تلوث الماء Water Pollution

الماء مذيب جيد لكثير من المواد وحتى بعض المواد التي لا تذوب فيه تشكل معلقات غروية تشبه المحاليل. وينزل الماء على هيئة أمطار أو ثلج Snow بصورة نقية خالية تقريبا من الجراثيم أو الملوثات الأخرى، لكن نتيجة للتطور الصناعي الكبير يتعرض للكثير من الملوثات مما يجعله غير صالح للشرب. ومن أمثلة التلوث الأمطار الحامضية وكذلك مخلفات الصرف الصحي والصناعي والزراعي.

كان الناس في الماضي يلقون المخلفات والفضلات في مياه الأنهار والمحيطات ظنا منهم إنها تنقي نفسها. في عامي 1849 و 1853 انتشر وباء الكوليرا في لندن بسبب تلوث مياه نهر التايمز وقد أدى الى وفاة عدد كبير من سكان لندن وما جاورها. وتكررت نفس المأساة في مدن أوربية أخرى كما انتشر في بعض المدن الأمريكية وباء التيفوئيد في الفترة نفسها.

وكذلك ظهر تلوث مياه البحار والأنهار والمياه الجوفية بالمواد البترولية والمواد المشعة والمعادن الثقيلة وغيرها. ويشكل التلوث بالمواد البترولية خطرا على المياه حيث يكون طبقة رقيقة فوق سطح الماء تمنع إختراق الهواء وثنائي اوكسيد الكربون والضوء إلى الماء وبذلك تصبح الحياة المائية شبه مستحيلة. ويدوم الهيدروكربون الناتج من تلوث البترول طويلا في الماء ولا يتجزأ بالبكتريا ويتراكم في قاع البحر. ويحتوي البترول على مواد مسرطنة Carcinogenic مثل بنزوبيرين Benzopyrene الذي يوجد بنسبة عالية في نفط الخليج وليبيا وبالتالي يؤثر على النباتات والحيوانات المائية التي تتغذي عليها.

الخصائص الفيزيائية والكيميائية للماء

1- Temperature درجة الحرارة

تعد من أهم الخصائص الفيزيائية التي تؤثر في بيئة المسطحات المائية ومن اهم العوامل التي تؤثر في العديد من الخصائص الكيميائية للمياه وبالتالي تأثيرها على الخصائص الحياتية مثل التغذية والنمو والتكاثر، وتوزيع الأحياء المائية، إذ ترتبط هجرتها وفعالياتها الأيضية وتكاثرها بدرجة الحرارة. ويؤدي ارتفاع درجات الحرارة إلى تدني ذوبان الغازات في الماء وخاصة الأوكسجين الذي يزداد الاحتياج اليه مع ارتفاعها نتيجة لزيادة معدلات الأيض والتنفس والتفاعلات الأنزيمية للأحياء وازدياد نشاط الأحياء المجهرية المحللة المستهلكة للأوكسجين Decomposer.

2- Electrical Conductivity (EC) التوصيلية الكهربائية

تعرف التوصيلية الكهربائية للماء بأنها قيمة عددية تشير إلى قابلية الماء على توصيل التيار الكهربائي، وتعتمد هذه القيمة على تركيز وتكافؤ الأيونات الذائبة الموجودة في الماء وتأثير درجة حرارة الماء في أثناء القياس، إذ تزداد قيمة التوصيلية الكهربائية للماء بازدياد درجات الحرارة. هناك علاقة وطيدة بين قابلية التوصيل الكهربائية والملوحة، إذ أن للملوحة اهمية كبيرة في توزيع الكائنات الحية.

3- Turbidity العكارة

تعد العكارة من الخصائص الفيزيائية الأساسية للمياه وهي مقياس لمدى تشتت الضوء وانتشاره من قبل المواد العالقة مثل دقائق التربة والطين والغرين والمواد العضوية واللاعضوية العالقة في الماء، كما يمكن ان تكون بسبب وجود البكتريا والطحالب وكائنات حية اخرى. تؤثر العكارة في الأحياء المائية من خلال تقليل تخلل الضوء الذي يستغل في عملية البناء الضوئي Photosynthesis وهناك علاقة بين العكارة وسلامة المياه والطعم والرائحة في المياه الطبيعية غير المعالجة والمياه المرشحة المعالجة، إذ تبين أن 50 % من أسباب العكارة يرجع إلى تحلل المواد العضوية التي تكون على شكل مواد غروية، وهناك علاقة أيضاً بين العكارة والمحتوى البكتيري في المياه أيضاً، إذ تلتصق المواد الغذائية على سطح الجزيئات المسببة للعكارة، ومن ثم تساعد على نمو البكتريا وتكاثرها.

