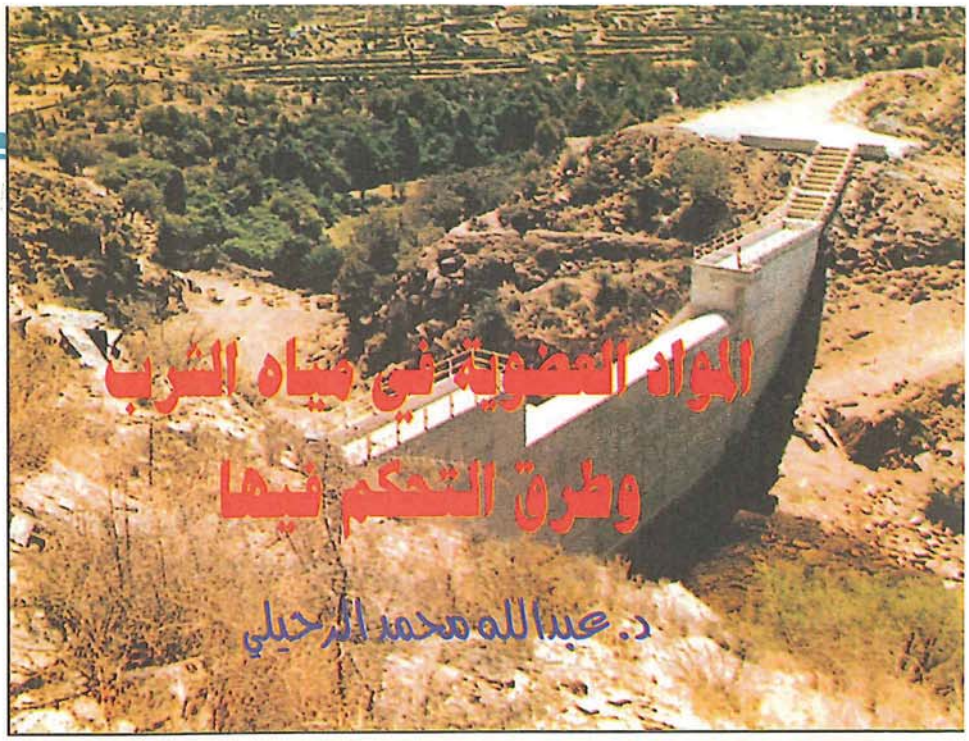


المواد العضوية في مياه الشرب وطرق التحكم فيها

د. عبدالله محمد الرحيلي

أدى إكتشاف بعض المركبات العضوية في عدد من مصادر المياه وفي المياه المعالجة خلال النصف الثاني من هذا القرن إلى تحول كبير في أساليب معالجة المياه ، وفي النظرة إلى مصادر المياه وحمايتها من التلوث البيئي . كما أن مواصفات جودة المياه قد تطورت بما يتوائم مع اكتشاف مواد عضوية عديدة ومتنوعة في مياه الشرب . وتأتي المواد العضوية إلى مصادر المياه إما نتيجة لعمليات حيوية طبيعية تحدث في تلك المصادر أو كعرض من أعراض تلوث المياه بالمخلفات الصناعية والزراعية ومخلفات المدن .

وقد كان الاعتقاد السائد سابقاً هو أن المواد العضوية ذات المنشأ الطبيعي ، خصوصاً في المياه السطحية ، تؤثر فقط في طعم ورائحة الماء ، ويمكن التعامل معها بإستخدام بعض الأساليب التقليدية لمعالجة هذه الظاهرة ، إلا أنه اكتشف في عام ١٩٧٤م أن هذه المواد تشكل بتفاعلها مع الكلور الذي يستخدم بشكل واسع في تطهير المياه عدداً من المركبات العضوية الهالوجينية ذات الأخطار الكبيرة على الصحة .

وتشكل المركبات العضوية المصنعة خطراً كبيراً على الصحة العامة ، وقد لوحظ ذلك بوضوح في تلوث بعض مصادر المياه في العديد من الدول الصناعية ، وتتألف هذه الملوثات من مركبات عضوية عديدة بعضها لا تعرف 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 العديد من المواد الكيميائية التي تستخدم في الصناعات المختلفة والمبيدات الزراعية والحشرية وأدوات التنظيف . وتجدر الإشارة إلى أن تقنيات القياس الموجودة حالياً تكفي فقط لتحديد عدد قليل من المواد العضوية في المياه ، حيث أنه قد أمكن قياس حوالي ٥٠٠ فقط من المركبات العضوية البالغ عددها حوالي مليونين في مياه الشرب .

وكدليل على حجم المشكلة المتعلقة بالمواد العضوية في المياه فإن هيئة حماية البيئة الأمريكية قامت في عام ١٩٧٦م بإعداد قائمة بالملوثات ذات الاهتمام الأول (Priority Pollutants) في تهديد مصادر المياه ، تحتوي على ١٢٩ من الملوثات ، تحتل المواد العضوية ١١٤ منها ، كما أن هذه القائمة في ازدياد مستمر مع توفر معلومات وخبرات جديدة .

وفي هذه المقالة سنستعرض بإيجاز مصادر وخصائص المواد العضوية في مياه الشرب وأساليب التحكم فيها ، كما سنتحدث عن عملية الإمتزاز بإستخدام الكربون المنشط كإحدى العمليات المهمة في هذا الصدد .

