

## أقسام المياه

### مقدمة:

يغطي الغلاف المائي (Hydrosphere) 70% من سطح الكرة الأرضية إلا إن حجمه يساوي واحد على ألف من حجم الأرض البالغ ترليون كيلومتراً مربعاً، ويبلغ حجمه 1.4 مليار كيلومتراً مكعباً وقطره 1400 كيلومتراً، ويوجد بحالات ثلاث، بخار وسائل وصلب، ومنه العذب والمالح، ويوجد معظمه في المحيطات والبحار، ويشكل الماء المالح 97.5% من حجم الماء الكلي، بينما يشكل الماء العذب 2.5% من حجم الماء الكلي، ويبلغ 35 مليون كيلومتراً مكعباً، ولا يتجاوز المتاح منه للاستخدام البشري سوى 0.3%، والباقي أما جليد أو في جوف الأرض، وبهذا فلا يبقى من المياه العذبة للاستخدام البشر سوى ما يقرب من 105 ألف كيلو متراً مربعاً، وإذا كان عدد سكان الكرة الأرضية يبلغ 7 مليارات نسمة، فإن حصة الفرد الواحد من المياه العذبة ستكون نحو 15 ألف متراً مكعباً، أو ما يعادل ملء ستة حمامات سباحة أولمبية.

يخضع الغلاف المائي لحالة استقرار من الناحية الكمية والنوعية في الأزمنة الجيولوجية السابقة، وتساعد الشمس والرياح والأمطار والبخار الجوي والتضاريس الأرضية والنباتات على استقراره، وتُسهم جميعاً بتكوين ما يسمى بالدورة المائية (Hydrologic Cycle)، وعلى الرغم من وجود حالة استقرار فريدة في الغلاف المائي للأرض، إلا أن أهم المشاكل التي تواجه البشرية في القرن الحادي والعشرين هو توفير احتياجاتها من المياه ولا سيما مياه الشرب، ولا يعود سبب ذلك إلى اختلال حالة الاستقرار في الغلاف المائي، وإنما إلى زيادة الطلب على الماء بسبب الزيادة البشرية وزيادة استهلاك الفرد، فضلاً عن تلوث المياه السطحية والجوفية، لذا أصبح توفير المياه الصالحة للاستهلاك البشري والصناعي والزراعي موضع اهتمام الباحثين والدارسين، ومن أولويات صانعي القرارات السياسية والاجتماعية والاقتصادية، لا سيما في البلدان التي تشح فيها المياه، وعلى وجه الخصوص منطقتنا العربية.

بسبب زيادة الحاجة للمياه زاد الاهتمام بدراساتها في العقود الأخيرة من الناحية الكيميائية والبيئية لمعرفة مكوناتها، ومسببات تلوثها وماهية هذه الملوثات ومصادرها، وكيفية التخلص من التلوث، وزاد الاهتمام أيضاً بإدارة الموارد المائية، للاستفادة القصوى منها في الاستهلاك البشري وفي مختلف الاستخدامات الصناعية والزراعية عن طريق إعادة تدوير مياه الفضلات أو استخدام مياه أقل جودة.

**أقسام المياه:**

لا يوجد تقسيم محدد للمياه، وإنما تقسم بناءً على عدة أسس مختلفة، فقد تقسم بناءً على مصدرها، فتسمى بمياه الأمطار ومياه الأنهار، أو بحسب عمق وجودها من سطح الأرض، فتسمى بالمياه الجوفية والمياه السطحية، أو بحسب محتواها من الأملاح فتسمى بالعدبة والمالحة، أو بحسب تعرضها للملوثات أو المعالجة أو الغرض الذي تستخدم له، أو بحسب نوع الأيون السالب السائد فيها، وفيما يأتي عرض موجز لهذه التقسيمات لتسهيل متابعة القارئ لها ولفهم المقصود منها ومعرفة الفرق بينها:

**مياه سطحية ومياه جوفية:**

يقصد بالمياه السطحية؛ المياه الموجودة على سطح الأرض وتشمل مياه العيون، والجداول، والأنهار، والبحار، والبحيرات، أما المياه الجوفية؛ فتشمل المياه الموجودة في باطن الأرض، مثل: مياه الآبار والينابيع.

**المياه الأرضية:**

يقصد بها المياه السطحية والجوفية معاً.

**مياه طبيعية:**

هي مياه سطحية أو جوفية يتم تجميعها تحت ظروف تضمن نقاوتها الميكروبيولوجية الأصلية والتركيب الكيميائي للعناصر الأساسية، ويُسمح فقط بفصل المكونات العالقة بالتصفية أو الترشيح أو التهوية من دون إجراء أية معالجة كيميائية تغير من طبيعة مياه المصدر الكيميائية، وتعبأ في عبوات محكمة الغلق قريباً من المنبع مع اتخاذ الاحتياطات الصحية اللازمة.

**مياه طبيعية معدنية:**

مياه طبيعية تحوي أملاحاً معينة بنسب تكوينية مميزة لا تقل عن 250 ملغم لتر<sup>-1</sup> من مجموع الأملاح الذائبة الكلية، ويتم الحصول عليها مباشرةً من ينابيع طبيعية أو محفورة تغذيها طبقة المياه الجوفية، مع اتخاذ الاحتياطات القصوى لتجنب التلوث أو التأثير الخارجي في الخصائص الكيميائية والطبيعية للمياه.

**مياه الينابيع:**

مياه طبيعية جوفية غير معالجة تتدفق على سطح الأرض، وتحتوي على مواد صلبة ذائبة كلية لا تقل عن 250 ملغم لتر<sup>-1</sup>.

**مياه معالجة:**

مياه أجريت عليها عملية أو أكثر من عمليات المعالجة التي تتوقف على درجة تلوث المياه ونوع التلوث، وذلك لغرض حماية المستهلك من كل ما يضر بصحته.

**مياه الشرب المعبأة:**

مياه معدة للشرب الآدمي ومعبأة في عبوات مناسبة محكمة الغلق، وتتنطبق عليها جميع الشروط الواردة بالمواصفة القياسية لمياه الشرب.

**مياه غنية بالأوكسجين:**

مياه تُحفظ باحتوائها على نسبة أوكسجين أكثر 40 مرة مما يحتويه الماء العادي.

**مياه عذبة ومياه مالحة:**

المياه العذبة؛ هي المياه التي يقل تركيز الأملاح فيها عن 500 ملغم لتر<sup>-1</sup>، والمياه المالحة هي التي يزيد فيها تركيز الأملاح عن 500 ملغم لتر<sup>-1</sup>.

**المياه النقية:**

هي المياه التي لم تتعرض لأي تغير في صفاتها الفيزيائية والكيميائية ومحفوظة بصلاحياتها للاستخدامات المطلوبة.

**المياه الملوثة:**

هي المياه التي تتعرض لتغير في صفاتها الفيزيائية أو الكيميائية بشكل مباشر أو غير مباشر يؤثر سلباً في صلاحية المياه لمعيشة الكائنات الحية وصلاحياتها للاستخدامات المختلفة.

**الماء اليسر:**

الماء الذي يكون محتواه من الكالسيوم والمغنسيوم معبراً عنهما بالملغرام يكافئ كربونات الكالسيوم منخفضاً.

**الماء العسر:**

الماء الذي يكون محتواه من أيوني الكالسيوم والمغنسيوم -معبراً عنهما بالملغرام يكافئ كربونات الكالسيوم -مرتفعاً، والعسرة على نوعين: مؤقتة، سببها وجود كربونات وبيكربونات الكالسيوم والمغنسيوم ويمكن إزالتها بغليان المياه، ودائمة سببها كلوريدات وكبريتات الكالسيوم والمغنسيوم ولا يمكن إزالتها بغليان المياه.

**الماء الثقيل:**

الماء الذي يحوي نظير الهيدروجين الثقيل المسمى ديتريوم (ورمزه D) بدلاً من الهيدروجين، ويختلف عنه باحتواء نواته على بروتون ونيوترون، بينما تحتوي نواة الهيدروجين على بروتون فقط، ويرمز للماء الثقيل بـ  $D_2O$  أو  $2H_2O$ ، وبذلك فإن للماء الثقيل خصائص الماء الاعتيادي الكيميائية ذاتها، ويختلف عنه ببعض الخصائص الفيزيائية، فهو يتجمد عند 3.81 °م، ويغلي عند 101.42 °م.

## ترشيد استهلاك المياه

ترشيد استهلاك المياه من المواضيع التي تشغل الساسة وصانعي القرارات في كل بلدان العالم، لا سيما في البلدان التي تقع ضمن المناطق القاحلة وشبه القاحلة، وتشغل أيضا الرأي العام العالمي، وهي مسؤولية الجميع للحفاظ على الموارد المائية، ويقصد بترشيد استهلاك المياه "الاستخدام الأمثل للمياه الذي يقود الى الاستفادة منها بأقل كمية وبأرخص التكاليف المالية الممكنة في جميع مجالات النشاط البشري".

عندما نتحدث عن ترشيد استهلاك المياه فإننا نهدف الى توعية المستهلك بأهمية المياه- لكونها أساس الحياة- وتنمية الموارد المائية الذي أصبح مطلبا ضروريا لضمان التنمية المستدامة في كافة مجالات النشاط البشري الصناعية والزراعية والسياحية، وذلك عن طريق تكيف أنماط الاستهلاك والعادات لتتوافق مع الحلول العلمية التي تقدمها الدراسات والابحاث العلمية في هذا المجال، وجعل السلوك الاستهلاكي للفرد والأسرة متزنا ويتصف بالتعقل والرشاد، ولا يقصد من الدعوة لترشيد استهلاك المياه الحرمان من استخدام المياه بقدر ما يقصد منها العمل على تربية الافراد على التوسط في استهلاك المياه وعدم الاسراف في استعمال نعمة من نعم الله تبارك وتعالى أسبغها على البشر، وقد حثنا على ذلك في محكم كتابه الكريم في الآية الكريمة "كلوا واشربوا ولا تسرفوا"، والحفاظ على المياه أمر في غاية الأهمية، وترشيد استهلاك المياه والأمن المائي من المفاهيم الحديثة التي أصبحت واسعة الانتشار بين أفراد المجتمع لأنها تمس حياتهم اليومية.

### أهداف ترشيد استهلاك المياه:

1. التوجه نحو الاستخدام الأمثل للمياه الصالحة للشرب والمحافظة عليها.
2. عدم استخدام مياه شبكة التوزيع النقية والمعقمة في غير الشرب والاستهلاك المنزلي.
3. التوعية بضرورة ترشيد استهلاك المياه في الاستخدام المنزلي والصناعي والتجاري.
4. التوعية بضرورة ترشيد استهلاك المياه في القطاع الزراعي وذلك باتباع نظم الري الحديثة (الري بالتنقيط، والري بالرش السطحي وتحت السطحي)، وإعادة استخدام مياه البزل الزراعي بعد التأكد من صلاحيتها (يكون محتواه من الأملاح والصوديوم منخفضاً وخلوها من أيونات العناصر السامة للنبات)، ويمكن مزجها مع مياه عذبة لرفع درجة صلاحيتها.
5. إعادة استخدام مياه الصرف الصحي الصناعي في الزراعة بعد معالجتها والتأكد من خلوها من مسببات المرضية والعناصر السامة.

6. يهدف ترشيد استهلاك المياه إلى الابتعاد عن الاسراف المنهي عنه شرعاً، وتربية أفراد المجتمع على حسن التدبير في تلبية احتياجاتهم من المياه العذبة، وتنمية الشعور بأهمية هذه النعمة بصورة تتسجم مع متطلبات الحياة العصرية لإحداث التطور الفكري والسلوكي المنشود.

الهدر في استهلاك المياه من المشاكل التي تواجه الفرد والمجتمع اقتصادياً واجتماعياً، ونشهد اليوم اهتماماً متزايداً بترشيد استهلاك المياه تتادي به المؤسسات العالمية والاجتماعية، لذا يجب على الفرد أن يكون له دوراً بناءً ويتحمل مسؤوليته في تحقيق عملية ترشيد استهلاك المياه.

في نظرة سريعة لهذا الدور نجد أن قابلية النضب والاستنزاف تتنامى أيضاً نتيجة للاستهلاك الذي حصل بفعل زيادة النمو السكاني والتطور الاقتصادي والاجتماعي وبسبب نضوب بعض الموارد المائية نتيجة الجفاف وزيادة معدلات التصحر، ونجد أن العجز المائي اصبح من أخطر التحديات التي تواجه خطط التنمية لا سيما في المناطق القاحلة وشبه القاحلة وخصوصاً في منطقتنا العربية، ولمواجهة هذه المشكلة يجب التخطيط بشكل علمي ودقيق واستخدام التقانات الحديثة التي تساعد على ترشيد استهلاك المياه يصاحبها توعية نفسية وتربوية بأهمية ذلك، وأن القصور في هذا الجانب يسمح لمشكلة العجز المائي أن تتفاقم لأن معظم الأنهار في الوطن العربي تنبع من خارج أراضيه، فضلاً عن استمرار الجفاف وتوسعه في عدد من البلدان العربية، لذا يجب أن تتضافر الجهود للتفكير الجدي بالأمن المائي للبلدان العربية وترشيد استهلاك المياه والعمل اكتشاف مصادر جديدة للمياه، فتغيير نمط استهلاك المياه في البلدان العربية هو في مقدمة التحديات التي تواجه خطط التنمية العربية وقد نبهت لذلك مؤتمرات خبراء المياه العرب ودقت ناقوس الخطر ودعت الى ترشيد استهلاك المياه بشكل صارم، واقترح الخبراء أن يصبح للمياه سعراً يوازي ندرتها المتوقعة وذلك لإجبار المستهلكين على التقنين وترشيد استهلاك المياه، وأشارت بعض الدراسات الى أن المياه يجب أن تعامل معاملة الثروات المعدنية القابلة للنفاد، الأمر الذي يستلزم منا الإسهام في توفير هذا الأمن عن طريق استخدام أساليب التوعية النفسية غايتها تغيير الأنماط السلوكية في استهلاك المياه بغرض ترشيد ذلك.

### التربية المائية واجب ومسؤولية وطنية

هناك العديد من الدلائل التي توضح سوء استغلال الانسان لبيئته المائية، متمثلاً ذلك باستنزاف الموارد المائية العذبة وتلويث مجاريها ومسطحاتها، وعلى الرغم من الأهمية القاطعة للمياه التي تقرض على الانسان مسؤولية الحفاظ عليها، لأنها جزء من الحفاظ على حياته وحياة الكائنات الحية المسخرة

له، فلا بقاء لهذه الكائنات من دون الماء، وأيضاً فلا بقاء للبيئة كلها في ظل عدم توفر الماء العذب الصالح للاستخدام، ومشاكل نقص المياه ليست مشكلة فنية خالصة، بل لا بد من مشاركة جميع أفراد المجتمع في إيجاد الحلول لمعالجة هذه المشكلة، وذلك عن طريق تربية أفراد المجتمع تربية تركز على انماء الوعي المائي وتنمية المهارات والاتجاهات السلوكية السليمة لدى المواطن انطلاقاً من امكانية إعداد الفرد المتفهم لأهمية الموارد المائية والمدرّك لظروفها والواعي بما يواجهها من مشاكل وما يهددها من أخطار، والقادر على الاسهام بشكل ايجابي للتغلب على هذه المشاكل والحد من تلك الأخطار عن طريق برامج التربية المائية.

### الوعي المائي

مصطلح ومفهوم جديد علينا، لكن دراسات علمية حديثة تحدثت كثيراً عن هذا المفهوم وأعطت تعريفاً خاصاً به هو:

**إدراك الفرد للمشكلة المائية كإحدى المشاكل البيئية من ناحية حجمها وأسبابها وأبعادها وكيفية مواجهتها وتأثير الإنسان فيها وتأثره بها، والشعور العميق بالمسؤولية لمواجهة هذه المشكلة والتصدي لها".**

وهذا يفرض على الأجيال الحالية والقادمة المزيد من الاهتمام بالمياه العذبة بوجه عام بعد تفاقم أزمة المياه على المستوى المحلية والإقليمي والعالمي، وأن يزداد الوعي بكل ما يتعلق به وتجعله محورياً مهماً وأساسياً لفكرها وعملها، وترجمة ذلك بعمل متواصل من أجل تنمية وترشيد استخدام المياه والمحافظة عليها من الهدر والتلوث، وكلنا يعلم كلما كان الفرد يتمتع بقيمة زاخرة بالمبادئ الحضارية كلما ارتفع مؤشر الاحساس بالمسؤولية وسمت مفاهيم المواطنة الحقة لديه فيندفع إلى تفعيل القيم إلى واقع سلوكي ملموس، ولا بد من اشراك جميع أفراد المجتمع في ذلك لكي يترسخ الوعي البيئي والمائي في ذهن الاطفال فهم آباء وأمّهات المستقبل.

### ما هي العوامل المؤثرة في الاحتياجات المائية للأفراد

تتأثر كمية المياه التي يحتاجها جسم الانسان بعدة عوامل منها السن والجنس والنشاط ودرجة حرارة الجو ونوع الطعام والمستوى الثقافي والاجتماعي ودرجة التمدن ... الخ، فالإنسان الاعتيادي يحتاج للشرب في المتوسط الى لترين من الماء يومياً، وتقدر احتياجاته للشرب والاستحمام والتحضير وصرف الفضلات الى قرابة 50 لتراً يومياً، وتقدر احتياجاته المنزلية بقرابة 120 لتراً للفرد يومياً.

