معالجة مياه الصرف الصحي

د. عبدالرحمن ابراهيم العبد العالي

أدى التطور الذي شهدته معظم دول العالم وزيادة عدد السكان وارتفاع مستوى المعيشة إلى ارتفاع ملحوظ في الطلب على المياه . ورغم أن بعض الدول لا تعاني من هذه المشكلة بسبب تنوع مصادر المياه التقليدية فيها ووجود هذه المياه بكميات تفي بالطلب إلا أن توزيع المياه الصالحة للاستعمال على سطح الكرة الأرضية ليس متساوياً . وقد أدى ذلك إلى اختلال التوازن بين الكميات المتوفرة من المياه والطلب الفعلي عليها ، الأمر الذي أدى إلى التفكير في تنويع مصادر المياه واستغلال أكبر كمية ممكنة منها بشتى الطرق . وتعد إعادة استعمال مياه الصرف الصحي المعالجة من طرق استغلال المياه التي تلاقي قبولاً ملحوظاً في الآونة الأخيرة .

إن الغرض من معالجة مياه الصرف الصحي هو إسراع العمليات الطبعية التي تحدث لتلك المياه تحت ظروف محكمة وبحجم صغير . ومن الأسباب الهامة لتطوير طرق معالجة تلك المياه تأثيرها على الصحة العامة والبيئة حيث كانت المعالجة تنحصر في إزالة المواد العالقة والطافية والتخلص من المواد العضوية المتحللة وبعض الأحياء الدقيقة المسببة للأمراض . ونتيجة لتقدم العلم في مجال الكيمياء والكيمياء الحيوية وعلم الاحياء الدقيقة وزيادة المعرفة بتأثير الملوثات على البيئة سواء على المدى القريب أو البعيد إضافة إلى التقدم الصناعي وإنتاج مواد جديدة ، جعل من الضروري تطوير طرق معالجه لتلك المياه تكون قادرة على إزالة معظم الملوثات التي لم يكن من السهل إزالتها بالطرق المستعملة قديماً .

مياه الصرف وملوثاتها

يتم تجميع مياه الصرف الصحي من عدة مصادر ، وتعتمد الكميات التي يتم جمعها من تلك المصادر على المصدر ونوعية نظام التجميع المستعمل فيها . ومن مصادر تلك المياه ما يلي :

١ ــ مياه استعمالات الأغراض المنزلية والتجارية وغيرها كالمدارس والفنادق والمطاعم .

٢ ــ مياه الاستعمالات الصناعية .

٣ ــ مياه الأمطار في حالة دمج شبكة المجاري بشبكة تصريف السيول .

٤ ــ المياه المتسربة من عدة مصادر وخاصة الجوفية .

تحتوي هذه المياه على عدة عناصر صلبة وذائبة ، يمثل الماء فيها نسبة ٩٩,٩٪ والبقية عبارة عن ملوثات أهمها :

١ ــ مواد عالقة .

٢ ــ مواد عضوية قابلة للتحلل .