مصادر وخصائص المواد العضوية في المياه

يمكن حصر المصادر الرئيسة للمواد العضوية في المياه في النشاطات التالية :-

- ذوبان المواد العضوية الموجودة طبيعياً في المياه .
- المركبات العضوية الناتجة عن التفاعلات الكيميائية التي تحدث أثناء تطهير ومعالجة ونقل المياه .
- الملوثات الناتجة مباشرة عن الاستخدامات التجارية للمواد الكيميائية المصنعة .

هناك عدد من المواد العضوية الطبيعية التي وُجد أنها تسبب بعض الطعم والرائحة غير المقبولين في مياه الشرب ، كما يمكن أن تصل المواد الكيميائية العضوية السامة إلى مياه الشرب . ومن أمثلتها المواد العضوية المسرطنة المعروفة والتي تم إكتشافها في مياه الشرب مثل كلوريد الفينيل والبنزين ومواد أخرى ، إضافة إلى أن بعض المواد التي يشتبه في أنها مسرطنة مثل الكلوروفورم يتم إكتشافها من وقت لآخر في مياه الشبكات العامة عند تركيزات منخفضة جداً . وهناك سؤال لم يتم الإجابة القطعية عليه وهو «عند أي مستوى تصبح الملوثات العضوية الطفيفة ذات خطر مباشر على صحة الإنسان ؟»

تشكل بعض المواد مثل المبيدات والهدروكربونات المكلورة الناتجة عن مصادر صناعية جزءاً بسيطاً من كتلة المواد العضوية الموجودة في معظم أنظمة المياه ، حيث تكون غالباً في حدود تركيز يقاس بوحدات الجزء في البليون ، بينما يصل تركيز المواد العضوية الكلية مقاسة بمقياس الكربون العضوي الكلي (Total Organic Carbon-TOC) إلى حدود عدة أجزاء من المليون .

ويوضح جدول (١) حدود تركيز تلك المواد في عدد من مصادر المياه وفي مياه المستنقعات .

● المواد العضوية الطبيعية (المركبات الهيومية)

تتكون المواد العضوية الطبيعية في مصادر المياه نتيجة لتفاعلات كيميائية وحيوية للمواد العضوية الناتجة عن التربة

مصادر المياه	المواد العضوية الكلية (TOC)
المياه الجوفية	٠,١ – ٢
المياه السطحية	١ – ٢٠
مياه البحر	٠,٥ – ٥
المستنقعات	٨٠ – ٢٥٠

جدول (١) حدود تركيز المواد العضوية في بعض مصادر المياه (ملجم/لتر) .

والنباتات ، ويطلق على هذه المواد مجتمعة المواد الهيومية (Humic Substances) . ويتم خلال عملية تكوين هذه المواد أكسدة كيميائية وحيوية للكربوهيدرات والبروتينات بواسطة تفاعلات معقدة تتم في الوسط المائي ، حيث تتحد المركبات الناتجة مع نواتج تحلل اللجنين والتانين من النباتات مع إفرازات الكائنات الدقيقة الحية والميتة .

وليس هناك وصف شامل لطبيعة التفاعلات المكونة لتلك المواد ، ولا للتركيب الكيميائي الدقيق للمركبات الناتجة ، إلا أن المواد الهيومية تصنَّف بشكل عام إلى أحماض هيومية (Humic Acids) وأحماض فلفية (Fulvic Acids) ، وذلك بناءاً على ذوبانية كل منها في الأحماض والقواعد . فالأحماض الهيومية تذوب في الوسط القاعدي وترسب في الوسط الحمضي ولها وزن جزيئي قد يصل إلى ٢٠٠,٠٠٠ ، بينما تذوب الأحماض الفلفية في الوسط الحمضي ولها وزن جزيئي يتراوح بين (٢٠٠–١٠٠٠) . ويُعتقد بأن المواد الهيومية لها دور كبير في تكوين العديد من المركبات العضوية المكلورة والمركبات الميثانية ثلاثية الهالوجين (THM'S) الناتجة عن استخدام الكلور في تطهير مياه الشرب .

● نواتج المعالجة والتطهير والنقل

إن استخدام المواد الكيميائية في معالجة المياه سواءاً لعمليات التطهير أو عمليات الترسيب قد يتسبب في تكوين أو إضافة مواد جديدة لم تكن موجودة أصلاً في مياه الشرب .

وتلاقي المركبات الميثانية ثلاثية الهالوجين (THM'S) والمواد العضوية المكلورة الأخرى اهتماماً كبيراً يشغل العاملين في حقل المياه ، حيث أن هذه المركبات التي يشتبه في أنها مسرطنة تتكون كما أسلفنا نتيجة إتحاد الكلور مع المواد العضوية الطبيعية في المياه . كذلك فإن البحث عن بدائل عن الكلور أدى إلى إستخدام مركبات مطهرة مثل الأوزون ، والتي هي أيضاً تؤدي إلى تكوين بعض المركبات العضوية الغريبة على المياه مثل الألديهايدات والكيتونات وأحماض الكربوكسيل والفثالات ، بالإضافة إلى ذلك فإن بعض البوليمرات التي تستخدم كوسائل مساعدة في عمليات التخثير والترويب الكيميائي قد يتبقى جزء ضئيل منها في مياه الشرب ، هذا بالإضافة إلى وجود تركيزات ضئيلة من بعض المركبات العضوية الأخرى مثل رابع كلوريد الكربون (CCL_4) في بعض مياه الشرب ، حيث أن هذا المذيب الكيميائي يستخدم في تنظيف أسطوانات الكلور .