## كيف نستطيع أن نوفر الماء

يبدأ ترشيد الاستهلاك لتوفير الماء من المنزل أي من ربة المنزل وبقية أفراد الأسرة، وهناك ثلاثة طرائق لتوفير المياه هي:

1. عمل صيانة دورية لشبكة توزيع المياه داخل المنزل لمنع التسريبات الظاهرة والمخفية، والتسريب الداخلي يكون بعد عداد المياه، أي من امدادات الأنابيب داخل المنزل، والتسريب الظاهر يمكن ملاحظته بتفقد شبكة امداد المياه والحنفيات وعوامة خزان المياه، أم التسرب المخفي والذي لا يظهر للعيان يكون من خط إمداد المياه المدفون الواصل للمنزل أو من بعض خطوط امدادات شبكة المياه داخل المنزل إن كانت مدفونة.

2. تغيير سلوك الأفراد لترشيد استهلاك المياه، فهناك بعض السلوكيات المرفوضة التي تؤدي الى هدر في استهلاك المياه، وهناك سلوكيات اخرى مرغوبة تحد من استهلاك المياه، ومن السلوكيات المرغوب اتباعها والتعود عليها:

أ. سلوكيات داخل المنزل:

- تقليل مدة الاستحمام إلى 5 دقائق، فالاستحمام يستهلك ما بين 20 - 20 لترا في الدقيقة.
- غلق الصنبور أثناء غسيل الاسنان أو الحلاقة.
- فتح الصنبور باعتدال عند الاستخدام وعند الوضوء.
- تركيب ادوات الترشيد لتقليل كمية المياه المستخدمة.
- تشغيل غسالة الأطباق بحمولتها الكاملة، وهي تستهلك مياه قليلة مقارنة بالغسيل البدوي.
- شطف الأطباق في مغطس مسدود بدلا من شطفها تحت المياه الجارية.

ب. سلوكيات خارج المنزل:

- استخدام أنظمة الي الحديثة في ري الحدائق والمزروعات.
- التأكد أن الرشاشات تروي المساحات المزروعة وليس خارجها.
- زراعة النباتات ذات الاحتياج المائي المنخفض.
- ري النباتات والحدائق قبل طلوع الشمس أو بعد الغروب للتقليل من الفاقد بالتبخر مع استخدام الري المتكرر لمدد قصيرة بدلا عن الري واحدة لمدة طويلة.
- استخدام الدلو عند غسل السيارات وعدم استخدام المضخات وخرطوم المياه مباشرة.
- استخدام المكنسة وعدم استخدام خرطوم المياه لتنظيف الطرق والممرات خارج المنزل.

## الخواص الطبيعية للمياه

تعطي طريقة ارتباط جزيئات الماء مع بعضها خصائص طبيعية وكيميائية مهمة للماء تميزه عن غيره من السوائل، ومن أهم الخصائص الفيزيائية للماء:

### القطبية:

على الرغم من أن جزيء الماء متعادل وليس له صافي شحنة، إلا أنه يمتلك قطباً موجباً وآخر سالباً، لذا يوصف بأنه ثنائي القطب، أي أن جزيئات الماء تمتلك شحنة سالبة من أحد طرفيها وشحنة موجبة من الطرف الآخر، لذا فإن أطرافها أو نهاياتها تجذب الأيونات المخالفة لها في الشحنة والموجودة في البلورات والمركبات، وهذا ما يجعل الماء يُمتز على أسطح الغرويات، ومنها معادن الطين، ومذيباً جيداً، ويحيط الأيونات بغلاف مائي (تميّز) يعتمد سمكه على نصف قطر الأيون وشحنته.

### القدرة على الإذابة:

يمتلك الماء قدرة على إذابة عدد كبير من المواد بسبب طبيعته القطبية، بغض النظر عن درجة الإذابة، ويتفوق على كثير من المذيبات السائلة الشائعة، ويُذيب الكثير من المواد التي لا تذوب في المذيبات غير القطبية (مثل: الكلوروفورم والبنزين)، واستناداً إلى القاعدة التي تقول إن "المادة تُذيب نظيرها" فإن الماء يستطيع إذابة جميع المواد القطبية السائلة والصلبة الأيونية، وجميع المواد الكيميائية تذوب في الماء بدرجة معينة، فبعضها يذوب بدرجة كبيرة ويمتزج بالماء بجميع النسب، مثل: الإيثانول، والبعض الآخر شحيح الذوبان جداً بالماء حتى أن محاليله المشبعة تحوي أقل من جزيء واحد أو أيون واحد في اللتر.

### الشد (التوتر) السطحي:

تتجذب الجزيئات داخل السائل لبعضها بقوة متساوية من جميع الاتجاهات، أما الجزيئات عند السطح فتكون قوى الجذب المعرضة لها غير متساوية، وهي أقل عند سطح السائل، ويسبب فرق قوة الجذب المسلط على الجزيئات عند السطح الملامس للهواء إلى سحب جزيئات السائل إلى الداخل فيظهر وكأن السطح مغشى بغشاء مرن في حالة انقباض إلى الداخل، ليحتل أقل مساحة ممكنة، ووحدات الشد السطحي هي وحدات قوة لكل وحدة طول (داين سم<sup>-1</sup>).

للماء النقي شداً سطحياً (للسطح البيئي ماء-هواء) أعلى من الشد السطحي للسوائل وأقل من الشد السطحي للأملاح والفلزات المصهورة، مثل: الزئبق، ويُعبر ارتفاع شدة السطحي قدرة جزيئاته على التجاذب نحو بعضها والبقاء مجتمعة مع بعضها تحت الشد نتيجة لقوى التماسك الداخلية بين جزيئاته والناجمة من استقطاب جزيئات الماء، لتعطي الشكل الكروي لقطرة الماء عند سقوطها، وهو المسؤول عن مقاومة اختراق سطح السائل، وهو ما يفبر أيضاً مع قوة التماسك بين جزيئاته قدرته للوصول إلى قمم الأشجار العالية.

يتأثر الشد السطحي بدرجة الحرارة وينخفض خطياً بارتفاعها، لانخفاض قوى التجاذب بين الجزيئات في كل من الطبقات الداخلية والسطحية نتيجة التمدد، ويتأثر الشد السطحي أيضاً بنوع المركبات الذائبة في المياه وبحسب درجة امتزاجها مع جزيئات الماء، فيزداد الشد السطحي في حالة الألكتروليتات، فتكون قيمته أعلى في المياه المالحة منها في المياه العذبة، وينخفض في حالة الأملاح والمركبات العضوية الذائبة.

#### حرارة المياه والحرارة النوعية:

تؤثر حرارة المياه في العديد من التفاعلات الكيميائية والحيوية الجارية فيها، فزيادة الحرارة يؤدي إلى زيادة سرعة التفاعلات الكيميائية الجارية، واستناداً إلى قانون فان هوف فإن زيادة الحرارة درجة مئوية واحدة يؤدي إلى زيادة سرعة التفاعل الكيميائي بين 10-20 %، وتؤثر درجة الحرارة في ذوبانية الأملاح فيزداد محتوى المياه منها بزيادة حرارة المياه، وتؤثر درجة حرارة المياه في قابلية ذوبان الغازات فيها، فينخفض ذوبان الغازات في المياه بارتفاع درجة حرارتها، وتسبب زيادة درجة حرارة المياه تغيير طعمها، ورائحتها، وزيادة عمليات أيض الأحياء المجهرية الموجودة فيها، وتقل لزوجة المياه وكثافتها مع زيادة درجة الحرارة.

تتأثر درجة حرارة المياه السطحية في الأنهار والبحيرات بحرارة الهواء الملاصق لها، وتتذبذب بشكل يومي وموسمي تبعاً لتذبذب درجة حرارة الهواء بين الصباح والمساء وبين الصيف والشتاء، وتتأثر أيضاً بأشعة الشمس، وبحجم المسطح المائي فبزيادته يزداد الوقت اللازم لتدفئة مياهه، والعكورة وبيزادتها يزداد تأثير درجة حرارة الهواء في حرارة المياه، وتكتسب المياه الحرارة ببطء وتفقدتها ببطء بسبب ارتفاع السعة الحرارية النوعية للماء (أنظر الجدول التالي)، **والسعة الحرارية** قيمة تبين مدى قدرة الجسم على خزن الحرارة، وتعرف بأنها كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة الجسم درجة مئوية واحدة، ووحدات قياسها في النظام العالمي جول/°م أو جول/كلفن، ويتسبب ارتفاع سعة الماء الحرارية مقارنة بالهواء بوجود فارق زمني بين

تذبذب درجة حرارة الهواء وتأثيرها في درجة حرارة الماء، وهذا ما يجعل الماء في المسطحات المائية الكبيرة أكثر دفئاً في المساء.

السعة الحرارية للماء وعدد من المواد الأخرى

المادة	السعة الحرارية، جول/م°
الماء	1.00
الثلج	0.50
التربة الجافة	0.20
الهواء	0.17
الحديد	0.11

### اللزوجة:

اللزوجة خاصية تمتاز بها السوائل ومنها الماء، وهي عكس الميوعة (Fluidity)، وهي عبارة عن المقاومة الداخلية التي تبديها جزيئات السائل لحركته، وزيادتها تتخفف قابلية السائل على الانسياب، وتتسبب بسبب وجود فرق في قوى الاحتكاك الداخلي بين طبقات السائل المتحركة بسرعة وطبقاته المتحركة ببطء، ووحداتها غم سم<sup>-1</sup> ثا<sup>-1</sup> (البويز Poise)، وتتأثر لزوجة الماء بالآتي:

1. درجة الحرارة: وزيادتها تتخفف لزوجة الماء وتكون أعلى لزوجة عند الصفر المئوي وأدناها عند الغليان.
2. نوع الأملاح الذائبة في المياه، ولوحظ زيادة اللزوجة بشكل أكبر في المياه الحاوية على كلوريد الكالسيوم والمغنسيوم مقارنة بتلك الحاوية على كلوريد الصوديوم وذلك عند زيادة التركيز الكلي للأملاح عن 180 ملغم لتر<sup>-1</sup>.
3. تتأثر لزوجة المياه بالضغط ونوع الغازات الذائبة فيها بشكل طفيف لدرجة يمكن إهمال هذا التأثير.
4. الأملاح الذائبة، وزيادتها تزداد لزوجة المياه.

### الكثافة:

تبلغ كثافة الماء حدها الأقصى (0.99997 غم سم<sup>-3</sup>) عند درجة حرارة 4م° وضغط جوي 1013 هكتوباسكال (hPa)، ويتمدد عند التسخين فوق هذه الدرجة فتقل كثافته، فتكون مثلاً: 0.99821

و0.99220 و0.95840 غم سم<sup>-3</sup> في درجة حرارة 20 و40 و100°م على التوالي، وتتغير كثافته اعتماداً على كمية المواد الذائبة فيه ونوعها، وكمية المواد العالقة، ويكون الاختلاف في المياه السطحية العذبة ومياه الشرب قليلاً يمكن إهماله، بينما يمكن أن يكون الاختلاف كبيراً في المياه الجوفية والمياه المعدنية اعتماداً على كمية المواد الذائبة فيها، والعلاقة بين كثافة المياه وكمية الأملاح الذائبة فيه طردية، وتبلغ كثافة الماء بين 1.0-1.4 غم سم<sup>-3</sup>.

#### العكورة والشفافية:

المياه بطبيعتها شفافة، وتتناسب الشفافية عكسياً مع العكورة، وتنتج العكورة من احتواء معظم المياه السطحية والجوفية على مواد تُثنت الضوء الساقط عليها، ومعظمها يتكون من دقائق معدنية وملوثات عضوية ومواد بروتينية وبعض الطحالب والبكتيريا، ويكون معظم هذه المواد في المياه السطحية الجارية من دقائق التربة المعدنية، بينما يكون معظمها في مياه البحيرات والخزانات من الأحياء المجهرية.

#### الرائحة:

الماء النقي عديم الرائحة، وقد تكتسب المياه روائح معينة تنتج عن بعض التفاعلات الكيميائية، أو بسبب زيادة النشاط البيولوجي، أو حصول تلوث عضوي، أو تلوث بالمواد الصناعية، أو انخفاض تركيز الأوكسجين، أو تفسخ الكائنات المائية، مثل: الطحالب والأشنيات، وتفكك وتفسخ المركبات النتروجينية والفسفورية والكبريتية، وظهور رائحة مميزة في المياه تكون دليلاً على وجود بعض المركبات، مثل: الأمونيا، وغاز كبريتيد الهيدروجين الذي يكسب المياه رائحة البيض الفاسد، والمواد العضوية، والغازات الناتجة عن تفسخ المواد العضوية في المياه الراكدة تكسب المياه رائحة عفنة، وينبغي أن تكون مياه الشرب خالية من الروائح، وتوصف رائحة المياه بتحديد نوعها وشدتها.

#### اللون:

تكون المياه الطبيعية النقية عديمة اللون، فالماء النقي ليس له القدرة على امتصاص أي طيف من الأشعة الضوئية، وتتلون المياه بسبب وجود الشوائب المختلفة والملوثات، مثل: حوامض الهيوميك والفولفيك، ومستويات مرتفعة من المواد العضوية الذائبة الأخرى، مثل: التانينات (Tannins)، وأيونات الفلزات، مثل: الحديد والمنغنيز، والمواد العالقة، والنباتات المائية، والأعشاب، والطحالب، ومخلفات المصانع والمناجم،

وفضلات المدن، فحوامض الهيوميك والفولفيك تُعطي للمياه لوناً بنياً بصفرة، وهو ما يُميز مياه المستنقعات، أما الحديد -والذي يوجد بشكل هيدروكسيد الحديدك- فيكسب المياه لوناً بنياً محمراً، ويؤدي ذوبان أكاسيده إلى اكتساب المياه لوناً مخضراً يميل للزرقة، وتكتسب المياه الحاوية على أملاح الكالسيوم والمغنسيوم لوناً مائلاً للزرقة، لذا يُستخدم اللون دليلاً بصرياً، لكشف إمكانية وجود كميات كبيرة من المركبات العضوية الناتجة من النباتات، أو مادة التربة العضوية في المياه السطحية.

### 11.2-الطعم:

الماء النقي عديم الطعم، ويعتمد طعم المياه على نوع الأملاح وكميتها، والغازات المذابة فيها وتركيزها، ونوع الملوثات وتركيزها، ويرتبط طعم المياه عادة مع رائحتها، ووجود طعم غير مستساغ للمياه يشير إلى احتمال تلوث المياه بالمواد العضوية، أو بمنظفات صناعية، أو انخفاض تركيز الأوكسجين، أو ارتفاع تركيز الأملاح الكلية، أو زيادة عسرة الكربونات، أو زيادة تركيز واحد أو أكثر من الأيونات الذائبة الآتية: الألومنيوم، والحديد والمغنيز، والفوسفات.

تتصف المياه الحاوية على ملح كلوريد الصوديوم بطعم مالح، بينما يكون طعم المياه الحاوية على كبريتات المغنسيوم مرّاً، وتعطي بعض المركبات العضوية طعماً حلوّاً للمياه، ويضفي وجود ثنائي أوكسيد الكربون الحر في المياه مذاقاً عذّباً، ولا يتقبل المستهلكون مياه شرب ذات جودة طعم متدنٍ حتى لو كانت مأمونة صحياً، وقد يلجؤون إلى استهلاك مياه شرب ذات جودة عالية في الطعم وإن كانت أقل أماناً من الناحية الصحية.

### النشاط الإشعاعي:

تمتلك المياه نشاطاً إشعاعياً إذا احتوت على أملاح المواد المشعة، مثل: اليورانيوم ( $U^{235}$ ,  $U^{238}$ )، والثوريوم (Th) ونظير البوتاسيوم ( $K^{40}$ )، والراديوم ( $Ra^{226}$ )، والبلوتونيوم ( $Pu^{242}$ )، وغاز الرادون ( $Rn^{222}$ )، ونظير الروبيديوم ( $Rb^{87}$ )، وبعض العناصر في الطبيعة لها أكثر من نظير، ونظير **العنصر** يختلف عن العنصر في عدده الكتلي ومشابهاً له في العدد الذري، وينتج النشاط الإشعاعي من تفكك نواة النظير تلقائياً إلى نواة أصغر، فتُصدر إشعاعات بشكل جسيمات ألفا أو بيتا، ويُطلق على هذه النظائر **بالنظائر المشعة**، ويُعبّر عن سرعة تفكك النظائر بنصف العمر (Half life)، وهو الزمن اللازم لتحول نصف عدد الذرات النشطة إشعاعياً في عينة إلى ذرات غير نشطة.

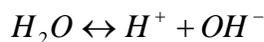
قد تصل الكثير من المواد المشعة إلى المياه الأرضية وتنتشر فيها، ولها مصدران: طبيعي يشمل: الأشعة الكونية والبيئة الأرضية، وتم العثور على مياه جوفية مشعة طبيعياً في مناطق متعددة من العالم، وصناعي يشمل المفاعلات النووية والتفجيرات النووية.

أ.د. رعد عبد الكريم التميمي

## الخواص الكيميائية للمياه العذبة

### انخفاض التأين: Low Ionization

يتأين الماء وفقاً للمعادلة الآتية:



ويتصف الماء بكونه قليل التأين، وتسمى عملية تأينه **بالتبرتن الذاتي** (Autoprotolysis)، ويمكن التعبير عن حالة الاتزان لتأين الماء بالمعادلة الآتية:

$$K_w = \frac{(H^+)(OH^-)}{(H_2O)}$$

### الأس الهيدروجيني: pH

يُعبّر الأس الهيدروجيني عن فعالية أيون الهيدروجين الحر في المحاليل، ويُعرّف بأنه "اللوغاريتم السالب لفعالية أيون الهيدروجين في المحلول":

$$pH = -\log(H^+)$$

ويشير القوسان إلى الفعالية، وفي المحاليل المخففة، مثل: الماء، فإن التركيز يساوي الفعالية.

