عمليات تنقية المياه

د. عبدالله محمد الرحيلي

يرجع إهتمام الإنسان بجودة مياه الشرب إلى أكثر من خمسة آلاف عام ، ونظرا للمعرفة المحدودة في تلك العصور بالأمراض ومسبباتها ، فقد كان الاهتمام منصباً على لون المياه ، وطعمها ، ورائحتها فقط ، حيث سخرت لهذا الغرض - خلال فترات تاريخية متباعدة - عمليات منها التقطير ، والغلي ، والترشيح والترسيب ، وإضافة بعض الأملاح، وفي عام ٩٨م ظهر في روما أول تقرير هندسي عن مصادر المياه وأساليب تقنياتها ، موضحاً أن نظام المياه لتلك المدينة يتكون من حوض ترسيب يؤدي إلى قنوات للتوزيع . كما كتب الكيميائي العربي جابر بن حيان في القرن الثامن الميلادي تقريراً متخصصا حول المياه وبعض السوائل الأخرى .

شهد القرنان الثامن عشر والتاسع عشر الميلاديين الكثير من المحاولات الجادة في دول أوربا وروسيا للنهوض بعمليات تنقية المياه ، وأنشئت لأول مرة في التاريخ محطات تنقية على مستوى المدن . ففي عام ١٨٠٧م مثلاً ، أقيمت محطة مدينة جلاسكو الأسكتلندية - من أوائل المحطات في العالم - لمعالجة المياه بطريقة الترشيح ، ثم نقلها إلى المستهلكين عبر شبكة توزيع خاصة . وعلى الرغم من أن هذه المساهمات تعد تطوراً تقنيا في تلك الفترة إلا أن الاهتمام كان منصباً على نواحي اللون ، والطعم ، والرائحة - ما يسمى بالقابلية - وكان إستخدام المرشحات الرملية هو المظهر السائد حتى بداية القرن العشرين .

وكان وباء الكلوليرا من أوائل الأمراض التي أكتشف إرتباطها الوثيق بتلوث مياه الشرب العامة في المرحلة السابقة لتطور عمليات التنقية . فعلى سبيل المثال ثبت أن تلوث المياه بمدينة لندن قد تسبب في إصابة بعض سكانها بمرض الكلوليرا حيث أدى إلى وفاة ١٤٦٠٠ و ١٠٦٧٥ شخص في عامي ١٨٤٨م و ١٨٥٤م على التوالي ، كما أصيب حوالي ١٧٠٠٠ شخص من سكان مدينة هامبرج الألمانية بهذا الوباء خلال صيف ١٨٩٢م ، وانتهى بوفاة مالايقل عن نصف ذلك العدد .

ساعد الاكتشاف المذكور - علاقة الكلوليرا بالمياه الملوثة- على البحث عن سبل لازالة الكائنات الدقيقة المرضة - بكتيريا وفيروسات وغيرها - من المياه وإدخال عمليات التطهير عليها للوصول إلى مياه عالية الجودة ، بحيث تكون خالية من العكارة ، واللون ، والطعم ، والرائحة ، وخالية من الكائنات الدقيقة المسببة للمرض .

يعد التطهير للقضاء على الكائنات الدقيقة من بكتيريا وفيروسات بإستخدام الكلور من أوائل العمليات التي أضيفت إلى تنقية المياه بعد عملية الترشيح ، مما أدى إلى الحد من انتشار العديد من أمراض المياه مثل الكوليرا وحمى التيفوئيد .

ونظرا للتقدم الصناعي والتقني الذي يشهده هذا العصر وماتبعه من إزدياد سريع في معدلات إستهلاك المياه الطبيعية والنقية نوعا ما ، ونظراً لما يحدث من تلوث لبعض تلك المصادر نتيجة لإلقاء المخلفات الصناعية والزراعية ومياه الصرف ، وكنتيجة لبعض الحوادث البيئية الأخرى ، فإن عمليات تنقية المياه بدأت تأخذ مساراً جديداً يختلف في كثير من التطبيقات عن مسار التقنيات التقليدية ، بل إن مصادر المياه نفسها قد اختلفت في بعض مناطق العالم عن المصادر التقليدية ، سوف يتناول هذا المقال بإيجاز مواصفات مياه الشرب ، وعمليات التنقية التقليدية ، إضافة إلى الاتجاهات والتحديات الحالية والمستقبلية في عمليات التنقية.

ملوثات مياه الشرب

ينصب الاهتمام بجودة مياه الشرب على توفير المياه المقبولة في مظهرها وطعمها ، ورائحتها ، ومأمونة من النواحي الصحية ، وترتكز مواصفات مياه الشرب ، وعمليات التنقية اللازمة على الوصول إلى هذا الهدف بالدرجة الأولى ، كما أن النواحي الإقتصادية تستدعي البحث عن مصادر للمياه تكون قريبة من مواقع الإستهلاك، ولا تحتاج إلى عمليات تنقية مكثفة باهظة التكاليف . إلا أن هذه النوعية من المصادر لاتكون متوفرة في كثير من الأحيان ، مما يحتم بناء محطات تنقية تختلف مراحلها وتكلفتها باختلاف مصادر المياه وجودتها ، إذ قد تكون المياه غير نقية بطبيعتها ، أو قد تتغير نوعيتها بسبب تلوثها بمواد خارجية . ومن العناصر الطبيعية في مياه الشرب والملوثات الخارجية التي تهمنا من النواحي الصحية مايلي :-

