الفصل الثالث
التقنيات المستخدمة في تنقية مياه الشرب ومعالجة الصرف الصحي

(١) محطات التغذية :

تتمثل أساليب وبدائل الإمداد بمياه الشرب النقية فيما يلي :

- التغذية بمحطات المياه الإقليمية .
- التغذية بمحطات المياه المدمجة .
- التغذية بالآبار الجوفية .
- تحلية مياه البحار .

١- المحطات الإقليمية:

تمثل محطات التغذية الإقليمية أكثر الأنظمة شيوعاً لسد حاجة الغالبية العظمى من التجمعات السكانية في الوادي والدلتا ، وتنشأ المحطات الإقليمية لخدمة المدن والتجمعات الكبيرة مثل القاهرة والإسكندرية وعواصم المحافظات ، ويؤخذ في الاعتبار عند إنشاء تلك المحطات : امتداد وانتشار خدمتها إلى التجمعات السكانية الأخرى التي تقع في نطاق هذه المدن ، ويتم الاعتماد في هذا النظام على الخطوط الرئيسية الحاملة للمياه ومحطات الرفع ذات القدرات العالية . وتحتاج هذه المحطات إلى مساحة كبيرة من الأرض لإنشائها ، كما تحتاج إلى محطات رفع رئيسية ذات قدرات عالية ، وكذلك محطات مرحلية على الخطوط الحاملة .

obeikandl.com

وتبلغ تكاليف التشغيل والصيانة للمتر المكعب من هذه المحطات في حدود ٠,٤١ جنيه على أساس عمر افتراضي للمحطات حوالي ٣٠ سنة ، بالإضافة إلى حوالي ٠,١٩ جنيه للمتر المكعب كمصاريف نقل المياه بواسطة خطوط المواسير ، أي أن مجموع تكلفة المتر المكعب من المياه النقية ٠,٦٠ جنيه.

٢- المحطات المدمجة:

تقوم المحطات المدمجة بسد حاجة السكان في المدن الصغيرة والتجمعات السكنية المنعزلة الواقعة على مسافات بعيدة نسبياً عن المحطات الإقليمية ، ويستخدم نظام المحطات المدمجة لتنقية مياه الشرب بتصرفات محدودة تكفي لمتطلبات التجمعات الصغيرة كغالبية القرى المصرية . وتعتمد المحطات المدمجة في أسلوب عملها على استخدام التقنيات العالية لكافة مراحل التنقية لمياه الشرب في أعمال الترسيب حيث يتم استخدام ألواح الترسيب ، وكذلك في أعمال الترشيح حيث تستخدم مرشحات الضغط . ويؤدي استخدام تلك التقنيات العالية إلى تقليل مساحات الأراضي المستخدمة لإنشاء هذه المحطات ، وسهولة نقل المحطات من مراكز تصنيعها . وتتسم المحطات المدمجة بارتفاع تكاليف التشغيل والصيانة نظراً لتعدد مراحل التشغيل الميكانيكي (جميع المراحل تقريباً) والحاجة الكبيرة للمعدات الميكانيكية خاصة الطلمبات . كذلك فإن هناك صعوبات تنشأ بشكل دائم من عدم تواجد قطع الغيار الاحتياطي اللازمة لتشغيل المحطات ، الأمر الذي يؤدي بدوره في كثير من الأحيان إلى توقف هذه المحطات لفترات ليست قصيرة. وبدراسة تكاليف التشغيل والصيانة للمتر المكعب لتلك المحطات فقد وجد أنها تزيد على ٠,٤٥ جنيه .

٣- مياه الآبار:

يمثل الاعتماد على المياه الجوفية أحد البدائل المستخدمة على نطاق واسع في مناطق متعددة، حيث يلجأ لاستخدام ذلك النظام في المناطق التي تقل

فيها المياه السطحية أو التي قد تتواجد فيها هذه المياه بخصائص ضعيفة وغير مقبولة . كذلك يتم اللجوء لذلك المصدر نظراً لانخفاض تكلفته في حالة تواجد المياه الجوفية بكميات كبيرة متجددة ، وبخصائص مياه عالية الجودة . وتتمثل التكلفة في هذه الحالة في أعمال حفر الآبار وإنشائها ، وكذلك في أعمال ضخ المياه إلى شبكات المياه العمومية . وفي كثير من الأحيان تزيد معدلات السحب من الآبار بدرجة يصعب معها تعويض تلك المياه بمياه ذات خصائص مناسبة ، الأمر الذي يؤدي بدوره لتدهور خصائص المياه الناتجة . وقد تتأثر الخزانات الجوفية بالمياه المتسربة إلى باطن الأرض من الصرف الصحي الآدمي والصرف الزراعي وخلافه، وبالتالي تتطلب المياه الجوفية الناتجة من الآبار عمليات تقنية ومعالجة خاصة . لذا فإنه يجب السحب من الآبار الجوفية بكميات تتناسب مع معدلات التعويض ، كما يجب التأكد بصفة مستمرة من خصائص المياه بهذه الآبار وتحديد مدى تأثرها بالملوثات المتسربة إليها.

والكمية المستغلة من مياه هذه الخزانات تبلغ حالياً حوالي ٤ مليارات متر مكعب ، ويمكن زيادتها إلى ٧ مليارات متر مكعب ، ويستغل معظمها لأغراض الري . وفي حالة الاعتماد على المياه الجوفية كمصدر لمياه الشرب يلزم عمل الدراسات اللازمة من اختيار الموقع الذي تتوافر فيه مياه صالحة للشرب وضمان استمرارية الإنتاج بالكمية والنوعية المطلوبة .