يبلغ الأس الهيدروجيني للمياه الطبيعية بين 6.5 و 8.5، ويرتبط بتركيز أيوني الهيدروجين والهيدروكسيل، اللذين يتأثر تركيزهما بذوبان العناصر الحامضية والقاعدية في المياه، وفي المياه الطبيعية غير الملوثة فإن تبادل غاز ثنائي أكسيد الكربون مع الهواء الجوي يتحكم بقيمة الأس الهيدروجيني للمياه، وينخفض الأس الهيدروجيني بوجود ثنائي أكسيد الكربون الحر، الذي يذوب في الماء فيعطي حامض الكربونيك الذي يعمل على خفض الأس الهيدروجيني إلى قرابة 6، وقد يرتفع الأس الهيدروجيني في المياه السطحية ليصل إلى 10 في حالة الاستنزاف الكبير لثنائي أكسيد الكربون حيوياً، كما هو الحال عند نمو الطحالب، ويتأثر الأس الهيدروجيني للمياه أيضاً بوجود بعض الأملاح الذائبة فيها والتي تعطي محاليلاً قلوية، مثل: بيكربونات الكالسيوم والمغنسيوم مسببة رفع الأس الهيدروجيني للمياه.

تُقسم المياه استناداً إلى قيمة الأس الهيدروجيني على عدة مجاميع هي:

درجة الحموضة أو القلوية	الأس الهيدروجيني
شديدة الحامضية	أقل من 5.5
متوسطة الحامضية	5.5-6.0
خفيفة الحامضية	6-6.5
خفيفة الحامضية جداً	6.5-7.0
متعادلة	7.0
قليلة القلوية جداً	7-7.5
قليلة القلوية	7.5-8.0
متوسطة القلوية	8.0-8.5
شديدة القلوية	أعلى من 8.5

قد ينخفض الأس الهيدروجيني لبعض المياه الجوفية لأقل من 4.5 نتيجة احتوائها على بعض الحوامض القوية الحرة، أو بعض الغازات البركانية، أو نتيجة تلوثها ببعض المركبات الصناعية، ويشير انخفاض الأس الهيدروجيني للمياه إلى عدوانيتها وقدرتها على مهاجمة المعادن والتفاعل معها، وإحداث تآكل فيها، وسنبين ذلك في الفصل الخامس، ويُستخدم الأس الهيدروجيني مؤشراً لتحري صحة النظام البيئي المائي، وصلاحية المياه للاستخدامات المختلفة، مثل: الاستجمام، والري، وشرب الماشية، والاستهلاك البشري، والصناعة.

### الأملاح الذائبة الكلية: Total Soluble Salts

تحتوي المياه الطبيعية على أملاح كربونات وبيكربونات وكبريتات وكلوريدات، وبدرجة أقل نترات وبورات، كل من: الكالسيوم والمغنسيوم والصوديوم والبوتاسيوم والحديد والمنغنيز وغيرها بشكل ذائب، وتُشكل مجموع هذه الأملاح ما يسمى **الأملاح الذائبة الكلية (TSS)**، ولا تشمل الغازات الذائبة، ويطلق على مجموع الأملاح الذائبة والغازات الذائبة **درجة معدنية المياه**، ويُحدد التركيز الكلي للأملاح الأغراض التي تستخدم المياه فيها، وتحدد ارتباطات الأيونات التي تحويها المياه مع بعضها خصائص المياه الكيميائية، مثل: الملوحة، والقلوية، والحموضة، والعسرة.

يُعبّر عن ملوحة المياه بقياس إيصاليتها الكهربائية، وهي مقلوب المقاومة ووحدتها ديسيمنز م<sup>-1</sup>، وتُستخدم وحدات صغيرة للتعبير عن الإيصالية الكهربائية للمياه، وعادة يُستخدم الميكروسيمنز سم<sup>-1</sup> أو مليسيمنز م<sup>-1</sup>، ويُعبّر أيضاً عن محتوى المياه من الأملاح بوحدة التركيز "جزء في المليون" وهي وحدة وزن/وزن، وتعني جزءاً واحداً من المذاب في مليون جزءٍ من الماء، أو يُعبّر عنه بالملغرام لتر<sup>-1</sup>، وهي وحدة وزن/حجم، والوحدتان متساويتان في القياس تقريباً في حالة المياه العذبة وذات الملوحة المنخفضة، على أساس أن الوزن النوعي للماء يساوي واحداً، وبالتالي فإن لتر الماء يزن كيلوغراماً واحداً، أي مليون ملغرام، وهذا الوزن يكون صحيحاً فقط في المياه النقية وفي درجة حرارة 3.98م، ويُعبّر أيضاً عن تركيز المكونات الأساسية في المياه بوحدة المليمكافئ لتر<sup>-1</sup>، ويُلبّجاً لاستخدامها عندما يراد معرفة تركيز الأملاح ونوعيتها التي يمكن أن تتشكل في المياه، إذ إنّ مجموع تراكيز الأيونات الموجبة مقدراً بالمليمكافئ لتر<sup>-1</sup> يساوي مجموع تراكيز الأيونات السالبة مقدراً بالمليمكافئ لتر<sup>-1</sup>. تقسم المياه بحسب كمية الأملاح الكلية المذابة فيها على الأقسام الآتية:

المواد الصلبة الذائبة الكلية	عذوبة المياه أو ملوحتها
أقل من 300 ملغم لتر <sup>-1</sup>	عذبة جداً
300 - 1000 ملغم لتر <sup>-1</sup>	عذبة
1000 - 3000 ملغم لتر <sup>-1</sup>	قليلة الملوحة
3000 - 10000 ملغم لتر <sup>-1</sup>	مالحة
10000 - 50000 ملغم لتر <sup>-1</sup>	شديدة الملوحة
أكثر من 50000 ملغم لتر <sup>-1</sup>	محلول ملحي

### القلوية: Alkalinity

مقياس لقدرة المياه على معادلة الحوامض إلى نقطة تكافؤ الكربونات والبيكربونات، وفي البيئة الطبيعية فإن قلوية الكربونات تشكل معظم القلوية الكلية، وكيميائياً فإن القلوية تكافئ مجموع القواعد، وبعبارة أخرى فإن مفهوم القلوية يأخذ بالحسبان المواد الموجودة في المياه الطبيعية ولها القدرة على استقبال البروتونات (معادلة الحموضة)، وتعمل القلوية على إبقاء الأس الهيدروجيني للماء عند قرابة 7، وعند انخفاضها تزداد حامضية الماء، مما قد يسبب أضراراً للحياة المائية، وتتنخفض قلوية الماء بترسيب الكربونات والهيدروكسيدات.

**الحامضية: Acidity**

هي عكس القلوية، وتُمثّل سعة الماء الكمية للتعادل مع القاعدة، ومصدرها المواد التي لها القدرة على منح البروتونات، ويحددها عدد البروتونات الموجودة، ولا تتأثر بدرجة الحرارة أو الضغط، لكنها تتأثر بإضافة أو انتزاع ثنائي أكسيد الكربون، فزيادة حامض الكربونيك الذائب في الماء يؤدي إلى زيادة الحامضية.

**جهد الأكسدة والاختزال: Redox Potential**

يمتلك الماء خاصية الأكسدة والاختزال، ويُمثّل الأوكسجين المكوّن المؤكسد، ويُمثّل الهيدروجين المكوّن المختزل، ويؤثر جهد الأكسدة والاختزال في العديد من العمليات الكيميائية الجارية في المياه، ويُستخدم لكشف حالة المياه إن كانت هوائية أو لا هوائية، وتختلف المياه في قيم جهد الأكسدة والاختزال، فالمياه السطحية الساكنة تمتاز بظروف هوائية نتيجة لانتشار اوكسجين الهواء الجوي، بينما تسود الظروف اللاهوائية في الطبقات التحتية، لضعف عملية خلط طبقات المياه، ويمكن تفسير حالة تهوية المياه استناداً إلى قيم جهد الأكسدة والاختزال كالاتي:

التفسير	قيمة الجهد
ظروف لاهوائية تماماً	أقل من - 200 ملي فولت
ظروف انتقالية	- 200 إلى 0 ملي فولت
سيادة العمليات الهوائية	موجبة

**العسرة: Hardness**

يوجد الكالسيوم والمغنسيوم في جميع المياه الطبيعية، ويُطلق على مجموعهما في المياه العسرة الكلية (*Total Hardness*)، وتُعرّف بأنها "قدرة المياه على ترسيب أملاح الكالسيوم والمغنسيوم للحوامض الدهنية غير الذائبة من محاليل الصابون"، وتُحدّد العسرة الكلية مدى صلاحية المياه للاستخدام المنزلي والصناعي والزراعي، وتُسبب رفع درجة غليان المياه، وتكوين زَبَد لزج يمنع تكوين رغوة عند الغسل بالصابون، لذا لا يُنصح باستخدامها للطبخ أو للاستحمام، ويُسبب وجود الكربونات ترسيب الكالسيوم والمغنسيوم بشكل كربونات الأيونين في أنابيب نقل المياه، ويمكن أن تسبب العسرة التي تزيد عن 200 ملغم لتر<sup>-1</sup> ترسيباً قشرياً اعتماداً على الأس الهيدروجيني للمياه وقلويتها، وتُقسم عسرة المياه على نوعين:

أ. عسرة مؤقتة (*Temporary Hardness*): سببها وجود كربونات وبيكربونات الكالسيوم والمغنسيوم، ويمكن إزالتها بغلي المياه لترسيب كربونات الكالسيوم والمغنسيوم.

ب. عسرة دائمة (Permanent Hardness): سببها وجود كلوريدات وكبريتات الكالسيوم والمغنسيوم، ولا يمكن إزالتها بغلي المياه.

وإذا كان تركيز البيكربونات في المياه أكبر من مجموع تركيز الكبريتات والكلوريد فإن العسرة مؤقتة، والعكس صحيح، وتُمثل العسرة الكلية مجموع عسرتي الكالسيوم والمغنسيوم، ويمكن حسابها بعد تقدير الكالسيوم والمغنسيوم في المياه كالاتي:

$$\text{العسرة الكلية} = (\text{تركيز الكالسيوم} \times 2.497) + (\text{تركيز المغنسيوم} \times 4.116)$$

وحداتها ملغم يكافئ لتر<sup>-1</sup> كربونات الكالسيوم، علماً أن تركيز الكالسيوم والمغنسيوم يكون ملغم لتر<sup>-1</sup>، وإذا كان تركيز الكالسيوم والمغنسيوم بالمليكمافئ لتر<sup>-1</sup> فيضرب بالوزن المكافئ لكربونات الكالسيوم وهو 50، ويوضح الجدول الآتي أصناف عسرة المياه الكلية.

جدول: أصناف عسرة المياه الكلية وفقاً لتصنيف جمعية المهندسين الزراعيين الأمريكية

صنف المياه	العسرة بشكل كربونات الكالسيوم، ملغم لتر <sup>-1</sup>
يسرة	0 - 60
معتدلة العسرة	60 - 120
عسرة	120 - 180
شديدة العسرة	أكثر من 180

### المكونات الأيونية: Ionic Constituents

يمكن وصف المياه العذبة بأنها وسط كيميائي يحوي أو ينقل مواداً مختلفة، يُشار لبعضها على أنها مكونات، وللبعض الآخر على أنها ملوثات، وبشكل عام فإن الأجسام المائية في مختلف أنحاء العالم تستلم حمولات مختلفة من هذه المواد، منها ما هو قادم من مناطق طبيعية، مثل: الغابات، والبعض الآخر هو من نواتج النشاط البشري السكاني أو الصناعي، والتي تكون عموماً بيئة مناسبة لنمو مختلف الأحياء المجهرية، ودراسة هذه المكونات له أهمية قصوى في تقييم نوعية المياه، وتحديد مدى صلاحيتها للاستخدامات المختلفة، فالمياه الطبيعية تحتوي على عدد كبير من العناصر بصورة دائمة وبتراكيز مختلفة، وبشكل عام تُقسم العناصر والأيونات التي تكوّن الأملاح الذائبة في المياه الأرضية وبحسب تركيزها على أربع مجاميع يبينها الجدول الآتي:

العناصر والأيونات			التركيز، ملغم لتر <sup>-1</sup>	المكون
الكلوريد البكربونات	السليكات الكبريتات	الصوديوم الكالسيوم المغنسيوم	1000-1.0	المكونات السائدة Major Constituents
سترونتيوم النترات	بورون الكربونات	الحديد البوتاسيوم فلوريد	10.0-0.01	المكونات الثانوية Secondary Constituents
الموليبدينوم النيكل الفوسفات النحاس الكوبلت الروبيديوم التيتانيوم	السليسيوم اليود اليورانيم الفناديوم الرصاص الليثيوم المنغنيز الزرنخ	الأنثيموني الألومنيوم الخاصين الباريوم البروميد الكادميوم الكروم الزئبق	0.1- 0.0001	المكونات الصغرى Minor Constituents
سكانديوم فضة تاليوم ثوريوم راديوم إنديوم يوتريوم	نوبيوم بلاتين ذهب يوتريوم قصدير روزنيوم زيركونيوم	بزموث بريليوم سيريوم سيزيوم جاليوم تجستن لائثانوم	أقل من 0.001	المكونات النزرة Trace Constituents

### الغازات الذائبة في الماء: Soluble Gases in Water

توجد الغازات في المياه بصورة ذائبة فيحاط جزئي الغاز بجزيئات ماء، أو بصورة غازية (حر) في داخل فقاعات، ويحاط جزئي الغاز في هذه الحالة بجزيئات غازات أخرى داخل الفقاعات، أو بصورة صلبة إذ يتم اصطياد جزئي الغاز في الماء المتجمد، وتنتقل الغازات الذائبة من صورة لأخرى اعتماداً على الضغط ودرجة الحرارة، ويعتمد تركيز الغاز الذائب في المياه مباشرة على ضغطه الجزئي في الهواء الجوي الملامس لسطح المياه، وهو مستقل عن الضغوط الجزئية للغازات الأخرى، وهو ما يعرف بقانون دالتون.

**الأوكسجين الذائب: Dissolved Oxygen**

الأوكسجين الذائب في الماء أساسي لحياة الأحياء المائية، التي تعمل على أكسدة وتحلل الملوثات التي تصل المياه، بضمنها أحياء المياه المجهرية هوائية المعيشة، لذا يُعد دليلاً مهماً لبيان حالة الجسم المائي وفي تحديد جودة المياه، ويوجد الأوكسجين في المياه بشكل جزيئات ذائبة وبتركيز 0-15 ملغم لتر<sup>-1</sup>، ويتغابر تركيزه كثيراً في المياه السطحية، ويعتمد تركيزه فيها على:

1. درجة حرارة المياه: ينخفض تركيز الأوكسجين الذائب في المياه بزيادة درجة حرارتها لتحرره إلى المحيط الخارجي، ولزيادة سرعة التفاعلات الكيموحيوية المستهلكة للأوكسجين، بضمنها التفاعلات الجارية في الأنظمة الحيوية المائية، فضلاً عن انخفاض درجة ذوبانه في المياه بارتفاع درجة حرارتها، فتتخفض ذائبته في المياه بمقدار 40 % عند ارتفاع درجة حرارة المياه من الصفر المئوي إلى 25°م.

2. الضغط الجزئي للأوكسجين في الهواء الجوي الملاصق للماء، واستناداً إلى قانون هنري، فعند ثبوت درجة الحرارة فإن تركيز الغاز في الماء يتناسب طردياً مع الضغط الجزئي لذلك الغاز.

3. تركيز الأملاح الذائبة في المياه، وبزيادتها يقل تركيز الأوكسجين الذائب.

4. درجة تلوث المياه، ونوع الملوثات، والنشاط البشري؛ وعادة يكون سطح المياه السطحية غير الملوثة مُشبعاً بالأوكسجين الذائب، وينخفض تركيزه في المياه الملوثة، وينخفض تركيزه بشدة بوجود الملوثات العضوية، لاستهلاكه في أكسدة هذه الملوثات وتحللها.

5. تأثير الطحالب والنباتات المائية المغمورة، فهي مصدراً للأوكسجين الناتج عن عملية التمثيل الضوئي، وتعتمد درجة مشاركة التمثيل الضوئي للنباتات المائية في كمية الأوكسجين الذائب في المياه على كثافة نمو الطحالب والنباتات المائية، وحالة الإضاءة في المياه، ووفرة الغازات.

6. يؤثر الوقت من السنة والوقت من اليوم والفصل، والعمق، والارتفاع عن مستوى سطح البحر، في تركيز الأوكسجين الذائب في المياه من خلال تأثيره في حركة التيارات داخل المياه والتي تتكون بسبب الاختلافات في الكثافة بين الطبقات، وفي سرعة الانتشار، وكذلك من خلال الأمطار الغزيرة التي تعمل على حدوث خلط متجانس للمياه من السطح إلى الأعماق لا سيما في الخزانات المائية.

**ثنائي أكسيد الكربون الحر: Free Carbon Dioxide**

تبلغ نسبة ثنائي أكسيد الكربون في الهواء الجوي قرابة 0.04 % حجماً وهو عالي الذوبان في الماء، وتمتصه المياه من الهواء الجوي الملامس لها، أو من كمياته المنطلقة من التفاعلات الكيميائية والكميحية التي تحدث في الصخور، أو من العمليات البركانية، أو من تحلل الغطاء النباتي، أو من خلال تماس الغاز مع المياه في الترسبات الأرضية، ويمكن أن يذوب ثنائي أكسيد الكربون الموجود في الهواء الجوي في ماء المطر أثناء هطول الأمطار، وتذوب كميات أكبر من ذلك في المياه الجارية على سطح التربة أو المارة خلالها، فتركيز ثنائي أكسيد الكربون في هواء التربة يصل إلى 0.3%، أي تسعة أضعاف تركيزه في الهواء الجوي تقريباً، وينتج من التحلل الميكروبي الهوائي واللاهوائي للمواد العضوية في التربة ومن تنفس جذور النباتات.