● الكائنات الحية الدقيقة

تعد الجراثيم المسببة للأمراض من أهم العناصر التي تؤثر على مسار عمليات تنقية المياه وعلى مواصفاتها ، لوجود العديد من الأمراض التي تنتقل عن طريق مياه الشرب . تختلف تلك الامراض بإختلاف الجراثيم المسببة لها ، فهناك

المرض	مرات الانتشار	حالات الإصابة
الإلتهاب المعدي المعوي	١٩٢	٣٩,٨٤٥
داء الجارديات	٥٠	١٩,٨٦٣
داء الشيغلات	٢٥	٥,٤٤٨
داء السلمونيلات	٨	١,١٥٠
الإلتهاب الكبدي (النوع أ)	١٦	٤٦٣
الإسهال	٤	٣,٩٠٢
الإلتهاب المعدي المعوي الفيروسي	١٠	٣,١٤٧
الكوليرا الفيروس	١	١٧
الفيروس الدوار	١	١,٧٦١
المجموع	٣٠٧	٧٥,٥٦٩

جدول (١) معدل انتشار أمراض المياه في الولايات المتحدة الامريكية (١٩٧١ ـ ١٩٨١م)

أمراض بكتيرية تسبب آلام معوية حادة نتيجة للتلوث ببكتيريا السلمونيلا والشيقيلا ، وأمراض تسببها بعض البروتوزوا مثل الأميبا والجارديا ، وهناك أمراض فيروسية مثل الكوليرا وشلل الأطفال ، ويوضح الجدول (١) إحصائية لأمراض المياه في الولايات المتحدة الأمريكية للفترة بين عام ١٩٧١م وعام ١٩٨١م .

● المعادن

من المعلوم أن المياه مهما اختلفت مصادرها فهي تحتوي على كمية من المعادن، يختلف تركيزها ونوعها من مصدر إلى آخر ، كما أن تركيز المعادن في المياه قد يتأثر بتعرض المياه للتلوث .

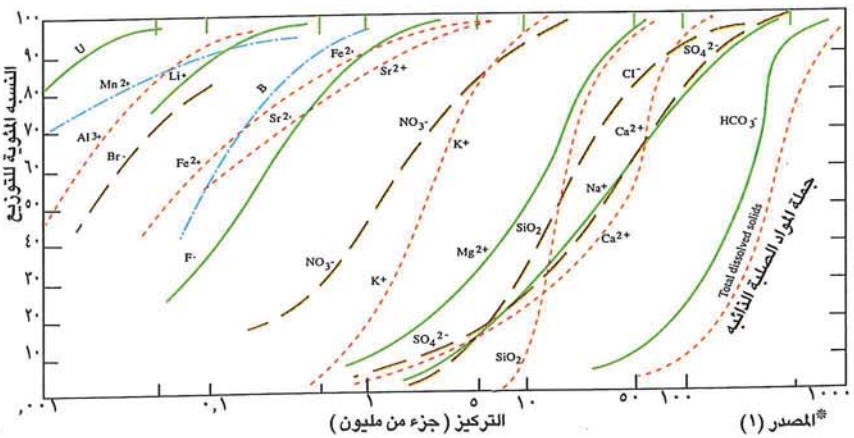
وتقاس المعادن مجتمعة في المياه بمحتواها من الأملاح الذائبة (درجة الملوحة) ، على أن هذا المقياس لايدل على نوعية الأملاح الموجودة ، حيث أن بعض المعادن قد تكون موجودة بكميات ضئيلة لكن أضرارها الصحية قد تكون خطيرة جدا ، كما هو الحال في فلزات عناصر الكروم والكادميوم والزرنيخ والفضة والسيلينيوم وفلزات العناصر الثقيلة كالزئبق والرصاص ، حيث من الضروري قياس كل منها على إنفراد والتأكد من مطابقتها للحدود المسموح بها . ويوضح الشكل (١) متوسط توزيع العناصر والأيونات المعدنية في مصادر المياه على مستوى العالم . وتجدر الإشارة إلى أن وجود المعادن في مصادر المياه يأتي في الغالب كنتيجة للتفاعلات الكيميائية التي تتم بين المياه والصخور أو التربة المحيطة بها خلال عمليات التعرية وإنتقال المياه ، كما أن التكوين المعدني قد يتأثر بالتفاعلات الحيوية ويتم تخفيفه أو تركيزه نتيجة لإنتقال المياه خلال الدورة الهيدرولوجية .

ومن ناحية التأثيرات الصحية للعناصر والأيونات المعدنية في المياه ، فإن لكل منها حد تركيز معين يعتقد أن تجاوزه قد يؤدي إلى آثار سلبية على الصحة العامة ، أو إلى أضرار إقتصادية ، وتختلف هذه الأضرار والآثار بإختلاف نوعية المعادن وتركيزها ومقدار تجرعها ، كما أن وجود كمية من الأملاح في مياه الشرب يعد ضروريا لصحة الإنسان ، وذلك لحاجة الجسم إلى مقادير معينة من بعض الأملاح . وكمثال على أهمية الأملاح في المياه فإن بعض الدراسات تشير إلى أن هناك علاقة إيجابية بين نقص العسر في مياه الشرب وبعض أمراض القلب ، إلا أن هذه العلاقة لم تكن واضحة في جميع الدراسات التي أجريت بهذا الصدد ، من جانب آخر فإن وجود العسر بتركيز عال يؤدي إلى صعوبة في إستخدام المياه في الغسيل ، وإلى ترسيب أملاح العسر في الأنابيب والغلايات ، وهناك ملوثات معدنية كثيرة في مياه الشرب وضعت لها مواصفات معينة تختلف بإختلاف درجة تأثيرها على الصحة وعلى إستخدامات المياه ، من هذه الملوثات الحديد والنحاس والخارصين ومعادن ثقيلة أخرى . كما أن هناك مواصفات لتركيز الأملاح الذائبة ولعناصر أخرى غير معدنية مثل النترات والفلوريدات والكبريتات .

