥} \times (١)^{٠,٣٣} \times ٠,٩٨] = ١٢١٦١$$

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 المجارى، ومن هذه الطرق :

١- العمل على إيجاد سرعة دفق تضمن كفاءة نقل المواد الصلبة ومنع ترسبها .

٢- المعالجة الكيميائية والتي تتم باستخدام :

- الكلورة (إضافة غاز الكلور أو مشتقاته) .
- إضافة أملاح معدنية مثل كبريتات الحديد .
- إضافة بيروكسيد (فوق أكسيد) الهايدروجين 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- التبطين 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 الهايدروجين من الفضلات السائلة . ويمكن تقدير متوسط فيض كبريتيد الهايدروجين الى جدار الأنبوب {١٣} من المعادلة ٢٣ .

$$\Phi = (0.45 * a / w_p') * s_d * B * (s * v)^{0.375} \qquad (٢٣)$$

حيث :

Φ = فيض كبريتيد الهايدروجين المتبقى لجدار الأنبوب على درجة حرارة ٢٠م (جم/ م^2×ساعة) .

a = ثابت يعتمد على كمية الكبريتيد المذاب (فى شكل كبريتيد الهايدروجين) الى رقم الهايدروجين

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 للدفق المنتظم المستقر) (لا بعدى) .

v = سرعة الدفق (قدم/ ث) .

ومن البكتريا الهامة فى موضوع تآكل المجرور بالكبريتيد البكتريا المؤكسدة التيوعصوية Thiobacillus thio-oxidants ، وبكتريا T. neapolitans ، وبكتريا الخرسانة *T. concretovorous* ، والبكتريا التيوعصوية Thiobacillus من نوع البكتريا المؤكسدة للكبريت (وهى بكتريا هوائية)، والبكتريا ذاتية التغذية بالجمادات Lithotrophic autotroph ، (وبعضا منها يمكن أن يكون غيرى الإغتذاء Heterotrophs.) .

تقوم الكائنات الدقيقة الحية بتفسخ المواد العضوية المترسبة فى المجارى ذات الدفق 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، والتى 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 الهايدروجين فى أعلى قمة المجرور بواسطة الماء المكثف، لتقوم البكتريا الثيوعصوية Thiobacillus بإعادة أكسدته الى حمض الكبريت Sulfuric acid VI . ويقلل تكوين الحمض الرقم الهيدروجينى الى ما يقارب ٣ ، ومن ثم تقوم بكتريا الخرسانة T. concretovorous بالنمو والتكاثر لتقلل الرقم الهيدروجينى بدورها الى ١ . ومن المعلوم أن هذه البكتريا لا تعيش فى رقم هايدروجينى يربو على ٤ .

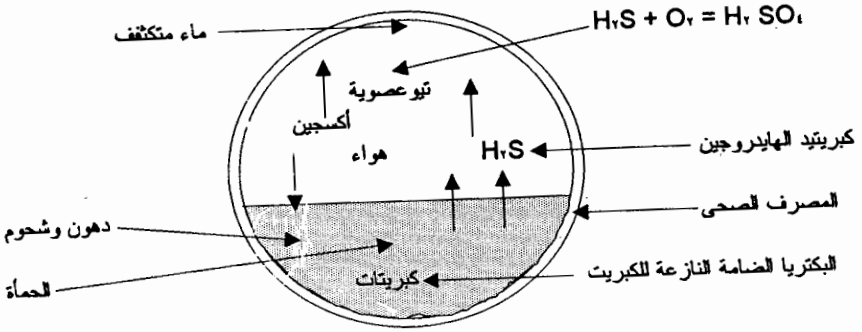
ويقود إنتاج الحمض فى الأنابيب المصنوعة من الخرسانة أو الحديد أو الفولاذ الى تآكلها خاصة فى المناطق الدافئة المناخ ، وفى المجارى الموضوعة على ميل مستو مما ينتج عنه سرعة قليلة وزمن مكث أكبر .

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 desulphuricans وهى بكتريا لا هوائية تقوم بإختزال الكبريتات لتكون الكبريتيد وهى خيرية الإغتذاء Heterotrophic وتقوم بأكسدة الكربون العضوى أثناء إختزال الكبريتات .

ويمثل الشكل (١١) رسم تخطيطى لتآكل المصرف الصحى .

ويبين الجدول (٨) أثر بعض الملوثات فى المصارف الصحية .



شكل (١١) سم تخطيطى لتآكل المصرف الصحى

جدول (٨)
أثر بعض الملوثات فى المصارف الصحية {١٣، ٢١}

الملوث	المشاكل والآثار المترتبة على وجوده فى المجارى	العلاج المقترح
الدهون، والشحوم، والزيوت	تغطية، إنسداد، تقليل سعة المجرور عند تراكمها	المعالجة المسبقة، نظافة المجرور
المواد الملتهبة، والمواد المتفجرة	حرائق، إنفجار، أبخرة مقيتة، مشاكل صحية لعمال النظافة	منع الصرف فى المجرور، الرصد والمراقبة، إستخدام الملابس والأجهزة الواقية
المواد القلوية	تآكل معدن المجرور، إحتمال ترسيب	معادلة، موازنة
المواد الحمضية	تآكل وتفتيت لأنابيب الخرسانة والحديد	معادلة، موازنة
المواد الصلبة العالقة الخشنة	إنسداد الأنبوب	المعالجة المسبقة، تصفية، إزالة المواد غير العضوية، نظافة المجرور
المواد غير العضوية	. تآكل كبير لمحطات الضخ، تراكم، إنسداد الأنبوب	المعالجة المسبقة، نظافة المجرور
المعادن الثقيلة والمواد السامة	إنبثاق غازات سامة عند زيادة الحمضية أو القلوية	المعالجة المسبقة
الأحماض العضوية الزائدة	تكوين القاذورات النتنة فى خط المجارى مما ينتج معه غاز كبريتيد الهايدروجين ويقوم بتآكل الخرسانة والمنشآت بالإضافة الى سميته	المعالجة المسبقة، محاولة إيجاد بيئة هوائية داخل المجرور، الكلورة عند محطات الضخ
أمونيا	مهيج للعيون والجهاز التنفسى، سام على درجة تركيز ٠,٠١ %	معالجة مسبقة، تهوية
كبريتيد الهيدروجين	يضر حاسة الشم بسرعة عند زيادة التركيز، قاتل خلال دقائق على تركيز ٠,٢ ٪، التعرض لتركيز ٠,٠٧ الى ٠,١ ٪ يسبب تسمم سريع، يشل مركز الجهاز التنفسى	معالجة مسبقة، تهوية

٥-٨ تمارين عامة :

٥-٨-١ تمارين نظرية :

١) عرف الآتى: مصرف صحى ، مصرف سيل ، مجارى صحية .
٢) ما هي الأهداف من وراء تصريف الفضلات في المجارى الصحية ؟
٣) عـــدد نظـــم المجارى . واذكر الفرق بين كل منها ؟ ما هي محاسن ومساوئ كل نظام؟ أى من النظم تفضل لمنطقتك ؟
٤) ما هى المشاكل التى يمكن أن تنجم من جراء سوء إستخدام المصارف ؟
٥) ما هى 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 هى العوامل المؤثرة فى كميات مياه الأمطار والسيول والمياه السطحية ؟
٩) عرف الآتى: شدة الأمطار ، زمن التركيز للأمطار، المنطقة الرافدة ، خط الميل الهايدروليكى.
١٠) ما الفرق بين معادلة مانتج ومعادلة جيزى ؟
١١) إذكر أهم الإفتراضات فى هايدروليكا الصرف الصحى .
١٢) عرف الآتى : إنسياب أحادى البعد ، دفق لا منضغط ، إنسياب مستقر .
١٣) ما هى العوامل المؤثرة على السرعة اللازمة للنظافة الذاتية للمجارى ؟
١٤) أين تقترح أن توضع غرف التفتيش ؟ ولماذا ؟
١٥) لماذا يصمم غطاء محكم الغلق لغرف التفتيش ؟
١٦) ما هى أهم العوامل المؤثرة فى المفاضلة بين أنابيب الصرف الصحى ؟
١٧) ما هى 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 فى المجرور ؟
٢١) اذكر العوامل المؤثرة فى انتاج الكبريتيد الذائب فى المجرور الصحى .
٢٢) اذكر الطرق المستخدمة للتحكم فى الكبريتيد فى المجارى .
٢٣) اذكر البكتريا المؤثرة فى عمليات التآكل فى المجرور. دعم إجابتك بالرسومات المناسبة .
٢٤) مـــا هى المخاطـــر التى يمكن أن تتأتى من جـــراء زيادة تركيز كل من المواد الآتية فى 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 فى المائة (ثابت مانننج يساوى ٠,٠١٣) . (الإجابة ١١٠ لتر/ث) .

٢) أوجـــد أقصى عدد من السكان يمكن أن يخدمهم مجرور قطره ٣٠٥ ملم عند وضعه على أقل ميل ممكن علما بأن معدل دفق الفضلات السائلة يعادل ٧٥ بالمائة من الماء المستخدم، وأن استخدام الماء لكل فرد فى حدود ٢٠٠ لتر فى اليـــوم وأن أقصى سرعة مسموح بها فى المجرور يجب ألا تتجاوز ٠,٧٥ م فى الثانية . (الإجابة ٢٣٦٧٢) .

٣) يخـــدم مجرور دائرى منطقة جابية تساوى ٥٠ هكتارا وقد وضع على ميل يساوى ١ فى ٤٠٠٠. إذا كـــان زمـــــن التركيـــز يســاوى ٣٠ دقيقة وأن ثابت السيل يساوى ٠,٤ أوجد قطر المجرور. (الإجابة ١,٤٧ م) .

٤) أوجـــد قطر أنبـــوب ليسمـــح بمـــرور دفق يعادل ٢٠٠ متر مكعب فى الدقيقة مستخدما ميلا يقارب ١,٥ متر لكل كيلومتر. (الإجابة ١,٦١ متر) .

٥) مستخدما بيانى المعادلة المبنى على صيغة مانننج (شكل ٧) أوجد مقدار الدفق وسرعة الدفق لأنبوب قطـــره ١,٤ م وموضـــوع على ميل ٠,٠٠٢، علمـــا بأن ثـــابت مـــانننج يساوى ٠,٠٢ . (الإجابة ١,٧١ م^{٣} / ث، ١,١١ م / ث) .

٦) صمـــم 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 قطـره ٦٨٥ ملم ، عندما ينساب الدفق الكامل بمعدل يساوى ٥ متر مكعب فى الدقيقة ويكون أقـــل دفق يعـــادل ٠,١ من أقصى دفـــق . أوجـــد العمق وسرعـــة الـــدفق لأقل دفق . (الإجابة ١٤٤ ملم ، ٠,٢٣ م/ث) .

٨) مجرور دائرى قطره ١,٨٣ متر ينساب خلاله دفق بمعـــدل ٧٥ متر مكعب فى الدقيقة عندما يكـون الدفق كاملا ، إذ تم تبطين الجدار الداخلى بخرسانة جيدة . أوجـــد الميل الـــذى يجب أن يوضع عليه المجرور لضمان دفق منتظم. ثابت مانننج = 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 Edi., 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., Edi., "Perry's Chemical Engineers' Handbook", 6th Edi., 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. Edi., "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 Eternet 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

٦-١ مقدمة

تعـــرف الفضـلات 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 والحمأة عبارة عن محلول 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 ايجاز المشاكل والمخاطر المتعلقة بعدم إنتهاج طرق التخلص السليم من الفضلات السائلة في الآتي :

١- تؤثر الفضـلات السائلة على نوع المياه الطبيعية وذلك بإنتاج الطعم البغيض والروائح الكريهة والغازات الضارة مثل: ثاني أكسيد الكربون وكبريتيد الهايدروجين والميثان (غاز المستنقعات) والأمونيا ونسبة ضئيلة من الهايدروجين والنتروجين .

٢- تحتوي الفضلات السائلةعلى ميكروبات وجراثيم قد تسبب الأمراض، كما وربما نجم من المركبات العضوية المستحدثة بعض الآثار الفسيولوجية على المدى الطويل .

٣- ربما أتت الحمأة والأوساخ من الفضـلات بالمنظفات الثابتة كيميائيا والمبيدات وغيرها من المواد والمركبات السامة .

٤- تنتج الحمأة كميات كبيرة من المواد الصلبة التي تتراكم في قاع المسطحات المائية والتي ربما أثرت سلبا على نوع هذه المياه .

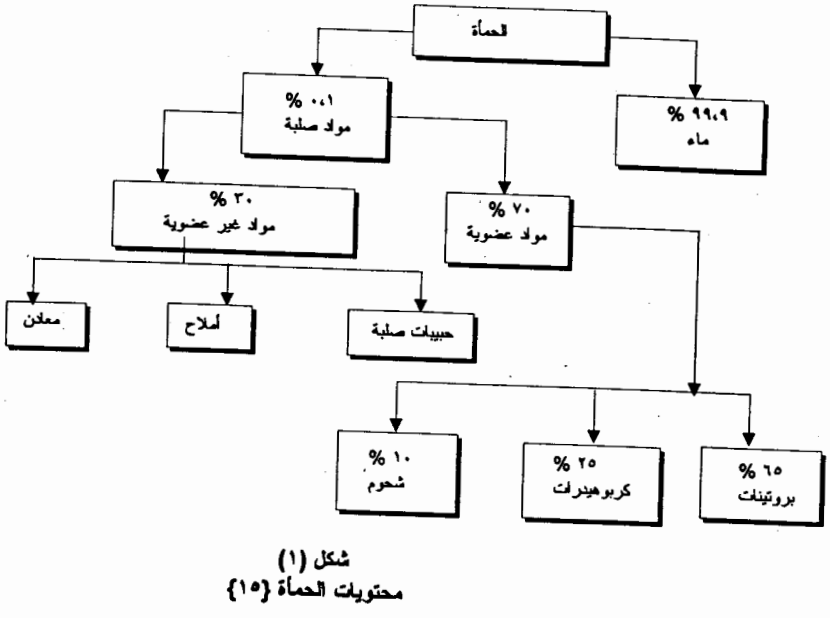
٥- تؤثر الزيوت والشحوم الموجودة في بعض المخلفات السائلة على المناظر خاصة في المناطق السياحية ومناطق الترفيه، وتمنع الإستخدام الأمثل لمناطق السياحة والإستحمام، كما وتؤثر سلبا على عمليات المعالجة الحيوية .

٦- ربما أتت الحمأة ومياه المجاري بمشاكل التخمة Eutrophication للبحيرات وما شاكلها وذلك بزيـــادة درجات تركيز مواد التغذية النباتيـــة فى المسطحـــات المائيـــة ويبين الشكل (١) أدنـــاه محتويات الحمأة {١٥} .

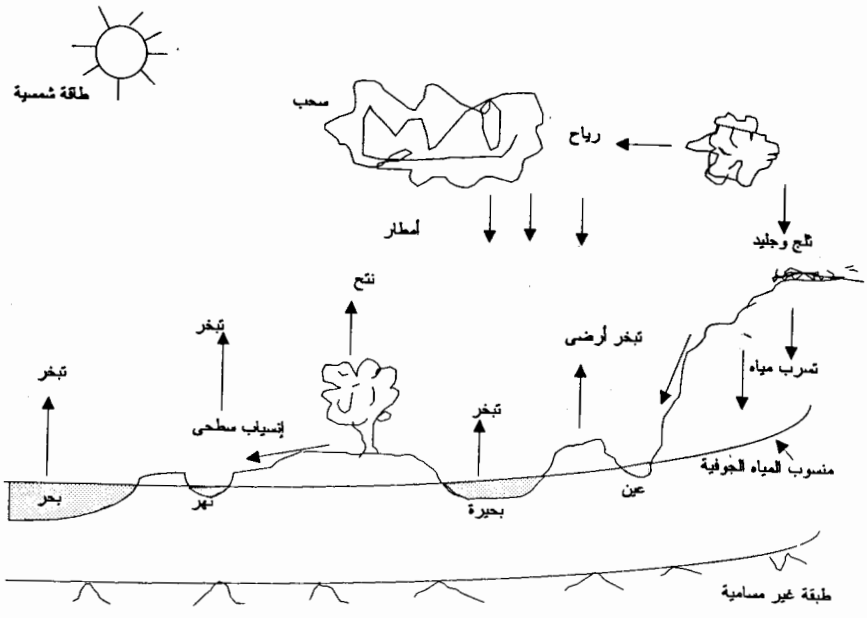
مصادر الفضلات السائلة :

تنقسم مصادر الفضلات السائلة إلى ما يلي :

١- فضلات منزلية: وهذه تضم التصاريف المنازلية والتجارية وتصاريف المؤسسات والمنشآت ومثيلاتها .



شكل (١)
محتويات الحمأة {١٥}



شكل (١)
رسم مبسط لدورة المياه الطبيعية

٢- فضلات صناعية: وهذه تضم تصريف الصناعات وتتغير طبقا 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 الإعتماد على فكرة انسياب موسم الجفاف Dry Weather Flow عند حساب كمية دفق الفضلات السائلة . ويقدر انسياب 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 انسياب موسم الجفاف "بمتوسط الدفق اليومي في المجرور بعد عدة أيام مطيرة لم يتجاوز المطر فيها قيمة ٢,٥ ملليمتر في مدة الأربعة وعشرين ساعة السابقة" {١٦}. وتبين المعادلة ١ طريقة حساب معدل إنسياب موسم الجفاف DWF .

$$DWF = P*Q + I_r + T_w + EV \qquad (١)$$

حيث :

DWF - إنسياب موسم الجفاف (لتر/ يوم) .

P - عدد السكان داخل شبكة المجاري، وعادة يقدر عدد السكان بالتعداد السكاني مع وضع التعديلات المناسبة لاستباط الأعداد المستقبلة والزيادة السكانية ونمو السكان .

Q - المتوسط اليومي لإستهلاك المياه (لتر/الفرد/اليوم) .

I_r - متوسط التسرب الداخل لماسورة التصريف والناتجة 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 .

$$DWF = (80 \text{ to } 90\ \%)*P*Q \qquad (٢)$$

كما ويحسب أعلى معدل لدفق الفضلات السائلة على أساس أنه يساوي إثنين إلى ٤ أضعاف إنسياب موسم الجفاف .

هنالك العديد من العوامل التى تؤثر في كمية دفق 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 والدساكر ومنازل الأفراد .

(ب) وحدات كبيرة: وهذه الوحدات تعمل على معالجة والتخلص من الفضلات السائلة الصادرة من مجموعات كبيرة من السكان، وعليه فيتم جمع الحمأة 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 التى ربما وجدت طريقها لمصدر المياه السطحية أو الجوفية .

٢ – منع إنتشار الأمراض المعدية بإزالة أو قتل الجراثيم الموجودة في الفضلات السائلة والحمأة .

٣ – موازنة الحمأة لمنع حدوث المخاطر الصحية .

٤ – الحد من إنتاج الروائح الكريهة وغيرها من المكدرات .

٥ – إعادة إستخدام ماء التصريف الخارج من محطات المعالجة وإعادة إستخدام الحمأة والنواتج الثانوية الصادرة من وحدات المعالجة .

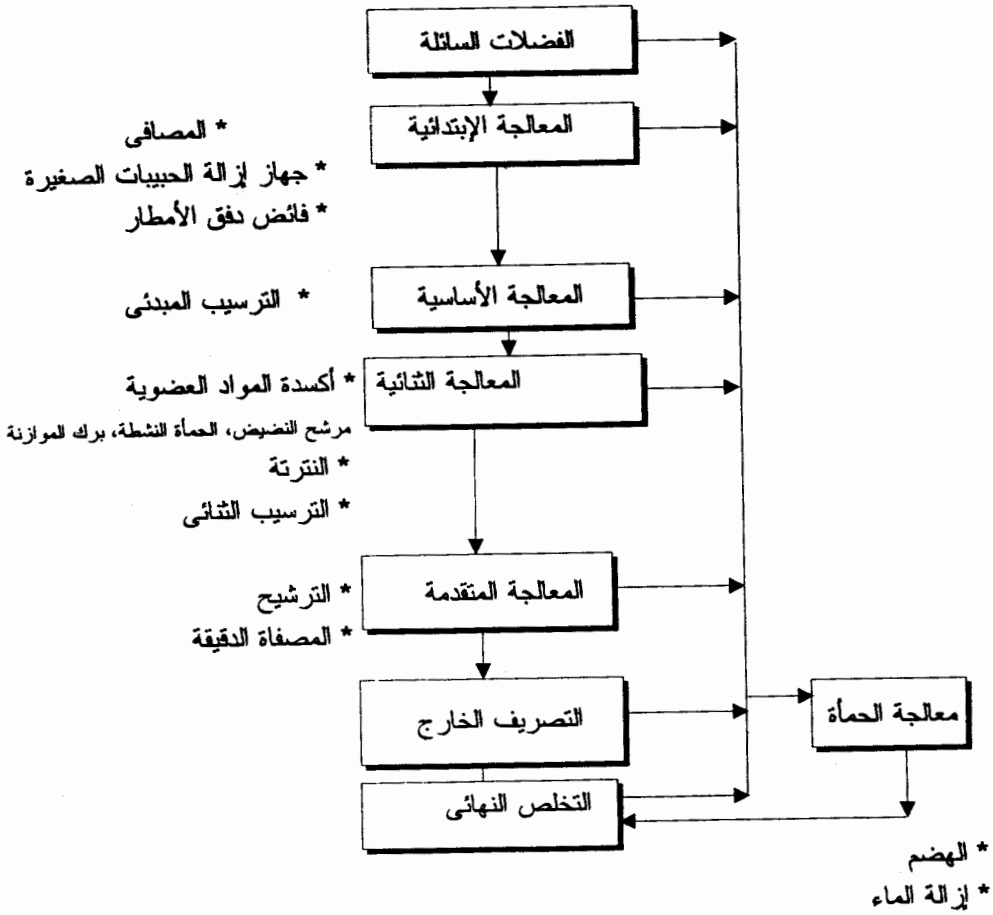
يعطي الشكل (٢) فكرة عامة عن بعض وحدات المعالجة ووضعها في المحطات .

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 وإجتناب 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



العمليات والمعالجات الموحدة فى محطات معالجة الفضلات السائلة

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: الحمأة النشطة ومرشحات النضيض وبرك موازنة الحمأة .

يساعد العلم بمكونات وخواص الحمأة والفضلات السائلة فى تصميم الوحدات الخاصة بالمعالجة مما ينجم عنه وضع تصميم جيد وهادف ومفيد للبيئة المحلية وملائم للتقانة المحلية والمناحى 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 والحمأة 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 لوحدات 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، الشئ الذى قد يؤدى الى مخاطر. كما وإن الرواسب النظيفة يمكن استخدامها لأعمال الردميات. أما بالنسبة للرواسب الملوثة فلابد من استخدام الردم الصحى أو الحرق الصحى فى بقعة مناسبة وبشروط ملائمة .

إن نوع الرواسب غير العضوية يختلف طبقا لحالة نظام التصريف أو المجارير وكمية مياه الأمطار ونسبة السوائل الصناعية. ونسبة لأن الأوساخ تحتوى على العديد من مقاسات الرواسب فلابد من تحديد أصغر حبيبة يمكن إزالتها بوحدة الإزالة هذه. وقد أختيرت الحبيبة التى لها سرعة ترسيب حوالى ٠,٠٣ متر/ثانية كمقياس. 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 دفق 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 .

$$h/L = 10 \qquad (٣)$$

حيث :

h = إرتفاع حوض ترسيب المواد الغير عضوية (م) .

L = طول حوض ترسيب المواد الغير عضوية (م) .

وعمليا تؤخذ نسب أكبر وذلك لوجود الإندفاق المضطرب فى فتحة الدخول أو الخروج وربما وصلت نسبة العمق الى الطول إلى تلك الموضحة فى المعادلة ٤ .

$$h/L = 25 \qquad (٤)$$

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 .

$$v = (4g(\rho_s - \rho)*d/3C_D)^{0.5} \qquad (٥)$$

حيث :

v = سرعة الترسيب (م/ث)

g = عجلة الجاذبية الأرضية (م/ث^2)

ρ_s = كثافة الحبيبات الصلبة (كجم/م^3)

ρ = كثافة السائل (كجم/م^3)

d – قطر الحبيبة (م)

C_D – معامل الجذب (لا بعدى)

$$C_D = (24/Re) + (3/ Re^{0.5}) + 0.34 \quad (٦)$$

Re – رقم رينولد (لا بعدى)

وداخل جهاز إزالة الرواسب غير العضوية فإن الحبيبات يتم جرفها بسرعة جرف أفقية {٩} يمكن يجادها من المعادلة ٧ .

$$v_s = [8b(s.g - 1)*g*d/a]^{0.5} \quad (٧)$$

حيث :

v_s – سرعة الدفق الأفقية (سرعة الجرف) (م/ث)

b – ثابت (لا بعدى)، تتراوح قيمته {٩} بين ٠,٠٤ – ٠,٠٦ .

a – ثابت دارسى ويسباش (لا بعدى)، وعادة يكون {٩} بين ٠,٠٢ إلى ٠,٠٠٣ .

g – عجلة الجاذبية الأرضية (م/ث^2)

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 .
- لهـا 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 فيتـم حرقهـا فـى الموقـع، أمـا تلـك الأوسـاخ الملوثـة فيمكـن غسـلها ومـن ثـم اسـتخدامها فـى الـردم الصحـى، أو يتـم تصـريفهـا فـى المسطحات المائية. والأوساخ غير المنظفة ربما احتوت على ٥٠ بالمائة مواد عضوية، ممـا يؤهلهـا لإن 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}

المنشط	القيمة
زمن المكث (ثانية)	٦٠
السرعة التصميمية الأفقية (سم/ث)	٣٠
القطر المكافئ للحبيبة المزالة (ملم)	٠,٢
الكثافة النوعية للحبيبات المترسبة	٢,٦٥
طول المجرى (م)	١٨×أقصى ارتفاع

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 أواختيارية .
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 ← 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 طبقا للتفاعل المذكور فى المعادلة أدناه :

مواد عضوية (مكونة من كربون، هايدروجين، أكسجين، نتروجين، كبريت) ← بكتريا الأحماض تخليق خلايا جديدة + طاقة + أحماض عضوية + كحول (٩)

ويقلل إنتاج الأحماض العضوية من الرقم الهايدروجينى، مما يقود إلى فناء بكتريا الأحماض المكونة لها، وتحل محلها بكتريا الميثان. وهذه الأخيرة تقوم بتكوين خلايا جديدة كما مبين فى المعادلة التالية :

الكحول بكتريا الميثان تخليق خلايا جديدة + نواتج ثانوية (ميثان، كبريتيد الهايدروجين، ثانى أكسيد الكربون، ماء) (١٠)

تقوم بعض أنواع البكتريا بتحويل المواد غير العضوية وأكسدة الأمونيا. إذ تقوم البكتريا المنترتة Nitrosomonas بتحويل الأمونيا إلى نتريت. ومن ثم تقوم البكتريا المنترتة Nitrobacter بأكسدة النتريت المتكون إلى نترات كما ممثل فى المعادلات أدناه :

$$2NH_4 + 3O_2 \xrightarrow{\text{Nitrosomonas}} 2NO^-_2 + 2H_2O + 4H^+$$

$$2NO^-_2 + O_2 \xrightarrow{\text{Nitrobacter}} 2NO^-_3$$

٦ – ٥ طرق وتقانة المعالجة الثانوية

تنقسم الطرق المستخدمة فى المعالجة الثانوية بصورة عامة إلى :

أ) طرق النمو المرتبط: Attached Growth

يحتوى النمو المرتبط على مجموعة من أنماط المعالجة الثانوية. وفى 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 لتلامس المواد العضوية الكائنات الحية الدقيقة. وأمثلة لطرق النمو المرتبط مرشح النضيض والأقراص الملامسة الدوارة Rotating Biological Contactors .

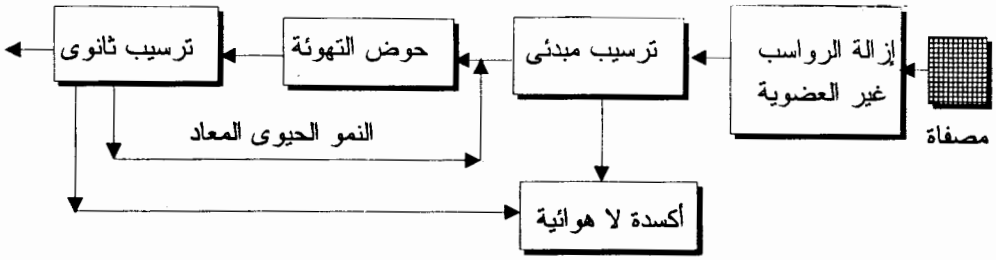
ب) طرق النمو العالق: Suspended Growth

وفى 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 الحمأة النشطة وأخدود الأكسدة وبرك التهوية والهضم الهوائى .

٦ – ٦ طرق المعالجة بالنمو العالق

الحمأة النشطة: Activated Sludge

طريقة الحمأة النشطة إما مستمرة أو شبه مستمرة، ويتم فيها المعالجة الحيوية الهوائية لمياه المجارى. كما ويتم فى هذه الطريقة الأكسدة للمواد الكربوهيدراتية وعملية النترتة. وتعتمد هذه الطريقة على تهوية الفضلات السائلة بتلبد النمو الحيوى ومن ثم يتم فصل المياه المعالجة من النمو الحيوى. وتمثل بعض الكائنات الحية المتكاثرة فى الحمأة النشطة فضلات تخرج مع التصريف المنبثق من الحوض، وبعضها الآخر يستمر داخل النظام. (أنظر شكل ٣) .



شكل ٣

وحدة الحمأة النشطة فى محطة التنقية {١}

تعمل الكائنات الحية الدقيقة فى الحمأة النشطة على الفضلات السائلة فى حوض التهوئة فى وجود الأكسجين. وتقوم هذه الكائنات بإمتزاز المواد الصلبة العالقة والغروية (ولحد ما المواد العضوية الذائبة) عن سطح متلبدات الحمأة النشطة. وفى ذات الوقت فإن النمو الحيوى الكبير يعمل على تحويل جزء من المواد العضوية الموجودة فى الفضلات إلى غذاء احتياطى داخل خلايا الميكروبات. وهذه الظاهرة مسؤولة عن الإزالة الإبتدائية السريعة للحاجة الحيا-كيمائية للأكسجين فى الحمأة النشطة. وتنمو الكائنات الحية الهوائية وتزداد داخل حوض التهوئة مما يكون الكتلة الحيوية Biomass أو ما يعرف بالحمأة النشطة . وكل من الحمأة النشطة فى حوض التهوئة والفضلات السائلة تسمى السائل المختلط{٢}. ويبين شكل (٣) وحدة الحمأة النشطة فى محطة المعالجة .

ويتم بفضل هذه الطريقة التخلص من الفضلات الآتية :-

١- المركبات العضوية الذائبة أو الغروانية القابلة للتفتيت .

٢- المواد الصلبة العالقة وغير المترسبة .

٣- بعض المركبات والمكونات الأخرى التى 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 الحمأة النشطة :

توجد طريقتان أساسيتان لإتمام إضافة الهواء أو الأكسجين لأحواض التهوية .

(أ) التهوية الفقاعيه أو التهوية بالإنتشار Bubble and Diffused Aeration: وتعمل هذه الطريقه 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 فقاقيع هوائية صغيرة. وتقوم الكائنات الحية الدقيقة بإمتصاص الأكسجين من هذه الفقاقيع كما وتعمل هذه الفقاقيع على خلط مكونات حوض التهوية حيث تمنع ترسيب المواد العالقة فى قعر الحوض .

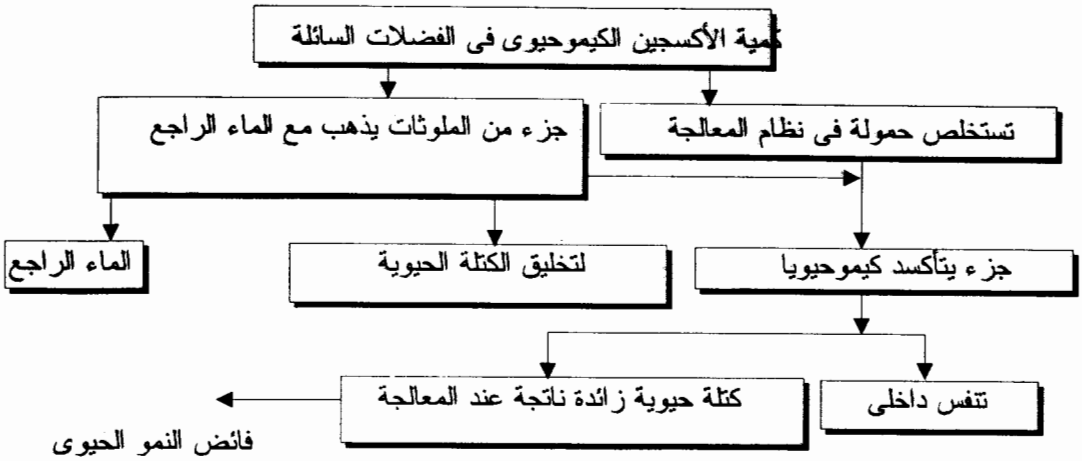
(ب) التهوية السطحية: أما فى أحواض التهوية السطحية والميكانيكية Surface Aeration فتعرض المخلفات السائلة (على شكل صفائح أو شرائح رقيقة) للهواء حيث يتم امتصاص الأكسجين. ويتم تغيير الصفائح المعرضة للهواء تباعا عن طريق فرش دوارة أو آلات خلط .

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 أكسدتة هوائيا بواسطة أجهزة التخلص من الأوساخ. ونسبةلأهمية 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 الإغتزاء (Heterotrophic) . وتستخدم هذه الكائنات (فى وجود الأكسجين) المواد العضوية الموجودة بالفضلات السائلة كمصدر لعنصر الكربون - اللازم لتخليق الخلايا - وكمصدر 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 .

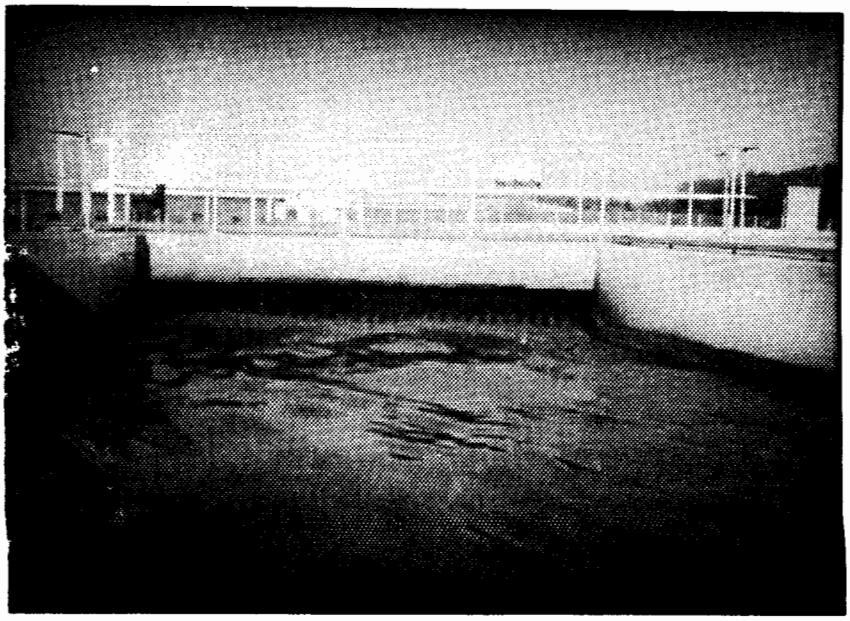
ولمستعمرات البكتريا الهوائية المقدرة على تحويل نتروجين الأمونيا لنتريت ومن ثم لنترات النتروجين. كما وأن النترتة تحدث أيضا بفعل كائنات دقيقة أخرى ذاتى التغذى (Autotrophic). وعند ملامسة الكائنات الحية الدقيقة للفضلات السائلة وفى وجود الأكسجين فإنها تقوم بإمتصاص المواد العالقة والغروانية (وبدرجة أقل المواد العضوية الذائبة). وفى ذات الفترة فإن النشاط الحيوى يقوم بتحويل بعض المواد العضوية فى الفضلات السائلة لغذاء احتياطى داخل خلايا الكائنات الحية الدقيقة. وبهذه الطريقة يتم النقصان 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 ٥, ٢ ٪، غير



شكل ٤

ملخص عام لطريقة الحمأة النشطة



التهوية فى حوض الحمأة النشطة

أنه عمليا فإن إحتياجات التخليق الحيوى تتشد نسبة كربون إلى نتروجين بين ٥ إلى ٦. وهذا الوضع يجعل من الأوساخ مصدر نتروجين للمعالجة البيولوجية، خاصة لتلك الفضلات التى ينعدم أو يقل فيها وجود النتروجين. 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 التكهن 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 الهايدروجينى ودرجة الحرارة ووجود الكائنات الأخرى المنافسة). وفى بداية مرحلة المعالجة تزدهر السوطيات (Flagellated) والأوليات الأميبية، والتى لاتلبث 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 .

$$u = u_{max}/(k_s + S^*) \qquad (١١)$$

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 (ملجرام/اللتر) 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) دفق 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 الهيدروليكى طويل ليزيد من فعالية النظام من الحمولة. ويفضل أن يكون زمن المكث بين ٤ الى 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 والذى يمكن إيجاده من المعادلات ١٢ و١٣ .

الغذاء/الكائنات = معدل تحميل الحمأة

= كتلـــــة الحاجة الحيا-كيميائية للأكسجين الداخل إلى حوض التهوئة (كجم/يوم)/المواد الصلبة العالقة فى السائل المختلط (١٢)

$$F/M = SLR = W/(MLSS*V) = Li/(MLSS*t) \quad (١٣)$$

حيث :

F = الغذاء

M = كتلة الكائنات الحية الدقيقة

SLR = معدل تحميل الحمأة (على اليوم) .

W = تحميل حاجة الحيا-كيميائية للأكسجين (كجم/يوم)

$= L_i*Q$ (١٤)

Q = مقدار دفق الفضلات السائلة (م^3/ث) .

L_i = حاجة الحيا-كيميائية للأكسجين الداخل إلى حوض التهوئة (ملجم/لتر) .

MLSS = تركيز المواد الصلبة العالقة فى السائل المختلط (ملجم/لتر).

V = حجم حوض التهوية (م^3).

إن تشغيل حوض التهوئة 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 للمتلبدات الحيوية. غير أن التشغيل لدرجات قليلة من نسبة الغذاء إلى الكائنات ينتج عنها كفاءة عالية لإزالة المواد العضوية، وترسيب جيد للحمأة النشطة، وكفاءة عالية لإزالة الحاجة الحيا-كيميائية للأكسجين .

كما ويمكن حساب معدل التحميل الحجمى للمواد العضوية Volumetric Organic Loading Rate, VOL كما موضح فى المعادلة ١٥.

$$VOL = Q*L_i/V \quad (١٥)$$

حيث :

VOL = معدل التحميل الحجمى 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	٠,٠٥ - ٠,٢
تهوية مدرجة Step	٠,٢ - ٠,٥

مثال (١)

أدخلت حمأة مترسبة ذات معدل دفق يومى يعادل ٤٠٠٠ متر مكعب الى حوض حمأة نشطة. يتكون جهاز التهوية من حوضين أبعاد كل منهما ٤×٥×٣٠ متر، والحاجة حيا-كيميائية للأكسجين للتصريف الداخل 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 = ٤٠٠٠ م^٣/يوم ، L_i = ١٩٠ ملجم/لتر ، V = ٤×٥×٣٠ م^٣ لكل حوض ، MLSS = ٢٢٠٠ ملجم/لتر، n = ٢ حوض .

٢ - أوجد حجم حوض التهوية الكلى = حجم كل حوض× عدد الأحواض

= ٤×٥×٣٠×٢ = ١٢٠٠ م^٣ .

٣ - أوجد زمن المكث = t = V ÷ Q = ١٢٠٠/٤٠٠٠ = ٠,٣ يوم = ٧,٢ ساعة .

٤ - أوجد معدل التحميل الحجمى للمواد العضوية = VOL = Q*L_i ÷ V

= (٤٠٠٠ (م^٣/يوم) *١٩٠*١٠$^{-٣}$ (كجم/م^٣))/١٢٠٠ م^٣ = ٠,٦٣ . كجمL_i /م^٣*يوم .

٥- أوجد معدل تحميل الحمأة SLR = Q*L_i/MLSS*V

= ١٩٠*(١٠*١٠$^{-٣}$)/٤٠٠٠/٢٢٠٠*١٠$^{-٣}$*١٢٠٠

= ٠,٢٩ كجم L_i/كجم MLSS*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 فى 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 المعادة له وكمية المواد الصلبة فى التصريف الخارجى. وتبين المعادلة ١٦ طريقة حساب عمر الحمأة .

عمر الحمأة = [كتلة المواد الصلبة فى الحمأة فى حوض التهوية (كجم)] / [كتلة المواد الصلبة الخارجة(كجم/يوم)]

$$SA = V*MLSS/q_w*SS \qquad (١٦)$$

حيث :

SA = عمر الحمأة (يوم) .

V = حجم حوض التهوية ($م^3$) .

q_w = دفق الحمأة الخارج ($م^3$/يوم) .

SS = تركيز المواد الصلبة العالقة فى الحمأة الخارجة (ملجم/لتر) .

يبين جدول (٣) عمر الحمأة لعدد من طرق الحمأة النشطة.

جدول (٣)
عمر الحمأة لعدد من طرق الحمأة النشطة {٣، ٥}

الطريقة	عمر الحمأة (يوم)
موازنة ملامسة	٥ – ١٥
حمأة نشطة تقليدية	٥ – ١٥
تهوية ممتدة	٢٠ – ٣٠
تهوية عالية المعدل	٥ – ١٠
تهوية معدلة	٠,٢ – ٠,٥
تهوية مدرجة	٥ – ١٥

مثال (٢)

أوجد عمر الحمأة لنظام الحمأة النشطة المذكور فى المثال أعلاه ، علما بأن دفق الحمأة اليومى الخارج يعادل ٣٣٠ كجم .

الحل :

المعطيات: Q = ٤٠٠٠ م^٣/يوم، L_i = ١٩٠ ملجم/لتر، V = ١٢٠٠م^٣، MLSS = ٢٢٠٠ ملجم/لتر، $SS*q_w$ = ٣٣٠ كجم/يوم .

٢- استخدم معادلة عمر الحمأة : $SA = V*MLSS/q_w*SS$

= ١٢٠٠*٢٢٠٠*١٠$^{-٣}$/٣٣٠ = ٨ يوم

٧) المزج والدفق المضطرب: ويحدث المزج والدفق المضطرب داخل حوض التهوية بواسطة حركة فقاقيع الهواء الناتجة من جراء الهواء المضغوط عبر طبقات متعددة، أوبتشغيل أجهزة ميكانيكية مختلفة. ومما يجدر ذكره أن الدفق 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-كيمياتية .

٩) تأثير درجة تركيز الفضلات السائلة: فى حالة تخفيف الفضلات السائلة فإن درجة تركيز المواد العضوية العالى فى مياه المجارى 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 .

$$SVI = V_s*1000/MLSS \qquad (١٧)$$

حيث :

SVI = معامل حجم الحمأة (مللتر/جم) .

V_s = حجم الحمأة المترسبة فى ١٠٠٠ مللتر من أسطوانة مدرجة فى٣٠ دقيقة .

1000 = ملجم/جرام .

MLSS = تركيز المواد الصلبة العالقة فى السائل المختلط (ملجم/لتر) .

يبين جدول (٤) صورة عامة للحمأة مقسمة علىحسب معدل حجم الحمأة .

جدول (٤)
تقسيم الحمأة علىحسب معدل حجم الحمأة {٣، ٥، ٦}

القيمة (مللتر/جم)	المنشط
أقل من ٤٠	خواص ترسيب ممتازة
٤٠ – ٧٥	خواص ترسيب جيدة
٧٦ – ١٢٠	خواص ترسيب حسنة
١٢١ – ٢٠٠	خواص ترسيب ضعيفة
أقل من ٢٠٠	حمأة خفيفة Bulking

ومما يجدر ذكره أن الحمأة الخفيفة تنتج من وجود بكتريا تسمى سفاروتيلس ناتانس Sphaerotilus natans وهذه البكتريا تكون موجودة فى النباتات مع الفضلات السائلة السهلة التحلل، والتى تقل فيها كمية النتروجين، ويقل فيها تركيز الأكسجين فى السائل المختلط. وهذه البكتريا تتكاثر بصورة كبيرة فى حوض التهوية، وتجعل الحمأة خفيفة ومخفوقة fluffy وهذه الحالة تبطئ من درجة الترسيب، وتقلل من شفافية الماء الخارج من حوض الترسيب الثانوى. وتكمن المشكلة فى أن الحمأة تخرج مع التصريف الخارج. ويمكن التحكم فى الحمأة الخفيفة أو تقليقها: بالتحكم الجيد فى تركيز المواد الصلبة العالقة فى السائل المختلط، أو تعديل نسبة الغذاء إلى الكائنات بتنظيم دفق الحمأة المعادة من وحدة الترسيب النهائى، أو بتنظيم التهوية فى الحوض، أو بالتنظيم والتحكم فى الرقم الهايدروجينى للسائل المختلط .

مثال (٣)

فىحوض تهوية مدرجة يساوى تركيز المواد الصلبة العالقة فى السائل المختلط ٢٥٠٠ ملجم/لتر. أخذت عينة من هذه المياه لتحديد معامل حجم الحمأة ووجد أن الحمأة المترسبة بعد نصف ساعة فى أسطوانة مدرجة حجمها لتر هو ٢٥٠ مللتر. أوجد معامل حجم الحمأة لهذه العينة .

الحل :

١- المعطيات: V_S = ٢٥٠ مللتر، MLSS = ٢٥٠٠ ملجم/لتر

٢- أوجد معدل حجم الحمأة من المعادلة :

$$SVI = MLSS/1000*V_S$$

معدل حجم الحمأة = ٢٥٠٠/١٠٠٠*٢٥٠ = ١٠٠ 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):

معامـــل كثافـــــة الحمأة هو عبارة عن مقلوب معامل حجم الحمأة مضروب فى ١٠٠ كما مبين فى المعادلة ١٨ .

$$SDI = 100/SVI \qquad (١٨)$$

حيث :

SDI = معامل كثافة الحمأة (جرام/مللتر) .

SVI = معامل حجم الحمأة (مللتر/جرام) .

ويتراوح معامل كثافة الحمأة ما بين ٢ لحمأة جيدة إلى ٠,٣ لحمأة ضعيفة مما يعنى أن :

$$٢ > SDI > ٠,٣ \qquad (١٩)$$

مثال (٤)

أوجد معامل كثافة الحمأة للعينة المذكورة فى المثال (٣) أعلاه .

