ندرة المياه
والبدائل المتاحة

تأليف

أ.د./ أحمد إسماعيل هاشم

أستاذ الكيمياء العضوية

كلية العلوم جامعة عين شمس

د. / أشرف إبراهيم حافظ

مدير عام الكيمياء

الشركة القابضة لكهرباء مصر

الكاتب: أ.د./ أحمد إسماعيل هاشم

د. / أشرف إبراهيم حافظ

التدقيق اللغوي: أحمد فؤاد مرسي

الإخراج الفني: ضياء فريد

تصميم الغلاف: محمد مجاهد

رقم الإيداع: ٢٠١٩/٢٣٧٥٨

الترقيم الدولي: ٤-٤٠-٦٦٨٩-٩٧٧-٩٧٨

كاريزما للنشر والتوزيع

9 شارع مسجد المغفرة المتفرع من شارع العشرين
بجوارمدارس حسام الدين الخاصة فيصل الجيزة.

موبايل : 01126026691 01061813345

01009823984

المقدمة

الماء شريان الحياة، فبدونه لا تستقيم الحياة على كوكب الأرض، كما أنه أعظم النعم التي أسداها المولى – عز وجل – إلى جميع مخلوقاته، مصداقًا لقوله – سبحانه وتعالى – في سورة الفرقان: «وَأَنْزَلْنَا مِنَ السَّمَاءِ مَاءً طَهُورًا لِنُحْيِيَ بِهِ بَلْدَةً مَيْتًا وَنُسْقِيَهُ مِمَّا خَلَقْنَا أَنْعَامًا وَأَنَاسِيَّ كَثِيرًا» [الآيتان ٤٨، ٤٩]، إلا أن الماء العذب لا يمثل سوى ١٪ فقط من كميات المياه في الكون، كما أن ٢٪ من المياه عبارة عن مناطق ثلجية، أما مياه البحار والمحيطات فإنها تمثل ٩٧٪ من كميات المياه على سطح الأرض؛ لذا فإن كمية المياه العذبة على المستوى العالمي تعتبر محدودة للغاية مقارنة بالطلب المتزايد عليها، خصوصًا مع الزيادة المطردة في أعداد البشر على مستوى العالم.

وقد نُشر بجريدة الأهرام، في العدد الصادر يوم الأربعاء ٢٠١٩/٣/٢٠، مقال بعنوان «إنجلترا تواجه الجفاف خلال ٢٥ عامًا والعطش يهدد أفريقيا»، يتضمن تقريرًا نشره موقع «بلومبرج»

الاقتصادي الأمريكي يفيد بأن مدن أفريقيا وإنجلترا تواجه مصيرين متشابهين فيما يتعلق بأزمة الجفاف والتراجع الخطير في موارد المياه العذبة، التي تحتاج من أفريقيا استثمارات لا تقل عن ١٣٠ مليار دولار لتجاوزها، بينما تشكل تهديدًا بإلقاء إنجلترا بين «فكي الموت» خلال فترة لن تزيد على ٢٥ عامًا.

كما أوضح التقرير أن كبرى المدن في دول مثل غانا وموزمبيق وزيمبابوي وساحل العاج مهددة بنضوب مواردها من المياه بسبب مجموعة من العوامل، من بينها تنامي الزيادة السكانية، وتزايد موجات الجفاف، فضلًا عن ارتفاع عدد المدن الحضرية، بالإضافة إلى التراجع في تطوير البنية التحتية بقطاع إدارة المياه. وأشار تقرير «بلومبرج» أيضًا إلى ما كشفت عنه منظمة الأمم المتحدة أخيرًا من أن التهديد الذي يتربص بالعالم أصبح أكثر وضوحًا بسب زيادة استهلاك المياه بمقدار ١٪ منذ ثمانينيات القرن الماضي، وأن نحو ملياري نسمة يعيشون حاليًّا في مدن تعاني أزمات تتعلق بتوفير المياه الصالحة للشرب، وفيما يتعلق بأفريقيا فإن هذا العدد سيقفز إلى ٤/٥ مليار نسمة بحلول عام ٢١٠٠م، وأن نسبة ٥٩٪ من تلك الكتلة السكانية ستتركز بالمناطق الحضرية، وذلك بالمقارنة بنسبة ٤٣٪ حاليًّا. ويترتب على هذه التحولات زيادة في الإنتاج الزراعي لسد الاحتياجات، مقرونة بتنامي زيادة الطلب المنزلي للمياه. وأوضح التقرير أيضًا أنه حتى أكثر الدول ثراءً لن تتمكن من تشييد العدد الكافي من شبكات الأنابيب ومراكز تنقية المياه للتعامل مع

التحولات المنتظرة [من مقال بجريدة الأهرام المصرية يوم الأربعاء ٢٠١٩/٣/٢٠].

وبالنسبة لمصر، فإن المياه العذبة – سواء مياه الشرب أو تلك المستخدمة في الأنشطة الزراعية – تعتمد اعتمادًا كبيرًا على نهر النيل.

وقد برز اتجاه في الآونة الأخيرة لبعض دول حوض النيل، لبناء السدود على مجرى النهر بغرض توليد الكهرباء. وحيث إن هذا الاتجاه قد يؤثر سلبًا على إمدادات النيل التي تصل إلينا؛ فيجب العمل في اتجاهين رئيسيين:

أولًا: ترشيد استخدام المياه:

وهو اتجاه تحض عليه جميع الشرائع السماوية، ففي قول الحق – سبحانه وتعالى – في سورة الأعراف، الآية ٣١: «يَا بَنِى آدَمَ خُذُوا زِينَتَكُمْ عِنْدَ كُلِّ مَسْجِدٍ وَكُلُوا وَاشْرَبُوا وَلَا تُسْرِفُوا إِنَّهُ لَا يُحِبُّ الْمُسْرِفِينَ» نهي عن الإسراف في كل شيء، بما في ذلك الماء، كما أن الآية ٢٧ من سورة الإسراء تصف المبذرين بأنهم إخوان الشياطين: «إِنَّ الْمُبَذِّرِينَ كَانُوا إِخْوَانَ الشَّيَاطِينِ وَكَانَ الشَّيْطَانُ لِرَبِّهِ كَفُورًا»، كما تأمرنا السنة المطهرة بالقصد في استخدام المياه، حتى في فريضة الوضوء؛ حيث روي عن المصطفى – صلى الله عليه وسلم – أنه كان يتوضأ بقدر مُد من الماء.

ثانيًا: البحث عن بدائل أخرى للحصول على المياه:

في سبيل البحث عن بدائل أخرى للحصول على المياه العذبة تحسبًا لما هو متوقع من ندرة المياه، نذكر ما يلي:

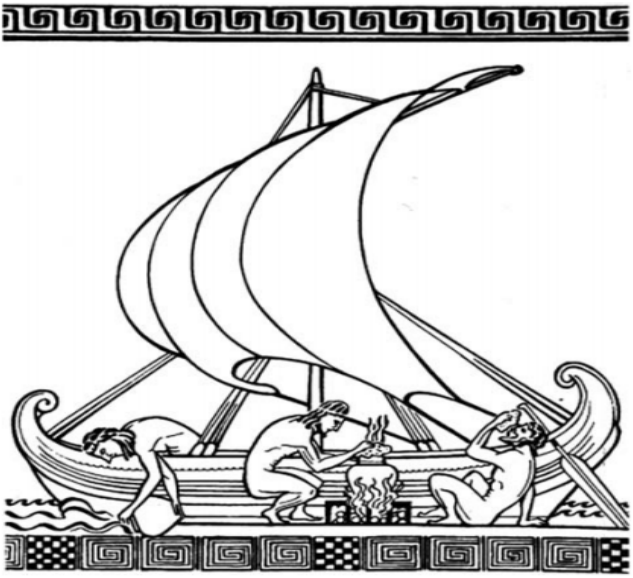
- الحصول على المياه العذبة من مياه البحار، فيمكن باستخدام التقنية المسماة «تحلية مياه البحر» تحويلها إلى مياه صالحة للأغراض المنزلية.
- معالجة مياه الصرف الصحي؛ لتكون صالحة للاستخدام في الأنشطة الزراعية.
- معالجة مياه الصرف الصناعي؛ لاستخدامها في الأغراض الصناعية والأنشطة المختلفة.
- الاهتمام باكتشاف المزيد من آبار المياه الجوفية، واستخدام التقنيات الحديثة في عمليات استخراج تلك المياه ومعالجتها.

ولما كانت ندرة المياه العذبة تمثل مشكلة عالمية لدرجة أن الخبراء يتوقعون أن تكون الحروب القادمة هي حروبًا من أجل المياه، جاء هذا الكتاب يتناول – بصورة مبسطة – البدائل المتاحة للتغلب على تلك المشكلة. ونسأل الله أن تكون موضوعات هذا الكتاب في متناول غير المتخصصين من القراء، وأن تكون عونًا للمتخصصين في مجال معالجة المياه. ولا يسعنا في هذا المقام إلا أن نستحضر قول سيدنا شعيب – عليه السلام –: «وَمَا تَوْفِيقِي إِلَّا بِاللَّهِ عَلَيْهِ تَوَكَّلْتُ وَإِلَيْهِ أُنِيبُ» [الآية ٨٨ – سورة هود].

المؤلفان

الباب الأول
تحلية مياه البحر

تسمى عملية تنقية مياه البحار والمحيطات والآبار البحرية أو المالحة، عن طريق فصل الأملاح الموجودة بها، بتحلية المياه. وتعرف عملية تحلية المياه بأنها الطريقة التي يمكن بواسطتها تحويل مياه البحر المالحة إلى مياه عذبة صالحة للشرب أو للاستخدامات الصناعية والبشرية والزراعية. وكان البحارة هم أول من قاموا بعملية تبخير مياه البحر وتحويلها إلى مياه عذبة صالحة للشرب بالتكثيف.



Ancient representation of drinking water extraction from the sea

J.J. Howarth , Product Literature for P and B Evaporators,

(١٩٨٤) Aiton Ltd, Derby

شكل (١ـ١) أقدم تمثيل لاستخراج مياه الشرب من البحر

الأشعة الشمسية Solar rays

(١٦٨٤) Commemorative coins since

G. Nebbia and G.N. Menozzi ,Aspetti storici della dissalzione,

Acqua Ind ٤١–٤٢, ٣–٢٠. (١٩٩٦)

شكل (١ـ٢) عملات تذكارية لتحلية المياه منذ عام (١٦٨٤)

وعلى مدى الأعوام الخمسة وعشرين الماضية حدث تقدم كبير في طرق إنتاج المياه العذبة من مياه البحار، وعلى نطاق واسع؛ فقد أصبحت طرق تحلية المياه كثيرة ومتعددة، وتعتمد بالدرجة الأولى على العامل الاقتصادي في إنتاج هذه المياه. وهذه الطرق يمكن إجمالها فيما يلي:

أولًا: التحلية بالتقطير:

التقطير هو إحدى الطرق المستخدمة في تحلية مياه البحار أو المياه المالحة بوجه عام، وهي من الطرق التي تتطلب تغييرًا في حالة المادة؛ حيث يتحول فيها الماء إلى بخار بالتسخين، ويعاد تكثيفه. وطرق التقطير متعددة، ومنها:

- التقطير الوميضي متعدد المراحل.
- التقطير متعدد التأثير.
- التقطير باستخدام المبخرات ذات المواسير الرأسية.
- التقطير بطريقة تضاغط البخار.
- التقطير الشمسي (الترطيب الشمسي).

ثانيًا: التحلية باستخدام الأغشية:

تعتبر التحلية باستخدام الأغشية من الطرق الحديثة التي يستخدم فيها أنواع معينة من الأغشية تسمح بمرور المياه من خلالها ولا تسمح بمرور الأملاح، وهي من الطرق التي لا تتطلب تغييرًا في حالة المادة؛ حيث لا يتحول فيها الماء إلى بخار. وطرق الأغشية متعددة أيضًا، فمنها:

- التناضح العكسي.
- الفرز الغشائي الكهربي (الديلزة).
- النضوب.
- الفرز الغشائي الإجهادي.

ثالثًا: طرق التبلور التجمدي:

تعتبر التحلية باستخدام طرق التبلور التجمدي من الطرق الحديثة التي تتطلب تغييرًا في حالة المادة، وطرق التبلور التجمدي متعددة أيضًا، ومنها:

- التجمد تحت ضغط منخفض.
- التجمد بالتبريد الثانوي.
- التجمد التصلبي أو الحرج.
- التميؤ أو التكوين المائي.

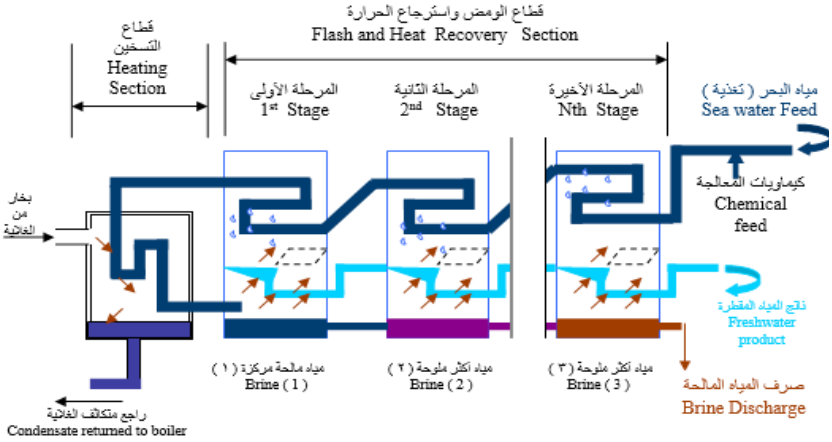
مما تقدم يتضح أن طرق تحلية المياه متعددة وكثيرة، وتعتبر بسيطة في فكرتها. ولكن المشكلة هي كيفية الحصول على كميات كبيرة من الماء العذب بأقل التكاليف؛ لذا فإنه يجب إنشاء وحدات تحلية تستخدم تكنولوجيا التوفير في الطاقة. وهذا هو الهدف الأساسي في إنشاء مثل هذه الوحدات؛ حيث من المنطقي ألا يتم إنشاء وحدات تحلية تكلف مبالغ طائلة في الإنشاء، وأيضًا في التشغيل، وتوجد مصادر أخرى أرخص؛ لذا فسوف نتناول في هذا الجزء نبذة مختصرة عن بعض الطرق الهامة التي تستخدم تكنولوجيا التوفير في الطاقة. ومنها:

أولًا: التحلية بالتقطير:

أ- التقطير الوميضي متعدد المراحل:

تعتبر هذه الطريقة الأكثر انتشارًا في مجال تقطير المياه، وذلك لبساطتها؛ حيث تتكون وحدة التقطير الوميضي متعدد المراحل من مسخن للماء المالح وهو المسئول عن رفع درجة حرارة المياه، وقسم الاسترجاع الحراري وهو المسئول عن إنتاج المياه العذبة. ويعتمد هذا النظام على خفض الضغط تدريجيًّا على المياه المراد تقطيرها لإجبارها على التبخر عند درجات حرارة منخفضة، فيوفر في طاقة تسخين هذه المياه. وعندما تتبخر المياه وتتصاعد إلى أعلى، فإنها تقابل سطح مواسير المياه المالحة الباردة لإتمام عملية التكثيف عن طريق نقل حرارة تكثف البخار إليها، وبالتالي ترتفع درجة حرارة الماء المالح في مواسير المكثف الذي بدوره يتولى دفع المياه لتأخذ مسار المياه التي تبخرت (Flashing) فيعمل أيضًا على التوفير في طاقة التسخين. وهذه العملية مقسمة إلى مراحل، كل منها لها ضغط خاص بها، وتحتوي على قسم التبخير وقسم التكثيف، بالإضافة إلى مصيدة أو مزيل للرطوبة على مخرج البخار لفصل وإعادة قطرات الماء المالح التي تتطاير معه.