● المواد العضوية

تتألف المواد العضوية في مياه الشرب من عدة أنواع ، بعضها يكون موجوداً أصلا في المياه مثل المواد الهيومية (Humic Substances) ، التي تتكون نتيجة لتحلل بقايا النبات والحيوان ، والبعض الآخر يأتي نتيجة لتلوث المياه بالمخلفات الصناعية والزراعية ومخلفات المدن . وللمواد الهيوميه دور رئيسي في التحكم بالتفاعلات الكيميائية يتمثل في تبادل وإنتقال بعض المركبات والعناصر المعدنية بين المياه وما تلامسه من صخور ورواسب . كما أن للمواد الهيوميه دوراً كبيراً في تكوين بعض المركبات السامة في مياه الشرب نتيجة لتفاعلها مع مواد التطهير ، مثل الكلور ، كما سيأتي ذكره لاحقا .

وتشكل المركبات العضوية المصنعة خطراً كبيراً على الصحة العامة ، وقد ظهر ذلك ـ بوضوح ـ في تلوث بعض مصادر المياه في العديد من الدول الصناعية . وتتألف هذه الملوثات من مركبات عضوية عديدة ، بعضها لاتعرف أضرارها الصحية بدقة تكفي لوضع حد معين لتركيزها في المياه ، كما أن هناك مواد عضوية جديدة تصنع بإستمرار بمعدلات تتجاوز معدلات دراسة هذه المواد ومعرفة آثارها الصحية ، وفي كثير من الأحيان لاتوجد طرق تحليلية تكفي لقياس الملوثات وتحديد تركيزها بدقة في مياه الشرب ، وتشمل هذه الفئة من المواد العضوية



*المصدر (١)

● شكل (١) توزيع تركيز الايونات والمكونات المختلفة في مصادر المياه في العالم .

عناصر طبيعية	نواتج التلوث
تريتيوم (هيدروجين-٣)	سترونشيوم - ٩٠
كربون - ١٤	سيزيوم - ١٣٧
يورانيوم - ٢٣٥	تريتيوم (هيدروجين-٣)
يورانيوم - ٢٣٨	كربون - ١٤
توريوم - ٢٣٢	يود - ١٢٥
راديوم - ٢٢٦	يود - ١٢٩
راديوم - ٢٢٤	يود - ١٣١
رادون - ٢٢٢	بلوتونيوم - ٢٣٩

جدول (٢) أمثلة للعناصر المشعة في مياه الشرب.

العديد من المواد الكيميائية التي تستخدم في الصناعات المختلفة والمبيدات الزراعية والحشرية ومواد التنظيف. وتجدر الإشارة إلى أن تقنيات القياس الموجودة حاليا تكفي فقط لتحديد عددقليل من المواد العضوية في المياه، حيث أمكن قياس حوالي ٥٠٠ من المركبات العضوية البالغ عددها في مياه الشرب حوالي مليونين.[1]

• النظائر المشعة

تصل النظائر المشعة إلى مياه الشرب أساسا عن طريق التكوينات الصخرية، أو نتيجة للتلوث بفعل الإنسان من خلال التفجيرات النووية، ونفايات استخدامات النظائر المشعة في الطب، والمختبرات، ونواتج تجهيز وإستخدام الوقود في محطات الطاقة النووية. ويوضح الجدول (٢) بعض الأمثلة للعناصر المشعة في مياه الشرب، وبما أن كمية المواد المشعة التي يستهلكها الإنسان في مياه الشرب ضئيلة جداً مقارنة بما يتعرض له الإنسان من أشعة كونية ومصادر طبيعية أخرى[2]، تبقى العناصر المشعة ذات أهمية كبيرة في مياه الشرب من النواحي الصحية.

مواصفات مياه الشرب

بعد استعراض أهم العناصر التي تتحكم في جودة مياه الشرب، وتأثيرها على الصحة العامة فإنه تتضح أهمية وجود مواصفات لأكبر عدد ممكن من هذه العناصر في مياه الشرب، وضرورة وجود عمليات التنقية اللازمة للوصول بالمياه إلى حدود تلك المواصفات. إلا أنه يجب الاشارة إلى أن مواصفات المياه لايمكن أن تشمل جميع الملوثات الممكنة، كما أن الأرقام المذكورة في المواصفات قد لاتوفر الحماية الكافية من بعض العناصر، أو قد تكون أقل بكثير من الحد الأقصى الذي يمكن للإنسان أن يستهلكه بدون أن يتأثر صحيا. كل ذلك يمكن إدراكه عند التعرف على الأسس التي تبنى عليها المواصفات التي تعتمد في الغالب على دراسات إحصائية وإحتمالات تتيح نسب مخاطرة معينة ومبنية على أمور عدة منها:

- دراسات معملية تجريبية تجري في الغالب على الحيوانات.
- حوادث إستهلاك سكان بعض المناطق لمياه ملوثة ببعض العناصر.
- مدى توفر التقنية اللازمة لقياس الملوثات وعمليات تنقية المياه.
- المقدرة الإقتصادية على تنقية المياه (مشكلة الدول الفقيرة).
- تخمينات علمية مبينة على خبرات سابقة.