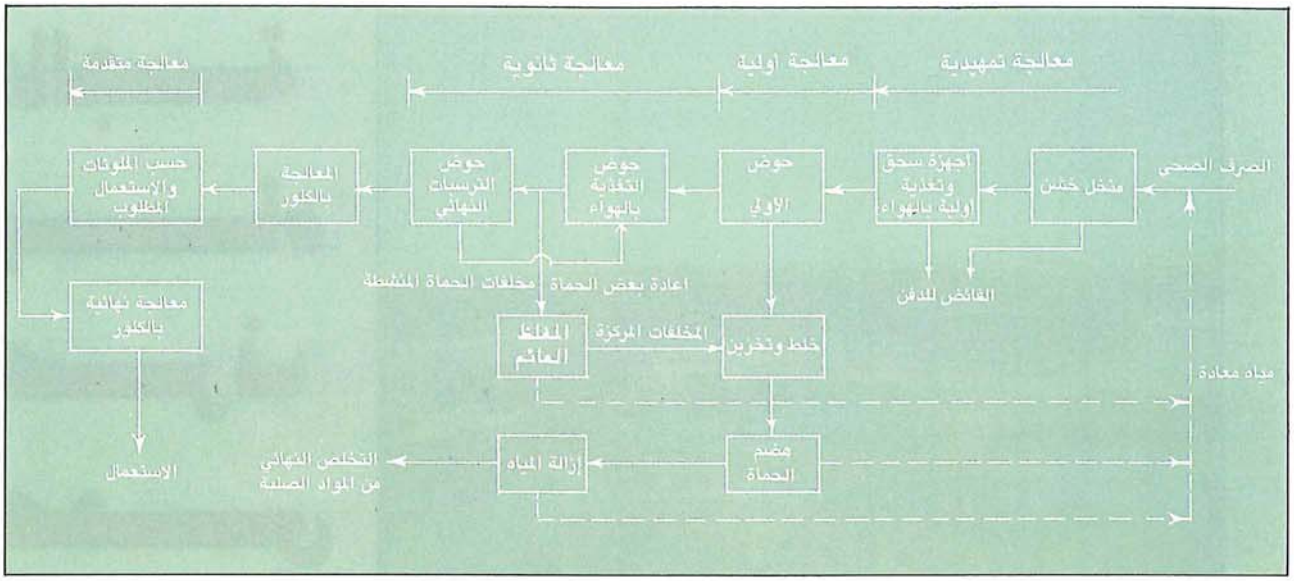
٣ ــ كائنات حية مسببة للأمراض .

٤ ــ مواد مغذية للنبات (نتروجين، فوسفور، بوتاسيوم).

٥ ــ مواد عضوية مقاومة للتحلل .

٦ ــ معادن ثقيلة .

٧ ــ أملاح معدنية ذائبة .



● شكل (١) رسم تخطيطي لعملية معالجة مياه الصرف الصحي .

معالجة مياه الصرف

تشمل معالجة مياه الصرف الصحي مجموعة من العمليات الطبيعية والكيميائية والاحيائية التي يتم فيها إزالة المواد الصلبة والعضوية والكائنات الدقيقة أو تقليلها إلى درجة مقبولة ، وقد يشمل ذلك إزالة بعض العناصر الغذائية ذات التركيزات العالية مثل الفوسفور والنيتروجين في تلك المياه . ويمكن تقسيم تلك العمليات حسب درجة المعالجة إلى عمليات تمهيدية وأولية وثانوية ومتقدمة ، وتأتي عملية التطهير للقضاء على الأحياء الدقيقة في نهاية مراحل المعالجة . وتتضمن هذه المراحل ، شكل (١) ما يلي :

١ ــ المعالجة التمهيدية :

تستخدم في هذه المرحلة من المعالجة وسائل لفصل وتقطيع الأجزاء الكبيرة الموجودة في المياه لحماية أجهزة المحطة ومنع انسداد الأنابيب ، وتتكون هذه الوسائل من منخل متسع الفتحات وأجهزة سحق ، وتحتوي هذه المرحلة أحياناً على أحواض أولية للتشبيع بالأكسجين ، ومن خلال هذه العملية فإنه يمكن إزالة ٥ ـ ١٠٪ من المواد العضوية القابلة للتحلل إضافة إلى ٢ ـ ٢٠٪ من المواد العالقة . ولا تعد هذه النسب من الإزالة كافية لغرض إعادة استعمال المياه في أي نشاط .

٢ ــ المعالجة الأولية :

الغرض من هذه المعالجة إزالة المواد العضوية والمواد الصلبة غير العضوية القابلة للفصل من خلال عملية الترسيب . يمكن في هذه المرحلة من المعالجة إزالة ٣٥ ـ ٥٠٪ من المواد العضوية القابلة للتحلل إضافة إلى ٥٠ ـ ٧٠٪ من المواد العالقة ، وحتى هذه الدرجة من المعالجة فإن الماء لا يزال غير صالح للاستعمال .