والشكل (١ـ٣) يوضح مكونات هذا النظام.



شكل رقم (١ـ٣) يوضح تركيب نظام التقطير الوميضي متعدد المراحل

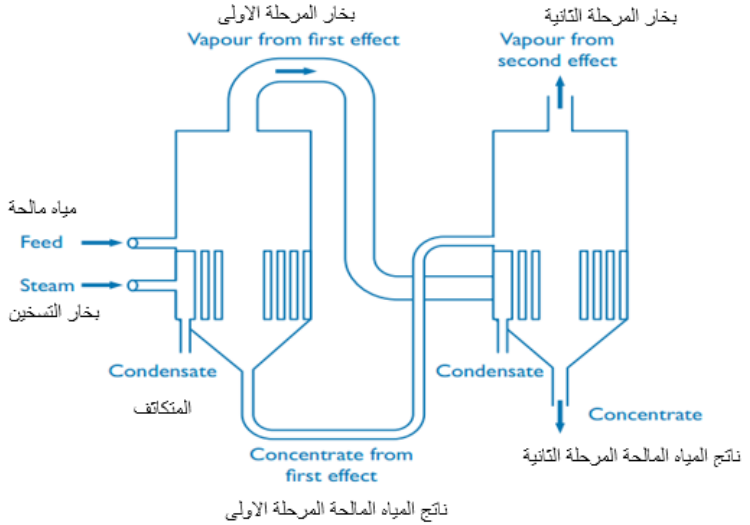
MSF) Multi-stage flash evaporator)

وتُصمم معظم وحدات التقطير الوميضي متعدد المراحل ملتحقة بمحطة لتوليد الكهرباء؛ وذلك للاستفادة من الطاقة الحرارية المتولدة من غلايات محطات الكهرباء واستخدام جزء من البخار الناتج من هذه الغلايات في رفع درجة حرارة المياه المالحة في وحدات التقطير لتبخيرها. ويتم إعادة استخدام المياه الناتجة من وحدات التقطير في تغذية غلايات المحطة وهذه العملية توفر كثيرًا من الطاقة، مما يخفض سعر المياه المنتجة.

ب-التقطير متعدد التأثير (Multi Effect desalination (MED:

تقوم المبخرات متعددة التأثير بالاستفادة من الأبخرة المتصاعدة من المرحلة الأولى للتكثيف بالمرحلة الثانية، وعليه تستخدم حرارة التكثيف للبخار الناتج من المرحلة الأولى في غلي

ماء البحر في المرحلة الثانية، وبالتالي فإن المرحلة الثانية تعمل كمكثف للأبخرة القادمة من المرحلة الأولى؛ حيث تصبح الأبخرة الناتجة من المرحلة الأولى كبخار التسخين في المرحلة الأولى، وبالمثل في المراحل التالية الثالثة والرابعة وهكذا، وتسمى كل مرحلة في تلك السلسلة بالتأثير.



شكل (١ ـ ٤) يوضح الرسم التخطيطي لآلية تشغيل وحدة التحلية بالتبخير متعدد التأثيرMED

جـ-التقطير الشمسي (الترطيب الشمسي) Solar humidification:

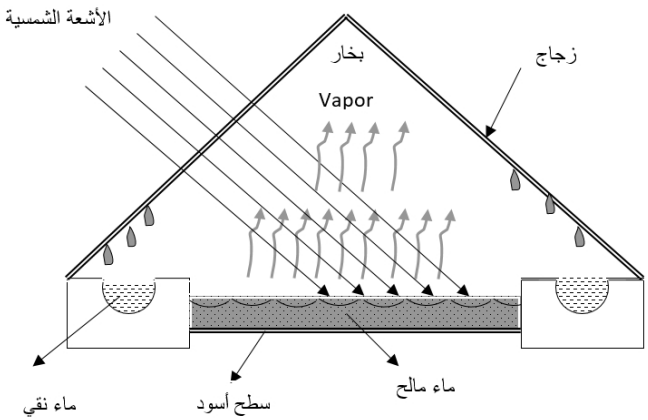
تعتبر هذه الطريقة من الطرق التي لا تحتاج إلى طاقة في رفع درجة حرارة المياه؛ حيث تستخدم الطاقة الشمسية لهذا الغرض.

وتعتمد هذه الطريقة على نظرية تبخير المياه من الأسطح المائية الحرة، حتى إذا كانت درجة حرارة السطح المائي أقل من درجة الغليان؛ حيث يعتمد معدل التبخير المائي على عاملين أساسيين، هما:

- درجة حرارة سطح التبخير (السطح المائي الحر).
- الرطوبة النسبية فوق سطح التبخير.

والفكرة في هذه الطريقة هي أنه عندما تسقط أشعة الشمس على السطح الزجاجي، فإنها تنفذ إلى السطح الأسود المحتوي على المياه المالحة، فترتفع درجة حرارته ويحدث تبخر للماء، فيتصاعد إلى السطح الزجاجي الأقل حرارة، فيحدث له تكثيف ويسقط في مجمع المياه النقية.

والطاقة الشمسية في الحقيقة هي طاقة مجانية، إلا أن تجميع هذه الطاقة في المناطق الباردة، أو التي لا تظهر فيها الشمس بالقدر الذي يعطي كميات كافية لإنتاج المياه بكميات كبيرة، يُعتبر من المشاكل التي تجعل هذا النظام عالي التكلفة. وهذا هو الذي حد من انتشار مثل هذه الوحدات. والشكل (١ـ٥) يوضح مقطعًا من وحدة التقطير الشمسي.



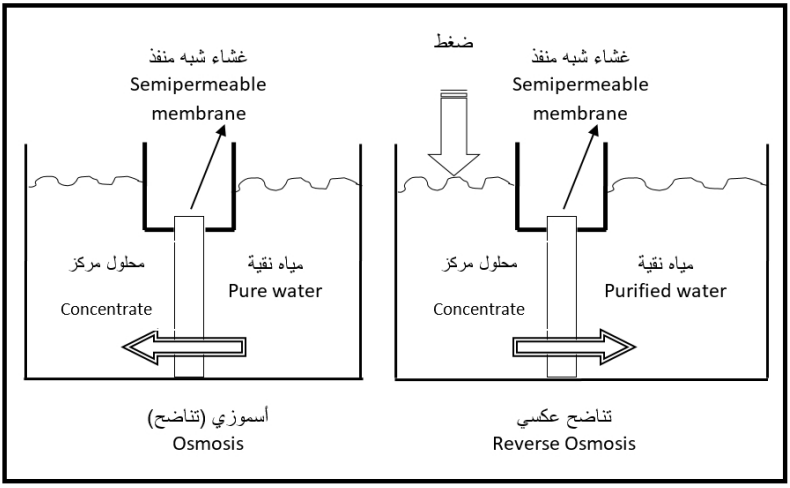
الشكل رقم (١ـ٥) يوضح تركيب جهاز المقطر الشمسي

ثانيًا: التحلية باستخدام الأغشية:

أ- طريقة التناضح العكسي Reverse Osmosis:

تعتمد هذه الطريقة على ما يسمى بالضغط الأسموزي (Osmotic pressure)، وكلمة الأسموزي مشتقة من الكلمة اللاتينية Osmos – وتعني النبض –؛ فعندما يفصل غشاء شبه منفذ (Semi-permeable membrane) بين مياه عذبة ومحلول ملحي، يتولد ضغط طبيعي – يسمي بالضغط الأسموزي – يعمل على دفع المياه العذبة لتنتقل خلال الغشاء شبه المنفذ وتعمل على تخفيف المحلول الملحي. وعند استخدام قوة ضغط على

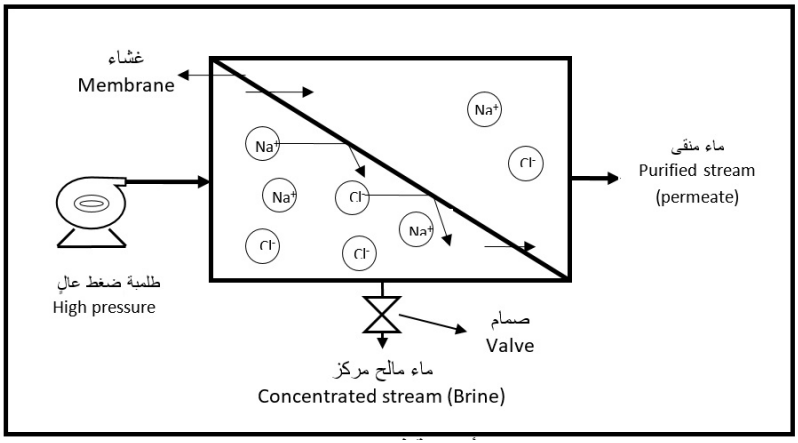
المحلول الملحي أكبر من الضغط الأسموزي الطبيعي ومعاكس له في الاتجاه؛ يسمح الغشاء للماء بالمرور من المحلول الملحي إلى المحلول النقي، مانعًا مرور الأملاح الذائبة؛ لذلك سميت هذه العملية بالتناضح العكسي. ويوضح الشكل (١ـ٦) حركة المياه خلال الغشاء شبه المنفذ في نظام التناضح والتناضح العكسي.



شكل رقم (١ـ٦) رسم مبسط يوضح حركة المياه خلال الغشاء شبه المنفذ في نظام التناضح والتناضح العكسي

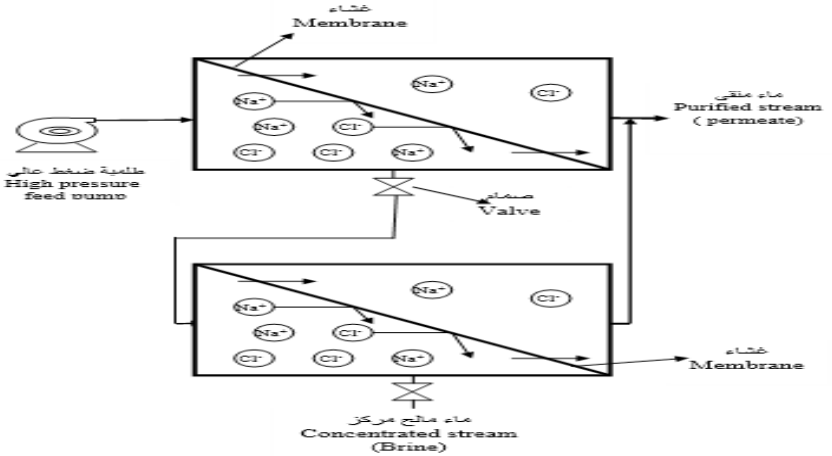
والشكل رقم (١ـ٧) يوضح العناصر الأساسية في نظام التناضح الغشائي العكسي. وأهم عنصر في هذا النظام هو الغشاء

شبه المنفذ الذي يطرد الأملاح الذائبة، وفي نفس الوقت يسمح بمرور المياه النقية فقط.



الشكل (١ـ٧) يوضح العناصر الأساسية في نظام التناضح الغشائي العكسي

والشكل رقم (١ـ٨) يوضح الرسم التخطيطي لتركيب وحدة التناضح العكسي متعددة المراحل والمستخدمة لتقليل نسبة المياه المفقودة؛ حيث يمكن تركيب أكثر من وحدة في نفس النظام.



الشكل رقم (١ـ٨) تركيب وحدة التناضح العكسي متعددة المراحل

ب. تركيب الأغشية Membrane structure:

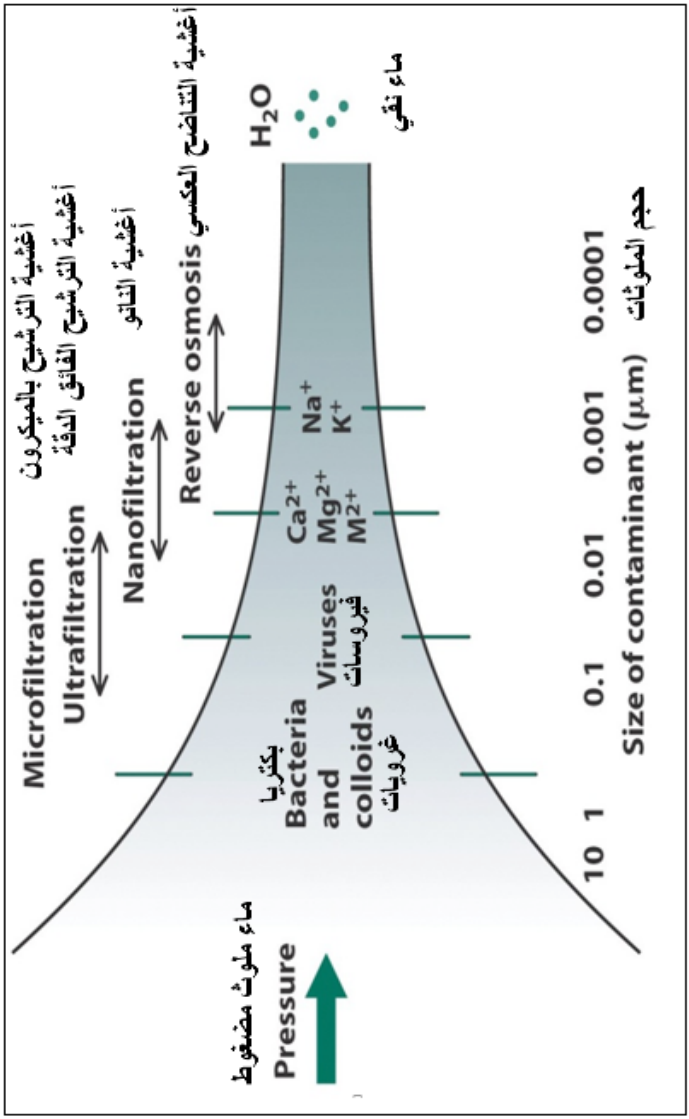
يوجد أربعة أنواع من الأغشية التي يمكن استخدامها في فصل الشوائب الموجودة في المياه، بالإضافة إلى أن بعضها يمكنه فصل الأملاح من هذه المياه، ويتوقف نوع الغشاء واستخدامه على حجم المسام الموجودة به. وقد رتبت هذه الأنواع حسب حجم المسام كالآتي:

- أغشية الترشيح الدقيق (Micro-filtration MF) التي يمكنها فصل المواد الغروية الدقيقة؛ حيث يتراوح حجم المسام لهذا النوع بين ٠/١ – ١٠ ميكرون (الميكرون ١٠-٤سم).