وعدد محطات الآبار المستخدمة لأغراض الشرب تبلغ الآن ٢٣٩٨ محطة، منها ٧٤٥ في الحضر و ١٦٥٣ في الريف ، وإنتاج مياه الشرب من الآبار يمثل حوالي ٧%من الناتج الكلي لمياه الشرب على المستوى القومي .[١]

[١] تقرير المجالس القومية المتخصصة – تحقيق التغطية القومية لخدمات مياه الشرب والصرف الصحي حتى عام ٢٠١٧.

٤- تحلية مياه البحر:

تعتمد معظم المدن الساحلية البعيدة عن مصادر المياه العذبة والتجمعات السياحية الصغيرة بهذه المناطق على تحلية مياه البحار والمحيطات والبحيرات المالحة بغرض الاستفادة منها في تغذية هذه المناطق باحتياجاتها من المياه العذبة . ولما كان إنشاء وتشغيل وصيانة محطات التحلية المختلفة مرتفعة مقارنة بطرق تنقية المياه السطحية ، لذا فإنه يلزم عمل دراسة مقارنة فنية واقتصادية بين دق الآبار بجوار السواحل لسحب المياه الجوفية منها ومعالجتها ، أو سحب المياه مباشرة من البحر وتحليتها، وبين نقل المياه السطحية المعالجة إلى هذه التجمعات البعيدة .

(٢) التقنيات المستخدمة فى تنقية مياه الشرب :

١ – تنقية مياه الأنهار:

تمر عملية تنقية مياه الشرب بعدة مراحل طبقاً لخصائص المياه الخام التي سوف تتم تنقيتها، ففي حالة معالجة المياه السطحية مثل نهر النيل وفروعه نجد أن المياه الخام بصفة عامة بها مواد عالقة ودرجة عكارة متفاوتة ، كما تتواجد بها الطحالب . لذا فإنه تلزم إزالة المواد العالقة الناتجة من الطمي والطين بالترسيب والترشيح ، كما يلزم إضافة كيماويات لتحسين خواص الترسيب وإضافة الكلور للتحكم في الطحالب وتعقيم المياه المرشحة .

ويمكن إيجاز المراحل التي تمر بها عمليات التنقية فيما يلي :

- عملية تكون الندف (ترويب) .
- عملية الترسيب (الترويق) .
- الترشيح .
- التعقيم والتخزين الأرضي .

obeikandl.com

- تطهير المياه .

والهدف من أعمال التنقية هو ضمان توفير مياه ذات جودة عالية ومطابقة لمواصفات مياه الشرب .

أ – عملية تكوين الندف (الترويب) :

الترويب هو عملية إزالة المواد العالقة والتي يصعب إزالتها بالترسيب أو الطفو . والمروبات الأكثر استخداماً هي كبريتات الألومنيوم (الشبة) ، كبريتات الحديديك، كبريتات الحديدوز. وفي تلك العملية يتم تحويل المواد الصلبة العالقة الدقيقة والموجودة في المياه الخام والتي يصعب ترسيبها إلى مواد قابلة للترسيب ، وذلك عن طريق تجميعها في صورة حبيبات كبيرة والتي تعرف بالندف ، وذلك عن طريق ما يلي :

- الخلط السريع .
- الخلط البطيء .

*** الخلط السريع :**

وتتنوع الطرق التي تستخدم لإتمام عملية الخلط السريع ، حيث يمكن أن تتم بإحدى الطرق التالية :

- استخدام الخلاطات الميكانيكية .
- عملية الخلط السريع خلال المسار .
- عملية الخلط السريع بواسطة طلمبة .
- الخلط الهيدروليكي .

*** الخلط البطيء :**

وهي المرحلة الثانية من مراحل عملية الترويب . ففي خلال مرحلة الخلط السريع يتم مزج المياه بالمروب مثل الشبة ، في حين يتم خلال عملية الخلط البطيء ما يلي :

- حدوث التصادم بين جزئيات المروب الملتصقة بالمواد العالقة المطلوب ترسبها .
- تنمية عملية التصادم بين الجزيئات عبر مراحل مختلفة من التصادم يتزايد خلالها حجم الكتلة المتصادمة .

وذلك لتسهيل عملية الترسيب في المرحلة التالية لعملية الترويب .

ب- عملية الترسيب (الترويق) :

يتم خلال عملية الترسيب ما يلي :

- خفض درجة العكارة الموجودة في المياه الخام .
- التخلص من الندف التي يتم تكوينها خلال مرحلة الترويب السابق ذكرها .

ولإتمام عملية الترسيب تستخدم تقنيات عديدة لذلك الغرض ، وتختلف هذه التقنيات اختلافاً جوهرياً سواء من حيث طريقة عملها أو كفاءتها ، ويمكن تلخيص تلك التقنيات والتكنولوجيات فيما يلي :

- الترسيب ذو معدل عادي باستخدام أحواض الترسيب التقليدية .

الترسيب ذو معدل عال تقنياً ويشتمل على الترسيب باستخدام الألواح أو الترسيب باستخدام الأنابيب ، إذ أنه نظراً للمساحة الكبيرة التي تشغلها أحواض الترسيب التقليدية فقد استحدثت ألواح أو أنابيب الترسيب لإتمام عملية الترسيب أو الترويق التي تشغل مساحة أقل .

ج – الترشيح :

يتم في مرحلة الترشيح إزالة الجسيمات العالقة بالمياه بعد مرورها بمرحلتي الترويب والترويق السابق ذكرهما .

ويتم الترشيح في مرشحات تعمل إما بالضغط أو بالجاذبية . والمرشح الرملي يحتوي على طبقات من الزلط ، تعلوها طبقة من الرمل بمواصفات

خاصة وسمك مناسب لكل طبقة. والمرشحات تزيل الجسيمات العالقة من المواد غير العضوية أو المركبات العضوية المعدنية والطحالب والفطريات .