4- Color اللون

الماء النقي لا لون له، بسبب درجة صفائه أو شفافيته، إذ يسبب تلون الماء وجود المواد العضوية أو غير العضوية (وجود بعض الاملاح المذابة) على شكل مذاب أو معلق. والمياه النقية على عمق 2 متر لا لون لها ويكون لونها ازرق سماوي على عمق 3 امتار. قد يوجد للماء لونا يعزى للمواد العالقة أو لانعكاس القاع أو السماء فيسمى اللون الظاهري، وقد يوجد للماء لونا يعزى للمواد المذابة فيه يسمى اللون الحقيقي.

بعض أسباب تلون الماء :

- الحديد والمنغنيز في المياه ويعطى للمياه لونا مميزًا وتسمى المياه بالمياه الحمراء .
- النحاس ويسبب لونا يميل الى اللون الأزرق .
- المواد العضوية المتحللة .
- الحشائش والنباتات المائية .
- المخلفات الصحية والصناعية والزراعية .

5- Total Suspended Solids (TSS) المواد الصلبة العالقة الكلية

المواد الصلبة العالقة في الماء هي مواد غير ذائبة في الماء والزيادة منها تسبب زيادة في عكارة الماء Turbidity والتي تُسبب تشتت الضوء الساقط عليها أو عمل انحراف له وبالتالي تقلل من اختراق أشعة الشمس في الماء والتي تعوق عملية البناء الضوئي في الماء بواسطة الطحالب والنباتات المائية فيحدث نقص في الأوكسجين الذائب في الماء وتتعرض الكائنات الحية لخطر الموت، لذا فهي مؤشر على جودة المياه.

وتنقسم إلى:

1- كائنات حية مجهرية (مثل البلانكتون والطحالب والبكتيريا).

2- مواد غير حية عضوية (مثل الناتجة من تحلل الكائنات الحية).

3- مواد غير عضوية (مثل حبيبات الرمال والطمى Silt and Clay وبعض أملاح المعادن).

6- Total Dissolved Solids (TDS) المواد الذائبة الكلية

تعرف المواد الذائبة الكلية على انها كمية المواد الصلبة التي تمر من ورق الترشيح عند ترشيح حجم معين من الماء. إذ تتكون المواد الصلبة الذائبة الكلية في المياه من المواد اللاعضوية (الكالسيوم والمغنسيوم والبوتاسيوم والصوديوم والبيكاربونات والكلوريدات والكبريتات) وتظهر بشكل ايونات وجزيئات للعناصر السالبة والموجبة. فضلاً عن المواد العضوية الذائبة، ولها تأثير على نوعية وخصائص المياه المتواجدة فيها أذا ما تواجدت بكميات كبيرة مما حدد من استعمالها.

ويجب أن تحتوي المياه المعدنية على كمية من المواد المذابة تتراوح بين 50 إلى 800 ملغرام/لتر. يطلق مصطلح "ماء معدني قليل المحتوى" على المياه التي تحتوي مواد مذابة أقل من 1500 ملغ/لتر و "ماء معدني عالي المحتوى" على المياه التي تحتوي مواد مذابة أكثر من 1500 ملغ/لتر. كما ترتبط المواد الصلبة الذائبة الكلية Total Dissolved Solids ارتباطاً مباشراً بالملوحة اذ انها تمثل مؤشر للأملاح الذائبة في الماء والتي لها القابلية على التوصيلية الكهربائية، وللملوحة دور مباشر في تحديد نوعية وغزارة الكائنات الحية في المحيط المائي .

7- الآس الهيدروجين (pH)

هو أحد أهم المتغيرات التي تعطي انعكاسا للعديد من العمليات الكيميائية والحياتية وتؤثر في توزيع الأحياء، تتأثر قيمة الأس الهيدروجيني بصوره رئيسة بنوعية الغازات المذابة في المياه فضلا عن أنواع الأيونات السالبة والموجبة الموجودة، كما تكون قيمته مؤشرا لوجود وتوازن ثنائي أوكسيد الكاربون الحر والكربونات والبيكربونات، وهي دليل لصالحية البيئة المائية للحياة.