- أغشية الترشيح عالي الدقة (Ultra-filtration UF) التي يمكنها فصل المواد العضوية، وهي أكثر دقة من أغشية الترشيح الدقيق؛ حيث يتراوح حجم المسام لهذا النوع بين ٠٫٠١ – ٠٫١ ميكرون.
- أغشية الترشيح من نوع (Nano- filtration NF)، وهي أكثر دقة من أغشية الترشيح عالي الدقة؛ حيث يمكنها فصل المواد السكرية وبعض الأصباغ. ويمكنها أن تفصل المواد عن طريق المسام الخاصة بها أو عن طريق الشحنة الموجودة عليها، ويتراوح حجم المسام لهذا النوع بين ٠,٠٠١ – ٠,٠١ ميكرون.
- أغشية التناضح العكسي (Reverse osmosis RO)، ويصل حجم المسام في هذه الأغشية إلى أقل من الحجم الجزيئي للأملاح المتواجدة في المياه؛ حيث يمكنها فصل من ٩٠ إلى ٩٩٪ من المواد غير العضوية، ومن ٩٥ إلى ٩٩٪ من المواد العضوية، و١٠٠٪ من المواد الغروية والبكتيريا والفيروسات والسيليكا الغروية.

الشكلان (١-٩) و (١-١٠) يوضحان أحجام المسامات في أنواع الأغشية السابق ذكرها، وما يناسبها من تقنيات الفصل.

شكل رقم (١ـ٩) رسم تخطيطي لأحجام الملوثات وما يناسبها من تقنية الترشيح



شكل رقم (١ـ ١٠) رسم تخطيطي يوضح أثر حجم المسام على فصل البكتيريا والغرويات وبعض أيونات العناصر

وتعد تقنية الأغشية الخيار الأمثل والأقل كلفة والأكثر رواجًا في عالم تحلية المياه، وقد كانت حتى زمن قريب مركزة على استخدام أغشية التناضح العكسي Reverse Osmosis؛ نظرًا لكفاءتها في إزالة الملوحة من المياه الجوفية متوسطة الملوحة ومياه البحر ذات التركيزات الملحية العالية. وقد دخلت أغشية النانو Nano filtration membranes عالم الأغشية في الوقت الحالي، بعد أن دخلته أغشية الترشيح فائق الدقة Ultra-filtration UF وسط التسعينيات، وكان الكثير من الباحثين وقتها يصنفونها على أنها نوع من أنواع أغشية التناضح العكسي، لكنها استطاعت بخصائصها المتميزة وتطبيقاتها العديدة أن تجد لها مكانًا متميزًا جعلها تصنف على أنها أحد أهم أنواع الأغشية وأكفئها لفصل العوالق والرواسب والمواد البكتيرية، بالإضافة إلى أنها وجدت مكانًا لها في العديد من الصناعات، وأهمها معالجة الكثير من أنواع مياه الصرف والمياه السطحية؛ بسبب قدرتها على إزالة المواد العضوية وكثير من الملوثات.

يمكن تصنيف أغشية النانو تبعًا لعدة تصنيفات، أهمها: نوع المادة الخام، وهي إما عضوية organic or polymeric membranes أو غير عضوية ceramic membranes، حيث يكون حجم ومقاس المسام pore size and diameter في الغالب أقل من ١٠ نانومتر (النانومتر ١٠-٩ من المتر) للفتحة الواحدة، حيث إن الموديول أو الشكل الذي يتناسب مع التطبيق أو العملية أو نظام الفلترة يكون بالأنظمة التالية:

Flat-sheet, tubular, and hollow-fiber Spiral Wound module.

ويمكن لهذه الأغشية أن تعمل على ضغوط أقل من ١٠ جوي (بار) للمياه الجوفية، وأقل من ٣٠ جوي لمياه البحر. كذلك فإن أغشية النانو أكثر مقاومة للانسداد أو ما يعرف بـ fouling or scaling من أغشية التناضح العكسي؛ مما يقلل من استخدام المواد المقاومة للانسداد. تعمل هذه الأغشية بآليتين متوازيتين تساهمان في إزالة الكثير من الأملاح الذائبة في الماء؛ حيث يوجد على سطحها الخارجي أيونات بشحنة سالبة بكثافة معينة تقوم بجذب أيونات الأملاح ذات الشحنات الموجبة حسب التكافؤ الخاص بكل أيون، وهكذا تحدث عملية إزالة الأملاح المذابة. أما الجزيئات كبيرة الحجم نسبيًّا فتتكفل فتحات الغشاء فيزيائيًّا بمنعها من المرور اعتمادًا على حجم هذه الجزيئات وقطر فتحات الغشاء. هناك العديد من محطات التحلية في العالم أدخلت أغشية النانو وأغشية الترشيح فائق الدقة UF حديثًا كتقنية للمعالجة الأولية لمياه البحر، قبل إدخالها على أغشية التناضح العكسي، وقد أثبتت نجاحها وكفاءتها بشكل ملحوظ. ومما لا شك فيه أن لأغشية النانو والترشيح فائق الدقة مستقبلًا كبيرًا، خاصة وأنها شهدت اهتمامًا كبيرًا من الباحثين والدارسين والشركات المُصَنِّعة للأغشية عالميًّا في السنوات الأخيرة؛ مما ساهم في تحسين أدائها ورفع كفاءتها.

ويتوقف نوع الغشاء على ظروف التصنيع؛ حيث يمكن إنتاج هذه الأغشية من مادة واحدة، وكلما تغيرت ظروف التفاعل أو طريقة التصنيع، تغير نوع الغشاء الذي نحصل عليه. وهناك الآن مواد عديدة يمكن أن تستخدم في تصنيع هذه الأغشية، منها ما هو طبيعي أو صناعي وما هو مشترك. ومن أهم المواد المستخدمة في هذا المجال:

أولًا: مواد طبيعية:

- بعض مشتقات السليلوز مثل أسيتات السليلوز ونتراته.

ثانيًا: مواد مصنعة:

- البولي أميدات، البولي إثيلين، البولي بروبيلين وغيرها.

ثالثًا: مواد أخرى:

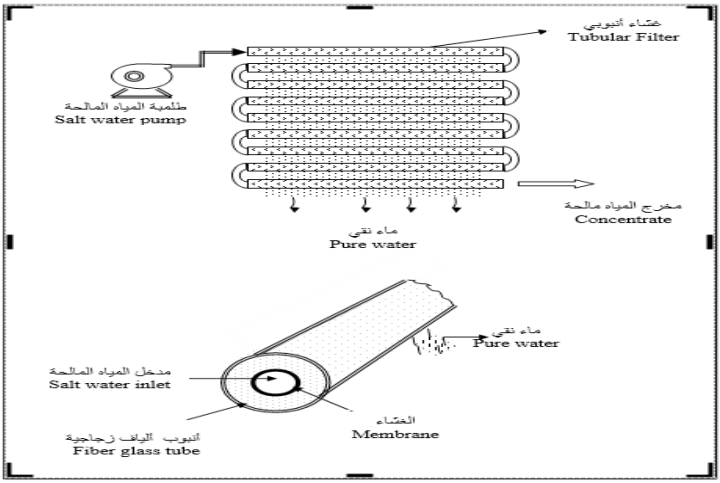
- مثل الزجاج المسامي، أكسيد الجرافيت، وأكسيد الزنك والألومنيوم.
- تركيب وحدات الفصل (Separation units structure Module):

وحدة الفصل (Module) هي المكان أو الغرفة (compartment) التي تحوي الأغشية وملحقاتها. وتتوقف أنواع هذه الوحدات على شكل الغشاء، حيث يوجد منها عدة أشكال مثل:

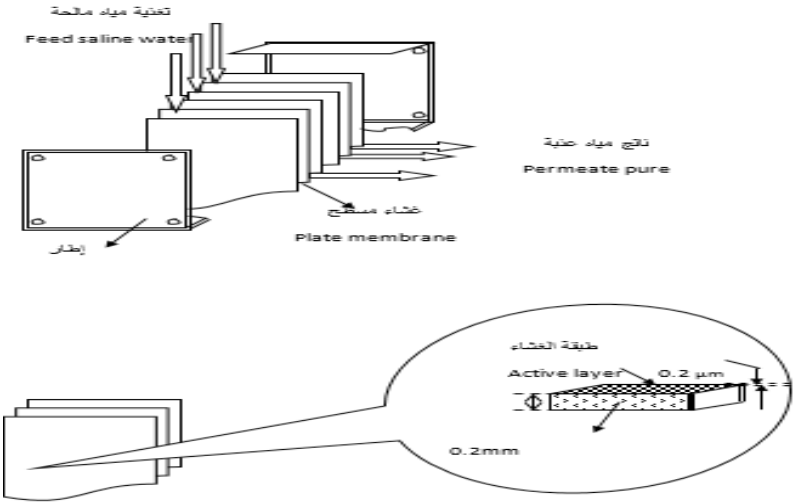
- الشكل الأنبوبي (Tubular module)، ويكون فيه الغشاء على شكل أنبوب.

- الشكل المسطح (Plate and frame module)، ويكون فيه الغشاء على شكل شريحة مستوية.
- الشكل الحلزوني الحاوي للأغشية الملفوفة (Spiral wound module)، ويكون فيه الغشاء على شكل شريحة ملفوفة على أنبوب توزيع المياه.
- الشكل الأسطواني ذو الألياف المفرغة (Hollow fiber module)، ويكون فيه الغشاء على شكل ألياف رقيقة مفرغة (الليف الأجوف).

والأشكال من (١-١١) إلى (١-١٥) توضح الرسم التخطيطي لمثل هذه الوحدات بما فيها من أغشية.

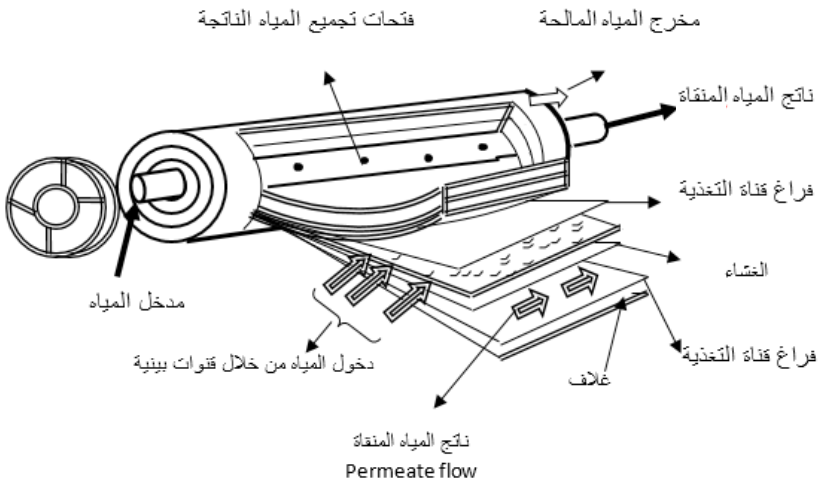


شكل رقم (١-١١) يبين تركيب الوحدة الأنبوبية Tubular module

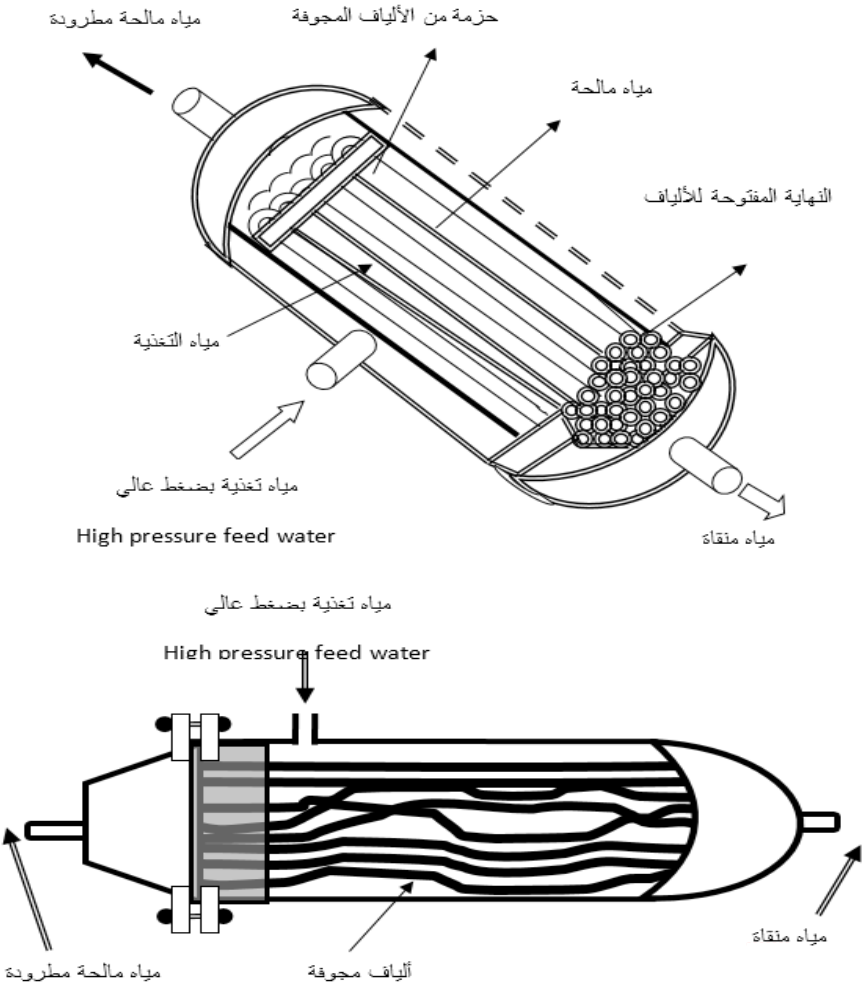


شكل رقم (١ـ١٢) يبين تركيب وحدة الغشاء المسطح

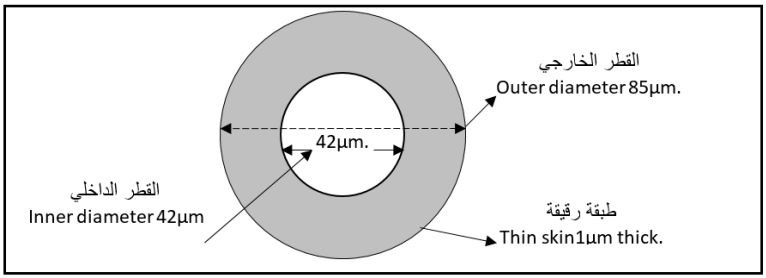
(Plate and frame module)



الشكل رقم (١ـ١٣) يوضح تركيب وحدة التناضح العكسي ذات الشكل الحلزوني الحاوي للأغشية الملفوفة (Spiral wound reverse osmosis module).