وتوجد أربعة أنواع تقليدية من الوسط الترشيحي المستخدم في محطات معالجة المياه ، وهي: الرمل ، فحم الانثراثيت ، الكالسيت (كربونات الكالسيوم)، العقيق الأحمر . والأكثر شيوعاً في الاستخدام هو الرمل ، والحجم المؤثر يتراوح ما بين ٠,٤٥ إلى ٠,٦ مم .

وتشكل عملية الترشيح في منظومات تنقية مياه الشرب أكثر المراحل أهمية وحيوية، حيث يطلق عليها ما يسمى (Polishing) أو تلميع المياه. والمقصود هنا جعل المياه على أقصى درجة ممكنة من النقاء ، والتي تتمثل في إزالة المواد الصلبة والعوالق حتى تصبح المياه بعد ذلك صالحة للشرب متى تم تطهيرها للتخلص من البكتريا والميكروبات الضارة .

د – التخزين الأرضي :

يتم استقبال المياه الخارجة من المرشحات إلى الخزانات الأرضية ، وتتمثل الوظيفة الرئيسية للخزانات فيما يلي :

- الموازنة بين تصرف محطة التنقية وتصرف المدينة ، أي تصرف طلمبات الضغط العالي .
- ضمان إمداد المدينة بالمياه في حالة حدوث أي عطل في محطة التنقية ، وذلك لمدة تتراوح ما بين ٦ إلى ٨ ساعات .
- يعطى الوقت المطلوب لحدوث الخلط بين الكلور والمياه .
- توفير كمية من المياه لسد احتياجات مقاومة الحريق .

هـ – تطهير المياه :

تطهير الماء هو إبادة جميع ما قد تحويه من بكتيريا مسببة للمرض . وتتم عملية التطهير بإحدى الطرق الآتية :

- التطهير بالكلور في صوره المختلفة وهي الغاز المسال المعبأ في اسطوانات، مسحوق هيبوكلوريت الكالسيوم ، محلول هيبو كلوريت الصوديوم ، مركبات الكلور من الكلورامين و ثاني أكسيد الكلور.
- التطهير بالأوزون .
- تعريض الماء للأشعة فوق البنفسجية .
- التسخين .
- التطهير بالجير .
- التطهير بالبروم واليود .
- تعريض الماء لأشعة الموجات فوق الصوتية .

وأكثر الطرق استعمالاً في عمليات المياه الكبرى هي إضافة الكلور – بينما يستعمل الأوزون أحياناً في عمليات تطهير مياه حمامات السباحة ، أما الطرق الأخرى فنادراً ما تستعمل إلا في العمليات الخاصة الصغيرة أو للأغراض الخاصة .

ويتميز التطهير بالكلور بسهولة استعماله ، وكذلك سهولة التحكم على مدى فاعليته. وتتم عملية التطهير بالكلور بإضافة جرعة من غاز الكلور إلى الماء. وتتراوح جرعة الكلور المستعملة في الأحوال العادية ما بين نصف جزء إلى جزء في المليون ، أما في حالات الطوارئ كانتشار الأمراض المعدية التي تنتقل عن طريق الماء ، فقد تزاد هذه الجرعة إلى جزء ين في المليون .

٢- التقنيات المستخدمة في الريف (محطات المياه المدمجة):

تحتوي المحطات المدمجة على معظم – إن لم يكن كافة – عمليات التنقية التي توجد بالمحطات الكبيرة ولكن على حجم صغير (مدمج) ، كما تعتمد

obeikandl.com

هذه المحطات على التكنولوجيات الحديثة في التشغيل ، وبالتالي تحتاج إلى عمالة ماهرة ذات كفاءة وخبرة في مجال التشغيل وضبط الجودة والصيانة. وتتكون منظومة تنقية مياه الشرب المدمجة من الأجزاء الرئيسية التالية :

أ - خزان المأخذ والترسيب الابتدائي :

ويشتمل ذلك الجزء على طلمبات المأخذ ومنطقة الترسيب الابتدائي التي يتم بها الترسيب باستخدام ألواح ترسيب (Lamella) ، كما يحتوي على طلمبات ضغط منخفض تقوم بنقل المياه إلى حاوية الترويب .

ب- حاوية الترويب :

وتحتوي هذه الحاوية ضمن مكوناتها الرئيسية على حجرة التشغيل الرئيسية التي تضم لوحة التوزيع ونافخ الهواء ، إضافة إلى منطقة الترويب التي تضم مهمات تحضير محلول الشبة والبولي الكتروليت ثم منطقة الخلط السريع. وبعد عملية حقن المروبات والتقليب السريع تنتقل المياه للجزء الأخير من هذه الحاوية، وهو منطقة تكوين الندف حيث يتم الانتهاء من عملية الترويب .

ج- حاوية الترسيب النهائي :

وتحتوي هذه الحاوية على ألواح الترسيب التي تستخدم لإتمام مرحلة الترسيب النهائي وذلك باستخدام نظام ألواح الترسيب، حيث يتم تجميع المياه بعد عملية الترويق لتمر بمرحلة الترشيح عبر مجموعة مرشحات الضغط .

د- مرشحات الضغط :

تحتوي المنظومة على ثلاثة مرشحات ضغط تدخل إليها المياه بعد ترويقها عبر مرحلة الترسيب النهائي ، وذلك بواسطة طلمبات ضغط من خلال شبكة

obeikandl.com

مواسير توزيع ، ويتم بعد ذلك تجميع المياه المرشحة عن طريق نظام تجميع في كل مرشح، حيث تدخل المياه بعد ذلك إلى خزان تجميع المياه النقية .

هـ – خزان المياه النقية :

ويستخدم لتجميع المياه بعد إتمام مراحل التنقية المختلفة وإضافة الكلور النهائي للتعقيم .