وتعد مواد أنابيب المياه وكذلك بعض الطلاءات التي تدهن بها الأنابيب من الداخل لحمايتها من التآكل مصدراً آخراً قد يضيف بعض المركبات العضوية إلى مياه الشرب أثناء نقلها في شبكات التوزيع . فعلى سبيل المثال فإن بعض المركبات العطرية متعددة الأنوية (PNA) يمكن أن تنتقل إلى المياه من طبقات قطران الفحم التي تغلف بها بعض أنابيب المياه من الداخل ، كذلك فإن استخدام الأنابيب البلاستيكية في نقل المياه قد يتسبب في التالي :-

– إنحلال بعض الشوائب الأولية من البلاستيك المبلمر ، مثل إنحلال كلوريد الفينيل من أنابيب (PVC) .

– تسرب المذيبات من الغراء المستخدم في وصل الأنابيب ، من أمثلة ذلك ميثيل إيثيل كيتون (MEK) ، وثالث كلور الإيثين (TCE)، ورابع كلور الإيثين (PCE) .

– نفاذ المركبات العضوية من التربة إلى داخل الأنابيب .

● المركبات العضوية الصناعية

يمكن أن تتعرض مصادر المياه ومياه الشرب العامة لعدد من المركبات العضوية المصنعة والتي تستخدم في النشاطات الصناعية والزراعية ، وكذلك ما يستهلك منها في الاستخدامات والنشاطات داخل المدن ، وعلى الرغم من أن المياه السطحية هي أكثر عرضة للتلوث بهذه المركبات ، إلا أن المياه الجوفية يمكن أن يصلها التلوث أيضاً . وتتعرض المياه الجوفية في العادة للتلوث من مصادر معينة ومعروفة حول تلك المصادر (Point Sources) بينما تتعرض المياه السطحية غالباً للتلوث العضوي من مصادر متداخلة ومتنوعة قد لاتكون محددة المعالم (Non-point Sources) ، كما أن المصانع الكبيرة عادة تكون موجودة بالقرب من المسطحات المائية الرئيسية .

وتشكل الصناعات التي تستخدم كميات كبيرة من المواد الكيميائية في عملياتها الصناعية أهم مصادر التلوث بالمواد العضوية ، يليها محطات معالجة مياه الصرف الصحي كمصادر تلوث محدودة . وتعد المبيدات الزراعية أيضاً من المصادر المهمة في التلوث العضوي لمصادر المياه ، خصوصاً تلك التي تحتوي على مواد مقاومة للتحلل الحيوي في البيئة مثل مبيدات (DDT) ، بينما يكون الأثر البيئي أقل خطراً مع المبيدات القابلة للتحلل الحيوي مثل مبيدات الفوسفات العضوي . وتجدر الإشارة إلى أن طرق القياس المتوفرة حالياً تستطيع تقدير تركيزات عدد ضئيل من الملوثات العضوية في حدود المستويات الموجودة في المياه ، لكن التطور السريع والهائل في أجهزة القياس سوف يؤدي إلى إمكانية قياس عدد أكبر من هذه المركبات مستقبلاً . وقد تصل الملوثات العضوية المصنعة إلى مصادر المياه بالطرق التالية :-

– التخلص من الفضلات الكيميائية في مدافن النفايات الصلبة .

– حوادث التسرب أثناء تخزين ونقل المواد الكيميائية .

– مياه الصرف من المصانع والنشاطات التجارية .

– التخلص من مياه الصرف الصحي مباشرة إلى المسطحات المائية أو بصورة غير مباشرة بحقن الخزانات الجوفية .

إزالة المواد العضوية من المياه

يمكن إزالة المواد العضوية من المياه باستخدام عدد من عمليات المعالجة والتي تشمل النزع بالتهوية ، الإمتزاز باستخدام الكربون المنشط ، والتبادل الأيوني ، والتناضح العكسي ، والأكسدة ، والترويب ، والترسيب . وتعد بعض هذه العمليات من الأساليب الحديثة والجديدة على تقنيات

معالجة المياه ، خصوصاً عند استخدامها لغرض إزالة المواد العضوية ، كما أن بعضها يعد من أكثر عمليات المعالجة تكلفة ، ولا يتم إستخدامه إلا في حالة إخفاق الأساليب التقليدية لمعالجة المياه في السيطرة على مشكلة المواد العضوية . وتتفاوت العمليات المذكورة في كفاءتها لإزالة المواد العضوية ، حيث أن كلاً منها يمكن أن يكون مناسباً لبعض المواد العضوية وليس لجميعها ، ونستعرض فيما يلي إمكانات كل عملية والمواد التي يمكن أن تزيلها :-

● النزع بالتهوية

تستخدم عملية النزع بالتهوية (Air Stripping) في إزالة المواد العضوية المتطايرة ذات الذوبانية المنخفضة في المياه والتي لها وزن جزيئي منخفض ، مثل الكلوروفورم ، والبنزين ، والبروموفورم ، والكلوروبنزين ، ورابع كلوريد الكربون ، والهيكسان والديكان .