الشكل رقم (١ـ١٤ أ، ب) الرسم التوضيحي لوحدة التناضح العكسي باستخدام الألياف المجوفة



الشكل رقم (١ـ١٥) مقياس القطرين الداخلي والخارجي لليف الأجوف

Inner and outer diameters of hollow fiber

تصميم محطة تحلية المياه باستخدام نظام التناضح العكسي:

تختلف طريقة تصميم محطات تحلية المياه من محطة إلى أخرى، تبعًا لنوع مياه البحر المطلوب معالجتها، فعلى سبيل المثال تحتاج المياه الصافية المستخرجة من الآبار البحرية إلى معالجة تحضيرية أقل من تلك التي تحتاجها مياه سطح البحار. والمعالجة الأولية للمياه تشمل:

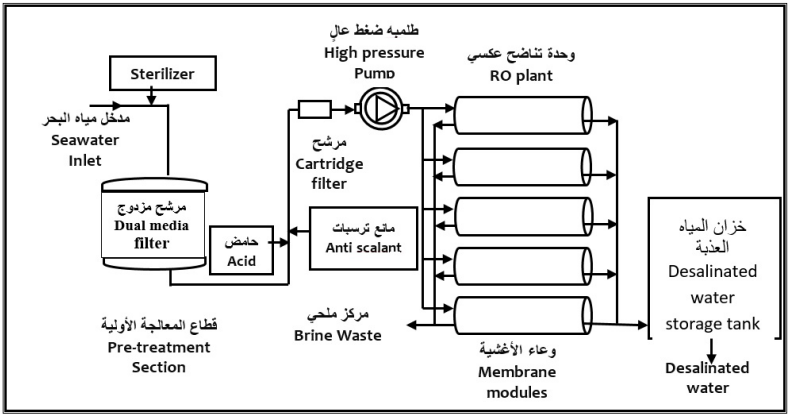
- إضافة حمض؛ لضبط درجة تركيز أيون الهيدروجين، ولمنع تكون الرواسب والقشور الترسيبية.
- إضافة الكلور؛ لقتل البكتيريا والأحياء الدقيقة.
- إضافة مادة مساعدة على التخثر (Coagulant aid)؛ لتجميع العوالق والمواد الغروية وترسيبها.

- إضافة هيدروكبريتات الصوديوم؛ لإزالة الكلور لأن الكلور من المواد التي تتلف الأغشية.
- استخدام الأشعة فوق البنفسجية بديلًا للكلور.
- ترشيح المياه؛ للتخلص مما بها من شوائب متبقية ومواد عضوية.

ويشمل التصميم النمطي لمحطة تحلية المياه باستخدام نظام التناضح العكسي قسم المعالجة التحضيرية أو الأولية (Pretreatment) لإزالة المواد العالقة ومنع تكوين القشور (Scales) وترسبات البكتيريا، ومضخات ضغط عالٍ، ومجموعة من وحدات الأغشية السابق ذكرها (Membrane modules)، ومنظمًا لضغط وتدفق المياه، وخزانًا للماء الناتج، وشبكة توزيع.

وهذه الوحدات مصممة لمعالجة المياه المالحة، والتي يصل محتواها من الملح إلى عشرة آلاف جزء من المليون من مجموع المواد الصلبة الذائبة. وعادة تصل نسبة طرد الملح إلى ٩٠٪ على الأقل، وتتراوح نسبة الماء المستخلص الناتج بين ٥٠ – ٩٠٪ من مجموع المياه. وتتوقف النسبة على تصميم الوحدة ونوعية مياه التغذية ودرجة الملوحة وظروف التشغيل. وعادة تتخلص الوحدات الحديثة مما يقرب من ٩٨/٥٪ على الأقل من إجمالي المواد الصلبة الذائبة في مياه التغذية. ويمكن لهذه الوحدات أن تحول مياه البحر إلى مياه عذبة بمجرد مرورها عليها مرة واحدة فقط (One stage)، وإذا احتاج الأمر لزيادة التنقية تمر المياه أكثر من مرة على هذه الوحدات أو على نظام الوحدات المتلاحقة. ويؤثر على الغشاء ضغط

أعلى من ضغط التناضح، حيث يصل ضغط التناضح لمياه البحار إلى حوالي ٢٥ ضغطًا جويًّا؛ وعلى ذلك يستخدم ضغط معاكس يصل مقداره إلى أكثر من ٥٠ ضغطًا جويًّا لإتمام عملية التناضح العكسي. وذلك يستلزم استخدام أغشية تتحمل هذا الضغط المرتفع. ويوضح الشكل (١ـ١٦) رسمًا تخطيطيًّا لوحدة تناضح كاملة.



شكل رقم (١ـ١٦) رسم تخطيطي لوحدة تناضح عكسي كاملة

كما يوضح الشكل (١ـ١٧) شكل الموديول بوحدة التناضح العكسي.

شكل رقم (١ـ١٧) صورة توضح شكل الموديول بوحدة التناضح العكسي

طريقة الفرز الغشائي الكهربائي (الديلزة) Electro dialysis

عندما تذوب الأملاح الأيونية مثل كلوريد الصوديوم (NaCl) في مذيب قطبي مثل الماء، فإن أيوناته تصبح حرة الحركة في المياه، وهكذا جميع الأملاح الذائبة في الماء تكون على هيئة أيونات مشحونة. فإذا وضع هذا الماء في إناء ووضع معه قطبان كهربائيان في طرفي الإناء – كما يحدث في التحليل الكهربي – فإن الأيونات الموجبة (الكاتيونات) تتجه ناحية القطب السالب (الكاثود)، وبالعكس تتجه الأيونات السالبة (الأنيونات) ناحية القطب الموجب (الأنود).

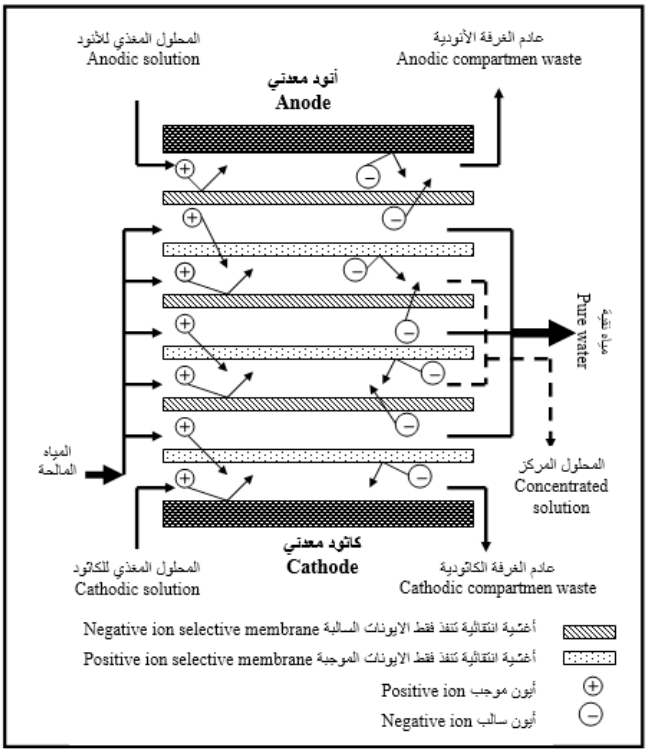
الأيونات التي تصل إلى الكاثود تكتسب إلكترونات منه لكي تتعادل في الشحنة، ثم تتفاعل في الحال مع الماء، فتكون هيدروكسيد الصوديوم وغاز الهيدروجين.

$$Na^+ + e^- \longrightarrow Na$$

$$2Na + H_2O \longrightarrow 2\,NaOH + H_2$$

كما أن الأيونات السالبة عندما تصل إلى الأنود تعطي إلكتروناتها إليه وتصبح ذرات كلور نشطة وتأخذ الهيدروجين، وفي هذه الحالة يتكون بعض الأحماض وكل من غازي الأكسجين والكلور. فإذا وضع بين هذين القطبين غشاء يسمح بمرور نوع واحد من الأيونات ولا يسمح بمرور الآخر، فإن ذلك سوف يُحدِث تغييرًا في تركيزات الأيونات؛ وهكذا فإن الغشاء الكاتيوني سوف يسمح بمرور الكاتيونات فقط ولن يسمح بمرور الأنيونات، وعلى العكس بالنسبة للغشاء الأنيوني. ويوضح الشكل (١ـ١٨) حركة الأيونات الموجبة والسالبة من خلال الغشاء الكاتيوني والأنيوني.

فإذا وضعت عدة أغشية على الترتيب (غشاءً كاتيونيًّا يليه غشاء أنيوني) بين القطبين الكهربائيين، فسوف تتكون غرف من السوائل (Liquid compartment) إحداها تحتوي على مياه بها تركيزات عالية من الأيونات والأخرى بها مياه عذبة، كما في الشكل (١ـ١٨). وتسمى الغرفتان – اللتان بإحداهما تركيز عالٍ من الأيونات، وبالأخرى لا توجد أيونات – بالخلية المزدوجة. ويوضع من ٣٠٠ إلى ٥٠٠ خلية في محتوى (وعاء) لتكوين مجموعة واحدة في وحدة الفرز الكهربائي.



الشكل (١ـ١٨) يوضح حركة الأيونات الموجبة والسالبة
من خلال الغشاء الكاتيوني والأنيوني

مما سبق يتضح أن طريقة الفرز الغشائي الكهربائي تعتمد على استخدام نوع من الأغشية يسمى بأغشية الاختيار الأيوني (Ion selective membrane)؛ حيث تحتوي خلية الفرز الغشائي الكهربي على نوعين مختلفين من الأغشية، أحدهما يسمح بمرور الأيونات الموجبة (الكاتيونات)، والآخر يسمح بمرور الأيونات السالبة (الأنيونات). ويعمل التيار الكهربائي المستخدم في خلية

الفرز الغشائي الكهربي على سحب الأيونات المختلفة خلال الغشاء للاختيار الأيوني في اتجاه كل من الكاثود والأنود.

عندما ترحل الكاتيونات مبتعدة عن الأنود خلال الغشاء الكاتيوني، فإن الغرفة التي تركتها الكاتيونات يزداد فيها تركيز الأنيونات فتتفاعل مع الماء؛ مما يؤدي إلى تكون غازي الأكسجين والكلور كما ذكرنا من قبل. ولمنع تراكم غاز الكلور على الأنود والغشاء؛ يدفع تيار من السائل (Flashing stream) خلال هذه الغرفة يسمى الأنوليت (Anolyte). وبالمثل لمنع تراكم الهيدروكسيد والهيدروجين عند الكاثود؛ يدفع أيضًا تيار من السائل يسمى كاثوليت (Catholyte).

ويتم تصنيع أغشية الفرز الكهربي بنفس طريقة مواد التبادل الأيوني، ولكن على شكل شرائح (sheets). على سبيل المثال، فإن ٥٠ – ٧٥٪ من مواد الغشاء الاختياري الكاتيوني تصنع من البولي ستيرين مع ثنائي فينيل البنزين، وتصنع هذه الأغشية بسمك يتراوح بين ٠,١٥ ـ ٠,٦ ملم، ومقاومة كهربية (Electric resistance) ٣ × ١٠ $^{-٤}$ في درجة حرارة الغرفة، و٣×١٠ $^{-٣}$ أوم. م٢ في محلول ٠/٥ عياري من كلوريد الصوديوم. ونسبة رطوبة من ٥٥ إلى ٦٥٪.

مكونات محطات التحلية باستخدام وحدات الفرز الغشائي الكهربي:

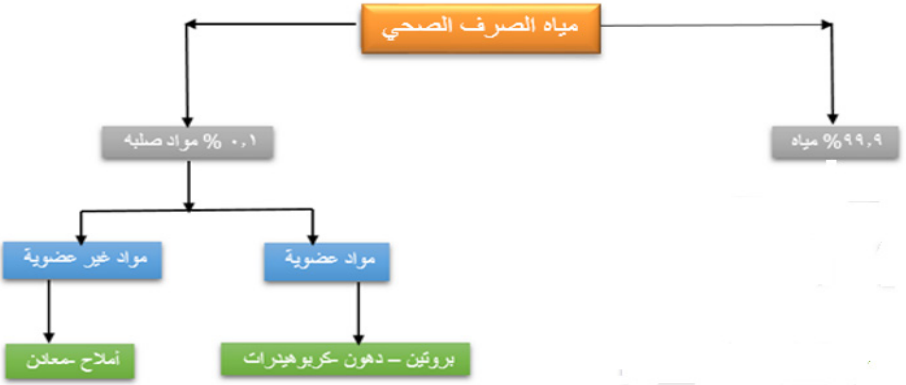
تتكون وحدة الفرز الغشائي الكهربي من وعاء كبير تصف فيه عدة مئات من الأغشية، تُفصل عن بعضها البعض بمسافات بينية تجري فيها المياه المالحة والعذبة، ومصدر للتيار الكهربائي المستمر. وتحتاج وحدات الفرز الغشائي الكهربي إلى معالجات أولية لمياه التغذية قبل دخولها على الوحدات، كما في وحدات التناضح العكسي.

الباب الثاني
معالجة مياه
الصرف الصحي

معالجة مياه الصرف الصحي

تهتم الدول المتحضرة في الآونة الأخيرة بمعالجة النفايات ومخلفات الصرف الصحي؛ للمحافظة على نظافة البيئة وحماية صحة الإنسان من خطر الأوبئة والأمراض المعدية. وقديمًا كانت تصرف هذه المخلفات إلى البحر أو النهر، فكانت تهدد الثروة السمكية والكائنات الحية التي تعيش في البحار والأنهار، وتؤثر عليها؛ لأن هذه المياه تستهلك الأكسجين الذائب في الماء واللازم لحياة وتنفس الأسماك وغيرها. ونظرًا للتقدم التكنولوجي؛ فقد تطورت عمليات المعالجة حتى وصلت إلى درجة عالية من الكفاءة، حتى إن بعض الولايات في أمريكا ودول أوروبا تستخدم مياه المجاري المعالجة في ري الحقول الزراعية، وكذلك في المزارع السمكية، كما أن المواد المتخلفة من محطات التنقية (الحمأة) تحتوي على عنصري النيتروجين والفوسفور؛ لذا تستخدم في تسميد الأراضي الزراعية.

مكونات مياه المجاري:



تتكون مياه الصرف الصحي من المياه المستخدمة في المنازل، سواء في الحمامات أو المطابخ، وكذلك المياه المستخدمة في بعض الورش والمصانع الصغيرة ومحطات الوقود التي تقع داخل المدينة.

تحتوي مياه الصرف الصحي على نسبة عالية من الماء ٩٩,٩٪، والباقي مواد صلبة على هيئة مواد غروية وعالقة وذائبة. وهذه المركبات هي:

- الكربوهيدرات: وتشمل السكريات الأحادية، والثنائية، والنشا، والسليلوز.
- أحماض عضوية: مثل حمض الفورميك، والبروبيونيك، وغيرها.
- أملاح أحماض عضوية: مثل أكسالات الكالسيوم.

- الدهون والشحوم.
- المركبات العضوية النيتروجينية: وتشمل البروتينات.
- الأصباغ.
- الأملاح المعدنية.
- مواد أخرى: وتشمل الجلوكوزيدات، وغيرها.