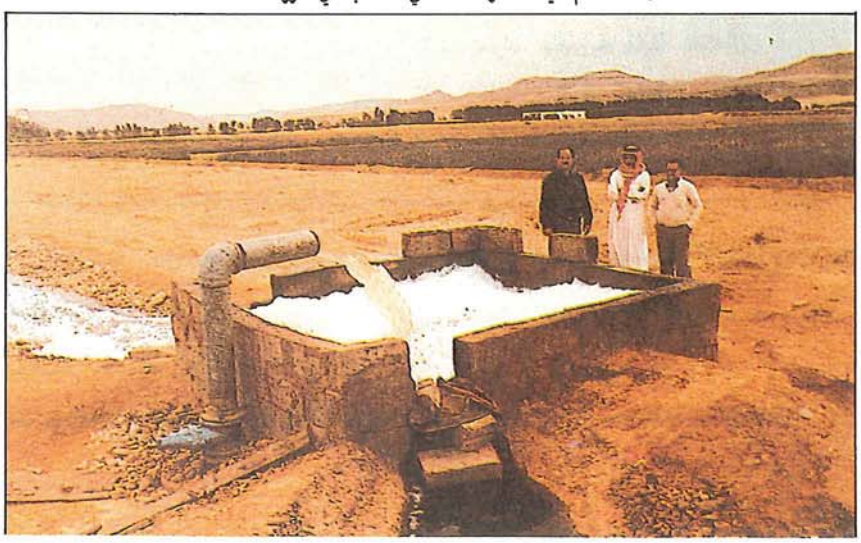
وتحتوي الوحدة الخاصة بالمعالجة الأولية على أحواض للترسيب بالإضافة إلى المرافق الموجودة في وحدة المعالجة التمهيدية ، وربما تحتوي أيضاً على وحدات تغذية لبعض المواد الكيميائية إضافة إلى أجهزة لخلط تلك المواد مع المياه .

٣ ــ المعالجة الثانوية :

هذه المرحلة من المعالجة عبارة عن تحويل احيائي للمواد العضوية إلى كتل حيوية تزال فيما بعد عن طريق الترسيب في حوض الترسيب الثانوي ، وهناك عدة أنواع من المعالجة الثانوية يمكن تقسيمها حسب سرعة تحليل المواد العضوية إلى :

أ ــ **عمليات عالية المعدل** ومن أمثلتها : عملية الحمأة المحفزة (Activated sludge process) والترشيح بالتنقيط (Trickling Filter) والتلامس الحيوي دائري الحركة (Rotating biological contactors) .

● استخدام مياه الصرف الصحي المعالجة في الزراعة .



ب ـ **عمليات منخفضة المعدل** ومن أمثلتها : البحيرات الضحلة ذات التهوية (Aerated Lagoons) وبـرك الاستقـرار (Stabilization Ponds) .

ويمكن من خلال المعالجة الثانوية إزالة ما يقارب ٩٠٪ من المواد العضوية القابلة للتحلل ، إضافة إلى ٨٥٪ من المواد العالقة .

٤ ـ المعالجة المتقدمة :

يتم تطبيق هذه المرحلة من المعالجة عندما تكون هناك حاجة إلى ماء نقي بدرجة عالية ، وتحتوي هذه المرحلة على عمليات مختلفة لإزالة الملوثات التي لا يمكن إزالتها بالطرق التقليدية سابقة الذكر ، ومن هذه الملوثات : النتروجين والفوسفور والمواد العضوية والمواد العالقة الصلبة الزائدة إضافة إلى المواد التي يصعب تحللها بسهولة والمواد السامة ، وتتضمن هذه العمليات ما يلي :

● **التخثر الكيميائي والترسيب:**
(Chemical Coagulation & Sedimentation):

التخثر الكيميائي عبارة عن إضافة مواد كيميائية تساعد على إحداث تغير فيزيوكيميـائي للجسيمات ينتـج عنه تلاصقها مع بعضها وبالتالي تجمعها ومن ثم ترسيبها في أحواض الترسيب نظراً لزيادة حجمها . وتستخدم عدة مخثرات كيميائية من أهمها مركبات الحديـد والألمونيوم والكالسيوم والبوليمر .