● الأكسدة والترسيب الكيميائي

ينجم عن عمليات الأكسدة (Oxidation) بإستخدام الكلور أو برمنجنات البوتاسيوم أو مؤكسدات أخرى تحويل المواد العضوية الطبيعية مثل الأحماض الهيومية والأحماض الفلفية إلى مركبات يمكن ترسيبها لاحقاً بواسطة عمليات التخثير والترويب (Coagulation) بإستخدام المروبات المشهورة مثل الشب ـ كبريتات الألمنيوم $[Al_2(SO_4)_3]$ ـ والبوليمرات المساعدة في الترسيب . كما أن هذه العمليات يمكن أن تكون بمثابة خطوة أولى تسبق عمليات أكثر كفاءة مثل النزع بالتهوية والإمتزاز بالكربون المنشط والتبادل الأيوني ، حيث يمكن بهذا الأسلوب التحكم في عدد كبير من الملوثات العضوية الموجودة في المياه .

● التبادل الأيوني

يمكن بإستخدام راتنجات التبادل الأيوني (Ion Exchange Resins) إزالة بعض المواد العضوية ذات الذوبانية العالية في المياه والتي لها أوزان جزيئية صغيرة . من أمثلة تلك المواد ريزوركينول ، والفينول ، وأحماض عضوية أخرى .

● التناضح العكسي

تستخدم أغشية التناضح العكسي (Reverse Osmosis) عادة في مجال المياه لإزالة الأملاح من المياه الجوفية ومياه البحر ، كما أن لهذه العملية كفاءة عالية في إزالة العديد من المواد العضوية ، وتخضع في الوقت الحاضر إلى تطور هائل على جميع الأصعدة . إلا أن استخدام التناضح العكسي لإزالة المواد العضوية فقط يعد من الأمور المكلفة جداً ، لذلك فإن العملية لا تسخر لإزالة المواد العضوية ، بل إن إزالة تلك المواد تحدث متزامنة مع إزالة الأملاح عند استخدام هذه التقنية لتحلية المياه المالحة .

● الإمتزاز بالكربون المنشط

يمكن إستخدام الكربون المنشط في إزالة المركبات العضوية المقاومة للتحلل البيئي ، مثل المبيدات ، والعطريات متعددة الأنوية (PNA) ، ولندان ، وأركلور ١٢٣٢ ، وبيرين ، وأركلور ١٢٥٤ ، ودايألدرين ، وألدرين .

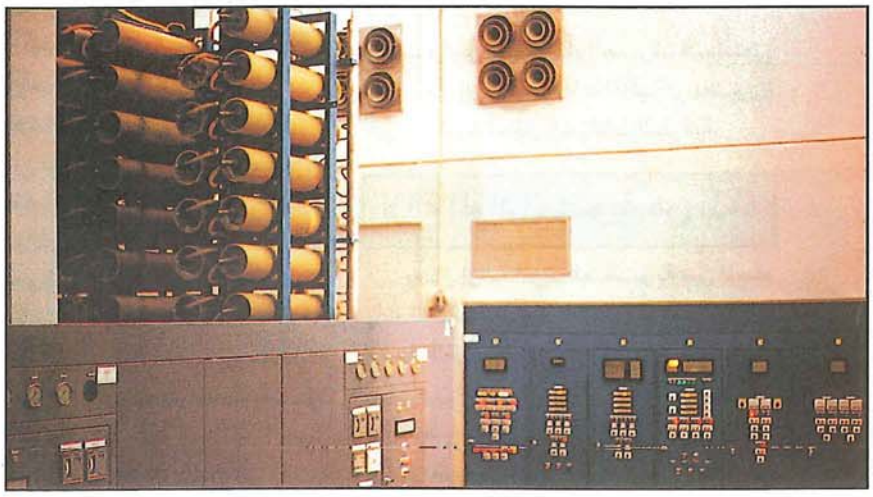
وقد أصبح إستخدام عملية الامتزاز (Adsorption) على السطوح الصلبة وخصوصاً الكربون المنشط من العمليات الواسعة الإستخدام في معالجة المياه العامة ومياه الصرف .

ويمكن تعريف عملية الامتزاز على أنها عملية « تجميع أو تركيز المواد على سطح أو فاصل بين وسطين » ، كأن يكون ذلك بين سائل وسائل ، غاز وسائل ، غاز ووسط صلب ، أو سائل ووسط صلب ، وتسمى المادة التي يتم إزالتها بالمادة المتزه (Adsorbate) والوسط الذي يتم عليه تركيز تلك المادة بوسط الإمتزاز (Adsorbent) ، ويكون الكربون المنشط في حالة إستخدامه في إزالة المواد العضوية من المياه هو وسط الإمتزاز .

ويُصنع الكربون المنشط (Activatd Carbon) تجارياً من مواد خام متنوعة تشمل الخشب ، والفحم البني (Lignite) ، والفحم ، والعضم ، والبقايا النفطية ، وقشور جوز الهند . ويتم تنشيط المادة الخام في العادة في جو يحتوي على أول وثاني أكسيد الكربون ، والأكسجين ، وبخار الماء ، والهواء أو غازات أخرى مختارة ، عند درجة حرارة تقع بين ٣٠٠ – ١٠٠٠ مْ ، يلي ذلك التبريد السريع بالهواء أو الماء . ونظراً لكثرة الشوائب في المواد الخام وللتفاوت في درجات الحرارة بين طبقات الكربون أثناء عملية التنشيط ، فإن سطوح الكربون ومساماته الناتجة تكون غير متجانسة ويصعب توصيفها ،وتعتمد عملية الامتزاز على العوامل التالية :-

* **كفاءة الامتزاز :** وتعتمد على عدد من العوامل تشمل طبيعة الكربون وخصائصه ، طبيعة المواد العضوية المراد إزالتها ، وخصائص المياه التي يستخدم معها الكربون ، والصورة التي يستخدم فيها الكربون .