و– خزان التعادل :

يتصل ذلك الخزان بمجموعتين من الطلمبات تتصلان مباشرة بخـــزان المياه النقية ، حيث تقوم هذه الطلمبات بضخ المياه النقية إلى شبكة التغذية .

ز– حقن الكلور :

يتم حقن الكلور على مرحلتين كما يلي :

- كلور ابتدائي قبل مرحلة تكوين الندف .
- كلور نهائي بعد مرحلة الترشيح .

٣– تنقية مياه الآبار الجوفية:

تتم تنقية المياه الجوفية إذا كانت بها مكونـــات تحـــول دون اســـتخدامها مباشرة، وفي هذه الحالة يعتمد أسلوب المعالجة علـــى نوعيـــة وكميـــات الأملاح الموجودة بها – وذلك حسب ما يلي :

- العسر الناتج من الكربونات أو البيكربونات يسمى عسراً مؤقتاً ويمكن إزالته بالتسخين.
- العسر الناتج من الكبريتات يسمى عسراً دائماً .

وتهدف المعالجة إلى تحويل جميع الأملاح كيميائياً إلى كربونات الكالسيوم المحدودة الذوبان في الماء ، وبالتالي يمكن ترسيبها وترشيحها للتخلص منهـــا . وتتم عملية الترسيب بإحدى الطرق الآتية :

- باستخدام الجير فقط في حالة تواجد أملاح البيكربونات .
- باستخدام كربونات الصوديوم في حالة تواجد أملاح كبريتات الكالسيوم .

٤- تقنيات منخفضة التكاليف:

وتتمثل هذه التكنولوجيات في استخدام طرق جديدة في الترويب والترسيب والترشيح ، وتهدف إلى رفع كفاءة وزيادة إنتاجية محطات التنقية ، مـــع خفض تكلفة الإنشاء والتشغيل . ويجري حالياً التوسع في اســـتخدام هـــذه التقنيات وعلى الأخص في القرى والتجمعات الصغيرة .

وأهم تلك التكنولوجيات هي :

- استخدام الترويب بالتلامس والترسيب ذي المعدل العالي.
- استخدام الترشيح المباشر ذي المرحلة الواحدة أو المرحلتين ، سواء بالمعدل الثابت أو المتناقص .
- استخدام الترشيح البطيء .

٥- تكلفة إنتاج مياه الشرب:

من واقع دراسة المشروعات التي نفذت ، تـــم تقـــدير متوســـط التكلفـــة الاستثمارية لإنتاج المتر المكعب من مياه الشرب في عام ١٩٩٧ كالآتي :

- المياه المنتجة من المحطات التقليدية ١١٠٠ جنيه للمتر المكعب
- المياه المنتجة من المحطات غير التقليدية ٨٠٠ جنيه للمتر المكعب
- المياه المنتجة من المحطات المدمجة ١٥٠٠ جنيه للمتر المكعب
- المياه المنتجة من محطات الآبار ٦٥٠ جنيه للمتر المكعب

obeikandl.com

– المياه المنتجة من محطات تحلية مياه البحار ٥٠٠٠ جنيه للمتر المكعب

من ذلك يتضح أن تكلفة المياه المنتجة من محطات تحلية المياه أعلى كثيراً من المياه المنتجه الوسائل الأخرى ، وأن تكلفة المياه من المحطات المدمجة أكبر من تكلفة المياه المنتجة من المحطات التقليدية ، وأنه مع استخدام تقنيات منخفضة التكاليف يمكن خفض تكلفة الإنتاج من ١١٠٠ جنيه للمتر المكعب إلى ٨٠٠ جنيه . أما أقل الوسائل تكلفة فهي المياه المنتجة من الآبار. لذلك فإن التوصيات في هذا الشأن تتركز حول التوسع في استغلال المياه الجوفية بقدر الإمكان ، وتطوير نظم المحطات بهدف خفض التكلفة .

(٣) **تقنيات معالجة مياه الصرف الصحي** :

إن الهدف الرئيسي من عملية معالجة مياه الصرف الصحي هو التخلص من مسببات تلوث تلك المياه سواء كانت مواد عضوية أو غيرها ، عالقة كانت أم ذائبة ، ويتم ذلك عن طريق حجزها وإزالتها أو تحليلها إلى مواد وغازات غير ضارة إضافة إلى التخلص من الكائنات الحية الضارة والمسببة للأمراض . وتتم إزالة الملوثات الموجودة في مياه الصرف الصحي من خلال عمليات فيزيائية وكيميائية وبيولوجية ، وتقوم العمليات الفيزيائية بإزالة معظم المواد العالقة ، أما العمليات الكيميائية فيتم تحويل جزء من المواد الذائبة من جراء التفاعلات الكيميائية إلى مواد عالقة يمكن ترسيبها وإزالتها ، ويتركز استخدام العمليات الحيوية (البيولوجية) في إزالة المواد العضوية القابلة للتحلل سواء العالقة أو الذائبة .

وتشمل مراحل المعالجة مرحلتين أساسيتين هما المعالجة الابتدائية ثم المعالجة الثانوية . وفيما يلي بيان لكل منهما :

١ – المعالجة الابتدائية:

تهدف المعالجة الابتدائية إلى إزالة المواد الصلبة العالقة ، سواء أكانت عضوية أو غير عضوية ، وهي تشمل الآتي :

- المصافي .
- أحواض حجز الرمال .
- الترسيب الابتدائي .

أ – المصافي :

هي عبارة عن قضبان من الحديد المتوازية والمتباعدة عن بعضها بمسافات متساوية، تتراوح ما بين ٢–٥ سم . وتوضع المصافي في مواجهة انسياب مياه المجاري في قناة مكشوفة. والغرض من المصافي هو تخليص مياه المجاري من المواد الصلبة الطافية والعالقة ، وأهم ما يراعى عند تصميم المصافي ما يلي :

- يجب ألا تقل سرعة المياه أمام المصافي عن ٠,٦ متر/ثانية وذلك لمنع حدوث الترسيب أمامها.
- زاوية ميل القضبان مع المستوى الأفقي من٤٥–٦٠ درجة.