● **الترشيح الرملي** (Sand Filteration):

عبارة عن عملية تسمح بنفاذ الماء خلال وسط رملي بسماكة لا تقل عن ٥٠ سم ويتم من خلال هذه العملية إزالة معظم الجسيمات العالقة والتي لم يتم ترسيبها في أحواض الترسيب نظراً لصغر حجمها إضافة إلى إزالة المواد الصلبة المتبقية بعد عملية التخثر الكيميائي ، كما أن هذه العملية ضرورية لتنقية المياه قبل معالجتها في عمليـات لاحقة مثـل الامتصاص الكربوني والتبادل الأيوني والتناضح العكسي .

● **الامتصاص الكربوني :**
(Carbon Adsorption):

ويتم في هذه العملية استخدام كربون منشط لإزالة المواد العضوية المذابة حيث يتم تمرير المياه من خلال خزانات تحتوي على الوسط الكربوني ويتم من خلال الكربون المنشط امتصاص المواد العضوية المذابة الموجودة في مياه الفضلات . وبعد تشبع الوسط الكربوني يتم إعادة تنشيطه بوساطـة الحرق أو استخـدام مواد كيميائية .

● **التبادل الأيوني** (Ion Exchange):

من خلال هذه العملية يتم إحلال أيونات معينة في الماء من مادة تبادل غير قابلة للذوبان بأيونات أخرى . وعملية التبادل الأيوني مشابهـة لعملية الامتصـاص الكربوني إلا أن الأولى تستعمل لأغراض إزالة المواد غير العضوية .

● **التناضح العكسي :**
(Reverse Osmosis):

يتم في هذه العملية ضخ الماء تحت ضغط عال من خلال غشاء رقيق ذو فتحات صغيرة جداً يسمح بمرور جزيئات الماء فقط ويمنع مرور جزيئات الأملاح .

يوضح جدول (١) نسب إزالة بعض الملوثات الموجودة في مياه الصرف الصحي من خلال طرق المعالجة المختلفة الأولية والثانوية والمتقدمة .

٥ ـ عملية التطهير :

تتم عملية التطهير من خلال حقن محلول الكلور إلى حوض التطهير حيث تتراوح الجرعة ما بين ٥ ـ ١٠ مليجرام للتر الواحد ، وعادة ما تكون فترة التطهير لمدة ١٥ دقيقة كحد أدنى في حالة عدم استخدامها ، وفي حالات استخدام المياه في الأغراض الزراعية فإن مدة التطهير تصل إلى ١٢٠ دقيقة .

استخدامات المياه المعالجة

يمكن استعمال مياه الصرف الصحي المعالجة في عدة أغراض سواء بطريقة

الطريقة / عنصر الإزالة	معالجة اولية ٪	معالجة ثانوية (عملية الحمأة المحفزة) ٪	معالجة متقدمة باستخدام		
			المرشحات الرملية ٪	امتصاص كربوني بعد التبادل الأيوني ٪	اكسدة كيميائية وتناضح عكسي ٪
الأكسجين الكيموحيوي	٤٢	٩٤	٩٦	١٠٠	١٠٠
الأكسجين الكيميائي	٣٨	٨٣	٨٨	٩٨	١٠٠
المواد العالقة الصلبة	٥٣	٩١	٩٩	١٠٠	١٠٠
نتروجين الأمونيا	١٨	٧٠	٨٠	١٠٠	١٠٠
الفوسفور	٢٧	٦٠	٨٣	١٠٠	١٠٠
الكربون العضوي	٣٤	٨٩	٩٠	١٠٠	١٠٠
الزيوت والدهون	٦٥	٩٤	٩٤	٩٧	١٠٠
العكـر	٣١	٩٠	٩٧	١٠٠	١٠٠
القلوية	تزداد	٣٨	٨٩	لا تغير	لا تغير
اللون	١٥	٥٦	٧٠	٩٣	٩٣
المواد المسببة للزبد	٢٧	٧٩	٧٩	٩٢	٩٢

● جدول (١) ـ متوسط نسبة إزالة بعض الملوثات الموجودة في مياه الصرف الصحي باستخدام طرق المعالجة المختلفة

مباشرة أو غير مباشرة ، ويوضح شكل (٢) أهم استعمالات تلك المياه . وبصفة عامة .. فإن نسبة إعادة استعمال المياه المعالجة من قبل القطاعات المختلفة تتمثل في الآتي :

- أغراض زراعية ٦٠ ٪
- أغراض صناعية ٣٠ ٪
- أغراض أخرى كتغذية المياه الجوفية ١٠ ٪ .