المواد العضوية:

تحتوي مخلفات الصرف الصحي غالبًا على ٥٠٪ مركبات عضوية، وتحتوي هذه المركبات على عنصري الكربون والهيدروجين بالإضافة إلى الأكسجين والفسفور والنيتروجين، ومصدر هذه المركبات العضوية هو تحلل الحيوانات النافقة وبقايا الخضراوات ومخلفات الصرف الصحي.

المواد غير العضوية:

هي الأملاح المعدنية، خاصة الأملاح المسببة للعُسر مثل أملاح الكالسيوم والماغنسيوم، بالإضافة إلى أملاح الحديد والألومنيوم وكميات من المعادن الثقيلة وما يناظرها من شقوق مثل الكلوريدات – الكربونات – الكبريتات، بالإضافة إلى الرمل والطفلة والزلط.

العناصر الهامة في مياه المجاري:

يعتبرعنصرا النيتروجين والفسفور من العناصر الهامة فى مياه المجاري؛ حيث تعتبر مركباتهما بمثابة الخميرة اللازمة لنمو البكتيريا.

ويعتبر وجود الكبريتات في مياه المجاري غير مفضل؛ لأنها تتحلل بفعل البكتيريا اللاهوائية إلى غاز كبريتيد الهيدروجين الذي يسبب رائحة كريهة وكذلك يجعل لون المياه رماديًّا، وهو غاز يسبب الكثير من الأمراض الصدرية، ومن أبرزها الربو.

من الطرق الشائعة للمعالجة البيولوجية:

- المرشحات البيولوجية.
- الأقراص البيولوجية الدوارة.
- الحمأة النشطة.
- التهوية الممتدة.
- برك الأكسدة.

نظرية المعالجة البيولوجية:

تعتمد عملية المعالجة البيولوجية في أحواض التهوية على عملية تكسير المواد العضوية وتحويلها إلى ثاني أكسيد الكربون وماء. وتتم هذه العملية بفعل البكتيريا في وجود الأكسجين.

مواد عضوية معقدة + أكسجين + بكتيريا ← مواد عضوية بسيطة

مواد عضوية بسيطة + أكسجين + بكتيريا ⟵ ثاني أكسيد الكربون + ماء

وتسمى هذه العملية بعملية تثبيت المواد العضوية.

لذا فإن محطة التنقية الجديدة تحتاج في بداية التشغيل إلى تزويدها بخميرة، وهي عادة مياه مجارٍ من محطة أخرى محفوظة لمدة ٢٤ أو ٣٦ ساعة في الحضَّانة، والغرض من ذلك تزويد المحطة الجديدة ببكتيريا نشيطة. ويجب ألا يقل الأكسجين الذائب بأحواض التهوية أو الأكسدة عن ٢ ملليجرام فى اللتر.

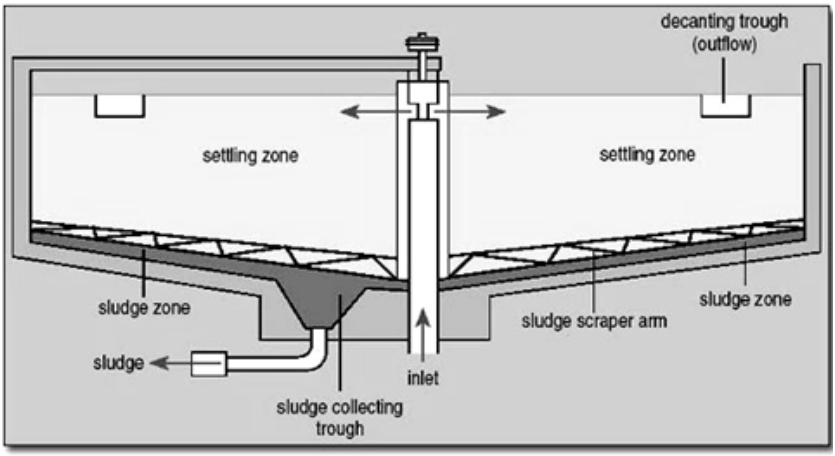
مراحل عملية التنقية:

- تُضخ مياه المجاري من محطات التجميع والمحطات الفرعية، إلى محطة التنقية الرئيسية؛ حيث تمر هذه المياه على المصافي التي تقوم بإزالة المواد الصلبة، وهي عبارة عن حاجز معدني يتكون من عدة قضبان متوازية، يقوم باحتجاز الأجسام الصلبة الطافية مثل قطع الأخشاب والورق والأقمشة؛ حتى لا تتسبب هذه الشوائب في أعطال أجهزة المحطة.

شكل رقم (٢ـ١) المصافي

- أحواض فصل الرمال: يتم فيها ترسيب الرمال والمواد غير العضوية العالقة، والتي يكون قطرها ٠/٢ مم فأكثر. وتتكون من قنوات مزودة بحيز لتجمع الرمال.
- وحدة إزالة الزيوت والشحوم: وهي تعمل على التخلص من الشحوم والزيوت الطافية.
- أحواض الترسيب الابتدائية: في هذه المرحلة تكون الخزانات كبيرة بما يكفي؛ بحيث تترسب الأوحال والمخلفات الآدمية في القاع، وتصعد المواد العائمة والشحوم والزيوت إلى السطح ليتم كشطها. الهدف من عملية الترسيب الأولية هو إنتاج سائل متجانس بشكل عام يمكن معالجته بعد ذلك بيولوجيًّا، وكذلك أيضًا

استخلاص القاذورات بحيث يمكن التخلص منها بعد ذلك أو إعادة استخدامها. غالبًا ما تضم خزانات الترسيب الأولية مكشطة ميكانيكية تقوم بطرد المواد المترسبة بشكل مستمر إلى فتحة أسفل الخزان، حيث تُضخ لتعالَج في مراحل أخرى.



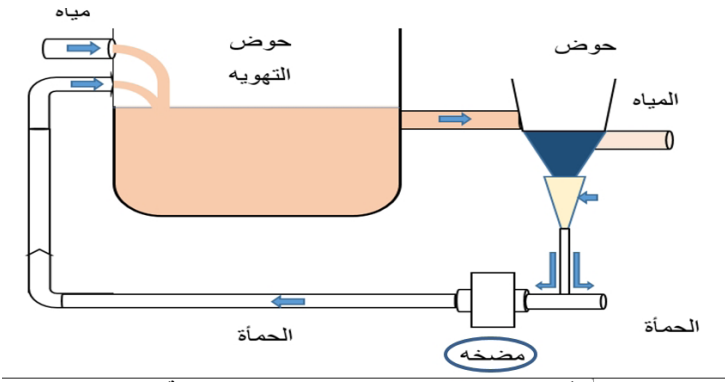
شكل رقم (٢ـ٢) حوض ترسيب ابتدائي

أحواض التهوية (الأكسدة): تدخل مياه المجاري إلى أحواض التهوية، حيث توجد طلمبات تدوير تعمل بمحرك كهربائي. وتؤدي عملية التدوير وظيفتين، هما:

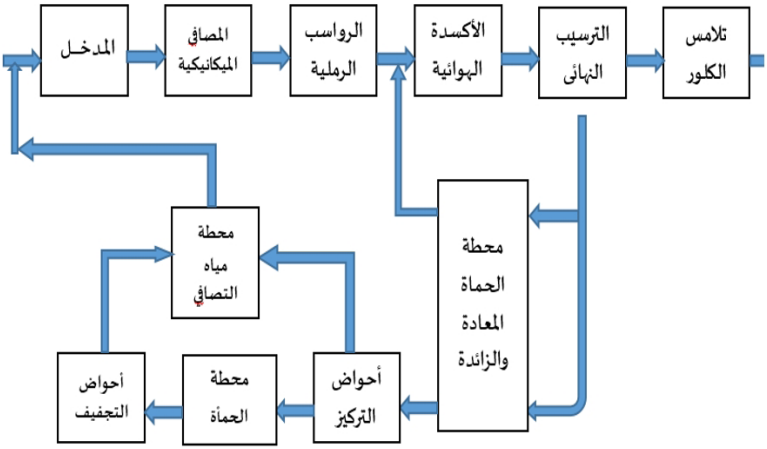
أـ مزج مكونات الخليط المكون من مياه المجاري الخام والحمأة النشطة الغنية بالبكتيريا النشطة والغذاء للبكتيريا.

ب- تقوم هذه الطلمبات بتوفير الأكسجين الذائب واللازم لنمو البكتيريا؛ حيث تتحول المركبات العضوية المعقدة التركيب إلى ثاني أكسيد الكربون وماء، ويتم ذلك بفعل البكتيريا الهوائية. وتستغرق هذه العملية ٨ ساعات.

الأشكال من (٢-٣) إلى (٢-٦) توضح مراحل المعالجة وبعض أنواع أحواض الترسيب والتهوية.



شكل رقم (٢-٣) رسم تخطيطي مبسط يبين مراحل معالجة مياه الصرف



شكل رقم (٢ـ٤) رسم تخطيطي لمسار المياه والحمأة طبقًا لتقنية كروجر

شكل (٢ـ٥) حوض التهوية بمحطات معالجة مياه الصرف الصحي

أحواض الترسيب النهائي:

يتدفق الخليط المتجانس المعالج بيولوجيًّا في أحواض الأكسدة إلى أحواض الترويق. وتتجمع في هذه الأحواض الجسيمات الكبيرة؛ حيث يثقل وزنها فتهبط إلى القاع مكونة ما يسمى بـ (الحمأة النشطة) (Activated sluddge blanket)، أما الجسيمات الخفيفة الوزن فتطفو على السطح. وتكون المياه المحصورة بين الندف والحمأة النشطة رائقة لا تحتوي على شوائب.

وتكون نسبة المياه المعالجة الرائقة بيولوجيًّا تتراوح من ٩٥ إلى ٩٧٪، كما يكون قد تم التخلص من المواد العالقة بكفاءة تتراوح من ٨٥ إلى ٩٥٪. ثم تأتي بعد ذلك مرحلة المعالجة بغاز الكلور. ويجب أن يتبقى منه حوالي ٢ ملليجرام في اللتر؛ وذلك لقتل جميع الميكروبات أو الجراثيم، وبذلك تكون المياه المنصرفة إلى البحر نقية تمامًا لا تهدد الكائنات الحية.

يوضح شكل (٢ـ٧) صورة لحوض الترويق في محطات الصرف الصحي.

شكل (٢ـ٦) حوض الترويق في إحدى محطات الصرف الصحي

حوض تكثيف الحمأة: تزاح الرواسب المتجمعة في أحواض الترويق إلى أحواض تكثيف الحمأة، والغرض من ذلك إعطاء الفرصة للبكتيريا الهوائية واللاهوائية لتقوم بدورها في التخلص من بقايا التلوث، وتسمى هذه العملية بالهضم. وبذلك يزيد محتوى المواد الصلبة، أما المياه الملوثة فإنها تنفصل بالتدفق عبر حواجز معدنية؛ حيث يعاد ضخها مع جزء من الحمأة النشطة الغنية بالبكتيريا والمواد العضوية إلى أحواض التهوية، وذلك للمحافظة على مستوى معين من الحمأة داخل أحواض التهوية. ويتم بعد ذلك ضخ المواد الصلبة المتجمعة في قاع حوض التكثيف إلى أحواض التجفيف. وتستخدم هذه الحمأة بعد التجفيف سمادًا لتخصيب الأراضي الزراعية بما تحتويه من مركبات نيتروجينية وفسفورية.

الطرق المستخدمة في تقدير كفاءة وحدة المعالجة:

هناك بعض المتغيرات التي يمكن عن طريقها تقدير كفاءة وحدة المعالجة:

الأكسجين الحيوي الكيماوي الممتص (Biological oxygen demand (BOD)

يتم يوميًّا أخذ عينتين من مدخل مياه المجاري، وعينتين من المخرج (أحواض الترويق)، ويتم تقدير الأكسجين الذائب في كل منهم بحيث عينة تقدر فى نفس اليوم والعينة المناظرة لها تقدر بعد خمسة أيام لكل من المدخل والمخرج. وبعملية حسابية يمكن

تقدير الـ BOD للمدخل والمخرج، ومنها يمكن حساب كفاءة المحطة في المعالجة البيولوجية.

الأكسجين الكيماوي المستهلك» (Chemical oxygen demand) COD)):

يعرف بكمية الأكسجين المستهلك بواسطة مادة كيماوية، والمطلوبة للبكتيريا والكائنات الحية الدقيقة لتكسير وتثبيت المواد العضوية وبعض المواد غير العضوية. وكلما زادت درجة التلوث، زادت قيمة الأكسجين الكيماوي المطلوب؛ لذلك فإن قيمته تعطي دلالة على درجة التلوث في المدخل والمخرج.

عادة ما تكون قيمة الـ (COD) أكبر من قيمة الـ BOD))، وهذه الزيادة ترجع إلى المواد غير العضوية المطلوبة أكسدتها أثناء عملية المعالجة.

تقدير المواد العالقة في الخليط المتجانس.

تقدير المواد العالقة القابلة للتطاير في الخليط المتجانس.

يتم تقدير ذلك بأخذ حجم لتر من حوض التهوية بعد المزج جيدًا، ثم ترشح المواد العالقة في ورق ترشيح معلوم الوزن، ثم تجفف في الفرن عند ١٠٥°م حتى ثبات الوزن. والفرق في الوزنتين يعادل المواد العالقة في الخليط المتجانس. ولتعيين المواد العالقة القابلة للتطاير بالحرق، وهذا المقدار يعادل المواد العضوية المسببة للتلوث الموجود في الوسط، يتم وضع ورقة الترشيح بما تحتويه من مواد عالقة في بوتقة معلومة الوزن عند ٧٥٠°م لمدة ساعة، حتى يتم

تطاير ما بها من مواد كربونية، وتترك لتبرد، ويعاد وزنها، ويطرح الوزن المتبقي من وزن المواد العالقة السابق تقديره. وفرق الوزنتين يعادل وزن المواد المتطايرة V.S.S.، وهو يعطي دلالة على مقدار المواد العضوية المسببة للتلوث بالوزن.

الأكسجين الذائب في أحواض التهوية (DO):

يتراوح الأكسجين الذائب في أحواض التهوية بين ٢ – ٤ ملليجرام في اللتر، ويجب ألا يقل عن ٢ ملليجرام في اللتر. وكلما زادت درجة التلوث، زاد الاحتياج إلى الأكسجين الذائب.

الجهات المسئولة عن تنفيذ قانون البيئة بالجمهورية في شأن مياه الصرف والمشاكل الناجمة عنها:

تقوم الدولة بسن القوانين ووضع التشريعات التي تضمن وصول المياه إلى المجتمعات العمرانية بعد معالجتها مطابقة للمواصفات القياسية لمياه الشرب كما تعمل الدوله على المحافظة على مصادر المياه من التلوث وتشترك عده جهات في هذا الشأن كل في مجال تخصصه وهذه الجهات هي:

وزارة البيئة:

وهي مسئولة عن حصر المخالفات البيئية في أي مجال، ودراستها، وإيجاد حلول علمية وفنية لهذه المخالفات، وإبلاغ الجهات التنفيذية بها، والتوصية بكيفية إزالة المخالفة، وتوضيح الحل الفني الأمثل.