**كبريتيد الهيدروجين: Hydrogen Sulphide**

يوجد كبريتيد الهيدروجين في المياه السطحية والجوفية بتراكيز منخفضة، ويتكوّن من اختزال الكبريتات والكبريت العضوي، وقد يرتفع تركيزه بشكل ملحوظ في المياه ذات الظروف الاختزالية، ويعود ذلك للتنفس اللاهوائي للأحياء المجهرية المائية التي تستخدم الكبريتات مستقبلاً للالكترونات لتحلل المواد العضوية، لذا يعد وجود كبريتيد الهيدروجين في المياه دليلاً على تلوثها بالمواد العضوية أي إنه يرتبط بعلاقة عكسية مع تركيز الأوكسجين، ومن النادر أن يتجاوز تركيزه فيها 50 ملغمتر<sup>-1</sup>، ويمكن تمييزه بسهولة فهو ذو رائحة كريهة تشبه رائحة البيض الفاسد، ويكون تركيزه في مياه الشرب منخفضاً في العادة، وذلك لأكسدة الكبريتيدات بسهولة في المياه جيدة التهوية، وقد يصل إلى المياه الجوفية نتيجة تلوثها بمياه الصرف الصحي.

**الميثان: Methane**

الميثان (CH<sub>4</sub>) غاز عضوي يتشكّل من تحلل المواد العضوية بفعل العمليات الكميحية التي تقوم بها البكتريا اللاهوائية، لا سيما في المناطق الحاوية على النفط والفحم ومناطق المستنقعات، وتشمل عملية التحلل تجزئة المركبات العضوية المعقدة إلى مركبات ذات وزن جزيئي منخفض، ثم تحليل هذه المركبات إلى مكوناتها الأساسية وتحرير غازي الميثان وثنائي أكسيد الكربون، ويتميز الميثان برائحة كريهة ننتة يسهل التعرف عليها، ويطلق عليه غاز المستنقعات لكثرة وجوده في مناطقها.

**النتروجين: Nitrogen**

مصدره في المياه هو ذوبان النتروجين من الهواء الجوي فضلاً عن التحلل الميكروبي للمواد العضوية، وتركيزه ضئيل لانخفاض ذائبته، وتزداد ذائبته بانخفاض درجة حرارة المياه.

**الغازات الخاملة: Inert Gases**

تشمل الهليوم والنيون والآركون والكربتون، وتوجد ذائبة في الماء بتراكيز ضئيلة، وهي لا تتفاعل مع الماء أو المواد الأخرى.

**المواد والأحماض العضوية: Organic acids and substances**

تصل المواد العضوية إلى المياه السطحية بشكل ملوثات من فضلات السكان والنشاط الصناعي والزراعي، أو بشكل مواد طبيعية من النباتات التي تنمو على جوانب الأنهار وفي قاعها، ومن مخلفات الكائنات الدقيقة التي تعيش في التربة بعد موتها، والتي تنتقل إلى المياه السطحية مع انجرافات التربة التي تسببها الأمطار، أو تنتقل إلى المياه الجوفية بشكل مواد مذابة أو جسيمات مع مياه الرش ومياه الأمطار خلال جسم التربة، وتوجد في المياه بتراكيز منخفضة، وبعضها ذو وزن جزيئي منخفض وسهل التحلل، مثل: السكريات الأحادية والثنائية، والبعض الآخر ذو وزن جزيئي عالٍ وثباتية عالية، مثل المواد الدبالية، وعموماً تقسم المواد العضوية بحسب قابلية ذوبانها وتقسم أيضاً استناداً إلى احتوائها على النتروجين من عدمه على مواد عضوية نتروجينية ومواد عضوية غير نتروجينية.

## تلوث المياه

يمكن أن تتعرض المياه الأرضية العذبة للتلوث بشكل مباشر أو غير مباشر، ويقصد بتلوث المياه العذبة تَدُنُس مياه الجداول والعيون والأنهار والآبار والأمطار والمياه الجوفية بكل ما يُفسد خواص الماء، أو يُغَيِّر من صفاته الكيميائية أو الطبيعية أو الحيوية، مما يجعله غير صالح، أو أقل صلاحية للاستعمال في الأغراض الطبيعية المخصص لها، أو للكائنات التي تعيش فيه، وبذلك فإن أي تغيير في خصائص المياه الطبيعية، والكيميائية، والحيوية، التي تجعل المياه غير صالحة للاستخدام في الأغراض المنزلية، أو الزراعية، أو الصناعية، أو تصبح المياه مؤثرة في الصحة العامة، أو في الكائنات الحية التي تعيش فيها يُعد تلوثاً، وتتلوث المياه السطحية عن طريق المخلفات الإنسانية والنباتية والحيوانية والصناعية التي تُلقى فيها، أو تصب في فروعها، بكميات أكبر من القدرة الطبيعية للمياه على التخلص منها، ويُعد تغيير الصفات الطبيعية للمياه، مثل: درجة الحرارة واللون وتلوثاً إذا أضر سلباً في صلاحية استخدامها للأغراض المخصصة لها، وتتلوث المياه الجوفية نتيجة لتسرب مياه المجاري إليها بما فيها من بكتريا ومواد كيميائية سامة أو ملوثة.

قسم هوبكنز وشولز الماء على ثلاثة أقسام:

1. الماء المأمون: Wholesome

هو الماء النقي في جميع الأوقات، ويكون عديم اللون والطعم والرائحة، وخالياً من المواد العالقة، والمواد العضوية الذائبة وغير الذائبة، وخالياً من الميكروبات الممرضة.

2. الماء الملوّث: Polluted

الماء الذي تنخفض درجة جودته، لاختلاطه بمخلفات الصرف الصحي، أو الزراعي، أو الصناعي، وغيرها، فيصبح أقل صلاحية، أو غير صالح للشرب، أو للأغراض الطبيعية الأخرى المخصص لها.

3. الماء الممرض: Contaminated

يكون مصدراً للأضرار الصحية نتيجة لاختلاطه بمخلفات الإنسان، أو الحيوان، أو المركبات الكيميائية.

**أنواع الملوّثات:**

قد تكون المواد الملوّثة غازية أو سائلة أو صلبة، وقد تكون مواداً عضوية، أو غير عضوية، وقد تكون كائنات حية ومسببات مرضية، ولتسهيل التعرف على أنواع الملوّثات يمكن إجمالها بالآتي:

**1. المواد غير العضوية:**

وتشمل أيونات العناصر الثقيلة، مثل: النحاس والرصاص والزنبق والكاميوم والخاصين، وكذلك أيونات الأملاح، مثل: الكالسيوم والمغنسيوم والبوتاسيوم والصوديوم والكلوريد والكبريتات والكربونات والبيكربونات، وأيونات المغذيات النباتية الكبرى، مثل: الأمونيوم والنترات والفوسفور، فضلاً عن بعض الأيونات السامة، مثل: السيانيد والفلوريد، وبعض الغازات غير العضوية، مثل: الامونيا والكلور.

**2. المواد العضوية:**

قد تكون طبيعية، مثل: مخلفات الحيوانات والنباتات، أو صناعية، مثل: مخلفات مصانع الورق والأخشاب، ومخلفات مصانع البتروكيمياويات، ومخلفات مصانع الزيوت النباتية والزيوت المعدنية، والمبيدات العضوية الكلورة، والمركبات المتعددة الكلور ثنائية الفينول ( $PCB_5$ )، والهيدروكربونات النفطية، والفينولات.

**3. المواد والعناصر المشعة:**

المواد المشعة على نوعين: طبيعية، وصناعية من تحضير الإنسان، والمواد المشعة الطبيعية مصدرها الأشعة الكونية والبيئة الأرضية، فالأشعة الكونية تأتي من الفضاء المحيط بالكرة الأرضية، ومصدرها المجرات والشمس، وعند وصول بعضها إلى الهواء المحيط بالأرض فإنها تنتشت وتتفاعل مع ذرات الهواء مكونة جسيمات أقل طاقة ينفذ بعضها ويصل الأرض والمسطحات المائية، أما البيئة الأرضية، فتتضمن صخور القشرة الأرضية والتربة والمياه، ومن أمثلة المواد المشعة الموجودة في صخور القشرة الأرضية: اليورانيوم ( $^{238}U$  و  $^{235}U$ )، والثوريوم (Th)، والسترونتيوم ( $^{90}Sr$ )، ونظير البوتاسيوم ( $^{40}K$ )، أما التربة فتحوي على مواد مشعة غازية، مثل: الكربون-14 والثورون-222، وتحوي المياه أحياناً بعض المواد المشعة، مثل: البوتاسيوم-40 والراديوم-226 والرادون-222، وتشمل البيئة الأرضية أيضاً المواد المشعة في الهواء القريب من سطح الأرض، وهي مواد غازية، مثل: الرادون والثورون، ويوجدان أصلاً في التربة، وينتجان من تحلل اليورانيوم والثوريوم على التوالي، وقد تم العثور على مياه جوفية مشعة طبيعياً في مناطق متعددة من الولايات المتحدة الأمريكية تحتوي على نسبة عالية من الراديوم-226.

أما المصادر الصناعية فتشمل النظائر المشعة التي تنتج عن التفاعلات النووية داخل المفاعلات الذرية، ومصادر الإشعاع المستخدم في الطب والصناعة، مثل: نظير الراديوم ( $^{226}Ra$ )، والبلوتونيوم ( $^{242}Pu$ )، وغاز الرادون ( $^{222}Rn$ )، وتشمل أيضاً المواد المشعة الناتجة عن معاملة خامات اليورانيوم والتي

ينتج عنها كميات ضخمة من مخلفات التعدين تحوي يورانيوم متبقي، ينتج عن اضمحلاله في المخلفات بعض المواد المشعة، مثل: الثوريوم-230، والرادسيوم-226، وقد تتسرب هذه المواد إلى المياه بفعل الأمطار، أو من تعرية التربة وانجرافها، ومن المصادر الصناعية للمواد المشعة التي يمكن أن تصل إلى المياه أيضاً التفجيرات النووية التي يصاحبها تصاعد الغبار الذي تتصهر دقائقه وتندمج مع المواد المشعة، وقد تسقط هذه المواد في أماكن قريبة أو بعيدة عن مواقع التفجير اعتماداً على حجم الدقائق ووزنها النوعي، ويسمى **بالمطر الصلب المشع (Radioactive fallout)**، ومن مصادر الملوثات المشعة المفاعلات النووية المستخدمة في توليد الكهرباء، وقد يتسرب عنها فضلات سائلة، أو ملوثات غازية ذات نشاط إشعاعي تتسرب إلى سائل التبريد، وقد تنفجر فتسبب تلوث المياه كما هو الحال مع مفاعل فوكوشيما الذي انفجر عام 2011 ميلادي، ويمكن أن تسهم التفجيرات النووية التي تستخدم العناصر المشعة بهدف تعيين سرعة المياه الجوفية بتلوثها بالعناصر المشعة، ويصدر عن المواد المشعة ثلاثة أنواع من الأشعة هي: اشعة ألفا وبيتا وغاما، والأخيرة عبارة عن اشعة كهرومغناطيسية ذات تردد عالٍ، وهي أخطر أنواع الأشعة، ويمكن أن تكون سبباً لظهور الأمراض السرطانية للإنسان عند تعرضه لها.

#### 4. مسببات العدوى بالأمراض:

الماء الملوث بمسببات الأمراض أخطر وسائل نقل الأمراض، ويمكن أن تكون مسببات الأمراض الملوثة للمياه كائنات مائية لا فقرية، مثل: البلهارزيا، والدودة الشريطية، أو كائنات مجهرية، مثل: البكتريا، والفيروسات، التي تُسبب العديد من الأمراض للإنسان والحيوان، مثل: التيفويد، والكوليرا، والدزنتري، والتهابات الجهاز البولي، وأمراض معوية معدية، والتهاب السحايا، وتصيب الإنسان أو الحيوان عند استهلاكه للمياه الملوثة أو السباحة فيها، أو تنتقل إليه من المحاصيل والخضروات التي تروى بهذه المياه، لا سيما التي تؤكل طازجة، وتحدث الأمراض التي تسببها المياه الملوثة بشكل أوبئة تنتشر بين الناس.

#### 5. دقائق التربة المعدنية وفتات الصخور:

تتعرض طبقة التربة السطحية للتعرية الهوائية والانجراف المائي، وتُنقل موادها إلى مسافات بعيدة، وتصل إلى مجاري المياه السطحية والمسطحات المائية، وقد تصل إلى المياه الجوفية بالرشح من خلال التربة، ومعظم المواد المنقولة يكون حجمها بين الرمل الناعم والطين، وينتقل الفتات الصخري بفعل الجريان السطحي للمياه، وتنتقل بعض الدقائق الصلبة وغبار عمليات استخراج الخامات الأولية والتعدين، وفضلات بعض الصناعات، مثل: صناعة الاسمنت، لتصل إلى المياه السطحية فتسبب تلوثها بما تحمله معها من

عناصر معدنية، وتبقى المواد الصلبة معلقة فتسبب تعكير المياه، وتزيد من كلفة تنقيتها وتعقيمها، وأنها تقلل كمية ضوء الشمس الواصل إلى المياه فتؤثر سلباً في حياة الكائنات المائية.

## مصادر ملوثات المياه:

### 1- طبيعية:

تمثلة في النباتات والحيوانات وأجسام الكائنات الحية الأخرى التي تصل مخلفاتها إلى المجاري المائية، والمواد العضوية الميتة، والأملاح، ودقائق التربة التي تجرفها مياه الأمطار والسيول، لتصب في الأنهار والمسطحات المائية، ويمكن أن يصل بعضها من خلال الرشح إلى المياه الجوفية، ومن المصادر الطبيعية للتلوث أيضاً مياه البحار التي تتسرب إلى المياه الجوفية عند استنزاف الأخيرة، ومياه الأمطار لا سيما الحامضية التي يمكن أن تحمل الملوثات، مثل: النترات والكبريت. ويعد التغير في درجة حرارة المياه زيادة أو نقصاناً تلوثاً إذا أدى إلى تغيير بعض خصائص المياه، فارتفاع درجة حرارة المياه حتى وإن كان لأسباب طبيعية قد يكون له تأثير سلبي في بيئة الكائنات المائية الحية أو نموها، وانخفاض درجة حرارة المياه يمكن أن يعيق أو يمنع استخدام هذه المياه في الصناعة والري والأغراض المنزلية.

### 2- مصادر النشاط البشري:

يكون الإنسان المسؤول الأول عن مخاطر تلوث المياه التي تُهدد بيئته وحياته من خلال المشاركة بالتلوث عن طريق إنتاج الملوثات أو زيادة الملوثات الطبيعية، مثل: زيادة انجراف التربة بسبب سوء إدارتها، والتسبب في تلمح الترب، وبالتالي زيادة كمية الأملاح التي يمكن أن تصل طبيعياً مع المياه الجارية إلى المياه السطحية والجوفية، أما النشاط البشري المباشر الذي يتسبب في تلوث المياه فيمكن تقسيمه على:

أ. صناعي: مصدره المياه العادمة التي تطرحها المصانع وتُلقى في مجاري المياه السطحية العذبة من دون إجراء معالجات مناسبة لها، وتحمل معها الكثير من الملوثات الكيميائية الناتجة عن الصناعة أو مخلفاتها، وتختلف حدتها وتأثيرها من دولة لأخرى اعتماداً على درجة تقدم البلد علمياً، ووعيه بمخاطر تلوث المياه، ومدى اهتمامه بالبيئة، وعلى درجة تطوره الصناعي، ونوع صناعاته وكثافتها، ومن الملوثات التي تحملها مخلفات الصناعة: المواد العضوية، والكلوريدات، والكربونات، والكبريتات، والكلور، والبروم، والنحاس، والقصدير، والكاديوم، والرصاص، والكروم، والزنئق، والفوسفور، والأنتيموني، والزرنيخ، والنترات، والسلينيوم، والفناديوم، والأحماض المعدنية. ويمكن أن تتلوث المياه

بالمواد المشعة الخطرة على صحة الإنسان عن طريق عمليات استخراج الخامات وتصنيعها، وبعض المواد الملوثة لها القابلية على التراكم في جسم الإنسان أو في أجسام الكائنات المائية الحية، ويمكن أن يكون لمياه المخلفات التي تُطرح مباشرة في البيئة المائية تأثيرٌ فيزيائيٌ من خلال رفع درجة حرارتها (تلوث فيزيائي)، فتؤثر سلباً في صلاحية المياه للاستخدام البشري، أو لنمو الأحياء المائية، كما هو الحال في مياه تبريد المصانع الكبرى، ومياه تبريد المفاعلات النووية.

ب. زراعي: ومصادره المبيدات الكيميائية، والأسمدة الكيميائية والحيوانية، ومخلفات حظائر تربية الحيوانات، ومياه استصلاح التربة الملحية، والأملاح والحوامض ومخلفات المصانع المستخدمة في استصلاح التربة الملحية والصودية والحامضية، وتحمل هذه المصادر المواد والمركبات العضوية، والنترات، والأمونيا، والفوسفور، والكلوريدات، والكبريت، والكبريتات، والصدوديوم، والكالسيوم، والفلور، والزنبيق، والكروم، والرصاص، والبروم، والنحاس، والزرنيخ، ودقائق التربة العضوية والمعدنية.