إن الانخفاض في قيمة الأس الهيدروجيني يؤدي إلى تحول المحيط المائي من متعادل وقاعدي مخفف في المياه الطبيعية غير الملوثة إلى محيط حامضي مخفف وملوث .

8- Dissolved Oxygen (DO) الأوكسجين المذاب

الأوكسجين المذاب مهم للعديد من الأحياء المائية إذ أن الأسماك والأحياء المائية الأخرى تعتمد عليه للاستمرار في الحياة، يدخل الأوكسجين إلى الجسم المائي عن طريق ذوبان الأوكسجين الجوي فضلا عن الناتج العرضي من عملية البناء الضوئي للهائمات النباتية والنباتات المائية.

يتأثر تركيز الأوكسجين المذاب بدرجات الحرارة، فعند ارتفاع درجات الحرارة يقل ذوبان الأوكسجين وكذلك عند زيادة درجة الحرارة سوف يزداد نشاط المحللات من البكتريا المستهلكة للأوكسجين. بعض الأحياء تتحمل التراكيز الواطئة للأوكسجين المذاب ولكن يعد التركيز 4 ملغم/ لتر الحد الأدنى لبقاء الأحياء المائية. يعد تركيز الأوكسجين دليلا على حالة الجسم المائي فيمكن معرفة الكثير عن طبيعة المورد المائي من معرفة كمية الأوكسجين المذابة فيه، كما أن وجود الأوكسجين المذاب في الماء يعمل على تحلل الملوثات العضوية وتخليص الجسم المائي منها، وان انعدامه في الماء يؤدي إلى حدوث تحلل لاهوائي للملوثات داخل الماء منتجا غازات ضارة كغاز الميثان وغاز كبريتيد الهيدروجين وغيرها.

9- Biological Oxygen Demand (BOD_5) المتطلب الحيوي للأوكسجين

يعد المتطلب الحيوي للأوكسجين من المعايير المهمة في تقييم نوعية المياه، ودليلاً على مدى صلاحيتها للاستعمالات المختلفة. ويعرف (BOD_5) على إنه مقياس لكمية الأوكسجين الذي تستهلكه البكتريا والاحياء الاخرى لتحلل المادة العضوية تحت ظروف هوائية وغالباً ما يتم قياسه خلال خمسة أيام ويستعمل المتطلب الحيوي للأوكسجين للاستدلال على تراكيز المادة العضوية الموجودة في مياه الأنهار، وفي المياه الملوثة كمياه الفضلات وغيرها كما إنه يعكس مدى نشاط الأحياء المجهرية التي تزداد فعالياتها عند ارتفاع درجات الحرارة، إذ يزداد تركيز(BOD_5) بارتفاع درجات الحرارة.

10- Chemical Oxygen Demand (COD) المتطلب الكيميائي للأوكسجين

يعرف المتطلب الكيميائي للأوكسجين (COD) على انه كمية الأوكسجين المتطلبة لأكسدة كل المادة العضوية إلى غاز ثنائي أوكسيد الكاربون وماء باستعمال مؤكسدات كيميائية مثل ثنائي كرومات البوتاسيوم ($K_2Cr_2O_2$). ويعد المتطلب الكيميائي للأوكسجين مقياس جيداً للمياه الملوثة لاسيما الملوثة بالفضلات الصناعية، إذ يعكس كمية المواد العضوية المتأكسدة وان لهذا المتغير اهمية في معرفة خصائص المياه والمياه العادمة والمياه الصناعية والمياه الخارجة من

محطات المعالجة، لذا يعد فحص (COD) مهماً ومفيدا لأغراض المراقبة والسيطرة على نوعية المياه.

11 - Ammonium Ion (NH^{+4}) أيون الأمونيوم

توجد الأمونيا بالشكل الأيوني (NH^{+4}) والشكل الايوني (NH^{+3}) ويعد أيون الامونيوم أحد أشكال النيتروجين اللاعضوي بالحالة المختزلة ويؤخذ بسهولة من قبل الهائمات النباتية لأن النترات سوف تختزل إلى أمونيا قبل تكوينها الأحماض الامينية داخل الأحياء وتكون الامونيا سامة للأحياء المائية إلا أن الشكل الأيوني أقل سمية من الشكل اللأيوني، إذ تكون سامة لبكتريا *Nitrosomonas* وبكتريا *Nitrobacter* مما تؤدي إلى تثبيط عملية النترجة. كما إن وجود الأمونيا مع ملوثات كيميائية أخرى مثل السيانيد والنحاس والفينول والزنك يزيد من سميتها، كما تؤثر الأمونيا في الأسماك إذ تسبب لها مشاكل في التنفس والعمليات الايضية. وهناك العديد من العوامل المؤثرة في الامونيا مثل الحرارة و(pH) والملوحة وأيون الكالسيوم والأوكسجين المذاب، إذ يرتبط تركيز الأمونيا بعلاقة عكسية مع هذه العوامل.