ورغم صعوبة وضع مواصفات شاملة ودقيقة لمياه الشرب للأسباب التي ذكرت سابقا، إلا أن ذلك لايعني ترك الأمر للاجتهادات الخاصة حيث أن هناك دراسات وتجارب سابقة أسفرت عن إيجاد مواصفات قياسية جزئية لمياه الشرب، ويوضح جدول(٣) قائمة جزئية للمواصفات السعودية لمياه الشرب مقارنة بالمواصفات الامريكية ومواصفات منظمة الصحة العالمية.

عمليات التنقية

تختلف عمليات التنقية باختلاف مصادر المياه (جوفية أو سطحية)، وجودة المياه، والمواصفات الموضوعة لمياه الشرب، ويجب الإشارة إلى أن التغير المستمر لمواصفات المياه يؤدي أيضاً - في بعض الأحيان - إلى تغيير في عمليات التنقية، حيث يتم تحديث المواصفات - في الغالب - بزيادة أو خفض الحد الأعلى لتركيز بعض مكونات الماء، وإضافة مكونات جديدة إلى قائمة المواصفات. كل ذلك يأتي نتيجة لعدد من العوامل، مثل التطور في تقنيات تحليل المياه وعمليات التنقية، أو اكتشاف مكونات جديدة لم تكن موجودة في المياه التقليدية أو كانت موجودة ولكن لم يتنبه إلى وجودها في السابق، أو معرفة جديدة ببعض المشكلات التي تسببها بعض المكونات الموجودة أصلا في الماء أو التي نتجت عن بعض عمليات التنقية، وفيما يلي وصف موجز لعمليات التنقية التقليدية المستخدمة للمياه السطحية والمياه الجوفية.

الخاصية	الحد الأقصى (جزء من مليون أو كما موضح)		
	السعودية	الأمريكية	منظمة الصحة العالمية
اللون	١٥ وحدة (*)	١٥	١٥
العكارة	٥ وحدات	–	٥
الطعم	مقبول	–	مقبول
الرائحة	مقبولة	–	مقبولة
الرقم الهيدروجيني	٦,٥ - ٨,٥	٦,٥ - ٨,٥	٦,٥ - ٨,٥
المواد الصلبة الكلية الذائبة	١٠٠ - ١٠٠٠	٥٠٠	١٠٠٠
التوصيل الكهربائي	١٦٠٠ - ١٦٠ (**)	–	–
المغنيسيوم	١٥٠	–	–
الكالسيوم	٢٠٠	–	–
العسر الكلي	٥٠٠	–	٥٠٠
الصوديوم	٢٠٠	–	٢٠٠
الكبريتات	٤٠٠	٢٥٠	٤٠٠
الكلورايد	٢٥٠	٢٥٠	٢٥٠
الألمنيوم	٠,٢	–	٠,٢
الحديد	٠,٣	٠,٣	٠,٣
النحاس	١	١,٣	١,٠
الخارصين	٥	–	–
المنجنيز	٠,١	٠,٠٥	٠,١
الزرنيخ	٠,٠٥	٠,٠٣	٠,٠٥
الكادميوم	٠,٠٠٥	٠,٠٠٥	٠,٠٠٥
السيانيد	٠,٠٥	–	٠,١
الزئبق	٠,٠٠١	٠,٠٠٢	٠,٠٠١
السيلينيوم	٠,٠١	٠,٠٥	٠,٠١
الكروم الكلي	٠,٠٥	٠,١	٠,٠٥
النترات(نيتروجين)	١٠	١٠	١٠
النيتريت	١>	١	–
الفلوريد	٠,٦ - ١,٧	٤	١,٥
الرصاص	٠,٠٥	صفر	٠,٠٥

(*) وحدة لون حقيقي بمقياس الكوبالت البلاتيني.
(**) ميكروسيمينز /سم.

جدول (٣) المواصفات السعودية لمياه الشرب مقارنة بالمواصفات الأمريكية ومواصفات منظمة الصحة العالمية.

• تنقية المياه السطحية

تسُخر عمليات تنقية المياه السطحية بصورة عامة نحو إزالة المواد العالقة التي تسبب ارتفاعا في العكارة وتغيراً في اللون والرائحة . تتكون المواد العالقة من مواد عضوية وطينية ، اضافة إلى بعض الكائنات الدقيقة ، مثل الطحالب والبكتيريا . ونظرا لضآلة وزن الحبيبات العالقة مقارنة بمساحتها السطحية فإنها تبقى معلقة في الماء ولاتترسب . وإضافة إلى ذلك فإن الخواص السطحية والكيميائية لهذه الحبيبات تزيد من اتزانها في الماء ومقاومتها للترسيب .