ج. سكاني: ومصادره مياه الصرف الصحي، والقمامة، ومن أهم المواد الملوثة التي تحملها: المواد العضوية، والكلوريدات، والكبريتات، والنترات، والأمونيا، والكربونات، والفوسفور، والنحاس، والكروم، والكاميوم، والزنبيق، والزرنيخ، والأنثيموني، والسلينيوم، والاسيستوس.

د. طبي: ومصدره الصناعات الدوائية، والمراكز الصحية، والمختبرات الطبية، والمستشفيات، ومن أهم المواد الملوثة التي تنتجها: مواد عضوية، والكلوريدات، والفوسفور، والنحاس، والرصاص، والزنبيق، والسلينيوم، والمواد المشعة.

هـ. نفطي: ومصدره مصافي تكرير النفط، ومحطات تعبئة الوقود، ومحطات غسل السيارات وإصلاحها، والمشاحم، ومحطات القطارات، ومرائب السيارات، ومحطات النقل العام، وسفن وقوارب النقل النهري.

و. نشاطات أخرى، وتشمل: وسائط النقل التي تستخدم المشتقات النفطية وقوداً، وتطرح أول أكسيد الكربون والهيدروكربونات والرصاص، وأنشطة التعليم والتدريب، لا سيما المختبرات الكيميائية والميكروبيولوجية، وورش الصناعات اليدوية، ومحلات الخراطة وسباكة المعادن، وملوثاتها متنوعة بحسب النشاط، وتشمل: المواد العضوية، وبعض العناصر الثقيلة، والملوثات الميكروبيولوجية.

## الآثار الضارة لملوثات المياه

### 1- ارتفاع تركيز الأملاح الكلية:

تتلوث المياه السطحية والجوفية بمياه المجاري ومياه السيول ومياه الصرف الزراعي ومياه الرش من التربة، وقد تتلوث المياه الجوفية أيضاً بمياه البحر بسبب تسرب مياه البحر إليها نتيجة استنزاف المياه الجوفية، كما هو حاصل في بعض مناطق ليبيا الساحلية، فيسبب ارتفاع تركيز الأملاح الكلية في المياه، ويعني ذلك ارتفاع تركيز أيونات الأملاح اللاعضوية فيها، مثل: الكالسيوم، والمغنسيوم، والصوديوم، والبوتاسيوم، والكلوريد، والبيكربونات، والكبريتات، وكميات قليلة من المواد العضوية الذائبة في الماء، ويمكن أن تسبب الأملاح المستخدمة لإذابة الجليد على جوانب الطرق في بعض البلدان زيادة المواد الصلبة الكلية في مياه الشرب، ولا توجد دلائل عن وجود تأثيرات صحية لارتفاع تركيز المواد الصلبة الكلية في مياه الشرب، ولكن يمكن أن تكون التراكيز العالية منها غير مقبولة من المستهلكين، فبعض الأملاح تُعطي طعماً غير مستساغ كما هو الحال مع أملاح الكبريتات التي تعطي طعماً مرّاً.

يسبب ارتفاع تركيز الأملاح في المياه تدني نوعيتها، وانخفاض ملاءمتها لري الأراضي الزراعية، مما يتسبب في انخفاض إنتاجية معظم المحاصيل الزراعية عند ريها بمثل هذه المياه لا سيما الحساسية منها، وقد يسبب تملح الترب وتدهورها، كذلك يسبب ارتفاع تركيز الأملاح الكلية في المياه تدني نوعيتها وانخفاض صلاحيتها أو عدم صلاحيتها تماماً لبعض الاستخدامات الصناعية.

### 2- غياب الأوكسجين:

يسبب تلوث المياه بالمواد والمخلفات العضوية انخفاضاً في تركيز الأوكسجين الذائب في المياه، أو غيابه تماماً، بسبب استهلاكه في تحلل هذه المواد، فيرتفع الطلب الحيوي على الأوكسجين (BOD)، وقد تصبح ظروف المياه لا هوائية مما يسبب ترسيب الكثير من المواد العضوية العالقة التي تتعرض للتحلل اللاهوائي، مسببة تغيير طعم المياه ورائحتها، وانطلاق غازات ذات رائحة كريهة وضارة بالصحة، وأن الزيوت المعدنية، ومخلفات مصانع التكرير، وفضلات محطات صيانة السيارات، التي تصل إلى المياه تُكوّن طبقة أو بقع كبيرة تعيق التبادل الغازي بين الهواء الجوي وسطح المياه، وتُشكّل بعض المركبات الكيميائية العضوية التي تصل إلى المياه خطراً على صحة الإنسان، ومن أمثلتها: مركبات الميثوكسي كلور ذات

السمية العالية للإنسان، ورباعي كلوريد الكربون الذي له القدرة على إتلاف أنسجة الرئة والكبد والكلى، مما قد يؤدي إلى ظهور أورام سرطانية، ويؤثر وجود المواد العضوية في المياه وتحللها لاهوائياً سلباً في التوازن الحيوي للأحياء المائية.

يُسبب انخفاض تركيز الأوكسجين بمستوى بعيدٍ عن مستوى الإشباع تدني جودة المياه (منظمة الصحة العالمية، 1999)، ويسبب انخفاض تركيزه أو غيابه زيادة قدرة المياه على إحداث التآكل في المعادن.

### 3- تغيير الأس الهيدروجيني:

يُسبب طرح فضلات المصانع من الحوامض العضوية والمعدنية في المياه خفض قيم الأس الهيدروجيني للمياه، وكذلك هو الحال مع مياه المناجم الحامضية، مثل: مناجم الفحم الحجري، إذ تحتوي عادة على حامض الكبريتيك، والأمطار الحامضية الناتجة عن تلوث ماء المطر بدخان المصانع الحاوي على ثاني أوكسيد الكبريت وأكاسيد النتروجين، وكما في المعادلتين الآتيتين:



بينما يسبب طرح مخلفات مصانع الألبان رفع قيم الأس الهيدروجيني للمياه، لاحتوائها على هيدروكسيد الصوديوم المستخدم في التنظيف.

يؤدي انخفاض الأس الهيدروجيني أو ارتفاعه إلى تدني جودة المياه، وتدني درجة صلاحيتها للشرب، وانخفاض ملاءمتها لنمو بعض الأحياء المائية، واختلال التوازن الحيوي في البيئة المائية، فالمياه الحامضية تشير إلى حدوث تلوث بأيونات الفلزات الحامضية، خصوصاً  $Fe^{3+}$ ، والحوامض المعدنية ومياه المناجم الحامضية، وهي سامة بسبب حامضيتها الشديدة، أما ارتفاع الأس الهيدروجيني للمياه فيمكن أن يكون عاملاً محدداً لاستخدامها في الغلايات ومصانع الأغذية وشبكات توزيع المياه.

### 4- ارتفاع درجة حرارة المياه:

يُسبب طرح المياه المستخدمة في عمليات تبريد محطات توليد الطاقة النووية والطاقة الكهربائية إلى المياه السطحية رفع درجة حرارة المياه لدرجة قد تؤدي إلى هلاك الكثير من الأحياء المائية، وبخاصة الأسماك، وعادة تتجاوز درجة حرارة هذه المياه  $40^\circ\text{م}$ ، مما يسبب أضراراً كبيرة للهائمات النباتية والحيوانية ويحد من نموها، فيحدث خللاً في التوازن البيئي للأحياء المائية، فتتأثر بقية الأحياء التي تعتمد في تغذيتها

على الهائمات، ويسبب ارتفاع درجة حرارة المياه خفض تركيز الأوكسجين الذائب فيها مما ينعكس سلباً على الأحياء المائية، وزيادة نشاط الأحياء اللاهوائية، فتزداد سرعة التنفس مما يؤدي إلى زيادة الحاجة للأوكسجين، ويزداد كذلك التحلل اللاهوائي للمركبات العضوية الملوثة للمياه فيزيد من خطر التلوث.

### 5-الكالسيوم والمغنسيوم: Calcium and Magnesium

ليس للكالسيوم أو المغنسيوم في المياه تأثير سمي، أو اضرار في صحة الإنسان، إلا أن الكالسيوم قد يشترك بتكوين حصى الكلية أو المثانة عند وجوده بتركيز مفرط، ويسبب ارتفاع تركيزهما عسرة المياه، التي تُعيق تكوين رغوة الى أن ينتهي تفاعل الكالسيوم والمغنسيوم، وهذا يعني زيادة الصابون المستهلك بزيادة عسرة المياه، ولا تسبب المياه العسرة مشكلة عند استهلاكها في الشرب سواء للإنسان أو الحيوان إلا في حالة سيادة أملاح المغنسيوم، فمياه الشرب العسرة ذات المحتوى المرتفع من المغنسيوم تسبب مشاكل معوية، بسبب التأثير المُسهل لكبريتات المغنسيوم والتي تعرف بملح إبسوم (Epsom salt)، ويُفضّل أن يكون تركيز عسرة المياه المستخدمة في الاستهلاك المنزلي والغسيل والطبخ 100 ملغم لتر<sup>-1</sup>، وكحد أعلى 200 ملغم لتر<sup>-1</sup>، وأن لا تزيد عن 150 ملغم لتر<sup>-1</sup> في المياه المستخدمة في منظومات التسخين، والغلايات، وأجهزة ومنظومات صناعات الألبان، فاستخدام مياه ذات عسرة أعلى من ذلك في هذه المنظومات يسبب ترسيب الكربونات بشكل قشرة في أنابيب نقل المياه، فيقلل تصريفها، ويؤدي أيضاً ترسيبها في منظومات تسخين المياه والغلايات زيادة الطاقة المستخدمة في التسخين، واحتمال تلف الغلايات، وإمكانية انسداد فتحات المنقطات والمرشات في أنظمة الري بالتنقيط والرش.

### 6-الصوديوم: Sodium

لأملاحه قدرة عالية على الذوبان في المياه حتى الإشباع، وعلى الرغم من أهميته لجسم الإنسان إلا أن التعاطي العالي له يؤدي إلى حدوث اعتلالات في وظائف جسم الإنسان، مثل: ارتفاع ضغط الدم، وتصلب العضلات، وهبوط القلب بصورة حادة قد يؤدي إلى الوفاة، والأطفال أكثر تأثراً بالجرعات الضارة من الصوديوم، وارتفاع تركيزه في مياه الشرب عن 200 ملغم لتر<sup>-1</sup> ينتج عنه طعم غير مقبول، وزيادة تركيزه في مياه الري يُعرض التربة التي تروى به لمخاطر الصودية، ويسبب خفض نمو النبات عند زيادة تركيزه عن 300 ملغم لتر<sup>-1</sup>.

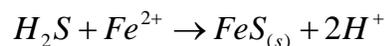
**7- الكلوريد: Chloride**

ارتفاع تركيزه في المياه يعني تعرّضها للتلوث، وقد يصل إليها من رذاذ البحر، ومن تجوية الصخور، وانجراف سطح التربة، ومياه الصرف الزراعي، ومن مياه صرف فضلات بعض المصانع، وإذا زاد تركيزه في المياه عن 250 ملغم لتر<sup>-1</sup> فيُنصح بعدم استخدامها للشرب وتُسبب التراكيز العالية من الكلوريد زيادة معدل تآكل المعادن الداخلة في أنابيب شبكة توزيع المياه، ويشدّ التآكل بزيادة تركيز الكلوريد عن 250 ملغم لتر<sup>-1</sup>. ليس للكلوريد أضرارٌ في الصحة العامة، إلا أن وجوده بتركيز مرتفعة في مياه الشرب يجب أن يؤخذ بالحسبان، لكونه أحد العوامل المسببة لأمراض القلب، كذلك يسبب تغيير طعم المياه، ويؤثر في جودة الصناعات الغذائية، والكلوريد من الأيونات التي تُشكّل خطراً على نمو النبات عند ارتفاع تركيزه في مياه الري لاسيما إذا استُخدم نظام الري بالرش، ويؤدي ارتفاع تركيز الكلوريد في مياه البحيرات العذبة إلى خفض تركيز الأوكسجين في طبقاتها التحتية الأكثر ملوحة والأعلى كثافة، وتؤثر زيادته في المياه العذبة سلباً في الأحياء المائية.

**8- الكبريتات: Sulphate**

الكبريتات أقل الأيونات السالبة سمية للإنسان، إلا أن وجودها بتركيز مرتفع في مياه الشرب يسبب فساد طعم المياه (طعم مر)، وحدوث إسهال شديد، وجفاف، وتهيج معدّي ومعي، ويختلف ويُنصح أن لا يزيد تركيزها عن 500 ملغم لتر<sup>-1</sup> في مياه الشرب، وزيادة تركيزها عن 100 ملغم لتر<sup>-1</sup> يكون ساماً للعديد من الأحياء المائية.

يمكن أن تُسهم الكبريتات في انتكال الأنابيب المعدنية المستخدمة في نظم توزيع المياه، وإحداث أضرار للخرسانة، تكون قليلة إذا كان تركيز الكبريتات أقل من 250 ملغم لتر<sup>-1</sup>، وشديدة إذا تجاوز تركيزها 600 ملغم لتر<sup>-1</sup>، وقد تعمل بعض أجناس البكتريا، على تمثيل واختزال الكبريتات اللاعضوية عند توفر ظروف لا هوائية إلى كبريتيد الهيدروجين المميز برائحة كريهة، مسببة تلوث المياه في حالة وجود الكبريتات بتركيز مرتفعة، وتتكوّن كبريتيد الهيدروجين ووجود الحديد يتكون راسب أسود من كبريتيد الحديدوز:



يسبب ارتفاع تركيز الكبريتات في المياه أيضاً حدوث ظاهرة الإثراء الغذائي (Eutrophication)، التي تؤدي إلى حدوث خللاً في التوازن البيئي للحياة المائية، ويمكن أن يسبب ارتفاع تركيزها في المياه المستخدمة للري مشاكل للتربة والنبات، إلا أنها أقل خطورة من الكلوريد.

### 9- الأمونيوم: Ammonium

زيادة تركيز الأمونيوم مؤشر للتلوث بالمخلفات البشرية أو مخلفات حظائر تربية الحيوانات، وتركيزه العالي في مياه الأنهار يشير إلى وجود تلوث حديث، ولا تلاحظ الآثار السامة للأمونيا إلا في حالة التعرض الذي يتجاوز 200 ملغم كغم<sup>-1</sup> من وزن الجسم تقريباً، وتُسبب زيادة تركيز الأمونيوم مشاكل في طعم المياه ورائحتها، وتحد من استخدامها في صناعة مواد البناء الاسمنتية، ووجود الأمونيا الحرة في المياه يكون ساماً للأحياء المائية.

### 10- النترت والنترات: Nitrate and Nitrite

يوجد النترت والنترات بشكل طبيعي في المياه كجزء من دورة النتروجين، ويبلغ تركيزهما بضع مليغرامات في اللتر الواحد في المياه السطحية والجوفية، ويمكن أن تصل إلى بضع مئات من المليغرامات في اللتر الواحد بسبب الإفراط في استخدام الأسمدة النتروجينية، وعلى الرغم من عدم وجود دليل على أن للنترات والنترت فعلاً مسرطناً بشكل مباشر، إلا أن المخاوف من احتمال خطر السرطان عند الإنسان هو من جزاء التشكّل الداخلي والخارجي المنشأ لمركبات النتروز، التي يكون الكثير منها مسرطناً للحيوانات، وذكرت دراسات علم الأوبئة وجود ترابط معنوي إيجابي بين الوفيات بسرطان المعدة والمثانة والمستقيم ومحتوى مياه الشرب من النترات، وقد وضعت القيمة الدلالية للنترات في مياه الشرب لتجنب الإصابة بمرض الخناق المفاجئ (Methemoglobinemios) في الدم، والذي يعتمد حدوثه على تحوّل النترات إلى نترت، فيعمل الأخير على اختزال خضاب الدم (الهيموغلوبين) إلى مركب الميثيموغلوبين (Methaemoglobin) غير القادر على حمل الأوكسجين في دورة الدم، ويظهر مرض الخناق عندما تكون نسبة الميثيموغلوبين 1-2% من كمية الخضاب، وعند وصول نسبة هذا المركب إلى 10% في الدم تظهر على الإنسان أعراض مرض الجلد الأزرق (Blue skin)، وعند وصول نسبة المركب إلى 30-40% تظهر على الجسم ملامح الاختناق (Anoxia) التي قد تؤدي إلى الوفاة، ويكون الأطفال الرضع دون الشهر الثالث من العمر أكثر استعداداً للإصابة به، وقد يصيب البالغين أيضاً، والتأثير الضار الآخر لارتفاع تركيز

النتريت في المياه هو تحوّلها إلى مركبات أمينات النتروز (Nitrosamines) المُسرطنة بسبب تفاعلها مع الأمينات والاميدات، ويُفضّل أن تكون مياه الشرب خالية من النتريت، ولوحظ في بعض المناطق، التي يرتفع فيها تركيز النترات والنتريت في مياه الشرب لأعلى من 30 ملغم لتر<sup>-1</sup>، ظهور حالات ولادة **الأطفال الزرق** (Blue babies) والمعرضون للاختناق في أثناء الولادة أو بعدها، نتيجة لارتفاع مستوى الميثيموغلوبين في الدم، وقد يظهر المرض أيضاً على الأطفال الرُضّع عند ارتفاع تركيز النترات في مياه الشرب لأكثر من 40 ملغم لتر<sup>-1</sup>، ومن أعراضه ذبول الطفل، وشعوره بالنعاس، ويصبح لون بشرته مزرقاً، وتوجد دلائل تشير إلى وجود علاقة بين التعرض للنترات والسرطان.