وتنظف هذه المصافي إما يدوياً أو آلياً بواسطة أمشاط متحركة، ويتم التخلص من الفضلات التي حجزتها المصافي بدفنها في الأرض أو بحرقها بعد التجفيف.

ب – أحواض حجز الرمال :

وهي عبارة عن أحواض ترسيب خاصة ، الغرض منها ترسيب الرمال والمواد غير العضوية العالقة التي يبلغ حجم حبيباتها ٠,٢ مم أو أكبر . وتتكون تلك الأحواض من قنوات متسعة نسبياً تمر فيها المخلفات السائلة ، مع التحكم

الكافي لحفظ سرعتها عند السرعة التي تسمح بترسيب المواد غير العضوية ، ولقد وجد أن هذه السرعة تتراوح ما بين ٢٥-٣٥ سم/ثانية .

وبالرغم من انتظام وثبوت السرعة خلال الحوض ، إلا أن هناك كمية من المواد العضوية تلتصق بسطح الرمال، وعلى ذلك وجد أن الرواسب المجمعة من هذا الحوض قد تحتوي على مواد عضوية بنسبة ١٥ % منها .

ج – الترسيب الابتدائي :

بعد خروج المياه من أحواض حجز الرمال توزع على أحواض الترسيب . وهذه الأحواض إما أن تكون دائرية أو مستطيلة ، وغالباً ما يفضل الحوض المستطيل الشكل لسهولة جمع المواد الطافية من على سطحه . وفي أحواض الترسيب تتم إزالة حوالي ٤٠ % من المواد العضوية ، وتصل نسبة إزالة المواد العالقة إلى حوالي ٦٠ % .

٢ – المعالجة الثانوية:

بعد المرحلة الأولى – وهي المعالجة الابتدائية – تمر مياه الصرف الصحي بالمرحلة التالية والتي يطلق عليها المعالجة الثانوية أو المعالجة البيولوجية . والهدف من هذه المعالجة هو إزالة المواد العضوية من مياه الصرف ، ويتم ذلك باستخدام كائنات دقيقة مختلفة – أهمها البكتريا – في التخلص من المواد العضوية . ففي وجود الأكسجين الذائب في أحواض المعالجة تتغذى البكتريا على المواد العضوية العالقة أو الذائبة ، وتتحول بذلك إلى غازات مختلفة وبقايا يمكن إزالتها بالترسيب ، وأحياناً تسمى هذه العملية "أكسدة المواد العضوية". ومن أجل الحصول على معالجة بيولوجية سليمة ، فإنه يلزم توفير البيئة المناسبة لنمو وتكاثر هذه البكتريا في

أحواض المعالجة ، وتسمى البكتريا التي تتكاثر في وجود الأكسجين (البكتريا الهوائية) ، ولكن في حالة عدم وجود الهواء يمكن لأنواع أخرى من البكتريا أن تؤكسد جانباً كبيراً من المواد العضوية الذائبة في مياه المجاري وتسمى (البكتريا اللاهوائية).

ويمكن تقسيم طرق المعالجة الثانوية إلى طريقتين رئيسيتين وهما :

- المعالجة التي تعتمد على التهوية الميكانيكية وتستخدم فيها البكتريا الهوائية .
- المعالجة التي تعتمد على العوامل الطبيعية (بحيرات الأكسدة) ويستخدم فيها كل من البكتريا الهوائية والبكتريا اللاهوائية .

أ – المعالجة التي تعتمد على التهوية الميكانيكية :

تنقسم هذه المعالجة بدورها إلى طريقتين وهما :

- المعالجة بواسطة التكاثر الملتصق .
- أو المعالجة بواسطة التكاثر المعلق .

وتلي هذه المعالجة أحواض الترسيب النهائي .

وفيما يلي شرح موجز لكل من طريقتي المعالجة وأحواض الترسيب :

• التكاثر الملتصق (المرشحات الزلطية) :

المرشحات الزلطية عبارة عن خزانات دائرية بأقطار تتراوح ما بين ٠,٩ و٢,٥ متر، وبعمق حوالي ١,٥ متر. وتحتوي على كسر الحجر أو الزلط بحجم من ٢٦ إلى ١٠٠ مم. وترش مياه الصرف الصحي على الزلط بواسطة أذرع دوارة أعلى المرشح ، وأثناء مرورها خلال طبقات الزلط تقوم الكائنات الحية (البكتريا) بالالتصاق بأسطح الزلط أو كسر الحجر ، وتكوّن شرائح حيوية أو طبقة من الكائنات الحية تقوم بامتصاص المواد العضوية الموجودة في مياه الصرف الصحي وتحليلها كما سبق ذكره . وبمضي الوقت يزداد سمك الشرائح

الحيوية وتفقد قدرتها على الالتصاق ، فيتم إزالتها مع مياه الصرف ويبدأ بعدها في تكوين طبقة جديدة . وهكذا تتوالى هذه الدورات من الشرائح الحيوية البكتيرية . وقد يستخدم وسط من البلاستيك بدلاً من الزلط أو كسر الحجر ، وذلك لزيادة المساحة السطحية للوسط التي تعيش عليه البكتريا ، حتى تتكاثر بكتريا أكثر من التي تتكاثر على سطح الزلط . ويتم تصريف المياه عن طريق قنوات أسفل المرشح بعد إتمام المعالجة البيولوجية .