وزارة الأشغال العامة والموارد المائية:

وهي مسئولة عن حصر المخالفات في مجال المياه والموارد المائية – سواء المياه السطحية أو الجوفية –، ويقع على عاتقها منع الملوثات من أن تُلقى في المجاري المائية، والمحافظة على جودة المياه، وتطهير القنوات المائية، ومراقبة ومتابعة نوعية المياه.

وزارة الداخلية:

وهي المنوط بها تنفيذ إزالة المخالفات، والتأكد من احترام القانون.

المؤسسات التشريعية:

وهي مسئولة عن سن وتطبيق القوانين الخاصة بالبيئة في شأن تلوث المياه.

وزارة الصناعة:

وهي مسئولة عن التأكد من أن جميع المصانع التي تتبعها لا تخالف قوانين البيئة، والتأكد من أنها لا تلوث الهواء والتربة والمياه، والعمل الدائم على إيجاد حلول فنية لمنع التلوث وكذلك تطوير تقنيات التصنيع طبقًا لأحدث المعايير العالمية لحماية البيئة.

وزارة الزراعة:

وهي المسئولة عن العمل على تقليل والتحكم في استخدام المبيدات الحشرية والأسمدة الزراعية، ومخالفة كل من تسول له نفسه الإضرار بالبيئة الزراعية كالرش بمبيدات ضارة وسامة.

وزارة البترول والثروة المعدنية:

وهي مسئولة عن تقليل ومنع التلوث الناتج من استخدامات البترول المختلفة، وكذلك التحكم في الكوارث الناتجة من حوادث البترول كالتسرب من خطوط الأنابيب وتسرب زيت البترول من الناقلات داخل حدود الجمهورية.

وزارة الدفاع:

وهي المسئولة عن حماية المواطن المصري – سواء فى حالة الحرب أو السلم –، فهي مسئولة عن التحكم في الكوارث التي قد تضر البيئة، مثل البترول والمواد المشعة وتسرب الغازات السامة من المصانع... إلخ.

وزارة التجارة الداخلية:

وهي المسئولة عن التحكم في الواردات إلى الجمهورية من كيماويات ومواد تستخدم في تنقية المياه، والتأكد من أنها مطابقة للمواصفات العالمية.

الباب الثالث
استخراج وتنقية
المياه الجوفية

كيفية استخراج وتنقية المياه الجوفية:

إن الطريقة الصحية الوحيدة للحصول على المياه الجوفية الغائرة، هي حفر الآبار. وهناك اشتراطات يجب أن تتوافر في مكان البئر وفي إقامته وتعقيمه وحمايته من التلوث. وكل مال أو جهد يبذل في إقامة بئر دون مراعاة الشروط الصحية إنما هو مال مهدر وجهد بلا نتيجة، وهذا يستلزم تعاون المختصين من الكيميائيين والمهندسين والعاملين في المجال الصحي. وتتلخص شروط إقامة البئر وحمايته فيما يلي:

اختيار موقع البئر:

من أهم ما يجب مراعاته عند إقامة بئر جديد، اختيار موقعه بحيث يكون هذا الموقع ملائمًا للغرض الذي يقام البئر من أجله. ومن الاعتبارات التي يجب مراعاتها في هذا الصدد ما يلي:

- يجب أن تكون مياه البئر مطابقة للمواصفات من الناحية الكيميائية والبكتريولوجية.
- يجب ألا يكون البئر في أرض منخفضة؛ حتى لا يكون عرضة لتجمع المياه السطحية حوله – كمياه الأمطار والفيضانات –، والتي تساعد على تلويثه.

- أن يكون بعيدًا عن المساكن، وفي وسط مساحة واسعة يمكن إقامة منشآته بها، ويكون من السهل عمل حرم للمأخذ لمنع التلوث.
- أن تكون منطقة الأرض المقام عليها البئر سليمة وليس بها شقوق.
- أن يكفل البئر المُختار إمداد المنطقة بكميات المياه اللازمة للسكان، للشرب والأغراض المنزلية والتجارية والصناعية إن وجدت.

إنشاء وتشغيل البئر:

هناك عدة اشتراطات أخرى يجب أخذها في الاعتبار عند إنشاء وتشغيل البئر، منها:

يجب أن يحرص الأشخاص والعمال القائمون بدق البئر، على عدم تلويث المنطقة المجاورة له لمسافة مناسبة حول مكان الحفر. كما يجب عدم استخدام مواسير أو أدوات تكون قد تلوثت بالشحم أو أي ملوثات أخرى، وأن تتخذ جميع الاحتياطات الكفيلة بدرء التلوث الخارجي عن البئر.

يجب غسل جميع المواسير والقاسون المستعمل بقطعة من القماش مبللة بمحلول مادة مطهرة مثل هيبوكلوريت الكالسيوم المركزة، وذلك قبل إنزالها في البئر.

- إذا استعمل الزلط في إقامة البئر، يجب غسله في محلول هيبوكلوريت الكالسيوم.
- بعد الانتهاء من دق البئر وإنزال المواسير المجلفنة، يجب تعقيم البئر قبل أخذ العينات، وذلك باستعمال مادة هيبوكلوريت الكالسيوم بتركيز ٢٥ ٪. وسنذكر فيما بعد طريقة تعقيم البئر.
- بعد رفع القاسون وإنزال المواسير، يجب عمل تغطية من الأسمنت أو أي مادة صماء حول الماسورة، بحيث تشمل هذه التغطية الجزء المثقوب منها، ويتم عمل هذه التغطية بالأسمنت بطريقة الضغط، وتشترط بعض الاشتراطات في الأسمنت المستعمل وفي طريقة تحضيره؛ بحيث يكون طبقة متماسكة حول الماسورة ولا يكون به شقوق تسمح للمياه السطحية بالتسرب إلى المأخذ.
- يستحسن عدم وضع مضخة أو ماكينة رفع المياه فوق الماسورة مباشرة، بل يتم تركيبها على وصلات جانبية للماسورة؛ وذلك لإمكان إصلاح أي عيب يطرأ على الماسورة دون الحاجة إلى رفع المضخة أو ماكينة سحب ورفع المياه.
- يجب إحاطة الماسورة من الخارج بطبقة من الأسمنت لمسافة دائرة نصف قطرها خمسة أمتار من كل ناحية،

وتكون هذه الطبقة مائلة من البئر إلى خارجه بشكل هرمي؛ وذلك لحماية المأخذ من تسرب المياه السطحية من حوله.

- يجب عدم وضع مواسير شبكة توزيع المياه أو أي محابس بجانب مواسير الصرف الصحي أو الصناعي، بل تكون شبكة مواسير المياه مستقلة عنها.
- يجب عمل طريقة صرف صحية للمياه الناتجة عن تبريد ماكينات رفع المياه أو المياه الفائضة من الصهريج أو المتخلفة من غسيل الصهريج؛ بحيث تصرف هذه المياه بعيدًا عن المأخذ، مع مراعاة أن تكون بيارات الصرف الصحي أو الترنشات أو الخزانات على مسافة لا تقل عن عشرين مترًا من آبار المنشأة.

مشروع إنشاء الآبار واستخراج المياه الجوفية:

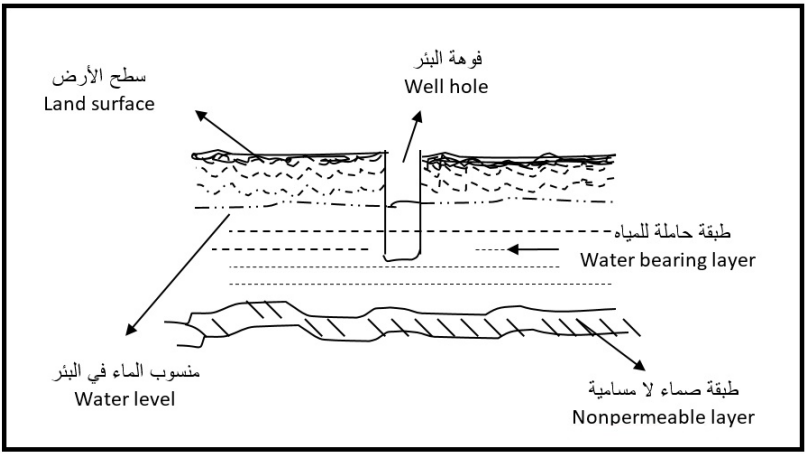
من المعلوم أن المياه الجوفية هي المياه التي تتجمع في باطن الأرض من تسرب مياه الأمطار إليها، حيث يمكن أن تظهر ثانية على شكل ينابيع أو عيون طبيعية، أو تستخرج من الأرض بواسطة إنشاء الآبار.

عندما تتسرب المياه إلى باطن الأرض، يتكون ما يسمى بالمياه تحت الأرضية، ثم تتسرب المياه أكثر في الأرض وتصبح مياهًا غائرة، عن طريق مرورها في طبقات مسامية، ويستمر تسرب

المياه حتى تصل إلى المنطقة المشبعة (Saturated zone)، حيث يطلق على مستوى المياه في هذه المنطقة بالمستوى المائي. ويكون المنسوب الأعلى لهذه المياه ثابتًا، ويعرف بالمنسوب الثابت للمياه الغائرة (permanent water table). ويتحكم في مواصفات مياه هذه المنطقة التركيب الجيولوجي للطبقات الأرضية ونوع المواد المكونة لهذه الطبقات. هذا وتُنشأ الآبار بطرق كثيرة، منها المفتوحة يدويًّا (Hand dug Welles) للآبار السطحية، أو ميكانيكيًّا للآبار العميقة. وتنقسم الآبار من حيث تكوينها إلى ثلاثة أنواع:

آبار سطحية:

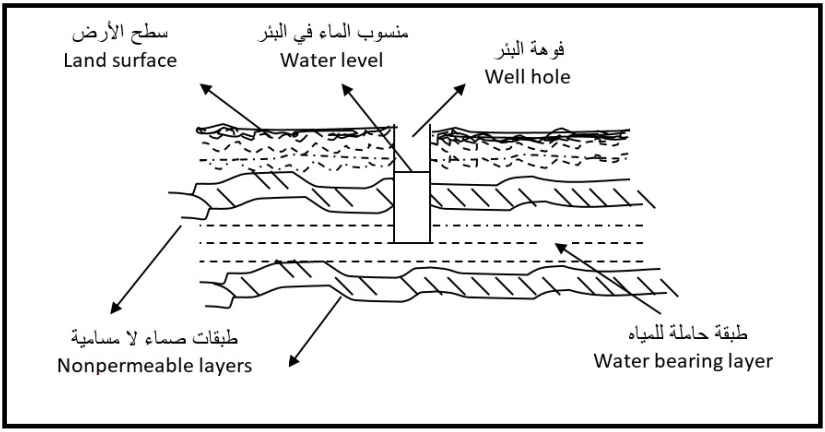
وهي الموجودة أعلى أول طبقة صماء، حيث يكون منسوب سطح المياه في البئر في حالة عدم التشغيل مساويًا لمنسوب سطح المياه الجوفية، ومساويًا للضغط الجوي. والشكل رقم (٣ـ١) يوضح مكونات هذا النوع من الآبار.



شكل رقم (٣ـ١) رسم تخطيطي لبئر سطحي

آبار عميقة:

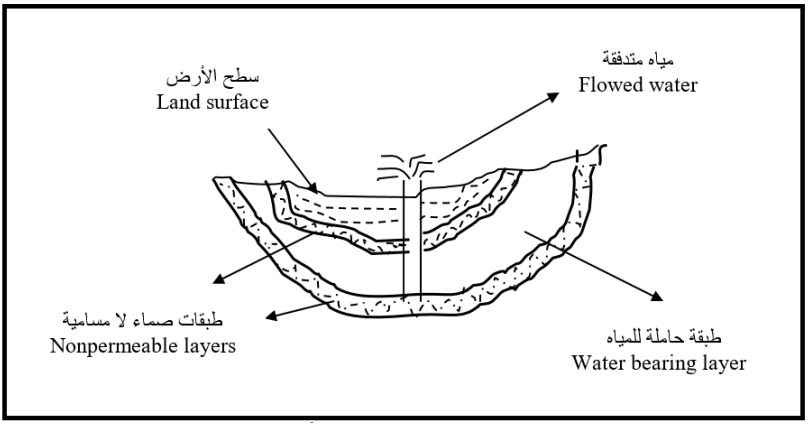
وهي التي تستمد مياهها من طبقة حاملة للمياه، محصورة بين طبقتين صَمَّاوَين. وليس لتسمية البئر علاقة ببعده عن سطح الأرض، ولكن أساس التسمية يعتمد على طبيعة الطبقة الحاملة للمياه من حيث وجودها محصورة بين طبقتين صَمَّاوَين في حالة البئر العميق، ووجودها أعلى أول طبقة صماء في حالة البئر السطحي. والشكل رقم (٣ـ٢) يوضح مكونات الآبار العميقة.



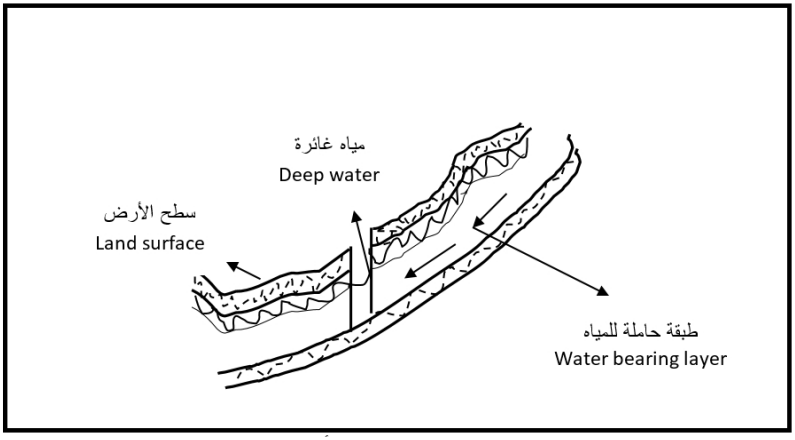
شكل رقم (٣ـ٢) رسم تخطيطي لبئر عميق

آبار أرتوازية:

وهي نوعان: آبار أرتوازية متدفقة، وأخرى غير متدفقة. وهذه الآبار تتكون نتيجة انحدار الطبقات الأرضية المحصورة (Confined aquifers) بينها المياه، فتصبح تحت ضغط. فإذا ما وجدت هذه المياه طريقها إلى سطح الأرض، سالت وتدفقت وخرجت مكونة الآبار الأرتوازية المتدفقة، أو ظهرت على هيئة عيون وينابيع. والشكلان (٣ـ٣) و (٣ـ٤) يوضحان مكونات الآبار الأرتوازية.