يسبب ارتفاع تركيز النترات والنتريت في المياه عن 0.3 ملغم لتر<sup>-1</sup> حدوث ظاهرة **الإثراء الغذائي** للمياه، والتي تُسهم في ازدهار بعض النباتات، خصوصاً الطحالب، على حساب الكائنات الأخرى، فتحدث خللاً في التوازن البيئي للحياة المائية، وتؤدي أيضاً إلى ارتفاع إجراءات تنقية مياه الشرب، ونفوق الأسماك بسبب نقص الأوكسجين، وتؤثر هذه الظاهرة أيضاً في تغيير طعم المياه ورائحتها، بسبب انخفاض تركيز الأوكسجين، وسيادة العمليات اللاهوائية وزيادة أعداد البكتريا.

## 11- الفلوريد: Fluoride

ملوّث صناعي يصل إلى المياه مع مياه الفضلات الخارجة من مصانع الألومنيوم، والخزف، والزجاج، ومصانع إنتاج أشباه الموصلات، ويصل إلى مياه الصرف الزراعي نتيجة استخدام الأسمدة الفوسفاتية، فبعض الأسمدة الفوسفاتية تحتوي على تراكيز عالية من الفلوريد تصل أحياناً إلى 200 ملغم كغم<sup>-1</sup> واعتماداً على نوع خامات الفوسفات، أو نتيجة استخدام الجبس الفوسفاتي، الناتج من مخلفات صناعة الأسمدة الفوسفاتية، بشكل مصلح كيميائي لرفع الأس الهيدروجيني للتربة الحامضية، أو لمنع حدوث الصودية عند استصلاح التربة المتأثرة بالأملاح.

للفلور خاصية التراكم الجزئي في جسم الإنسان، وفي حالة التراكيز المنخفضة (أقل من 2 ملغم لتر<sup>-1</sup>) يتجمع قسمٌ منه داخل جسم الإنسان ويُفرز الباقي عن طريق البول، ويمكن أن يسبب التعرض الزمني الطويل للفلور، عند وجوده في مياه الشرب بتراكيز عالية (أعلى من 4 ملغم لتر<sup>-1</sup>)، تلف اتران كربونات الكالسيوم في أجسام الأحياء، إذ يهاجم مركبات الكالسيوم المكونة للهيكل العظمي - لا سيما لدى الأطفال - وهو ما يطلق عليه **بفلورة الهيكل العظمي** (Skeletal Fluorosis)، ويمكن ملاحظة تأثيره بشكل واضح

في أسنان الأطفال في مراحل نموهم الأولى إذا تناولوا مياهاً يرتفع بها تركيز الفلوريد، فيسبب فلورة الأسنان، الذي لا يمكن شفاؤه، ويُميز بأسنان مبقعة أو مسوّدة أو عديمة اللون، ويؤدي إلى فقدان الكالسيوم من السن بكامله وتشكيل تجاويف شديدة، ولا تظهر هذه الآثار إذا اكتمل نمو الأسنان قبل التعرض المفرط للفلوريد، لذا فإن عدم ظهور هذه الأعراض على البالغين لا يعني أن تعرضهم للفلوريد هو ضمن الحدود المسموح بها، ويتسبب الفلوريد أيضاً في تسمم الكبد والكلى وعضلات القلب، وإذا بلغ تركيزه 2000 ملغم لتر<sup>-1</sup> فإنه يُحدث أضراراً جسيمة لأجهزة الإنسان غير قابلة للعلاج، فيسبب الوفاة.

## 12- الحديد: Iron

تتمو بعض أنواع البكتيريا في المياه الحاوية على الحديد وشبكات توزيعها، وقد يسبب نموها انسداداً في شبكات توزيع المياه بسبب قدرتها على تحويل الحديد الذائب (الحديدوز) إلى حديد غير ذائب (حديدك)، للحصول على الطاقة اللازمة للأيض الغذائي، مسببة تكوّن غلاف لزج داخل أنابيب نقل المياه، وبوجود المادة العضوية تظهر الترسبات بشكل صفائح، وتسبب هذه المادة غلق المسامات في التكوين الصخري الحامل للمياه، وكذلك انسداد ثقب مصفاة البئر، وخفض تصريف شبكة توزيع المياه أو انسدادها ومنع جريان الماء خلالها كلياً، مما يسبب رفع كلفة الصيانة، وهذه البكتيريا لاهوائية يزداد نشاطها بانخفاض نسبة الأوكسجين في المياه وفي الظلام، ومن مشاكل وجود هذه البكتيريا في المياه الغنية بالحديد أيضاً إحداث تآكل الأنابيب والمضخات، وإحداث طعم وكدر في المياه، وظهور اللون البني المحمر أو البرتقالي فيها، وبشكل عام فإن بكتيريا الحديد أو المحبة للحديد تتمو في المياه مُحدثة مشاكل في الأنابيب عندما يكون تركيز الحديد بين 0.3 - 1.5 ملغم لتر<sup>-1</sup>، إذ إنّ التراكيز الأعلى من ذلك تسبب ترسبه، ووجود الحديد المؤكسد بتراكيز وان كانت قليلة (0.2 ملغم لتر<sup>-1</sup>) يُحفّز تكوين ترسبات لزجة تلتصق بجدر الأنابيب مسببة انسدادها.

الحديد من المكوّنات غير المرغوب بها في مياه الشرب وفي الصناعة، بسبب إمكانية تكوّن ترسبات من هيدروكسيد الحديد في أنابيب نقل المياه، مسبباً مشاكل للمستهلكين عند وجوده بتراكيز عالية، مثل: الطعم الفلزي، واصطباج الملابس بعد الغسل، والذي يحدث عند تجاوز تركيزه 0.3 ملغم لتر<sup>-1</sup>، ويعتقد أن تركيزاً دون 2 ملغم لتر<sup>-1</sup> لا يُشكّل خطراً على الصحة، إلا أنّ مذاق المياه ومظهرها عادة يتأثران تحت هذا المستوى، وعادة لا يظهر أي طعم في التراكيز دون 0.3 ملغم لتر<sup>-1</sup>، على الرغم من احتمال ظهور لون

وعكورة، ويُنصح أن لا يتجاوز تركيز الحديد في مياه الشرب عن هذا الحد، إلا أن وجود الحديد الذائب في المياه بتركيز أعلى من 1 ملغم لتر<sup>-1</sup> يؤدي إلى انبعاث رائحة غير مقبولة، وتغيّر لون المياه إلى البني الفاتح، ويكون عندئذ قابلاً للترسيب بهيأة هيدروكسيد الحديد، وتُشير الدلائل إلى حدوث تسمم للأطفال الذين يتناولون مياهاً فيها حديد ذائب بتركيز 0.50 ملغم لتر<sup>-1</sup> لمدة طويلة نسبياً.

### 13- البورون: Boron

يصل إلى المياه كملوث من بعض المنظّفات وفضلات بعض العمليات الصناعية، ويرتفع تركيزه أيضاً في مياه تبريد المفاعلات النووية، ويسبب التعرض لمدة طويلة لمركبات البورون إلى تهيج طفيف في المعدة والأمعاء وليس له تأثيرٌ مسرطنٌ، وتصعب إزالته من مياه الشرب، وهومن العناصر الأساسية لنمو النبات، إلا أنه يصبح ساماً عند زيادة تركيزه في مياه الري.

### 14- الفوسفات: Phosphate

يؤدي زيادة تركيز الفوسفور في المياه إلى حدوث ظاهرة الإثراء الغذائي للمياه، وتعد الفوسفات المسؤول الأول عن النمو السريع للطحالب والنباتات المائية، ويسبب كذلك زيادة تركيزها في المياه المستخدمة للري ترسيب بعض أيونات العناصر الغذائية الصغرى الأساسية لنمو النبات وتطوره، فتتخض جاهزية تلك الأيونات في التربة، فلا يستطيع النبات الحصول على حاجته منها، فيضعف نموه وينخفض إنتاجه، وتصل الفوسفات إلى المياه السطحية والجوفية عن مخلفات ومياه الصرف الصحي، أو مياه صرف المصانع، أو مياه الرشح من المناطق الزراعية الملوثة ببقايا الأسمدة الفوسفاتية، ومياه الصرف الزراعي، ومخلفات الحيوانات، والمصدر الرئيس للفوسفات في مياه الصرف الصحي هو المنظفات الكيميائية الحديثة الحاوية على الفوسفور، وقد تصل إلى المياه السطحية أيضاً عن انجراف الطبقة السطحية للترب الزراعية.

### 15- النحاس: Copper

يسبب وجود النحاس في مياه الشرب بتركيز أعلى من 2 ملغم لتر<sup>-1</sup> ظهور طعم غير مستساغ للمياه، كذلك يؤثر في حاسة الذوق لعدة ساعات تالية، ويمكن ملاحظة تهيج معدي حاد لدى بعض الأفراد عند تجاوز تركيز النحاس في مياه الشرب 3 ملغم لتر<sup>-1</sup>، ويمكن للابتلاع الطويل الأجل أن يسبب تشمع الكبد، ويتعارض وجود النحاس في مياه الشرب مع الاستخدامات المنزلية للمياه، فهو يزيد من تآكل الحديد المغلفن والتوصيلات الفولاذية في شبكة توزيع المياه، ويسبب تصبغ الملابس والأدوات الصحية إذا تجاوز تركيزه

1ملغم لتر<sup>-1</sup>، وإذا تجاوز تركيزه 5ملغم لتر<sup>-1</sup> فيعطي للمياه لوناً غير مرغوب فيه وطعماً ذا مرارة، والنحاس سام جداً للأحياء المائية لاسيما الطحالب، فهي حساسة جداً للنحاس.

## 16- المنغنيز : Manganese

يمكن أن تتلوث المياه الجوفية بالمنغنيز الداخل في تركيب المعادن والصخور الحاملة للمياه، أو بأكاسيده التي يمكن أن تتشكل داخل الخزانات الجوفية وتستقر في قاعها، ويتحرر المنغنيز أيضاً من الصخور والمعادن الداخل في تكوينها إلى المياه بسبب انخفاض الأوكسجين في المياه (ظروف اختزالية)، فيتحول من حالة الأكسدة الرباعية إلى الأكسدة الثنائية الذائبة، والمياه الجوفية التي تحتوي على المنغنيز تبدو شفافة بعد خروجها من البئر مباشرة، والتركيز العالي منه يكسبها لوناً مصفراً، وتكتسب لوناً مسوداً بعد تعرضها للهواء الجوي، لتأكسد المنغنيز الذائب وترسبه، ويمكن أن تتلوث المياه الجوفية بمياه الصرف الصناعي ومياه الصرف الحامضية القادمة من المناجم، ومياه الصرف الزراعي التي يمكن أن تصل للمياه الجوفية، أما المياه السطحية فأهم مصادر تلوثها هو مخلفات المصانع ومياه الصرف الصناعي ومخلفات الصرف الصحي.

وجود المنغنيز بكميات وان كانت ضئيلة يُسبب إلى مذاق المياه ويعطيها طعماً معدنياً، ويكسبها مظهراً غير مرغوب فيه، وارتفاع تركيزه في إمدادات المياه يُسبب تصبغ الأدوات الصحية وغسيل الملابس، وظهور طعم غير مرغوب في المياه وفي المشروبات التي يدخل في تحضيرها، وتحت ظروف الأكسدة يترسب المنغنيز في أنابيب نقل المياه فيكوّن كتلاً سوداء تنكسر فتعطي للمياه مظهراً ومذاقاً غير مرغوبين، ويمكن أن يسبب تراكمه في أنابيب نقل المياه زيادة نمو البكتريا مسببة تكوّن أغلفة غروية لزجة داخل أنابيب نقل المياه، وليس لتراكيز المنغنيز المنخفضة في المياه أضرار صحية، إلا أنّ تعاطي مياه شرب ذات تركيز مرتفع من المنغنيز بشكل دائم يؤثر في الجهاز العصبي المحيطي، وتظهر على المتعاطين له أعراضاً مشابهة لمرض الشلل الرعاشي (Alzheimer) والذي يعرف أيضاً بمرض باركنسون (Parkinson's disease)، ويُنصح بعدم تعرض الحوامل والأطفال لجرعات عالية منه، لسميته للحوامل والأجنة، ولارتباطه بزيادة قصور المستوى الفكري وخفض الذكاء الفكري لدى الأطفال في سن الدراسة.

**17- الخارصين: Zinc**

يمكن أن يحصل تلوث الأجسام والمسطحات المائية بالخارصين نتيجة التلوث بمياه الفضلات، وأهمها مياه فضلات المصانع الحاوية على كميات كبيرة من الخارصين، وفضلات التعدين، وفضلات المناجم. يوجد الخارصين في شبكات توزيع المياه بشكل ذائب، لأن مركباته عالية الذوبان في الماء، وارتفاع تركيزه في مياه الشرب لأكثر من 5 ملغم لتر<sup>-1</sup> يعطي للمياه مذاقا غير مرغوب، أما التعرض لكميات كبيرة منه فيمكن أن يسبب تشنجات معدية وفقر الدم، وهو من بين المواد شديدة السمية للأحياء المجهرية في البيئة المائية.

**18- الكروم: Chromium**

يمكن أن يصل إلى المياه بشكل مخلفات كيميائية صناعية، واستخدام الحمأة الناتجة من معالجة مياه الصرف الصحي في تسميد التربة يمكن أن يؤدي إلى تلوثها بالكروم، وانتقاله مع مياه الصرف الزراعي إلى المياه السطحية ومياه الشرب، ويمكن أن يرتفع تركيزه في المحاصيل المزروعة في التربة الملوثة به. يوجد الكروم بصيغتين؛ الثلاثي غير سام، ولا يُشكّل خطراً على صحة الإنسان، وسداسي يشكل خطورة على صحة الانسان لأنه قابل للامتصاص داخل جميع أنسجة الجسم، ويمكنه أن ينفذ من الأغشية الخلوية، وسميته أشد بمئة ألف مرة من الكروم الثلاثي، وأن بعض مركباته مطفرات وراثية، وأثبتت الدراسات وجود علاقة قوية بين تركيز الكروم السداسي وارتفاع معدلات الإصابة بسرطانات الجهاز الهضمي عند التعرض له عن طريق الأكل والشرب.

**19- الألومنيوم: Aluminum**

تركيزه ضئيل في المياه غير الملوثة بسبب ضآلة ذوبان مركباته، وتستخدمه محطات معالجة المياه بشكل كبريتات الألومنيوم (الشب) لترويق المياه وإزالة العوالق منها، لذا قد يصل تركيزه في المياه المعالجة إلى قرابة 0.10 ملغم لتر<sup>-1</sup>، وقد يسبب الألومنيوم أمراضاً دماغية ويُعد من العوامل المسببة لمرض الشلل الرعاشي (Alzheimer)، ويتأثر به مرضى القصور الكلوي.

**20- الكاديوم: Cadmium**

بدأ تركيزه في البيئة بالارتفاع بعد الحرب العالمية الثانية بسبب زيادة استخدامه في الصناعة والزراعة، وقد تحتوي بعض الأسمدة الفوسفاتية على تراكيز عالية منه تصل إلى 300 ملغم كغم<sup>-1</sup>، ويمكن أن ينطلق

الكادميوم إلى الجو عن عمليات التعدين واحتراق الوقود الاحفوري وفضلات ترميد القمامة ( waste incineration)، ويكون مصيرها النهائي الترسب على سطح التربة أو المياه، وقد سُجلت نسب عالية لوجوده في بعض الأنهار بسبب التلوث.

الكادميوم ملوث خطيرٌ بسبب خواصه التراكمية في أجسام الكائنات المائية وفي أنسجة النباتات، ثم يصل إلى الإنسان عبر السلسلة الغذائية، وتتلوث المياه السطحية بالكادميوم من الأسمدة الفوسفاتية ومخلفات المصانع، وتتلوث مياه الشرب به من الشوائب الموجودة في خارصين الأنابيب المغلقة واللحام وغيرها من التجهيزات المعدنية، وقد يرتفع تركيزه في بعض المحاصيل التي تروى بمياه الصرف الصحي، أو تُسمد بالحماة، أو تروى بمياه ري ملوثة بالكادميوم من مخلفات المصانع، وهو السبب وراء ظهور مرض ايتاي-ايتاي (ويعني مرض الألم) الخطير في اليابان والذي تم ملاحظته بعد الحرب العالمية الثانية حتى أثبتت الدراسات عام 1968 م أن سببه هو تلوث مزارع الرز بالكادميوم نتيجة طرح مخلفات المصانع في مياه الأنهار، وهو نموذج للتسمم الدائم بالكادميوم.

ويتراكم بشكل رئيس في أنسجة الجهاز الهضمي والكلية والكبد والرئة، فيسبب أضراراً لها، وله نصف عمر بيولوجي في الإنسان طويل يبلغ 10-35 سنة، وتشير الأبحاث الطبية إلى وجود علاقة قوية بين ارتفاع تركيزه وزيادة معدلات الإصابة بسرطان الكبد والكلية والرئة، ويعيق الكادميوم نشاط فيتامين (د)، ويؤدي إلى لين العظام لاضطراب دورة الكالسيوم في الجسم، ويجب أن لا يتعدى تركيزه في الأسماك ومنتجاتها 100 ميكغ كغم<sup>-1</sup>، وإذا زاد تركيزه في المياه عن 200 ميكغ لتر<sup>-1</sup> فإنه يكون مميتاً لبعض أنواع الأسماك.