وتشير بعض المعلومات المحدودة الخاصة بتكاليف معالجة مياه الصرف الصحي للأغراض الزراعية في بعض دول الشرق الأوسط إلى أن تكلفة المعالجة تتراوح ما بين ٦٦ هللة إلى ١,٦١ ريال للمتر المكعب .

محاسن المياه المعالجة

من محاسن استعمال مياه الصرف الصحي المعالجة المحافظة على احتياطي المياه حيث أن استعمالها في الزراعة أو أي استعمالات أخرى بدلًا عن المياه الصالحة للشرب يؤدي إلى توفير هذه المياه ، والتوسع في المساحات الزراعية لانتاج محاصيل متنوعة وبسعر أقل ، كما يؤدي أيضا إلى التقليل من التكاليف المتعلقة بإنتاج واستيراد واستعمال الأسمدة بسبب وجود العناصر الضرورية للنبات في تلك المياه ، والتقليل من تكاليف الحصول على المياه في الزراعة خاصة إذا كانت مصادر تلك المياه جوفية .

مساوىء المياه المعالجة

من مساويء استعمال مياه الصرف المعالجة أنها تسبب مشاكل صحية إذا لم تتم معالجتها بشكل صحيح بسبب وجود أنواع مختلفة من الفيروسات والبكتيريا وغيرها ، إضافة إلى تركيزات عالية من المواد الكيميائية . وفي حالة استعمال تلك المياه في الزراعة فإن تراكم بعض المواد الكيميائية التي لا تتم إزالتها في مراحل المعالجة المختلفة قد تسبب أضراراً للنباتات . أما في حال استعمالها في تغذية المياه الجوفية وعدم معالجتها بطريقة صحيحة فإنه بالإمكان تلوث تلك المياه ، كما أنها قد تسبب انسداداً لشبكات الري عند إستعمالها .

مجالات استخدام المياه المعالجة

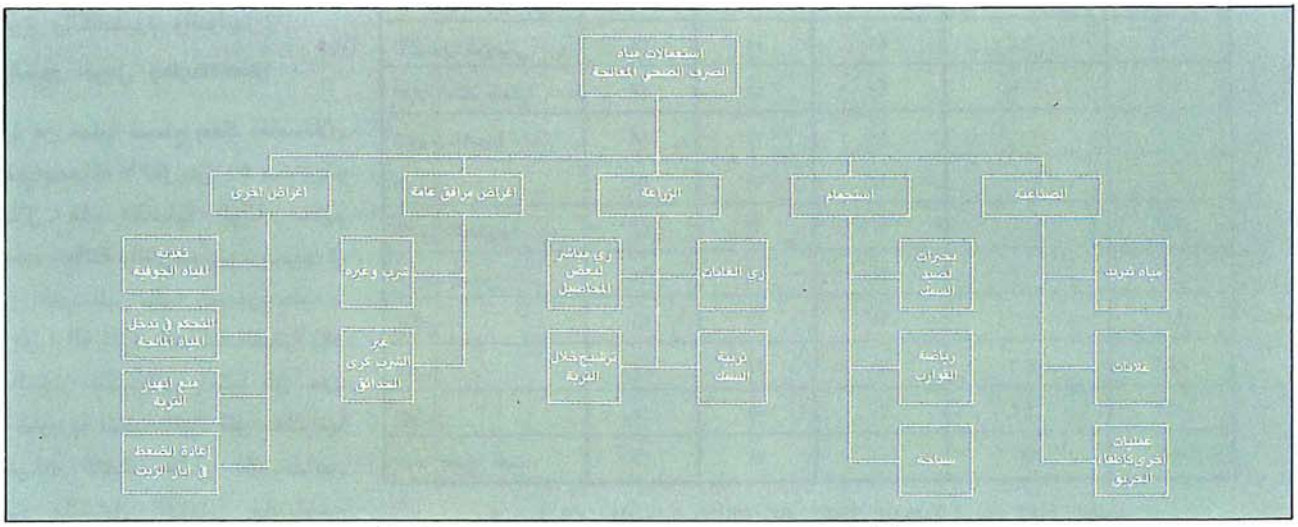
تختلف درجة معالجة مياه الصرف الصحي حسب الاستعمال المطلوب ، وقد اقترحت منظمة الصحة العالمية طرق معالجة خاصة بالاستعمالات الشائعة لتلك المياه ، جدول (٢) . وتتضمن مجالات استخدام مياه الصرف الصحي المعالجة ما يلي :