12 - Reactive Nitrite (NO_2) النتريت الفعالة

يوجد النتريت في مياه الأنهار بوصفه مركباً قلقاً ناتجاً من اختزال النترات وأكسدة الامونيا، وقليلا ما تستعمله الهائمات النباتية كمصدر للنيتروجين. إن المصدر الرئيس للنتريت في المياه هي الفضلات الناتجة عن الفعاليات البشرية Anthropogenic وتسبب زيادة تركيز النتريت إلى تثبيط عملية النترجة Nitrification بسبب تأثيرها في بكتريا النترجة. يعد النتريت من الأيونات السامة للأحياء المائية واكثرها تأثرا هي الأسماك بسبب تحويله للصبغة الحاملة للأوكسجين إلى شكل غير قادر على حمل الأوكسجين مسبباً نقص الأوكسجين داخل الأنسجة Hypoxia ومن ثم موتها كما تسبب خللا في فسيولوجية الأحياء المائية.

13 - Reactive Nitrate (NO_3) النترات الفعالة

تعد النترات الشكل السائد للنيتروجين اللاعضوي في البيئة المائية ونادرا ما تتجاوز تراكيزها في المياه الطبيعية عن 10 ملغم / لتر وتعد التراكيز دون 55 مايكغم / لتر محددة لنمو الهائمات النباتية. وجود النترات بصورة رئيسية في المياه بسبب المياه المنجرفة من الأراضي الزراعية والمحتوية على الأسمدة والمخصبات الكيميائية ومن مياه الصرف الصحي والصناعي وكذلك تظهر نتيجة لتحلل المركبات العضوية المحتوية على النيتروجين مثل اليوريا والبروتينات وتعد النترات من المغذيات الرئيسة في البيئة المائية وزيادة تركيزها يؤدي إلى حدوث ظاهرة الاثراء الغذائي. النترات من الأيونات السامة للأحياء المائية وخاصة الأسماك وأن أحياء المياه العذبة هي أكثر حساسية من أحياء المياه المالحة، وتكمن سميتها بمنعها لصبغة الهيموغلوبين من

حمل الأوكسجين وتكون أكثر شدة على الأطفال الرضع. وعند دخول النترات إلى الجهاز الهضمي للإنسان تكون ما يعرف بأمينات نيتروزية سرطانيةCarcinogenic Nitrosamines إذ تتحول النترات إلى نتريت والأخير يتفاعل مع الأحماض الامينية.

14 - Reactive phosphate (PO_4) الفوسفات الفعالة

يظهر الفسفور بالشكل الذائب أو العالق وبالصورة العضوية أو اللاعضوية ويعد Orthophosphate العامل المحدد لنمو الطحالب في المياه العذبة وأن زيادتها في المياه تؤدي إلى حدوث ظاهرة الاثراء الغذائي. إن وجود الفسفور بصورة رئيسة في المياه هو بسبب الصرف الصحي غير المعالج والمحتوي على كميات كبيرة من مساحيق التنظيف فضلا عن الصرف الزراعي والصناعي وطبيعة التربة.

إذ إن الفوسفات تكون قليلة الذوبان وإن تركيز الفسفور في مياه الانهار يكون واطئاً لان معظمه يكون على شكل رواسب وان تركيز الفسفور سيتناقص حالما يتراكم الفسفور بواسطة نباتات المنطقة وحيواناتها وعند موت النباتات والحيوانات سوف يدخل في المواد المترسبة في قاع الجسم المائي، وهنا أما أن تسترجع الفوسفات حركتها في عمود الماء عند تفسخ المركبات العضوية نتيجة لحركة التيارات المائية أو أن تبقى في الرواسب إذا ما اتحدت مع أيونات أخرى.