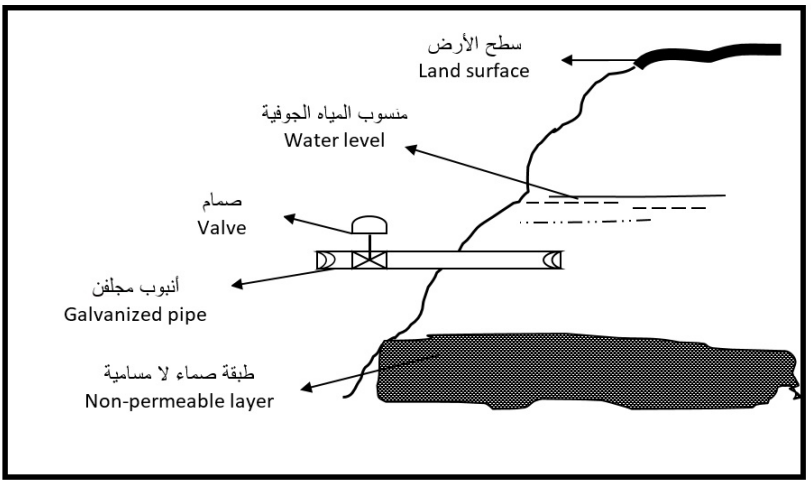


شكل رقم (٣ـ٣) رسم تخطيطي لبئر أرتوازي متدفق

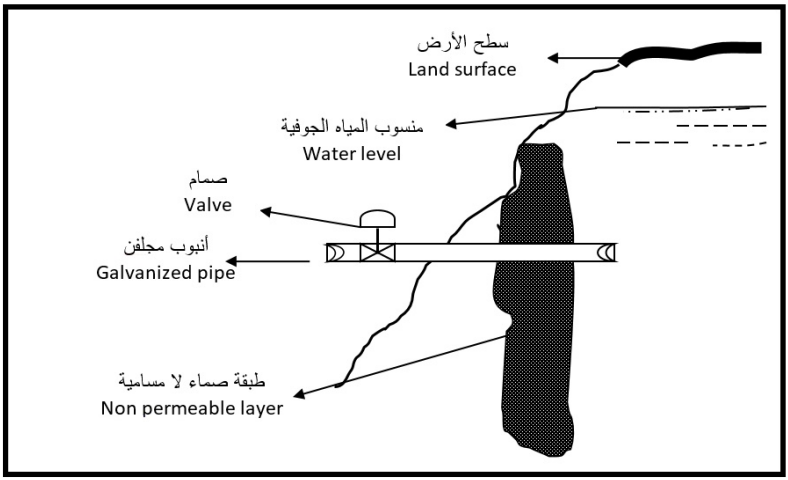


شكل رقم (٣ـ٤) رسم تخطيطي لبئر أرتوازي غير متدفق

كما يوجد أيضًا تصنيفات أخرى للآبار من ناحية كونها أفقية أو رأسية؛ فالآبار الرأسية هي التي يتم حفرها رأسيًّا في سطح الأرض، أما الأفقية فهي التي تُنشأ في جوانب الجبال والمرتفعات، وذلك للحصول على المياه المحصورة في طبقات رأسية صماء. والشكلان (٣ـ٥) و (٣ـ٦) يوضحان مكونات الآبار السابق ذكرها.



شكل (٣ـ٥) رسم تخطيطي لبعض الآبار الأفقية (Horizontal wells)



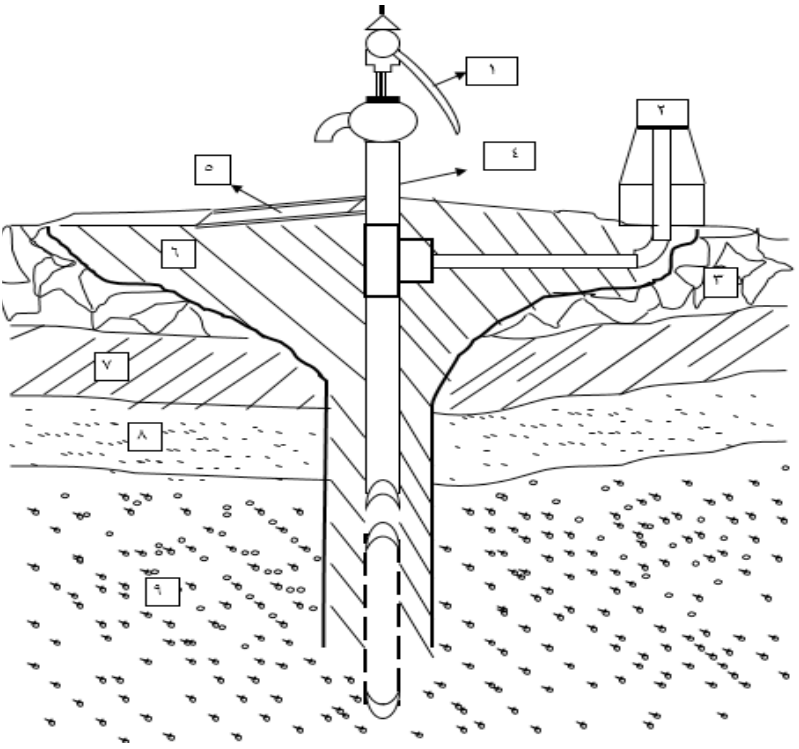
شكل (٣ـ٦) رسم تخطيطي لبعض الآبار الأفقية (Horizontal wells)

كيفية إنشاء الآبار:

يتم إنشاء الآبار بطريقة بسيطة تتلخص في الآتي:

- دق الماسورة الخارجية (الغلاف الخارجي) حتى تصل إلى منسوب قاع البئر المقترح.
- إنزال ماسورة البئر الداخلية بما فيها من مصافٍ داخل الماسورة الخارجية.
- يملأ الفراغ بين الماسورتين بالزلط وبالتدريج، في نفس الوقت الذي ترفع فيه الماسورة الخارجية. وتستمر طبقة الزلط إلى مسافة لا تقل عن ٣ أمتار فوق نهاية المصافي العلوية. ثم يعلو طبقة الزلط، طبقة رملية بارتفاع لا يقل عن ٣٠ سم لمنع سقوط الأتربة في فجوات الزلط.

- يترك جزء من الماسورة الخارجية أحيانًا – حوالي ٥٠ سم – فوق سطح طبقة الزلط، وحتى سطح الأرض، وتملأ المسافة بين الماسورة الخارجية وماسورة البئر في هذا الجزء العلوي بطبقة من الأسمنت مصنعة بنسبة طن من الأسمنت إلى ٥٠٠ لتر من المياه، ويضاف عليها بعض المواد الطينية لحماية البئر من التلوث، كما أنها تساعد على تثبيت ماسورة البئر الداخلية وتحمي ماسورة البئر من التآكل من الخارج. وتبين الأشكال (٣ـ٧) و (٣ـ٨) و (٣ـ٩) مكونات البئر الصحي وتركيب ماسورة البئر الداخلية وتفاصيل مصافي البئر.

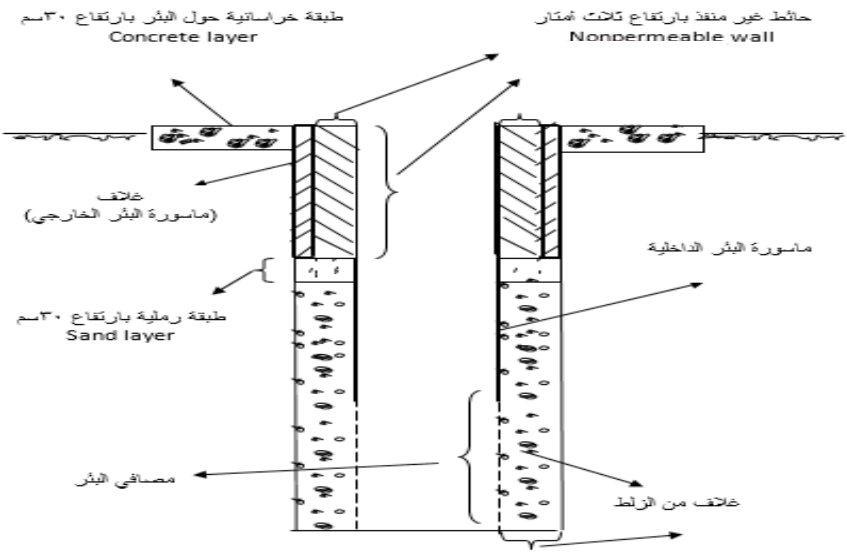


شكل (٣ـ٧) الرسم التخطيطي للبئر الصحي المحفور

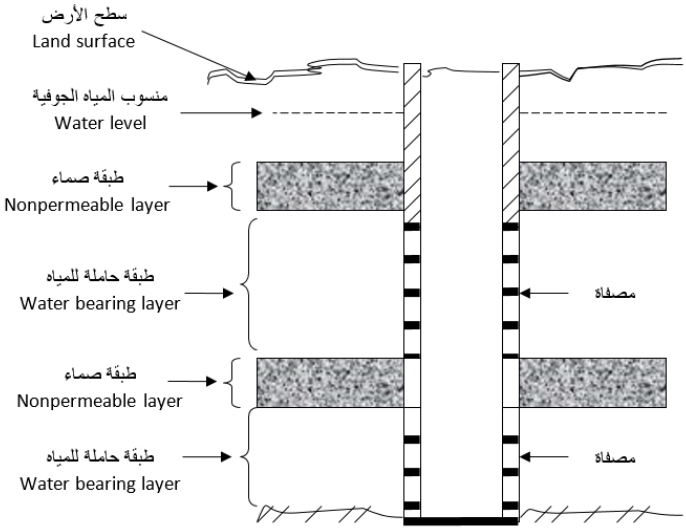
١ ـ مضخة يدوية. ٢ ـ مضخة ميكانيكية. ٣ـ طبقة صخرية (إعادة الردم).

٤ ـ أنبوب السحب. ٥ ـ مجرى للصرف. ٦ ـ طبقة خرسانة أسمنتية (بطانة البئر).

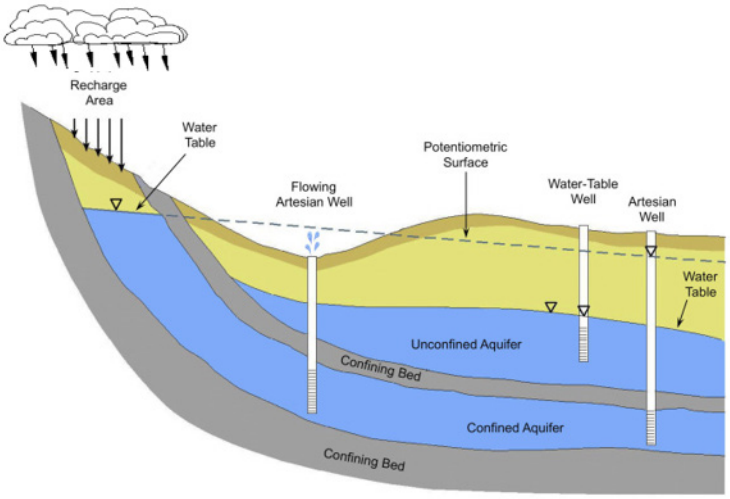
٧ـ طبقة طينية. ٨ـ طبقة رملية ناعمة. ٩ـ طبقة حصى.



شكل (٣ـ٨) تركيب ماسورة البئر الداخلية وتفاصيل مصافي البئر



شكل رقم (٣ـ٩) الرسم التخطيطي لقطاع في ماسورة بئر عميق



شكل (٣ـ١٠) رسم تخطيطي لآبار متدفقة وغير متدفقة والطبقات المحصورة

يُنشأ مع البئر خزانات علوية مختلفة الحجم، حسب معدل استهلاك المنطقة التي أُنشئ فيها البئر، وتكون هذه الخزانات مرتفعة عن سطح الأرض بحوالي ١٥ أو ٢٠ مترًا؛ حيث يساعد هذا الارتفاع على ضغط المياه في الشبكة المتصلة به لتغذية المنطقة. وفي الغالب يكون هذا الخزان على شكل مخروط أو قمع فتحته الضيقة إلى أسفل. ويجب أن يُجرى لهذا الخزان متابعة وصيانة عن طريق غسله بصفة دورية لضمان نقائه وخلوه من أي ملوثات، بالإضافة إلى ذلك يتم أخذ عينات بصفة دورية لعمل التحاليل الكيميائية والبكتريولوجية. وعند ظهور أي ملوثات – سواء كانت كيميائية أو بكتريولوجية – يتم إيقاف البئر وعزله فورًا، وتحديد مكان ومصدر التلوث للتعامل معه عن طرق غسل البئر والخزان معًا بمحلول هيبوكلوريت الكالسيوم، والعمل على عزل وتطهير مصدر التلوث للبئر.

متابعة تشغيل البئر وصيانته:

عند بداية التشغيل للبئر لا بد من رفع المياه منه عن طريق مضخات الرفع، بمعدل صغير وبطريقة الرفع المتقطع للمياه، ثم يزداد الرفع تدريجيًّا؛ وذلك لمنع التأثير على فتحات المصافي والتخلص من أي أتربة وقعت فيه أثناء الإنشاء. ويمكن ضخ مياه تحت ضغط، أو هواء مضغوط؛ للتخلص من أي مواد عالقة بالأسطح الداخلية

للبئر، لتساعد على حمل الأتربة مع الماء وطردها أثناء عملية الرفع في بداية التشغيل.

طرق تعقيم الآبار والخزانات الملحقة بها:

أولًا: تعقيم الآبار

يتم التعقيم في حالتين، هما:

- بعد الانتهاء من دق البئر وإنزال المواسير المجلفنة فيه، وذلك قبل تشغيله.
- عند حدوث تلوث للبئر.

طريقة تعقيم البئر:

يعقم البئر باستخدام مادة هيبوكلوريت الكلسيوم بتركيز ٢٥٪، حيث يمزج ١٠٠ جرام منه في ٢٠ لترًا من الماء لكل ٤٠٠ لتر من المياه داخل الماسورة. ويتم تحضير هذه المادة بأن تضاف كمية بسيطة من الماء إلى المسحوق، ويقلب بهدوء حتى نحصل على عجينة منه، ثم يضاف إليها كمية المياه ويقلب السائل بهدوء لمدة ١٠ – ١٥ دقيقة، ويترك ليرسب، ويؤخذ السائل الذي يحتوي على الكلور الفعال لاستعماله في التعقيم. ويجب الأخذ في الاعتبار أن تَعرُّض هذه المادة للهواء الجوي يؤدي إلى نقص كمية الكلور فيها؛ لذا يجب استعمالها بعد تحضيرها مباشرة. وحيث إن جرعات

الكلور الكبيرة تعتبر سامة؛ فهي تضاف لتعطي تركيزًا من الكلور في الماء يتراوح بين (٠/٣ – ٠/٥) ملجم/ لتر، يمكن رفعها إلى ٥ ملجم/لتر. ويتوقف تركيز جرعة الكلور على:

- مكونات المياه من حيث احتوائها على مواد مختزلة أم لا.
- كمية الملوثات من كائنات حية دقيقة.
- طريقة تخزين المياه.
- الأغراض التي تستعمل فيها المياه.
- بعد تحضير السائل المحتوي على الكلور، يتم إضافته إلى المياه الموجودة في الماسورة ويترك لمدة ٤٨ ساعة، وفي خلال هذه الفترة يتم إدارة مضخة البئر بحركة بسيطة يتلوها حركة عكسية دون إخراج الماء. وهذه العملية تتيح مزج المطهر بالماء، كما تتيح لهذه المياه تعقيم جدران الماسورة الداخلية أثناء صعودها عند إدارة المضخة أو نزولها عند إيقاف الإدارة بحركة عكسية. ويجب إجراء هذه العملية عدة مرات. وبعد مضي الـ ٤٨ ساعة المتقدمة، يتم إدارة المضخة إدارة تامة لتفريغ محتويات الماسورة حتى يزول كل أثر للكلور في الماء. ويتم أخذ عينات أثناء التطهير على فترات زمنية متساوية، ويجب أن تقل نسبة الكلور في المياه مع الوقت بحيث تتلاشى تمامًا في العينة الأخيرة، وتكون المياه خالية من الكلور وأي مواد ملوثة أو أحياء دقيقة.