● الشـــرب :

من أمثلة استعمالات مياه الصرف الصحي المعالجة في الشرب استخدامها في الولايات المتحدة الأمريكية عام ١٩٥٦م عندما تعرضت المناطق الوسطى منها لجفاف مما حدا ببعض المدن الصغيرة باستعمال مياه الصرف الصحي بعد معالجتها في محطات للتنقية . فقد تم في مدينة شانوت بولاية كنساس معالجة ما يقارب من ٤٠٠٠ متر مكعب من المياه يومياً لسد حاجتها من مياه الشرب ، وفي مدينة ويندهوك بناميبيا أنشئت في عام ١٩٦٨م محطة معالجة متقدمة لمياه الصرف الصحي لامداد المدينة بما يقارب من ٥٠ ٪ من احتياجاتها من مياه الشرب .

● المرافق الترفيهية :

في مجال استعمالات مياه الصرف الصحي المعالجة في المرافق الترفيهية هناك بعض الأمثلة للمشاريع التي لاقت نجاحاً كبيراً . ومن هذه الأمثلة المشروعان اللذان تم انشاؤهما بولاية كاليفورنيا الأمريكية . يسمى المشروع الأول مشروع «سانتي» وفيه يتم ضخ المياه المعالجة من محطة سانتي لأحد الوديان وتترك لتنساب مسافة قدرها ١ كم خلال الرمل والحصى قبل استرجاعها . ثم توجه المياه المسترجعة بعد ذلك إلى ثلاث بحيرات متصلة ببعضها



● شكل (٢) أهم استعمالات مياه الصرف الصحي المعالجة .

اغراض الاستعمال / طريقة المعالجة	زراعية			صناعية	استجمام		مرافق عامة	
	محاصيل ليست للاستهلاك الآدمي المباشر	محاصيل تؤكل بعد الطبخ	محاصيل تؤكل طازجة		نشاطات ملامسة كالسباحة	نشاطات بدون ملامسة كرياضة القوارب	شرب	اغراض اخرى
اولية	(١+١) ضرورية	(٢+١) ضرورية	(٣+١) ضرورية	(٣ او ٤) ضرورية	(٤+٧) ضرورية	(٢) ضرورية	(٥) ضرورية	(٣) ضرورية
ثانوية		(٢+١) ضرورية	(٣+١) ضرورية	(٣ او ٤) ضرورية	(٤+٧) ضرورية	(٢) ضرورية	(٥) ضرورية	(٣) ضرورية
متقدمة: - مرشحات رملية - امتصاص كربوني - تبادل ايوني		(٢+١) مطلوبة احيانا —	(٣+١) مطلوبة احيانا —	(٣ او ٤) مطلوبة احيانا — مطلوبة احيانا	(٤+٧) مطلوبة احيانا —	— — —	(٥) ضرورية مطلوبة احيانا مطلوبة احيانا	(٣) ضرورية
تطهير		(٢+١) مطلوبة احيانا	(٣+١) ضرورية	(٣ او ٤) مطلوبة احيانا	(٤+٧) ضرورية	(٢) مطلوبة احيانا	(٥) ضرورية	(٣) ضرورية

(١) خال من المواد الصلبة وإزالة كبيرة لبعض الطفيليات
(٢) كما في (١) إضافة إلى إزالة كبيرة للبكتيريا .
(٣) كما في (١) إضافة إلى إزالة أكثر للبكتيريا وكذلك إزالة لبعض الفيروسات .
(٤) ليس أكثر من ١٠٠ كائنات قولونية الشكل في ١٠٠ ملي في ٨٠ ٪ من العينات .
(٥) عدم وجود كائنات فضلات قولونية في ١٠٠ ملي كذلك عدم وجود فيروسات في ١٠٠ ملي ولا آثار خطرة على الإنسان .
(٦) عدم وجود مواد كيميائية ممكن أن تشكل مشاكل للنباتات أو السمك .
(٧) عدم وجود مواد كيميائية تسبب مشاكل للجسد والغشاء المخاطي .