تعد المساحة السطحية وحجم المسامات للكربون المنشط من أهم الخصائص في عملية الامتزاز ، حيث أن الخصائص تحدد مدى كفاءة عملية الإمتزاز بتحديد طاقة الكربون للتشبع بالمواد العضوية أثناء العملية . وقد تبلغ المساحة السطحية للكربون حدود تتجاوز ١٠٠٠ م٢ لكل



● جانب من وحدات التناضح العكسي مع أجهزة التحكم.

جرام من الكربون ، كما أن حجم المسامات قد يتجاوز واحد سم٣ لكل جرام ، وتحتوي حبيبات الكربون على مسامات دقيقة جداً يتراوح قطرها على النوع الواحد من الكربون من ٠,٠١ - ١٠٠ ميكروجرام .

ولطبيعة المواد المراد إزالتها دور مهم في كفاءة العملية ، حيث أن هناك علاقة عكسية بين كفاءة الامتزاز ومدى ذوبانية المادة العضوية في الماء ، كما أن هناك علاقة وثيقة بين الوزن الجزيئي للمادة العضوية وكفاءة الإمتزاز ، حيث أن الامتزاز يكون أسرع كلما قل الوزن الجزئي للمادة المزالة ، خصوصاً إذا كانت الإزالة تتم داخل مسامات الكربون . كما أن الخصائص الكهربائية للجزيئات العضوية لها دور كبير في كفاءة العملية نتيجة للروابط بين المادة العضوية والكربون من جهة والروابط بين المادة العضوية والماء من جهة أخرى .

وهناك عوامل أخرى كثيرة متعلقة بخصائص المياه وظروف عملية الإمتزاز ، كتأثير درجة الحرارة والرقم الهيدروجيني (P^H) على العملية ، وكذلك مدى التنافس بين المادة المراد إزالتها والمواد الأخرى الموجودة في الماء والتي لها أيضاً قابلية الإزالة بالكربون ، وهذا ما يعرف بإمتزاز الشوائب المختلطة (Adsorption of Mixed Solutes) .

* **ديناميكية الإمتزاز :** وتخضع كأي تفاعل فيزيائي - كيميائي إلى قوانين الديناميكا الحرارية ، حيث أن هذه التفاعلات لو أعطيت الوقت الكافي فإنها تصل إلى حالة الإتزان ، أي أن المادة المراد إزالتها تتركز على سطح الكربون بمقدار يتناسب مع المقدار المتبقي منها في الماء عند مرحلة الإتزان (Equilibrium) . ويمكن إستخدام حالة الإتزان هذه تجريبياً في الحصول على طاقة الكربون لإزالة المواد العضوية المحدودة ، وكذلك معدل الإمتزاز (Adsorption Rate) ، حيث يمكن تجريب العديد من أنواع الكربون المنشط لمعرفة كفاءتها في إزالة مادة عضوية معينة وذلك بإجراء ما يعرف بإختبار خط تحاور الإمتزاز (Adsorption Isotherm) ، والذي يتم خلاله إضافة جرعات متفاوته من الكربون في أوعية منفصلة إلى كمية متساوية من الماء المحتوي على المادة العضوية المراد إزالتها مع خلطها لمدة كافية للوصول إلى الإتزان ثم حساب تركيز المادة العضوية على الكربون وتركيزها في الماء ورسم علاقة بينهما .

وهناك عدد من النظريات لوصف عملية الإمتزاز وتحديد طبيعة العمليات التي تتحكم في إمتزاز المواد بواسطة الكربون المنشط ، ويمكن تلخيص الخطوات المتتالية التي يتم فيها إزالة مادة معينة بواسطة الكربون المنشط على النحو التالي :-

١- إنتقال المادة العضوية خلال غشاء سطحي من الماء إلى السطح الخارجي للكربون (Film Diffusion) .

٢- إنتشار المادة ومرورها خلال مسامات الكربون (Pore Diffusion) .

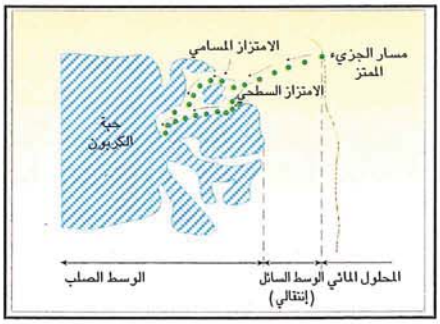
٣- إمتزاز المادة على السطوح الداخلية لمسامات الكربون والفراغات الشعرية بداخله .

ويوضح الشكل (١) عملية إنتقال جزيئات المواد العضوية (الملوثات) من الوسط المائي إلى سطح الكربون المنشط .