انواع تلوث المياه

ان تلوث الماء يؤدي إلى حدوث أضرار بالغة ذو أخطار جسيمة بالكائنات الحية ويخل بالتوازن البيئي الذي لن يكون له معنى ولن تكون له قيمة إذا ما فسدت خواص المكون الرئيسي له وهو الماء. تتعرض المياه في الطبيعة الى خطر ظهور المركبات الغريبة كالمبيدات، أو زيادة واحد أو أكثر من المكونات الطبيعية كالأملاح عن حدودها الطبيعية مما يؤدي الى إحداث تأثيرات ضارة على الإنسان أو الأحياء المائية، أو تشويه المعالم الطبيعية، هذا التعرض يمكن أن يكون على شكلين مختلفين إحداهما طبيعي والآخر تحت تأثير الإنسان.

1- التلوث الطبيعي المنشأ Natural Pollution

ويسمى أحيانا بالتلوث ذو المنشأ الأرضي أو الجيولوجي Geogenic Pollution ويقصد به ظهور أو زيادة المكونات الطبيعية في المياه كالأملاح اللاعضوية بأنواعها والطمي والغرين والغازات الكبريتية الذائبة والحرارة والاشعاع وما الى ذلك، ولا يكون للإنسان شأنا في زيادتها بل تحدث نتيجة العوامل الطبيعية كالأمطار الغزيرة والسيول وثورات البراكين في قعر البحار،

واغلب هذه الملوثات تكون غير سامة عادة رغم وجود تأثيرات ضارة مختلفة لها على الأحياء المائية كما يكون التلوث الناتج ضمن قدرة الطبيعة على أن تخلص منه في غالب الأحيان ما عدا المواد المشعة وبعض الملوثات الطبيعية الأخرى.

2- التلوث البشري المنشأ Anthropogenic Pollution

وهي التغيرات الحاصلة في المياه بسبب النشاط البشري سواء كان صناعيا أو زراعيا أو من خلال معيشة الإنسان في حياته اليومية العامة. ولأغراض التوضيح يمكن تقسيم الملوثات الناتجة عن مختلف الأنشطة البشرية، الى فئتين رئيسيتين هما:

أ- الملوثات شبه المصنعة Semi-Synthetic Pollutants

وهي الخامات أو المواد الطبيعية التي توجد في الطبيعة كالمشتقات النفطية أو المركبات الفسفورية والنتروجينية والخامات المعدنية، والتي يسعى الإنسان الى استغلالها بنقلها من مكان لأخر، وقد يحدث أن تنطلق الى البيئة في حالة انسكاب عرضي أو تصريف الى مصادر البيئة أو حوادث صناعية فيؤدي الى حالة من التلوث.

ب - الملوثات المصنعة Synthetic Pollutants

وهي مركبات خطرة على النظم البيئية، إذ لا وجود لها في البيئة، إلا إن الإنسان قد صنعها وادخلها الى البيئة لأغراض مختلفة مثل المبيدات الكلورية والفسفورية والزيوت الصناعية واللدائن والمطاط وغير ذلك. من جانب آخر فان عملية رصد ومراقبة التلوث في المياه تستدعي تقسيم المصادر المسببة للتلوث الى فئتين رئيسيتين هما:

أ- المصادر المحددة أو النقطية Point Sources

هي نقاط التصريف للمياه الملوثة بأنواعها المنزلية والصناعية وقنوات الري والبزل وما شاكل ذلك والتي يمكن تأشيرها على الخارطة بنقطة محددة.

ب - المصادر غير المحددة أو غير النقطية Non Point Sources

هي جميع ما يؤدي الى ظهور ملوثات غير معلومة المنشأ، أو المصدر، فمثلا تتساقط كميات كبيرة من الملوثات من الهواء على المسطحات المائية يوميا منها المبيدات ومنها المعادن الثقيلة، وأمطار حامضية، وغير ذلك، وهناك كميات أخرى من الملوثات تصل الى الأنهار والبحيرات محمولة مع مياه السيول أو مع المياه الجوفية ولا يمكن تحديد مصدرها على الإطلاق.

يمكن تقسيم نوعية المياه في المصادر المائية في العالم الى خمس فئات رئيسية وهي كما في الجدول ادناه، وتحمل الأرقام 1-5 وتتدرج من النوعية الأعلى وفئتها تحمل الرقم (1) وهي مياه الينابيع والعيون الجبلية الناتجة مياهها عن ذوبان الجليد والثلوج وتنتهي بالفئة (5) وهي أردأ النوعيات.