الحل :

١- المعطيات: V_S = ٢٥٠ مللتر، MLSS = ٢٥٠٠ ملجم/لتر

٢- أوجد معامل كثافة الحمأة

SDI = ١٠٠ ÷ SVI = ١٠٠/١٠٠ = ١

ومن الأشياء التى قد تحد وتقيد من استعمال طريقة الحمأة النشطة على سبيل المثال لا الحصر :

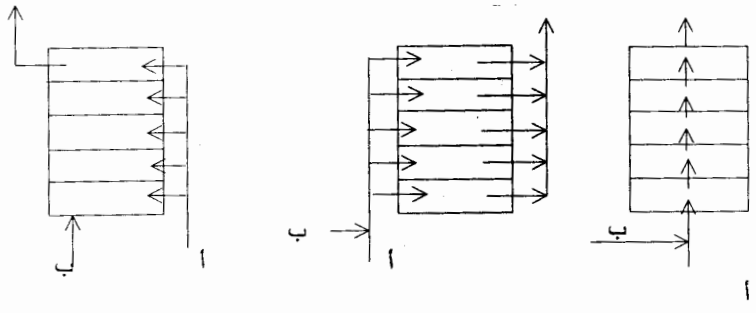
- تحديد حاجة حيا-كيميانية للأكسجين .
- ضعف انتشار الكتلة العضوية .
- تحتاج لزمن للتهوية يتراوح بين ٤ إلى ٨ ساعات .
- لا تعمل المحطة بكفاءة فى حالة وجود تغيير كبير فى حجم وتركيز المواد العضوية أو وجود سموم .
- تعقيد طريقة التشغيل .
- تكلفة التشغيل .
- إستخدام الطاقة بآلات الضغط .
- صيانة وتصليح أجهزة الإنتشار .
- التأثير البيئى (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 الحمأة النشطة {٣، ٥، ٦، ٧}

المنشط	المعدل
التحميل الحجمى	٥٠٠ – ٧٠٠ جم L_i /م^3/يوم
زمن المكث للتهوية	٤ – ٨ ساعة (طبقا لمتوسط الدفق اليومى)
المواد الصلبة العالقة المذابة	١٥٠٠ – ٣٠٠٠ ملجم/لتر
نسبة المواد الغذائية الى الكائنات الحية الدقيقة	٠,٢٥ – ٠,٥٠
زمن مكث الأوساخ	٥ – ١٠ يوم
عمر الأوساخ	٣ – ٤ يوم
الرقم الهايدروجينى الأمثل لنمو البكتريا الهوائية	٦,٥ – ٧,٥
كفاءة إزالة الحاجة الحيا-كيميائية للأكسجين	٨٥ – ٩٥ ٪
إرتفاع حوض التهوية	٣ متر

ولتصميم جهاز الحمأة النشطة طبقا للتحميل الداخل يمكن إتباع الطرق الموضحة فى الشكل (٥) .



دفق كتلى　　دفق خلط تام　　تحميل مرحلى

(أ) الفضلات السائلة
(ب) الحمأة النشطة المعادة

شكل ٥

طرق تصميم جهاز الحمأة النشطة

٦ – ٧ طرق المعالجة بالنمو المرتبط أو المتصل

٦ – ٧ –١ مرشح النضيض Trickling Filter (أنظر شكل ٦)

تستخدم نظم النمو المرتبط فى تلك المفاعلات التى يؤتى فيها بالفضلات السائلة لتلامس الكائنات الحية الدقيقة المرتبطة بأسطح الوسط الترشيحى للمفاعلات. ومرشح النضيض نوع من المعالجة بالنمو المرتبط. ويتكون من طبقة محشوة بوسط ترشيحى مكون غالبا من الصخور أو اللدائن. ويمكن تقسيم مرشحات النضيض الى نوعين بناء على شكل المرشح أو درجة التحميل العضوي به. فمثلا بالنسبه للشكل يوجد النوع الدائري للمرشحات صغيرة السطح والنوع المستطيل لتلك كبيرة السطح .

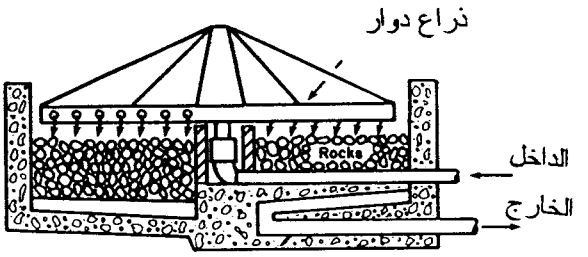
ويتكون المرشح من ثلاثة أجزاء رئيسيه: نظام التفريغ التحتي، وجسم المادة المرشحة، وموزع الفضلات على سطح الوسط الترشيحى (شكل ٦). وعادة هنالك فتحات على الجوانب، يتم عن طريقها إدخال الهواء للوسط الترشيحى. ويتم في المرشح التخلص الحيوي من مكونات الحمأة بفعل الكائنات الحيه الدقيقه الموجوده في الوسط الترشيحي. ويتم إمتصاص المواد العضويه 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 الترشيحى (شكل ٧) .

ويتكون مرشح النضيض من طبقة ذات مسامية عالية ترتبط وتلتصق بها الكائنات الحية الدقيقة، وتنساب عبرها الفضلات السائلة المراد معالجتها. ومن الأفضل توخى إختيار المواد المكونة للوسط الترشيحى 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 .

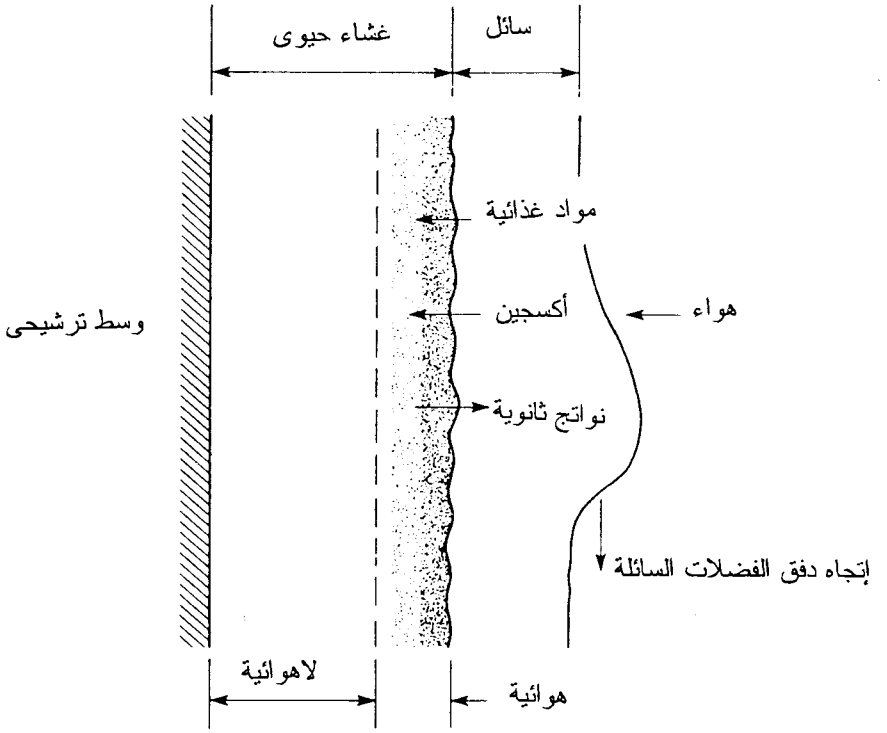
ويتم إنشاء وتشييد المرشح مع وضع نظام تصريف تحتى مناسب. يقوم نظام التصريف هذا بجمع المياه المعالجة والمواد العضوية الصلبة التى تلتصق بالوسط الترشيحى. كما ويعمل نظام التصريف كمنطقة تجميع ، ويسمح بمرور الهواء خلاله نسبة لكبر المسامية ، وأيضا يعمل كدعامة للوسط الترشيحى الكائن فوقه .

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 الحيوى يتم تحطيم المواد العضوية الممتصة وذلك قبل أن تصل الى طبقة الكائنات الحية الدقيقة القريبة من أو الملتصقة بالوسط الترشيحى. 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 الترشيحى. وهنيهتها فإن السائل يقوم بتنظيف طبقة الوحل



شكل (٦) رسم كروكى لمرشح النضيض [٤]



شكل (٧) رسم توضيحى للنظم الحيوية داخل مرشح النضيض {٨}

من على الوسط الترشيحى لبداية مرحلة جديدة ، وتسمى هذه العملية الإنسلاخ Sloughing. ويعتمد الإنسلاخ على عوامل عدة منها: التحميل العضوى والتحميل الهايدروليكى فى المرشح. ويؤثر التحميل العضوى على معدل التفاعلات الحيوية، أما التحميل الهايدروليكى فيؤثر على سرعة القص .

وطبقا للتحميلين (العضوى والهايدلروليكى) فيمكن تقسيم مرشحات النضيض الى قسمين يضمان 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 مساوئ المرشح ذو المعدل المنخفض فتشمل: الحجم الكبير المطوب للمرشح، والإحتياج لحوض للجرعه Dosing tank ، وتزداد به مشاكل الروائح الكريهة وتوالد الذباب .

تتم إعادة جزء من التصريف الخارج من مرشح النضيض 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 هايدروليكى منتظم من خلال المرشح. ويحسب معدل الحمل الهايروليكى (م^3/م^2/يوم) كما موضح فى المعادلة ٢٠ .

معدل الحمل الهايدروليكى = حجم الدفق/ المساحة (٢٠)

- ضمان دوران ذراع التوزيع حتى خلال فترات الدفق القليل .
- المحافظة على حمل عضوى منتظم. ويوجد الحمل العضوى (كجم/م^3/يوم) كما مبين فى المعادلة ٢١.

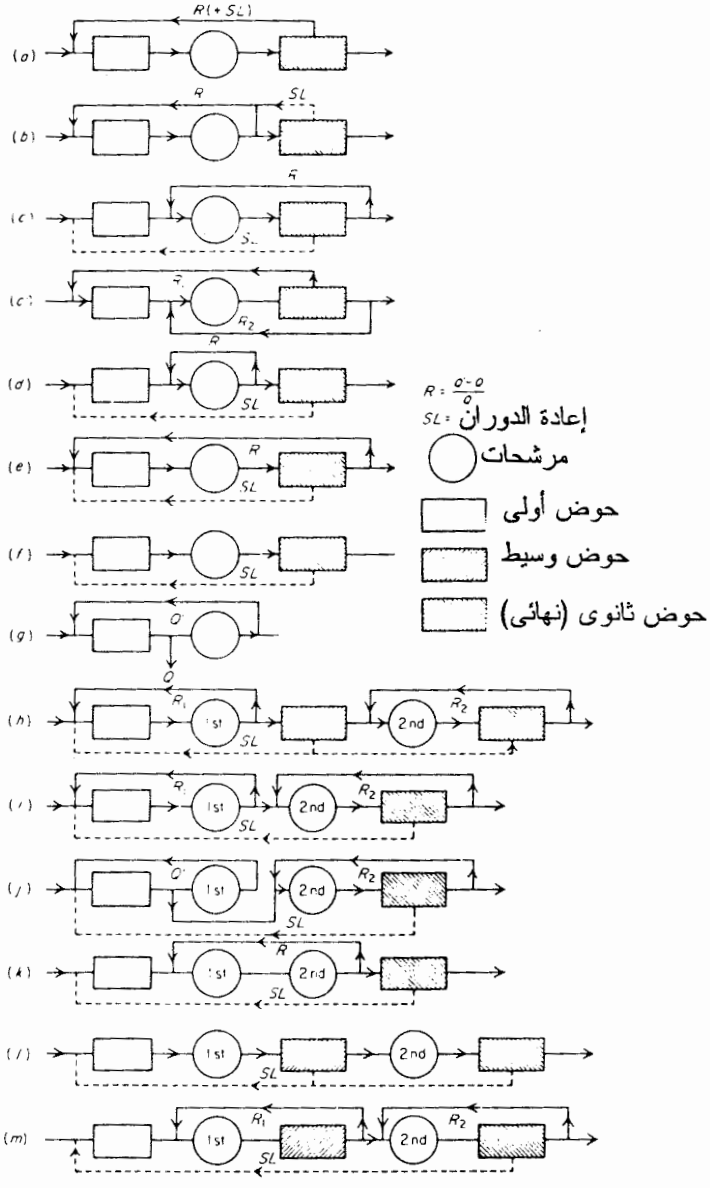
الحمل العضوى = وزن المواد العضوية المستهلكة/حجم المرشح (٢١)

- يخفف الدفق الداخل للمرشح وذلك بغية إنتاج نوع جيد من التصريف الخارج .
- يرقق طبقة النمو الحيوى .
- تحسين كفاءة إزالة الملوثات من وحدة مرشح النضيض .

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. وهنالك أنماط وأوضاع عديدة لإعادة الدوران فى محطات مرشحات النضيض. ويبين شكل (٨) الأنماط المستخدمة لمرشح وحيد المرحلة وآخر ذا مرحلتين .

كفاءة مرشح النضيض لإزالة الحاجة حيا-كيميائية للأكسجين :

إن كفاءة مرشح النضيض لإزالة الحاجة حيا-كيميائية للأكسجين تعتمد على :



شكل (٨) مخطط لمحطات مرشح نضيض وحيد المرحلة وذا المرحلتين {٩}

• النماذج الحسابية : وفى الأنموذج الحسابى يفترض وجود طبقة حيوية منتظمة وحمل منتظم التوزيع خلال الوسط الترشيحى . وتعتبر هذه النماذج غير عملية لتصميم مرشح النضيض 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 إفترضت 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 النضيض جهاز ترسيب ثانوىأو جهاز مروق Elutration tank .

٤ – تعالج مرشحات النضيض فضلات سائلة منزلية مترسبة وعلى درجة حرارة ٢٠° م . وأى درجة حرارة مغايرة لهذه الدرجة يتم تصحيحها (أنظر 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 نضيض وحيد المرحلة فيمكن كتابة معادلة صيغة مجلس الأبحاث القومى كما موضح فى المعادلة ٢٢ أدناه .

$$E_1 = (L_i - L_e)/L_i = 100/[1 + 0.44(W_1/V_1F_1)^{0.5}] \qquad (٢٢)$$

حيث :

E_1 = كفاءة مرشح النضيض وحيد المرحلة (٪) .

L_i = حاجة حيا-كيميائية للأكسجين الداخل للمرشح (ملجم/لتر) .

L_e = حاجة حيا-كيميائية للأكسجين الخارج من المرشح(ملجم/لتر) .

$W_1 = L_i*Q$ = تحميل الحاجة الحيا-كيميائية للأكسجين (كجم/يوم) .

V_1 = حجم مرشح النضيض وحيد المرحلة (م^3) .

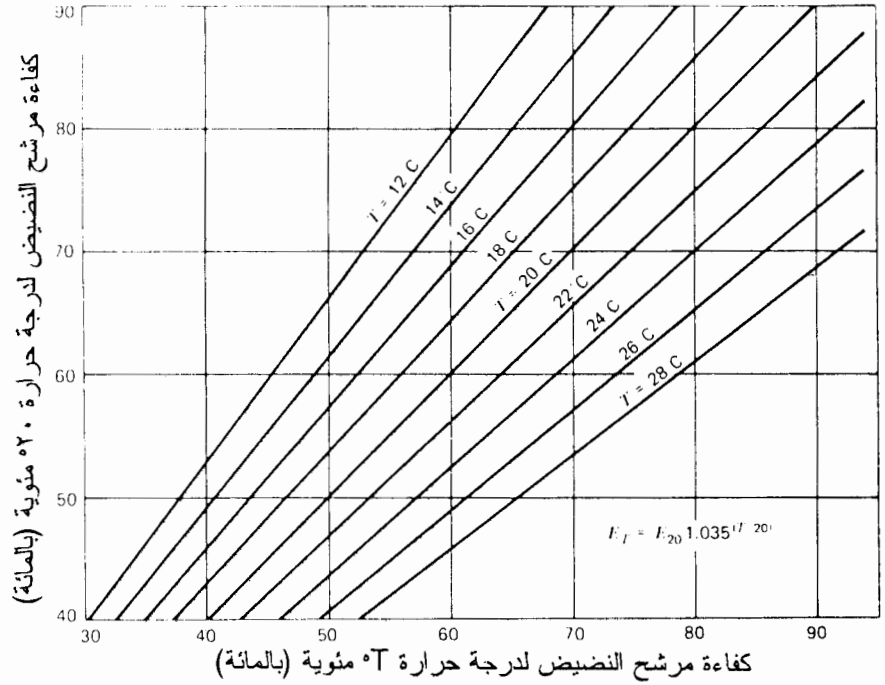
F_1 = ثابت إعادة دوران المرشح وحيد المرحلة (لا بعدى) .

$$F_1 = (1 + r_1)/(1 + 0.1*r_1)^2 \qquad (٢٣)$$

$$r = Q_r/Q \qquad (٢٤)$$

حيث :

r = نسبة إعادة الدوران (لا بعدى) .



شكل (٩) مخطط لتصليح إزالة الحاجة الحيا-كيميائية للأكسجين بإستخدام معادلة مجلس الأبحاث القومى لدرجة حرارة ٢٠° مئوية لكفاءات أخرى لدرجات حرارة بين ١٢ الى ٢٨° مئوية {١٣}

Q_r = الدفق المعاد دورانه للمرشح (م^3/ث) .

Q = معدل دفق الفضلات السائلة للمرشح (م^3/ث) .

أما بالنسبة لمرشح النضيض ذى المرحلتين فتقرأ معادلة الكفاءة كما موضح فى المعادلة ٢٥ .

$$E_2 = [(L_i - L_e)/L_i]_2 = 100/[(1 + \{0.44(W_2/V_2F_2)^{0.5}/(1 - E_1)\})] \quad (٢٥)$$

حيث :

E_2 = كفاءة مرشح النضيض للمرحلة الثانية (٪) .

$(L_i)_2$ = حاجة حيا-كيميائية للأكسجين الداخل للمرحلة الثانية (ملجم/لتر) .

$(L_e)_2$ = حاجة حيا-كيميائية للأكسجين الخارج من المرحلة الثانية (ملجم/لتر) .

$W_2 = (L_i*Q)_2$ = تحميل حاجة حيا-كيميائية للأكسجين للمرحلة الثانية (كجم/يوم) .

V_2 = حجم مرشح النضيض للمرحلة الثانية (م^3) .

F_2 = ثابت إعادة دوران المرشح للمرحلة الثانية (لا بعدى) .

$$F_2 = (1 + r_2)/(1 + 0.1*r_2)^2 \quad (٢٦)$$

E_1 = كفاءة مرشح النضيض 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 .

$$L_e = [(L_i + r*L_e)e^{-kh}]/(1 + r) \quad (٢٧)$$

حيث :

L_e = حاجة حيا-كيميائية للأكسجين الخارج (ملجم/لتر) .

L_i = حاجة حيا-كيميائية للأكسجين الداخل (ملجم/لتر) .

r = نسبة إعادة الدوران = الدفق المعاد/الدفق الكلى .

k = حد ثابت .

= ٠,٤٩ لمرشح النضيض ذى المعدل العالى .

= ٠,٥٧ لمرشح النضيض ذى المعدل المنخفض .

h = إرتفاع مرشح النضيض (م) .

(ج) صيغة رانكن Rankin Formula:

تستخدم صيغة رانكن فى تصميم مرشحات النضيض وحيدة المرحلة كما مبين فى المعادلة ٢٨ .

$$L_e = L_i/(3 + 2r) \quad (٢٨)$$

حيث :

L_e ـ حاجة حيا-كيميائية للأكسجين الخارج من مرشح النضيض (ملجم/لتر) .

L_i = حاجة حيا-كيميائية للأكسجين الداخل الى مرشح النضيض (ملجم/لتر) .

r = نسبة إعادة الدوران .

تطبق صيغة رانكن هذه لكل محطات المعالجة الموجود بها ترسيب إبتدائى ، ومرشح نضيض ذى معدل عادى ، وترسيب ثانوى . هذا عندما يكون تحميل الحاجة الحيا-كيميائية للأكسجين لا تتجاوز ٠,٧ كجم/م^3/يوم ، وعندما يأتى تطبيق إعادة الدوران بمعدل جرعة فى حدود ٩٣ الى ٢٤٤×١٠ ^{3} م^3/هكتار/يوم {١٠} .

(د) صيغة رمبف Rumpf Formula:

وتستخدم صيغة رمبف لإيجاد كفاءة مرشح النضيض كما موضح فى المعادلة ٢٩ .

$$E = 93 - (0.017*W/V) \quad (٢٩)$$

حيث :

E = كفاءة مرشح النضيض (٪) .

W = تحميل حاجة حيا-كيميائية للأكسجين فى مرشح النضيض (جم BOD/يوم) .

V = حجم الوسط الترشيحى (م^3) .

هنالك العديد من العوامل التى تؤثر على كفاءة وعمل مرشح النضيض مثل: التحميل العضوى، ومعدل الدفق الهايدروليكى، وخواص الفضلات السائلة، ومعدل إنتشار الغذاء والهواء للنمو الحيوى...الخ .

والكفاءة الكلية لمحطة معالجة بها مرشح نضيض ذى مرحلتين يمكن إيجادها من المعادلة ٣٠ .

$$E_T = 100 - 100*[(1 - E_s)(1 - E_1)(1 - E_2)] \quad (٣٠)$$

حيث :

E_T = الكفاءة الكلية للمحطة (٪) .

E_s = كفاءة حوض الترسيب الإبتدائى 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)

$$E_T = E_{20}(O)^{T-20} \qquad (٣٠)$$

E_T = الكفاءة الكلية عند درجة الحرارة T° م (٪) .

E_{20} = الكفاءة الكلية عند درجة الحرارة ٢٠° م (٪) .

O = ثابت تصحيح الحرارة (عادة يساوى ١,٠٣٥) .

مثال (٥)

تحتوى محطة معالجة على حوض ترسيب إبتدائى ومرشح نضيض 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 النضيض ٧٥٪ ونسبة إعادة الدوران ٤ إلى ١، أوجد قطر مرشح النضيض مستخدما معادلة مجلس الأبحاث القومى .

الحل :

١- المعطيات: E_s = ٣٥٪ ، E = ٧٥٪ ، P = ٥٠٠٠ فرد ، Q = ٤٠٠ لتر/الفرد/اليوم ، L_i لحوض الترسيب = ٢٠٠ ملجم/لتر ، r = ٤ ÷ ١ .

٢- استخدم معادلة مجلس الأبحاث القومى :

• أوجد ثابت إعادة الدوران: $F = (1 + r)/(1 + 0.1*r)^2$ = (١ + ٤) ÷ (١ + ٠,١×٤)^2 = ٢,٥٥

• أوجد دفق الفضلات السائلة :

Q = ٤٠٠×١٠$^{-3}$×٥٠٠٠ = ٢٠٠٠ م^3/يوم .

• أوجد الحاجة الحيا-كيميائية للأكسجين الخارج من حوض الترسيب والداخل إلى مرشح النضيض

$$L_i = (L_e)_s(1 - E_s)$$

L_i = ٢٠٠(١ - ٠,٣٥) = ١٣٠ ملجم/لتر .

• أوجد تحميل الحاجة الحيا-كيميائية للأكسجين الداخل للمرشح

$$W = Q*L_i$$

W = ٢٠٠×١٣٠×١٠$^{-3}$ = ٢٦٠ كجم/يوم .

• عوض فى معادلة مجلس الأبحاث القومى :

$E_1 = 100/[1 + 0.44(W/V_1F_1)^{0.5}]$ = ١٠٠/[١ + ٠,٤٤*(٢٦٠/٢,٥٥*V)^{٠,٥}

ومنها يمكن إيجاد حجم الرشح: V = ١٧٨ م^3

• افترض ارتفاع مرشح النضيض: h = ٣ متر .
• أوجد مساحة سطح مرشح النضيض: A = V ÷ h = ٣/١٧٨ = ٥٩ م٢ .
• أوجد قطر مرشح النضيض: $d = (4A/\ )^{0.5}$ = ٨,٧ م .

يحتاج للمحطات المحتوية على مرشحات النضيض إلى ترسيب إبتدائى وثانوى لإزالة **الجسيمات الكبيرة** من النمو الحيوى المنسلخ من المرشح ومن الدبال. وعند تصميم أجهزة الترسيب الثانوى يمكن أخذ **النقاط** التالية فى الإعتبار :

١- لا يفترض أن يوجد فى الترسيب الثانوى ترسيب تثخين Thickened settling أو **ترسيب معاق** Hindered settling .

٢- تعتمد معايير تصميم الترسيب على مقاس الحبيبات وكثافتها .

٣ - تؤخذ سرعة الدفق بين ٢٥ الى ٣٣ متر/يوم بالنسبة للدفق المتوسط، وتزيد السرعة عن ٥٠ متر/يوم لأقصى دفق .

٤ - يؤخذ معدل تحميل الهدارات فى حدود ١٢٠ الى ٣٧٠ م٣/يوم/متر من طول الهدار عند أقصى دفق .

إن الجدول ٦ يبين بعض المعايير العامة المتخذة لتصميم مرشح النضيض .

جدول (٦)
بعض المعايير المتبعة لتصميم مرشحات النضيض {١، ٣، ٥، ١١، ١٢}

المنشط	المرشح ذو المعدل المنخفض	المرشح ذو المعدل العالى
التحميل الهايدروليكى (م٣/م/يوم)	١ - ٤	١٠ - ٤٠
الحميل العضوى (كجم/م٣/يوم)	٠,٠٨ - ٠,٣٢	٠,٣٢ - ١
إرتفاع المرشح (م)	١,٥ - ٣	١ - ٢
نسبة إعادة الدوران	صفر	١ - ٣، ٢ - ١
الوسط الترشيحى	صخور مكسرة أو خبث	صخور مكسرة أو خبث أو مواد مصنعة
الطاقة المطلوبة (كيلووات/١٠٠٠م٣)	٢ - ٤	٦ - ١٠
ذباب المرشح	كثير	قليل (غالبا تجرف اليرقات)
الإنسلاخ	متقطع	متواصل
فترة الجرعة	أقل من ٥ دقائق (غالبا متقطعة)	أقل من ١٥ ثانية (متواصلة)
النترتة	نترتة كلية	نترتة لتحميل قليل
الكفاءة التشغيلية (نسبة الإزالة)	٧٥ - ٩٠ ٪ BOD	٦٠ - ٨٠ ٪ BOD
	١٠ - ٣٠ ٪ فسفور	١٠ - ٣٠ ٪ فسفور
	٢٠ - ٤٠ ٪ أمونيا	٢٠ - ٣٠ ٪ أمونيا

• افترض ارتفاع مرشح النضيض: h = ٣ متر .
• أوجد مساحة سطح مرشح النضيض: A = V ÷ h = ٣/١٧٨ = ٥٩ م٢ .
• أوجد قطر مرشح النضيض: $d = (4A/\ )^{0.5}$ = ٨,٧ م .

يحتاج للمحطات المحتوية على مرشحات النضيض إلى ترسيب إبتدائى وثانوى لإزالة الجسيمات الكبيرة من النمو الحيوى المنسلخ من المرشح ومن الدبال. وعند تصميم أجهزة الترسيب الثانوى يمكن أخذ النقاط التالية فى الإعتبار :

١- لا يفترض أن يوجد فى الترسيب الثانوى ترسيب تثخين Thickened settling أو ترسيب معاق Hindered settling .

٢- تعتمد معايير تصميم الترسيب على مقاس الحبيبات وكثافتها .

٣ - تؤخذ سرعة الدفق بين ٢٥ الى ٣٣ متر/يوم بالنسبة للدفق المتوسط، وتزيد السرعة عن ٥٠ متر/يوم لأقصى دفق .

٤ - يؤخذ معدل تحميل الهدارات فى حدود ١٢٠ الى ٣٧٠ م٣/يوم/متر من طول الهدار عند أقصى دفق .

إن الجدول ٦ يبين بعض المعايير العامة المتخذة لتصميم مرشح النضيض .

جدول (٦)
بعض المعايير المتبعة لتصميم مرشحات النضيض {١، ٣، ٥، ١١، ١٢}

المنشط	المرشح ذو المعدل المنخفض	المرشح ذو المعدل العالى
التحميل الهايدروليكى (م٣/م/يوم)	١ - ٤	١٠ - ٤٠
الحميل العضوى (كجم/م٣/يوم)	٠,٠٨ - ٠,٣٢	٠,٣٢ - ١
إرتفاع المرشح (م)	١,٥ - ٣	١ - ٢
نسبة إعادة الدوران	صفر	١ - ٣، ٢ - ١
الوسط الترشيحى	صخور مكسرة أو خبث	صخور مكسرة أو خبث أو مواد مصنعة
الطاقة المطلوبة (كيلووات/١٠٠٠م٣)	٢ - ٤	٦ - ١٠
ذباب المرشح	كثير	قليل (غالبا تجرف اليرقات)
الإنسلاخ	متقطع	متواصل
فترة الجرعة	أقل من ٥ دقائق (غالبا متقطعة)	أقل من ١٥ ثانية (متواصلة)
النترتة	نترتة كلية	نترتة لتحميل قليل
الكفاءة التشغيلية (نسبة الإزالة)	٧٥ - ٩٠ ٪ BOD	٦٠ - ٨٠ ٪ BOD
	١٠ - ٣٠ ٪ فسفور	١٠ - ٣٠ ٪ فسفور
	٢٠ - ٤٠ ٪ أمونيا	٢٠ - ٣٠ ٪ أمونيا

المواد الكيميائية المستخدمة	٧٥ – ٩٠ ٪ مواد عالقة	٦٠ – ٨٠ ٪ مواد عالقة
الحدود المقيدة	تتأثر بالطقس ودرجة الحرارة الدنيا ويتولد الذباب والروائح الكريهة، وتقل الكفاءةعند المعالجة للتركيز العاليللمواد العضوية الذائبة	لا توجد تنشأ روائح كريهة عند التشغيل القاصر، تقل الكفاءة عند المعاجة للتركيز العالى للمواد العضوية الذائبة.

ويبين جدول (٧) مقارنة بين مرشحات النضيض وأحواض الحمأة النشطة .

جدول (٧)
مقارنة بين مرشحات النضيض والحمأة النشطة {١}

المزايا	العيوب
مرشحات النضيض	
قلة تكلفة التشغيل نسبيا.	تكلفة مبدئيه عاليه نسبيا.
مناسبة للمخلفات الصناعيه التى يصعب معالجتها وتلك التى تتغيركميتها.	تحتاج لأرض شاسعه.
ناتج متزن.	فاقد ضغط كبير.
غير معقدة.	يكثر توالد الذباب والروائح الكريهة.
	تكثر المواد العالقه في الناتج النهائي.
الحمأة النشطة	
فاقد ضغط قليل	تكلفة التشغيل عالية.
لا تحتاج لمساحات شاسعة من الأرض.	تحتاج لدرجة تحكم عاليه.
مواد عالقه قليلة في الناتج النهائي.	حساسه بالنسبه لتغيرات التحميل.
ليس هنالك ذباب وروائح نتنه.	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 المستعمله في مجال معالجة الفضلات السائله. وتتكون الطريقة من مجموعة من الأقراص المغمورة جزيئا في السائل المراد معالجته. وتتصل هذه الأقراص بواسطة عمود يتصل بدوره بمحرك. وتدور هذه الأقراص عن طريق هذا العمود. وتتكون المادة الحيويه على سطح القرص الدوار بحيث تكون تارة مغمورة في السائل وطورا معرضه للهواء. وغالبا تكون سرعة الدوران في حدود ١ إلى ٣ دورات في الدقيقه. ويشابه هذه النظام من المعالجة نظام

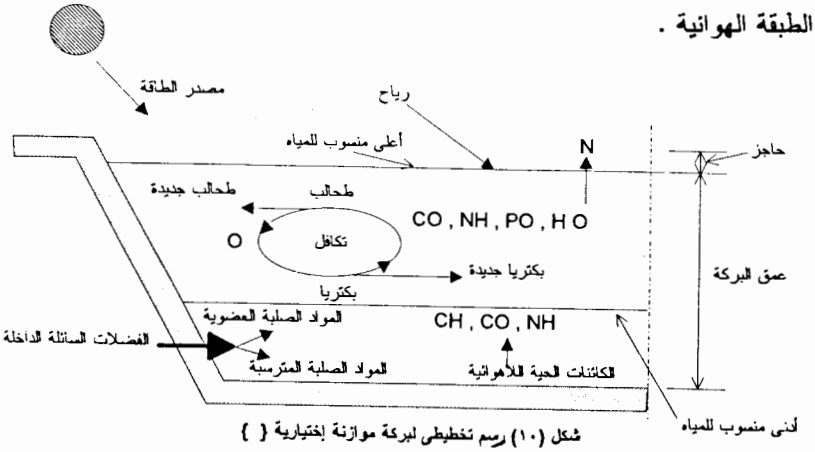
مرشحات النضيض في أنماط عديده. والجدير بالذكر إن هنالك العديد من محطات المعالجة للمخلفات والفضلات السائلة التي تستعمل وتنحو هذا المنحنى. ومن محاسن هذه الطريقه أنها تستعمل مساحة أصغر عند مقارنتها بمرشحات النضيض. وكذالك فأن فاقد الضغط أقل من ذلك في حالة مرشحات النضيض. كما وأن أستهلاكها للطاقه أقل من تلك المستخدمة في النظم المستخدمة الحمأة النشطه.

٦ - ٨ طرق المعالجة بالنمو العالق والنمو المرتبط

برك موازنة الأوساخ: - Waste Stabilization Ponds

برك موازنة الأوساخ عباره عن تجويف كبيرأو خندق ضحل (طبيعى أو صناعى) يتقبل الفضلات والحمأة حيث تعالج حيويا مما يؤدى الى موازنتها وقتل معظم الجراثيم المسببة للأمراض {١} .

يبين شكل (١٠) رسم توضيحى لبركة موازنة حمأة 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 لثبات الحمأة 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 يؤدى الى النفع المشترك أو المتبادل ما بين البكتريا والطحالب أو ما يسمى بعلاقة المنفعة أو العلاقة التكافلية Symbiotic Relationship. وتترسب المواد الصلبة الحيوية والمواد الصلبة الثقيلة (الناتجة فى الطبقة الهوائية) فى طبقة البركة اللاهوائية. وهذه المواد الصلبة تغطى إحتياجات الغذاء اللازم للكائنات 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 .



شكل (١٠) رسم تخطيطى لبركة موازنة إختيارية { }

ويقتضى مراعاة ما يأتى لتصميم هذه البرك :

١- اختيار المكان المناسب: وعند إختيار المكان الملائم لتشييد البركة ينبغى الإنتقاء الأمثل من حيث :

(أ) الإرتفاع: ويحبذ الموضع المنخفض فى ارتفاعه عن شبكات المجارى، وذلك لتسهيل الإنسياب الذاتى للأوساخ والحمأة 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 ويستخدم 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 الداعمة .

(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: كبيرنسبيا 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 .

$$A = L^*Q/L_{max} \qquad (٣٢)$$

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) .

$$L_{max} = 2T - 12 \qquad (٣٣)$$

T = متوسط درجة الماء السنوية (° م) .

وعامة تشيد برك موازنة الحمأة مستطيلة الشكل. ويؤخذ طول البركة ليساوى ضعف أو ثلاثة أضعاف عرضها. أما العمق فيتغير طبقا لنوع الفضلات السائلة، وتحميل الحمأة وعوامل المناخ السائدة بالمنطقة .

أقسام برك موازنة الأوساخ :

ويتم تقسيم برك موازنة الحمأة طبقا 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 الإبتدائى. 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 معالجتها 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 :

$$W_i = W_e + W_c \qquad (٣٤)$$

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 :

$$Q*L_i = Q*L_e + V*k_n*L_e \qquad (٣٥)$$

حيث :

Q = معدل دفق الفضلات السائلة للبركة (م^3/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^3) .

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 الداخل للبركة التالية، وعليه فإن إتزان 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 تنساب 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 - المعطيات : Q = ٨٠ م^3/ساعة ، L_i = ٢٥٠ ملجم/لتر ، L_e = ٣٠ ملجم/لتر ، $(k_n)_{٢٠}$ = ٠,٣ /يوم، h = ١,٥ م، O = ١,٠٥ .

٢ - أوجد ثابت معدل الإزالة للبركة على درجة حرارة ٢٥° م

$(k_n)_{25} = (k_n)_{20}*(O)^{T-20}$ = ٠,٣ * (١,٠٥)$^{٢٥-٢٠}$ = ٠,٣٨ /يوم.

٣ - إستخدم معادلة البركة لإيجاد زمن المكث: $L_e/L_i = 1/(1 + k_n*t)$

٢٥٠/٣٠ = ١/(١ + ٠,٣٨*t)

ومنها: t = ١٩,٣ يوم .

٤ - أوجد حجم البركة :

$V = Q*t$ = ٢٤٠٨٠٠١٩ ,٣ = ٣٧٠٥٦ م^٣.

٥ - أوجد مساحة سطح البركة : $A = V \div h$ = ٣٧٠٥٦ ÷ ٥, ١ = ٢٤٧٠٤ م^٢ .

(ج) برك النضوج (برك هوائية) Maturation (Polishing) Ponds: وتستقبل هذه البرك التصريف المعالج والخارج من البرك الإختيارية، ليمكث بها لمدة تتراوح بين ٥ الى ١٠ أيام بغية تحسين النوع وتلافى 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 فى هذه البرك بالكائنات الحية الدقيقة الهوائية. وإن برك النضوج يمكن أن تأتى بتصريف جيد من النواحى البكتريولوجية. ومعدل موت الجراثيم البرازية فى بركة واحدة يمكن تقديره من المعادلة ٣٨ .

$$N_e/N_i = 1/(1 + k'*t) \qquad (٣٨)$$

حيث :

N_e = عدد البكتريا الخارجة من البركة (عدد/١٠٠ مللتر) .

N_i = عدد البكتريا الداخلة للبركة (عدد/١٠٠ مللتر) .

k' = معدل موت البكتريا (/يوم) .

أما فى حالة مجموعة من البرك فإن معدل موت الجراثيم البرازية فى بركة واحدة يمكن تقديره من المعادلة ٣٩ .

$$N_e/N_i = 1/(1 + k'*t)^n \qquad (٣٩)$$

حيث :

n = عدد برك الموازنة الموصلة على التوالى .

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 فى البركة وحجمها .

الحل :

١- المعطيات: k' = ٠,٧ /يوم ، N_e/N_i = (١٠٠ - ٩٩) ÷ ١٠٠ = ٠,٠١ ، Q = ١٠ م^٣/يوم .

٢- استخدم معادلة معدل موت الجراثيم البرازية لبركة واحدة

$$N_e/N_i = 1/(1 + k'*t)$$

$(t*٠,٧ + ١) \div ١$ = ٠,٠١

ومنها t = ١٤١ يوم .

٣- أوجد حجم البركة

$$V = Q.t = ١٠ \times ١٤١ = ١٤١٠ م^٣$$

ويتم توصيل البرك مع بعضها البعض على التوالى أو على التوازى. وعند توصيلها على التوالى تتم معالجة الحمأة 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 للتى تليها. ومن المحاسن الأخرى للبرك الموصلة على التوالى أنها تستقبل الحمأة التى لم تمر بوحدة ترسيب. وعند توصيل البرك على التوازى 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 المتوازى أن عطل أو عدم تشغيل أحد البرك لا يؤثر على البرك الأخرى أو يعوق من أدائها (أنظر جدول (٨)) .

جدول (٨)
معايير إختيار نوع برك الموازنة {١}

المنشط	النوع
• عندما تستقبل البركة حمأة أو مياه مجارى	بركة لاهوائية تتبعها على التوالى بركة إختيارية.
•عندما تستقبل البركة تصريف معالج	بركة إختيارية (يفضل إثنتين على التوازى).
•عندما تستقبل البركة تصريف معالج يستخدم لتربية الأسماك أو يستغل للزراعة.	بركة إختيارية (يفضل إثنتين) تتبعها بركة نضج.
•عندما تستقبل البركة حمأة أو مياه مجارى ويستخدم التصريف المعالج لتربية الأسماك أو يستغل للزراعة.	بركة لاهوائية (أو إثنتان) تتبعها بركة إختيارية تليهما بركة نضج.

محاسن ومساوئ برك موازنة الحمأة

عادة فإن برك الموازنة تصلح للإستخدام للمدن الصغيرة ذات الأعداد السكانية التى تصل الى أو تقل عن١٠٠٠٠، ولا يتوقع أن تزداد بها أو تتكثف الصناعات. ومن المفضل أن تكون الأرض ذات جغرافية مناسبة، ويفترض وجود الموقع المناسب للبركة. ومن محاسن برك موازنة الحمأة :

- 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 .

ومساوئ إستخدام برك الموازنة تحوى :

- الحاجة لأرض كبيرة لإنشاء وتشييد البركة .
- التحلل الحيوى الغير الجيد لبعض المخلفات الصناعية مثل تلك الناتجة من صناعة الألبان والقشدة والزبد والمسلخ .
- الإزدياد فى الرقعة السكنية والعمران 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 والحمأة 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 الحمأة {١}

الحالة	المخاطر المحتملة	الحلول
• توالد الطحالب الكثير	روائح كريهة وتقليل فى كفاءة أداء لبركة .	إزاحة المستوطنات .
• طبقة الزبد	روائح وتكاثر الحشرات .	إزاحة الطبقات .
• حمأة طافية	روائح كريهة جدا .	إزاحة الحمأة .
• مواد طافية	تؤثر على نظام 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 فىالدفق الداخل 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 الحمأة.

وتتكاثر البكتريا فى سائل البركة وتعمل على تفتيت المواد. وتقوم الطحالب بالإستفادة من هذه المفتتات (مستخدمة الطاقة الشمسية والتمثيل الضوئى) لتخليق الخلايا الجديدة وإنتاج الأكسجين. وتستخدم البكتريا الهوائية الأكسجين الناتج لإتمام عمليات تفتيت المواد العضوية. وبذا فتتعايش 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 حيويا 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 .

Pit latrine الحفرة
يف رلسى في باطن الأرض لتخزين الفضلات السائلة. ويغطى أعلاه بسقف من
فحة أو مقعد للجلوس. ويفيد السقف الخرسانى فى الأمان من الانهيار وعدم سقوط الأطفال
خلاءه كما ويمنع إنتقال الديدان الشصية hookworm ويحد بعض الشئ من توالد الذباب عند
م غطاء محكم للفتحة. ومن أهم مساوئ مرحاض الحفرة إنبثاق الروائح النتنة وتوالد الذباب
والبعوض .

مرحاض الحفرة المحسن Ventilated Improved Pit Laterine

وفي هذا المرحاض أدخلت التحسينات التالية (أنظر شكل١١) :

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 تنجذب 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 أملح ١ ملم من فولاذ لا يصدأ أومن 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 الفائض 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} .

ويبين جدول ١١ أدناه معلومات عامة لتصميم برك الموازنة .

جدول (١١)

معلومات عامة لتصميم برك الموازنة {١، ٣، ٥، ١٢}

المنشط	برك لاهوائية	برك إختيارية	برك هوائية
التصريف الداخل	حمأة بها مواد عضوية ومواد صلبة عالية.	حمأة من شبكة المجارى أو من برك لا هوائية.	حمأة من بـــــرك اختياريه .
المعالجة	جزئية	جزئية	جزئية
التصريف النهائى	لبركة اختيارية	لبركة نضوج	للزراعة أو تربيـــة الأسماك والطيـور 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. التوصيل على التوازى مفيد للبرك الكبيرة.	١ أو أكثـــــر من البـرك على التوالى أو التوزي .
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	–	–	(٠,٧ – ١,٤) مضروبة فى حاجة الحيـــــا-كيميائية الأكسجين المزال.
الرقم الهايدروجينى	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.	
المشاكل المتوقعة	روائح، تحتاج الى أرض واسعة، تلوث مياه جوفية.	روائح عند التحميل العالى، تلوث مياه جوفية، نقصان فى النشاط الحيوى فى المناخ البارد .	نقصـــــان فى النمو الحيوي .

٦ - ٩ مرحاض الحفرة Pit latrine

وهو عبارة عن تجويف رأسى في باطن الأرض لتخزين الفضلات السائلة. ويغطى أعلاه بسقف من الخرسانة به فتحة أومقعد 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 إنبثاق الروائح النتنة وتوالد الذباب والبعوض .

مرحاض الحفرة المحسن Ventilated Improved Pit Laterine

وفي هذا المرحاض أدخلت التحسينات التالية (أنظر شكل١١) :

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 تنجذب 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 .

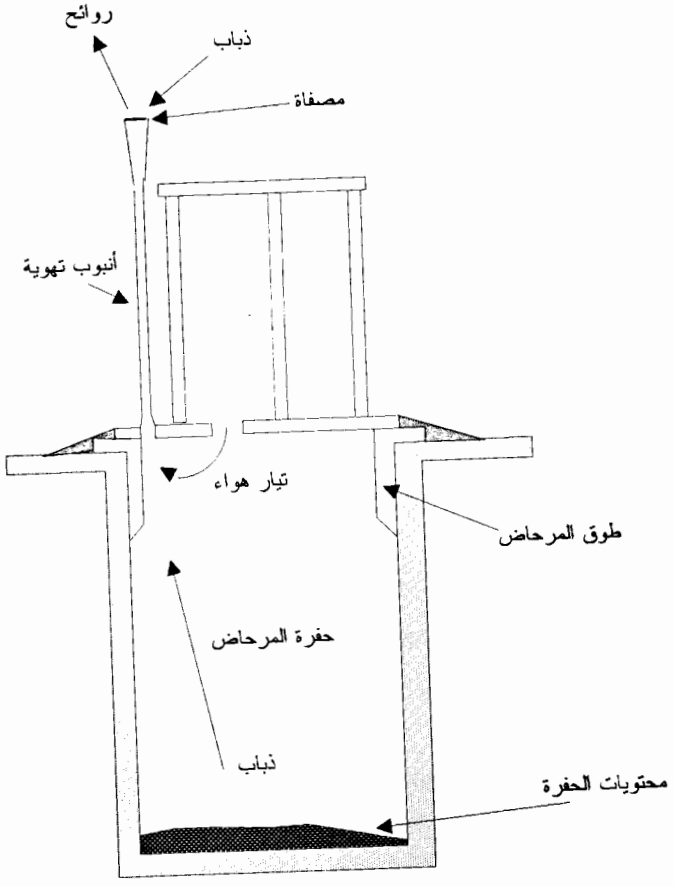
٢- تركيب مصفاة أعلى أنبوب التهوية لمنع دخول وخروج الذباب. وتصنع المصفاة من فتحات قطرها أملح ١ ملم من فولاذ لا يصدأ أومن ألياف زجاجية لتقاوم الغازات الحارقة الناتجة من الحفرة .

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 الفائض 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 تخطيطى للمرحاض 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 إستخدام 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 الكيميائى يتحرك لمسافة أكبر. وللحد 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 في الحوض (أنظر شكل ١٢) :-

- طبقة الأوساخ الطافية Scum على سطح الحوض .
- طبقة السائل العالق والتى تبدأ فيها عمليات الترسيب وانتشار المواد الذائبة للطبقة التي تليها لتكون قشرة على سطح الحوض .
- طبقة الأوساخ المترسبة والمهضومة .