## 21- الرصاص: Lead

التلوث بالرصاص قديم منذ أن عرف الإنسان استخراج الرصاص وصهره، والمصادر الرئيسية لتلوث المياه الطبيعية به هي رواشحه من الحجر الجيري، وكبريتيد الرصاص، ومصاهر الرصاص، وأنابيب الرصاص القديمة، ومعظم الرصاص الذي يصل إلى مياه الشرب مصدره أنابيب شبكة التوزيع المصنعة من الرصاص، لذا فإن التخلص من تلوثه يتضمن بشكل أساس إزالة أنابيب المياه والتجهيزات الحاوية على الرصاص، وقد أصبح استخدام هذه الأنابيب نادراً واستُبدلت بالأنابيب المغلقة أو بأنابيب PVC.

الرصاص سام للجهازين العصبيين، المركزي والمحيطي، ويتراكم في الهيكل العظمي والكبد والكلية، وتظهر أعراض التسمم بعد مدة كافية من تعرّض المخ والجهاز العصبي المحيطي، فضلاً عن الأعراض الهضمية المتعددة (غثيان-إقياء-إلتهاب معدي شديد)، والتخريب المستمر لخلايا الكبد والكلية، ويكون الأطفال الرضع والأطفال حتى السادسة من العمر والنساء الحوامل أكثر الفئات تأثراً بأضرار الرصاص، ويحدث النقل المشيمي للرصاص عند البشر منذ الاسبوع الثاني عشر من الحمل ويستمر في أثناء تطوره، ويمتص الأطفال الصغار الرصاص أكثر من البالغين بما يساوي أربعة أو خمسة أضعاف، وهناك ترابط دلالي بين مستويات الرصاص في الدم ونقص الذكاء عند الأطفال، وقد صُنِفَ الرصاص ومركباته اللاعضوية على أنه مسرطن بشري ممكن.

## 22 - الزئبق: Mercury

يُطرح في البيئة بنسب عشوائية وكبيرة، ومن مصادر التلوث الصناعي بالزئبق: أعمال صهر المعادن، وصناعة الصودا الكاوية، والمبيدات، والمطهرات الكيميائية، والصناعات الكهربائية والألكترونية، وصناعة الاسمنت، وتشير معظم الدراسات العالمية إلى أنه من أخطر المعادن الثقيلة على الإطلاق في حالة تراكمه وارتفاع تركيزه لا سيما النوع العضوي، فهو يصيب الجهاز العصبي الحسي ويؤدي إلى الصمم واضطرابات في الرؤية قد تصل إلى العمى، فضلاً عن اضطرابات نطق ورجفان، قد تسبب الوفاة في حالة الإصابة الشديدة، ويُسبب تشوهات جنينية، وتواجه النساء الحوامل والمرضعات احتمال خطر أكبر جراء تأثيرات مثل الزئبق الضارة، الذي يصل بسهولة إلى المخ والحبل الشوكي وعضلات القلب، فيؤدي إلى تسممها وإتلاف وظائفها الحيوية، أما الزئبق اللاعضوي فإن الكلية هي المستهدف الرئيس له.

تكمن خطورة تسرب الزئبق إلى البيئة الزراعية والمياه بشكل خاص في إمكانية تحويل بعض الأحياء الدقيقة في التربة والمياه للزئبق المعدني إلى زئبق عضوي قابل للتمثيل من قبل بقية الأحياء، وهذا يعني دخوله للسلسلة الغذائية، التي ينتقل عبرها إلى الإنسان من بعض الأحياء المائية، مثل: القشريات (الجمبري والكاربوريا)، والمحاريات (القواقع وأم الخول)، التي لها القدرة على امتصاص مركبات الزئبق العضوية واختزانه في أجسامها لمدد طويلة، وقد سجلت الدراسات ارتفاع تركيز مثل الزئبق بمستويات عالية في أسماك بحيرة سانت كلير الواقعة بين ميشيغان في أمريكا واونتاريو في كندا، وإلى تراكمه في المحار والسماك في خليج ميناماتا وبحر شيرانوي باليابان نتيجة صرف مياه الفضلات الصناعية الحاوية على مثل الزئبق.

يمتص جسم الإنسان الزئبق العضوي بنسبة تصل إلى 90 % وهي أعلى من امتصاص الزئبق غير العضوي (10 %) سواء بالاستنشاق أو عن طريق الفم، وقد يصل تركيزه في كثير من المياه إلى الحد الأعلى المسموح به (0.5 ملغم لتر<sup>-1</sup>).

### 23- النيكل: Nickel

يصل النيكل إلى المياه عن مخلفات الصناعة، وبعض أنواع المبيدات الفطرية، وإذا ارتفع تركيزه عن 5 ملغم لتر<sup>-1</sup> في مياه الشرب فهناك احتمالات لظهور أورام سرطانية في أماكن متفرقة من الجسم، لقدرته على التفاعل مع الأحماض النووية، والكروموسومات، وتحويل وظائف الخلية وتحويلها إلى خلية سرطانية، وتُشير الدراسات إلى أن من تأثيرات النيكل في مياه الشرب والطعام ظهور الأمراض الجلدية لدى العديد من الناس لا سيما النساء.

### 24- الزرنيخ: Arsenic

أيونات الزرنيخ الذائبة في الماء تكون عادة ثلاثية وخماسية التكافؤ، وينحصر التأثير الضار له بالصورة اللاعضوية خصوصاً ثلاثي التكافؤ، وعند تلوث البيئة المائية بالزرنيخ فإنه يتراكم بشكل غير عضوي وبتراكيز عالية في أنسجة الأسماك والقشريات، والزرنيخ غير العضوي مسرطن، ومعدل الإصابة مرتفع بسرطانات الجلد لدى السكان الذين يتناولون مياهاً تحتوي على تراكيز عالية من الزرنيخ، ويزداد تأثير الزرنيخ القاتل لدى الأطفال دون 7 سنوات.

### 25- الإشعاع: Radiation

التلوث بالإشعاع أخطر أنواع التلوث، لأنه لا يرى ولا يحس به، ومصادر تلوث المياه بالإشعاع قد تكون طبيعية صادرة من الفضاء الخارجي وقشرة الأرض، أو صناعية، صادرة من محطات الطاقة النووية والمفاعلات الذرية والنظائر المشعة المستخدمة في الصناعة والزراعة والطب، وغيرها.

يتوقف التأثير الضار للمواد المشعة في صحة الإنسان على تركيز الإشعاع في المياه، ونوعه، ومدة التعرض له، ويعتمد ذلك على شدة تلوث المياه بالإشعاع، ونوع الأشعة، ونوع المياه، وأكثر العناصر المشعة وجوداً في المياه الجوفية اليورانيوم، فضلاً عن الرادون الذي يوجد كثيراً في المياه الجوفية، وهو غاز عديم الطعم واللون والرائحة وسهل الذوبان في الماء وله نصف عمر قصير جداً يبلغ 3.8 يوماً، ويعتقد أنه لا يسبب مشاكل صحية، لأنه يتصاعد من المياه بهيأة غاز عند تحريكها، أما اليورانيوم فإن آثاره السامة

معروفة منذ أكثر من 200 عاماً، إلا أن آثاره أصبحت أكثر وضوحاً في العقود الأخيرة لا سيما في الأماكن التي تعرضت للقصف بالأسلحة الحاوية على اليورانيوم.

بعد تعاطي المواد المشعة وامتصاصها ودخولها في العمليات الكيموحيوية الأساسية تصل إلى الدورة الدموية وسوائل الجسم، ويتم توزيعها إلى جميع أنسجة الجسم، أما الأضرار الصحية الناجمة عن استهلاك مياه ذات محتوى مرتفع من المواد المشعة -لا سيما اليورانيوم- فتتمثل بالتحول السرطاني لبعض الأنسجة التي تستقر فيها المواد المشعة لمدة طويلة نسبياً، وتلف الكلى، وارتفاع ضغط الدم، وكذلك التأثيرات الوراثية التي تظهر أعراضها في ذرية الكائن الحي الذي تعرض للإشعاعات نتيجة تلف أعضائه التناسلية، ويمكن أن يتراكم اليورانيوم في بعض المحاصيل الزراعية التي تروى بمياه ذات محتوى مرتفع من اليورانيوم فيشكل خطراً على صحة مستهلكي هذه المحاصيل.

## 26- المبيدات: Pesticide

وتُسمى أيضاً مركبات مكافحة الآفات، وتُقسم بحسب مجال استخدامها على: مبيدات زراعية، وهي التي تُستخدم في مكافحة الآفات الزراعية فقط سواء في الحقل أو المخزن، ومبيدات صحية (مبيدات الصحة العامة)، وهي التي تُستخدم في مكافحة الحشرات التي تهاجم الإنسان، مثل: البعوض والبق والذباب، وهذه المبيدات ضعيفة السمية للإنسان والحيوانات ذات الدم الحار، والنوع الثالث هو المبيدات البيطرية، وتُستخدم في مكافحة آفات حيوانات المزرعة، وتُقسم المبيدات أيضاً بحسب الكائن الذي تستهدفه، ومنها مبيدات الحشرات، ومبيدات الفطريات، ومبيدات البكتيريا، ومبيدات الأعشاب، ومبيدات الديدان، ومبيدات القواقع، ومبيدات القوارض، ومبيدات العناكب، وتُقسم المبيدات أيضاً بحسب المصدر الذي اشتُقت منه وتركيبها الكيميائي على مبيدات غير عضوية تشمل جميع أنواع المركبات المعدنية المستخدمة في مكافحة الآفات، مثل: الزرنيخ، والفلور، والكبريت، ومركبات الزئبق غير العضوية، ومبيدات عضوية من أصل نباتي (البرثرويدات) تُستخلص من النباتات ذات التأثير السام في الآفات الزراعية ومنها مركبات النيكوتين، والبيرثرين، والروتينون، وغيرها، ومبيدات عضوية صناعية تشمل الزيوت المعدنية، والمشتقات الفينولية، والمركبات الكلورية العضوية، والمركبات الكلورية الفوسفورية العضوية، والثيوسيانات العضوية، ومركبات الكاربامات، والبرثرويدات الصناعية.

تختلف الآثار السامة للمبيدات في البيئة باختلاف نوع المبيد وتركيبته الكيميائية، ومن العوامل المحددة لهذه الآثار في البيئة: درجة ثبات المبيد الكيميائي، وسرعة انتشاره، وسرعة تحلله، ونواتج التحلل، وكلما كان المبيد أكثر ثباتاً فإنه يكون أكثر ضرراً، لبقاء تأثيره السام في البيئة لمدة أطول، وكلما كان المبيد أكثر انتشاراً زادت آثاره الضارة، وبالتأكيد كلما زادت سرعة تحلله قلت أضراره البيئية لأنه سيكون أقل انتشاراً، أما نواتج التحلل فقد تكون سامة هي الأخرى، وهنا يكون المبيد أكثر خطراً من المبيدات التي تكون نواتج تحللها غير سامة، لذا فإن المبيدات التي نواتج تحللها سامة تكون أكثر خطراً عند انتشارها، وتزداد الآثار السمية للمبيدات حدة مع تلك التي تتصف بالأثر التراكمي، مثل: المبيدات الكلورية (التي يدخل الكلور العضوي في تركيبها الكيميائي)، فمثلاً أكتشف ثالث كلور الأيثيلين (TCE) بتراكيز وصلت إلى 1000 ملغم لتر<sup>-1</sup> في بعض أحواض المياه الجوفية، وهو من المركبات المسرطنة لحيوانات المختبر، ولذلك فإن وجود بعض هذه المبيدات في المياه، ولو بتراكيز ضئيلة جداً، يكفي لمنع استخدامها للشرب الآدمي، أو لحيوانات المزرعة، وتتصف المبيدات الكلورية بنصف عمر طويل، لعدم قدرة بكتريا التربة أو المياه على تفكيك جزيئات الكربون الهيدروجينية المكورة، وهذا يعني بقاء هذه المبيدات في المياه لمدة طويلة قد تستمر لعدة عقود.

تنتقل المبيدات مع مياه الأمطار ومياه الجريان السطحي ومياه الري ومياه الرش خلال التربة، وقد تصل إلى المياه السطحية والجوفية، ويؤثر وجود المبيدات في المياه سلباً في جميع الأحياء المائية الحيوانية والنباتية، فيؤدي إلى اختلال توازن النظام البيئي المائي، والمبيدات الكيميائية من أخطر الملوثات التي تصل إلى المياه، وقد ينتقل تأثيرها الضار إلى الإنسان من خلال السلسلة الغذائية.

تتماز بعض المبيدات بكونها ثابتة كيميائياً ولا ترتبط بمعادن التربة، ومثالها مبيد البيكلورام، لذا فإنها تنتقل عند ذوبانها في الماء وقد تصل إلى المياه الجوفية، وبالعكس من ذلك فبعض المبيدات رغم ثباتها الكيميائي إلا أنها محدودة الانتقال والذوبان، كما هو الحال مع الهبتاكلور، وأن بعض المبيدات لا تنتقل من مكان إلى آخر، لأنها تتحل بسرعة في التربة أو الماء،

## 27-المسببات المرضية: Pathogens

يمكن أن يرتفع تركيز المسببات المرضية في المياه بسبب تلوثها بالبكتريا والفيروسات والديدان الشريطية، ومصدرها فضلات الإنسان والحيوان، ومياه فضلات بعض الأنشطة الصناعية، مثل: دباغة

- الجلود، وبعض الصناعات الغذائية، والمسالخ، والمستشفيات، ومياه الصرف الصحي، أو الري بمياه الصرف الصحي، وتُقسم الأمراض التي تنتقل إلى الإنسان عن طريق المياه الملوثة على:
- أمراض تصيب الحيوانات وتنتقل عن طريق المياه الملوثة إلى الإنسان، مثل: مرض الكزاز الذي يصيب الخيول والمواشي، وداء الكلب الذي تنقله الكلاب، ومرض السل الذي تنقله المواشي، والحمى الصفراء الذي يصيب القرود.
  - أمراض تنتقل من المياه إلى الإنسان مباشرة، مثل: البلهارزيا، والتيفوس، وحمى الثعابين، من المياه الملوثة بفضلات الثعابين المائية.
  - أمراض تنتقل من الإنسان إلى الإنسان بوساطة المياه الملوثة، مثل: الكوليرا، وحمى التيفوئيد، والدوزنتاريا، وشلل الأطفال، والتهابات الكبد، واليرقان، والتدرن الرئوي.

## 28-المواد العضوية: Organic Matters

يُسبب تلوث المياه بالمواد العضوية المذابة، لا سيما الفعالة سطحياً، تأثيرات سلبية في المياه، منها التأثير السلبي في حياة الكائنات والأحياء المائية، كما هو الحال مع الفينول الذي يُسبب السمية للأسماك عند وجوده بتركيز 1 ملغم لتر<sup>-1</sup>، وقسماً من هذه المواد يبقى مدة طويلة في المياه من دون أن يتحلل، وأنّ قسماً منها له تأثير تراكمي، كما هو الحال مع ثالث كلور الأثلين، وبعضها لا تستطيع البكتريا تحليلها، كما هو الحال مع المركبات العضوية المكورة، ويبين الجدول الآتي بعض الملوثات العضوية وآثارها الضارة.

الملوثات	نوع الضرر
بنزين	السرطان في الإنسان
رابع كلوريد الكربون	السرطان في الحيوانات المخبرية
كلوروفورم	= = = =
ثاني بروموكلورو بروبان	= = = =
1،1 ثنائي كلورو إيثان	يرجح علاقته بسرطان الحيوانات المخبرية
1،2 ثنائي كلورو إيثان	السرطان في الحيوانات المخبرية
ثاني أوكسان	= = = =
إيثلين ثاني بروميد	= = = =
1،1،2 ثالث كلورو إيثان	= = = =
ثالث كلورو ميثان	= = = =
فينيل كلوريد	يولد السرطان في الإنسان وحيوانات المختبر

أما المواد العضوية غير الذائبة، مثل: الزيوت والمشتقات النفطية فيمكن أن تعطي طعماً ولوناً ورائحة للمياه، وتسبب زيادة عكورة المياه في حالة ارتفاع تركيزها، فتقلل كمية الإضاءة الداخلة، فتؤثر سلباً في الطحالب والهائمات النباتية وقد تؤدي إلى تدميرها والقضاء عليها، ويعني ذلك إزالة مصدر رئيس من المصادر التي تعتمد عليها الأسماك في معيشتها، كذلك قد تؤدي إلى زيادة صعوبة تنقية المياه وتعقيمها، وقد تكون خطرة على صحة مستهلكي هذه المياه، وعند تعرض هذه المواد للتحلل من قبل أحياء المياه المجهرية فإنها تؤدي إلى خفض كمية الأوكسجين الذائب في المياه، ويؤدي ذلك إلى تحديد نمو العديد من الكائنات المائية الحية ومنها الأسماك.

### 29- المنظفات: Detergent

ويُقصد بها المواد الكيميائية غير الصابونية، والتي تشكل مزيجاً معقداً من عدد كبير من المركبات الكيميائية، وتحتوي المنظفات في تركيبها عموماً على ثلاثي متعدد فوسفات الصوديوم، وكربونات الصوديوم، وسليكات وميتاسليكات الصوديوم، وكلوريد وكبريتات الصوديوم، ومبيّض ضوئي، وبربرات الصوديوم، فضلاً عن عدد من المواد البنائية المضافة والتي تتكون من مواد قلوية، مثل: كربونات الصوديوم أو البوتاسيوم، وسليكات الصوديوم، ومواد إزالة عسرة الماء، وتحتوي هذه المواد كمية كبيرة من الفوسفور، كذلك تحتوي المنظفات على مواد قاشطة، مثل: الكربونات، ومسحوق حجر الخفان، ومسحوق الرمل الناعم، وتحتوي أحياناً أحماضاً ومذيبات مختلفة.