تعد عمليات التنقية الكيميائية باستخدام عملية التخثير والترويب (Coagulation & Flocculation)هي الطريقة الرئيسية لتنقية المياه السطحية ، حيث تستخدم لهذا الغرض بعض المواد الكيميائية التي تقوم بإخلال اتزان الحبيبات العالقة ، وتهيئة الظروف الملائمة لترسيبها ، وإزالتها في أحواض للترسيب ، ومن المروبات المشهورة كبريتات الألمنيوم وكلوريد الحديديك ، بالإضافة إلى بعض المروبات المساعدة مثل البوليمرات العضوية والبنتونايت والسيليكا المنشطة ، كما يمكن استخدام الكربون المنشط لإزالة العديد من المركبات العضوية التي تسبب تغيرا في طعم ورائحة المياه . يلي عملية الترويب والتخثير عملية الترشيح باستخدام مرشحات رملية لازالة ماتبقى من رواسب ، وأخيراً تأتي مباشرة عملية التطهير للقضاء على الكائنات الدقيقة المرضة حيث أنها تعد الحد الأدنى لكل أنواع المياه في جميع الحالات .

• تقنية المياه الجوفية

تعد مياه الآبار من أنقى مصادر المياه الطبيعية التي يعتمد عليها الكثير من سكان العالم ، إلا أن بعض مياه الآبار ، وخصوصا العميقة منها ، قد تحتاج إلى عمليات تنقية متقدمة ، وباهظة التكاليف ، قد تخرج عن نطاق العمليات التقليدية . وأبسط صورة لهذه العمليات هي إضافة الكلور للتطهير ، ثم ضخ المياه إلى شبكة التوزيع ، ويستخدم التطهير كعملية وحيدة لتنقية مياه بعض الآبار ذات النوعية الجيدة التي تفي بجميع مواصفات المياه ، إلا أن هذه النوعية من المياه هي الأقل وجودا في الوقت الحاضر . لذلك فإن غالبية المياه الجوفية تحتاج إلى عمليات فيزيائية وكيميائية ـ بالإضافة إلى التطهير ـ إما لإزالة بعض الغازات الذائبة مثل ثاني أكسيد الكربون وكبريتيد الهيدروجين ، أو لإزالة بعض المعادن مثل الحديد والمنجنيز والمعادن المسببة لعسر الماء .

وتتم إزالة الغازات الذائبة باستخدام عملية التهوية التي تقوم أيضا بإزالة جزء من الحديد والمنجنيز عن طريق الأكسدة ، وقد يكون الغرض من التهوية هو مجرد التبريد، كما يحدث لبعض مياه الآبار العميقة التي تكون حرارتها عالية وتستدعي تبريدها حفاظا على كفاءة عمليات التنقية الأخرى . ويمكن إزالة معادن الحديد والمنجنيز بكفاءة في عمليات الأكسدة الكيميائية باستخدام الكلور أو برمنجنات البوتاسيوم .

إن الطابع العام لعمليات تنقية المياه الجوفية هو إزالة العسر بطريقة الترسيب ثم الترشيح بواسطة المرشحات الرملية أو المرشحات مزدوجة الوسط . ويستخدم في عمليات إزالة العسر الجير المطفأ (هيدروكسيد الكالسيوم) بالإضافة ـ في كثير من الأحوال ـ إلى استخدام رماد الصودا (كربونات الصوديوم) ، وهناك مركبات بديلة يمكن إستخدامها لإزالة عسر المياه ، كاستخدام الصودا الكاوية (هيدروكسيد الصوديوم).

وتحتاج المياه بعد عملية الترسيب إلى عملية موازنة قبل وصولها إلى المرشحات وشبكة التوزيع ، وذلك بهدف إذابة رواسب كربونات الكالسيوم المتبقية في المياه بعد عملية الترسيب ، ومنع ترسبها في المرشحات وأنابيب الشبكات . ويستخدم لهذا الغرض غالبا ثاني أكسيد الكربون أو حامض الكبريت لتعديل الرقم الهيدروجيني ، والمحافظة على المياه في حالة متزنة كيميائيا بالنسبة لكربونات الكالسيوم ، بحيث يمنع الترسيب في الشبكات وتآكل الأنابيب ، وتأتي عملية التطهير بعد الترشيح ، وذلك لقتل الكائنات الدقيقة المرضة ، حيث يستخدم لهذا الغرض عدد من العمليات ، مثل استخدام الكلور بصوره المختلفة ، أو الأشعة فوق البنفسجية ، أو الأوزون ، أو مركبات مطهرة أخرى .

• إزالة المخلفات

هناك مصدران رئيسان للمخلفات في محطات تنقية المياه، الأول هو الحمأة المترسبة في أحواض الترسيب ، والثاني هو مياه الغسيل الناتجة عن غسل المرشحات . وهذه المخلفات تحتاج إلى معالجة لتسهيل عملية التخلص منها بطرق بيئية سليمة ، أو الاستفادة منها بإعادة إستخدامها .