● جدول (٢) ـ طرق المعالجة المطلوبة للاستعمالات الشائعة لمياه الصرف الصحي

ومحاطة بحديقة عامة . تستخدم بحيرتان من تلك البحيرات لصيد الأسماك ورياضة القوارب ، بينما يتم تعقيم البحيرة الثالثة بمادة الكلور لتستخدم للسباحة . وتطابق نوعية المياه هذه مواصفات الولاية الخاصة بالمياه المستعملة للسباحة .

أما المشروع الثاني فهو مشروع خزان الجدول الهندي وهذا الخزان يستلم المياه المعالجة من محطة تاهو الجنوبية حيث توجد معالجة متقدمة مكونة من عمليات لإزالة النتروجين والفوسفور والبوتاسيوم كما توجد بها مرشحات رملية وأجهزة امتصاص كربوني ، ويتسع الخزان لما يقارب من ٢٧ مليون متر مكعب من المياه وكلها مياه صرف معالجة تستخدم لنشاطات متعددة منها السباحة وصيد الأسماك .

● الزراعة :

يعد مشروع مدينة موسكيفون بولاية ميشجان الأمريكية لإعادة استعمال مياه الصرف الصحي من أحدث المشاريع التي أنشئت للاستفادة من تلك المياه في الزراعة ، وقد صمم هذا المشروع بحيث تمر تلك المياه أولاً على الأراضي الزراعية ثم تصب بعد ذلك في البحيرة. وتعد عملية مرور المياه في الأراضي الزراعية إحدى الطرق لإزالة الملوثات إضافة إلى فائدتها في ري بعض المحاصيل . ويقوم هذا المشروع بري أكثر من ٢٠٠٠ هكتار من الأراضي المزروعة بمحصول الذرة .

● ايقاف انسياب المياه المالحة

في المناطق الساحلية في أي بلد من بلدان العالم يؤدي ازدياد الطلب على المياه الجوفية إلى انخفاض مستواها مما ينتج عنه دخول المياه المالحة إلى الطبقات الحاملة للمياه العذبة ، ولمعالجة هذه المشكلة يتم ضخ مياه الصرف الصحي المعالجة في تلك المناطق مما يؤدي إلى إيقاف تدخل المياه المالحة إضافة إلى الاستفادة منها في تغذية المياه الجوفية ، ومن أمثلة ذلك ما تم عمله في ولايتي كاليفورنيا ونيويورك الأمريكيتين .

فتوى استعمال المياه المعالجة

أصدرت هيئة كبار العلماء بالمملكة فتوى شرعية بإجازة استعمال مياه الصرف الصحي المعالجة ، فقد جاء في دورتها الثالثة عشر وبموجب قرارها رقم ٦٤ بتاريخ ١٣٩٨/١٠/٢٥هـ النص التالي : «بناءاً على ما ذكره أهل العلم من أن الماء الكثير المتغير بنجاسة يطهر إذا زال تغيره بنفسه أو بإضافة ماء طهور إليه أو زال تغيره بطول مكث أو تأثير الشمس ودور الرياح عليه أو نحو ذلك لزوال الحكم بزوال علته » إنتهى .

وحيث أنه يتم تنقية مياه الصرف الصحي حسب طرق المعالجة المذكورة سابقا فإن نجاستها تكون قد زالت ، كما يمكن شربها شريطة أن لا يترتب على ذلك أضرار صحية . ورغم ذلك فإن المجلس يستحسن الاستغناء عن استعمال المياه المعالجة للشرب تحوطاً من ضررها وتنزها عن ما تنفر منه طباع الناس وتستقذره .