تتوقف حدة التلوث بالمنظفات على كمية المواد الداخلة في صناعتها والتي يمكن أن تصل إلى المياه السطحية والجوفية، ونوع هذه المواد، وتزداد خطورة المنظفات بسبب زيادة استخدامها مع زيادة مدنية المجتمعات، وزيادة عدد السكان، وارتفاع المستوى المعاشي، وارتفاع الوعي الصحي، وتؤثر المنظفات في الاتزان البيئي، لكونها تنقل معها مواداً عضوية إذا كانت قادمة من مناطق النشاط البشري فضلاً عن الفوسفات، وتسبب المواد العضوية إذا كانت بكميات كبيرة نقص الأوكسجين في المياه بسبب زيادة النشاط الحيوي، بينما يسبب وجود الفوسفات نمواً شديداً لعدد من النباتات المائية والطحالب، ينتج عنه نقص شديد في الأوكسجين الذائب بالماء، فينتج عنه روائح كريهة، وزيادة العمليات اللاهوائية الحاصلة في المياه، وموت الأسماك، وبينت الدراسات أن 40% من الفوسفور الذي يصل إلى المياه مصدره المنظفات.

## صلاحية المياه للاستخدامات المختلفة

تزداد الحاجة للمياه بزيادة عدد السكان والذي يرافقه زيادة الطلب على السلع والمواد الغذائية والمواد المصنعة، ويتطلب ذلك حتماً زيادة مساحة الأراضي المزروعة والتي تحتاج بدورها لكميات أكبر من مياه الري، وزيادة الانتاج الصناعي الذي يستهلك أيضاً كميات كبيرة من المياه قد تفوق حجم المياه المستخدمة في الانتاج الزراعي أحياناً، وتتوقف كمية المياه الإضافية التي يحتاجها أي بلد مع تطوره ونموه السكاني على مساحة الأرض المضافة، وصفات التربة، ونوع الزراعة، ونوع المحاصيل المزروعة، وطرائق الري المستخدم، فضلاً عن الموقع الجغرافي الذي يحدد كمية المطر ومقدار التبخر-نتح، ويذكر البنك الدولي للتنمية أن 70 % من المياه العذبة المسحوبة عام 2011 م استخدم في الزراعة وأن 20 % استخدم في الصناعة وأن 10 % فقط في الاستخدامات المنزلية.

أما العامل الآخر الذي يُحدد الحاجات المائية فهو درجة التمدن السكاني، فاحتياجات الفرد من المياه في المدن أكبر منها في القرى، وفي المدن الكبيرة أكبر منها في المدن الصغيرة، وفي البلدان المتطورة أكبر من مثيلاتها في البلدان النامية أو الفقيرة، وقد ازداد استهلاك المياه في القرن العشرين بمقدار ستة أضعاف، أي أكثر من ضعف معد نمو السكان العالمي، وأن استهلاك المياه في البلدان الصناعية يصل إلى 380 لتراً في اليوم الواحد في أمريكا وفقاً لإحصائيات عام 2004 م، وإلى 129 لتراً في ألمانيا استناداً لإحصائية عام 2000 م، ويعتقد أن 20-30 لتراً تكون كافية لتلبية الاحتياجات الأساسية للفرد الواحد في معظم البلدان النامية وفقاً لتقرير الأمم المتحدة عام 2006 م.

تنطبق الحالة السابقة ذاتها على القطاع الصناعي إذ تتوقف كمية المياه المستخدمة في الصناعة على نوع الصناعة، وتختلف من بلد إلى آخر بحسب حجم الصناعة القائمة ودرجة تطورها، وتختلف نوعية المياه المستخدمة، ونقاوتها، ومكوناتها الكيميائية المطلوبة، باختلاف نوع الصناعة، فمثلاً نحتاج إلى 3-4 متراً مكعباً لإنتاج طن واحد من الاسمنت وبين 60-70 متراً مكعباً في إنتاج طن واحد من الورق المضغوط، بينما يتطلب إنتاج طن واحد من الحديد قرابة 250 متراً مكعباً، ونحتاج إلى 380-450 متراً مكعباً لإنتاج طن واحد من النسيج القطني.

لاستخدام المياه في أي من الأغراض السكانية أو الصناعية أو الزراعية يجب أن تتوافر فيها مجموعة من الشروط، تختلف بحسب الغرض الذي تُستخدم فيه، فالمياه الصالحة للري ليست بالضرورة تصلح للشرب، أو الاستخدام المنزلي، والمياه التي تصلح لصناعة معينة ليست بالضرورة أن تكون صالحة للشرب، أو حتى للاستخدام في صناعات أخرى، وأن زيادة الطلب على المياه مع محدودية

المتاح منها أدى إلى استخدام نوعيات متدنية منها، قد يكون لها أضراراً على صحة الانسان، وبيئته، وإنتاجه الزراعي، والصناعي. ولتقييم مدى ملاءمة المياه لغرض معين أو لأغراض مختلفة وضعت مقاييس محددة لذلك، ولكن يتم تجاوز بعض حدود هذه المقاييس في كثير من الأحيان بسبب شحة المياه، أو عدم وجود مصادر بديلة أكثر ملاءمة، ونعرض فيما يأتي لمحددات صلاحية المياه للاستخدامات المختلفة.

### صلاحية المياه للشرب والأغراض المنزلية:

تتعرض المياه الطبيعية السطحية والجوفية التي تُستخدم للشرب والأغراض المنزلية للتلوث بالمركبات الكيميائية ومسببات الأمراض، وقد يكون مصدرها فضلات الإنسان أو نشاطه أو الحيوانات، وقد تتلوث المياه من الهواء الجوي، ومن المؤكد أن تناول مياه شرب ملوثة يؤثر في حياة السكان وصحتهم ونتاجيتهم، ومن المشاكل الأولى الأساسية التي تواجه البشرية في القرن الحادي والعشرين هو توفير مياه صالحة للشرب، وفي البلدان المتطورة فإن المياه العذبة تتلوث في الغالب وتصبح غير مناسبة للشرب الآدمي، والسبب الرئيس لذلك هو أن 90 % من مخلفات السكان تصرف إلى الأنهار والبحيرات والشواطئ من دون معالجة، ويُقدّر (Gore, 2005) أن 900 مليون من البشر يعانون من أمراض الإسهال بسبب المياه في كل عام، ويعاني ملايين آخرون من أمراض تتعلق بالمياه، مثل: الكوليرا، والديدان الشريطية، وداء الفيل.

يجب أن يكون الماء المستخدم للشرب الآدمي والأغراض المنزلية بمستوى عالي الجودة، ويستلزم ذلك أن يكون ذا صفات كيميائية وفيزيائية وميكروبيولوجية محددة، وقد تم التطرق إلى صفات الماء الكيميائية والفيزيائية في الفصلين الثاني والثالث من الكتاب، وإذا فقد الماء هذه الصفات أو فقد بعضاً منها، يصبح من الضروري معالجته بمعاملات خاصة تعيد إليه ما فقد من صفات، لذا أصبحت العناية بالمياه واجباً تُكَلَّف به الحكومات والهيئات الإدارية في المدن الصغيرة والكبيرة، ويستلزم وجود مختصين يعملون على تنقية المياه ومراقبة جودتها، ومراقبة شبكة التوزيع وصيانتها.

للإمداد الدائم بالمياه النظيفة والمأمونة دور هام في الوقاية من الأمراض، ويُشار إلى الأمراض التي يؤثر فيها توفير مياه كافية لحفظ الصحة بأنها الأمراض التي تغسلها المياه، وتُقسم هذه الأمراض على ثلاث مجموعات:

- الأمراض التي تنتقل بالبراز الفموي مثل التهاب الكبد "أ" والعديد من أمراض الإسهال.
- عدوى الجلد والعيون، وأمراض الجلد الفطرية.

- عدوى الأمراض التي ينقلها القمل أو السوس، مثل: الجرب، والتيفوس البوابي المنقول بوساطة القمل.

### مواصفات المياه الصالحة للاستخدام المنزلي:

لا توجد مواصفات عالمية موحدة بشأن تقسيم المياه وتقييم صلاحيتها لمختلف الأغراض المنزلية، ولكن تُصنّف بحسب حاجة كل بلد وظروفه، ونورد الملاحظات الآتية بشأن صلاحية المياه في الاستخدام المنزلي:

1. الخواص الطبيعية: يجب أن تكون شفافة، عديمة اللون والطعم والرائحة، وذات طعم مستساغ.
2. الخواص البكتريولوجية والحيوية: يجب أن تكون المياه خالية من المواد العضوية، وأن لا يوجد شيء من عصيات القولون في 50 سم<sup>3</sup> من الماء المرشح أو مياه الآبار، ولا يوجد شيء من عصيات القولون في 100 سم<sup>3</sup> إذا كان الماء معقماً بالكلور.
3. الخواص الكيميائية: تؤثر محتويات المياه الكيميائية في صلاحيتها لمختلف الأغراض المنزلية، سواء الشرب، أو الطهي، أو النظافة العامة وغسيل الملابس، ويُصح أن لا يزيد تركيز بعض المواد فيها عن حدود معينة، وطبقاً للمواصفات المعمول بها في الولايات المتحدة الأمريكية فإن تركيز العناصر أو المواد يجب عن لا يزيد عن الحدود الموضحة إزاء كل منها:

#### التركيز

المادة	التركيز
فلوريد	1.5 ملغم لتر <sup>-1</sup>
رصاص	0.1 ملغم لتر <sup>-1</sup>
زرنيخ	0.05 ملغم لتر <sup>-1</sup>
سلينيوم	0.05 ملغم لتر <sup>-1</sup>
كروم سداسي	0.05 ملغم لتر <sup>-1</sup>

ويُستحسن أن لا يتعدى تركيز المواد الآتية كما هو مبين:

نحاس	3.0 ملغم لتر <sup>-1</sup>
خارصين	15.0 ملغم لتر <sup>-1</sup>
حديد ومنغنيز	0.30 ملغم لتر <sup>-1</sup>
فينول	0.05 ملغم لتر <sup>-1</sup>

أما بالنسبة للعسرة فيستحسن أن تكون المياه منخفضة العسرة، فالمياه اليسرة أو العالية العسرة يصعب استخدامها في التنظيف.

## مواصفات المياه المستخدمة للشرب الآدمي:

لا توجد مواصفة قياسية واحدة يمكن اعتمادها في جميع البلدان، ويضع كل بلد مواصفات خاصة به وفقاً لظروفه، ولوفرة المياه وصفاتها، وفي العادة يتم الاسترشاد بالقيم التي أوردتها منظمة الصحة العالمية، وأشهر مواصفاتها تلك التي وضعتها عام 1993 م، ونورد فيما يأتي المؤشرات المستخدمة لتحديد مواصفات مياه الشرب:

1. الملوحة: تكون المياه صالحة للشرب طبقاً لمواصفات منظمة الصحة العالمية إذا كان تركيز الأملاح الكلي فيها بين 500-1500 ملغم لتر<sup>-1</sup>، ويظهر لها طعم بعد 600 ملغم لتر<sup>-1</sup>، وقد يُسمح باستخدام مياه ملوحتها 2500 ملغم لتر<sup>-1</sup> للشرب في حالة عدم توفر مياه بديلة، ويجب أن لا ينخفض تركيز الأملاح في مياه الشرب عن 100 ملغم لتر<sup>-1</sup> كحد أدنى، لأن ذلك يؤثر في طعم المياه (تصبح غير طيبة المذاق)، وتكون مضرّة بالصحة العامة من الناحية الفسيولوجية، وتؤدي إلى نقص في بعض الفيتامينات لا سيما فيتامين C.

2. درجة العسرة: أنسب درجة لعسرة مياه الشرب هي 100-160 ملغم لتر<sup>-1</sup>.

3. تركيز الصوديوم: الحد المطلوب هو 200 ملغم لتر<sup>-1</sup>، ويجب أن لا يزيد عن 400 ملغم لتر<sup>-1</sup>.

4. تركيز الكالسيوم والمغنسيوم: الحد الأمثل لتركيزهما هو 50 و25 ملغم لتر<sup>-1</sup> على التوالي، وينصح أن لا يقل تركيزهما عن 20 و10 ملغم لتر<sup>-1</sup> على التوالي، ويجب أن لا تقل نسبة الكالسيوم إلى المغنسيوم عن 2 إلى 1.

5. تركيز البوتاسيوم: يُنصح أن لا يزيد تركيزه عن 10-12 ملغم لتر<sup>-1</sup>، وأن لا يتجاوز 0.1 من تركيز الصوديوم.

6. العناصر السامة: يجب أن لا يزيد تركيز المواد السامة عن الحدود المسموح بها وكالاتي:

الرصاص	0.1 ملغم لتر <sup>-1</sup>
الزرنخ	0.2 ملغم لتر <sup>-1</sup>
السيانيد	0.01 ملغم لتر <sup>-1</sup>
السلينيوم	0.05 ملغم لتر <sup>-1</sup>
الكروم السداسي	0.05 ملغم لتر <sup>-1</sup>

7. الأس الهيدروجيني: يفضل أن يكون بين 7-8.5 وعند الضرورة بين 6.5-9.2.

8. درجة الحرارة المثلى بين 7-11°م.

9. يجب أن لا يزيد تركيز المبيدات في مياه الشرب عن الحدود المسموح بها، وهي مبينة في الجدول 1.

10. أن يكون المواد المشعة ضمن الحدود المسموح بها وهي مبينة في الجدول رقم 2.

الجدول 1: الحدود العليا لتركيز المبيدات المسموح به في مياه الشرب الآدمي مقدراً بالملغم لتر<sup>-1</sup>

المبيد	التركيز	المبيد	التركيز
2.4.D	0.1	توكسافين Toxaphene	0.005
ميثوكسي كلور	0.1	لندان Lindane	0.004
2,4,5T	0.01	كلوردان Chlordane	0.003
د.د.ت	0.05	إندرين Endrin	0.0002
الدرين Aldrin	0.001	هبتاكلور	0.0001
داي إدرين Dieldrin	0.001		

جدول رقم 2: مواصفات مياه الشرب طبقاً لمواصفات منظمة الصحة العالمية عام 1993

## أولاً: المؤشرات الميكروبيولوجية

الكائن	القيمة الموصى بها
مياه الشرب	
<i>E. Coli</i> or thermotolerent coliforms	0
المياه المعالجة	
<i>E. Coli</i> or thermotolerent coliforms	0
Total coliforms	0

## ثانياً - المؤشرات الكيميائية:

المؤشر	القيمة الموصى بها	الملاحظات
أ - المواد اللاعضوية، ملغم لتر <sup>-1</sup>		
الزرنيخ	0.01	قيمة مؤقتة
البورون	0.3	
الباريوم	0.7	
الكاديوم	0.003	
السيانيد	0.07	
الكروم	0.05	قيمة مؤقتة
النحاس	2.0	
الفلوريد	1.5	مع الأخذ بالحسبان الظروف المناخية ونمط التغذية.
الزئبق	0.001	
المنغنيز	0.5	قيمة مؤقتة
الموليبدنوم	0.07	
النيكل	0.02	
النترات	50	
النترت	3.0	قيمة مؤقتة
الرصاص	0.01	

## تابع جدول رقم 2:

المؤشر	القيمة الموصى بها
القصدير	0.005 قيمة مؤقتة
السلينيوم	0.01
<b>ب- المواد العضوية، ميكروغرام لتر<sup>-1</sup></b>	
الدرين ، وداي ألدرين	0.03
بنزين	10
بنزو(أ) بيرين	0.7
كلوردان	0.2
كلوروفورم	200
2،4- د.ب	90
د. د. ت	2
داي كلوروميثان	20
داي-2-أثيل هكسيلفتالات	8
2،1- داي كلوروايثان	30
نتريلو-تراي اسيتيك اسد	200
فورمالدهايد	900
هبتاكلوروهبتاكلورابوكسايد	0.03
لندان	2
م. س. بي. أ (MCPA)	2
ميثوكسي كلور	20
مونوكلوروبنزين	300
بنناكلوروفينول	9 قيمة مؤقتة
ستايرين Styrene	20
تتراكلوروأثلين	40
رابع كلوريد الكربون	2
6،4،2- تراي كلوروفينول	200
تلوين Teleuen	700
تراي كلوروأثلين	70 قيمة مؤقتة
1،1،1- تراي كلوروايثان	2000 قيمة مؤقتة
كلوريد الفل Vinyl chloride	5
زايلينات Xylenes	5

ويبين الجدول 3 الحد المطلوب والحد الأعلى المسموح به لبعض مواصفات المياه الفيزيائية وتركيز أيونات العناصر الكبرى في المياه كما بينتها مواصفة منظمة الصحة العالمية لعام 1993.

جدول رقم 3: بعض مواصفات مياه الشرب طبقاً لمنظمة الصحة العالمية عام 1993.

لعنصر أو المادة	الحد المطلوب، ملغم لتر <sup>-1</sup>	أعلى حد مسموح به، ملغم لتر <sup>-1</sup>
الطعم	مستساغ	مستساغ
الرائحة	مستساغ	مستساغ
المواد الصلبة الذائبة الكلية TDS	500	1500
الأس الهيدروجيني	6.5	8.5
الابصالية الكهربائية، ميكروسيمنز/سم	400	2300
الصوديوم	200	400
الكالسيوم	75	200
المغنسيوم	30	150
البوتاسيوم	10	40
الكلوريد	200	600
الكبريتات	200	400
البكربونات	—	400
الحديد	0.1	1.0
المنغنيز	0.05	0.5
اشعاع ألفا الإجمالي	—	3
إشعاع بيتا الإجمالي	—	30
العسرة الكلية	100	500