وأحياناً يستخدم نظام البيوفلتر في المعالجة البيولوجية الملتصقة ، وهي خزانات مثل المرشحات الزلطية ولكن ذات أعماق أكبر قد تصل إلى ١٢ مترا"، والأذرع غالباً ما تكون ثابتة ، وعادة ما يكون الوسط من البلاستيك ذي المساحة السطحية العالية والذي له قدرة كبيرة على جذب طبقة سميكة من البكتريا النشطة .

- **التكاثر المعلق (أحواض التهوية)** :

أحواض التهوية هي أحواض يتم فيها تربية البكتريا ، وهي معلقة في سائل الصرف وذلك إما باستخدام تيارات الهواء المدفوع من أسفل الحوض لعمل فوران للمياه ولزيادة الأكسجين المذاب في السائل لتوفيره للبكتريا ، أو بواسطة القلابات الميكانيكية التي تقلب مياه المجاري كي تمتص الهواء الجوي بواسطة نشر رذاذ مياه المجاري في صورة ذرات صغيرة. وتقوم البكتريا بامتصاص المواد العضوية وتحويلها إلى غازات وبقايا يمكن ترسيبها ، مثلما تقوم به في المرشحات الزلطية السابق الإشارة إليها. وبعد فترة من الزمن تتراوح ما بين ٦-١٢ ساعة يتم ضخ المياه بعد معالجتها إلى خزان الترسيب النهائي . والمعالجة بطريقة التهوية تنقسم إلى عدة طرق ، منها على سبيل المثال :

طريقة التهوية العادية : وهذا النوع من التهوية يتم في خزانات طويلة ، ويتم دخول مياه المجاري في بداية الخزان ، ويدفع الهواء بواسطة تيار الهواء من أسفل الخزان .

التهوية المتدرجة : وفيها يتم إدخال مياه المجاري في عدة نقاط على طول الخزان والتهوية بالهواء من قاع الخزان كما بالطريقة العادية .

التهوية الممتدة . قنوات الأكسدة : وهذه الطريقة تستخدم في معالجة المجاري ذات التصرفات المنخفضة ، وهي تعتمد على تهوية مياه المجاري ميكانيكياً بواسطة القلابات اللفافة لمدة طويلة قد تصل إلى ٣٦ ساعة .

- **أحواض الترسيب النهائي** :

وتلي المرشحات الزلطية أو أحواض التهوية عملية الترسيب في أحواض الترسيب النهائي (سميت بالترسيب النهائي للتفرقة بينها وبين الترسيب الابتدائي الذي سبق ذكره). وأحواض الترسيب النهائي تكون دائرية ، وهي تختلف عن أحواض الترسيب الابتدائي في أنها غالباً ما تكون أعمق لتسمح بتخزين المواد الصلبة المترسبة ، والتي تسمى بالحمأة .

وفي حالة استخدام المرشحات الزلطية في المعالجة الثانوية ، يتم بعد الترسيب النهائي عملية إرجاع مياه المجاري المعالجة إلى ما قبل المرشحات الزلطية لخلط مياه المجاري الخام والمعالجة ابتدائياً بالمياه المعالجة ، لتخفيف تركيز المواد العضوية بمياه المجاري قبل دخولها على المرشحات الزلطية .

أما في حالة استخدام أحواض التهوية ، فيتم إرجاع الحمأة المترسبة (الرواسب) إلى بداية أحواض التهوية لزيادة تركيز البكتريا في أحواض التهوية، والتي تؤكسد المواد العضوية الموجودة بمياه المجاري .

وتجدر الإشارة إلى أن طريقة التهوية الميكانيكية ، سواء أكانت المرشحات الزلطية أو مرشحات التهوية ، لا تحتاج إلى مساحات كبيرة من الأرض مثلما تحتاجه طريقة بحيرات الأكسدة – والتي سيأتي ذكرها ، ولذا فإنها تعتبر أكثر مناسبة للقرى والمدن المحاطة بالأراضي الزراعية التي ليس لها ظهير صحراوي .

ب – المعالجة الطبيعية – المستنقعات والبرك (بحيرات التثبيت أو بحيرات الأكسدة) :

تتم معالجة مياه الصرف الصحي في هذه النظم من خلال استخدام برك أو مستنقعات بطريقة طبيعية تعتمد على نشاط مشترك متكامل ، تقوم به الطحالب والبكتريا بالاستعانة بأشعة الشمس وبعض العناصر الموجودة في مياه الصرف الصحي . فالبكتريا الهوائية تستخدم الأكسجين الذائب في المياه لأكسدة المواد العضوية ، وينتج عن هذه الأكسدة مواد عضوية مثبتة وثاني أكسيد الكربون . والطحالب بدورها تستخدم ثاني أكسيد الكربون مع بعض الأملاح في تخليقها الضوئي بمساعدة أشعة الشمس ، وتعطي الأكسجين اللازم لتكاثر البكتريا. ومعنى هذا أن كلاً من الطحالب والبكتريا تعطي للأخرى ما تحتاجه . ويتكون هذا النظام من ثلاث بحيرات متتالية تستمر المعالجة فيها إلى ما يقرب من ١٢ يوماً ، وهذه البحيرات هي :

- **البحيرات اللاهوائية** : هي بحيرات عميقة (٢,٥ – ٦ متر) ويعتمد في هذه البحيرات على البكتريا اللاهوائية في أكسدة المواد العضوية في الطبقات العميقة من البحيرة ، والتي لا يصل الهواء إليها ، أما في الطبقة السطحية وبعمق حوالي نصف متر فتقوم البكتريات الهوائية بعمليات الأكسدة ، أي أنه

في هذه البحيرات تقوم البكتريا اللاهوائية بالدور الأكبر في الأكسدة ويقل بدرجة كبيرة دور البكتريا الهوائية .