تحديات جديدة وتقنيات متطورة

بالرغم من أن طرق التنقية التقليدية السالفة الذكر لاتزال هي الطابع العام في كثير من دول العالم ، إلا أن السنوات الأخيرة شهدت تطوراً مذهلاً وتغيراً ملحوظاً في إتجاهات تنقية مياه الشرب في الدول الصناعية وبعض الدول النامية . وقد جاء هذا التحول كنتيجة حتمية للعديد من العوامل التي من أبرزها تلوث الكثير من مصادر المياه بالمخلفات الصناعية والزراعية ومخلفات المدن ، كما أن الشح في مصادر المياه الصالحة للشرب في العديد من الدول أدى إلى البحث عن مصادر مياه أخرى غير المصادر التقليدية ، مما أدى إلى استخدام تقنيات متقدمة باهظة التكاليف ، ومن التحديات الجديدة والتقنيات المقترحة للتغلب عليها مايلي:-

• تلوث مصادر المياه

يعد تلوث الكثير من مصادر المياه بالمواد العضوية المصنعة السمة الرئيسية لحوادث التلوث في العالم ، وتصل هذه المواد إلى مياه الشرب في الغالب عن طريق المخلفات الصناعية والزراعية ومخلفات المدن ، وقد كانت المخلفات في السابق تحتوي على مواد عضوية طبيعية يمكن إزالتها بواسطة الطرق الحيوية في محطات معالجة المخلفات ، ثم التخلص منها بأمان دونما تأثير على مصادر المياه . لكن التطور الصناعي السريع خلال نصف القرن الماضي كان من نتائجة تصنيع الملايين من المواد العضوية الغريبة على

البيئة والتي يصعب إزالتها بطرق المعالجة الحيوية لمياه الصرف والتقنية التقليدية لمياه الشرب ، كان الهدف من تصنيع بعض هذه المواد العضوية القضاء على الكائنات الحيوية الدقيقة في البيئة (كما هو الحال في المبيدات) ، إلا أن وصول هذه المواد إلى مصادر المياه أصبح مشكلة عالمية ، فعلى سبيل المثال فقد تم في عام ١٩٨٣م إكتشاف أكثر من ٣٠٠ مركب عضوي في مياه الشرب في الولايات المتحدة الأمريكية ، وفي كل عام تكتشف مواد أخرى جديدة[2] . وأدى إكتشاف هذه المواد في المياه إلى إستخدام تقنيات جديدة تضاف إلى التقنيات التقليدية لتنقية المياه .

وهناك العديد من البحوث والدراسات تجري حالياً لإستخدام تقنيات متطورة جداً لتنقية بعض المياه الملوثة ، بل إن بعض المحطات في الولايات المتحدة وأوربا قد شرعت في إستخدام هذه التقنيات ببناء محطات تجريبية ، وفي بعض الأحوال محطات متكاملة تستخدم تقنيات معينة ، مثل الإدمصاص بواسطة الكربون المنشط[3] ، وعمليات النزع بالتهوية[4] لإزالة العديد من الملوثات العضوية ، مثل الهيدروكربونات ، وبعض المبيدات ، والمركبات العضوية الهالوجينية .

• ازدياد الطلب وشح المصادر

تعاني الكثير من الدول في العصر الحاضر من نقص شديد في مصادر المياه نتيجة للجفاف والنمو السكاني ، كما أن التقدم في الصناعة وإرتفاع مستوى المعيشة في بعض الدول النامية تبعه استهلاك سريع لمصادر المياه التقليدية مع نقص في الموارد المائية غير المتجددة . إضافة إلى ماسبق ، فإن برامج الترشيد في إستهلاك المياه تكاد تكون معدومة في كثير من الدول التي تعاني من شح المياه . وكوسيلة لسد العجز في مصادر المياه التقليدية فقد لجأت العديد من الدول ، كما هو الحال في معظم دول الخليج العربي ، إلى تحلية مياه البحر والمياه الجوفية عالية الملوحة . وتعد تقنية تحلية المياه المالحة من التقنيات الحديثة نوعاً ما ، وتخضع في بعض صورها إلى تطور سريع في وقتنا الحاضر .

• الآثار الصحية لنواتج الكلور

يعد الكلور أشهر المواد التي تستخدم في تطهير مياه الشرب ، حيث أدى استخدامه منذ حوالى ١٠٠ عام إلى الحد من إنتشار الكثير من أمراض المياه . إلا أنه قد حصل مؤخراً تحول مفاجيء حول النظر إلى الكلور كمادة مأمونة الإستخدام في مياه الشرب . وقد بدأ هذا التحول في عام ١٩٧٤م عندما نشر أول تقرير يوضح أن تفاعل الكلور في المياه يؤدي إلى تكوين مادة الكلوروفورم السامة[5] . وتوالت الدراسات بعد ذلك وأثبتت أن تفاعل الكلور مع المواد العضوية الهيومية الموجودة في كثير من المياه السطحية وفي مياه الصرف الصحي يؤدي ـ تحت الظروف البيئية لتلك التفاعلات ـ إلى تكوين مادة الميثانية ثلاثية الهالوجين (Trihalomethanes) ، ومواد عضوية هالوجينية أخرى ، وتشمل ا لمواد الميثانية ثلاثية الهالوجين عدة مركبات ، من أهمها الكلوروفورم ، والبروموفورم دايكلور وميثان ، والدايبروموكلوروميثان . ويعتقد أن هذه المواد وغيرها من نواتج الكلورة قد تسبب السرطان ، ووضعت مصلحة حماية البيئة الأمريكية ومنظمة الصحة العالمية الحد الأعلى لتركيز مجموع المواد الميثانية ثلاثية الهالوجين في مياه الشرب عند ١ر٠ ملجم/لتر .

ونظراً لأن التركيب الكيميائي للمواد العضوية الهيومية غير معروف بالتفصيل فإن مسارات التفاعلات مع الكلور والطرق التي يتم بها تكوين النواتج غير واضحة تماماً في الوقت الحاضر ، وهناك العديد من البحوث الجارية للكشف عن أسرار هذه التفاعلات .