وتخضع المواد المترسبة لبعض صور الهضم والتفسخ الحيوى اللاهوائى لتنتج الحمأة بلونها الأسود. كما وتتكون فى الحوض طبقة طافية من الدهون والشحوم وبعض الفضلات والتى تخضع بدورها لتفتيت حيوى لتكون قشرة المواد الطافية ذات اللون الأبيض البنى. وما بين الطبقتين (الطافية والمترسبة) هنالك سائل أخضر اللون يسمى الحمأة 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 التوالي. وأبسط أنواع الأحواض تكون في 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 الأثيلين (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 كافي لخزن الأوساخ لعدة أشهر. وخلال هذه المدة تخضع الأوساخ المترسبة لتفاعلات حيوية. وتزاح المترسبات كل عام مثلا أو كلما اقتضى الحال ذلك. ولا تصمم مصافي بالأحواض بغية تقليل الترميم والأصلاح .

ويعمل على أن تكون بالحوض غرفتين حجم إحداهما ضعف الأخرى (أنظر شكل ١٣). يتم فى الحجرة الأولى ترسيب معظم المواد الصلبة كما وتتم فيها معظم عمليات التفسخ الحيوى. أما الحجرة الثانية فتعمل كجهاز ترسيب نهائى يتم فيها حجز المواد الصلبة المتبقية وترسيب بعض الحبيبات الدقيقة والخفيفة. وفي هذه النظم للمعالجة فإن الأوساخ المترسبة ربما جرفت إلى الأعلى 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 .

$$V = Q*t \qquad (٤٠)$$

حيث :

V = حجم الحوض (م^٣) .

Q = دفق الفضلات السائلة للحوض (م^٣/يوم) .

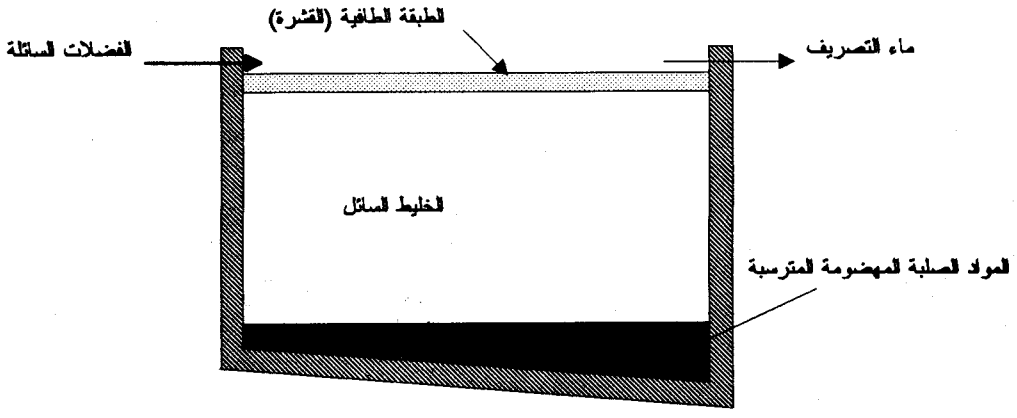
t = زمن المكث بالحوض (يوم) .

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 الدفق اليومى التصميمى {١٨} .

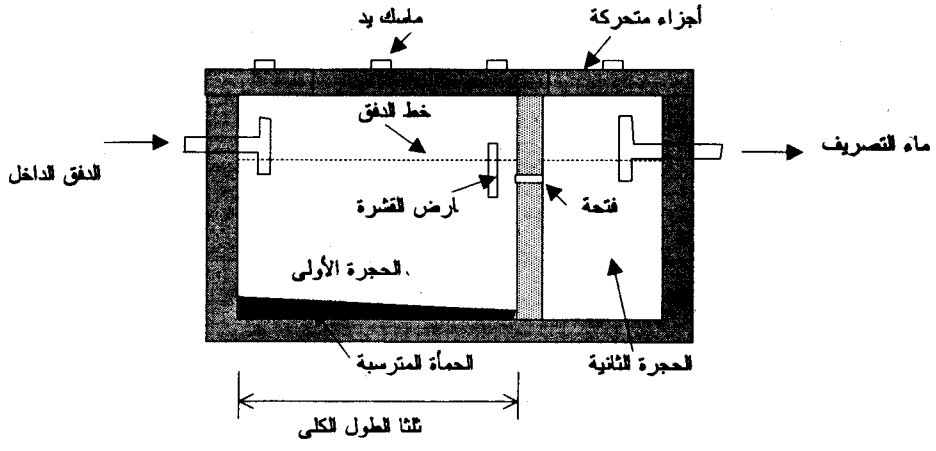
ولتحديد أبعاد الحوض يمكن اللجوء الى جداول معدة مسبقا أو بأخذ المعادلات التجريبية. يغطى السائل فى الحوض ٨٠ بالمئة من الإرتفاع الكلى للحوض وتترك ٢٠ بالمائة من الحجم أعلى مستوى سطح السائل لتعطى المسافة المطلوبة لتراكم القشرة الطافية .

ولابد أن يحتوى حوض التحليل اللاهوائى على فتحات تهوية أو منافس Vents للأسباب التالية :

* منع دفق 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 الإختيارية بتفسخ بعض مكونات الحمأة. ويمكن أن تتحرك هذه الغازات من أعلى سطح سائل الحوض عبر فتحة التهوية الى المصرف الصحى المنزلى المتصل بالحوض ومن ثم لسطح المنزل عبر أنابيب التهوية المتصلة بالمصرف .



شكل (١٢) مناطق حوض التحليل اللاهوائى



شكل (١٣) رسم كروكى لحوض التحليل اللاهوائى

وهنالـــــك بعض النقـــــــاط التى يجب أخذها في الحسبان لضمان كفاءة أداء أحواض التحليل بالصورة المثلى ومنها :-

- عدم استخدام المبيدات البكترية 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 أمتارمن 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 المبانى (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 اللاهوائى	حقل الإمتصاص
المبانى	١،٥	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 تشيد قاعدة الحوض من الخرسانة المسلحة بسمك في حدود ١٠٠ إلى ١٥٠ملم. 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 اثنين 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 ٢, ١ متر وربما أخذ عمق أكبر قد يصل الى ٨, ١ متر.
- يمكن أخذ طول الحوض ليساوى ٢ أو٣ أضعاف عرضه .

ولابد من مراقبة أداء حوض التحليل والعمل على صيانته. وهذا يتم بقياس الطبقة الطافية وسمك الأوساخ. ويجب العمل على ترميم الحوض على مدار العام لضمان كفاءة التشغيل وإطالة عمر الحوض وتفادى 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 .

تنزح الأوساخ أو الحمأة من حوض التحليل اللاهوائى وتؤخذ الى أقرب محطة معالجة أوساخ لإتمام المعالجة، أو ربما تم التخلص منها بالدفن فى الأرض. وعند اللجؤ الى الطريقة الأخيرة لابد من توخى الحيطة 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 فلابد من تجنب تلوث المياه الجوفية. ويمكن حساب مساحة حقول الإمتصاص من المعادلة ٤١ .

$$Q = 204 * t^{0.5} \qquad (٤١)$$

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 حقل إمتصاص .

ومن الشكاوى المتوقعة لأداء عمل حقول الإمتصاص ما يلى :

أ) وقف عمل المضخات .

ب) إنتاج روائح غير مستحبة .

جـ) إنسداد مدخل الحقول (ومخرج حوض التحليل اللاهوائى) نسبة لعلو درجة تركيز المواد الصلبة أو لزيادة الأحمال أو لعدم التخلص من الحمأة .

د) منع التخلخل إما بسبب إنشاء الحقول فى تربة قليلة النفاذية معيقة للتسرب، أو بسبب إرتفاع منسوب المياه الجوفية ، أو بسبب قصور الأحمال العضوية والهايدروليكية، أو بسبب عدم النظافة الجيدة لحوض التحليل .

هـ) تلوث المياه الجوفية خاصة فى التربة ذات التسرب العالى وتلك التى تضمحل فيها سعة الإمتصاص للمواد الملوثة .

و) إنتشار الأمراض .

ز) زيادة درجات تركيز المواد المطهرة والأيونات بالتربة مثلا 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). ويملأ 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 الأنابيب الأفقية. غير أن فى الكثير من الحالات ينثنى الأنبوب مرتخيا 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 للتفتيت، 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 رأسيا الى الأعلى على الجدران المحيطة بالحفرة مما يجعل السائل متراكما ويرتفع بإرتفاع الحفرة، ويتم تسرب السائل عبر جدران الحفرة. كما ويساعد الضغط الهايدروستاتيكى 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، والمناحى الإجتماعية والإقتصادية والبيئية والتقاليد .

أما محاسن خط الإمتصاص مقارنة بحفرة الإمتصاص فتضم {١٧} :

١ – يمكن تركيب الخط عندما تكون المياه الجوفية ضحلة نسبيا .

٢ – متطلبات الإمتصاص معروفة مسبقا 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 (مثلا لا يقع أحدهم فى الخط المهجور) .

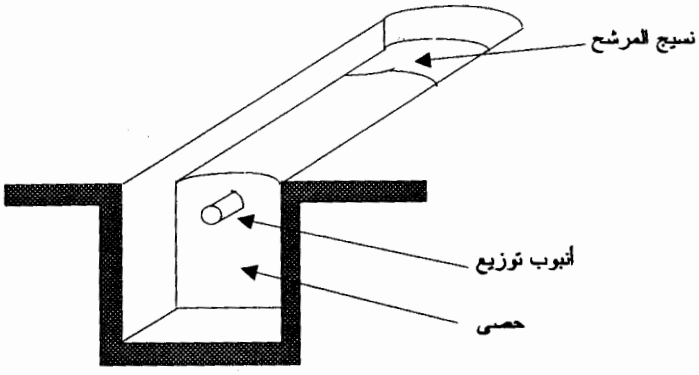
٦ – تزداد فى خط الإمتصاص درجات التفتت الهوائى للمواد العضوية .

٧ – خط الإمتصاص قليل تكلفة الإنشاء .

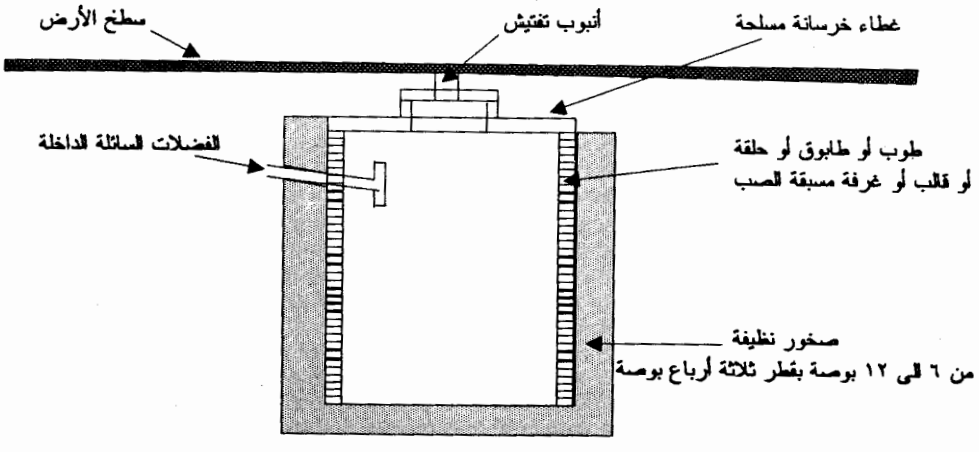
ومن محاسن حفر الإمتصاص مقارنة بخط الإمتصاص ما يلى {١٧} :

- تحتاج الحفرة الى مساقة 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 طمح الحمأة والمواد الطافية وتراكمها مما يؤدى الى إنسداد مخرج الحوض وتأثر البناية بالفضلات الغير معالجة، أو غمر حقول الإمتصاص وإنسداد مسامات التربة، أو زيادة النمو الحيوى والذى يؤدى بدوره الى إنسداد المسامات وتقليل التخلخل .



شكل (١٤) رسم تخطيطى لقطاع عبر خط إمتصاص {١٨}



شكل (١٥) رسم تخطيطى لقطاع عبر حفرة إمتصاص {١٧}

جدول (١٣)

بعض أنواع الجراثيم الموجودة فى الحمأة {١٩،١٧}

الجرثومة	المرض	طرق الإنتشار
(أ) حمات معوية Enteriviruses		
الحمة السنجابية Poliovirus	إلتهاب السحايا Meningitis، شلل Paralysis، حميات.	براز- فم ، إنسان ـــ إنسان
الحمة الإيكوية Echovirus	إلتهاب السحايا، إسهال، رشح، حمة، إلتهابات تنفسية.	براز- فم ، إنسان ـــ إنسان
حمة كوكساكية Coxsackievirus	إلتهاب السحايا، حمة، إلتهابات تنفسية، حمة، إلتهاب القلب Myocarditis، شذوذ القلب الخلقى Congenital heart anomalies ، وجع الجنبة Pleurodynia.	
إلتهاب الكبد Hepatitis type A	إلتهاب الكبد المعدى.	براز- فم ، إنسان ـــ إنسان
فيروس Norwalk	إسهال، إستفراغ، حمى.	براز- فم ، إنسان ـــ إنسان
فيروس Calicivirus	إلتهاب المعدة والأمعاء	براز- فم ، إنسان ـــ إنسان
فيروس نجمى Astrovirus	Gastroenteritis	
فيروس دوار Rotavirus	إسهال، إستفراغ.	براز- فم ، إنسان ـــ إنسان
حمة غدية Adenovirus	إلتهابات تنفسية، إلتهاب العين	
(ب) بكتريا		
السلمونية Salmonella	حمى التيفود، الحمى الباراتيفودية، داء السلمونيلات Salmonellosis	براز- فم ، إنسان ـــ إنسان
الشيغلة Shigella	دسنتاريا باسلية	براز- فم ، إنسان ـــ إنسان
الإشريكية القولونية الجرثومية	إلتهاب المعدة والأمعاء	براز- فم ، إنسان ـــ إنسان
اليرسنية Yersinia enterocolitica	إلتهاب معوى قولونى	حيوان ـــ إنسان
الضمة الهيضية Vibrio cholerae	الكوليرا (الهيضة)	براز- فم ، إنسان ـــ إنسان
أنواع البريمية Leptospira spp.	Weil's disease	تتوالد بالحيوانات (خاصة القوارض)

		فى البـــول وتجلب المرض لـــلإنسان عن طريق الجلد أو الفـــم أو العين ، حيوان ـــــ إنسان
(جـ) بروتوزوا		
المتحولة الحالة للنسج Entamoeba histolytica	دسنتاريا أميبية، خراج الكبد Liverabscess، قرحة قولونية Colonic ulceration	بـــــراز- فـــم ، إنسان ـــــ إنسان
الجياردية اللمبلية Giardia lamblia	إسهال، سوء الإمتصاص Malabsorption	بـــــراز- فـــم ، إنسان ـــــ إنسان
القربية القولونية Balantidium coli	إسهال خفيف، قرحة قولونية Colonic ulceration	براز- فم ، انسان أو خنزير ـــ إنسان
(د) ديدان Helminths		
الصفر الخراطينى Ascaris lumbricoides (الديدان الكروية Roundworm)	داء الصفر Ascariasis	إنسان ـــــ تربة ـــــ انســـــان
الملقوة العفجية Ancylostoma duodenale (الدودة الشصية Hook worm)	أنيميا	إنسان ـــــ تربة ـــــ انســـــان
الفتاكة الأمريكية Necator americanus (الدودة الشصية Hook worm)	أنيميا	إنسان ـــــ تربة ـــــ انســـــان
الشريطية العزلاء Taenia saginata	داء الشريطيات Taeniasis	إنسان ـــــ بقـــر ـــــ انســـــان

٦ - ١١ تمارين عامة

٦ - ١١ - ١ تمارين نظرية

١) ما هى مصادر الفضلات السائلة فى بلدتك ؟

٢) أبن العوامل التى تؤثر على نوع وكمية الفضلات السائلة فى منطقتك .

٣) ما هى أسباب معالجة المخلفات والفضلات السائلة ؟

٤) ما فائدة جهاز إزالة المترسبات غير العضوية فى محطة معالجة الفضلات السائلة ؟

٥) ما الفرق بين التحميل الهايدروليكى والتحميل العضوى فى وحدات المعالجة الحيوية ؟

٦) ما هو الفرق بين طـــــرق النمو المرتبط وطرق النمو العالق لمعالجة الفضلات السائلة ؟ أذكر أمثلة لكل من هذه الطرق .

٧) ما هى فائدة نسبة الغذاء إلى الكائنات فى مفاعل المعالجة الحيوى ؟

٨) صف طريقة تشغيل مرشح النضيض .

٩) ما هى مشاكل تشغيل مرشح النضيض ؟

١٠) ما أهمية الترسيب الثانوى الذى يتبع وحدة مرشح النضيض ؟

١١) ما فائدة إعادة دوران الأوساخ فى مرشح النضيض ؟

١٢) كيف تؤثر التغيرات فى درجة الحرارة على عمل مرشح النضيض ؟

١٣) ماذا يعنى الإنسلاخ الذى يحدث فى مرشح النضيض ؟

١٤) صف طريقة عمل بركة الموازنة الإختيارية. وضح الإجابة بالرسم التوضيحى .

١٥) أبن 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 هى 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 ومساوئ 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 ٠,٢٥ ملم وكثافتها النوعية ٢,٦ فى حوض الإزالة. أوجد سرعة ترسيب الحبيبات فى المجرى. ما هى سرعة جرف الحبيبات علما بأن b = ٠,٠٥ ، a = ٠,٠٢ ، C_D = ١٥ . (الإجابة ١٩، ٢٨٠ ملم/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 ٥٠ 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، ١,٢ كجم/م٣/يوم، ٠,٥٧ /يوم) .

٣) حوض حمأة نشطة له الخواص التالية: حجم الحوض ٤٠ لتر/الفرد، تركيز المواد الصلبة العالقة فى السائل المختلط ٤٠٠٠ ملجم/لتر، دفق الحمأة الخارج ٠,٠٢ 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 نضيض ذى مرحلتين له الأبعاد والخواص التالية :

معدل دفق الفضلات السائلة =١٢٠ م٣/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 دفق 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 نضيض وحيد المرحلة ذى معدل مرتفع إرتفاعه ٢,٥ متر. وتحميل الحاجة الحيا-كيميائية للأكسجين للمرشح تساوى ٢٥ كجم/م٣/ساعة. بإفتراض أن كفاءة إزالة الحاجة الحيا-كيميائية للأكسجين ٣٥ و٦٠ بالمائة لجهازى الترسيب الإبتدائى ومرشح النضيض على الترتيب أوجد حجم وقطر مرشح النضيض بإستخدام صيغة مجلس الأبحاث القومى . (الإجابة: ٢٦١ م٣، ١٢ م) .

٧) أدخلت فضلات سائلة بمعدل دفق ١٢٠ متر مكعب فى الساعة لمرشح نضيض يسبقه حوض ترسيب إبتدائى. قطر مرشح النضيض 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. علما بأن نسبة إعادة الدوران تساوى ١,٥ ، أوجد التحميل الهايدروليكى والتحميل العضوى للمرشح ، وكفاءة المرشح بإستخدام صيغة مجلس الأبحاث القومى . (الإجابة: ٣, ١٦ م٣/م٢/يوم، ٨٥,. كجم BOD/يوم/م٣، ٧٩ ٪) .

٨) مرشح نضيض ذى مرحلتين يعمل على درجة حرارة ٢٤° م . أوجد كفاءة المرشح بإستخدام صيغة مجلس الأبحاث القومى علما بأن المرحلتين لهما نفس الحجم وتعملان على نفس نسبة إعادة الدوران البالغة ١ ودفق الفضلات السائلة ١,. كجم/م٣/ساعة . (الإجابة: ٤٦ ٪) .

٩) تندفق فضلات سائلة بمعدل ٣٠٠٠ متر مكعب فى اليوم لمرشح نضيض 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/م٣/يوم .

(ب) معدل التحميل الهايدروليكى مقدر بالمتر المكعب على المتر المربع على اليوم .

(ج) كفاءة المرشح بإستخدام صيغة مجلس الأبحاث القومى بإفتراض أن نسبة إعادة الدوران تساوى ١,. (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 ١,٠٣٥ . (الإجابة: ٢٧ ملجم/لتر) .

١١) أستخدم مرشح نضيض لمعالجة فضلات سائلة ذات دفق ٩٠ متر مكعب فى الساعة. أوجد إنسياب الفضلات السائلة لسطح المرشح علما بأن نسبة إعادة الدوران تساوى ٣. (الإجابة: ٦٤٨٠ م٣/يوم) .

١٢) تعالج فضلات سائلة فى مرشح نضيض وحيد المرحلة بنسبة إعادة دوران تساوى 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,. كجم/م٣/يوم) .

١٣) تحوى محطة معالجة فضلات سائلة ترسيب إبتدائى، ومرشح نضيض 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. ولترفيع أداء المحطة وتخفيض الحاجة الحيا-كيميائية للأكسجين الخارج الى ٣٠ ملجم/لتر أقترح زيادة مرحلة ثانية من مرشح النضيض وجهاز ترسيب ثانوى. وأقترح أن يكون دفق إعادة

الدوران للمرشح المقترح مرة من دفق الفضلات الداخل. أوجد تحميل الحاجة الحيا-كيميائية للأكسجين التصميمى للمرحلة الثانية من المرشح المقترح. (الإجابة: ٥, ٢ كجم/م^3/يوم) .

١٤) تحتوى محطة معالجة على حوض ترسيب إبتدائى ومرشح نضيض. 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 و٣٥ ٪ 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 نضيض ذو مرحلتين حمأة مترسبة بمعدل ٢٦٠ م^3/ساعة، والحاجة الحيا-كيميائية للأكسجين لمدة ٥ أيام تساوى ٢٩٠ ملجم/لتر. ويوضح الجدول أدناه دفق وحجم وشروط مرشح النضيض .

المنشط	المرحلة الأولى	المرحلة الثانية
الحجم (م^3)	٦٠٠	٦٠٠
الإرتفاع (م)	٥, ٢	٢
إعادة دوران الدفق (م^3/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 نضيض بمعدل دفق ٢٠٠٠ م^3/يوم، والحاجة الحيا-كيميائية للأكسجين فى التصريف الإبتدائى ١٨٠ ملجم/لتر ، قطر المرشح ٢٠ مترا وإرتفاع الوسط الترشيحى ٥, ٢ متر، والدفق المعاد دورانه ٤٠ م^3/ساعة. مستخدما صيغة مجلس الأبحاث القومى أوجد الحاجة الحيا-كيميائية للأكسجين الخارج وكفاءة وحدة مرشح النضيض . (الإجابة: ٣٦ ملجم/لتر) .

١٧) أوجد كفاءة إزالة الحاجة الحيا-كيميائية للأكسجين لمرشح نضيض 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^3/اليوم . (الإجابة: ٨٨ ٪) .

١٨) مرشح نضيض له قطر ١٠ متر وإرتفاع ٢ متر أستخدم لمعالجة تصريف فضلات سائلة لها معدل دفق ٢٠٠ م^3/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 ١,٠٣٥. 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 م٣) .

٢٢) أختيرت بركة موازنة إختيارية لمعالجة فضلات سائلة. صمم بركة الموازنة المطلوبة طبقا للبيانات المدرجة فى الجدول أدناه :

المنشط	القيمة
عدد السكان فى المنطقة الخدمية	١٠٠٠٠
معدل دفق الفضلات السائلة	١٧٥ لتر/الفرد/اليوم
الحاجة الحيا-كيميائية للأكسجين الداخل لمدة ٥ أيام	٥٤ جرام/الفرد/اليوم
درجة حرارة البركة فى الشتاء	١٨ °م
ثابت معدل الإزالة للبركة لدرجة حرارة ٢٠ °م	٢,٥ /اليوم
الحاجة الحيا-كيميائية للأكسجين الخارج	٤٠ ملجم/لتر

(الإجابة: ٥٠٧٥ م٣) .

٢٣) بركة نضوج يمكنها تقليل أعداد كائنات S. typhi بمقدار ٤,٩٩ ٪. 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 البكتريا ليساوى ٩,٠ على اليوم). (الإجابة: ١٨٤ يوم، ٦٦٢٦٧ م٣) .

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-كيميائية للأكسجين فى التصريف الخارج. (افترض أن درجة الحرارة تساوى ١٠ °م).
(الإجابة: ٣, ١ /يوم، ٤٣ ملجم/لتر) .

٢٥) فضلات سائلة لها حاجة حيا-كيميائية 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 ٥, ١ متر ولها معامل معدل تفاعل ٠,٣ على اليوم . افترض أن الظروف تؤهل مزج كامل فى البركة، أوجد تركيز الحاجة الحيا -كيميائية 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 :

$$V = 180*P + 2000$$

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 Jersy, 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 Edi., New York, 1993
9) McGhee, T.J., and Steel, E.W. "Water supply and sewerage", 6th Ed., McGraw- Hill, New York 1991.
10) O'Conner, 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 Edi., 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 Edi., John Wiley and Sons, Chichester, 1993.

الفصل السابع

معالجة الحمأة والتخلص النهائي من الرواسب والمخلفات السائلة

٧ - ١ هضم الحمأة

هضـــم الحمـــأة 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 إعتبار 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 الهايدروجيني ، 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 الهوائي 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 المتلبدات ، ورائحة فاسدة غير أنها غير كريهة ، كما وتصعب إزالة الماء منها .

يتكون الهاضم اللاهوائي Anerobic Digestor 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 الهايدروجيني 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 بتعويز Gasification الأحماض والكحول المكونة إلى ثاني أكسيد الكربون وغاز الميثان وآثار من غازات أخرى مثل كبريتيد الهايدروجين . وبكتريا الميثان هذه بكتريا لاهوائية تعمل على رقم هايدروجيني ضيق يقع بين ٥ ,٦ إلى ٥ ,٧ وذلك لأن حساسية لأي تغيرات في الرقم الهايدروجيني .

إن الحمأة المهضومة لاهوائيا تكون ذات لون بني مائل إلى السواد ، ويماثل لونها لون القطران الساخن أو المطاط المحروق أو الشمع المانع للتسرب . كما وتحتوي الحمأة المهضومة لاهوائيا 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 الإبتدائي . 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) .

$$V_g = Y_t * VS * [(1-k_n/[t*\mu_{max} - 1 + k_n])]/t \qquad (١)$$

حيث :

V_g = معدل الإنتاج الحجمي للغاز = الإنتاج النوعي (م^{3}غاز /م^3 هاضم/يوم) .

Y_t = الإنتاج الأقصى للغاز (م^3 غاز / كجم مواد صلبة طيارة مضافة) .

VS = درجة تركيز المواد الصلبة الطيارة للفضلات الداخلة للهاضم (كجم/م^3) .

k_n = ثابت حركي (لا بعدى) .

t = زمن المكث الهايدروليكي (يوم) .

μ_{max} = أقصى معدل للنمو النوعي للكائنات الحية الدقيقة (على اليوم) .

مثال (١)

أوجد الإنتاج النوعي للغاز الناتج من هاضم حمأة لاهوائي مستخدما البيانات التالية :

درجة تركيز المواد الصلبة الطيارة للفضلات الداخلة للهاضم = ١٥٠ كجم/م^3 .

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 ,٠م^3 غاز/كجم مواد صلبة طيارة مضافة .

الثابت الحركي = ١, ٤ .

حجم الهاضم = ٥ متر مكعب .

الحل :

١ – المعطيات: Y_t= ٠,٤ م^3 غاز / كجم مواد صلبة طيارة مضافة ، VS = ١٥٠ كجم/م^3 ، k_n = ١,٤ ، u_{max} = ١,٠ على اليوم ، t = ١٤ يوم ، T = ٢١ °م .

٢ – أوجد معدل الإنتاج الحجمي للغاز بإستخدام المعادلة : $V_g=Y_t*VS*[(1-k_n/[t*u_{max}-1+k_n])]/t$

V_g = (٠,٤ × ١٥٠ ×٠,١٤) × {١-(١,٤ ÷ (١,٤ ×١٤ ×٠,١-١+٤,١))} = ٠,٩٥٢ م^3 غاز/م^3 هاضم/يوم .

٣ – أوجد معدل الإنتاج الحجمي اليومي للغاز = ٠,٩٥٢ × ٥ = ٤,٧٦ م^3 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 الهايدروجيني	٦,٦ إلى ٧,٠	أقل من ٦
القلوية لبرتقال المثيل (ملجم /لتر $CaCO_3$)	ليست أقل من ٢٠٠٠	أقل من ١٠٠٠
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^3/يوم)	٠,٣ إلى ٢
تفتت المواد الصلبة الطيارة (٪)	٤٠ إلى ٥٠
انتاج الغاز (م^3 غاز/كجم مواد صلبة طيارة)	٠,٢ إلى ١,٥
المواد الصلبة للحمأة الداخلة (كجم/م^3/يوم)	٢ إلى ٥
تفكك المواد الصلبة الكلية (٪)	٣٠ إلى ٤٠
الرقم الهايدروجيني	٦,٥ إلى ٧,٤

درجة القلوية (ملجم/لتر)	٢٠٠٠ إلى ٣٥٠٠
زمن مكث المواد الصلبة (يوم)	٣٠ إلى ٩٠
حجم الهاضم (م٣/الفرد)	٠,١ إلى ٠,١٧
مكونات الغاز (٪)	
ميثان	٦٥ إلى ٧٠
ثاني أكسيد كربون	٣٢ إلى ٣٥
كبريتيد الهايدروجين	آثار قليلة
درجة الحرارة (°م)	٣٠ إلى ٣٥

٧ - ٢ نزح الماء من الحمأة

إن عملية نزح الماء طريقة طبيعية (ميكانيكية) تستخدم لتقليل محتوى النداوة من الحمأة ، لكل أو لأحد الأسباب الآتية :-

١ - تقليـــل حجم الحمأة والفضلات السائلة عند التخلص النهائي منها ، مما يترتب عليه خفض تكاليف الترحيل والنقل .

٢ - تسهل عملية مناولة الحمأة .

٣ - تأخر عملية التفتت الحيوي عندما يحتاج إليها .

٤ - زيادة القيمة الحرارية ، وذلك بنزح محتوى النداوة الزائد خاصة عند ترميد الحمأة .

٥ - إزالة الرائحة الكريهة من الحمأة والطين .

٦ - تقليل الناتج المنضوض leachate من موقع الردم الصحي .

إن نزح الماء من الحمأة الناتجة من العديد من وحدات المعالجة يعد من الأمور الصعبة في هذا المجال . ليس هذا فحسب بل إن تكلفة نزح 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 جليا أهمية نزح الماء من الحمأة .

طرق نزح الماء من الحمأة :

إن طرق نزح الماء من الحمأة عددية المنحى ، ومدرج أدناه موجز لأكثر هذه الطرق شيوعا .

١ - مفرش التجفيف (أحواض التجفيف) Drying Beds : (أنظر شكل ١)

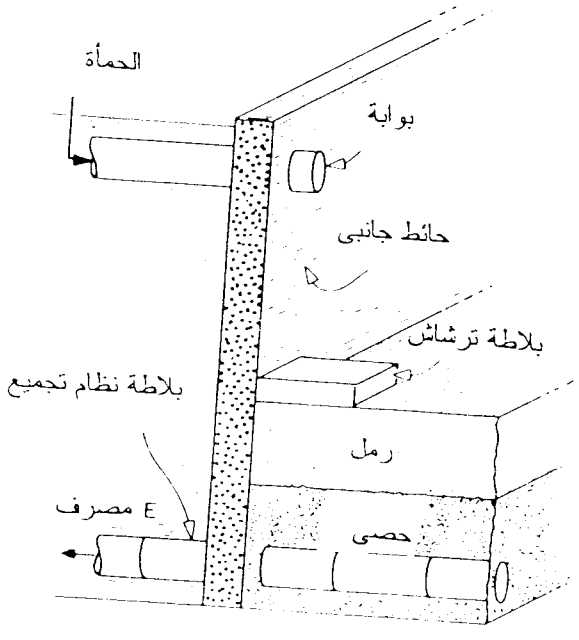
وهذه الطريقة مستخدمة كثيرا لإزالة الماء . وفيها يؤتى بالأوساخ المراد إزالة الماء منها بالضخ أو بأي وسيلة أخرى لتوضع على مفرش التجفيف . وتتم إزالة الماء إما بالتبخر أو التسرب أو بكلتا الطريقتين . وتتأثر مفارش التجفيف بعوامل الطقس بصورة كبيرة . والمفارش الجديدة تصنع باستخدام الخرسانة ويستغل الطوب كأرضية . وتجمع المياه المتسربة لتعاد الى محطة المعالجة ، ويجب التأكد من عدم دفقها إلى أي مصدر مائي لتفادي التلوث . أما أرضية المفارش العديمة النفاذية فتغطى بطبقة من المواد أو مخلفات الفحم المحترق أو أي مواد ذات نفاذية . عادة توضع الأوساخ فوق المفارش ليتم تجفيفها في مدة قد تبلغ ٦ أشهر ، إعتمادا على الظروف المناخية وطبغرافية المنطقة . ويمكن تقليل زمن التجفيف باضافة مروبات مثل أملاح الحديد أو الألمنيوم . وتعتمد هذه الطريقة على درجة الرطوبة ، وسرعة الرياح ، وشكل وموضع المفارش ، كما وتعتمد على طبيعة مكونات الأوساخ ، وحجم الحبيبات ، وشكل وحجم الحبيبات الداخلة الى المفرش . وأيضا يؤثر شكل وعمق المفارش ، مقارنة مع دفق الهواء ، على سرعة التجفيف وكفاءة مفرش التجفيف .

٢ - مرشح ضغط المكبس Pressure Filter : (أنظر شكل ٢)

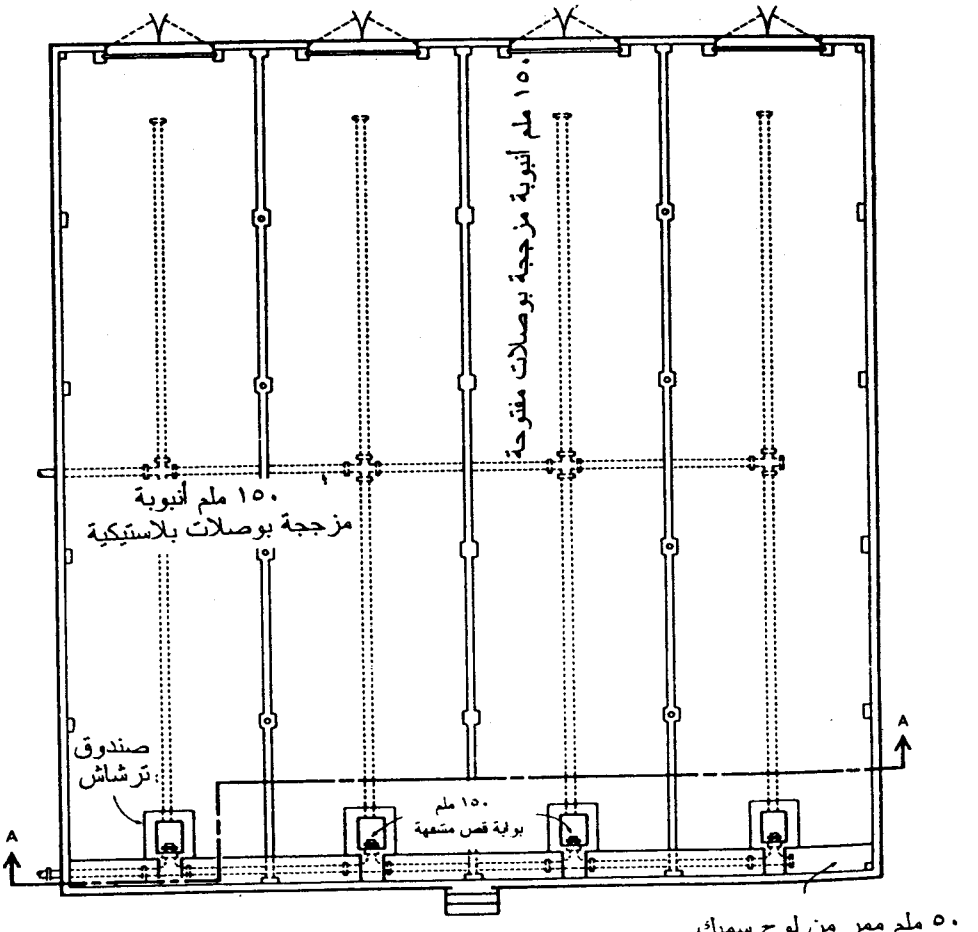
في مرشح المكبس يعول على قوى ضاغطة لإزالة الماء من الأوساخ . وتتكون طبقة الترشيح من مجموعة من الألواح ، أو من الصفائح مع بطانة تعمل كطبقة ترشيحية . وعادة تضاف بعض المواد المنشطة للحمأة لإتمام العملية الترشيحية ومن ثم تضخ لجهاز المرشح ، الذي تقوم فيه طبقة الترشيح بحجز الأوساخ . أما السائل فيجد طريقه عبر 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 ، ويحتوى 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)

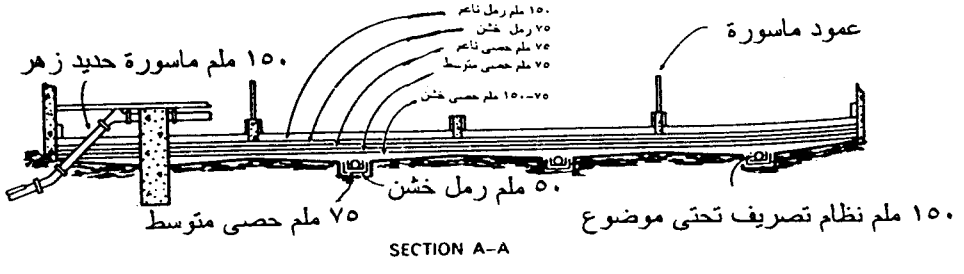
وتقوم هذه الطريقة بإزالة الماء من المخلفات بواسطة التفريغ . وهذه العملية مستمرة لتنتج كعكة قليلة المحتوى الرطوبي . وتعمل الطريقة بجهاز توجد به طبلة مجوفة من المعدن ، مغطاة بقماش معدني أو معادن مثقبة . عند ترشيح الحمأة فإن سطح الطبلة الخارجي يكون مغطى بالطبقة الترشيحية (المكونة من بطانة من الصوف أو الترليلين أو النيلون) . وتوجد أنابيب بداخل الطبلة . ويعمل التفريغ الهوائي على إزالة الماء من الفضلات عند دوران الجهاز ، كما ويعمل على نقل الحمأة سير متحرك .



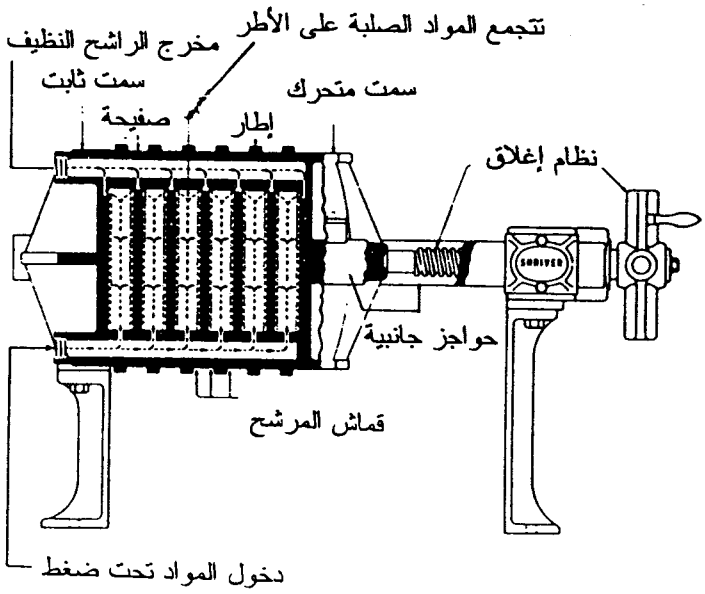
شكل (١-أ) مفرش تجفيف الحمأة {١٠}



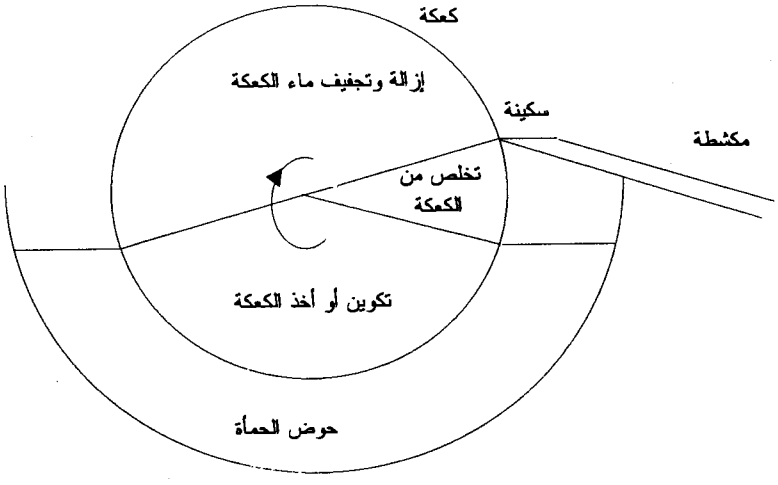
مسقط أفقى



شكل (١-ب) مفرش التجفيف {١١}



شكل (٢) مرشح ضغط المكبس {١٢}



شكل (٣)
مرشح التفريغ الهوائى {١٠،٥،٢}

ومن الناحية النظرية فإن أقصى ضغط يسمح به يكون في حدود ٩٥ ,٦٨ كيلو نيوتن/متر مربع . وهنالك 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 الإستخدام الأمثل لهذه الطريقة .

الطرد المركزي Centrifugation

يعرف نزح 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 . وتتم إزالة الكربونات والفوسفات من الحمأة أثناء عملية مزج الحمأة والسائل الترويقي . كما وتتم 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 نزح الماء من الحمأة مثل : وجود تراكيز من الحبيبات الناعمة وتركيز المواد الصلبة ومقاس الحبيبات ، وقوى القص ، ومكونات البروتين ، والرقم الهايدروجيني ، وشحنة الحبيبات الكهربائية ، ومحتوى النداوة ، والمواد المساعدة في الترشيح والتهيئة ، والهضم اللاهوائي .

ترشيح الحمأة Sludge Filtration

ولمعرفة ما إذا كانت عملية نزح 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 نزح الماء فيمكن استخدام معادلة كوكلى وكارمان {٢،٤،٦،٧،٨،٩} المبينة في المعادلة ٢ .

$$dv/dt=p*A^2L[\mu*(r*C*V+R_m*A) \quad (٢)$$

حيث :

V = حجم الراشح (م^3) .

t = زمن الترشيح (ث) .

p = الضغط المستخدم (نيوتن /م^2 ، باسكال) .

A= مساحة ورقة الترشيح (م^2) .

μ = معامل لزوجة الراشح (نيوتن*ث/م^2) .

r = معامل المقاومة النوعية (م/كجم) .

C = درجة تركيز المواد الصلبة في الحمأة (كجم/م^3) .

R_m= مقاومة طبقة الترشيح (/م) .

وبتكامل المعادلة (٢) لضغط ثابت تنتج العلاقة الموضحة في المعادلة ٣ .

$$t/V=(\mu*r*C/2p*A^2)*V + \mu*R_m/P*A \quad (٣)$$

ويمكن وضع المعادلة ٣ في صورة معادلة خط مستقيم كما مبين في المعادلة ٤ .

$$x=b*t + a \quad (٤)$$

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 .

$$b = \mu*r*C/2*P*A^2 \quad (٥)$$

$$a = \mu*R_m /P*A \quad (٦)$$

ومن المعادلة ٥ يمكن إيجاد المقاومة النوعية كما موضح في المعادلة ٧ .

$$r = 2b*p*A^2/\mu*C \qquad (٧)$$

ويبين الجدول (٣) أدناه صورة عامة لقيم معامل المقاومة النوعية وقابلية الحمأة لنزح الماء منها .

جدول (٣)
خواص الحمأة وعلاقتها بمعامل المقاومة النوعية {٤ ، ٥}

معامل المقاومة النوعية (م/كجم)	خواص الحمأة
١٠ ١١ إلى ١٠ ١١	سهلة الترشيح
١٠ ١٤ إلى ١٠ ١٥	صعبة الترشيح

وعادة فإن المقاومة النوعية لمعظم المخلفات السائلة تتغير بتغير الضغط طبقا للعلاقة المبينه أدناه .

$$r = r'*p^s \qquad (٨)$$

حيث :

r = معامل المقاومة النوعية للترشيح تحت الضغط P (م/كجم) .

r' = ثابت .

p = الضغط (نيوتن /م^2) .

s = معامل الإنضاغطية (يتغير ما بين صفر إلى ١) .

ويمكن أن توضع المعادلة (٨) في الصورة المبينة في المعادلة (٩) .

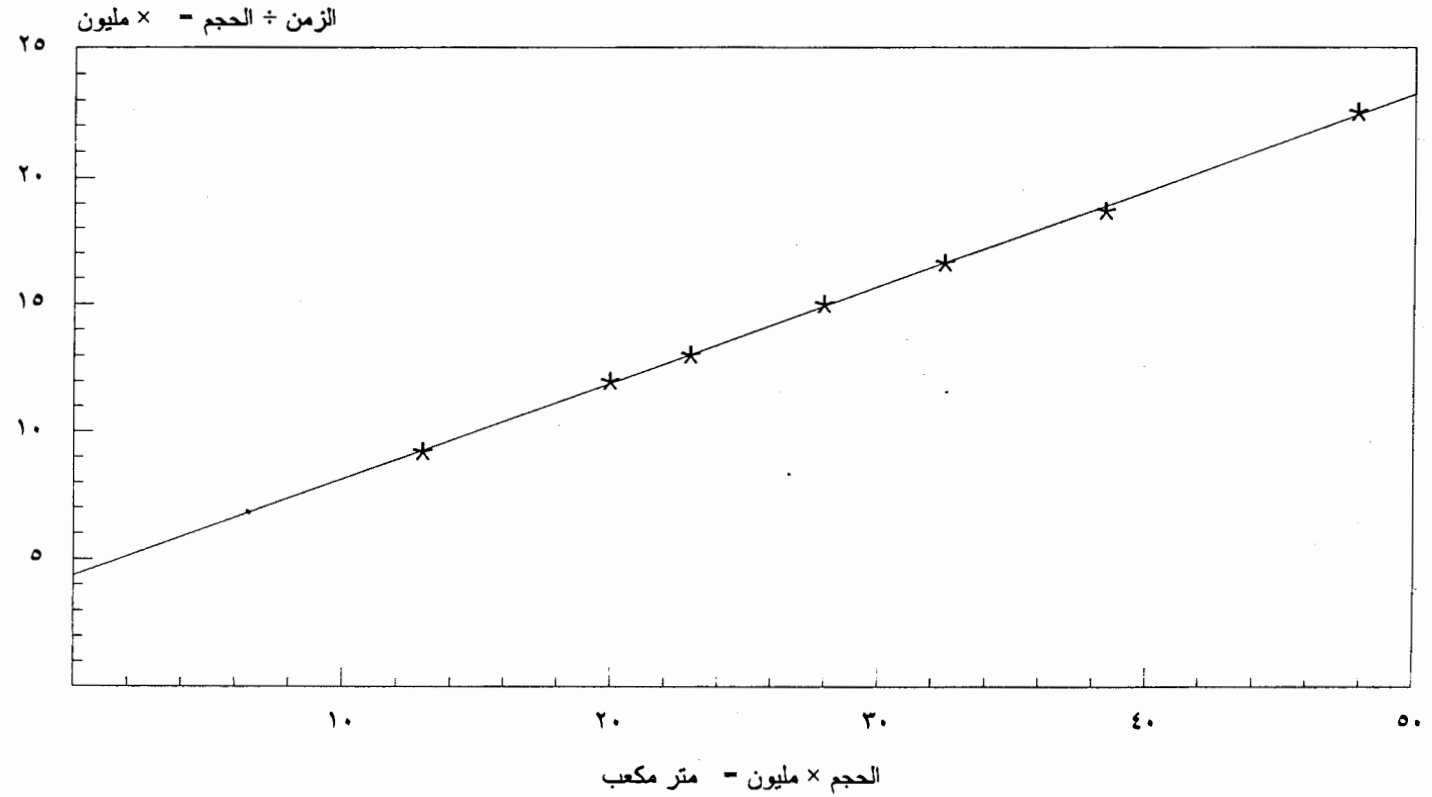
$$Log\ r = s*Log\ P + Log r' \qquad (٩)$$

وعند رسم لو r (Log r) كدالة في لو P (Log P) فإنه ينتج خط مستقيم له ميلان s .