- **البحيرات الهوائية اللاهوائية** : هي بحيرات متوسطة العمق (١,٨ – ٢,٥ متر) وفيها تقوم البكتريا الهوائية بأكسدة المواد العضوية في النصف العلوي من البحيرة ، وتساعدها في ذلك الخلايا الطحلبية . وتقوم البكتريا اللاهوائية بعمليات الأكسدة في النصف السفلي من البحيرة ، أي أن البكتريا الهوائية والبكتريا اللاهوائية تقومان مناصفة بأكسدة المواد العضوية في هذه البحيرات .
- **البحيرات الهوائية** : هي بحيرات ضحلة لا يزيد عمقها على ١,٠ متر مما يساعد أشعة الشمس على اختراق جميع طبقات مياه الصرف ، وتصل بذلك إلى القاع . وتقوم البكتريا الهوائية وحدها بعمليات الأكسدة المطلوبة للتخلص من المواد العضوية .

وتجدر الإشارة إلى أن هذه البحيرات تحتاج إلى مساحات كبيرة من الأرض ، ولذا فإنها لا تستخدم إلا إذا توفرت هذه المساحات ، كما يجب أن تكون مواقعها بعيدة عن الأحياء السكنية، مع مراعاة اتجاه الرياح وذلك تجنباً للروائح الكريهة التي تصدر عنها ، كما أنها تمثل دائماً مرتعاً لتوالد الذباب .

٣ – تكلفة معالجة مياه الصرف الصحي:

من واقع المشروعات التي نفّذت في فترة التسعينات ، فقد تم تقدير متوسط تكلفة معالجة مياه الصرف الصحي للمتر المكعب على النحو التالي :

-مياه الصرف المنتجة من المحطات التقليدية الكبيرة ٣٥٠٠ جنيه للمتر المكعب

– مياه الصرف المنتجة من المحطات غير التقليدية ٢٥٠٠ جنيه للمتر المكعب

– بحيرات الأكسدة ١٥٠٠ جنيه للمتر المكعب

مما سبق يتضح أن المعالجة باستخدام بحيرات الأكسدة هي أقل النظم تكلفة، ولكن يؤخذ على هذا النظام أن البحيرات تحتاج إلى مساحات واسعة من الأراضي قد لا تتوفر في كثير من الأحيان خصوصاً في مناطق الوادي والدلتا . أما المعالجة الميكانيكية سواء أكانت من خلال المرشحات الزلطية أو مرشحات التهوية فإنه يمكن باستخدام تقنيات متطورة خفض التكلفة بها من ٣٥٠٠ جنيه لمعالجة المتر المكعب إلى ٢٥٠٠ جنيه. وتتجه البحوث الآن إلى المعالجة البيولوجية كوسيلة إلى مزيد من خفض تكلفة المعالجة .

(٤) إعادة استخدام مياه الصرف الصحي المعالجة والحمأة المترسبة :

١ – استخدام مياه الصرف الصحي المعالجة في الري:

زادت كميات مياه الصرف الصحي زيادة كبيرة نتيجة للزيادة السكانية من ناحية والتوسع في مشروعات الصرف الصحي من ناحية أخرى . فقد بلغت كمية مياه الصرف الآن حوالي ٢,٥ مليار متر مكعب سنوياً ، ومن المنتظر أن تزيد إلى ٦ مليارات متر مكعب في عام ٢٠٢٠. ومع محدودية كميات المياه المتاحة واحتمال عدم كفايتها لأغراض الري والأغراض المعيشية في المستقبل القريب ، فقد أصبح من الضروري إعادة استخدام مياه الصرف الصحي بعد معالجتها معالجة سليمة في الزراعة ، ولكن باشتراطات معينة لتجنب المضار التي قد تنشأ عن ذلك . وفي جميع الدول بما فيها مصر فقد سنت القوانين المحددة لمواصفات المياه المعالجة المسموح باستخدامها لري الأنواع المختلفة من المزروعات.

وقد استخدمت نظم معالجة مياه الصرف الصحي وإعادة استخدامها لأعمال الزراعة منذ أكثر من مائة عام ، وتم تحديث وتطوير هذه النظم . وأصبحت

مياه الصرف تستخدم الآن بأمان وبدون تلوث أو إضرار بالبيئة أو بالصحة العامة في كثير من دول العالم .

ويحقق استخدام مياه الصرف الصحي في الري المزايا الآتية :

- **ترشيد المياه** : يحقق استخدام مياه الصرف الصحي المعالجة في الأعمال الزراعية مورداً جديداً من موارد المياه للري ، وبالتالي يساعد في زيادة الموارد المائية .
- **استمرارية المصدر** : في بعض المناطق النائية التي يتكلف وصول مياه للري بها تكلفة كبيرة ، ويكون أسلوب استخدام مياه الصرف المعالجة ذات فائدة كبيرة ، وكذلك في المناطق المعرضة للجفاف يصبح هذا الأسلوب حيوياً لما يتميز به من استمرارية.
- **القيمة الغذائية للنبات** : تحتوي مياه الصرف المعالجة على عناصر غذائية كبيرة للنبات من الأزوت والفوسفور والبوتاسيوم والنحاس والحديد والزنك وغيرها .
- **تحسين خواص التربة** : يؤدي استخدام مياه الصرف الصحي المعالجة في الزراعة إلى إثراء التربة بالمادة العضوية وتحسين خواصها ، فمثلاً يؤدي إلى خفض قيمة PH (درجة تأين الهيدروجين) مما ييسر امتصاص العناصر الغذائية في التربة ، وزيادة السعة المائية للتربة ، وكذلك زيادة السعة التبادلية للكاتيونات .
- **زيادة إنتاجية المحاصيل** : أثبتت الأبحاث الحقلية أن استخدام مياه الصرف الصحي المعالجة يزيد من إنتاجية المحاصيل الزراعية ، فمثلاً ارتفع إنتاج الذرة ثلاثة أضعاف بعد أربع سنوات من استخدام مياه الصرف المعالجة بالمقارنة باستخدام مياه النيل في الري . وكان السبب الرئيسي لزيادة الإنتاج

ليس فقط توفير العناصر المغذية الضرورية للنبات ، بل أيضاً نقص الملوحة، وخفض نسبة امتصاص الصوديوم .