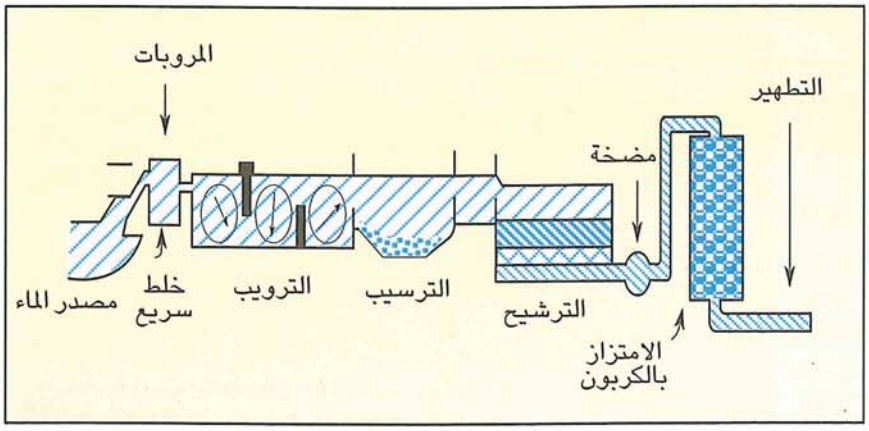
ويمكن إستخدام الكربون المنشط على صورة مسحوق (بودرة) في عمليات يكون فيها الكربون مخلوطاً مع الماء في أحواض خاصة ، أو ضمن عمليات الترسيب الكيميائي التي تسبق المرشحات ذات الوسط الحبيبي في محطات معالجة المياه ، وقد أستخدم هذا الأسلوب لإزالة المواد العضوية المسببة للطعم والرائحة في مياه الشرب ، أو لإزالة مركبات أخرى صناعية قد وصلت إلى مصادر المياه . إلا أن الأسلوب الأكثر استخداماً للتعامل المباشر مع المركبات العضوية الطبيعية أو الصناعية في مياه الشرب يعتمد على استخدام الكربون المنشط بصورته الحبيبية في فرشات تشبه في شكلها وتشغيلها المرشحات ذات الوسط الحبيبي ، حيث يكون وسط الترشيح في هذه الحالة هو الكربون المنشط ، والذي يقوم بدور المرشح ودور إزالة المواد العضوية المحددة عن طريق الإمتزاز .

تطبيقات الكربون المنشط في المياه

يوضح الشكل (٢) مثالاً على إستخدام مرشحات الكربون المنشط كمعالجة إضافية للمعالجة التقليدية لمياه الشرب من المصادر السطحية ، حيث يتم مرور المياه المعالجة بعد المرشحات الرملية (أو ربما المرشحات متعددة الوسط) إلى المرشحات الكربونية وذلك لإزالة المواد العضوية التي لم يتم التخلص منها في المعالجة الأولية . وفي التشغيل الفعلي لمرشحات الكربون فإن المرشح يُعبأ في البداية بالكربون الجديد ويتم تشغيله عند معدل ترشيح (سرعة ترشيح) محدد وبعمق مختار بحيث تقضي المياه بمرورها على الكربون فترة زمنية معينة تتراوح عادة من ١٥-٣٠ دقيقة تُعرف بزمن المكوث (EBCT)



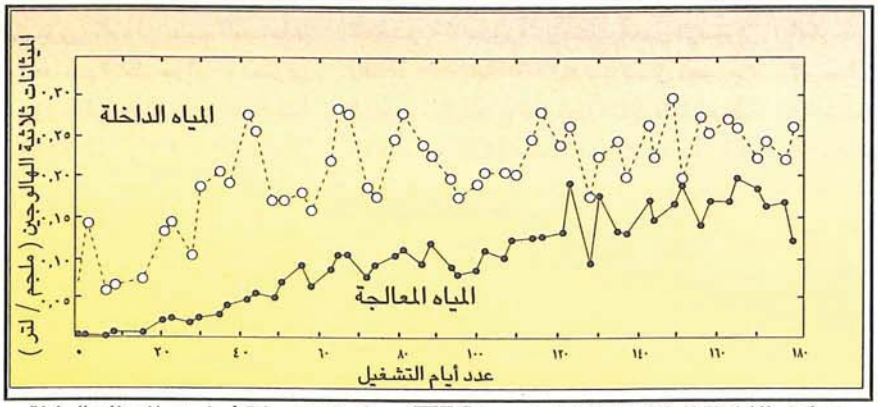
● شكل (١) الإمتزاز المسامي والسطحي على حبيبات الكربون المنشط



● شكل (٢) تعديل محطة المعالجة التقليدية لتشمل عملية الإمتزاز بالكربون المنشط

محسوباً بناءاً على تدفق المياه خلال المرشح والحجم الفارغ للمرشح ، كما أن سرعة الترشيح تحدد المساحة السطحية للمرشح الكربوني . ويستمر المرشح بالعمل بإزالة أكبر من قيمة محددة ، عندها يوقف المرشح ويتم إزالة الكربون من داخله وإستبداله بكربون جديد أو يتم إعادة تنشيط الكربون المستهلك وإعادته إلى العمل مرة أخرى ، حيث أن بعض محطات المعالجة الكبيرة تحوي أيضاً نظاماً لإعادة تنشيط الكربون (Regeneration) يكون على المدى البعيد أكثر جدوى إقتصادية من إرساله إلى جهة أخرى لإعادة تنشيطه . وتجدر الإشارة إلى أن عملية إعادة التنشيط تتطلب تحريك الكربون وتسخينه في أفران خاصة عند درجات حرارة عالية ، وبإستخدام بخار ماء وظروف إحتراق محددة يعود بعدها الكربون إلى الحالة النشطة ، إلا أنه خلال هذه العملية يتم فقد نسبة من الكربون يتم تعويضها بكربون جديد .