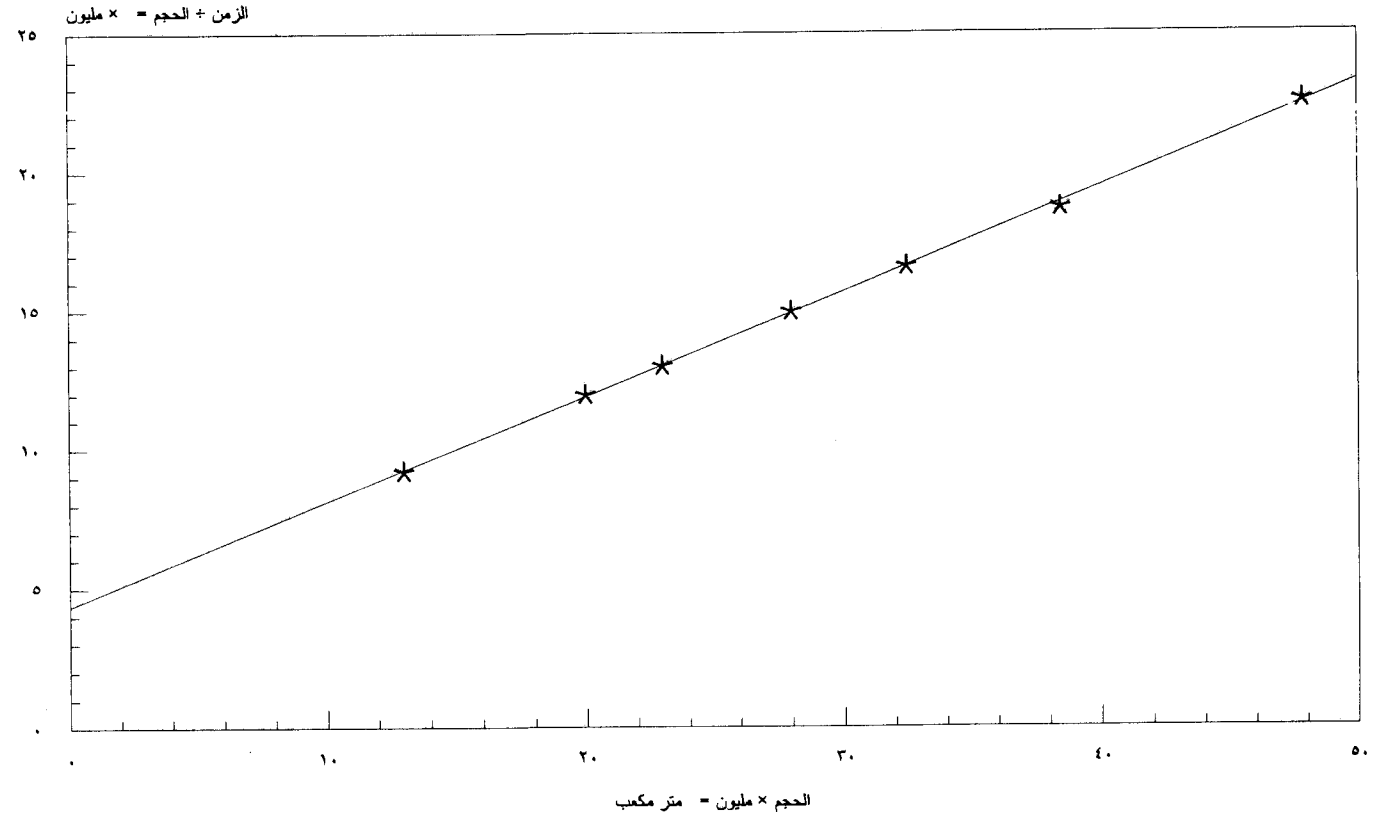
مثال (٢)

في اختبار قياس المقاومة النوعية باستخدام قمع بكنر لعينة من الحمأة 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 الحمأة

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 ، μu = ١, ٠٢٧ × ١٠^-٣ نيوتن*ث/م^٢ ، V= ٥٠ مللتر ، C = ٦٠ كجم/م^٣ ، A= ٨ ,٣ × ١٠^-٣م^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)×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 ,٣ × ١٠ ^١١ ث/م^٦

٤ – أوجد معامل المقاومة النوعية من المعادلة : $r = 2b*p*A^2/u*C$

r = ٢×٨ ,٣×١٠^١١×٦٩×١٠^٣*(٨ ,٣×١٠^-٣)^٢÷(١, ٠٢٧×١٠^-٣×٦٠)=٢, ١×١٠^١٣م/كجم

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 أسطونة 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 Capillary Suction Time (CST)

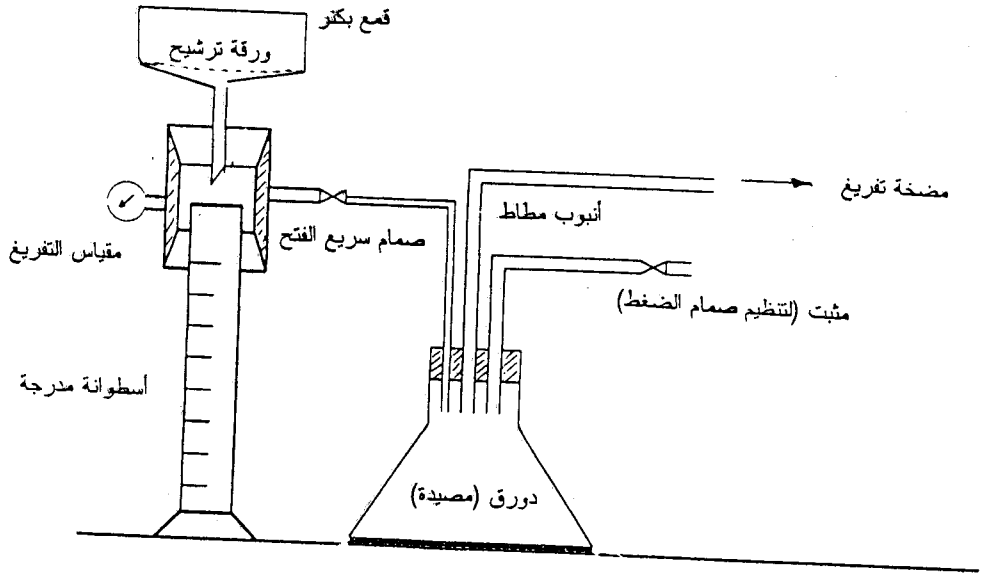
زمن السحب الشعري هو الزمن اللازم للماء ليتم نزحه من الحمأة على نشافة . ونزح الماء بهذه الطريقة يمكن اعتباره عملية ترشيحية . وكلما قل زمن السحب الشعري كلما كبرت درجة ترشيح الحمأة . وتعنى الأرقام الكبيرة لزمن السحب الشعري أن هنالك معوقات تحول دونما ترشيح الحمأة قيد الاختبار .

يبين شكل (٥) جهاز قياس زمن السحب الشعري

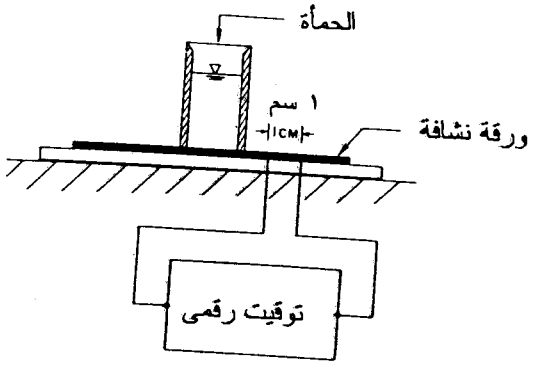
ويعطي جدول (٤) صورة عامة عن قيم زمن السحب الشعري لعدة أنواع من الحمأة .

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 الشعرى {١٤}

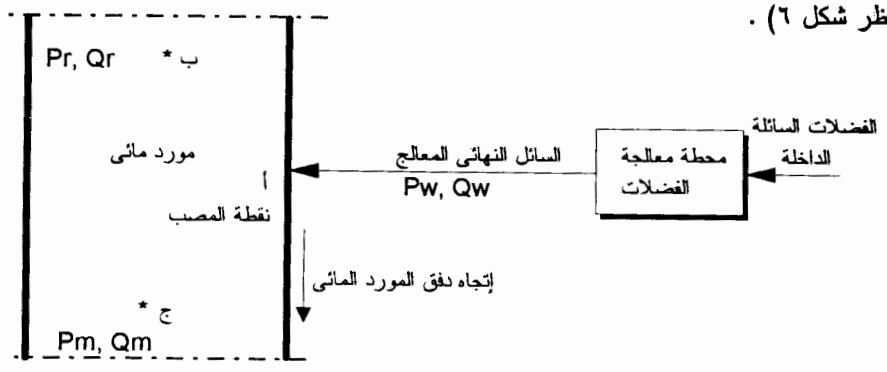
٧ – ٣ طرق التخلص من السائل النهائى

٧ – ٣ – ١ التخلص بالتخفيف Dilution

لا تعتبر طريقة التخفيف من الأساليب المثلى للتخلص من السائل النهائى النابع من محطات المعالجة، غير أن هنالك نسب قليلة من السائل النهائى، 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 فى فعاليتها على طرق المعالجة الطبيعية الموجودة فى موارد المياه والتى تعتمد بدورها على العديد من العوامل المؤثرة والمتداخلة فيما بينها ، مثل كمية وخواص الفضلات، والسائل النهائى، ودفق مورد المياه، وحركة ونوعية المياه بالمورد، ودرجة الأكسجين المذاب المتاحة، وكفاءة التنقية الذاتية وطرق استخدام المياه أدنى نقاط مصب السائل النهائى .

ولحساب مقدار السعة التخفيفية فى المورد (المستقبل للسائل النهائى) يمكن اعتماد طريقة اتزان الكتلة للدفق الداخل والخارج من المورد المائى .

وبإفتراض أن السائل النهائى يحتوى على ملوث بتركيز P_w وأنه ينساب بحجم دفق يعادل Q_w فى طريقه الى مورد مائى يتدفق بمعدل Q_r ويحمل درجة تركيز P_r (من نفس الملوث)، يمكن حساب درجة تركيز الملوث أدنى نقطة المصب كما مبين فى المعادلة ١٠ الناتجة من موازنة الكتل الداخلة عند النقطة أ (أنظر شكل ٦) .



شكل ٦
رسم تخطيطى لطريقة التخلص النهائى بالتخفيف

$$P_w*Q_w + P_r*Q_r = P_m*Q_m \qquad (١٠)$$

حيث :

P_w = درجة تركيز الملوث الصادر من محطة المعالجة أو السائل المتخلص منه (ملجم/ لتر) .

Q_w = دفق السائل النهائى (م^3/ 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 = دفق المجرى المائى (م^3/ث) .

P_m = درجة تركيز الملوث أدنى نقطة المصب، أو تركيز الملوث فى الخليط من المجرى المائى والسائل النهائى بعد النقطة (أ) (أى درجة التركيز عند النقطة ج) (ملجم/ لتر) .

Q_m ـ الدفق المختلط من السائل النهائى ودفق المورد المائى (م^3/ لتر). وهذا المقدار يمكن إيجاده من المعادلة ١١ .

$$Q_m = Q_w + Q_r \qquad (١١)$$

وبتعويض المعادلة ١١ فى المعادلة ١٠ ينتج :

$$P_m *[\ 1 + (Q_r / Q_w)] = P_w + P_r*(Q_r/Q_w) \qquad (١٢)$$

وتسمى المعادلة ١٢ بقانون التخفيف .

مثال (٣)

تبلغ قيمة الحاجة الحيا كيميائية للأكسجين فى السائل النهائى الصادر من منشأة ما ٤٠ ملجم/لتر، وتنساب بمعدل إندفاق يساوى ٤ م^3/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 دفق يبلغ ١٢٠٠ م^3/ الدقيقة. أوجد قيمة الحاجة الحيا كيميائية للأكسجين فى الخليط أدنى نقطة المصب .

الحل :

١- المعطيات: BOD_w = ٤٠ ملجم/ لتر ، Q_w = ٤ م^3/ ث ، BOD_r = ٥ ملجم/ لتر ،

Q_r = ١٢٠٠ ÷ ٦٠ = ٢٠ م^3/ ث .

٢- أوجد نسبة معدل دفق المورد المائى للسائل النهائى :

$Q_r \div Q_w$ = ٢٠ ÷ ٤ = ٥ .

٣- استخدم قانون التخفيف لإيجاد الملوث أدنى نقطة المصب :

$$BOD_m *[\ 1 + (Q_r/ Q_w)] = BOD_w + BOD_r*(Q_r/ Q_w)$$

$$P_m \times (١ + ٥) = ٤٠ + ٥ \times ٥$$

P_m = ١٠,٨ ملجم/ لتر .

٧ – ٣ – ٢ التخلص من السائل النهائى فى موارد المياه الطبيعية

يمكن أن يتم التخلص من السائل النهائى فى الأنهار وموارد المياه الطبيعية بعد أخذ الحيطة والحذر من مشاكل التلوث الكبيرة والمخاطر التى يصعب معها معالجة التلوث الناجم. وبذا عندما يتم التخلص من السائل النهائى 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 تلافى 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 التخلص من السائل النهائى 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 وأتت 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 تنساب 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 جيبى. وكثرة الوجود اليومى لمستعمرات الطحالب يؤدى الى فقد فى درجات تركيز الأكسجين. ويبين الشكل (٧) أدناه الأثر اليومى للطحالب على الأكسجين المذاب .

(أ) التعرية من الغلاف الجوي

ويمكن إيجاد معدل التهوية من المعادلة ١٣

$$r_r = k''*(c_s - c) \qquad (١٣)$$

حيث :

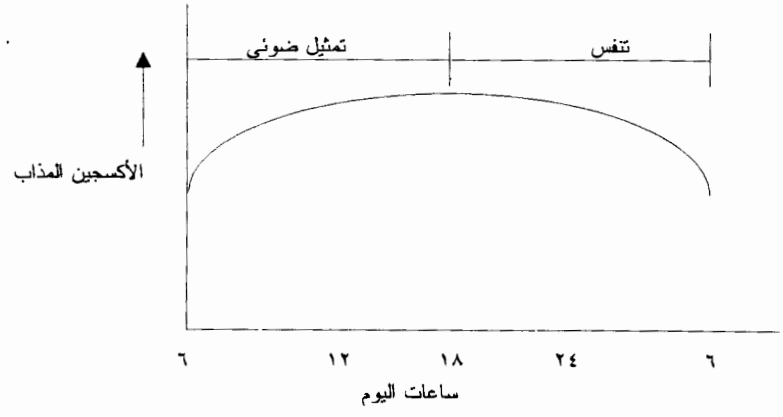
r_r = معدل اعادة التهوية .

k'' = ثابت اعادة التهوية (على اليوم) للأساس e .

c_s = درجة تركيز الأكسجين عند التشبع (ملجم/ لتر) .

جدول ٥
نظم تقسيم الأنهار { ٢ ، ٤ ، ٥}

المنشط	قيمة الحاجة الحيا كيميائية للأكسجين (ملجم/ لتر) BOD_{5}^{20}	المواد الصلبة العالقة (ملجم/ لتر)	النسبة المئوية لقيمة الأكسجين الذائب الى درجة التركيز (%)
نظيف جدا	< ١	< ٤	> ٩٠
نظيف	٢	١٠	٩٠ - ٧٥
نظيف 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 اليومى 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 .

$$k'' = 294*(C_{MD}*v)^{0.5}/h^{1.5} \qquad (١٤)$$

حيث :

C_{MD} = ثابت الإنتشار الجزئي للأكسجين (م^{٣}/ يوم) .

v = السرعة المتوسطة للنهر (م/ ث) .

h = العمق المتوسط للنهر (م) .

أما ثابت الإنتشار الجزئي للأكسجين فيعتمد على درجة الحرارة ويمكن إيجاده من المعادلة ١٥ :

$$(C_{MD})_T = (C_{MD})_{20}*(T_C)^{T-20} \qquad (١٥)$$

حيث :

$(C_{MD})_T$ = ثابت الإنتشار الجزئي للأكسجين فى درجة حرارة T .

$(C_{MD})_{20}$ = ثابت الإنتشار الجزئي 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}

مورد الماء	ثابت إعادة التهوية (لدرجة حرارة ٢٠ منوية وللأساس e)
برك صغيرة	٠,١ – ٠,٢٣
بحيرات كبيرة	٠,٢٣ – ٠,٣٥
أنهار كبيرة بطيئة السرعة	٠,٣٥ – ٠,٤٦
أنهار كبيرة عادية السرعة	٠,٤٦ – ٠,٦٩
أنهار سريعة	٠,٦٩ – ١,١٥
شلالات	أكبر من ١,١٥

أما قيمة "k فتتغير بتغير الحرارة كما موضح فى المعادلة ١٦

$$(k")_T = (k")_{20}*(T_c)^{T-20} \quad (١٦)$$

حيث :

$(k")_T$ = ثابت إعادة التهوية لدرجة الحرارة T (على اليوم) .

$(k")_{20}$ = ثابت إعادة التهوية لدرجة الحرارة ٢٠ °م (على اليوم) .

T_c = معامل تصحيح درجة الحرارة، (عادة يؤخذ قيمته لتساوى ١,٠٢٤) .

T = درجة الحرارة °م .

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 لأكسجة الأوساخ والحمأة والمترسبات الموجودة فى قعر المورد المائى

أما كمية الأكسجين المطلوبة لأكسدة المواد العضوية فتنسب الى الحاجة الحيا كيميائية للأكسجين الموجود لمدة خمسة أيام BOD_5 . ويعتمد معدل استهلاك الأكسجين الذائب على تراكيز المواد العضوية، ومعدل التفسخ، والسعة التخفيفية للمورد المائى. ويمكن ايجاد معدل إعادة التهوية من المعادلة ١٧ .

$$r_D = - k'* L \quad (١٧)$$

حيث :

r_D = معدل اعادة التهوية .

k' = ثابت معدل التفاعل (على اليوم) .

L = الحاجة الحيا كيميائية للأكسجين النهائى فى النقطة المعينة (ملجم/ لتر) .

$$L = L_o*e^{-k't} \quad (١٨)$$

حيث :

L_o = الحاجة الحيا كيميائية للأكسجين فى نقطة المصب (ملجم/ لتر) .

t = الزمن (يوم) .

وبتعويض المعادلة ١٨ فى المعادلة ١٧ ينتج المعادلة ١٩

$$r_D = - k '*L_o*e^{-k't} \quad (١٩)$$

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 الدفق البطئ للمورد المائى. تتفسخ

معظم هذه الأوساخ لاهوائيا بفعل الكائنات الحية الدقيقة فى قعر المورد المائى، كما وتخضع الأوساخ لتفاعلات حيوية هوائية تنشط عند نقطة تلامس الحمأة والماء المنساب 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 .

$$L_m = \{B*(10^{-2}*L_o)*T_c*VS*(5 + 160*VS)*t^{0.5}\}/(1 + 160*VS) \quad (٢٠)$$

حيث :

L_m = أعلى إحتياج للأكسجين بواسطة المواد المترسبة (جم/ م^٢) .

L_o = الحاجة الحيا كيميائية للأكسجين BOD_5^{20} بواسطة المترسبات (جم/ كجم مواد طيارة) .

VS = المعدل اليومى لترسب المواد الطيارة (كجم/ م^٢) .

t = زمن الترسيب (يوم) .

T_c = معامل تصحيح درجة الحرارة ، والذى يمكن إيجاده من المعادلة ٢١

$$T_c = BOD_5^T / BOD_5^{20} \quad (٢١)$$

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 .

$$d(OX)/dt = k'*L - k"*OX \quad (٢٢)$$

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) والذى يمكن إيجاده من المعادلة ١٨ .

$$L = L_o*e^{-k't} \quad (١٨)$$

وتشير معادلة استريتر وفيلبس الى نقصان كمية الأكسجين عند زيادة كمية الملوثات المتمثلة فى قيمة الحاجة الحيا كيميائية للأكسجين. كما وتقل قيمة نقصان الأكسجين بعمليات إعادة التهوية .

غير أن أهم أوجه القصور فى معادلة استريتر وفيلبس يمكن إدراجها فى الآتى :

١- يتجاهل النموذج أثر إنتاج الأكسجين بعمليات التمثيل الضوئى بفعل الطحالب .
٢- لا يـــأخذ النموذج فى إعتبـــاره فقدان الأكسجين المستخدم فى العمليات الحيوية للأوساخ والأحياء الموجودة بقعر المورد المائى .
٣- يفترض النموذج حدوث التلوث من مصدر واحد .
٤- لا يـــأخذ النموذج فى الإعتبار العوامل الأخرى المؤثرة على الأحمال العضوية بالإضافة الى إعتبار القيمة الحيا كيميائية للأكسجين فيه .
٥- يفترض النموذج وجود حالة ثبات بطول مسافة التلوث فى النهر .

ورغما عن أوجه القصور هذه إلا أن هذا النموذج يعتبر معقولا عند الإستخدام الحذر له. وبتكامل المعادلة ٢٢ وبإفتراض أن قيمة نقصان الأكسجين تساوى OX_o عند بداية الزمن (t = صفر) تنتج المعادلة ٢٣ .

$$OX_t = \{[k'*L_o/(k" - k')]*[e^{-k't} - e^{-k"t}]\} + (OX_o*e^{-k"t}) \qquad (٢٣)$$

حيث :

OX_t = كمية نقصان الأكسجين عند الزمن t (ملجم/ لتر) .

OX_o = كمية نقصان الأكسجين المبدئية فى نقطة مصب السائل النهائى 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 النهائى فى المورد النهرى مستخدما الأكسجين المذاب. وعليه فإن إعادة التهوية من الغلاف الجوى تزيد بزيادة استخدام الأكسجين للعمليات الحيوية وتفتيت المواد العضوية المحمولة مع الأوساخ. ولا يلبث هذا الوضع أن يصل الى نقطة يتساوى فيها معدل إستهلاك الأكسجين (للتفتيت الحيوى) مع إعادة التهوية من الغلاف الجوى. وتسمى هذه النقطة بالنقطة الحرجة أو نقطة الإتزان. ونسبة لأن معدل إعادة التهوية أكبر من معدل إستهلاك الأكسجين المذاب فى المناطق أدنى النهر، فيقود هذا الوضع الى الزيادة فى درجة تركيز الأكسجين واضمحلال أثر الملوث (وربما إنعدامه) أثناء عملية التنقية الذاتية للموارد المائية. وبذا يمكن تعريف التنقية الذاتية للأنهار على أنها قدرة مصدر المياه الطبيعى لتنقية نفسه بتفتيت 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 التفسخ الحيوى أو ما يطلق عليها النقطة الحرجة. ويمكن إيجاد النقطة الحرجة بوضع معدل نقصان الأكسجين يساوى صفرا فى المعادلة ٢٢ مما ينتج عنه قيمة نقصان الأكسجين الحرج المشار اليها فى المعادلة ٢٤ .

$$OX_c = k'*Lo*e^{-k'tc/k"} \qquad (٢٤)$$

حيث :

OX_c = نقصان الأكسجين المذاب الحرج (ملجم/ لتر) .

Lo = 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 .

$$t_c = [1/(k" - k')]*\ln\{(k"/k')*[1 - \{(OX_o/L_o)*(k" - k')/k'\}]\} \qquad (٢٥)$$

حيث :

t_c = الزمن الحرج (يوم) .

k" = معامل إعادة التهوية (على اليوم) .

k' = ثابت معدل التفاعل من الدرجة الأولى (على اليوم) .

OX_o = كمية نقصان الأكسجين المبدئية فى نقطة مصب السائل النهائى عند الزمن صفر (ملجم/ لتر) .

L_o = الحاجة النهائية الحيا كيميائية للأكسجين على نقطة التخلص (ملجم/ لتر) .

ومن ثم يمكن إيجاد المسافة الحرجة كما موضح فى المعادلة ٢٦ .

$$X_c = t_c*v \qquad (٢٦)$$

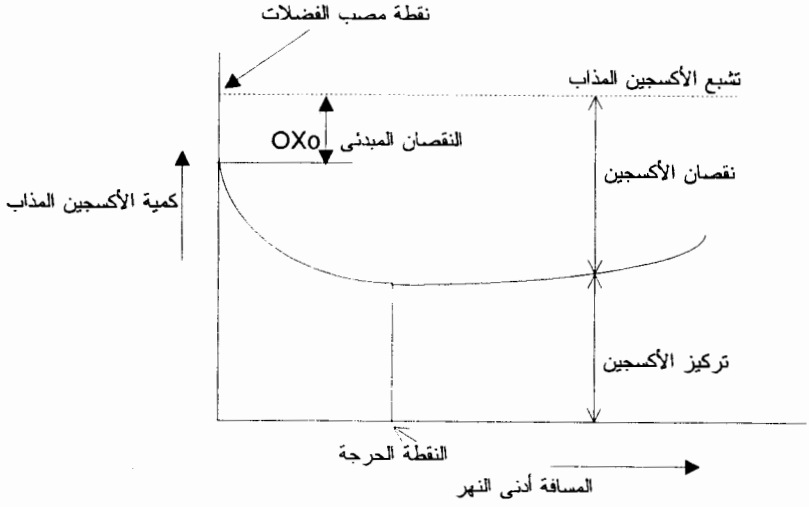
حيث :

X_c = المسافة الحرجة (م) .

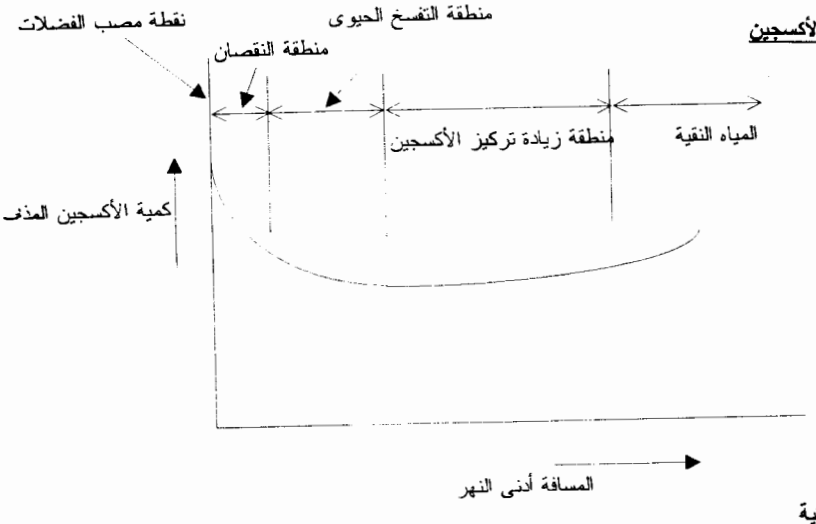
t_c = الزمن الحرج (يوم) .

v = سرعة دفق ماء النهر (متر/ يوم) .

وباستخدام هذا النموذج يمكن إيجاد التغير فى 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 والذى 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 { ٢، ١١، ٢٧}

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 الدفق (م^3/ث)	١	٨
سرعة الدفق (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- أوجـــد درجة حرارة وكمية الأكسجين المذاب والحاجة الحيا كيميائية للأكسجين لخليط ماء المجرى المائى والسائل النهائى أدنى نقطة المصب .

٢- أوجد النقصان فى الأكسجين المذاب الإبتدائى 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 دفق السائل النهائى والمجرى المائى .

٢- أوجد درجة حرارة الخليط من السائل النهائى ومياه المجرى المائى أدنى نقطة صب السائل النهائى وذلك بأخذ كمية الدفق فى الحسبان عند نقطة الموازنة كما موضح فى المعادلة أدناه

$$T_m * Q_m = T_r * Q_r + T_w * Q_w$$

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 الدفق للخليط والمجرى المائى والسائل النهائى على الترتيب.

وعليه فيمكن إيجاد T_m لتساوى

$$T_m = [T_r * Q_r + T_w * Q_w] / [Q_r + Q_w]$$

$$T_m = [١ \times ٢٨ + ٨ \times ٢٠] \div [١ + ٨] = ٢١ ° م .$$

٣- أوجد كمية الأكسجين المذاب للخليط من المعادلة

$$DO_m = [DO_r * Q_r + DO_w * Q_w] / [Q_r + Q_w]$$

• أوجد درجة تركيز الأكسجين عند التشبع لدرجة حرارة الخليط (٢٠ ° م) من جدول (ب) من الملاحق بافتراض أن تركيز الكلور = صفر: C_s = ٩,٢ ملجم/ لتر .

• أوجد درجة تركيز الأكسجين فى ماء المجرى المائى = (٩٠ ÷ ١٠٠)×٩,٢ = ٨,٢٨ ملجم/ لتر .

• أوجد كمية الأكسجين المذاب فى الخليط

DO_m = [١×١ + ٨×٨,٢٨] ÷ [٨ + ١] = ٧,٥ ملجم/ لتر .

٤- أوجد الحاجة الحيا كيميائية للأكسجين للخليط من المعادلة

$$BOD_m = [BOD_r*Q_r + BOD_w*Q_w]/[Q_r + Q_w]$$

BOD_m = [١×٤٠ + ٢×٨] ÷ [١ + ٨] = L = ٦,٢ ملجم/ لتر .

٥- أوجد درجة تركيز تشبع الأكسجين فى المجرى المائى على درجة حرارة ٢١ ° م مباشرة أدنى المصب (من جدول ب) = ٩ ملجم/ لتر .

أوجد نقصان الأكسجين مباشرة أدنى المجرى المائى من المعادلة :

OX_o = درجة تركيز تشبع الأكسجين - درجة تركيز الأكسجين للخليط

OX_o = ٩ - ٧,٥ = ١,٥ ملجم/ لتر .

٦- أوجد الزمن الحرج باستخدام المعادلة

$$t_c = [1/(k" - k')]*\ln\{(k"/k')*[1 - \{(OX_o/L_o)*(k" - k')/k'\}]\}$$

أ) أوجد ثابت معدل التفاعل لدرجة حرارة ٢١ ° م من المعادلة

$$(k')_T = (k')_{20}*(T_c)^{T-20}$$

$(k')_{٢١}$ = ٠,٤×(١,٠٤٧)$^{٢١-٢٠}$ = ٠,٤٢ (على اليوم) .

ب) أوجد ثابت الإنتشار الجزئي للأكسجين لدرجة حرارة ٢١ ° م من المعادلة

$$(C_{MD})_T = 1.76*10^{-4}*(1.037)^{T-20}$$

$(C_{MD})_{٢١}$ = ١,٧٦×١٠$^{-٤}$×(١,٠٣٧)$^{٢١-٢٠}$ = ١,٨٢٥×١٠$^{-٤}$ م^٢/يوم .

وبذا يمكن إيجاد ثابت إعادة التهوية من المعادلة

$$k" = 294*(C_{MD}*v)^{0.5}/ h^{1.5}$$

$k"$ = ٢٩٤×(١,٨٢٥×١٠$^{-٤}$×٠,٢) ^{٠,٥} ÷ ١,٩ ^{١,٥} = ٠,٦٨ (على يوم) .

ج) أوجد الحاجة الحيا كيميائية للأكسجين النهائى لمدة خمسة أيام على درجة حرارة ٢١ ° م من المعادلة

$$L_o = L/(1 - e^{-k't})$$

وبما أن L = ٦,٢ ملجم/ لتر، k' = ٠,٤٢ (على يوم) لدرجة حرارة ٢١ ° م فيمكن إيجاد L_o ليساوى

L_o = ٦,٢ ÷ (١ - e$^{-٥\times٠,٤٢}$) = ٧,٤ ملجم/ لتر.

وبذا يمكن إيجاد الزمن الحرج من المعادلة

t_c = ١ ÷ (٠,٤٢ - ٠,٦٨)×لن [(٠,٦٨ ÷ ٠,٤٢)×{١ - [(٧,٤÷١,٥)×(٠,٤٢-٠,٦٨) ÷ ٠,٤٢]}]

= ١,٣٤ يوم .

٧- أوجد المسافة الحرجة من المعادلة :

$$X_c = t_c * v$$

X_c = ١, ٣٤ × ٢ ,٠ × ٦٠ × ٦٠ × ٢٤ = ٢٣, ٢ كيلو متر .

٨- أوجد أقل كمية أكسجين في النهر أدنى مصب السائل النهائي من المعادلة :

$$OX_t = \{[k'*L_o/(k''-k')] * [e^{-k't}]\} + (OXo*e^{-k''t})$$

OX_t = [(٠, ٤٢ - ٠, ٦٨) ÷ ٠, ٤٢) ٧, ٤ × (e$^{-٠,٤٢}$ - e$^{-٠,٣٤}$) - ٥, ١ × e$^{-٠,٦٨}$] + (١, ٣٤ × e$^{-٠,٦٨}$) ١, ٣٤

= ٢, ٦ ملجم / لتر .

وعليه يمكن ايجاد أقل تركيز أكسجين :

أقل تركيز أكسجين = ٩ - ٢, ٦ = ٦, ٤ ملجم / لتر .

٧-٤ تلوث البيئة البحرية (*){٢٨،٢٩،٣٠،٣١،٣٢،٣٣،٣٤،٣٥،٣٧،٣٨} :

إن البيئة البحرية هى مصدر خير ورزق للعديد من الدول لا سيما تلك المطلة عليها والمجاورة لها. ويمكن تلخيص أهمية البحار والمسطحات المائية فيما يلى :

أ - مصدر هام وحيوى للثروة السمكية ومن ثم الحصول على البروتين اللازم لبناء الجسم .

ب - تفى بإحتياجات المناطق المجاورة بمياه الشرب والزراعة وما ماثلها من الإستهلاكات والإستخدامات وذلك بعد إجراء عمليات التحلية و التنقية الملائمة .

ج - مناطق ترفيه وإستجمام وسياحة .

د - من أهم مصادر الموارد الطبيعية مثل الماغنيسيوم والبوتاسيوم وغيرها .

هـ - تقوم بجانبها الصناعات الأنتاجية 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} التى تم عرضها فى مؤتمر حماية البيئة البحرية الذى أقامته كلية الشريعة والقانون بجامعة الأمارات العربية المتحدة) .

غير أن البحار والمسطحات المائية قد أعتبرت (ولسنوات غير بعيدة) مستودعات لانهائية للتخلص من الفضلات والمخلفات بجميع صورها. وقد تغير واقع هذا المعتقد فى الوقت الراهن بفضل التقدم العلمى والذى أشار الى أن البيئة البحرية يسهل التأثر عليها ومن ثم تدهورها. إن أى خارطة مبسطة للمسطحات المائية الضخمة تشير الى وجود منطقتين كبيرتين هما ما يعرفان بالجناح 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 للقفل تجاه نشاط الصيد، وربما حد من الإستخدام الأمثل لما ورد ذكره عاليه. كما يمكن أيضا تقسيم المحيط الى قسمين رئيسين يضمان:- منطقة الساحل (Coastal ocean) والمياه المكشوفة (Open ocean). تمثل المنطقة الأولى ما يقارب العشرة بالمائة من المساحة الكلية للمحيط بما فيها من خلجان و بحيرات ودلتا الأنهار. وتتأثر خصائص هذه المنطقة بما حولها من يابسة وقعر البحر. غير أن هذه المنطقة تستقبل الملوثات مباشرة من مصادر التلوث المتعددة ، الشئ الذى يجعل من هذه المشارب مناطق نمو وتفاعلات حيوية ثرة : من إنتاج للمواد العضوية، عبورا للتمثيل الضوئى للنباتات والتى تمثل أسباب وأسس السلسلة الغذائية المنتهية بالأسماك والطيور والثديات البحرية. أما المياه المكشوفة فتمثل 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 ، الشيء 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 مينماتا من جراء التلوث بميثيل الزئبق ، ومرض يوشو (Yusho) بالتسمم بمواد البوليفينيل المكلورة (Polychlorinated biphenyls, PCB) ، ومرض آيتى-آيتى (Itai-Itai) من جراء التسمم بالكادميوم. أو كما حدث فى سواحل ومرافئ 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 البحرى :

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. و يمكن 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 والتى تجد طريقها عبر شرب الماء ، أو أكل الطعام ، أو إستنشاق الهواء ، أو بكل هذه العوامل مجتمعة .

التلوث الكيميائي :

قد يؤدى هذا التلوث الى إزدياد عوامل التفتيت والتحات للمنشآت الأقتصادية والتنموية، وقتل الحياة البحرية ، والدخول فى السلسلة الغذائية . ومثال لذلك موضوع خليج مينامانا باليابان ودخول الزئبق فى السلسلة الغذائية عند إستهلاك الأهالى للأسماك والأصداف الملوثة بميثيل الزئبق (Methyl mercury)، و التى بدأت فى أواخر عام ١٩٣٠م عندما بدأت شركة شيسو (Chisso) الكيميائية بإنتاج كلوريد الفينيل (Vinylchloride) والفورمالدهيد (Formaldehyde) في مصانعها بالخليج قيد الذكر. وقد كانت الشركة تتخلص من الفضلات الناتجة منها والحاوية على الزئبق إلى الخليج المجاور. و بدأت الأسماك والأصداف بتركيز الزئبق في شكل كلوريد ميثيل الزئبق (Methyl mercury chloride) . وعندما أكل الصيادون وأسرهم والأهالي أسماك المنطقة برز وباء تسمم وأمراض الأعصاب (Neurological poisoning) . وظهرت أولى الحالات في عام ١٩٥٦ أي بعد ما يربو على خمسة وعشرون عاما من بداية دخول الفضلات والأوساخ للمياه .

و يوضح الجدول (٧) سمية بعض المركبات الكيمائية للأسماك وغذائها . والمعروف بصفة عامة أن الأسماك والأحياء المائية تنتعش عندما تتراوح قيمة الرقم الهايدروجيني (pH) بين ٦,٥ - ٨,٤ ، وإذا قلت قيمته عن ٥ أو زادت عن ٩ تسبب هذا في قتل الأسماك ، وأن أي تغيير في قيمة الرقم الهايدروجيني عن القيمة في المتوسط الذي إعتادت الأسماك العيش فيه، قد يتسبب في فناء الأسماك، كما و أن تركيب الجهاز التنفسي للأسماك كثير الحساسية للأحماض. وتوجد عوامل أخرى في 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 الهايدروجينى (pH) عن ٩ تتلف الجهاز التنفسي للأسماك. وعلى ذلك ينبغى عدم صرف تلك المخلفات بدون معالجة لضبط قيمة الرقم الهايدروجينى بحيث تتناسب مع الوسط الذى تعيش فيه الأسماك .

جدول (٧)
سمية بعض المركبات الكيميائية للأسماك وغذائها

إسم المادة	درجة تركيز المادة (جزء فى المليون)	الكائن الحى الذى أجرى عليه الإختبار	التأثير
حمض الكروميك	٠,٣ كروم	Daphnia magma	سام
حمض الهيدروكلوريك	HCl ٦٢	Daphnia magma	سام
حمض النتريك	HNO_3 ١٠٧	Daphnia magma	سام
حمض الكبريتيك	H_2SO_4 ٨٨	Daphnia magma	سام
الأحماض القلوية	الرقم الهايدروجينى أقل من ٥	سمك مختلف	سام
كلوريد الكادميوم	٠,١ كادميوم	Gold fish	يقتل خلال ٨-١٨ ساعة
كبريتات الكادميوم	٥١٣ كادميوم	المنوة (سمك أوروبى صغير) Minnows	تقتل خلال ثلاث ساعات
كبريتات النحاس	٠,٨ نحاس	Gold fish	يقتل خلال ٢٤-٩٦ ساعة
كبريتات النحاس	٠,٠٤ نحاس	Daphnia magma	سام
كرومات الصوديوم	٠,٠١ كروم	Daphnia magma	سام
كرومات (أيون)	٠,٠١ كروم	نبيت صغير Microflora	سام
كلوريد الحديديك	٣٤ حديد	سمك ذهبى Gold fish	يقتل خلال ١-٥ر١ ساعة
كبريتات الخارصين	٢٥ خارصين	التروتة (سمك السلمون المرقط) Trout	يقتل خلال ١٣٣ ساعة
سيانيد البوتاسيوم	٠,٠٤ - ٠,١٢ سيانيد	سمك ذهبى Gold fish	يقتل خلال فترة ٣ - ٤ أيام
أمونيا	NH_3 ٢ - ٧	سمك مختلف	قاتل
كبريتيد الهايدروجين	H_2S ١٠	سمك ذهبى Gold fish	يقتل خلال ٩٩ ساعة
أيون الكبريتيد	٣ كبريت	التروتة Trout	يقتل خلال ٥ دقائق
هيدروكسيد الصوديوم	NaOH ١٥٦	Daphnia magma	سام
ثلاثي فوسفات الصوديوم	NA_3PO_4 ٥٢	Daphnia magma	سام
فينول	٠,٠٠٥ فينول	سمك مختلف	سام

تحدد الحياة البحرية مستقبل المواد التى تأتى إليها من اليابسة . وبعض الكائنات لها مقدرة فائقة لتركيز المواد المذابة فى مياه البحر حتى ولو كانت درجة تركيز هذه المواد صغيرة جدا . مثلا تقوم الزقيات (Tunicates) - طائفة من الحيوانات البحرية - بتركيز عنصر الفاناديوم فى دمائها. كما وأن بعض

الأسماك لها المقدرة على تركيز مادة د.د.ت. (DDT) ومشتقاتها فى أجزاء جسمها . وعليه فإن الكائنات البحرية تعمل أحيانا لإسترجاع ملوثات الإنسان إليه عبر السلسلة الغذائية . وهنالك أيضا التلوث بواسطة المعادن الثقيلة من جراء الصناعة أو عبر الأنهار والتخلص من الفضلات السائلة والصلبة. وتوجد الفلزات الثقيلة مثل الزئبق والرصاص والكادميوم والخارصين فى ثلاثة صور فى 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 متداخلا أو متنافرا) .
- 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 الحقبة 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) ؛ ولائمة 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 {٢٨،٢٩،٣٠،٣١،٣٢،٣٣،٣٤،٣٥،٣٧،٣٨} :

- 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 للتحول 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 هنالك 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 الكيمائية السامة الموجودة فى المبيدات الحشرية وخاصة الهايدروكربونات المكلورة فى المناطق التى تم رشها أو عند معالجة بذور النبات بالمبيدات. وقد يؤدى هذا التلوث إلى قتل الطيور وبعض الأحياء المائية. وخطر الطيور ربما إنتشر بواسطتها إلى مناطق أخرى عبر إلتفاف الملوثات بأجسامها أوعندما يتم إصطيادها بأكلات 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 سوائل ساخنة من المصانع ومحطات توليد الكهرباء والطاقة وما ماثلها من منشآت ، الشىء 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 نتنة ومياه عكرة وهلم جرا .

التلوث الإشعاعي :

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 الهوائي :

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 آن الوقت للعاملين فى جهات الأرصاد الجوى لإدخال مقاييس الملوثات الهوائية فى حساباتهم ومناطق رصدهم والمحطات التى تقوم بجمع المعلومات على المستويين العام والخاص .

التلوث الزيتي أو النفطي :

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 .

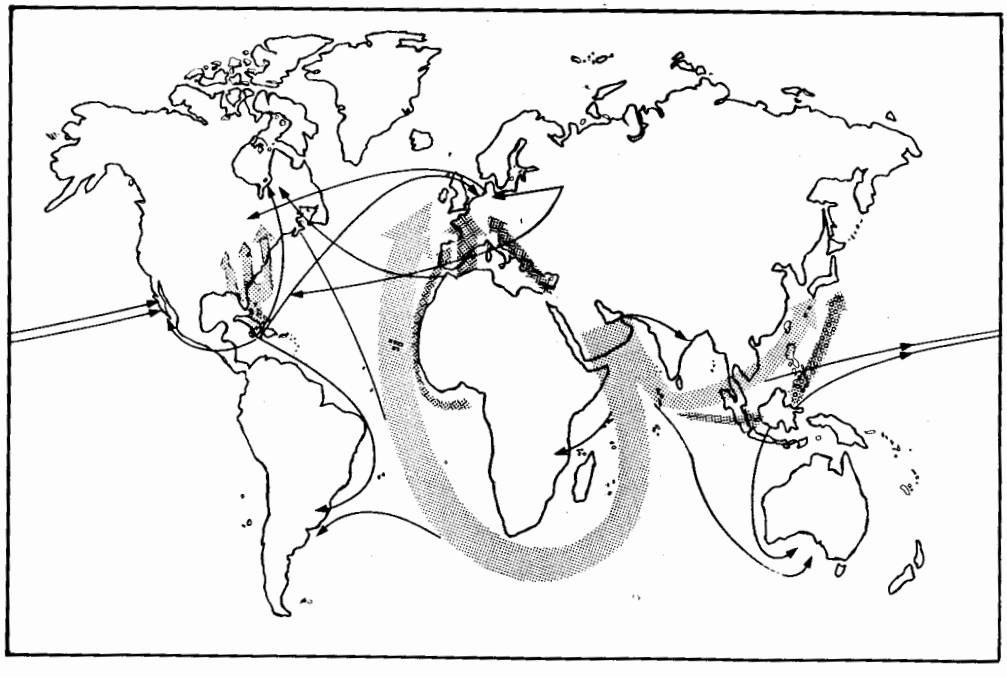
يختلف الزيت الخام من مصادره المختلفة فى خصائصه ومكوناته الكيميائية ، كما وأن سمية الأجزاء المختلفة من الزيت الخام تختلف فيما بينها. و يسود الإعتقاد بأن درجة السمية تزداد فى سلسلة من البارفين ثم النفثالين والأوليفين ثم المواد الأروماتية. وفى أى مجموعة من الهيدروكربونات تزداد السمية بصغر حجم الجزيئات، مثلا الأوكتين والديكين أكثر سمية من غيرها، كما و أن الدودكين والبرفينات العليا تنعدم 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 السالمون يتعرف على موطنه فى الأنهار بواسطة خاصة الشم (أو مذاق) الماء بفعل الهايدروكربونات الموجودة فى الماء لحد كبير. وإذا زادت هذه المركبات (من جراء التلوث الزيتى مثلا) فيربك هذا الوضع أسماك السالمون 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 في غذائها على الغوص والصيد، وعندما تغوص عبر بقعة زيتية تتشرب بالزيت، الذي ربما تسبب جزئيا في فنائها أو إلحاق أضرار بريشها. كما حدث في كارثة توري كانيون (Torrey Canyon) في عام ١٩٦٧م عندما تحطمت ناقلة النفط الخام عبر الصخور المغطاة في الحيد المرجاني على القنال الإنجليزي، ومن ثم تمخض عن ذلك تلوث أكثر على الساحلين الفرنسي والإنجليزي . وكما حدث من تلوث مياه الخليج العربي أثناء حرب ناقلات النفط بين العراق وإيران. يوضح شكل (٩) أهم تحركات النفط والبترول عبر البحار .