وقد أدى اكتشاف نواتج الكلورة في مياه الشرب إلى البحث عن أفضل السبل للحد من المشكلة ، وإلى تكثيف الدراسات حول نواتج تطهير المياه . وتتركز الحلول المقترحة للتخفيف من مشكلة نواتج الكلورة على النقاط التالية:

ـ استخدام مطهرات أخرى بديلة عن الكلور .
ـ إزالة المواد الهيومية قبل وصولها إلى مرحلة الكلورة.
ـ إزالة المواد العضوية المكلورة بعد تكوينها .

تؤدي جميع الحلول المذكورة ـ من الناحية النظرية ـ إلى الإقلال من تركيز المواد العضوية المكلورة في المياه المعالجة ، إلاأن الدراسات التي أجريت وما زالت تُجرى تدل على أن المشكلة ليست سهلة وأن إمكانية إستخدام أي من الحلول ودرجة الإستفادة منه يختلف بإختلاف مصادر المياه وطبيعة التنقية في المحطات القائمة . ومن بدائل الكلور المقترحة التي تم دراستها : الأوزون والكلورامين وثاني أكسيد الكلور ، وقد ثبت أن هذه البدائل لاينتج عنها المواد العضوية المكلورة التي تنتج عن الكلور ، مثل المواد العضوية ثلاثية الهالوجين . غير أن الحماس لبدائل الكلور قد تناقص مؤخراً لأنه اتضح أن بدائل الكلور تنتج عنها أيضا مواد أخرى عضوية وغير عضوية تعد ضارة بالصحة ، ويجب إزالتها من المياه بعد التنقية . فمثلا يؤدي إستخدام ثاني أكسيد الكلور إلى تكوين الكلورايت والكلوريت ، بالإضافة إلى ثاني أكسيد الكلور المتبقي بعد المعالجة[6] ، كما أن ثاني أكسيد الكلور يمكن أن يعاد تكوينه داخل شبكة التوزيع مما يؤدي إلى ظهور روائح تشبه رائحة الكيروسين أو المبيدات الحشرية في مياه الشرب[7] ، أما الأوزون فينتج عن إستخدامه مركبات عديدة مثل الفورمالدهايد والأسيتالدهايد ،كما ينتج عن الكلورامين مركبات مثل كلوريد السيانوجين[8] .

تعد عملية الإدمصاص بإستخدام الكربون المنشط من أوائل العمليات التي درست لإزالة المواد العضوية الهيومية قبل مرحلة الكلورة كوسيلة للإقلال من نواتج الكلورة ، إلا أن هذه العملية تلاقي معارضة بسبب تكلفتها الكبيرة وضعف كفاءتها . ويعتقد أن تحسين كفاءة طرق التنقية التقليدية ،(الترويب و الترسيب و الترشيح وغيرها)، تؤدي في كثير من الأحوال إلى إزالة كمية كبيرة من المواد الهيومية قبل عملية الكلورة[9] .

ويمكن إزالة جزء كبير من نواتج عملية الكلورة بعد تكوينها بإستخدام عدة طرق ، منها عملية النزع بالتهوية لإزالة المواد المتطايرة ، وعملية الإدمصاص بإستخدام الكربون المنشط ، إلا أن جميع هذه العمليات تضيف عبئاً مادياً كبيراً على

محطات تنقية المياه . لذلك فإن إختيار الحل الأمثل للتحكم في نواتج الكلورة يجب بناؤه على دراسة مفصلة لطبيعة المياه وطرق التنقية القائمة آخذين في الإعتبار كفاءة العمليات المقترحة وتكلفتها .

• التلوث داخل شبكات التوزيع

على الرغم من أن نوعية المياه عند مغادرة محطة التنقية تكون مقبولة ، إلا أنها قد تتغير وتتلوث عند مرورها داخل شبكة التوزيع والشبكات المنزلية . وقد يحدث التغير نتيجة لعوامل كيميائية أو حيوية أو نتيجة للتلوث من خارج الشبكة ، ويعد التآكل وتحلل مواد الشبكة من أهم مصادر التلوث داخل الشبكة ، حيث يؤدي إلى إذابة بعض العناصر من مواد الأنابيب والوصلات والطبقات الواقية التي توضع للحد من التآكل ، وتنتج ألياف الأسبستوس وكلوريد الفينيل ومواد أخرى تنتج عن إستخدام بعض الأنابيب البلاستيكية ومواد اللحام . كما أن ترسب بعض المواد الكيميائية مثل أملاح الحديد والمنجنيز والكربونات قد يؤثر سلبا على نوعية المياه في الشبكة ، وربما تؤدي بعض المواد الكيميائية المستخدمة في المحطات إلى تدهور نوعية المياه داخل الشبكة ، فمثلايؤدي بقاء نسبة معينة من ـ الكلور بعد عمليات التنقية ـ مع وجود نسبة من المواد الهيومية في المياه إلى استمرار تكوين المواد الميثانية ثلاثية الهالوجين داخل الشبكة ، والتي يزداد تركيزها بإزدياد زمن مكوث المياه في الشبكة ووجود الظروف الملائمة من درجة الحرارة والرقم الهيدروجيني .