ويوضح الشكل (٣) إمتزاز مركب الكلوروفورم بإستخدام سبع نوعيات مختلفة من الكربون المنشط . كما يوضح الشكل (٤) إزالة المركبات الميثانية ثلاثية الهالوجين (THM) من المياه بإستخدام المرشحات الكربونية في إحدى محطات المياه .



● شكل (٤) إزالة الميثانات ثلاثية الهالوجين (THM) بمرشحات كربونية في إحدى المحطات العاملة

الإستنتاجات

تم في هذه المقالة إستعراض موجز لمصادر وخصائص المواد العضوية في مياه الشرب وأساليب التحكم فيها ، ويمكن تلخيص بعض الإستنتاجات على النحو التالي :-

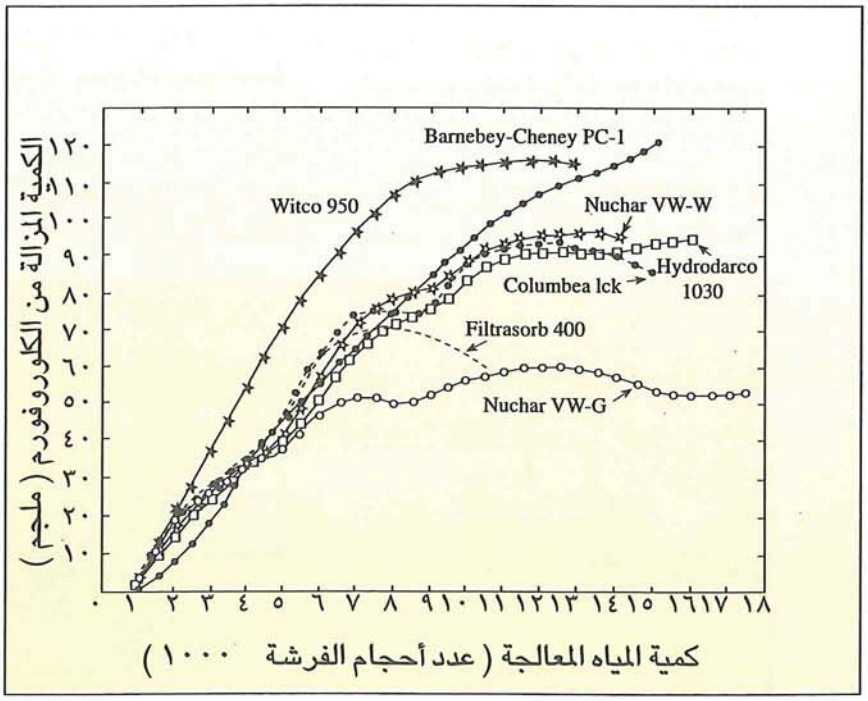
– تصل المواد العضوية إلى مصادر المياه ومياه الشرب إما من مصادر طبيعية ناتجة عن تحلل النباتات والأحياء المائية حيوياً وتكوين عدد من المركبات المعروفة مجتمعة باسم المواد الهيومية ، أو نتيجة للمواد الكيميائية المستخدمة في معالجة المياه ومواد الأنابيب والعوازل المستخدمة فيها ، أو بالتلوث المباشر أو غير المباشر بالمواد العضوية المصنعة الناتجة عن النشاطات الصناعية والزراعية والتجارية والإستخدام العام .

– تتفاوت خصائص المواد العضوية في المياه بتفاوت مصادرها ويكون أثرها البيئي متعدد ، حيث أن بعضها سام والبعض مسرطن والآخر غير معروف أضراره بصورة واضحة .

– يمكن لطرق التحليل والقياس المتوفرة حالياً التعرف بدقة على عدد محدود جداً من الملوثات العضوية التي يحتمل وصولها إلى مصادر المياه ، مما يستدعي المزيد من الحذر في التعامل مع الكثير من هذه المواد والبحث الدؤوب عن أساليب قياسية متطورة للتعامل مع العدد الهائل من المركبات العضوية المائية .

– تعد التقنيات الممكنة للتعامل مع الملوثات المائية العضوية من الأساليب باهظة التكاليف في مجملها ، كما أن كل نوع من هذه التقنيات يمكنه إزالة نوعيات محددة من المركبات العضوية ، وهذا قد يؤدي إلى ضرورة إستخدام عدد من هذه التقنيات للتعامل مع ملوثات متنوعة في مصدر واحد من مصادر المياه ، مما يزيد في التكلفة الإجمالية إلى حدود قد لاتكون ممكنة لمجتمع معين .

– يعد الكربون المنشط أحد الأساليب المتطورة والميسرة – إلى حد ما – للتعامل مع بعض المواد العضوية في المياه والتي يمكن دمجها مباشرة مع محطات المعالجة القائمة ، كما أن العملية يتحكم فيها عدد من العوامل التي يجب أخذها بالإعتبار عند إختيار نوعية الكربون المناسب وتحديد معايير تصميم وتشغيل المرشحات الكربونية .