شكل (٩)

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 الهايدروكربونات المنتشرة من جراء التلوث الزيتي. ويتسبب تلوث منطقة ما بالنفط والبقع الزيتية في مخاطر إقتصادية لصائدي 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 التى تتغذى عليها الأسماك والأحياء البحرية الدقيقة ، وذلك لأن الهيدروكربونات المذابة فى الماء تقتل مباشرة الحيوانات اللاصقة فى 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 الهايدروكربونات الأروماتية متعددة الحلقات (Polycyclic Aromatic hydrocarbons) الموجودة بالبترول .

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

يبين الجدول (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 الإحتياط كما و أنه يحتاج إلى دراسة مقارنة.
+	مشكوك فيه	يمثل حالة خاصة لاتحتاج إلى تحديد أو منع.
-	ضعيف	لايحتاج 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

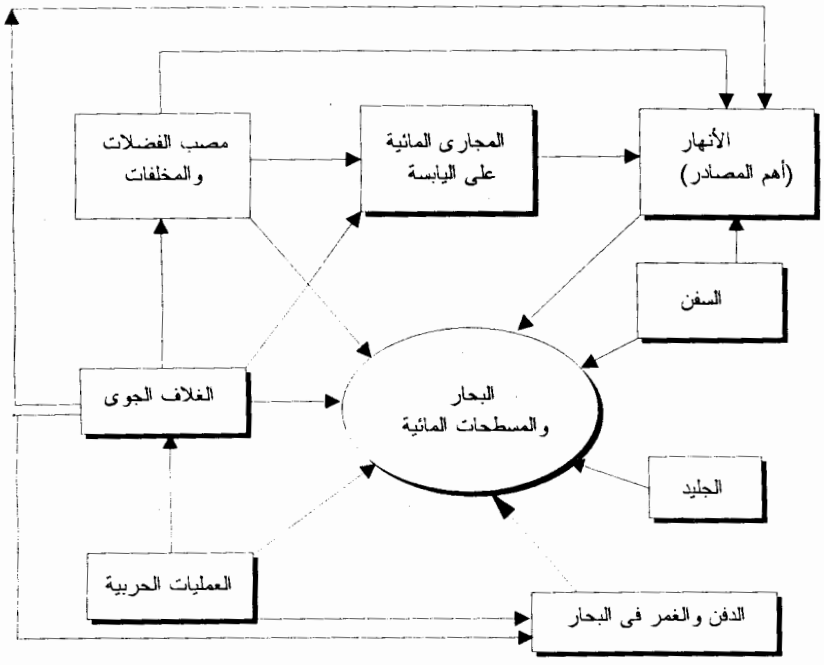
- تحديد مصادر تلوث المسطحات المائية والعلاقة فيما بينهما والتداخل المنظور والمستتر .
- نظم وأساليب إستخدام البحار .
- طرق جمع المعلومات .
- إختيـــار نقاط تجميع المعلومـــات وتوزيعها طبقا لجغرافية المنطقة وسهولة أخذ العينة وربما المدى والمسافة من مصدر التلوث .
- النواحى الإقتصادية المتعلقة بجمع وترحيل 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 المعلومـــات والحقائق العلمية والتجـارب لأسباب إقتصادية أو عسكرية أو لضمان عدم تفشى أسرار المهنة أو الإحتكار أو غيره من عوامـــل 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 .

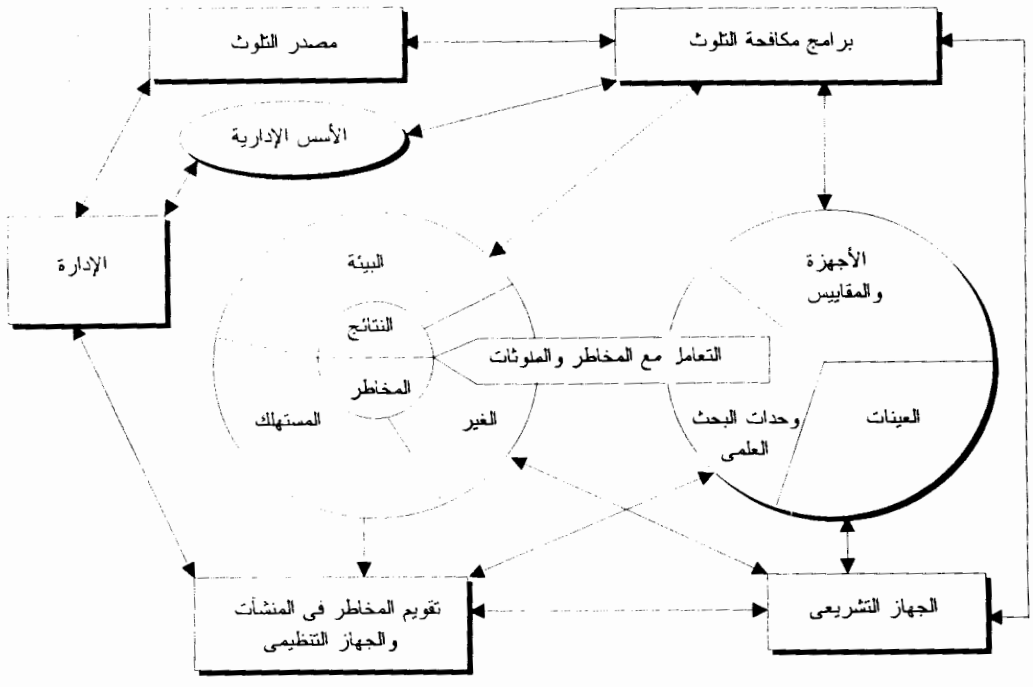
إن التلوث بين العديد من الدول المجاورة للبحار والمسطحات المائية ، أو عبور التلـوث لمنطقـة أخـرى، ربما أدى الى تفـاقم المخـاطر والكـوارث الناجمـة وربمـا أدى الـى حـدوث أمـراض لـم تعـرف مـن قبـل. ومعالجة مثل هذه المخاطر تأخذ من الحيز الزمنـى الشـئ الكثير وذلـك لمعرفـة مصـدر التلـوث، وإيجـاد علاقة بين العنصر الملوث الجالب للمـرض أو الكارثـة، ثـم الأثـر فـى المـدى البعيـد ، ومحاسبة الملـوث

والمصدر المنتج للتلوث. وهذا الأخير يحاول جهد المستطاع حجب المعلومة وإبعاد الشبهة أو الجنحة عنه، أوتأخير 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

هنالك أوجه عديدة لإستخدام المياه ذات المعالجة الجيدة إذ يمكن استخدامها مثلا فى محطات توليد الطاقة، وتبريد المياه فى مجال الصناعة، وزيادة المخزون الجوفى، واستخدامها فى مناطق الترفيه والإستحمام والسباحة، ومكافحة الحرائق والكثير من الأوجه الصناعية بالإضافة الى الرى وغيرها من أوجه وضروب الإستخدام المناسبة خاصة فى المناطق التى 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 .

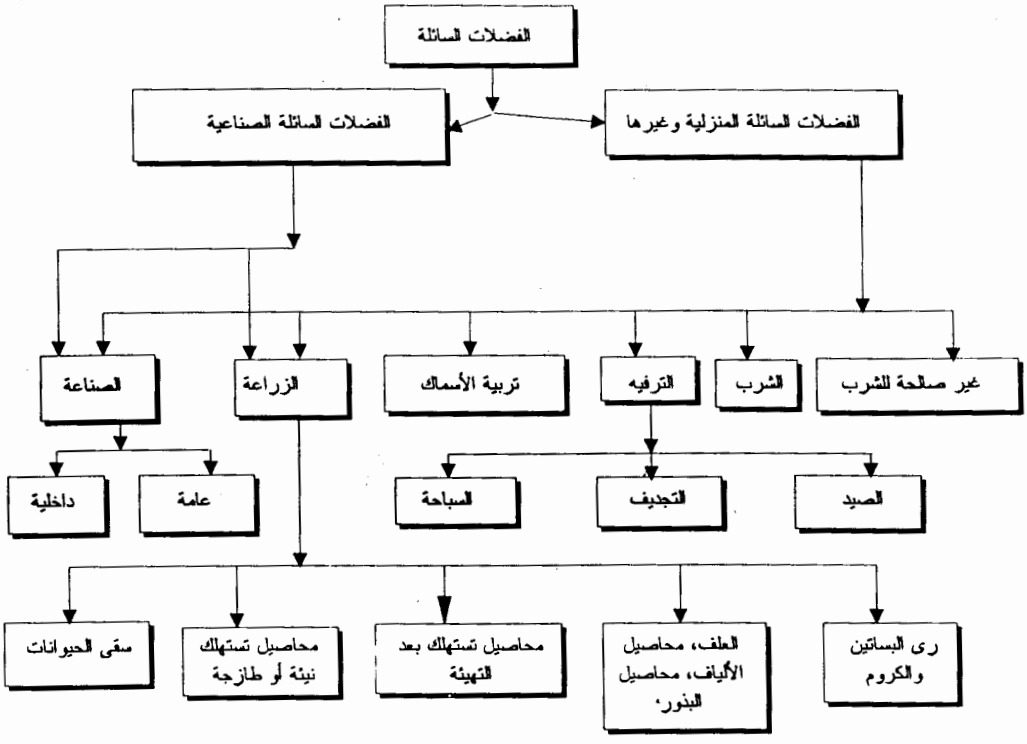
ومن محاسن استخدام المياه المعالجة ما يلى :

١- إعادة دوران المياه دونما اللجوء الى محاولة إتمام التنقية الجيدة وذلك بغية تقليل التكاليف .
٢- الحصـــول على بعض من مواد التغذية ومحسنات التربة والأسمدة من سائل الصرف الصحى (مثل النتروجين والفسفور والبوتاسيوم) كما وتزيد سعة التربة فى تخزين المياه .
٣- تقليل صرف الملوثات للموارد المائية .
٤- المحافظة على كمية مياه الموارد المائية وترشيد إستخدامها للمضارب الهامة .
٥- تقنين وترشيد الإستخدام خاصة فى المناطق الجافة .
٦- استخدام السائل النهائى المعالج للإستعمالات التى لا تتطلب خواص معينة ذات جودة عالية .
٧- لزيـــادة الغطاء النبـــاتى وتغطية إحتياجات أخشاب الوقود للطبخ والتدفئة (خاصة للمناطق النامية) والمحميات والأحزمة الخضراء حول المدن وللزينة .
٨- لزيادة المخزون الجوفى .

وهنالك العديد من العوامل التى تؤثر على استعمال المياه المعالجة ومن هذه العوامل ما يتعلق بمكوناتها وخواصها، ومنها ما يتعلق بالمناحى الجغرافية والإقتصادية والبيئية والمجتمعية ومدى قبول جمهور المستهلك لهذا النوع من الإستخدام بناءا على التعاليم الدينية والتقاليد والموروثات السائدة بالمنطقة وضروب استخدام المياه المعالجة فى المشروعات المنفذة أو قيد التنفيذ بالمنطقة. ومن هذه الإستخدامات ما يلى : (أنظر شكل ١٣) .

أ) الإستخدام الزراعى :

وهنا يتم استخدام المياه المعالجة لرى العديد من المزروعات، إعتمادا على أسلوب الرى المتبع، ونوع وكمية وخواص المزروعات، والغطاء النباتى، وطبغرافية وجغرافية وهايدروليكية ومناخ المنطقة، واستخدامات الأرض ، ووجود مواد التغذية النباتية فى سائل الصرف الصحى ، وبعد منسوب المياه الجوفية، وتكلفة المعالجة والضخ والتوزيع ، والعوامل والمخاطر الصحية التى ربما نجمت من استخدام المياه المعالجة . وعادة تحتوى مياه الصرف الصحى على مواد تغذية نباتية محتوية على النتروجين



شكل (١٢)
أنماط إستخدام الفضلات السائلة {٢٤}

والفسفور والبوتاسيوم وبعض العناصر المعدنية. غير أن مياه الصرف الصحى قد تحمل معها مواد كيميائية ضارة أو جراثيم أمراض مما يحد من استخدامها للمزروعات أو تفرض تحديد نوع النباتات التى يمكن ريها بتلك المياه .

إن التخلص من الفضلات السائلة غير المعالجة (أو تلك التى خضعت لمعالجة جزئية) قد يأتى بمشاكل التلوث على نقاط التخلص الواقعة على الأرض أوالمياه السطحية أو المياه الجوفية. غير أن التخطيط الجيد والسليم لإستخدام الفضلات السائلة فى 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 فى المياه الجوفية) المناحى البيئية ، خاصة فى المناطق التى تستهلك فيها المياه الجوفية بصورة كبرى ، أو تلك التى تعانى من مشاكل ارتفاع الملوحة مثل الذى يحدث فى 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، أوتستخدم 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 الجوهر .

جـ) استخدام عام وتجارى :

وهذا الإستخدام يشمل استهلاك المياه فى المتاجر والمنشآت والمكاتب والمؤسسات والمعاهد والمدارس والفنادق 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 بالمناحى الإقتصادية والبيئية والجغرافية والسياسية وموقع المنشآت وأساليب إدارة المياه ومناحى التقانة 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، وتعريفة المياه مقارنة بمتوسط الدخل

القومى ودخل الفرد، والعوامل المناخية المختلفة، ونوع وأنماط التوزيع، وعدد ونوع التركيبات الداخلية بالمنزل، والتقاليد والموروثات والمعتقدات والمناحى 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 وهنالك 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 البيئى 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. وهنالك إمكانية إستخدام الماء المعالج فى الإستعمالات المنزلية المتعلقة بنظافة المرحاض 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 المبانى 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، أولحفظ المياه السطحية، أولزيادة كمية المياه الجوفية. وهنالك 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 في الخزان الجوفي أو في السائل النهائي المعالج أو من وجود المواد العالقة في مياه التغذية والتي تفصل وتترسب متراكمة في 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 في 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 الأولى (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 في التربة الرملية والتربة الناعمة، غير أنها تتحرك لمسافات أكبر في تربة الحصى والصخور المتصدعة {٢٣} .

ز) الإستهلاك الصناعي :

يمكن إستخدام المياه الراجعة في المنشآت الصناعية. ومن العوامل المؤثرة في هذا النمط من الإستهلاك: نوع وطبيعة وحجم المنشأة الصناعية، والوحدات الصناعية المستخدمة، والزيادة فى الإنتاج والصناعة، والقوانين والمعايير المتعلقة بخواص ونوع الماء الخام الداخل 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 بالنوعية كثيرا {٥، ٢١} .

ح) إستخدام السائل النهائى في إستصلاح الأراضي والزينة والترفيه :

من الممكن إستخدام السائل النهائى 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 النهائى، وتعرض الجمهور لأى مخاطر صحية. وعند إعادة إستخدام المياه للسباحة فهنالك إحتمالات 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 المناحى الصحية عند الإستخدام طبقا للمعايير والقوانين المقيدة لهم، وطبقا لتجديد المياه أو معالجتها، والعوامل الإقتصادية المؤثرة. كما ويمكن استخدام السائل النهائى فى زراعة الغابات، ويمكن أيضا استخدام الحمأة فى عمليات تسميد الأراضى التى يمكن إستصلاحها للغابات .

إن إستخدام الفضلات السائلة في إستصلاح الأراضي وزراعة الغابات حول المدن الكبيرة يفيد البيئة المحيطة خاصة في المناطق النامية حيث تعاني المناطق حول المدن من القطع الجائر للغابات بغرض الحصول على الطاقة والوقود كما وأن الحزام الشجري يساعد في 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 والحيلولة 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 لنتائج سريعة أو بطيئة الحدوث .

إن المعايير اللازمة لتحديد أو التخلص من التلوث تتخذ على أسس إجتماعية وقانونية وهى تتاثر فيما بينها بصورة كبيرة . والقيود اللازمة لذلك تهدف أساسا إلى الآتى :-

- تجنب أى مخاطر واضحة لصحة الإنسان والحيوان .
- منع أو تقليل التلوث البيئى .
- منع توالد أى مؤثر ضار بسكان المنطقة المجاورة للملوثات أو النشاط التلوثى .
- مواكبة التشريعات والقوانين والأعراف والتقاليد السائدة بالمنطقة .

عند وضع التشريع للمواد والملوثات الضارة لابد من ملاحظة :-

- درجة تركيز الملوثات فى أعضاء الأحياء المائية .
- دخول الأحياء المائية كمواد 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 البحرى أو التعرض لميـــاه 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 .
-الخـــواص الطبيعية والكيمائية والحيوية للملوثات (ضغط البخار، الإتزان عند التعرض للأشعة فوق البنفسجية والضوء، سهولة التفتيت 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 النواحى الإقتصادية المتاحة، وما يلزم من إستخدام لتكنولوجيا تتبسط أو تتعقد طبقا لمستوى المحافظة المناط به مجاراة التشريع للحيد من التأثير السلبى على المجتمع والبيئة محليا وإقليميا ودوليا .

وللحيلولـــة دونمـــا تلوث البحـــار أو تقليل الآثـــار والمخاطر التى تنبثق من جراء صب الملوثات بها لا بد من :-

- تحديـد عمق الموضوع عن طـــريق المؤتمرات والندوات العلمية المختصة على المستويات المحلية والأقليمية 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 .
- وضـع التشريعات اللازمة للحد من مدى تفاقم أو حدوث أو إستشراء التلوث والإصرار على تنفيذ هذه التشريعات .

أما فيما يتعلق بالموضوع الأخير فلابد من وضع مؤشرات لنوع وتقسيم التشريعات المتطلبة والتى يمكن تقسيمها إلى ثلاثة أقسام رئيسية {٢٨،٢٩،٣٠،٣١،٣٢،٣٣،٣٤،٣٥،٣٧،٣٨} :-

(أ) القانون الدولى لحماية البحار :-

فى مثل هذه القوانين العامة هنالك عدة مؤثرات تلعب دورا كبيرا فى تحديدها وتحييدها ومنها :

- حرية إستخدام البحار .
- الحقوق المكتسبة للمياه الإقليمية وانتهاكها .
- المعايير العامـــــة للقانون الدولى للأنهـــــار (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 التطبيقى والمنطقى والمؤسس المطلوب والمنشود عند حدوث التلوث .
  - المصالح الفردية والعالمية وتداخلها طبقا للمعايير الإجتماعية وغيرها .
- حق الدفاع عن النفس وحق البقاء والوجود والحوجة .

(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 زيتى .
- تلوث كيميائى بالأوساخ والفضلات وغيرها من مواد سامة و ضارة .
- تلوث نووى من السفن ذات المفاعلات النووية ، أو تلك التى 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 يلى :-

١ – التضامن ولتعامل المشترك عند حوادث التلوث الزيتى .
٢ – التلوث من جراء المواد المشعة .
٣ – دفن وردم الملوثات فى البحار .
٤ – التلوث من جراء مصادر ذات أصول صادرة من اليابسة .
٥ – التلوث بفعل العمليات والإستكشافات 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 علي المستوى المحلي :-

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 :-

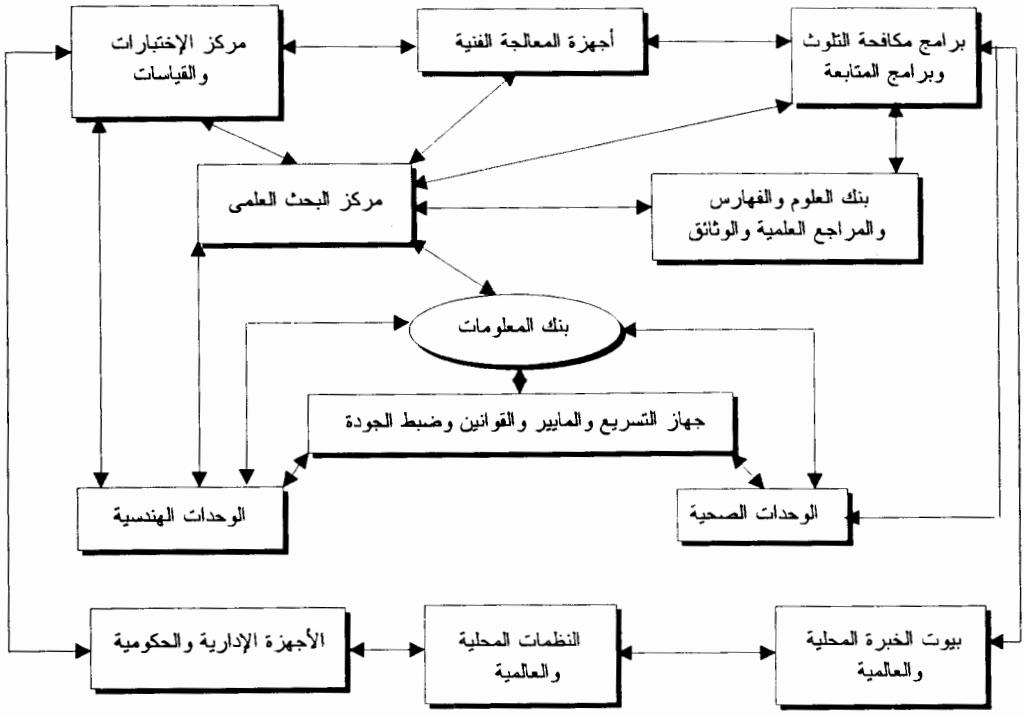
١ – تشريعات عامة لحماية البيئة المحلية .
٢ – تشريعات رصد التلوث الزيتى أو غير الزيتى من السفن وماخرات البحار .
٣ – تشريعات دفن الملوثات المشعة أو المواد السامة الأخرى فى البحار .
٤ – تشريعات للتلوث الناجم من الغلاف القارى وقعر البحار من جراء المناجم والإستكشافات والعمليات المطردة بالمنطقة .
٥ – تشريعات للتلوث من مواد أخرى من اليابسة .
٦ – تشريعات لأى 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 .
- التنمة المحلية والأهداف العامة المنوطة 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 جنبا 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 البكترولوجية تشكل الخطر الحقيقي للصحة العامة. وقد حدد في بعض المعايير لبعض الدول قيمة كائنات القولونيات Coliform organisms بحيث أن لا تتجاوز ٢٣ أو ٢,٢ قولونيات على ١٠٠ مللتر، وفى بعض المعايير الأخرى حدد رقم القولونيات الكلية فى حدود ١٠٠ كائن على ١٠٠ مللتر عند إستخدام المياه لري المحاصيل في نظم الري غير المحددة Unrestricted irrigation . (كائنات القولونيات هي فصيلة من البكتريا في السبيل المعوى لذوات الثدي وهي تنتمي إلى الإمعائيات ، 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 النهائى من برك الموازنة لا يحوى جراثيم ضارة، ويمكن إستخدامه لرى المحاصيل وفى الحياة المائية، إلا إذا كانت الأرض غير متاحة للإستغلال أو غالية الثمن، أو عندما لا تسمح الظروف المحلية باستخدام برك الموازنة. والغرض من وضع المعايير البكتريولوجية هو الحد من الخطر الصحى المحتمل عند تواجد الكائنات البرازية، ووضع المعيار لتحديد أعداد البكتريا التى يمكن إكتشافها بالفحص الدورى أو التى يمكن أن توجد فى نواتج محطة المعالجة. وفى بعض الأحوال وضعت معايير تقارب معايير المياه المستخدمة للشرب. غير أن وجود الكائنات البرازية (هى كائنات عادة تعيش فى أمعاء الإنسان وبعض ذوات الدم الحار بدون أن تسبب أى مرض)، أو حتى الجراثيم فى ماء الصرف الصحى لا تعنى إمكانية حدوث حالات مرض جديدة ، لأن حدوث حالات المرض الأخرى تحتاج الى عوامل أخرى متداخلة تعتمد على الأحوال المحلية. وفى مجال الوبائيات ولصون الصحة العامة يبحث عن حالات الأمراض التى يمكن أن تعزى لإستخدام ماء الصرف الصحى وليس فقط الى وجود جراثيم الأمراض. وقد أشارت البحوث الى أهمية وضع معايير لتلك الأمراض التى تنجم من التعرض لماء الصرف الصحى، خاصة تلك التى لا تكتشف بالتقانات العادية المتبعة فى التحاليل البكتريولوجية التقليدية للفضلات السائلة، ولا تعمل وحدات المعالجة على التخلص



شكل (١٣)

أسلوب التعاون بين الجهات المختلفة للحفاظ على البيئة خالية من التلوث

منها، مثل بيض الديدان، والتى تأتى بأمراض الديدان خاصة لمشغلى المحطات والعاملين بها والمتعرضين للمزروعات المروية بسائل الصرف الصحى .

من المشاكل المحتملة عند استخدام الفضلات السائلة للرى أو عند استخدام الحمأة لإستصلاح الأراضى هى مشاكل تلوث المياه الجوفية، مثلا بتراكم النترات. وتعتمد درجة التلوث بالنترات على الظروف المحلية ومعدل استخدام المياه وطبيعة التربة. فمثلا عند وجود منطقة متجانسة غير مشبعة فوق الطبقة المشبعة من الخزان الجوفى فإنها تعمل على إزالة معظم الملوثات مما يقلل كثيرا من إحتمالات 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 بالنترات 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 والتى 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 الليمون 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 أستخدمت 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 (الصفر الخراطينى) 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 والتى يمكن أن تنتشر عن طريق الرى بالفضلات السائلة الخام غير المعالجة أو تلك التى لم تتم معالجتها جيدا. كما وقد تحتوى الفضلات السائلة على بيض الديدان مثل الدودة الشريطية العزلاء Tapeworm *Taenia saginata* (من البقر) والشريطية الوحيدة *T. solium* (من الخنزير)، ولإنتشارها 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 نواحى الرى بالرش (الترشاش) من إحتمال الإصابة بأمراض فيروسية وبكتيرية. ويعتبر العلف من أهم طرق الإنتقال فى المناطق التى يتم ريها بالفضلات السائلة .

ويختلف الزمن الذى يمكن أن تعيشه الجراثيم البرازية فى التربة وفى المحصول بإختلاف عوامل المناخ وطرق الكشف والتحديد. ويبين الجدول (٩) زمن العيش لبعض الجراثيم البرازية فى المناطق الدافئة والتى 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 دفق السائل للحقول، أو التحكم فى التعرض، وزيادة الإصحاح البيئى فى المنطقة، أو بأخذ هذه المعايير مجتمعة متى ما سمحت الظروف المحلية والإقتصادية والإجتماعية 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 فنائها في محطات المعالجة. غير أن العدد الكلي للقولونيات لايعتمد عليه كثيرا لتحديد التلوث البرازي، وذلك لأن كل القولونيات ليست من مصدر برازي خاصة في المناطق ذات المناخ الدافئ، إذ أن نسبة كبيرة منها من أصل غير برازي. كما وأن القولونيات البرازية ليست مؤشر جيد لوجود تلوث بالفيروسات أو بالبروتوزوا أو الديدان. وبيض الديدان له علاقة كبيرة وأثر عظيم على الصحة العامة والخطر من إحتمال إنتشار الأمراض عند استخدام المياه للري في المناطق الموبوءة بأمراض الديدان .

ويمكن اتباع جدول (١٠) للخطوط التوجيهية المقترحة بواسطة منظمة الصحة العالمية للخصائص الميكروبيولوجية عند استخدام المياه في الزراعة {٢٤} .

يمكن تقسيم المحاصيل على حسب تعرض المجموعة لها والدرجة الصحية المطلوبة والتقسيم المتبع في الجدول (١٠) كما يلي :

جدول (١٠)

الخطوط التوجيهية المقترحة للخواص الميكروبيولوجية عند إستخدام الفضلات السائلة لعمليات الرى الزراعى ،أ، {٢٤}

القسم	حالات إعادة الإستخدام	المجموعة المعرضة	Intestinal nematodes الدودة الممسودة المعوية (مدورة) ب) متوسط حسابى عدد البيض لكل لتر (ج)	القولونيات البرازية متوسط العدد الهندسى لكل مائة مللتر (ج)	المعالجة المتوقعة للفضلات السائلة التى تأتى بالنوعية الميكروبيولوجية المتوخاة
I	رى المحصولات التى يمكن أن تؤكل نيئة وغير مطبوخة رى الميادين الرياضية ، رى الميادين والحدائق العامة (د)	عمال ، مستهلكين ، جمهور	أقل من أو يساوى ١	أقل من أو يساوى ١٠٠٠ (د)	برك موازنة على التوالى تصمم للإيفاء بالنوعية الميكربولوجية المحددة ، أو تستخدم أنماط معالجة أخرى مكافئة
II	رى محاصيل الحبوب ، رى المحاصيل الصناعية ، رى محاصيل العلف ، رى المراعى، سقى الأشجار (و)	عمال	أقل من أو يساوى ١	لا يوجد خط توجيهى مقترح	الحفظ فى برك موازنة لمدة ٨ الى ١٠ أيام ، أو أى أسلوب مكافئ آخر لإزالة الديدان والقولونيات البرازية
III	رى المحاصيل فى مناطق معينة بالنسبة للمجموعة II عندما لا يتعرض العمال والجمهور لها	لا يوجد	لا يوجد	لا يوجد	معالجة مبدئية كما هى مطلوبة بتقانة الرى، غير أنه لا يستخدم أقل من الترسيب المبدئى

المفتاح

أ) فى حالات معينة لا بد من تغيير الخطوط التوجيهية طبقا للمعايير الوبائية والإجتماعية والثقافية والعوامل البيئية

ب) الصفر الخراطينى والديدان الشصية

ج) أثناء فترة الرى

د) بالنسبة للحدائق العامة وحدائق الفنادق من الأنسب وضع خط توجيهى أكثر صرامة مثلا أقل من أو يساوى ٢٠٠ قولونيات برازية لكل لكل ١٠٠ مللتر نسبة لملامسة الجمهور لها

و) فى حالة رى أشجار الفواكه لا بد من وقف الرى لمدة أسبوعين قبل جنى الفواكه كما ويمنع أخذ الفواكه الملقاة على الأرض. كما ويمنع إستخدام الرى بالترشاش

جدول (٩)

الزمن الذى تعيشه بعض الجراثيم البرازية فى كل من التربة والمحصول (على درجة حرارة ٢٠ - ٣٠ م) {٢٤،٢٥}

الجرثومة	فترة حياة الجرثومة	
	فى التربة	فى المحصول
أ) فيروسات		
حمات معوية	أقل من ١٠٠ (عادة أقل من ٢٠ يوما)	أقل من ٦٠ عادة أقل من ١٥ يوما)
ب) بكتريا		
الكائنات القولونية	أقل من ٧٠ (عادة أقل من ٢٠ يوما)	أقل من ٣٠ عادة أقل من ١٥ يوما)
المصنفات السلمونية	أقل من ٧٠ (عادة أقل من ٢٠ يوما)	أقل من ٣٠ عادة أقل من ١٥ يوما)
الضمة الهيضية	أقل من ٢٠ (عادة أقل من ١٠ يوما)	أقل من ٥ عادة أقل من يومين)
ج) الحيوانات الأولى		
المتحولة الحالة للنسج	أقل من ٢٠ (عادة أقل من ١٠ يوما)	أقل من ١٠ عادة أقل من يومين)
د) ديدان		
بيض الصفر الخراطينى	عدة شهور	أقل من ٦٠ عادة أقل من ٣٠ يوما)
يرقات الدودة الشصية	أقل من ٩٠ (عادة أقل من ٣٠ يوما)	أقل من ٣٠ عادة أقل من ١٠ يوما)
بيض الشريطية العزلاء	عدة شهور	أقل من ٦٠ عادة أقل من ٣٠ يوما)
بيض المسلكة الشعرية الرأس	عدة شهور	أقل من ٦٠ عادة أقل من ٣٠ يوما)

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 الذى تتخذ منه الحبال) ومحاصيل الأطعمة المعلبة ومحاصيل العلف والمراعي والأشجار. وفي بعض الحالات يمكنها أن تضم الخضروات التي لاتؤكل نيئة مثل البطاطا، أو تلك الخضروات التي تنمو أعلى سطح الأرض مثل الفلفليات، وفي هذه الأحوال لابد من التأكد من أن المحصول لايتلوث بالري بالترشاش أو بالوقوع على الأرض، كما وأن تلوث المطبخ بهذه المحاصيل قبل الطبخ لايأتي بمخاطر صحية. ولتحقيق المعايير والمواصفات والتشريعات لا بد من تكاتف وتعاون الوحدات المختلفة العاملة بالدولة لتحقيق الأهداف المنشودة وتوخى السلامة العامة والمحافظة عليها .

ويمكن تعديل جدول (١٠) بكل منطقة أو دولة لتتماشى مع الأبحاث الطبية المحلية والعادات والتقاليد والموروثات والنواحى الإجتماعية والتثقيفية والبيئية والدينية بالمنطقة. ويمكن أخذ معايير إضافية متى ما إقتضى واقع الحال ذلك. كما ويمكن إعطاء مرونة أكبر للخطوط التوجيهية فى غياب المشكلة المعنية المتعلقة بنوع معين من الجراثيم غير الموجودة بالمنطقة .

وبالنسبة لإستخدام السائل النهائى فى الحياة المائية فيمكن مثلا فى حالة برك إنتاج السمك أخذ خط توجيهى تجريبى للمتوسط الهندسى 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 توجيهى بعدم وجود عيوش بيض المثقوبات Viable trematode eggs فى الفضلات السائلة لمنع حدوث أمراض الديدان .

أما بالنسبة للحمأة الناتجة من عمليات معالجة الفضلات السائلة فعادة ما يتم التخلص منها بالطمر فى الأرض أو الترميد أو قذفها فى البحر أو بإستخدامها كسماد للإستصلاح الزراعى لفوائدها من ناحية إحتوائها على مواد التغذية ولتحسينها للتربة. ولا بد من أخذ الحيطة والحذر عند التعامل مع الحمأة لا سيما وتقوم وحدات معالجة الفضلات السائلة بإزالة بيض الديدان بواسطة الترسيب ليتراكم فى الحمأة، ويمكنه العيش فى هذه البيئة لمدة قد تصل الى العام {٢٤}، هذا بالإضافة الى تراكم الكثير من الجراثيم. ولإستخدام الحمأة بمأمن من مشاكل البيض لا بد من حفظ الحمأة لمدة أطول، فمثلا يمكن تجفيفها فى الشمس لمدة ٦ الى ١٢ شهرا فى المناطق الحارة أو عمل معالجة لها بحيث ترتفع درجة الحرارة الى مستوى يقتل البيض خاصة بالنسبة لديدان الصفر الخراطينى التى هى من أكثر الجراثيم إصرارا ومثابرة للعيش فى الحمأة. أو من الممكن إستخدام وحدات التسميد الهوائى composting لخليط من الحمأة والفضلات السائلة لتعمل على رفع درجة الحرارة الى 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) مـــا هو الفـــرق 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 والحمأة ؟

٦) مـــا هي المشـــاكل التي يمكن أن تنجم عندما تتواجد المنظفات الصناعية أو المبيدات أو المركبات السامة بتراكيز عالية في الفضلات السائلة ؟

٧) كيف تحسن عملية الترشيح من نوع الماء ؟

٨) ارســـم مخطط كـروكي موضحا عليه الواجهة والمنظر العلوى لمرشح رملى 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 مساوىء فقد السمت السالب على عملية الترشيح ؟

١١) كيف يمكن نظافة مرشح الرمل البطيء ؟ وكيف تتم نظافة مرشح الرمل السريع ؟

١٢) أذكر الفروق الرئيسة بين مرشحات الرمل البطيئة والسريعة .

١٣) ما هي مساوىء وفوائد مرشحات الرمل البطيئة ؟

١٤) ما هي أهم الطرق المستخدمة لنزح الماء من الحمأة ؟ أي طريقة تفضل لبلدتك ؟

١٥) ما فائدة عملية نزح الماء من الحمأة ؟

١٦) لماذا يصعب نزح الماء من الحمأة ؟

١٧) ما هي أهم العوامل المؤثرة على ترشيح الماء من الحمأة ؟

١٨) مـــا هي محاسن ومساوىء طريقة التخفيف عند إستخدامها للتخلص من الفضلات السائلة المنزلية ؟ هل توصى 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 وفيليبس . 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 الأوبيئة ؟

٢٨) تحدث بإيجاز عن المخاطر المحتملة عند عدم تقويم المشروع الهندسي التنموى من منظور الصحة العامة.

٢٩) أذكر بعض المخاطر الصحية المحتمل حدوثها من جراء إستخدام الفضلات السائلة في رى المحاصيل .

٣٠) مـــا 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 = ٨, ٠ × ١٠ ^{١٢} ث/م^{٣} .

درجة حرارة الراشح = ٢٠ ^{٥}م . (الإجابة : ٤, 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 ^{٥}م .

تركيز المواد الصلبة ٥ بالمائة .

مساحة ورقة الترشيح ١٨, ٤٤ × ١٠$^{-٤}$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 : ٥ ,١ × ١٠ ^{١٧}م/كجم) .

٣) تم قياس المقاومة النوعية لحمأة تحت ضغط ٤٩ كيلوباسكال ووجد أن مقاومتها النوعية تساوي ١٠•٥ ^{١٢} متر/كجم . أوجد المقاومة النوعية لنفس الحمأة عندما يتغير الضغط الى ٩٥ ,٦٨ كيلوباسكال ، علما بأن معامل الإنضاغطية يساوي ٨ ,٠ (الإجابة : ٦ ,٦ × ١٠ ^{١٢}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 الدفق (م^{٣}/دقيقة)	قيمة الحاجة الحيا كيميائية (جزء في المليون)
أ	٢٠	٢٥٠
ب	١٠	٤٠٠
ج	٢٥	
د	١٥	٣٠٠

- أوجد الدفق 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 ٢٦٥ ملجم/لتر . (الإجابة : ١١٦٧ لتر/ثانية ، ٢٠٢ جزء في المليون) .

٥) ينساب مجرى ماني بمعدل دفق ٥٠ متر مكعب على الدقيقة والحاجة الحيا كيميائية للأكسجين فيه تعادل ٣ ملجم على اللتر ، كما وأن ماءه مشبع بالأكسجين وعلى درجة حرارة ٢٠ °م . اتخذ هذا المجرى للتخلص من سائل نهائي معالج ينساب بمعدل دفق يصل الى ٨ متر مكعب في الدقيقة وتبلغ الحاجة (لمدة خمسة أيام) الحيا كيميائية للأكسجين به مقدار " ص " . بإفتراض أن أعلى معدل لنقصان الأكسجين الذائب لا يتجاوز مقدار ٤ ملجم/لتر ، وأن درجة حرارة الخليط لم يطرأ عليها أي تغيير من جراء دفق السائل النهائي ، وأن معدل إعادة التهوية يساوي ٤ ,٠ ، وثابت معدل التفاعل ١٥ ,٠ على اليوم ، أوجد أقصى قيمة للحاجة الحيا كيميائية للأكسجين للسائل النهائي " ص " . (الاجابة : ٢٦ ملجم/لتر) .

٦) ارسم منحنى 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 Pollutional 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

مكافحـــة تلـوث الهـــواء

الفصل الثامن : ملوثات الهواء

الفصل التاسع : المعايير الهوائية ومكافحة تلوث الهواء

الفصل الثامن

ملوثـــــات الهـــــواء

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 .

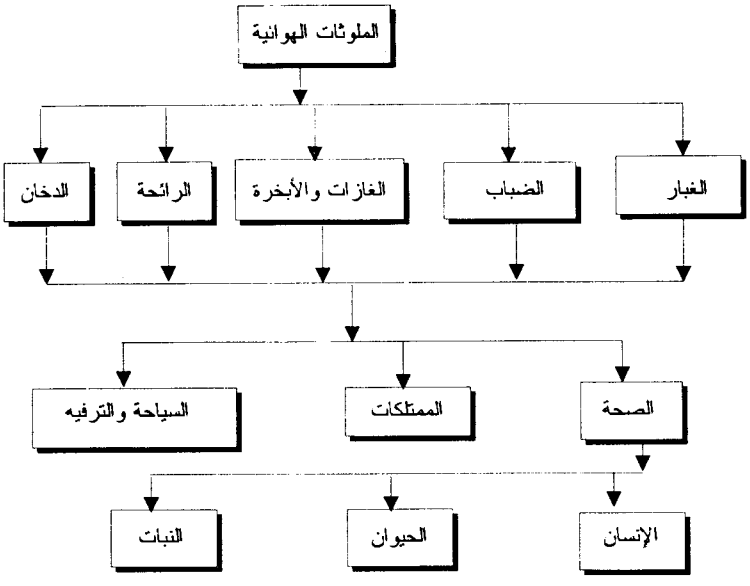
ويعنى تلوث الهواء وجود ملوثات له فى الغلاف الجوى أو فى الهواء الخارجى بتركيز مناسب، وبخواص معينة، ولفترة زمنية كافية، تهدد أو تضر حياة الإنسان وممتلكاته أو تؤثر على مملكتى الحيوان والنبات. وربما أضرت هذه الملوثات وأثرت كثيرا فى الإستفادة من أساليب التقانة الحديثة الهامة والأساسية لتقدم ورقى ورفاهية الإنسان. ومثال لهذه الملوثات الهوائية: الأتربة والغازات والضباب والرائحة والدخان والضبخان والأبخرة السامة وما شاكلها من أنواع الملوثات المختلفة والمتعددة والمتجددة تجدد التصنيع والإبتكارات البشرية (أنظر شكل ١) .

٨ - ٢ مصادر تلوث الهواء

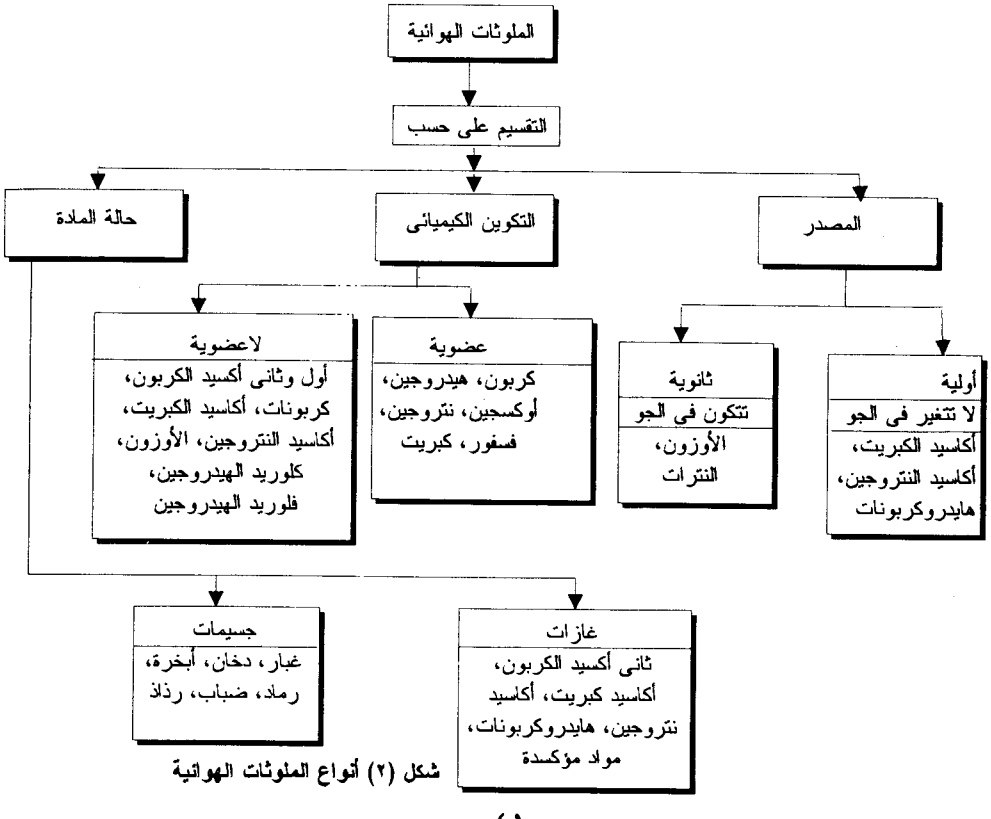
يمكن تقسيم مصادر الملوثات الهوائية الى قسمين أساسيين يضمان{١} (أنظر شكل ٢) :

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) ، والهايدروكربونات فى شكل تربين Terpenes من أشجار الصنوبر .

ب - **المصادر الإصطناعية** Anthropogenic: وهذه المصادر تحوى أكاسيد الكبريت، وأكاسيد النتروجين، والهايدروكربونات، 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 الكيميائية 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 الكيميائى للملوثات أو طبقا 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، والهايدروكربونات 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 الكيميائى :

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: الهايدروكربونات، والألدهيد، وحمض الكاربوكسيل، 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 .

جـ) التقسيم على حسب حالة المادة :

وهنا يتم التقسيم الى جسيمانى وغازى .

١) التقسيم الجسيمانى 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 بسبل 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 أساسى) بالإضافة الىبعض العناصر الأخرى . وعادة يتراوح قطر حبيبات الدخان بين ٠,٥ الى ١ ميكرومتر {١} .
أما الأبخرة Fumes فهى 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 تسامى أو تكلس أو صهر المعادن . ويتراوح مقاسها بين ٠,٠٣ الى٣,٠ ميكرومتر. والجدير بالذكر أن الأبخرة يمكن تخثرها 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 علي الرذاذ اسم الضباب fog عندما يزيد تركيز الرذاذ لدرجة كبيرة تعوق الرؤيا .