ثانيًا: تعقيم خزانات وصهاريج المياه:

يتم تعقيم الخزانات وصهاريج المياه باستخدام محلول هيبوكلوريت الكالسيوم بتركيز ٢٥٪. يبدأ بتفريغ الخزان وإزالة ما به من رواسب أو طحالب على الجدران، وتتم هذه العملية يدويًّا. ثم يملأ مرة أخرى بالمياه ويُفرَّغ تمامًا لإزالة ما تبقى به من عوالق. تضاف مادة هيبوكلوريت الكالسيوم على مياه الخزان حتى يملأ مرة أخرى، وتترك لمدة ٢٤ ساعة يتم خلالها أخذ عينات لقياس نسبة الكلور في هذه المياه. بعد مضي ٢٤ ساعة على إضافة المادة، يتم فتح مصرف الخزان لتصريف مياه الغسيل؛ حيث تصرف هذه المياه إلى أماكن خاصة لمنع التلوث. بعد ذلك يملأ الخزان عدة مرات ويفرغ إلى أن يتم التخلص من أي كلور زائد، حيث يتم أخذ عينات بعد كل عملية شطف لقياس نسبة الكلور فيها، وعينات أخرى للتحليل البكتريولوجي، وإذا كانت لا يزال بها نسبة من التلوث تكرر عملية التعقيم مرة أخرى.

الخاتمة

الماء أساس الحياة مصداقًا لقول الحق – سبحانه وتعالى –: «وَجَعَلْنَا مِنَ الْمَاءِ كُلَّ شَيْءٍ حَيٍّ» [الآية ٣٠ من سورة الأنبياء]. لقد خلق الله – سبحانه وتعالى – الكون في أبدع وأجمل صورة، وجعله مسخرًا للإنسان لتحقيق طموحاته في حياة كريمة؛ فقد حباه الله هواءً نقيًّا يتنفسه يحتوي على عنصر الأكسجين الذي يدخل في العديد من العمليات الحيوية والبيولوجية الهامة داخل الجسم، وماءً عذبًا يشربه يقوم بإذابة المواد السامة التي تدخل الجسم، ويستخدمه في استخراج غذائه من الأرض: «وَأَسْقَيْنَاكُمْ مَاءً فُرَاتًا» [الآية ٢٧ من سورة المرسلات]، «وَأَنْزَلْنَا مِنَ الْمُعْصِرَاتِ مَاءً ثَجَّاجًا لِنُخْرِجَ بِهِ حَبًّا وَنَبَاتًا وَجَنَّاتٍ أَلْفَافًا» [الآيات ١٤: ١٦ من سورة النبأ]، إلا أن الماء العذب لا يمثل سوى ١٪ من كميات المياه في الكون. ونظرًا للزيادة المطردة في عدد السكان؛ فقد أصبح العالم يتوقع حدوث أزمات في توافر المياه العذبة مستقبلًا، بدأت إرهاصاتها في بعض الدول الأفريقية كما ذكرنا في مقدمة هذا الكتاب. وفي تصريح

لوزير الري والموارد المائية المصري نُشر بجريدة الأهرام يوم الإثنين الموافق ٨ أبريل ٢٠١٩، ورد أنه نظرًا للتغيرات المناخية وزيادة استهلاك المياه المصاحبة للزيادة السكانية؛ فقد تراجع نصيب الفرد من المياه من ٦٠٠ متر مكعب في العام في بداية القرن العشرين، حتى بلغ الآن نحو ٥٧٠ مترًا مكعبًا في العام، مع ثبات كمية المياه الواردة لمصر. ولعل القارئ الكريم – بعد استعراض موضوعات هذا الكتاب – يصل إلى قناعة بأنه لا مندوحة عن البحث عن بدائل متاحة للحصول على المياه العذبة، سواء تلك المستخدمة في الأغراض المنزلية أو الأنشطة الزراعية والصناعية. ويمكن لمجابهة مشكلة نقص المياه العذبة العمل في اتجاهين:

أولًا: ترشيد استخدام المياه: وهو اتجاه تحض عليه جميع الشرائع السماوية، إلا أن مجتمعنا يعاني من تصرفات غير مسئولة يقوم بها البعض، وذلك باستخدام كميات كبيرة من المياه العذبة النقية في رش الشوارع وغسل السيارات؛ لذا فإنه يجب التصدي بحزم لهذه التصرفات، ويقع ذلك على عاتق الأحياء، كما أن لوسائل الإعلام ومنظمات المجتمع المدني دورًا هامًّا في توعية المواطنين بأهمية المياه في حياتنا، وضرورة عدم إهدارها فيما لا يفيد، والحفاظ على تلك النعمة التي أسداها لنا المولى – عز وجل –.

ثانيًا: البحث عن بدائل أخرى متاحة للحصول على المياه العذبة: وقد تناولنا في هذا الكتاب تلك البدائل، والتقنيات المستخدمة للحصول على المياه العذبة. وتنحصر تلك البدائل في ثلاث:

- أولًا تحلية مياه البحر للاستخدام في الأغراض المنزلية والصناعية.
- ثانيًا: معالجة مياه الصرف الصحي لتصبح صالحة للاستخدام في الأغراض الزراعية.
- ثالثًا: استخراج المياه الجوفية وتنقيتها باستخدام التقنيات الحديثة في عمليات استخراجها وتنقيتها.

وأخيرًا، فإننا نأمل أن نكون قد قمنا، بفضل من الله وتوفيقه، بعرض موضوعات هذا الكتاب بصورة مبسطة تكون في متناول القراء الكرام.

المؤلفان

المراجع

- Jane Kucera ; “Desalination Water from Water”, Co-published by John Wiley & Sons, Inc. Hoboken, New Jersey, and Scrivener Publishing LLC, Salem, Massachusetts. Printed in United States of America, (2014).
- AWWA; “Water Quality and Treatment”. 4th ed.,Mc Graw-Hill Co., New York, (1990).
- Degremont; “Water treatment handbook”. 6th ed. Paris: Lavoisier; Memento technique de l’eau; Memento water technique (1991).

- Sincero, A.P., Sincero, G. A; Physicochemical treatment of water and wastewater. London: IWA Publishing, (2003).
- خالد مصطفى قاسم، «إدارة البيئة والتنمية المستدامة في ظل العولمة المعاصرة»، الدار الجامعية، مصر، 2007.
- زياد خليل الحجار، «الأمن المائي والأمن الغذائي العربي (المياه في الشرق الأوسط وشمال أفريقيا بدائل الحروب والتنمية)»، دار النهضة العربية، لبنان، الطبعة الأولى، 2009.
- سامر مخيمر، خالد حجازي، «أزمة المياه في المنطقة العربية (الحقائق والبدائل الممكنة)»، سلسلة كتب عالم المعرفة، الكويت، الطبعة الأولى، 1996.
- يسرا الشرقاوي، مقال بعنوان «إنجلترا تواجه الجفاف خلال 25 عامًا والعطش يهدد أفريقيا»، جريدة الأهرام، العدد الصادر يوم الأربعاء 20/3/2019.

السيرة الذاتية
للأستاذ الدكتور/
أحمد إسماعيل هاشم

الاسم: أ. د. أحمد إسماعيل هاشم

الوظيفة الحالية: أستاذ الكيمياء العضوية المتفرغ بكلية العلوم – جامعة عين شمس

التدرج العلمي:

- بكالوريوس الدرجة الخاصة في الكيمياء من كلية العلوم جامعة القاهرة بتقدير ممتاز دور يونيو ١٩٦٣.
- ماجستير في الكيمياء العضوية من كلية العلوم جامعة عين شمس في ديسمبر ١٩٦٦.
- دكتوراه الفلسفة في الكيمياء العضوية من كلية العلوم جامعة عين شمس في يوليو ١٩٧٠.

التدرج الوظيفي:

- معيد بكلية العلوم جامعة عين شمس من سبتمبر ١٩٦٣ إلى مارس ١٩٧١.
- مدرس بقسم الكيمياء كلية العلوم جامعة عين شمس من مارس ١٩٧١ إلى أبريل ١٩٧٦.
- أستاذ مساعد بكلية العلوم جامعة عين شمس من أبريل ١٩٧٦ إلى ديسمبر ١٩٨٢.
- أستاذ بكلية العلوم جامعة عين شمس من ديسمبر ١٩٨٢ إلى سبتمبر ٢٠٠٢.
- أستاذ متفرغ بكلية العلوم جامعة عين شمس من سبتمبر ٢٠٠٢ إلى الآن.

الخبرات التدريسية والعملية:

- تدريس مقررات الكيمياء العضوية بكلية العلوم جامعة عين شمس منذ ١٩٧١ وحتى الآن.
- الإشراف على قسم الكيمياء بكلية التربية جامعة بنها في الفترة من ١٩٨٩ إلى ١٩٩٤.
- أستاذ زائر بالجامعة التكنولوجية بالدنمارك في الفترة من مارس إلى يونيو ١٩٩٧.
- أستاذ زائر بجامعة بوتسدام بألمانيا شهري أكتوبر ونوفمبر ٢٠٠٠.

- عضو اللجنة العلمية لترقيات الأساتذة والأساتذة المساعدين بالمجلس الأعلى للجامعات لأربع دورات.
- شارك في العديد من الدورات التدريبية لأعضاء هيئة التدريس بوزارة التربية والتعليم ضمن برامج مركز تطوير العلوم بجامعة عين شمس.
- الإشراف على عدد ١١٥ رسالة علمية (٧٠ دكتوراه + ٤٥ ماجستير) في مجال الكيمياء العضوية وتطبيقاتها.

كتب أخرى للمؤلف:

- «الكيمياء العضوية في حياتنا»، إصدار الهيئة المصرية العامة للكتاب (٢٠١٧)، ضمن سلسلة الثقافة العلمية للشباب، رقم الإيداع بدار الكتب (٢٠١٧/٨١٤٧).
- «الكيمياء والبيئة»، دار الإبداع للنشر والتوزيع – المعادي – القاهرة، رقم الإيداع بدار الكتب (٢٠١٨/٢٢٣٢)
- «الكيمياء ومتطلبات الحياة «دار فرست للنشر والتوزيع الهرم- الجيزة رقم الإيداع بدار الكتب (٧٦٧٣/٢٠١٩).

السيرة الذاتية
للدكتور/
أشرف إبراهيم شحاتة حافظ

الاسم: د. أشرف إبراهيم شحاتة حافظ

الوظيفة الحالية: دكتور كيميائي بالشركة القابضة لكهرباء مصر.

التدرج العلمي:

- بكالوريوس علوم (كيمياء) جامعة عين شمس عام ١٩٨٧م.
- ماجستير في العلوم (كيمياء) جامعة حلوان ١٩٩٤م.
- دكتوراه في العلوم (كيمياء عضوية) جامعة حلوان عام ١٩٩٨.

الخبرات العملية:

- خبرة لمدة ٣٠ عامًا في مجال معالجة المياه والوقود والزيوت والطرق الخاصة بتحاليل مياه الشرب والمياه الصناعية ومياه الصرف الصناعي والصحي بمعامل وزارة الكهرباء.
- خبرة في مجال القياسات الطبيعية ودراسة خواص مواد التبادل الأيوني (مواد نزع الأملاح) ومعالجة وتحاليل الوقود والزيوت بمعامل وزارة الكهرباء بجمهورية مصر العربية.
- الإشراف على عدد ٢٠ رسالة ماجستير ودكتوراه بجامعات: القاهرة ـ عين شمس ـ المنصورة ـ حلوان ـ المنوفية ـ بنها ـ معهد البيئة جامعة عين شمس.
- الأبحاث العلمية: ٢٠ بحثًا منشورًا في مجلات عالمية وعربية.
- براءة اختراع مسجلة برقم ٢٢٧٣٤ لسنة ٢٠٠٠ بأكاديمية البحث العلمي بجمهورية مصر العربية.
- التدريس والإشراف العام بأحد معاهد التدريب الصحي التابعة للمؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني بالمملكة العربية السعودية.

Contents

المقدمة	٣
أولًا: ترشيد استخدام المياه:	٥
ثانيًا: البحث عن بدائل أخرى للحصول على المياه:	٦
الباب الأول تحلية مياه البحر	٧
أولًا: التحلية بالتقطير:	١١
ثانيًا: التحلية باستخدام الأغشية:	١١
ثالثًا: طرق التبلور التجمدي:	١٢
أولًا: التحلية بالتقطير:	١٣
ثانيًا: التحلية باستخدام الأغشية:	١٧
مكونات محطات التحلية باستخدام الفرز الغشائي الكهربي:	٣٧

الباب الثاني معالجة مياه الصرف الصحي	٣٩
معالجة مياه الصرف الصحي	٤١
مكونات مياه المجاري:	٤٢
المواد العضوية:	٤٣
المواد غير العضوية:	٤٣
العناصر الهامة في مياه المجاري:	٤٤
من الطرق الشائعة للمعالجة البيولوجية:	٤٤
نظرية المعالجة البيولوجية:	٤٤
مراحل عملية التنقية:	٤٥
الطرق المستخدمة في تقدير كفاءة وحدة المعالجة:	٥١
الجهات المسئولة عن تنفيذ قانون البيئة.....	٥٣

الباب الثالث استخراج وتنقية المياه الجوفية	٥٧
كيفية استخراج وتنقية المياه الجوفية:	٥٩
اختيار موقع البئر:	٥٩
إنشاء وتشغيل البئر:	٦٠
مشروع إنشاء الآبار واستخراج المياه الجوفية:	٦٢
آبار سطحية:	٦٣
آبار عميقة:	٦٤

آبار أرتوازية:	٦٥
كيفية إنشاء الآبار:	٦٨
متابعة تشغيل البئر وصيانته:	٧٣
طرق تعقيم الآبار والخزانات الملحقة بها:	٧٤
الخاتمة	٧٧
المراجع	٨١

كاريزما
للنشر والتوزيع