- **حماية البيئة** : الأسلوب التقليدي للتصرف في مياه الصرف الصحي هو المعالجة الابتدائية أو الثانوية ثم إلقاؤها في المصارف . هذا بخلاف بعض التجاوزات بإلقاء مياه الصرف الخام مباشرة في المصارف ، مما يؤدي إلى آثار خطيرة على البيئة ونشر الأمراض. علاوة على أن إلقاء مياه الصرف في المصارف يؤثر على منسوبها ويتسبب في رفع منسوب المياه الجوفية بما لها من آثار سلبية على الزراعة . أما في حالة معالجة مياه الصرف بمستويات المعالجة المختلفة لاستخدامها في الري ، فإنه يمكن تجنب تلوث المصارف أو زيادة منسوب المياه الجوفية . ويمكن القول بأن حماية البيئة من هذه المخلفات السائلة لا تقل أهمية عن النتائج الاقتصادية المترتبة على إعادة استخدامها بأمان .

٢ – استخدام الحمأة كسماد عضوي:

الحمأة هي المترسبات في أحواض الترسيب الابتدائي وأحواض الترسيب النهائي أثناء عمليات معالجة مياه الصرف الصحي ، وهي خليط من مواد عضوية وغير عضوية ، وتصل نسبة المواد الصلبة فيها إلى ٥ % والمياه إلى ٩٥ % .

وتتم معالجة الحمأة في ثلاث مراحل هي :

- **تركيز الحمأة** : والغرض منها هو تخفيض حجمها الكلي . ويفيد التركيز في تخفيض حجم الأحواض والمهمات المستخدمة في مرحلة التخمر والتجفيف .
- **تخمر الحمأة** : وهي عملية بيولوجية تهدف إلى تخفيض المواد العضوية الصلبة ، كما يؤدي التخمر إلى زيادة قيمة الحمأة لاستخدامها كسماد .

- **تجفيف الحمأة** : ويتم التجفيف بوسائل ميكانيكية ، أو يتم اعتماداً على العوامل الطبيعية في أحواض خاصة .

ولزيادة كفاءة الحمأة كسماد يضاف إليها الجير الحي أو تراب الأسمنت أو الجبس الزراعي أو المخلفات النباتية ، مثل حطب القطن وقش الأرز وحطب الذرة .

وأثبتت التجارب أن استخدام الحمأة كسماد في الأراضي الزراعية يحقق فوائد عديدة للمزروعات ، من حيث زيادة الإنتاج وتحسين خواص التربة وتخفيض كثافتها وزيادة معدل احتفاظها بمياه الري ، وتحتوي الحمأة على مواد مغذية للنبات وغنية بالمواد العضوية التي تصل إلى ٥٠ % منها ، وهذه المواد العضوية خاصة النيتروجين والفوسفات مفيدة للنبات. أي أن الحمأة تقوم بدور التسميد الفعال للمحاصيل لاحتوائها على كميات مناسبة من العناصر المغذية الأساسية للنبات .

واستخدام الحمأة في تسميد الأراضي الزراعية فيه وفر كبير بالمقارنة بالأسمدة الكيميائية، ففي الوقت الذي كان يباع فيه الطن من الحمأة بسعر ٥٠ جنيهاً ، يباع طن اليوريا بمبلغ ٥٠٠ جنيه ، وطن السوبرفوسفات بسعر ٤٠٠ جنيه ، وطن سلفات البوتاسيوم بسعر ٩٠٠ جنيه ، وهي الأسمدة الشائع استخدامها .

ويجب عدم استخدام الحمأة في الأراضي المزروعة بالخضراوات التي تؤكل نيئة ، أو زراعة الدرنات ، وألا تستخدم الأراضي المعالجة بالحمأة كمراع للماشية والأغنام إلا بعد مرور شهرين من إضافة الحمأة. مع عدم استخدامها في الحدائق العامة أو الملاعب التي ترتادها الجماهير .

٣ – مخاطر استخدام مياه الصرف الصحي والحمأة في الزراعة:

قد يحدث بعض المخاطر من إعادة استخدام مياه الصرف الصحي والحمأة في الزراعة ، والتي يمكن تجنبها عند اتباع نظم وأساليب محددة طبقاً للقوانين والكودات المعدة لذلك . ومن هذه المخاطر :

- زيادة كمية النترات التي تلوث المياه الجوفية .
- تراكم العناصر الثقيلة داخل النباتات أو في التربة .
- تلوث المياه الجوفية .

ويلزم لتحقيق الاشتراطات الواجب توافرها في استخدام مياه الصرف المعالجة والحمأة ، مراعاة ما يلي :

- تطهير مياه الصرف في جميع الأحوال كخطوة أساسية في عملية المعالجة .
- المراقبة الصحية المستمرة للأفراد العاملين في الزراعة التي تستخدم مياه الصرف الصحي، مع الكشف الدوري عليهم وإجراء التحاليل اللازمة لضمان سلامتهم .
- المراقبة المستمرة لمياه الصرف المستخدمة في الري والتربة بأخذ عينات دورية ، والتأكد من مطابقة النتائج للحدود المسموح بها.
- الالتزام بالمعايير الصحية التي وردت في القواعد الإرشادية التي صدرت عن منظمة الصحة العالمية ومنظمة الأغذية والزراعة ، والخاصة بإعادة استخدام مياه الصرف الصحي في الزراعة والحمأة كسماد .

obeikandl.com