وبالإضافة لما ورد ذكره قد توجد كائنات حية دقيقة منتشرة فى الغلاف الجوى، مثل البروتوزوا والبكتريا والفيروسات والطحالب والفطريات . وعادة تعيش هذه الكائنات الحية الدقيقة لفترة زمنية قصيرة فى الغلاف الجوى ، نسبة لنقصان المواد الغذائية فيه ، ووجود الأشعة فوق البنفسجية المنبثقة من الشمس والتى تعمل على القضاء عليها. غير أن هنالك أنواع من البكتريا والفطريات يمكنها عمل متحوصلات دقيقة تمكنها من العيش لمدة أطول وتحت ظروف قاسية .

٢) التقسيم الغازى : ويضم هذا التقسيم الغازات المبتعثة الى الغلاف الجوى ولا تترسب منه. ومن أمثلة هذه الملوثات : أكاسيد الكربون وأكاسيد الكبريت والهايدروكربونات .

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 الرئيسة .

جدول (١)
بعض أمثلة الملوثات الغازية الرئيسة{٢، ٤، ٥}

الملوث	المصدر
ثانى أكسيد الكبريت	محطات توليد الكهرباء، ومصافى أومحطات تكرير البترول، وصناعات الحديد والصلب ، وصناعة الورق ، وصناعة الكبريتيت، وحرق الفحم والنفط، وتنقية وصهر وسباكة المعادن .
ثالث أكسيد الكبريت	مصانع إنتاج حمض الكبريت IV، وإنتاج الطوب (الطابوق) الصناعى .
الكبريت والكبريتيد	محطات توليد الطاقة، وعمليات صهر المعادن .
الدخان أوالغبار أوالأتربة	صناعات الحديد، ومحطات توليد الكهرباء، والمسابك، وصناعة الأسمنت.
أول أكسيد الكربون	احتراق الوقود، وتبخر أكاسيد المعادن، وسيارات الغازولين.
ثانى أكسيد الكربون	احتراق الوقود.
أكاسيد النتروجين (الأزوت)	مصانع إنتاج حمض النتريك، وتوليد الكهرباء، والحديد والصلب، والأسمدة، والحرق تحت الحرارة العالية، وتنظيف المعادن، والمتفجرات، وإنتاج حمض الكبريت VI .
الأمونيا (النشادر)	مصانع إنتاج النشادر والأسمدة .
الهايدروكربونات المكلورة	محطات التنظيف والتجفيف .
ميركبتانات	تكرير وتصفية البترول .
أكاسيد الخارصين	إستخراج النحاس .
هيدروجين الكلور، الكلور	مصانع إنتاج الكلور، وإنتاج الأمونيا، وإنتاج الكروم، ومحطات تنقية المياه ومحطات معالجة الفضلات والمخلفات السائلة .
سيانيد الهيدروجين	طلاء المعادن، وأفران الصهر، وأعمال الصباغة .
فلور الهيدروجين	تصفية النفط (عامل مساعد)، وصناعة الزجاج، وإستخراج السيليكات، وناتج ثانوى عند الإنتاح الإلكتروليتى للألمونيوم .

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 والإجتماعية والبيئية والإقتصادية .

ومن الأمثلة لمشاكل تلوث الهواء تلك التى تحدث لأكاسيد النتروجين (الصادرة من محطات توليد الطاقة والمصانع) منتجة ثانى أكسيد النتروجين والذى له آثار وخيمة على الصحة العامة حتى عند درجات التركيز القليلة. كما وأن أكاسيد النتروجين والهايدروكربونات (الناتجة من إحتراق الغازات داخل المركبات البترولية) تتأكسد كيميائيا مع غازات الهواء وعند وجود ضوء الشمس تتكون العديد من الملوثات المختلفة. وقد تؤدى هذه الملوثات الى تكوين الضبخان Smog ، أوتحد من الرؤية، أوتعمل

على تهيج العيون، أوتلق أضرار على الجهاز التنفسى. أما الأكسدة الكهروكيمياتية فينتج عنها غازات مثل: الأوزون وثانى أكسيد النتروجين والبيروكسى استيلنيتريت. والجدير بالذكر أن الأوزون يعوق التنفس الطبيعى عند التعرض له فى درجات تركيز ١,. 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 فى حدوث بعض الأمراض المسرطنة {٤}.

وإستنشاق حبيبات المواد العالقة قد يقودها الى الرئة. وتعمل شعيرات الأنف على حجز معظم الحبيبات ذات القطر الذى يربو عن ١٠ ميكرومتر من الدخول الى الجهاز التنفسى. بينما تجد الحبيبات ذات الحجم الأصغر (تلك التى يقع قطرها بين ٢ الى ٣ ميكرومتر) طريقها للرئة، حيث تمتصها خلايا معينة، وتعمل على حملها الى الجهاز الليمفاوى. وتعتمد درجة ترسيب المواد العالقة فى الجهاز التنفسى على حجم الحبيبات وشكلها وكثافتها .

إن بعض الغازات والمركبات (مثل: ثانى أكسيد الكبريت وكبريتيد الهيدروجين والكبريتات) قد توجد طبيعيا بنسب قليلة فى الهواء الجوى. ويزيد من درجات تركيزها المناشط الصناعية وإزدياد الكثافة السكانية.، أو قد تزداد قيمها بصورة طبيعية (مثلا يتكون كبيرتيد الهيدروجين عند التحلل الحيوى للمواد العضوية). ويعتمد هذا التأثر على عوامل مختلفة متداخلة مع بعضها البعض مثل: سرعة الرياح السائدة بالمنطقة، وطول المداخن المستخدمة لنفث الملوثات، وسرعة تدفق الغازات من المداخن، والطبغرافية المحلية للمنطقة .

وفيما يختص بغاز ثانى أكسيد الكبريت فهو غاز سريع الذوبان، يجد طريقه بسهولة لدم الإنسان عند إستنشاقه، ومن ثم يؤثر على الجهاز التنفسى حتى عند درجات التركيز القليلة. وربما أدى هذا الغاز الى 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 أوكسيد الكربون فى الجو نتيجة العمليات الصناعية أو بواسطة الطرق الطبيعية. ومن أمثلة الطرق الصناعية المنتجة لأول أكسيد الكربون: الإحتراق غير الكامل للمواد البترولية (خاصة من عوادم السيارات) واحتراق المخلفات الصناعية. ومن أمثلة الطرق الطبيعية: البخار، وأكسدة غاز الميثان، والثورات البركانية، والحرائق، والعواصف الرعدية . ويزداد تركيز هذا الغاز فى عادم السيارات خاصة عند ساعات الذروة . ومن العوامل المؤثرة : طبغرافية المنطقة والمبانى وحالة الطقس. وغاز أول أوكسيد الكربون سام جدا نسبة لقابليته للإتحاد مع هيمجلوبين الدم مكونا كربوكسى هيمجلوبين. وهذا المركب المتكون أكثر ثباتا من الأكسى هيمجلوبين بما يربو عن المائتى ضعف، ويؤثر سلبا على الجزئيات والكريات الحاملة للدم، وربما قاد الى أضرار وخيمة طبقا لحالة الإنسان الصحية، ومدة

التعرض، ودرجة تركيز الغاز. وقد يؤثر غاز أول أوكسيد الكربون على الجهاز العصبى الرئيسى، والقلب، وضغط الدم، وعلى المرأة الحامل (الشئ 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}

درجة التركيز (ملجم/لتر)	الأثر المحتمل
١٠٠	مسموح به لعدة ساعات .
٤٠٠ الى ٥٠٠	لا توجد مخاطر بعد مضى ساعة واحدة .
٦٠٠ الى ٧٠٠	بعض الأثر بعد مضى ساعة .
١٠٠٠ الى ١٢٠٠	سيئة ولكن لا تنجم عنها أعراض خطرة بعد مضى ساعة
١٥٠٠ الى ٢٠٠٠	خطرة عند التعرض لمدة ساعة .
٤٠٠٠ أو أكثر	شديدة الخطورة فى مدة أقل من ساعة .

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، والأيثر، 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 الهايدروجين 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 القئ 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 فى 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 ثانى 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 ثانىأكسيد الكبريت .

٣- **أضرار أمنية** : ومثال لذلك الزيادة المطردة فى معدلات حوادث السير والمرور (البرى والبحرى والجوى) الناتجة من جراء عدم وضوح الرؤية (أو إنعدامها) بسبب التلوث الهوائى .

٤- **مشاكل صحية** : وهذه المشاكل تتعلق بالكائنات الحية من إنسان أوحيوان. 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 الأثلين - من عوادم السيارات وإحتراق الغازات الطبيعية وبعض الصناعات الكيميائية - يؤثر في أداء الهرمونات والإنزيمات النباتيه، أو يحد من النمو ، أو يغيرفيه خاصة في الألياف والزهور، وكمثال ذلك تلف الطماطم عند تعرضها للأثيلين لمدة ٤٨ ساعة في درجة تركيز ٠,١ ملجم/لتر. وكذلك تؤثر مبيدات الحشائش في إتلاف الأوراق كما يحدث عندما يتعرض القطن أوالعنب لمبيد ٢ ، ٤ - د (2,4-D) بتركيز يقارب جزء فى المليون. كما ويحطم ثاني أكسيد النتروجين الكلوروفيل (اليخضور) مما يغير من لون أوراق النبات من الأخضر إلى الأصفر أو الأبيض في 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 ٠,٤ ملجم/لتر. كما ويفقد النبات خلاياه عند التعرض للأوزون لمدة طويلة {١} . والجدير بالذكر أن حساسية النبات للملوثات الهوائية أكثرمن 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 ثانى أكسيد الكبريت الى نبات آخر يلائم التلوث الموجود أو يساعد على التخلص منه .

جدول (٣)
الآثار الصحية لبعض الملوثات والغازات {٤،٥}

الغاز أو الملوث	المخاطر الصحية
ثانى أكسيد الكبريت	داء الربو والنـــزلات الشعبية ، إلتهابات الرئة ، مهيج للجهاز التنفسى ، يولد أمراض
وأكاسيد الكبريت الأخرى.	القلب والمشكـــلات النفسية لدى الأطفال، يتلف المحاصيل فى درجات تركيز ٠٣,. ملجم/لتر .
كبريتيد الهيدروجين	قاتل عند التعرض لدرجات تركيز عالية ، مهيج حساس ، سام جدا .
الأتربة والحبيبات الصغيرة الحجم.	داء الربو والنزلات الشعبية، يزيد من مخاطر إلتهابـــات الرئة، مهيج للعيون والجهاز التنفسى، يحد من الرؤية فى درجات تركيز ٢٥ ملجم/لتر. وتؤثـــر درجات تركيز ٢٠٠ ملجم/لتر على صحة الإنسان .
الأوزون	يسبب تلف الرئة عند مرضى الرينة، سام، يتلف النباتات .
أول أوكسيد الكربون	سام، يـــأتى بمخاطر لمرضى القلب عند درجات تركيز ٣٠ ملجم/لتر، ربما أتلف الجهاز العصبى الرئيسى، يقلل من مقدرة الدم لحمل الأكسجين.
ثانى أوكسيد النتروجين	ربما أتلف الرئة، سام وتعادل سميته أربعة أضعـــاف سمية حامض النتريك وتبدأ السمية على درجة تركيز ٠٥,. ملجم/لتر.
ثنائى كبريتيد الكربون	سام للأعصاب، إضطرابات نفسية، خدر، فقدان للوعى .
الرصاص	يتراكم فى الجسم، ربما أتلف مهمة هيمجلوبين الدم .
الهايدروكربونات	تولد الضباب الـــــدخانى وتؤثر على الرؤية عند درجات تركيز ١٥,. الى ٢٥,. ملجم/لتر .
الأسبستس	يسبب مرض الأسبستس، ربما أتى ببعض الأمراض السرطانية .
البيريوليوم	يتلف الرئـــــة ، يأتى بمرض البرليوسس عند درجـــــات تركيز تربو على ١٠,. ملجم/لتر
الأيثر	مخدر، سام، ربما أتى ببعض الأمراض السرطانية .
الفلور	ينزع تكلس العظام ، مهيج للجزء العلوى من الجهـاز التنفسى ، مهيج لقرنية العين ، صداع، موت .
فلوريد الهيدروجين	تسمم الماشية بالفلور ومركباته، مهيج قوى، مضر لكل خلايا الجسم، يضر الحمضيات والنباتات، يؤثر على أسنان وعظام الحيوانات .
الكلور	مهيج للعيون والجهاز التنفسى .
سيانيد الهيدروجين	يؤثر على الخلايا العصبية .

الأمطار الحمضية : Acid rain

تزداد درجة التلوث الهوائى فى بعض المناطق الصناعية مما يزيد معه تراكيز الغازات الحامضية مثل ثانى أكسيد الكبريت SO_2، وأكاسيد النتروجين NO_x. وبعد إطلاق هذه الغازات فى الغلاف الجوى يتم تحويلها الى كبريتات ونترات، والتى تتحد مع الماء لتكون أحماض الكبريتVI والهيدروكلور المخففة. ومن ثم تعود الى الأرض فى شكل ندى أو ضباب أو ضبخان أو رذاذ أو قطقطية (طبقة جليدية رقيقة)

أو ثلج أو أمطار مكونة الأمطار الحمضية Acid Rains. عادة تكون الأمطار النقية حمضية بعض الشئ، إذ لها رقم هيدروجينى فى حدود ٥,٦. وهذا ناتج بسبب الإتزان بين مياه الأمطار وثانى أكسيد الكربون الموجود بالهواء، والذى تتم إذابته لدرجة معينة فى السقيط لينتج محلول مخفف من حمض الكربونيك. أما فى حالة الأمطار الحمضية فقد يصل الرقم الهيدروجينى الى ٤ أو ٣ فى بعض الأحوال النادرة . وتؤثر هذه الأمطار الحمضية على المنشآت والمبانى وتؤدى 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 الحمضى الى المخـــزون الجوفى ويزيد من ذوبانية المعادن السامة {٥}. ومن المعروف أن المياه الجوفية تتكون ببطء من المياه السطحية المنسابة عبر الصخور والتربة. وعندما تزداد حامضية المياه الجوفية يتطلب الوضع أن تعمل البلديات (المعتمدة فى شربها على هذا المصدر) على موازنة الماء لدرجة مقبولة. أما سكان الريف فعادة يأخذون المياه الجوفية للإستهلاك مباشرة دونما التفكر فى أمر الموازنة المطلوبة، ويقود هذا الوضع الى زيادة تركيز المواد الموجودة مثل الرصاص والخارصين والألمونيوم والمعادن الثقيلة مما قد يؤثر على الصحة العامة، ويقود الى الكثير من المشاكل الصحية، ومايتبعها من عواقب وخيمة. ويؤثر المطر الحمضى على السياحة ومناطق الترفيه والإستجمام على ضفاف البحيرات وشواطئ الأنهار، الشئ الذى قد يؤثر سلبا على الإقتصاد القومى. 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. وهنالك بعض الأنواع من النباتات والحيوانات المحلية Biota مثل الرخويات وتلك التى تضم الحيوانات ذات الدرع (مثل القواقع، والبطلينوس – حيوان من الرخويات يلتصق بالصخور – Limpet، وبلح البحر، والمحار) تعتمد إعتمادا كثيرا على الكالسيوم لبناء درعها الخارجى الواقى لها. وبما أن الأمطار الحمضية تذيب بسهولة كربونات الكالسيوم وتتدخل فى عملية أخذ الكالسيوم بواسطة هذه الكائنات، فعليه لا يمكن لهذه الكائنات العيش والنمو فى هذه البيئة. وتستدعى هذه الآثار الضارة للأمطار الحمضية أخذ الحيطة وتدبير الإدارة الناجعة للحيد منها ومنع حدوثها. وللأمطار الحمضية تداخلات معقدة مع الغلاف الجوى والتربة والماء والمترسبات وآثارها 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 المائى 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 أمكن 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، أوباللجوء الى مستحدثات وأساليب التقانة الحديثة وإستخدام الطاقة الجديدة والمتجددة، وترشيد إستخدام وترفيع أساليب التقانة المستخدمة حاليا، 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 الفوق البنفسجية (ذات الطول الأقل من ٢٤٢ نانومتر والصادرة من الشمس) بتحطيم 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 ، والتى تأتى من إنتشار أكسيد النتروجين، (N_2O) للأعلى من التربة، وتنتج هذه العملية ٦٠ الى ٧٠ بالمائة من النقصان والإنخفاض. ويؤدى الإتزان بين عمليات تخليق الأوزون ونقصانه الى زيادة طبقة الأوزون فى الإستراتوسفير .

يقوم الأوزون بإمتصاص 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 $CFCl_3$) 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 أنتاراكاتيكا، ربما بسبب مواد كلورفلوركربون. ويؤدى الإنتاج المستمر لهذه المواد الى النقصان 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. وتقود 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 الإحتمال 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 السقيط وتوزيع الجليد {٨}.

ومن المعايير التى يمكن أخذها فى الإعتبار عند التفكر 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 إتمام 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 الكبريتية، وينتج حرق المخلفات البترولية ما يقارب ٣٠ بالمائة منها وماتبقى 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 الإحتراق (مثل التسخين والحرق المباشر للمواد العضوية وغير العضوية) أو من النشاط الصناعى (مثلا من آلات الإحتراق الداخلى وعوادم السيارات) أو بسبب توالد الغازات والأدخنة والأبخرة من المناشط الصناعية والزراعية والمنزلية. وقد تؤدى هذه الأنشطة مجتمعة الى تغيير خواص وتكوين الهواء مثل: إزدياد 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) لماذ 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) تحـــــدث بإيجـاز 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) إبن كيفية مكافحة نقصان طبقة الأوزون .
١٨) تحدث بإيجاز عن خاصية البيت الزجاجى الناتجة من زيادة ثانى أكسيد الكربون فى الغلاف الجوى.

٨ – ٦ المراجع:

(١ Peavy, H.S.; Rowe, D. R. and Tchobanoglous, G., "Environmental Engineering", McGraw-Hill Book Co., New York, 1985.

(٢ Salvato, J. A., "Environmental Engineering and Sanitation", Wiely-Interscience, New York, 1992.

(٣ Rossano, A.T., "Air Pollution Control-Guide Book for Management", McGraw-Hill Book Co., New York, 1974.

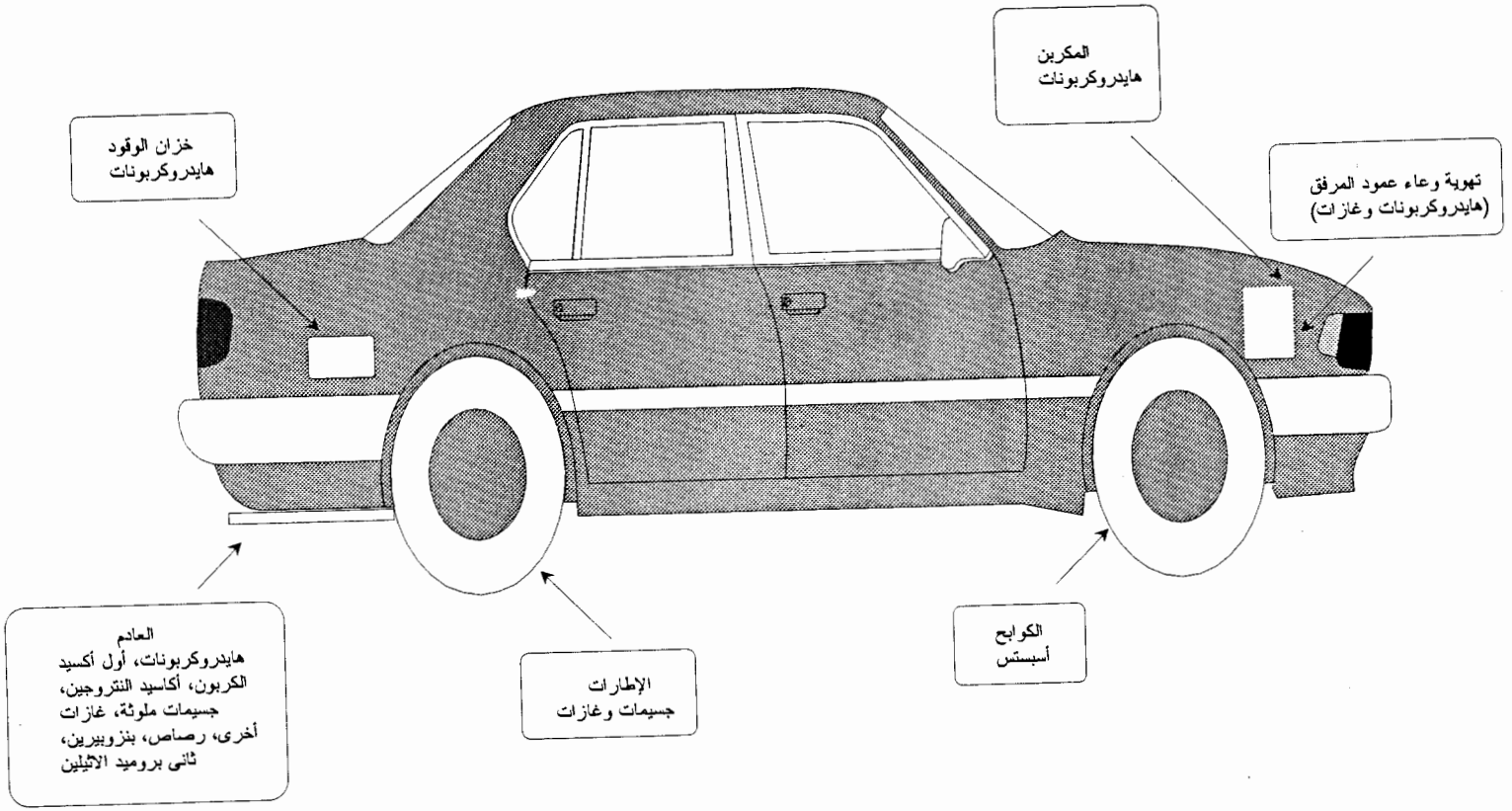
٤) الحسن، ب. م. وعبد الماجد، ع. م.، "الصناعة والبيئة – معالجة المخلفات الصناعية"، معهد الدراسات البيئية، جامعة الخرطوم، الخرطوم، ١٩٨٦.

(5 Perry, R. H., Green, D. W., and Maloney, J. O., "Perry's Chemical Engineers' Handbook", 6th Edi., McGraw Hill Book Co., New York, 1985.

(6 Davis, M. L. and Cornwll, D. A., "Introduction to Environmental Engineering", McGraw Hill Inter. Edi., Chemical Engng. Series, 2nd Edi., New York 1991.

(7 Vesilind, P. A., Peirce J. J. and Weiner, R. F., "Enivronmental Engineering", 2nd Edi., Butterworths, Boston, 1988.

(8 Henry, J. G., and Heinke, G. W., "Environmental Science and Engineering", Prentice Hall, Englewood Cliffs, 1989.



شكل ١٤
رسم تخطيطى 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 رئيسة .

٢- تشريعات ثانوية .

تختص التشريعات الأولية أو الرئيسة 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 وتقوم 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- تشريعـــــات 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 . وقـــد لوحـــظ أن الحبيبـــات التى لها صلة وثيقـــة بالآثـــار الصحية الضـــارة ذات أقطار تساوى ١٠ ميكرومتر أو أقل{٢} .

كما ويمكن تقسيم التشريعات بصورة عامة الى {٣} :

١- تشريعـــات نوع الهواء السائد Ambient air quality standards وهذه تعرف التراكيز المقبولة للملوثات الهوائية .

٢- تشريعـــات الإنبعاث Emission standards: وهذه تعرف المعدلات المسموح بها والتى يتم على ضونها إطلاق الملوثات من مصادر إنتاجها.

وعادة يتم وضع تشريعات الإنبعاث للمصادر الجديدة، أو عند إجراء تعديلات على المصادر الثابتة، مثل محطات إطلاق طاقة الوقود الطمرى، والمرامد، ومحطات الأسمنت البورتلاندى، ومحطات حمض النتريك، ومصافى 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 أو يساوى ١٠ ميكرومتر. ومن الواجب مراجعة ملوثات الأداء بإستمرار، وإتمام تعديلها على حسب المعلومات العلمية والبحثية المتاحة .

عادة يتم تمييز درجة تركيز الملوثات على حسب الحجوم، مثل تعبير جزء من المليون (ppm)، والتى تعنى حجم الملوث لكل مليون حجم من خليط الهواء كما موضح فى المعادلة ١ .

جزء من المليون = (حجم واحد من الملوث الغازى) ÷ (مليون حجم من الهواء) (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 منوية وضغط جوى واحد (جو) يملأ حيزا مقداره ٢٢,٤ لترا. وتبين المعادلة ٢ هذه العلاقة .

$$C_g = C_p*(MW*1000) / V \quad (٢)$$

حيث :

C_g = درجة تركيز الغاز، ميكروجرام/ م^٣ .

C_p = درجة تركيز الغاز، جزء من المليون .
MW = الوزن الجزيئى للغاز، جرام كتلة مول .
V = حجم الغاز، لتر/ مول .

ومن فوائد التقدير الحجمى لدرجة التركيز (ppm) أنه لا يتغير بتغير درجة الحرارة والضغط، مثل الوحدات المختلطة من ميكروجرام/ م^3 .

مثال ١ :

هواء على درجة حرارة صفر درجة مئوية وعلى ضغط واحد جو يحتوى على ٠,٤ جزء من المليون من ثانى أكسيد النتروجين . وضح درجة تركيز الغاز بوحدات ميكروجرام على المتر المكعب .

الحل :

١- المعطيات: T = صفر °م ، P = ١ جو ، C_p = ٠,٤ جزء من المليون .
٢- أوجد الوزن الجزئى لغاز ثانى أكسيد النتروجين NO_2
MW = ١٤ + (١٦ × ٢) = ٤٦ جرام/ مول .
٣- أوجد درجة تركيز الغاز بوحدات ميكروجرام/ متر مكعب بإستخدام المعادلة
$$C_g = C_p*(MW*1000) / V$$
C_g = (٠,٤ × ٤٦ × ١٠٠٠) ÷ ٢٢,٤ = ٨٢١ ميكروجرام/ م^3 .

دليل تشريعات الملوث Pollutant standards index PSI

تمت تنمية هذا الدليل ليكامل عدة عوامل معقدة تكون فى مجملها نوعية الهواء {٦}. ويستخدم الدليل لإيضاح تقويم عام عن نوعية الهواء اليومية للجمهور. ويضم الدليل القياسات السائدة لأهم ملوثات الأداء فى صورة أرقام محددة. فمثلا نجد أن الدليل الذى قامت بوضعه جمعية حماية البيئة الأمريكية يربط خمس من الملوثات تضم أول أكسيد الكربون، وثانى أكسيد الكبريت، والجسيمات الكلية العالقة، والمواد المؤكسدة الكيميائى – ضوئية أو الأوزون، وثانى أكسيد النتروجين كما موضح فى جدول (١). ويذكر أن نوعية الهواء جيدة عندما يكون المقياس السائد لكل ملوثات الأداء لها دليل تشريعات ملوث يساوى٥٠ أو أقل. ويبين جدول (١) ملخص مختصر للأثر الصحى المتعلق بعدة مستويات لدليل تشريعات الملوث .

جدول (١)
دليل تشريعات الهلوثات ومواصفات نوع الهواء والآثار الصحية المترتبة عليه { ٦،٣}

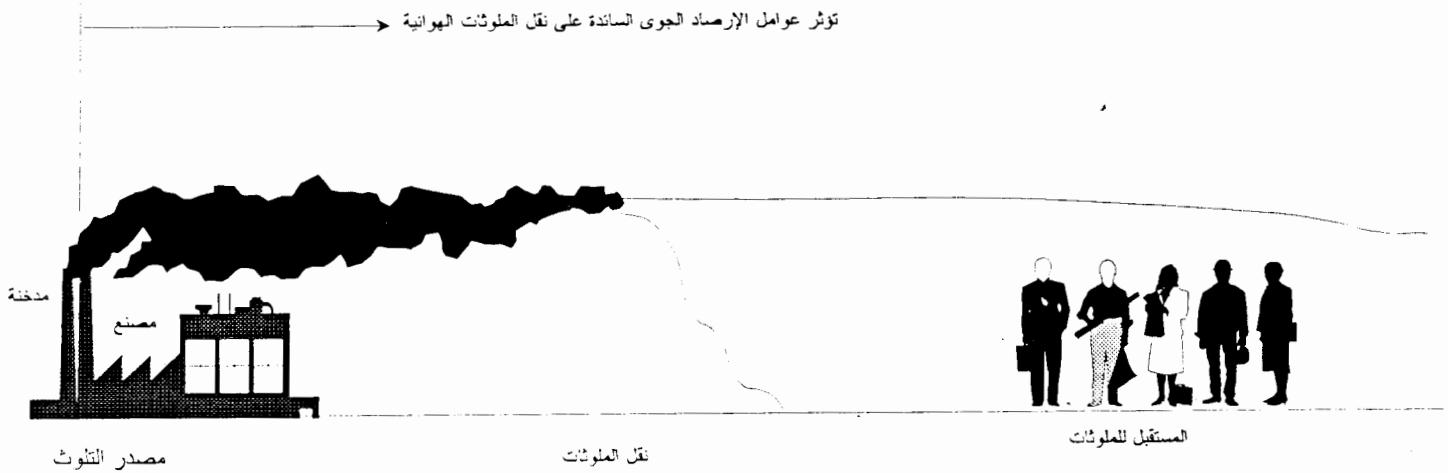
دليل تشريعات الملوث	الوصف	الأثر الصحى	التحذير
صفر الى ٥٠	جيد		
من ٥١ الى ١٠٠	متوسط		
من ١٠١ الى ١٩٩	غير صحى	زيادة معتدلة فى الأعراض عند الأشخاص القابلين للتأثر، كما وتظهر أعراض تهيجات عند الأشخاص الأصحاء	لا بد أن يقلل مرضى القلب أو مرضى الجهاز التنفسى من بذل أى مجهود عضلى أو ممارسة للنشاط خارج المنزل
من ٢٠٠ الى ٢٩٩	غير صحى بدرجة كبرى	زيادة كبيرة فى الأعراض، ونقصان التمارين المحتملة عند مرضى القلب ومرضى الرئة، كما وتنتشر الأعراض عند الأصحاء	يقبع كبار السن ومرضى القلب والرئة داخل المنازل، ويقلل النشاط العضلى
من ٣٠٠ الى ٣٩٩	خطر	حدوث بعض الأمراض بالإضافة الى زيادة كبرى فى الأعراض، ونقصان التمارين المحتملة عند الأشخاص الأصحاء	يقبع كبار السن والمرضى داخل المنزل ويمتنعوا عن بذل التمارين العضلية ويمتنع جمهور الناس عن النشاط خارج المنزل
من ٤٠٠ أو أكثر	خطر	ربما حدث موت للمرضى وكبار السن، أعراض ضارة للأشخاص الأصحاء تؤثر على نشاطهم العادى	يقبع كل الناس داخل المنازل وتغلق النوافذ والأبواب، ويقلل كل الأشخاص التمارين العضلية ويتجنبوا حركة المرور

٩ - ٢ الإرصاد الجوى وتلوث الهواء

تؤثر عوامل الأرصاد الجوى بصورة كبرى على تلوث الهواء. وتحكم مشاكل تلوث الهواء ثلاث عناصر: هى مصدر التلوث، وحركة الملوث، والمستقبل للتلوث Recipient، كما موضح فى شكل (١). وتحكم حركة الهواء مؤثرات الأرصاد الجوى. يتمدد الغلاف الجوى بإستمرار ويقوم بضغط الغازات فى عمليات تبادل الحرارة مستخدما الطاقة الشمسية لإتمام هذه الحركة. كما وأن فرق الحرارة الدافعة بين خط الإستواء والقطبين يعطى الدورة الكلية الأولية للغلاف الجوى المحيط بالأرض. أما الطقس فينتج من دوران الأرض متحدة مع فرق موصلية الحرارة فى البحار وعلى اليابسة {١} .

ومن أهم العوامل المؤثرة فى حركة نقل الملوثات: الرياح السائدة، والإضطراب، ودرجة الحرارة فى الغلاف الجوى . ويتم نقل الملوثات إعتمادا على سرعة الرياح وفى إتجاه حركتها {٥}. وتعتمد سرعة الرياح جزئيا على خارطة الضغط الجوى. وعندما تكون منحنيات تساوى الضغط الجوى Isobars (الخطوط ذات الضغط المتساوى) متقاربة لبعضها البعض ينحدر ميل الضغط وتزيد سرعة الرياح نسبيا. وعندما تكون خطوط تساوى الضغط الجوى متباعدة من بعضها تكون الرياح خفيفة، وربما غير موجودة {١} .

ويتم إنتشار الملوثات تحت عوامل الإضطراب عندما تنبعث فى شكل ريشة Plume من مصدر مستمر أو فى شكل نفخة (نفث متقطع) Puff من مصدر فورى {٥}. وكلما زادت سرعة الرياح زاد

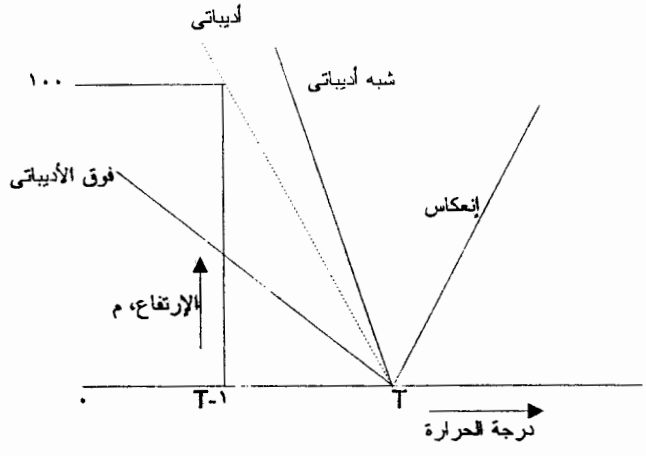


شكل (١) إنتقال الملوثات الهوائية

الإضطـــراب الميكانيكى. وزيادة الإضطراب الميكانيكى تسهل انتشار ونشر الملوثات في الغلاف الجوي {١}. تتأثر سرعة الرياح واتجاهها والإضطراب فى الطبقة الهوائية على إرتفاع ١ كيلومتر أعلى سطح الأرض (حيث تنفث معظم الملوثات) بصورة كبرى ببنية الغلاف الجوي الرأسي والتي يطلق عليها معـــدل إنقضـــاء 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 الإرتفاع. ويقلل الهواء المستقر من انتشار وتخفيف الملوثات. أما لبعض درجات الحرارة في مقاطع أخرى فيكون الهواء غير مُستقر وفي هذه الحالة يحدث مزج رأسي سريع يساعد انتشار الملوثات ويحسن من نوع الهواء. ومن الواضح أن الإستقرار الرأسي للغلاف الجوي معيار هام يساعد لإيجاد قابلية الغلاف الجوي لتخفيف المواد المبتعثة {٣}.

الإنتشار الرأسي للملوثات :

عندما ترتفع كتلة من الهواء عبر الغلاف الجوى للأرض يقل الضغط عليها من جزيئات الهواء المحيط بها، وبذا تتمدد. ويؤدى هذا التمدد الى نقصان حرارة كتلة الهواء. ومعدل تبريد الهواء الجاف المرتفع الى أعلى يسمى معدل الإنقضاء الجاف الأدبياتى Dry adiabatic lapse rate ولا يعتمد على درجة حرارة الهواء السائد. والحالة الأدبياتية تعنى عدم وجود تبادل حرارة بين كتلة الهواء المعنى والهواء المحيط بهـــا. وتسمى قياسات الحـــرارة والإرتفاعـــات الحقيقيـــة معـــدل الإنقضاء الموجـــود Prevailing lapse rates كما موضح فى شكل (٢)، ومن ثم يمكن تعريف الحالات الآتية :



شكل (٢) معدل الإنقضاء الموجود ومعدل الإنقضاء الجاف الأدبياتى

- معـــدل إنقضاء معتدل Neutral lapse rate: ويحدث عندما يكون معدل الإنقضاء الموجود مساوى لمعدل الإنقضاء الأدبياتى، حيث تتولد حالة إتزان معتدل .
- معـــدل إنقضـاء فوق الأدبياتى، أو معدل إنقضاء قوى Super adiabatic lapse rate: وتحدث هذه

الحالة عندما تهبط درجة حرارة الغلاف الجوى الى أكثر من درجة منوية واحدة لكل مائة متر .

- معـدل إنقضاء شبه أديباتى، أو معدل إنقضاء ضعيف Subadiabatic lapse rate: ويتفرد بهبوط فى الحرارة الى أقل من درجة منوية 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 خطيـــرة ، يتم فيها حجز الملوثـــات الهوائية تحت حالة عكس وتمزج بفعل معدل الإنقضاء الكبير .
- الريشـة الحلقية 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 الريشـة (ذيل الدخان Smoke trails) المنبعثـة مـن المداخن . ويبين شكل (٣) عدة أحوال للريشة وثبات وإستقرار الغلاف الجوى .

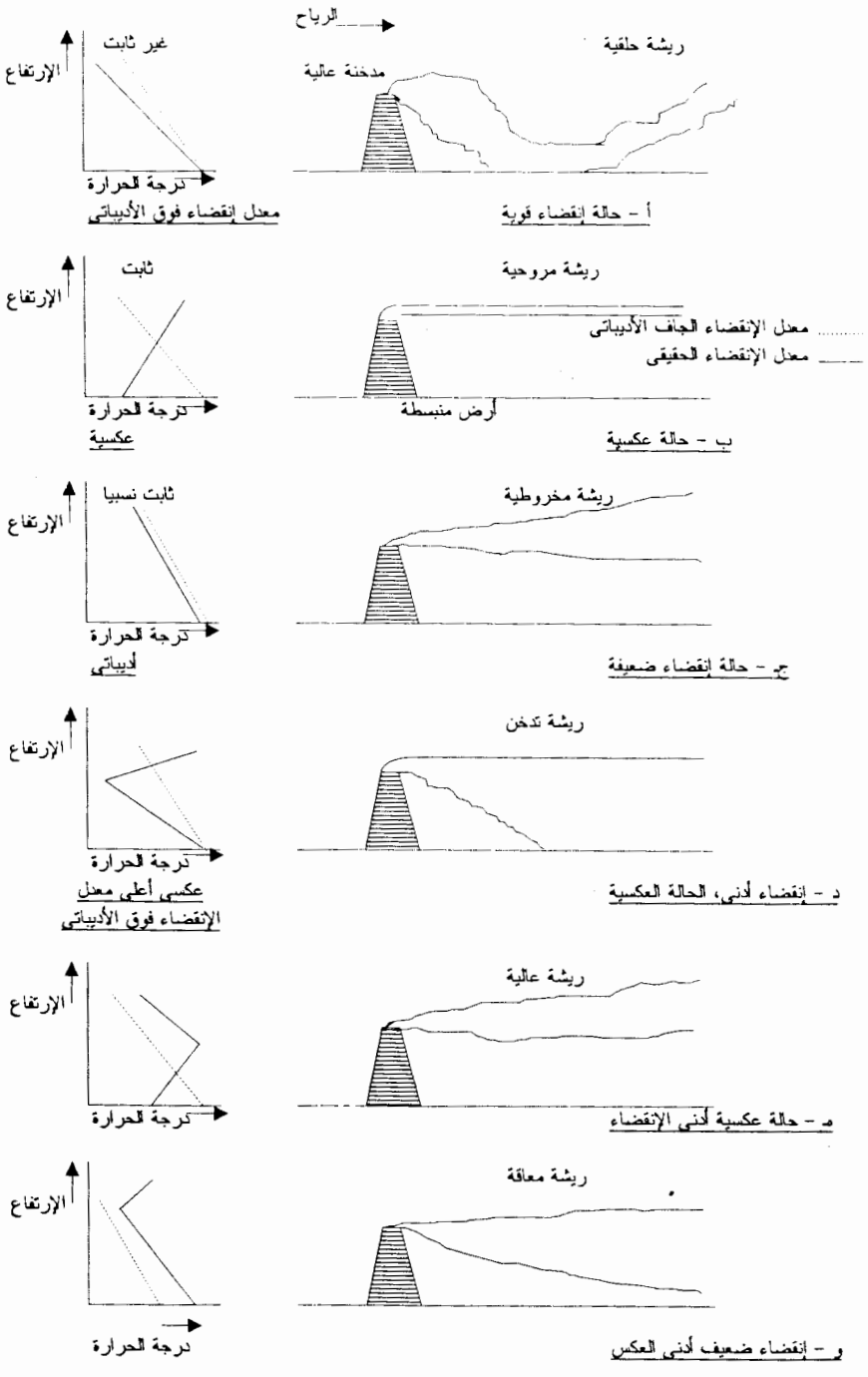
٩ - ٣ نماذج إنتشار الملوثات

يمكن تعريف الإنتشار على أنه عملية نشر المواد المبتعثة على منطقـة كبـيرة تعمـل علـى تخفيـف تركـيز الملوثات المعنية. أما نموذج الإنتشار فهو عبارة عن وصف رياضى لعملية نقل وإنتشار الملوثات وإيجـاد قيمها مقارنة بالمصدر وعوامل الرصد الجوى عبر فترة زمنية محددة. وتنتج محصلة الحسـابات العدديـة تقديرا لتراكيز ملوث معين، فى مناطق محددة، وفترات زمنية معروفة. ويتم التحقق مـن النمـوذج بقيـاس تركيز ملوث هوائى معين ومقارنة نتائج القياس مع القيم المحسوبة والمقدرة عن طريـق النمـوذج، عـبر إستخدام معايير إحصائية معينة ومتفق عليها .

أما عوامل الرصد الجوى المطلوب إدراجها فى النموذج الرياضى فتحوى إتجاه وسـرعة الريـاح، وثبـات الغلاف الجوى. وفى بعض النماذج يؤخذ أيضا: معدل الإنقضاء، وإرتفـاع الخلـط الرأسـى فـى الإعتبـار. ويمكن تقسيم النماذج على النحو التالى :

(أ) نماذج قصيرة الأجل: وهذه النماذج تختار لتحقيق أحد أو كل الأهداف التالية :

- تقـــدير 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 .
- تقـدير 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 الجوى

(ب) نماذج مناخية: وتستخدم النماذج المناخية لتقدير التراكيز المتوسطة عبر حقبة طويلة من الزمن، أو لتقدير التراكيز المتوسطة الموجودة فى 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} .

وهنالك العديد من نماذج الإنتشار التجريبية المطورة. وتعبر هذه النماذج عن صور رياضية لنقل الملوثات وإنتشارها عبر منطقة معينة، كما وتقوم بتقدير درجة تراكيز الملوث فى الريشة الدخانية أو فى نقطة مرتفعة من سطح الأرض أعلى مصدر التلوث {٦}. وتفترض معظم النماذج تقدير المتوسط الزمنى للملوث أدنى إتجاه الرياح من مصدرها، بإستخدام منحنى التوزيع الطبيعى أو منحنى جوسيان Gaussian. ويتحقق نموذج منحنى التوزيع الطبيعى الأساسى لمصدر وحيد التلوث (مثل المدخنة)، غير أنه يمكن تطوير النموذج ليخدم مصادر خطية (مثل المواد المبتعثة من سيارة فى الطريق) أو لمصادر منطقة {٣}. ومن أهم الإفتراضات المدرجة عند تحليل النموذج ما يلى {٣،٢} :

- إستمرارية نفث الملوث من المصدر .
- عمليات الإنتشار والإبتعاث تتبع حالة مستقرة أو مطردة Steady state (dC/dt = 0) .
- غالبا تتحرك الملوثات أدنى إتجاه الرياح .
- لا تتغير سرعة الرياح بالنسبة للزمن أو الإرتفاع .
- الملوث محافظ ، أي أنه لا يفقد بالإضمحلال ، أو بالتفتيت، 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 الإيرسول ذي القطر الأقل من ٢٠ ميكرومتر والمحسوب على ارتفاع مستوى الأرض لمسافة (x) أدنى اتجاه الرياح {٦،٥،٣،٢،١} .

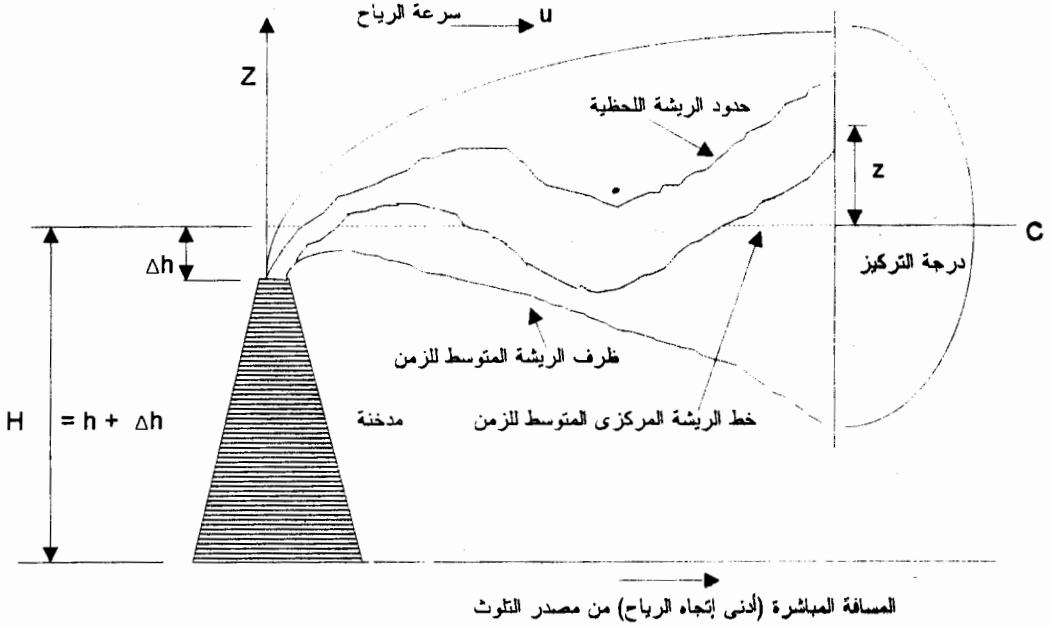
$$C(x,y) = (Q/(\pi u \sigma_y \sigma_z)) \left[\exp\left(-\tfrac{1}{2}\left(H/\sigma_z\right)^2\right) \right] \exp\left[-\tfrac{1}{2}\left(y/\sigma_y\right)^2 \right] \qquad (٣)$$

حيث :

C (x,y) = درجة تركيز الملوث على سطح الأرض على النقطة (x, y)، جم/م^3 .

Q = معدل المواد المبتعثة أو الملوثات ، جم/ث .

u = سرعة الرياح المتوسطة على ارتفاع المدخنة الفعال، م/ث .



شكل (٤) نموذج جوسيان

σ_y = الإنحراف المعيارى الأفقى لتركيز الريشة ، والتى تقدر للمسافات (x) أدنى اتجاه الرياح، م (انظر شكل ٥) .

σ_z = الإنحراف المعيارى الرأسى لتركيز الريشة والتى تقدر للمسافات (x) أدنى اتجاه الرياح ، م (انظر شكل ٥) .

H = ارتفاع المدخنة الفعال، م .