● شكل (٣) الإمتزاز التراكمي للكلوروفورم بواسطة ٧ أنواع من الكربون المنشط

ترشيد استخدام المياه العذبة

تعاني المملكة العربية السعودية كغيرها من البلدان التي تقع في المناطق الصحراية من شح في مواردها المائية ، حيث تعتمد مصادر المياه في المملكة على أربعة مصادر هي : المياه السطحية ، والمياه الجوفية ، ومياه البحار المحلاة ، ومياه الصرف الصحي المعالجة . وتستخدم الثلاثة الأولى منها لأغراض الشرب أما الأخيرة فتستخدم فقط للأغراض الزراعية والصناعية .

* **المياه السطحية** : وهي المياه الناتجة عن مياه الأمطار التي يبلغ معدلها السنوي حوالي ١١٠ملم ، حيث يزيد هذا المعدل في المنطقة الجنوبية الغربية إلى حوالي ٦٠٠ ملم بينما يقل عن المعدل السنوي بكثير في بعض المناطق الداخلية مثل الربع الخالي أو المنطقة الشمالية . وقد قدرت كمية المياه السطحية في العام ١٤١٥/١٤١٦هـ بحوالي ٢٠٠٠ مليون متر مكعب تم حجزها بواسطة ١٨٤ سداً ، إضافة إلى وجود سدود أخرى تحت التنفيذ يبلغ مجموع سعتها ٧٧٢ مليون متر مكعب .

* **المياه الجوفية** : وتشمل المياه الجوفية الضحلة التي تتأثر إيجابيا بعد هطول الأمطار ، وتوجد في الرواسب الذوبانية وصخور القاعدة المركبة المعرضة لعوامل التعرية ، وتقدر كمية المياه التي تغذي هذه الطبقات بحوالي ٩٤٠ مليون متر مكعب ، كما تشمل المياه الموجودة في الأجزاء غير المحصورة من الطبقات الحاملة للمياه وتقدر التغذية السنوية لهذه الطبقات بحوالي ٢٠٠٠ مليون متر مكعب ، أما بالنسبة للمياه الجوفية العميقة فتتواجد في الأجزاء المحصورة من الطبقات الحاملة للماء

* **المياه المحلاة** : وهي مورد هام لمياه الشرب ولا تستخدم في غيره ، ويوجد ٢٤ محطة تحلية بلغ إنتاجها في عام ١٤١٥هـ ٧١٩ مليون متر مكعب ، وسيصل إنتاج المحطات مع نهاية الخطة السادسة إلى حوالي ١٠٥٠ مليون متر مكعب/سنة .

وبإلقاء نظرة على الموارد المائية نجد أنها لا تتناسب مع النمو السكاني ، وبالتالي فإن ترشيد استخدام المياه بشكل عام ومياه الشرب بشكل خاص يعد ضرورة وطنية ملحة تستوجب تضافر جميع الجهود لتفعيلها وجعلها هاجس المواطن قبل المسؤول .. ومن هذا المنطلق مارست وزارة الزراعة والمياه والمصلحة العامة للمياه والصرف الصحي دوراً توعوياً مكثفاً لإبراز دور المواطن في الحفاظ على هذه الثروة ، وذلك من خلال التعاقد مع بعض المؤسسات الوطنية في مجال الدعاية والإعلان في إصدار العديد من النشرات والكتيبات والملصقات الموجهة لكافة أفراد المجتمع ، كربات البيوت والطلاب والمزارعين وغيرهم ، إضافة إلى الاستفادة من وسائل الإعلام المقروءة والمرئية والمسموعة ، وقد ركزت تلك النشرات على كثير من الممارسات الخاطئة التي يمارسها المواطن ومنها .

١ـ الإسراف في غسيل أواني الطبخ .
٢ـ الري غير المرشد للحدائق والملاعب الرياضية .
٣ـ غسيل السيارات بخرطوم المياه .
٤ـ غسيل الأحواش (أفنية المنازل).
٥ـ رش المباني التي تحت الإنشاء بالمياه النقية .
٦ـ الإهمال في إصلاح التسربات التالية :
ـ تسربات صنابير المياه وأدوات السباكة المختلفة .
ـ تسربات خزانات المياه العلوية لفشل العوامات أو نحو ذلك .
ـ تسربات خزانات المياه الأرضية .
٧ـ الإسراف في أماكن الوضوء في دورات المياه العامة مثل الأسواق التجارية والأماكن العامة والمدارس والجامعات والمساجد .
٨ـ عدم إبلاغ الجهات الرسمية عن التسربات .
٩ـ ترك الأطفال يُسرفون ويعبثون في مياه الاستحمام .
١٠ـ استعمال الماء لغير ما خُصص له .
١١ ـ عدم وعي العمالة الوافدة بأهمية المياه (خدم ، منسقي الحدائق ، مزارعين ... إلخ).
١٢ ـ طرق الري القديمة ومقارنتها بالطرق الحديثة .

وختاماً فإن لم يكن ترشيد استخدام المياه مظهراً حضارياً فإنه واجب ديني ، لأن الإسراف بحد ذاته مذموم في كل شيء فالله تبارك وتعالى يقول ﴿إِنَّ الْمُبَذِّرِينَ كَانُوا إِخْوَانَ الشَّيَاطِينِ وَكَانَ الشَّيْطَانُ لِرَبِّهِ كَفُوراً﴾ (الإسراء الآية ٢٧) ، وكما في الأثر: لا تسرف ولو كنت على نهر جار .