ومن الممكن أن تسوء نوعية المياه داخل الشبكة نتيجة للتلوث الحيوي ، حيث قد تصل الكائنات الدقيقة من بكتيريا وفيروسات وغيرها إلى داخل الشبكة نتيجة لعدم كفاءة عمليات التنقية ، أو بسبب تلوث خارجي للشبكة بواسطة مياه الصرف الصحي . وقد تتكاثر الكائنات الدقيقة في المياه ، أو على الأسطح الداخلية للأنابيب مما يؤدي إلى انتشار بعض أمراض المياه ، كما تساهم بعض الكائنات الدقيقة في العديد من التفاعلات الجيوكيميائية التي تساهم في بعض عمليات التآكل .

وبالنظر إلى أنواع وأسباب التلوث داخل الشبكات يتضح أنه للتحكم فيه يجب العناية في إختيار مواد الشبكات وتصميمها وصيانتها ، و العناية بعمليات التنقية في المحطات والرفع من كفاءتها، فمثلاً للتحكم في التآكل يجب ممارسة برنامجاً محدداً يساعد على إزالة الظروف التي تؤدي اليه ، مثل التحكم في الرقم الهيدروجيني ، وإضافة بعض المواد الكيميائية . ويجب لمنع ترسب أكاسيد الحديد والمنجنيز إستخدام عمليات الأكسدة والترسيب والترشيح . كما يمكن منع ترسب كربونات الكالسيوم في الشبكة بالحفاظ على الإتزان الكربوني للمياه عند مغادرة المحطة بإضافة المواد الكيميائية اللازمة .

• مشكلة الفلورايد

من المعلوم أن هناك علاقة وثيقة بين مايستهلكه الإنسان من الفلورايد وصحة الأسنان ، وقد وضعت مواصفات مياه الشرب حدوداً معينة لتركيز الفلورايد في المياه تتناسب مع كمية المياه التي يستهلكها الإنسان خلال فصول السنة المختلفة ، وفي السابق كان الجدل حول مدى ضرورة إضافة الفلورايد إلى مياه الشرب في حالة وجوده بنسب أقل من المواصفات ، حيث أن الإنسان يمكن أن يحصل على الفلورايد من مصادر أخرى عدا مياه الشرب ، وزاد من هذه المشكلة ظهور العديد من التقارير المتناقضة حول العلاقة بين نسبة الفلورايد في مياه الشرب وصحة الأسنان بناءاً على دراسات لمجتمعات تحتوى مياهها على النسبة اللازمة من الفلورايد ومجتمعات أخرى تقل نسبة الفلورايد في مياهها عن الحد المطلوب . الا أن ماورد في السابق حول موضوع الفلورايد كان أقل حساسية مما ورد مؤخراً في أحد التقارير الطبية الأمريكية عن إحتمال وجود علاقة بين نسبة الفلورايد في المياه والإصابة بالسرطان ، حيث سارعت الجهات المعنية هناك إلى التأكيد على أن هذه المعلومات تحت الدراسة ولم يتوصل فيها إلى قرار نهائي يؤكد ذلك الإدعاء[10].

• النظائر المشعة

أدى اكتشاف بعض النظائر المشعة مثل الرادون والراديوم واليورانيوم في بعض مصادر المياه الجوفية إلى البحث الجاد عن أفضل السبل لإزالتها . ومن التقنيات التي تدرس حالياً لهذا الغرض ـ بالإضافة إلى العمليات التقليدية ـ عمليات التبادل الأيوني والإدمصاص بإستخدام الألومينا المنشطة وعمليات التناضح العكسي[11].

المراجع

1. Water Treatment Principles and Design, James M. Montgomery, Consulting Engineers, Inc., John Wiley & Sons, 1985, pp 10 - 13 .
2. Koening, L., "Fundamental Considerations in the Removal of Organic Substances from Water-A General Overview, In Control of Organic Substances in Water and Wastewater, B. B. Berger, Editor, EPA-600/8-83-011, 1983 .
3. Digiano, F. A., "Adsorption of Organic Substances in Drinking Water", In Control of Organic Substances in Water and Wastewater, B. B. Berger, editor EPA-600/8-83-011, 1983 .
4. McCarty, P. L., "Removal of Organic Substances in Water and Wastewater, B. B. Berger, editor, EPA-600/8-83-011, 1983 .
5. Rook, J., "Formation of Haloforms During Chlorination of Natural Waters", Water treatment Exam., 1974, 23, pp234 .
6. Gordon, G. et. al., "Minimizing Chlorite Ion and Chlorate Ion in Drinking Water Treated with Chlorine Dioxide", J. Amer, Water Works Assoc., 1990, Vol. 82, No 4, pp160 - 165.
7. Hoehn, R. C. et. al., "Household Odors Associated with the use of Chlorine Dioxide", J. Amer. Water Works Assoc., 1990, Vol. 82, No. 4, pp166 - 172 .
8. Krasner, S. W. et. al., "The Occurence of disinfection Byproducts in U. S. Drinking Water", J. Amer. Water Works Assoc., 1989. Vol. 81, No. 8, pp41-53 .
9. Edzwald, J. K., "Coagulation - Sedimentation - Filteration Processes for Removing Organic Substances from Drinking Water". In Control of Organic Substances in Water and Wastewater, B. B Berger, editor, EPA-600/8-83-011, 1983 .
10. Main Stream, "Reports Linking Flouride to Cancer are Premature", Amer, Water Works Assoc., 1990, Vol. 34, No. 2
11. Longtin, J. P., "Occurrence of Radon, Radium, and Uranium in Ground Water", J. Amer. Water Works Assoc., 1988, Vol.80, No. 7, pp84 - 93.