أما ارتفاع المدخنة الفعال فيمكن تقديره من المعادلة ٤ .

$$H = h + \Delta h \qquad (٤)$$

حيث :

h = ارتفاع المدخنة الحقيقى أو الطبيعى ، م .

Δh = إرتفاع الريشة ، م .

y = المسافة مباشرة أدنى إتجاه الرياح من خط الريشة المركزى ، م .

x = المسافة الأفقية أدنى إتجاه الرياح عبر خط الريشة المركزي المتوسط من نقطة المصدر ، م .

اما إرتفاع الريشة Δh فيمكن حسابه من معادلة هولاند {٧،٦،١ } الموضحة في المعادلة ٥.

$$\Delta h = (v_s d/u) [1.5 + (2.68 \times 10^{-2} P ((T_s - T_a) / T_s) d)] \qquad (٥)$$

حيث:

Δh = ارتفاع الريشة أعلى المدخنة ، م .

v_s = سرعة غاز المدخنة ، م/ث .

d = القطر الداخلي للمدخنة ، م .

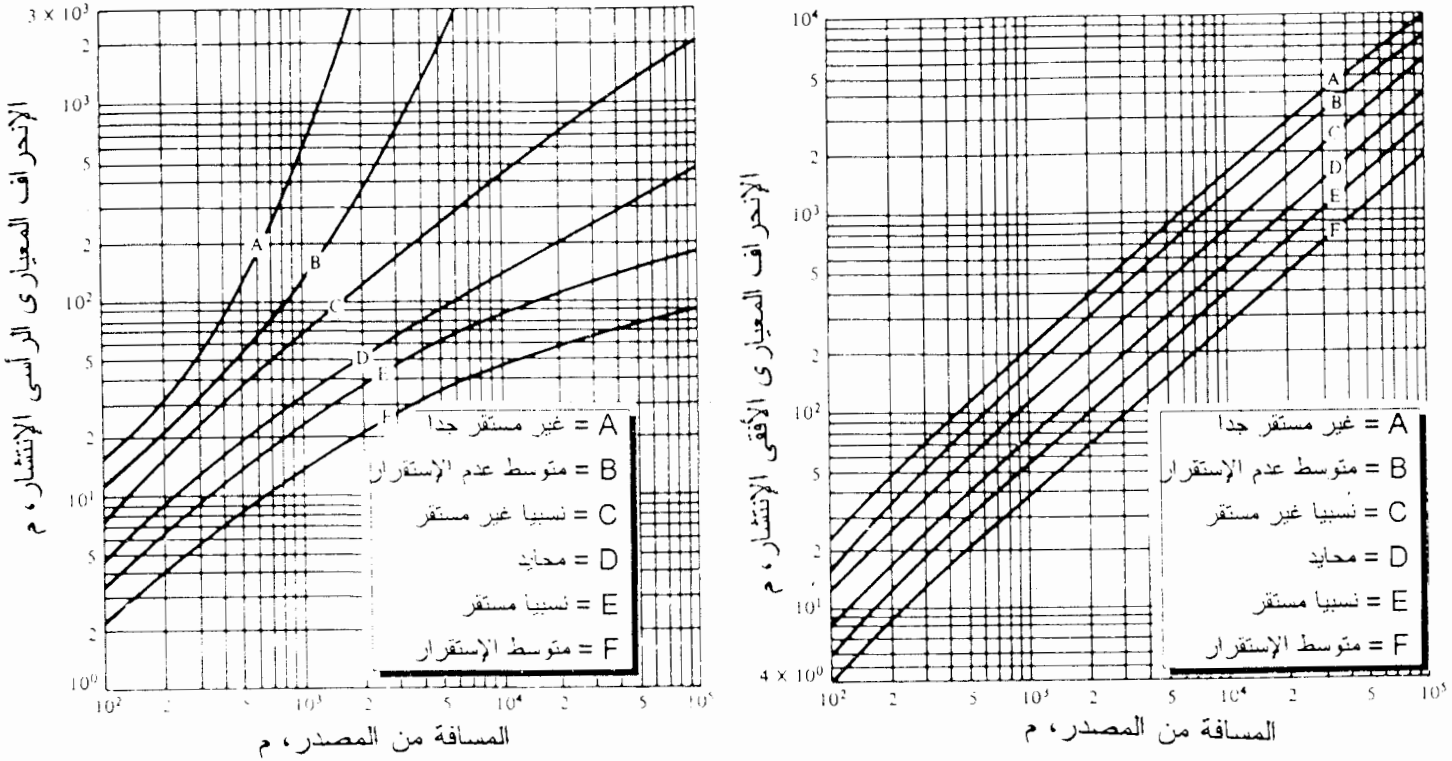
u = سرعة الرياح ، م/ث .

P = الضغط البارومترى ، كيلو باسكال .

T_s = درجة حرارة غاز المدخنة، كلفن .

T_a = درجة حرارة الهواء ، كلفن .

تعتمد قيم الإنحراف المعيارى σ_y و σ_z على إضطراب البنية أو الإستقرار للغلاف الجوى، هذا بالإضافة على إعتمادها على المسافة من المصدر. ويمكن تقسيم الإستقرار الى مصنفات إستقرار من A الى F. ينسب A الى حالة غلاف جوى غير مستقرة جدا فوق الأديباتى، 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 الأديباتى، ويعنى القسم E حالة غلاف جوى مستقرة، أما القسم F فهو



شكل (٥)

معامل إنتشار الريشة كدالة فى المسافة أدنى إتجاه الرياح من المصدر { ١، ٥، ٦، ١٠ }

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 {١،٢،٣،٥،٦}

سرعة الرياح السطحية على إرتفاع ١٠ متر (م/ث)	النهار			الليل
	الإشعاع الشمسى الساقط			مقدار العتمة
	قوى	متوسط	قليل	معظمه عتمة	معظمه صافى
أقل من ٢	A	A - B	B		
٢ الى ٣	A - B	B	C	E	F
٣ الى ٥	B	B - C	C	D	E
٥ الى ٦	C	C - D	D	D	D
أكبر من ٦	C	D	D	D	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 بإستخدام البيانات التالية :

إرتفاع المدخنة الطبيعى ١٨٠ متر.

قطر المدخنة الداخلى ١ متر.

سرعة الرياح ٣,٤ م/ث .

درجة حرارة الهواء ٢٠°م .

الضغط البارومترى ١٠٠ كيلوباسكال .

سرعة غاز المدخنة ٨,٥ م/ث .

درجة حرارة غاز المدخنة ١٤٠م .

الحل :

١ – المعطيـــات : v_s = ٨,٥ م/ث ، d = ١م ، u = ٣,٤ م/ث ، T_s = ١٤٠م ، T_a = ٢٠م ، P = ١٠٠ كيلو باسكال .

٢ – أوجد درجات الحرارة بتقدير كلفن :

T_s = ١٤٠ + ٢٧٣,١٦ = ٤١٣,١٦ كلفن

T_a = ٢٠ + ٢٧٣,١٦ = ٢٩٣,١٦ كلفن

٣ – أوجد إرتفاع الريشة من المعادلة :

$$\Delta h = (v_s d/u) [1.5 + (2.68 \times 10^{-2} P (T_s - T_a) / T_s) d)]$$

Δh = (٨,٥ × ١ ÷ ٣,٤)[١,٥ + (٢,٦٨ × ١٠$^{-٢}$ × ١٠٠ × (٤١٣,١٦ – ٢٩٣,١٦) ÷ ٤١٣,١٦)×١]

= ٥,٧ متر .

٤ – أوجد الإرتفاع الفعال للمدخنة من المعادلة: $H = h + \Delta h$

H = ١٨٠ + ٥,٧ = ١٨٥,٧ متر .

مثال (٣)

إذا كان معدل نفث الغاز فى مثال ٢ يصل الى ١ كيلوجرام على الثانية، أوجد درجة تركيز الغاز على الخط المركزى لمسافة ٥ كيلومترات أدنى اتجاه الرياح فى حالة غلاف جوى معتمة .

الحل :

١ – المعطيات: Q = ١٠٠٠ جم/ث .

٢ – حالة الغلاف الجوى المعتمة تعنى من جدول ٢ أن حالة الإستقرار هى D. كما وأن الخط المركزى تعنى أن y = صفر .

٣ – أوجـــد قيم الإنحـــراف المعيـــارى من شكل (٥) للمسافـــة ٥ كيلومـتر أدنـــى اتجـــاه الرياح ولحالة إستقرار D .

الإنحراف المعيارى الأفقى للريشة σ_y = ٣٠٠ متر .

الإنحراف المعيارى الرأسى للريشة σ_z = ٩٠ متر .

٤ – أوجد درجة التركيز بإستخدام 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) = (١٠٠٠ ÷ (٣,٤ × π × ٣٠٠ × ٩٠)) exp (-(١٨٥,٧ ÷ ٩٠)^{٢} ÷ ٢) exp (-(٠ ÷ ٣٠٠)^{٢} ÷ ٢)

= ٤١٢ ميكروجرام/م^{٣} .

٩ - ٤ مكافحة تلوث الهواء

توجد فى الغلاف الجوى سبل طبيعية تقوم بعمليات النظافة الذاتية، والتى بدونها لا تصلح الطبقة الجوية السفلى (التروبوسفير) لعيش الإنسان (أنظر شكل ٦). وتضم عمليات النظافة الطبيعية التشتت والترسيب تحت الجاذبية والتلبد والإمتصاص والسقيط والإمتزاز .

يقوم التشتت، 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 لتسهل نظافتها أو كنسها مع الأمطار أو الضباب. أما الإمتزاز فيحدث أساسا فى طبقة الإحتكاك فى الغلاف الجوى، وهى الطبقة الأقرب الى سطح الأرض. ويقوم الإمتزاز بالإستقطاب الإلكتروستاتى للغازات والسوائل أو الملوثات الصلبة لسطح ما حيث تتركز وتحجز 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 .

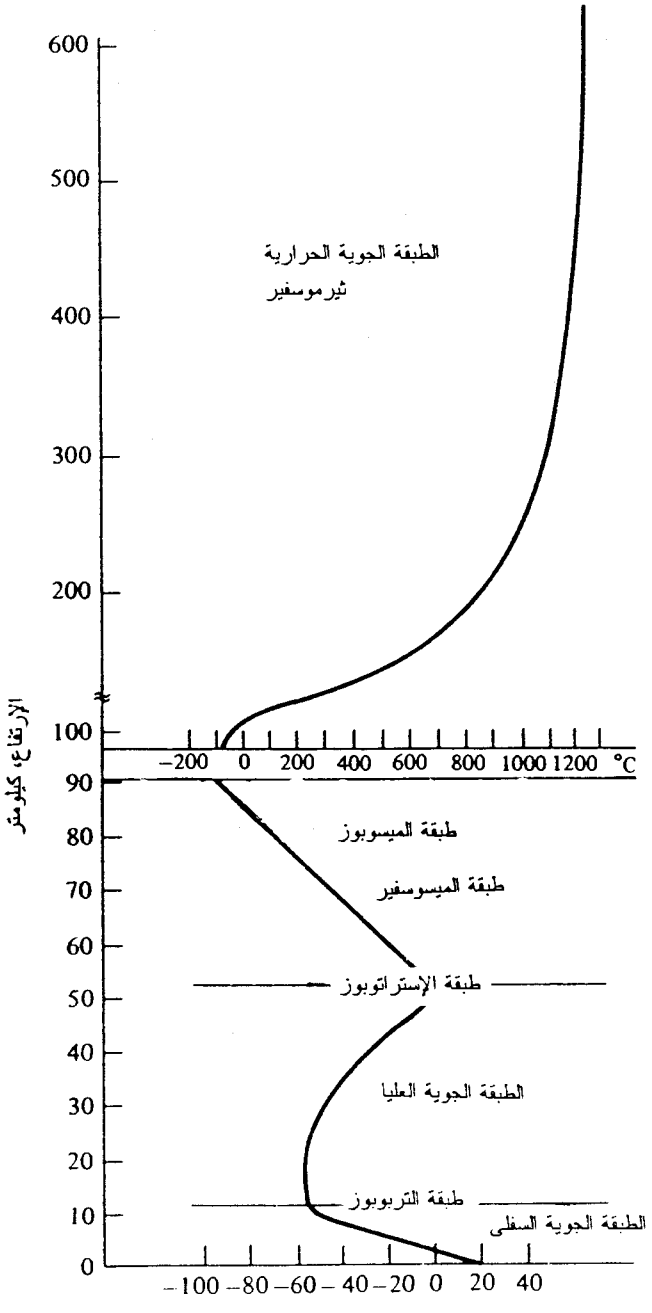
ويمكن تقسيم طرق مكافحة تلوث الهواء العديدة التقليدية الى تلك الطرق المتعلقة بمكافحة الملوثات الغازية، وتلك الطرق المتعلقة بمكافحة تلوث الجسيمات. وهذا التقسيم يعتمد على الفرق فى مقاسات الملوثات، إذ أن جزيئات الغازات لها قطر يبلغ ٠,١ نانومتر تقريبا، أما أقطار الجسيمات فتبلغ ٠,١ ميكرومتر أو أكثر.

ويمكن التحكم فى الملوثات المبتعثة بطرق عديدة كما موضح فى شكل (٨) .

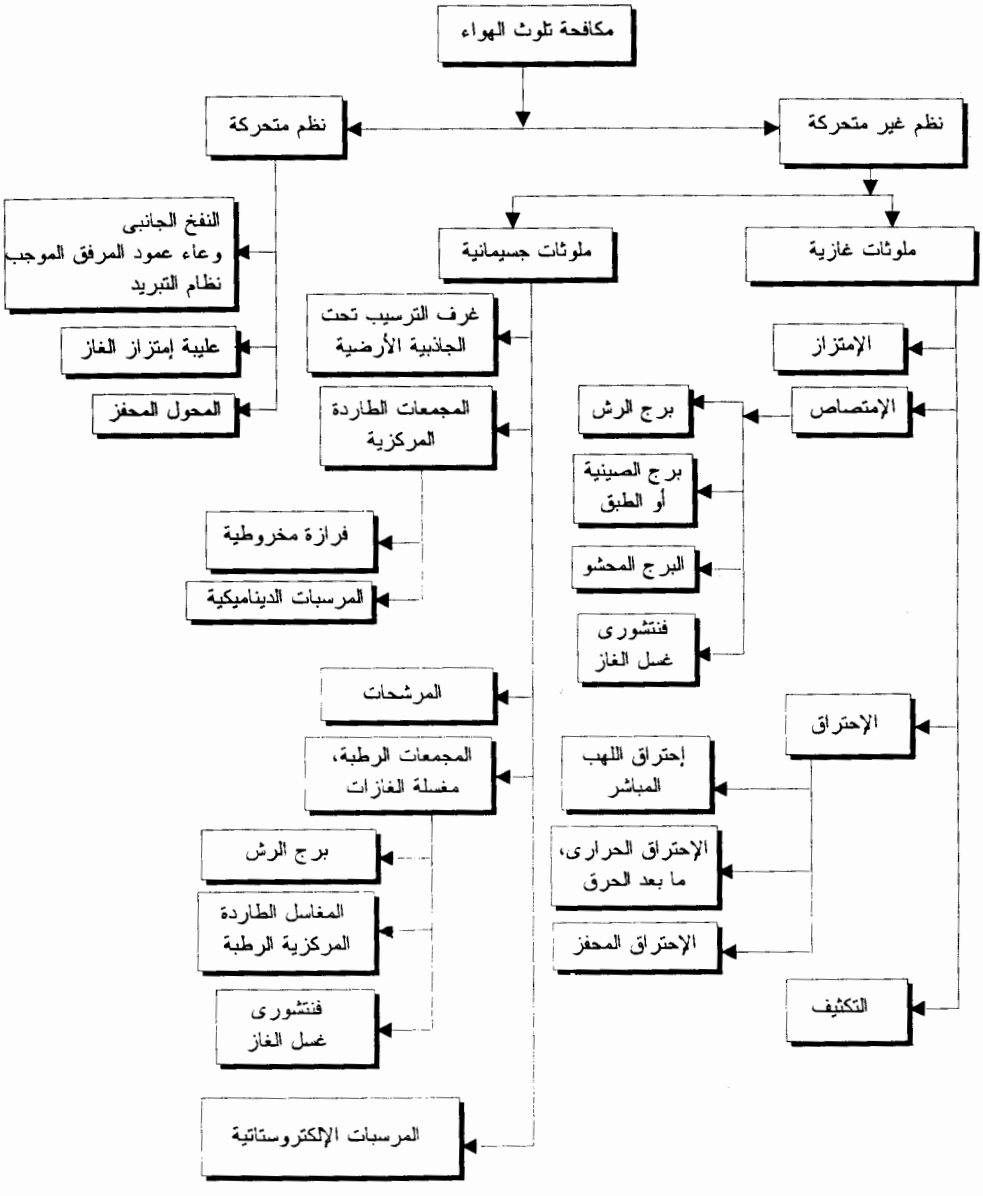
٩ - ٤ - أ طرق ضبط التلوث الهوائى للمصادر الثابتة

٩ - ٤ - أ - ١ الملوثات الغازية Gaseous pollutants

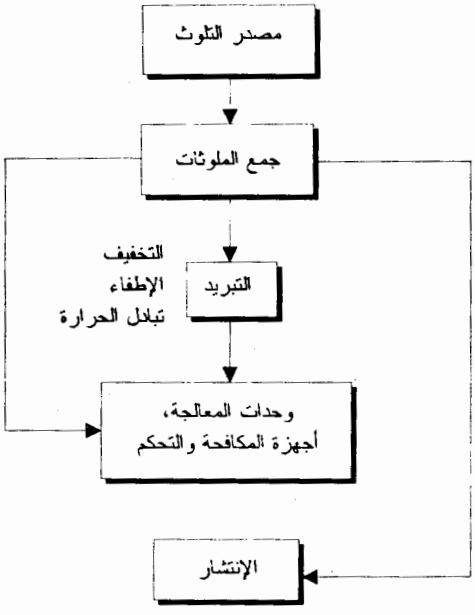
إن أهم الغازات المؤثرة على تلوث الهواء هى أكاسيد الكبريت SO_x، وأكاسيد الكربون (خاصة أول أكسيد الكربون)، وأكاسيد النتروجين NO_x، والغازات الحمضية العضوية وغير العضوية، والهايدروكربونات {٦}. ويمكن تخفيض درجات تركيز الغازات غير المطلوبة بإحدى أو كل الطرق الآتية :



شكل (٦) مقطع الحرارة للغلاف الجوى



شكل (٧) نظم تجميع الملوثات ومكافحة تلوث الهواء



شكل (٨) مكافحة الملوثات المبتعثة للغلاف الجوى

- تقليل أو منع إنتاج الغاز غير المرغوب فيه .
- حـــث الغـــــازات للتفاعل بعد الإنتاج فى عمليات كيميائية تنتج نواتج أخرى غير ضارة ولا تشكل خطورة أو تولد مشاكل .
- الإزالـــــة المنتقاة للنواتج غير المرغوب فيها من نظام الغاز بواسطة الإمتصاص، والذى يعنى نقل جزيئات الغاز الى السائل .
- الإزالـــــة المنتقاة للغاز غير المرغوب فيه بالإمتزاز، والذى يعنى ترسيب جزيئات الغاز فى سطح صلب {٥} .

١) عمليات الإمتزاز Adsorption processes

يتم الإمتزاز المنتقى للغاز فى مفارش أو مواد مازة صلبة يتم مرور الغاز عن طريقها. وتختار المادة المازة إعتمادا 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 الإستخدامات
الكربون النشط	لإزالة جزيئات الهايدروكربونات 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 الزيـــــوت 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 كمواد 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، والهايدروكربونات 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 .

ويبين جدول (٤) بعض أمثلة للمذيبات المستخدمة فى نظافة وغسيل الغازات .

جدول (٤)
أمثلة للمذيبات المنظفة للغازات

المذيب	الاستخدام
الماء	يزيل ثاني أكسيد الكربون ، والكلور ، وكلوريد الهيدروجين ، وفلوريد الهيدروجين
أمونيا وأمينات (زيلين ، وثاني ميثيل أنيلين)	إزالة ثاني أكسيد الكبريت SO_2
ثاني إيثانولمين	إزالة كبريتيد الهيدروجين
الغازولين السائل	إزالة بخار الهايدروكربونات الخفيفة

٣) الإحتراق أو الترميد Combustion or Incineration

الإحتراق عبارة عن عملية لتحويل الملوثات الهوائية (غالبا الهيدروكربونات أو أول أكسيد الكربون) الى ثانى 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 طبقا لنوع المواد الملوثة المطلوب أكسدتها الى ما يلى :

- إحتـــراق اللهب المباشر Direct flame combustion: ويتم فيها إحتراق الغازات الملوثة مباشرة فى جهـــاز إحتراق بإضافة أو بدون إضافة وقود مساعد. وتستخدم هذه الطريقة فى محطات كيمياء البترول ومصافى النفط .
- الإحتـراق الحرارى (أو ما بعد الحرق) Thermal combustion (after burner) : ويتم تسخين الغـــاز الملوث مسبقا، عادة بإستخدام مبادل حرارى. ومن ثم يدخل الغاز المسخن مسبقا الى منطقة الإحتراق التى يوجد بها موقد مزود بالوقود الملحق .
- الإحتـــــراق 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 ويحدث التكثيف إذا تم تم تخفيض درجة حرارة خليط من الغازات الى درجة حرارة التشبع ليتساوى ضغط بخاره مع ضغطه الجزئى {٦} .

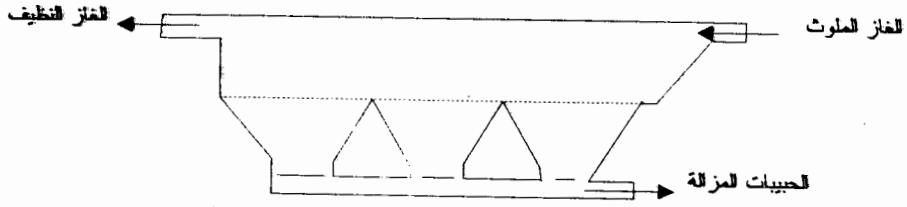
ومن أسباب إستخدام المكثفات ما يلى :

- 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 فيهـــا قوى الجاذبيـة 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 تخطيطى لغرف الترسيب تحت قوى الجاذبية الأرضية

ويمكن إيجاد كفاءة غرف الترسيب تحت الجاذبية {٥} من المعادلة ٦ .

$$E = 100 *[1 - \exp(-g*dp^2 *\rho_p*L/18*\mu*u*h)] \quad (٦)$$

حيث :

E = كفاءة الإزالة ، ٪ .

g = عجلة الجاذبية الأرضية ، م/ ث^2 .

d_p = قطر الحبيبة ، م .

ρ_p = كثافة الحبيبة ، كجم/ م^3 .

L = طول المجمع ، م .

μ = درجة لزوجة الغاز الديناميكية ، نيوتن×ث/ م^2 .

u = السرعة الأفقية للغاز والحبيبة عبر المجمع، م/ ث .

h = إرتفاع المجمع، م .

مثال (٤)

أوجد قطر الجسيمات العالقة فى 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^3 .

الحل :

١- المعطيات: T = ١٢٠ °م، u = ٠,٩ م/ث، L = ٤ م، h = ١م، E = ٥٥ ٪، ρ_p = ٢٠٠٠ كجم/ م^3.

٢- أوجد درجة اللزوجة للهواء طبقا لدرجة الحرارة ١٢٠ ° م، من الملاحق جدول (و) لتساوى

μ = ٢,٢٦ × ١٠$^{-٥}$ نيوتن×ث/ م^2 .

٣- أوجد قطر الحبيبات من معادلة الكفاءة :

$$E = 100 *[1 - \exp(-g*dp^2*\rho_p*L/18*\mu*u*h)]$$

$$[\{(١\times٠,٩\times\{٥-١٠\}\times٢,٢٦\times١٨)\div(٤\times٢٠٠٠\times dp^2\times٩,٨١)-\} \exp - ١]\times ١٠٠ = ٥٥$$

d_p = ٦١ 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 ذاتى لاتوجد به أجزاء متحركة. ويتسارع الغاز الحامل للجسيمات الملوثة عبر حركة حلزونية تولد قوى طرد مركزية على الحبيبة. وتندفع الحبيبات خارج الغاز الدائر وترتطم بجدار أسطوانة الفرازة. ومن ثم تنزلق 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 أ) .

أما كفاءة الفرازة المخروطية فيمكن تقديرها باستخدام {١،٢،٥،٦} معادلة ٧ .

$$d_{50} = [\ 9\mu B / (2\pi\ N u_i\ (\rho_p - \rho_g))\ ]^{1/2} \qquad (٧)$$

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^3 .

ρ_g = كثافة الغاز، كجم/م^3 (عادة تفترض مساوية صفر {٢}) .

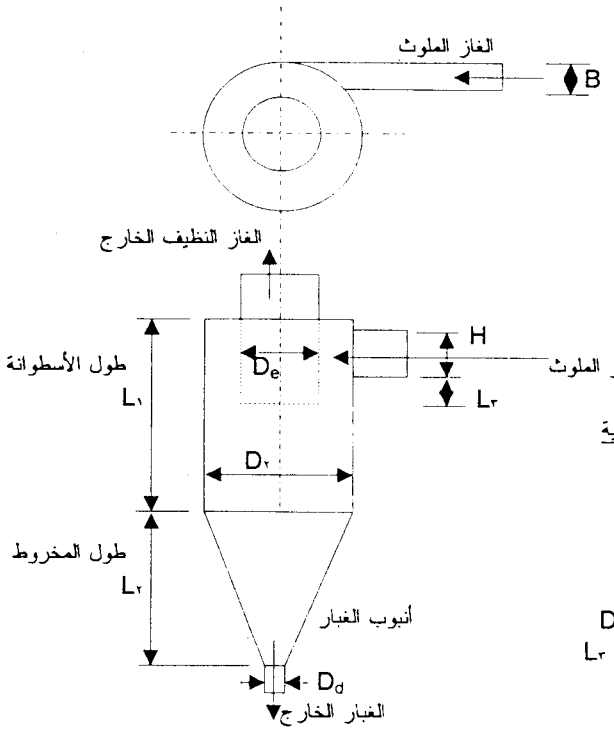
عادة تؤخذ عدد اللفات الفعالة {٢} لتساوي ٤ أو يمكن إيجادها من المعادلة ٨ .

$$N = (\pi/H)^* (\ 2L_1 + L_2\ ) \qquad (٨)$$

حيث :

N = العدد الفعال للفات الموجودة مستعرضا في الفرازة المخروطية .

H = طول المدخل، م .



أ - رسم تخطيطي للفرازة المخروطية

أبعاد الفرازة المخروطية القياسية

طول الأسطوانة $L_1 = 2D_2$

طول المخروط $L_2 = 2D_2$

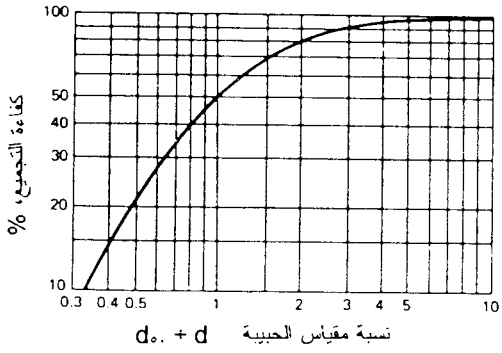
قطر المخرج $D_e = D_2/2$

طول المدخل $H = D_2/2$

علاص المدخل $B = D_2/4$

قطر مخرج الغبار $D_d = D_2/4$

طول مجرى المخرج $L_2 = D_2/8$



ب - كفاءة الفرازة المخروطية

شكل (١٠) الفرازة المخروطية { ١،٢،٦،٧}

L_1 = طول الأسطوانة ، م .

L_2 = طول المخروط ، م .

مثال (٥)

فرازة مخروطية ذات عرض داخلى يساوى ٤٠ سم وبها ٤ لفات فعالة. القطر المتوسط للحبيبات المطلوب إزالتها ٢٥ ميكرومتر وكثافتها ١٠٠٠ كجم / م^3. يتحرك مسار الهواء بسرعة ٨ م/ث ودرجة حرارته ٣٠٠° 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^3، T = ٣٠٠° م .

٢- أوجد من جدول (و) في الملاحق درجة اللزوجة المرادفة لدرجة حرارة ٣٠٠° م لتساوي μ = ٢,٩٨×١٠$^{-٥}$ نيوتن.ث/م^2، والكثافة تساوى ρ_g = ٠,٦٢ كجم/م^3 .

٣- أوجد d_{50} من المعادلة $d_{50} = [\ 9\mu B/\ (2\pi\ Nu_i\ (\rho_p - \rho_g\ ))\ ]^2$

d_{50} = [(٩×٢,٩٨×١٠$^{-٥}$×٠,٤)÷(٢π×٤×٨) (١٠٠٠ - ٠,٦٢))]^{٠,٥} = ٢٣,١ ميكرومتر .

٤- أوجد نسبة d ÷ d_{50} = ٢٥ ميكرومتر ÷ ٢٣,١ ميكرومتر = ١,٠٨

٥- أوجد الإزالة المتوقعة من رسم (١٠ب) طبقا لنسبة d÷d_{50} = ١,٠٨

وبذا ، E = ٥٣ ٪

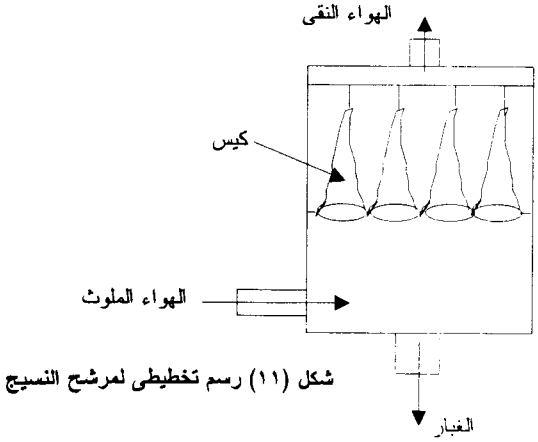
(ب) المرسبات الديناميكية Dynamic precipitatos

إن المرسبات الديناميكية وحدات تعمل على أسس الطرد المركزى 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)

يماثل عمل مرشحات النسيج أداء منظفات الشفط Vacuum cleaners. وتستخدم المرشحات لإزالة المواد الصلبة الجافة من مسار الغاز الجاف والذى 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 المخلقة. وتختلف ملاءمة كل منها طبقا 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 تخطيطى لمرشح النسيج

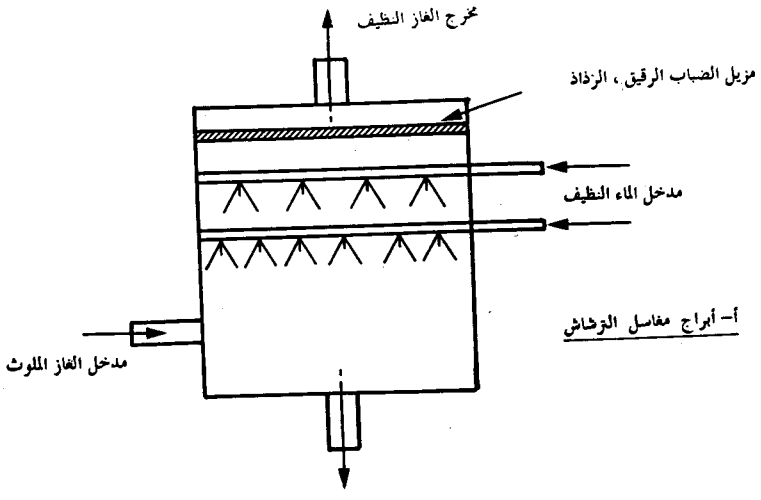
٤) المجمعات الرطبة (مغسلة الغازات) Wet collectors (Scrubbers)

تصمم المجمعات الرطبة لزيادة مقاس الحبيبة بإستخدام 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 (١٢أ) رسم تخطيطى لأبراج مغاسل الترشاش، ويوضح الشكل ١٢ب 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} .

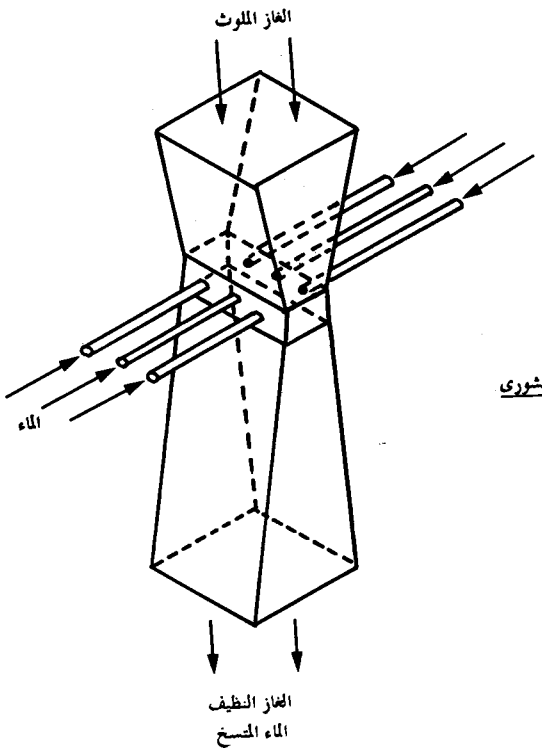
أما فى مغسلة الفنتشورى فيتم تصميم دفق الماء عبر مقطع عنق الفنتشورى، ويتم إدخال الماء تحت مسار ضغط عالى عمودى على إتجاه دفق الغاز. وبذا تتمكن مغسلة الفنتشورى من إزالة الجسيمات التى يزيد مقاسها عن ٥ ميكرومتر {٢} .

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 كيلوفولت) بين الأسلاك والصفائح. وهذه الحالة تنتج حقل أيونى بين السلك والصفيحة، وعندما يمر مسار الغاز، المحمل بالجسيمات والملوثات، بين السلك والصفيحة يتم تعلق الأيونات بالجسيمات، مما يجعلها تحمل شحنة كهربائية سالبة. ومن ثم ترتحل الجسيمات نحو الصفيحة الموجبة الشحنة لتلتصق بها. وتطرق الصفائح على فترات متكررة ليسمح بسقوط شريحة الجسيمات الملبدة 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} .

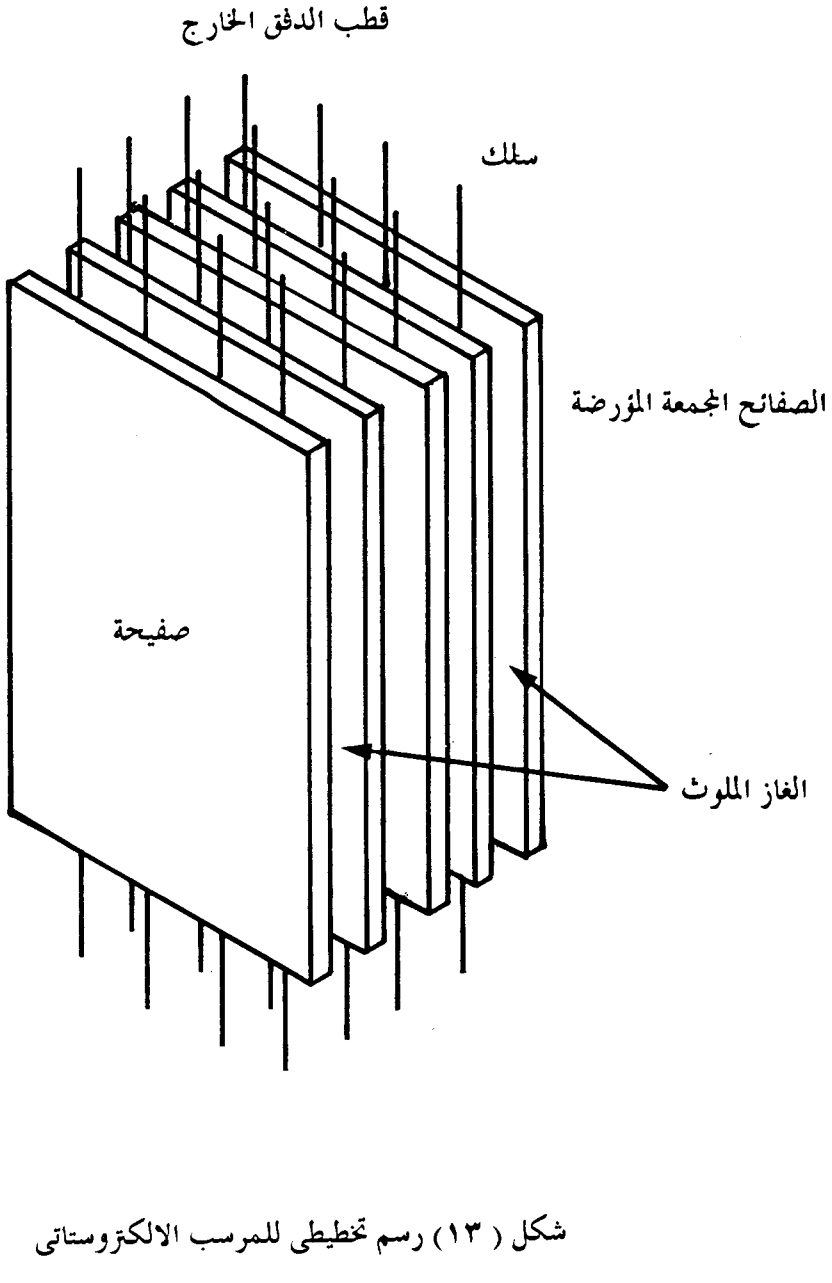


أ- أبراج مغاسل الترشاش



ب- مغسلة الفنتشوري

شكل (١٢)رسم تخطيطى لبعض المجمعات و المغاسل الرطبة



شكل (١٣) رسم تخطيطى للمرسب الالكتروستاتى

أما علاقة الكفاءة ومقاس الحبيبة بالنسبة للمرسب الإلكتروستاتى فتتبع دالة خطية المنحنى تماثل تلك الموضحة للفرازة المخروطية كما مبين فى المعادلة ٩ .

$$E = 100(1 - e^{-Aw/Q}) \quad (٩)$$

حيث :

E = كفاءة المرسب الإلكتروستاتى ، ٪ .

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 دفق مسار الغاز، م^{٣}/ث .

ويمكن إيجاد سرعة الإنسياق من المعادلة ١٠ .

$$w = a*d_p \quad (١٠)$$

حيث :

w = سرعة الإنسياق ، م/ث .

d_p = مقاس الحبيبة ، م .

a = ثابت .

وعادة تكون سرعة إنسياق الحبيبات المشحونة نحو قطب المجمع فى حدود ٠,٠٣ الى ٠,٢ م/ث {٦،٢}.

مثال (٦)

يمكن لمرسب إلكتروستاتى إزالة جسيمات من مدخنة تتحرك الغازات منها بمعدل ٤٠٠ متر مكعب فى الدقيقة. أوجد مساحة الصفيحة اللازمة لإزالة ٩٨ بالمائة من الحبيبات، علما بأن سرعة إنسياق الحبيبات المشحونة نحو قطب المجمع تساوى 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 = ١٠٠(١ – e$^{-A\times٠,٢\div(٤٠٠\div٦٠)}$) = ١٣٠,٤ م^{٢}.

٩ - ٤ - ب مصادر تلوث الهواء المتحركة Mobile sources

تحوى مصادر التلوث من السيارات ما يلى {٢} :

* تبخر الهيدروكربونات من خزات الوقود .
* تبخـــــر الهيدروكربونات من المبخر (المكربن) Carburetor أو أداة مزج الهواء بمركبات البترول والبنزين .
* نفـــث الغـــــازولين غير المحترق والهيـــــــدروكربونات 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 .

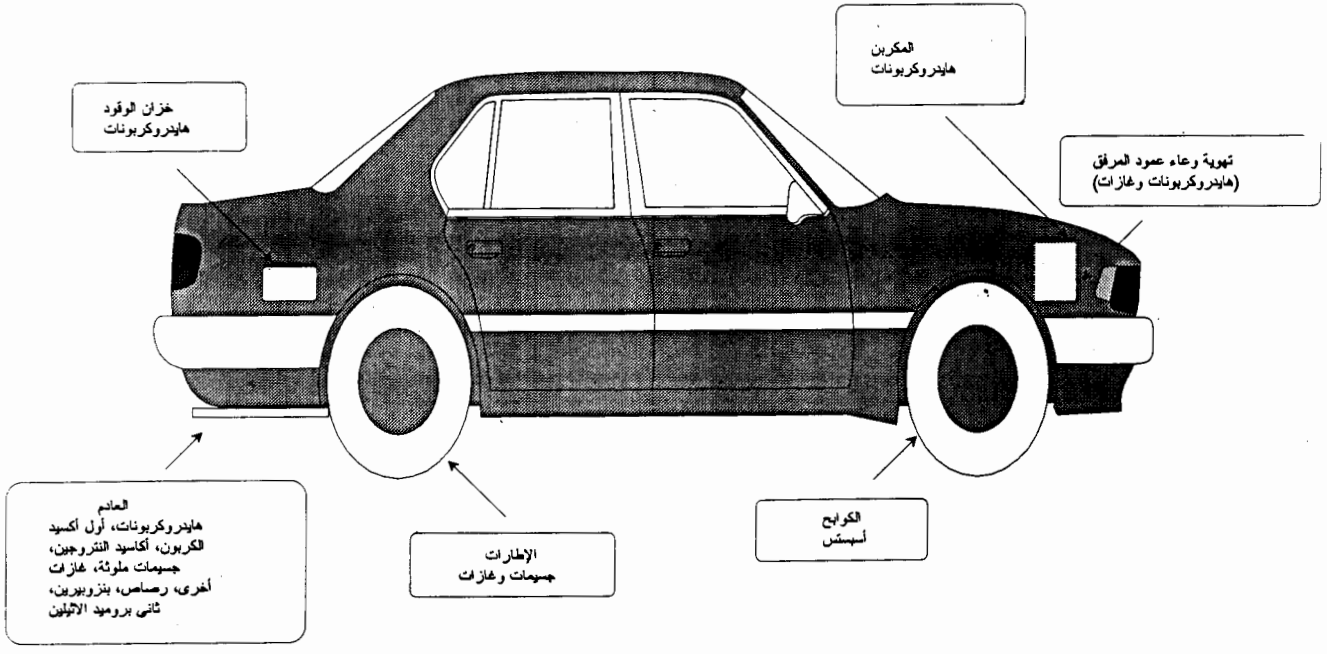
وبالنسبة للفقد المتبخر من خزان الوقود والمكربن فقد تم إزالته بتخزين الأبخرة المبتعثة فى عليبة بها كربون نشط. وعادة تنتج الأبخرة عند بدء تشغيل أو غلق المحرك وعندما يبدأ الغازولين فى المكربن فى التبخر. وبعد ذلك يتم إزالة الأبخرة بالهواء لتحترق فى المحرك .

كما ويمكن إزالة المبتعثات من وعاء عمود المرفق بإغلاق التهوية للغلاف الجوى، وإعادة دوران الغازات المنبعثة فى المشعب (وصلة بفتحات جانبية Manifold) الداخل. وصمام وعاء عمود المرفق الموجب عبارة عن صمام فاحص يستخدم لمنع إستمرار 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 أكـــــاسيد النتروجين وأول أكسيـد الكربون والرصاص المنبعث من السيارة {٢}. وتزداد المشاكل عند إنخفاض الكفاءة التشغيلية للسيارة نسبة لظروف السياقة، أو لضعف الصيانة الدورية المطلوبة. وعامة تتدنى كفاءة تشغيل السيارات وتتفاقم مشاكل التلوث الهوائى من المواد المبتعثة منها عند الوقوف القصير المتقطع والمتكرر، والسياقة 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، فلابد من ترشيد إستخدام الطاقة فى سبيل تقليل الملوثات. ومن المتوقع أن تأتى التقانة العلمية والتلنولوجيا الحديثة بما يساعد نحو إنتاج مرامد وأجهزة إحتراق تحسن من إستخدام الوقود، وصنع سيارات أصغر وأخف لتقليل



شكل ١٤
رسم تخطيطى يبين أهم مناطق الملوثات الهوائية الصادرة من السيارة

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 تثقيفية تقوم بإستحداثها وتطبيقها الوزارات والبلديات المختلفة أو جهات الإختصاص. ويتم إبرازها عبر أجهزة الأعلام (مثل الصحف السيارة والتلفاز والمذياع وغيرها من وسائل التقانة المرئية والمسموعة)، بالأضافة 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، بالاضافة الى أن هذه المجهودات قد تفتقر الى الصفات التعليمية والاستساغية فى جوانب أخرى. وعليه فلابد من التركيز على البرامج المناسبة لإزدياد تثقيف وتوعية المجتمع عبر نشر وتوزيع الكتيبات والملصقات ومعايير التشريع وغيرها وذلك بإستخدام كل السبل والإمكانيات والموارد المتاحة والعوامل الإجتماعية والدينية والثقافية{١٥} .

٩ - 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 الإرصاد 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 الأديباتى، ومعدل الإنقضاء فوق الأديباتى، ومعدل الإنقضاء المعتدل، ومعدل الإنقضاء شبه الأديباتى، 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 بإيجاز عن المرسبات الإلكتروستاتية ومحاسنها لتجميع الملوثات الهوائية .
٢٥) مـاهى 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 حـرارة صفر درجة منوية 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 الفعـــال لمدخنة تنفث غاز تعـــادل سرعة خروجه ١٠ متر على الثانية ودرجة حرارته ٢٥٠°م، علما بـــأن الطول الحقيقى للمدخنة ١٥٠ متر وقطرها الداخلى ١,٣ متر، والضغط البارومترى ٩٠ كيلوباسكال ، ودرجـــة حرارة الهواء ١٨°م ، 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 منوية. طول المدخنة الطبيعى ١٩٠ متر، وقطرها الداخلى ١,١ متر، والضغط البارومترى ١١٠ كيلوباسكال، ودرجة حرارة الغلاف الجوى المحيط ٢١ ° م. يمكن إفتراض أن حالة الغلاف الجوى المحيط معتمة، وسرعة الرياح ٤ متر على الثانية (الإجابة: ٥٩٢ ميكروجرام/م^{٣}) .
٤) أوجد كفاءة إزالة الحبيبـــات ذات القطر ١٢٠ ميكرومتر فى غرفة ترسيب تحت الجاذبية طولها ٣,٥ م ، وإرتفاعها ١,٢ م ، استخـــدمت لترسيب حبيبـــات من تيار غاز على درجة حرارة ٢٠٠ ° م،

وتحت ضغط جوى، ويتحرك بسرعة ١,٥ م/ ث فى المجمع . يمكـــن 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 إنسياق الحبيبات المشحونة نحو قطب المرسب تساوى ١٠ متر على الدقيقة .

كفاءة إزالة الحبيبات ٩٧ ٪ .

قطر الحبيبة المتوسط ٥٠٠ نانومتر .

أوجـــــد الزيـــــادة المطلوبة فى المساحـــــــة عند رفع الكفاءة الى ٩٩,٥ بالمائـــة .

(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 Edi., 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 Edi., 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

ملحق (أ)

ضغط بخار الماء المشبع بدلالة الحرارة {١}

درجة الحرارة (منوية)°	ضغط البخار المشبع (ملم زئبق)									
	٠	٠,١	٠,٢	٠,٣	٠,٤	٠,٥	٠,٦	٠,٧	٠,٨	٠,٩
٠	٤,٥٨	٤,٦٢	٤,٦٥	٤,٦٩	٤,٧١	٤,٧٥	٤,٧٨	٤,٨٢	٤,٨٦	٤,٨٩
١	٤,٩٢	٤,٩٦	٥	٥,٠٣	٥,٠٧	٥,١١	٥,١٤	٥,١٨	٥,٢١	٥,٢٥
٢	٥,٢٩	٥,٣٣	٥,٣٧	٥,٤	٥,٤٤	٥,٤٨	٥,٥٣	٥,٥٧	٥,٦	٥,٦٤
٣	٥,٦٨	٥,٧٢	٥,٧٦	٥,٨	٥,٨٤	٥,٨٩	٥,٩٣	٥,٩٧	٦,٠١	٦,٠٦
٤	٦,١	٦,١٤	٦,١٨	٦,٢٣	٦,٢٧	٦,٣١	٦,٣٦	٦,٤	٦,٤٥	٦,٤٩
٥	٦,٥٤	٦,٥٨	٦,٥٤	٦,٦٨	٦,٧٢	٦,٧٧	٦,٨٢	٦,٨٦	٦,٩١	٦,٩٦
٦	٧,٠١	٧,٠٦	٧,١١	٧,١٦	٧,٢	٧,٢٥	٧,٣١	٧,٣٦	٧,٤١	٧,٤٦
٧	٧,٥١	٧,٥٦	٧,٦١	٧,٦٧	٧,٧٢	٧,٧٧	٧,٨٢	٧,٨٨	٧,٩٣	٧,٩٨
٨	٨,٠٤	٨,١	٨,١٥	٨,٢١	٨,٢٦	٨,٣٢	٨,٣٧	٨,٤٣	٨,٤٨	٨,٥٤
٩	٨,٦١	٨,٦٧	٨,٧٣	٨,٧٨	٨,٨٤	٨,٩	٨,٩٦	٩,٠٢	٩,٠٨	٩,١٤
١٠	٩,٢	٩,٢٦	٩,٣٣	٩,٣٩	٩,٤٦	٩,٥٢	٩,٥٨	٩,٦٥	٩,٧١	٩,٧٧
١١	٩,٨٤	٩,٩	٩,٩٧	١٠,٠٣	١٠,١	١٠,١٧	١٠,٢٤	١٠,٣١	١٠,٣٨	١٠,٤٥
١٢	١٠,٥٢	١٠,٥٨	١٠,٦٦	١٠,٧٢	١٠,٧٩	١٠,٨٦	١٠,٩٣	١١	١١,٠٨	١١,١٥
١٣	١١,٢٣	١١,٣	١١,٣٨	١١,٧٥	١١,٥٣	١١,٦	١١,٦٨	١١,٧٦	١١,٨٣	١١,٩١
١٤	١١,٩٨	١٢,٠٦	١٢,١٤	١٢,٢٢	١٢,٩٦	١٢,٣٨	١٢,٤٦	١٢,٥٤	١٢,٦٢	١٢,٧
١٥	١٢,٧٨	١٢,٨٦	١٢,٩٥	١٣,٠٣	١٣,١١	١٣,٢	١٣,٢٨	١٣,٣٧	١٣,٤٥	١٣,٥٤
١٦	١٣,٦٣	١٣,٧١	١٣,٨	١٣,٩	١٣,٩٩	١٤,٠٨	١٤,١٧	١٤,٢٦	١٤,٣٥	١٤,٤٤
١٧	١٤,٥٣	١٤,٦٢	١٤,٧١	١٤,٨	١٤,٩	١٤,٩٩	١٥,٠٩	١٥,١٧	١٥,٢٧	١٥,٣٨
١٨	١٥,٤٦	١٥,٥٦	١٥,٦٦	١٥,٧٦	١٥,٩٦	١٥,٩٦	١٦,٠٦	١٦,١٦	١٦,٢٦	١٦,٣٦
١٩	١٦,٤٦	١٦,٥٧	١٦,٦٨	١٦,٧٩	١٦,٩	١٧	١٧,١	١٧,٢١	١٧,٣٢	١٧,٤٣
٢٠	١٧,٥٣	١٧,٦٤	١٧,٧٥	١٧,٨٦	١٧,٩٧	١٨,٠٨	١٨,٢	١٨,٣١	١٨,٤٣	١٨,٥٤
٢١	١٨,٦٥	١٨,٧٧	١٨,٨٨	١٩	١٩,١١	١٩,٢٣	١٩,٣٥	١٩,٤٦	١٩,٥٨	١٩,٧
٢٢	١٩,٨٢	١٩,٩٤	٢٠,٠٦	٢٠,١٩	٢٠,٣١	٢٠,٤٣	٢٠,٥٨	٢٠,٦٩	٢٠,٨	٢٠,٩٣
٢٣	٢١,٠٥	٢١,١٩	٢١,٣٢	٢١,٤٥	٢١,٥٨	٢١,٧١	٢١,٨٤	٢١,٩٧	٢٢,١	٢٢,٢٣
٢٤	٢٢,٢٧	٢٢,٥	٢٢,٦٣	٢٢,٧٦	٢٢,٩١	٢٣,٠٥	٢٣,١٩	٢٣,٣١	٢٣,٤٥	٢٣,٦
٢٥	٢٣,٧٥	٢٣,٩	٢٤,٠٣	٢٤,٢	٢٤,٣٥	٢٤,٤٩	٢٤,٦٤	٢٤,٧٩	٢٤,٩٤	٢٥,٠٨
٢٦	٢٥,٣١	٢٥,٤٥	٢٥,٦	٢٥,٧٤	٢٥,٨٩	٢٦,٠٣	٢٦,١٨	٢٦,٣٢	٢٦,٤٦	٢٦,٦
٢٧	٢٦,٧٤	٢٦,٩	٢٧,٠٥	٢٧,٢١	٢٧,٣٧	٢٧,٥٣	٢٧,٦٩	٢٧,٨٥	٢٨	٢٨,١٦
٢٨	٢٨,٣٢	٢٨,٤٩	٢٨,٦٦	٢٨,٨٣	٢٩	٢٩,١٧	٢٩,٣٤	٢٩,٥١	٢٩,٦٨	٢٩,٨٥
٢٩	٣٠,٠٣	٣٠,٢	٣٠,٣٨	٣٠,٥٦	٣٠,٧٤	٣٠,٩٢	٣١,١	٣١,٢٨	٣١,٤٦	٣١,٦٤
٣٠	٣١,٨٢	٣٢	٣٢,١٩	٣٢,٣٨	٣٢,٥٧	٣٢,٧٦	٣٢,٩٥	٣٣,١٤	٣٣,٣٣	٣٣,٥٢

ملحق (ب)

قيم تركيز التشبع للأكسجين الذائب فى الماء والمعرض لمياه مشبعة بهواء يحتوى على ٢٠,٩ % كسجين وتحت ضغط يعادل ٧٦٠ ملم زئبق { ٢، ٣، ٤، ٥، ٦}

درجة الحرارة (مئوية)	كمية الكلوريد الذائب فى الماء (ملجم/ لتر)				الفروق لكل ١٠٠ ملجم كلوريد
	صفر	٥٠٠٠	١٠٠٠٠	٢٠٠٠٠	
صفر	١٤,٦	١٣,٨	١٣	١١,٣	٠,٠١٧
١	١٤,٢	١٣,٤	١٢,٦	١١	٠,٠١٦
٢	١٣,٨	١٣,١	١٢,٣	١٠,٨	٠,٠١٥
٣	١٣,٥	١٢,٧	١٢	١٠,٥	٠,٠١٥
٤	١٣,١	١٢,٤	١١,٧	١٠,٣	٠,٠١٤
٥	١٢,٨	١٢,١	١١,٤	١٠	٠,٠١٤
٦	١٢,٥	١١,٨	١١,١	٩,٨	٠,٠١٤
٧	١٢,٢	١١,٥	١٠,٩	٩,٦	٠,٠١٣
٨	١١,٩	١١,٢	١٠,٦	٩,٤	٠,٠١٣
٩	١١,٦	١١	١٠,٤	٩,٢	٠,٠١٢
١٠	١١,٣	١٠,٧	١٠,١	٩	٠,٠١٢
١١	١١,١	١٠,٥	٩,٩	٨,٨	٠,٠١١
١٢	١٠,٨	١٠,٣	٩,٧	٨,٦	٠,٠١١
١٣	١٠,٦	١٠,١	٩,٥	٨,٥	٠,٠١١
١٤	١٠,٤	٩,٩	٩,٣	٨,٣	٠,٠١
١٥	١٠,٢	٩,٧	٩,١	٨,١	٠,٠١
١٦	١٠	٩,٥	٩	٨	٠,٠١
١٧	٩,٧	٩,٣	٨,٨	٧,٨	٠,٠١
١٨	٩,٥	٩,١	٨,٦	٧,٧	٠,٠٠٩
١٩	٩,٤	٨,٩	٨,٥	٧,٦	٠,٠٠٩
٢٠	٩,٢	٨,٧	٨,٣	٧,٤	٠,٠٠٩
٢١	٩	٨,٦	٨,١	٧,٣	٠,٠٠٩
٢٢	٨,٨	٨,٤	٨	٧,١	٠,٠٠٨
٢٣	٨,٧	٨,٣	٧,٩	٧	٠,٠٠٨
٢٤	٨,٥	٨,١	٧,٧	٦,٩	٠,٠٠٨
٢٥	٨,٤	٨	٧,٦	٦,٧	٠,٠٠٨
٢٦	٨,٢	٧,٨	٧,٤	٦,٦	٠,٠٠٨
٢٧	٨,١	٧,٧	٧,٣	٦,٥	٠,٠٠٨
٢٨	٧,٩	٧,٥	٧,١	٦,٤	٠,٠٠٨
٢٩	٧,٨	٧,٤	٧	٦,٣	٠,٠٠٨
٣٠	٧,٦	٧,٣	٦,٩	٦,١	٠,٠٠٨

ملحق (ج)

بعض الخواص الطبيعية للماء {٢، ٣، ٧}

درجة الحرارة (مئوية)	الكثافة جم / م مكعب	درجة اللزوجة الديناميكية = μ × ١٠ $^{-٣}$ نيوتن*ث/متر مربع	درجة اللزوجة الكينماتكية = ν × ١٠ $^{-٦}$ 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	الوزن الجزيئى	الكثافة كجم/م^{٣}	الوزن النوعى نيوتن/م^{٣}	ثابت الغاز ول/كجم.كلفن	درجة اللزوجة الديناميكية نيوتن*ث/م^{٢}	درجة اللزوجة الكينامتكية م^{٢}/ث
أرجون Ar	٣٩,٩	١,٦٦	١٦,٣	٢٠٨	$٢,٢٤ \times ١٠^{-٥}$	$١,٣٥ \times ١٠^{-٥}$
الهواء الجاف	٢٨,٩٦	١,٢٣	١١,٨	٢٨٧	$١,٧٩ \times ١٠^{-٥}$	$١,٤٦ \times ١٠^{-٥}$
كلور $Cl_{٢}$	٧٠,٩١	٢,٩٥	٢٨,٩	١١٧	$١,٠٣ \times ١٠^{-٥}$	$٠,٣٥ \times ١٠^{-٥}$
ميثان $CH_{٤}$	١٦,٠٤	٠,٦٦٧	٦,٥٤	٥١٨	$١,٣٤ \times ١٠^{-٥}$	$٢,٠١ \times ١٠^{-٥}$
أول أكسيد الكربون CO	٢٨,٠١	١,١٦	١١,٤	٢٩٧	$١,٨٢ \times ١٠^{-٥}$	$١,٥٧ \times ١٠^{-٥}$
ثانى أكسيد الكربون $CO_{٢}$	٤٤,٠١	١,٨٢	١٧,٩	١٨٩	$١,٤٨ \times ١٠^{-٥}$	$٠,٨١ \times ١٠^{-٥}$
هيدروجين $H_{٢}$	٢,٠٢	٠,٠٨٤	٠,٨٢٢	٤١٢٤	$٩,١ \times ١٠^{-٦}$	$١,٠٨ \times ١٠^{-٤}$
هليوم He	٤,٠٠٣	٠,١٦٦	١,٦٣	٢٠٧٧	$١,٩٧ \times ١٠^{-٥}$	$١,١٩ \times ١٠^{-٤}$
نتروجين $N_{٢}$	٢٨,٠٢	١,١٦	١١,٤	٢٩٧	$١,٧٦ \times ١٠^{-٥}$	$١,٤٤ \times ١٠^{-٥}$
أكسجين $O_{٢}$	٣٢	١,٣٤	١٣,١	٢٦٠	٢×١٠^{-٥}	$١,٥ \times ١٠^{-٥}$

ملحق (هـ)

بعض خواص السوائل العادية (الضغط ١جو ودرجة الحرارة ٢٠ درجة مئوية

السائل	الكثافة كجم/م^{٣}	الوزن النوعى نيوتن/م^{٣}	درجة اللزوجة الديناميكية نيوتن*ث/م^{٢}	درجة اللزوجة الكينامتكية م^{٢}/ث	التوتر السطحى نيوتن/م	ضغط البخار نيوتن*ث/م^{٢}
أمونيا	٦٠٨	٦٢	$٢,٢ \times ١٠^{-٤}$	$٣,٥ \times ١٠^{-٦}$	$٢,١٣ \times ١٠^{-٢}$	$٩,١ \times ١٠^{٥}$
بنزين	٨٨١	٨٩,٩	$٦,٥ \times ١٠^{-٤}$	$٧,٢ \times ١٠^{-٦}$	$٢,٩ \times ١٠^{-٢}$	$١,٠١ \times ١٠^{٤}$
رباعى كلوريد الكربون	١٥٩٠	١٦٢	$٩,٧ \times ١٠^{-٤}$	٦×١٠^{-٦}	$٢,٧ \times ١٠^{-٢}$	$١,٢ \times ١٠^{٤}$
إيثانول	٦٨٩	٧٠,٢	$١,٢ \times ١٠^{-٣}$	$١,٧ \times ١٠^{-٥}$	$٢,٣ \times ١٠^{-٢}$	$٥,٧ \times ١٠^{٣}$
اثيل الكحول	٧٨٩	٧,٧٤	$١,١٩ \times ١٠^{-٣}$	$١,٥١ \times ١٠^{-٦}$	$٢,٣ \times ١٠^{-٢}$	$٥,٩ \times ١٠^{٣}$
غازولين	٦٨٠	٦٩,٣	$٢,٩ \times ١٠^{-٤}$	$٤,٢ \times ١٠^{-٦}$	$٢,٢ \times ١٠^{-٢}$	$٥,٥ \times ١٠^{٣}$
جلسرين	١٢٦٠	١٢٨,٤	١,٥	$١,٢ \times ١٠^{-٢}$	$٦,٣ \times ١٠^{-٢}$	$١,٤ \times ١٠^{-٢}$
كيروسين	٨٠٤	٨٢	$١,٩ \times ١٠^{-٣}$	$٢,٣ \times ١٠^{-٥}$	$٢,٨ \times ١٠^{-٢}$	$٣,١ \times ١٠^{٣}$
زئبق	١٣٦٠٠	١٣٣	$١,٦ \times ١٠^{-٣}$	$١,٢ \times ١٠^{-٧}$	٠,٤٧	$١,١ \times ١٠^{-٣}$
ماء البحر	١٠٢٥	١٠٤,٥	$١,١ \times ١٠^{-٣}$	$١,١ \times ١٠^{-٥}$	$٧,٣ \times ١٠^{-٢}$	$١,٨ \times ١٠^{٣}$

ملحق (و)

خواص الهواء على الضغط الجوى القياسى

درجة الحرارة °م	الكثافة كجم/م^3	الوزن النوعى نيوتن/م^3	درجة اللزوجة	
			الديناميكية نيوتن*ث/م^2	الكينامتكية م^2/ث
-٤٠	١,٥١	١٤,٨٥	$١٠\times١,٥٧^{-٥}$	$١٠\times١,٠٤^{-٥}$
-٢٠	١,٤	١٣,٦٨	$١٠\times١,٦١^{-٥}$	$١٠\times١,١٦^{-٥}$
٠	١,٢٩	١٢,٦٧	$١٠\times١,٧١^{-٥}$	$١٠\times١,٣٢^{-٥}$
٥	١,٢٧	١٢,٤٥	$١٠\times١,٧٣^{-٥}$	$١٠\times١,٣٦^{-٥}$
١٠	١,٢٥	١٢,٢٣	$١٠\times١,٧٦^{-٥}$	$١٠\times١,٤١^{-٥}$
١٥	١,٢٣	١٢,٠١	$١٠\times١,٨^{-٥}$	$١٠\times١,٤٧^{-٥}$
٢٠	١,٢	١١,٨١	$١٠\times١,٨٢^{-٥}$	$١٠\times١,٥١^{-٥}$
٢٥	١,١٨	١١,٦١	$١٠\times١,٨٥^{-٥}$	$١٠\times١,٥٦^{-٥}$
٣٠	١,١٧	١١,٤٣	$١٠\times١,٨٦^{-٥}$	$١٠\times١,٦^{-٥}$
٤٠	١,١٣	١١,٠٥	$١٠\times١,٩١^{-٥}$	$١٠\times١,٦٩^{-٥}$
٥٠	١,١١	١٠,٨٨	$١٠\times١,٩٥^{-٥}$	$١٠\times١,٧٩^{-٥}$
٦٠	١,٠٦	١٠,٤	١٠×٢^{-٥}	$١٠\times١,٨٩^{-٥}$
٧٠	١,٠٣	١٠,٠٩	$١٠\times٢,٠٤^{-٥}$	$١٠\times١,٩٩^{-٥}$
٨٠	١	٩,٨١	$١٠\times٢,٠٩^{-٥}$	$١٠\times٢,٠٩^{-٥}$
٩٠	٠,٩٧	٩,٥٤	$١٠\times٢,١٣^{-٥}$	$١٠\times٢,١٩^{-٥}$
١٠٠	٠,٩٥	٩,٢٨	$١٠\times٢,١٧^{-٥}$	$١٠\times٢,٢٩^{-٥}$
١٢٠	٠,٩	٨,٨٢	$١٠\times٢,٢٦^{-٥}$	$١٠\times٢,٥١^{-٥}$
١٤٠	٠,٨٥	٨,٣٨	$١٠\times٢,٣٤^{-٥}$	$١٠\times٢,٧٤^{-٥}$
١٦٠	٠,٨١	٧,٩٩	$١٠\times٢,٤٢^{-٥}$	$١٠\times٢,٩٧^{-٥}$
١٨٠	٠,٧٨	٧,٦٥	$١٠\times٢,٥^{-٥}$	$١٠\times٣,٢^{-٥}$
٢٠٠	٠,٧٥	٧,٣٢	$١٠\times٢,٥٧^{-٥}$	$١٠\times٣,٤٤^{-٥}$
٣٠٠	٠,٦٢	٦,٠٤	$١٠\times٢,٩٨^{-٥}$	$١٠\times٤,٨٤^{-٥}$
٤٠٠	٠,٥٢	٥,١٤	$١٠\times٣,٣٢^{-٥}$	$١٠\times٦,٣٤^{-٥}$
٥٠٠	٠,٤٦	٤,٤٨	$١٠\times٣,٦٤^{-٥}$	$١٠\times٧,٩٧^{-٥}$
٦٠٠	٠,٤	٣,٩٢	$١٠\times٣,٩^{-٥}$	$١٠\times٩,٧٥^{-٥}$
٧٠٠	٠,٣٦	٣,٥٣	$١٠\times٤,٢١^{-٥}$	$١٠\times١١,٧^{-٥}$
٨٠٠	٠,٣٣	٣,٢٤	$١٠\times٤,٥٢^{-٥}$	$١٠\times١٣,٧^{-٥}$
٩٠٠	٠,٣	٢,٩٤	$١٠\times٤,٧٧^{-٥}$	$١٠\times١٥,٩^{-٥}$
١٠٠٠	٠,٢٨	٢,٧٢	$١٠\times٥,٠٤^{-٥}$	$١٠\times١٨,٢^{-٥}$

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.

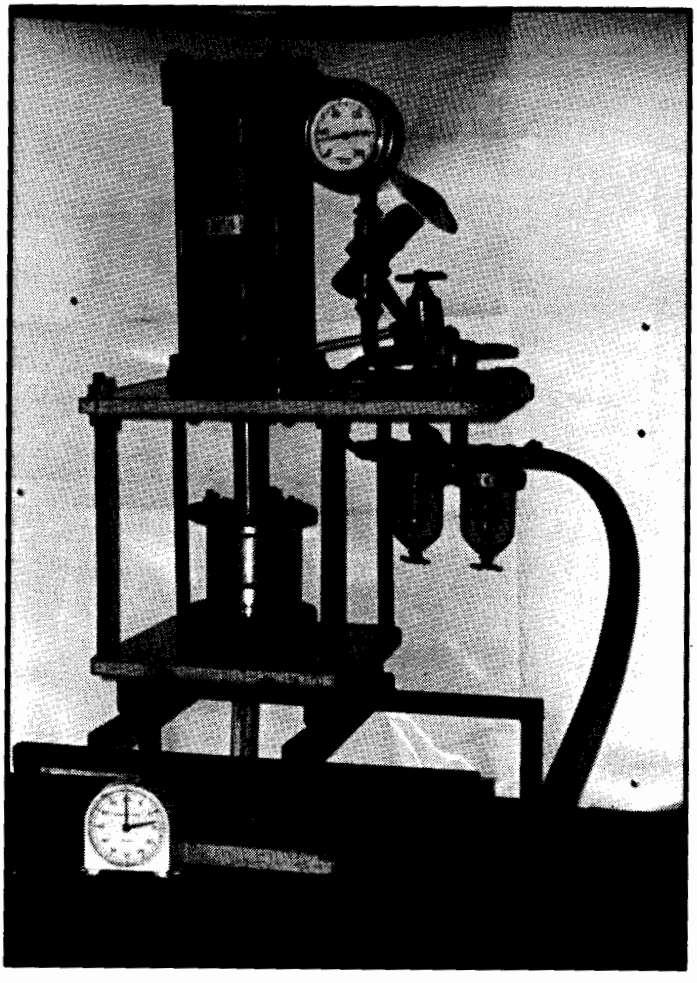
3) McGhee, T. J., and Steel, E. W. "Water supply and sewerage", 6th Ed., McGraw- Hill, New York 1991.

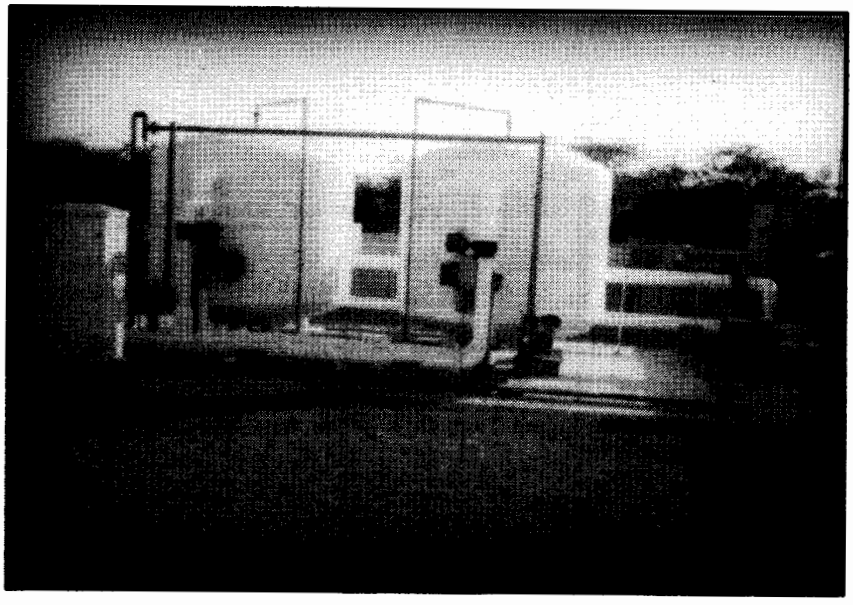
4) Whipple, G.C., and Whipple, M. C., "Solubility of Oxygen in Sea Water", J. Amer. Chemical Society, 33, 362, 1911.

5) Rowe, D.R, and Abdel-Magid, I.M., "Handbook of Wastewater Reclamation and Reuse", Lewis Pub., Chelsea, Michigan, 1995.

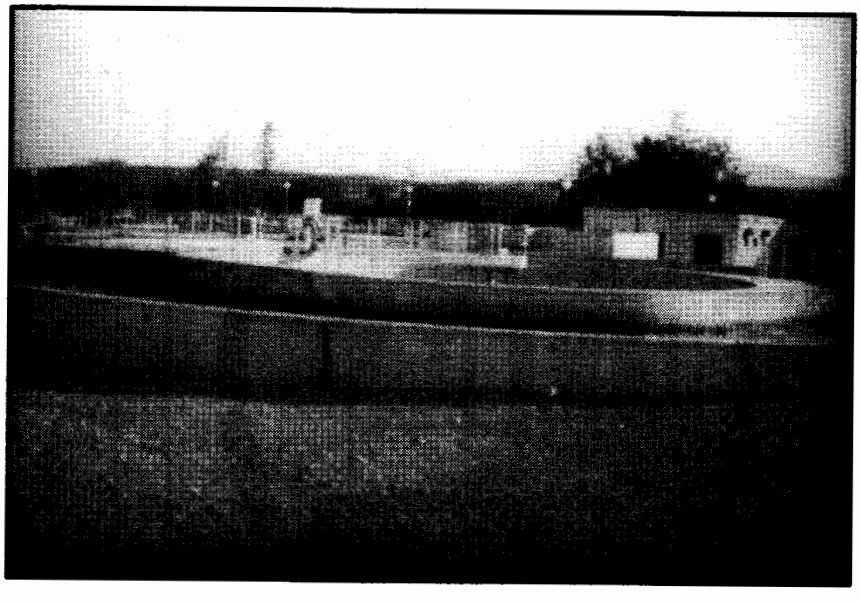
6) Hammer, M. J., "Water and wastewater technology", 2nd Ed., Wiley, New York 1986.

7) Van del Leeden, F., Troise, F. L., and Todd, D. K., "The Water Encyclopedia", 2nd Edi., Lewis Publishers, Chelsea, Michigan, 1990.



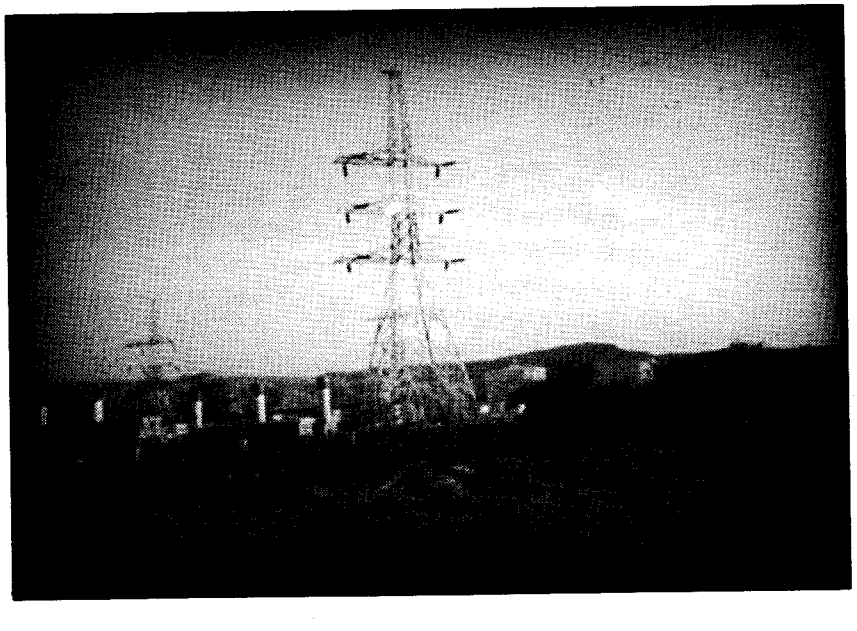


مرشحات رملية تحت الضغط



حوض مزدوج للترسيب والحمأة النشطة

كشط أحواض التجفيف



مداخن مصانع

التهوية في حوض الحمأة النشطة

أحواض التجفيف

"لا يكلفُ اللّهُ نفساً إلا وسعهَا لهَا مَا كسبتْ وعليهَا ما اكتسبتْ ربّنَا لا تؤاخذنَا إن نسينَا أوْ أخطأنَا ربّنَا ولا تحملْ علينَا إصراً كمَا حملتَهُ علَى الّذينَ منْ قبلنَا ربّنَا ولا تحمّلنَا مَا لا طاقَةَ لنَا بهِ واعفُ عنّا واغفِرْ لنا وارحمنَا أنتَ مولانَا فانصرنَا على القومِ الكافرينَ" {٢٨٦} البقرة .

وهذا آخر الكتاب، والحمد لله تعالى، وصلى الله على سيدنا محمد وآله وصحبه وسلم تسليما كثيرا الى يوم الدين .

"دعواهمْ فيهـــا سبحانكَ اللّهمّ وتحيتهمْ فيهـــا سلامٌ وآخرُ دعواهمْ أنِ الحمـــدُ للّهِ ربِّ العالمينَ" {١٠} يونس .

رمضان ١٤١٥ الموافق فبراير ١٩٩٥

الفهـــــرس

صفحة

الإهداء ٣
شكر وتقدير ٥
المقدمة ٧

الباب الأول: مصادر تنقية وتوزيع المياه

الفصل الأول: خواص المياه ١٣
١-١ مقدمة ١٣
١-٢ دورة الماء الطبيعية ١٤
١-٣ مصادر المياه ١٥
١-٤ خصائص المياه ١٦
١-٤-١ الخصائص الطبيعية أو الفيزيائية ١٦
١-٤-٢ الخواص الكيميائية ٣١
١-٤-٣ الخواص الحيوية والبكتيريولوجية ٤٦
١-٥ التشريعات والمعايير والقوانين المتعلقة بنوعية المياه ٤٨
١-٦ تمارين عامة ٥٢
المراجع والمصادر ٥٥
الفصل الثاني: تكنولوجية تنقية المياه: ٥٧
٢-١ مقدمة ٥٧
٢-٢ إختيار مصدر المياه ٥٨
٢-٣ أهداف تنقية المياه ٥٩
٢-٤ وحدات تنقية المياه الطبيعية ٥٩
٢-٤-١ المصافي ٥٩
٢-٤-٢ الترسيب والطفو ٦٣
٢-٤-٣ التلبد والترويب ٨٥
٢-٤-٤ التهوية ٩٦
٢-٤-٥ الترشيح ١٠٢
٢-٥ وحدات التنقية المتقدمة ١١٥
٢-٥-١ الإمتزاز ١١٥

٢-٥-٢ طرق تحلية المياه ١١٦
٢-٥-٢-١ التقطير ١١٦
٢-٥-٢-٢ التقطير الشمسي ١٢٢
٢-٥-٢-٣ التناضح العكسي ١٢٣
٢-٥-٢-٤ الفرز الغشائي الكهربائي (الديلزة) ١٣٠
٢-٥-٣ الراتنجات لتبادل الأيونات ١٣٢
٢-٦ التطهير ١٣٣
٢-٧ تمارين نظرية وعملية ١٤١
المراجع والمصادر ١٤٧
الفصل الثالث: الهايدرولوجيا وتلوث المياه ١٤٩
٣-١ مقدمة ١٤٩
٣-٢ معلومات الإرصاد الجوي ١٤٩
٣-٣ الترسب والتخلخل ١٦١
٣-٤ المياه الجوفية ١٦٥
٣-٥ الإنسياب السطحي ١٧٦
٣-٦ الفيضان ١٨٥
٣-٧ تلوث المياه الجوفية ١٨٧
٣-٨ تمارين نظرية وعملية ١٩٢
المراجع والمصادر ١٩٥
الفصل الرابع: تخزين المياه وتوزيعها ١٩٧
٤-١ مقدمة ١٩٧
٤-٢ تخزين المياه ١٩٧
٤-٣ توزيع المياه ٢٠٣
٤-٣-١ توزيع المياه للمناطق الريفية ٢٠٤
٤-٣-٢ توزيع المياه للمناطق الحضرية (المدن) ٢٠٧
٤-٤ الدفق عبر أنابيب المياه ٢١١
٤-٥ توزيع المياه للمستهلكين ٢٢٩
٤-٦ التآكل والتحات ٢٣١
٤-٧ تمارين نظرية وعملية ٢٣٦
المراجع والمصادر ٢٤٠

الفصل الخامس	٢٤٥
٥-١ مقدمة	٢٤٥
٥-٢ الصرف الصحي	٢٤٦
٥-٣ معدل دفق الفضلات السائلة الى شبكة المجاري	٢٥٠
٥-٤ مياه الأمطار والسيول والمياه السطحية	٢٥٢
٥-٥ هايدرولوجيا الصرف الصحي	٢٦٣
٥-٦ تصميم المجرور	٢٦٨
٥-٧ التآكل في المصارف الصحية	٢٧٤
٥-٨ تمارين عامة	٢٨١
المراجع والمصادر	٢٨٣
الفصل السادس: معالجة الفضلات والمخلفات السائلة	٢٨٥
٦-١ مقدمة	٢٨٥
٦-٢ معالجة الفضلات السائلة	٢٨٨
٦-٣ إزالة الرواسب غير العضوية	٢٩٠
٦-٤ المعالجة الثانوية	٢٩٣
٦-٥ طرق وتقانة المعالجة الثانوية	٢٩٤
٦-٦ طرق المعالجة بالنمو العالق (الحمأة النشطة)	٢٩٤
٦-٧ طرق المعالجة بالنمو المرتبط أو المتصل	٣٠٦
٦-٧-١ مرشح النضيض	٣٠٦
٦-٧-٢ الأقراص الدوارة الحيوية	٣١٦
٦-٨ طرق المعالجة بالنمو العالق والنمو المرتبط (برك موازنة الأوساخ)	٣١٧
٦-٩ مرحاض الحفرة	٣٢٦
٦-١٠ أحواض التحليل اللاهوائي (أو التعفن أو التخزين)	٣٢٨
٦-١١ تمارين عامة	٣٣٨
المراجع والمصادر	٣٤٤
الفصل السابع: معالجة الحمأة والتخلص النهائي من الرواسب والمخلفات السائلة	٣٤٥
٧-١ هضم الحمأة	٣٤٥
٧-٢ نزح الماء من الحمأة	٣٤٨
٧-٣ طرق التخلص من السائل النهائي	٣٦١

٧-٣-١ التخلص بالتخفيف ٣٦١
٧-٣-٢ التخلص من السائل النهائي فى موارد المياه الطبيعية ٣٦٣
٧-٤ تلوث البيئة البحرية ٣٧٣
٧-٥ أنماط استخدام المياه المعالجة ٣٨٥
٧-٦ المعـــايير والتشريعات والأحكـــام القـــانونية المتعلقة بأنماط التخلص النهائي من الفضلات والمخلفات السائلة ٣٩٠
٧-٧ تمارين نظرية وعملية ٤٠٢
المراجع والمصادر ٤٠٥

الباب الثالث: مكافحة تلوث الهواء

الفصل الثامن: ملوثات الهواء ٤٠٩
٨-١ مقدمة ٤٠٩
٨-٢ مصادر تلوث الهواء ٤٠٩
٨-٣ الآثار المترتبة على تلوث الهواء ٤١٢
٨-٤ إدارة نوعية الهواء ٤٢١
٨-٥ تمارين عامة ٤٢٢
المراجع والمصادر ٤٢٣
الفصل التاسع: المعايير الهوائية ومكافحة تلوث الهواء ٤٢٥
٩-١ تلوث الهواء والتشريعات الهوائية ٤٢٥
٩-٢ الإرصاد الجوي وتلوث الهواء ٤٢٨
٩-٣ نماذج انتشارالملوثات ٤٣١
٩-٤ مكافحة تلوث الهواء ٤٣٩
٩-٤-أ طرق ضبط التلوث الهوائي للمصادر الثابتة ٤٣٩
٩-٤-ب مصادر تلوث الهواء المتحركة ٤٥٤
٩-٥ تمارين نظرية وعملية ٤٥٦
المراجع والمصادر ٤٥٩

الملاحـــــــق ٤٦١

الفهـــــــرس ٤٧٣

دار المستقبل للنشر والتوزيع

كتب الدار

علم وظائف الأعضاء	المساحة للمهندسين	مختارات من الشعر الحديث
أساسيات في طب العيون	المواصفات العامة للأبنية	ادارة المشتريات والمخازن
تخزين الأدوية وحفظها	الهندسة البيئية	ادارة المبيعات
بنوك الدم	تكنولوجيا الخياطة	مبادىء التسويق
تاريخ الرياضيات	تصميم الأزياء	سلوك المستهلك
العلوم العامة	تصميم المخططات والخياطة	الادارة المقارنة الحديثة
مقدمة في الكيمياء العضوية	الكمبيوتر وتطبيقاته	أساسيات الادارة المالية
علم الأحياء الدقيقة ج١ / ٢	التصميم المنطقي	محاسبة التكاليف الصناعية
علم العدسات اللاصقة	البرمجة بلغة التجميع ج١ / ٢	محاسبة المنشآت الخاصة
الكيمياء الحيوية	البرمجة بلغة كوبول	المحاسبة الحكومية
مبادىء في الصحة العامة	البرمجة بلغة فورتران	أبعاد التنمية في الوطن العربي
الإسعاف الأولي	البرمجة بلغة بيسك	المالية العامة (علوم مصرفية)
الأحياء الدقيقة عملي	البرمجة بلغة باسكال	المعاملات المالية في الاسلام
السمويات عملي	تراكيب البيانات	التدريبات العملية في التجارة
الأجهزة الطبية عملي	قواعد البيانات	اللغة العربية - لاثقافة العامة
الكيمياء التحليلية عملي	نظم التشغيل	دليل البحث والتقويم التربوي
الكيمياء العضوية عملي	تحليل وتصميم نظم المعلومات	سيكولوجية الطفولة
الكيمياء الحيوية عملي	مقدمة في الحاسوب	الشامل في اللغة العربية
المناعة والأمصال عملي	معالجة النصوص	الجغرافيا المناخية
الأدوار والطفيليات عملي	بحوث العمليات	السياسة الفرنسية تجاه -
مبادىء التصميم	نظم تشغيل انجليزي	الثورة العربية الكبرى
مبادىء إنتقال الحرارة	البرمجة الهيكلية بلغة باسكال	مرايا صغيرة
الهندسة البيئية		

عمان ١١١١٨ الأردن ص.ب ١٨٤٢٤٨ تلفاكس ٦٥٨٢٦٣

دار المستقبل للنشر والتوزيع

تاسست عام ١٩٨٤

تعنى بطباعة ونشر الكتب العلمية

المؤلفة والمترجمة مساهمة منها في تعريب الكتاب

الجامعي المتخصص

عضو في اتحاد الناشرين الأردنيين

تم صف واخراج
ومونتاج
الكتاب
على
جهاز الكمبيوتر
IBM
الخاص بالدار

الأخطاء المطبعية الواردة بكتاب الهندسة البيئية

الصفحة	السطر	الخطأ	الصواب
٥	٢٧	والبيئة، جامعة	والبيئة، جامعة البرموك. والشكر أيضا متصل

للأخوة الأفاضل ماجد سعود الخنيزي وأنور سعيد الخروصي (مركز تقنيات التعليم، جامعة السلطان قابوس) وتيسير مرعون الرياحي (كلية الهندسة، جامعة السلطان قابوس) للقيام بعمل بعض الرسومات. وتشكر كل الهيئات والمنظمات والجهات العلمية المغتلفة والتي سمحت بإستخدام بعض منتجاتها العلمية التي جعلت وأكملت هذا الكتاب. وتخص بالشكر كرستين هيرت مدير وحدة النشر بمركز أبحاث المياه البريطاني للموافقة على إعادة طبع شكل ١٩ (العناصر الأساسية لمرشح الرمل البطئ) من المرجع المبين في الفصل الثاني. أيضا

١٣	٢٦	$6C_6H_{12}O_6$	$C_6H_{12}O_6$
١٤	٢٨	٠,١٩	١٩,٧
١٥	١٢	شكل (١) يبين	شكل (١ في صفحة ٢٨٦) يبين
٢٧	١٤	Y^2_{A+2}	Y^2_{i+1}
٢٩	١٤	$\tau = F = -\mu*A*dv/dy$	$\tau = F/A = -\mu*dv/dy$
٢٩	٢٦	$\mu = \mu/\rho$	$\nu = \mu/\rho$
٢٩	٢٨	μ = درجة....	ν = درجة....
٤١	١	Biostrmulants	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 و٥
٥٣	١٧	NA^{++}	Na^+
٦٩	٢	$= \rho*C_D*A(v5/2)$	$= \rho*C_D*A(v^2/2)$
٨٠	١٥	$Fr=[Q^2*(B+2h)]/g*B;*h;)=[v_s5*L5*(1+2hlB)]/g*h;$	$Fr = [Q^2*(B+2h)]/g*B^3*h^3) = [v_s^2*L^2*(1+2hlB)]/g*h^3$
٨٣	٢	J = ٨٠ دقيقة	τ = ٨٠ دقيقة
٩٠	٢٧	$4*\pi*F*U$	$4*\pi*\mu*U$
٩١	٢	F	μ
٩٢	٧	$I_{pk} = 8\pi*C_{DM}*d*n5$	$I_{pk} = 8\pi*C_{DM}*d*n^2$
٩٩	٢٤	$= - D*A*Mc/Mx$	$= - D*A*\partial c/\partial x$
١٠٠	٣	Mc/Mx	$\partial c/\partial x$
١٠٣	١٧	الكبيريتات	الممرضات
١٠٤	١٥	$A_n = A/(N - 2)$	$A_n = A/(N - 1)$
١٠٧	٥	3/%Re	3/√Re
١٤٥	١٩	أيونات	أنيونات
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	. (١ / ٧)	(١÷٧).
١٥٣	١٧	Crontal	Frontal
١٥٧	٤	Frequeency	Frequency
١٦١	١٢	= ميلان...	Δ = ميلان..
١٦١	١٥	Δ = ثابت جهاز...	γ = ثابت جهاز...
١٦٣	٢٢	$\phi*1$	٢٢,٥ = ϕ×١
١٦٥	٢٦	$v' = v.n_e$	$v' = v/n_e$
١٦٧	٢٦	c_1 و c_2	c_1 و c_2
١٦٩	١٠	٩٥ ملم.	٩٥٠ ملم.

الأخطاء الواردة بالكتاب (تابع)

الصفحة	السطر	الخطأ	الصواب
١٦٩	١٥	= ٩٥ ملم،	= ٩٥٠ ملم،
١٧٤	١	ويمكن تكامل المعادلة ٤٥ الى ما لا نهاية على حسب ما موضح فى المعادلة ٥٠.	
١٨٠	٢٥	Diluhiun	Dilution
١٨١	٢٨	تغزي	تُعزى
١٨٥	١٢	Q_a	Q_o
١٨٦	١٥	زمن	زمن الفيضان
١٨٦	١٦	فى الrouting	فى تقدير الفيضان
١٨٨	٤	Polyshlorinated	Polychlorinated
١٨٨	١١	Septis	Septic
١٩٣	٢٣	رقم المحطة (كلم٢)	المحيط بالمحطة (كلم٢)
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	$v=v_c^{/2}$	$v = v_c/2$
٢١٦	١٤	= المعامل ..	ε = المعامل..
٢١٩	٨	g = ٠,٠٧ ملم	ε = ٠,٠٧ ملم
٢٢٢	١	f_1	f_2
٢٢٤	١٥	$\Sigma_{i=1} Qi = 0$	$\Sigma^N_{i=1}(Qi) = 0$
٢٣٧	٧	g = ٠,٣ ملم	ε = 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 الأبهار والمجارى العائية إذ لا تؤخذ فى الإعتبار 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 ÷	٠,٠١٣ ÷
٢٦٤	٢	Q*)	Q*Δ
٢٧٧	٨	s^2	$s^{½}$
٢٧٨	٧	s^2	$s^{½}$
٢٧٨	٢٤	= (0.45...	ϕ = (0.45*a..
٢٧٩	٢٧	خيرية	غيرية
٢٩١	١٣	h/L = 10	L/h = 10
٢٩١	١٨	h/L = 25	L/h = 25
٢٩٤	٥	المنترتة Nitrosomonas	المُنتْرة
٢٩٤	٦	المنترتة Nitrobacter	المُنتْرِتة
٣١٥	٣	(4A/)0.5	(4A/π)0.5
٣١٥	١٩	الحميل	التحميل
٣١٧	٢٣	N (شكل ١٠)	N_2
٣١٧	٢٣	CO. NH. PO. HO; N; O; CH(شكل ١٠)	CO_2. NH_3. PO_4^{-}. H_2O; N_2; O_2. CH_4
٣١٩	٣	Unaerobic	Anaerobic

الأخطاء الواردة بالكتاب (تابع)

الصفحة	السطر	الخطأ	الصواب
٣٢٦	٢٠	أملح ١ ملم	١ ملم
٣٤٢	٤	المسألة (٢٠)	المسألة (١٩)
٣٤٦	٥	لأن حساسية	لأن لها حساسية
٣٥٥	٩	١٠ ١١ الى ١٠ ١١	١٠ ٩ الى ١٠ ١١
٣٧٣	٢٤	(٤, ٧)	(٧--٤)
٣٧٥	٨	والوهن	والضعف
٣٧٧	١٧	ولائمة	وملاءمة
٣٧٧	١٧	ولتعود	وعلى التعود
٣٨٥	٢٣	شكل ١٣	شكل ١٢
٣٩٦	١١	Culex pipiens	*Culex pipens*
٣٩٦	١٢	filarrasis	*filariasis*
٣٩٦	١٩	ألفا	ألفا ألفا
٤٠٢	١٥	١٠ ١٢ ث/م^{٣}	١٠ ١٢ ث/م^{٦}
٤٠٣	٨	الحيا كيميانية	الحيا-كيميانية للأكسجين
٤١٣	٩	حمض الكبريت IV	حمض الكبريت VI
٤١٥	٢٨	أدناه:	أدناه {١-٤}:
٤١٦	١	المنحى	المنحى
٤٣٣	٢٤	-1/2	- ½
٤٦٤	٤	جم/م مكعب	كجم/م مكعب
٤٦٥	٤	ول/كجم.كلفن	جول/كجم×كلفن
٤٦٦	٢٨	٢,٣٢×١٠$^{-٥}$	٣,٣٢×١٠$^{-٥}$

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 الأمارات العربية المتحدة وجامعة السلطان قابوس

دار
المستقبل للنشر والتوزيع

عمان ١١١١٨ الأردن
ص.ب. ١٨٤٢٤٨ تلفاكس ٦٥٨٢٦٣