الفئات الرئيسية لنوعية المياه في المصادر المائية

الوصف	الفئة	الاستخدامات و الصلاحية
نوعية عالية(high quality)	1	مياه نقية تستخدم للشرب و بقية الاستخدامات–مثل مياه الينابيع الجبلية
نوعية جيدة(good quality)	2	مياه نقية و بدرجة أدنى من الفئة–1 وتستخدم بعد تصفية و تعقيم بسيطة
نوعية معتدلة(fair quality)	3	مياه حاوية على ملوثات غير سامة تزال بتصفية متقدمة و تستخدم للري و تربية الأسماك
نوعية ضعيفة(poor quality)	4	مياه ملوثة بواحد أو أكثر من الملوثات، تعالج و تستخدم لبعض الأغراض الصناعية
نوعية رديئة(bad quality)	5	مياه ملوثة بعدة ملوثات خطرة أو سامة.

الادلة النوعية للمياه Indices Quality Water

انتشر في الآونة الأخيرة استعمال الأدلة النوعية للمياه والتي تشترك بأهداف محددة أهمها تحويل العدد الكبير من البيانات النوعية للمياه والتي عادة ما تكون معقدة إلى تعبير رقمي يتضمن التأثير المتكامل لتلك البيانات على نوعية المياه والذي يمكن فهمه وتفسيره واستعماله من قبل غير المختصين في مجال المياه كصناع القرار والإداريين غير التقنيين والجمهور العام.

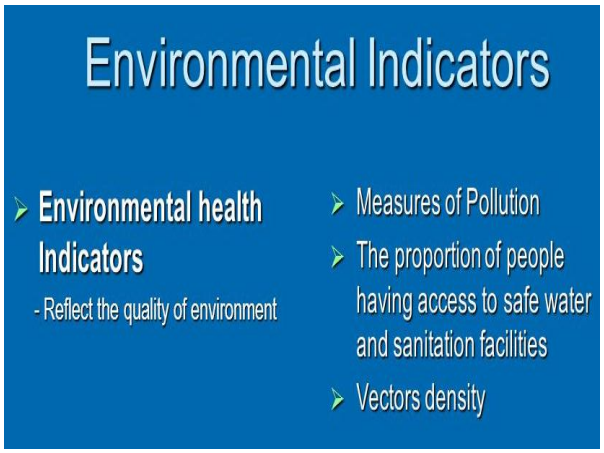
وقد استعمل دليل نوعية المياه لأول مره في محاولة لتصنيف المياه وبيان تأثير التلوث عليها، وبعدها طورت العديد من أدلة نوعية المياه بالاعتماد على دليل Horton إذ برزت الحاجة إليها في الآونة الأخيرة لمراقبة التغيرات المختلفة التي تحدث في نوعية مياه المسطحات المائية نتيجة الضغط المتواصل عليها خلال الفعاليات المدنية والصناعية والزراعية لذا فكر خبراء نوعية المياه بتصميم أدلة متخصصة أو أكثر تخصصاً لتحديد نوعية مياه المسطحات المائية او لتحديد طبيعة تأثير الملوثات المختلفة عليها، ومن اهم الأدلة والمؤشرات البيئية هي:

1- أدلة التلوث Indices Pollution

تستعمل أدلة التلوث لوصف التغيرات الزمانية والمكانية للمياه الناتجة عن الملوثات المختلفة والتي تصل إلى المياه من مصادر مختلفة لتحديد نوعيتها. اهتمت العديد من الدراسات باستعمال الأدلة البيئية منها الدراسة التي قام بها (وأنهار كوينزالند) والتي تناولت بحث التغيرات في

أصناف اللافقاريات الكبيرة Macroinvertebrates تبعاً للتغيرات في قيم التوصيلية الكهربائية باستعمال دليل الملوحة (Index Salinity)، إذ جمعت بيانات عديدة امتدت من سنة والتي تضمنت وجود اللافقاريات الكبيرة، إذ لاحظ التغير في تركيبة المجتمع للتحمل الملحي فالأحياء الحساسة للملوحة تستبدل بأخرى مقاومة عندما تصل قيمة التوصيلية الكهربائية (800 – 1000) مايكروسيمنز. واستعمل دليل تلوث الأنهار(Index Pollution River) كتطوير للأدلة الحياتية لتحديد درجة تلوث النهر باستعمال أنواع من ديدان قليلة الاهلاب Oligochaetes كدليل لوجود التلوث العضوي في نهر Taichung في تايوان. كما أستعمل دليل الأثراء الغذائي (Index Eutrophication) لتحديد نوعية مياه بحر إيجه في الشرق الأوسط بالاعتماد على تحديد تراكيز المغذيات وكلوروفيل (أ).

2- المؤشرات البيئية Environmental indicators

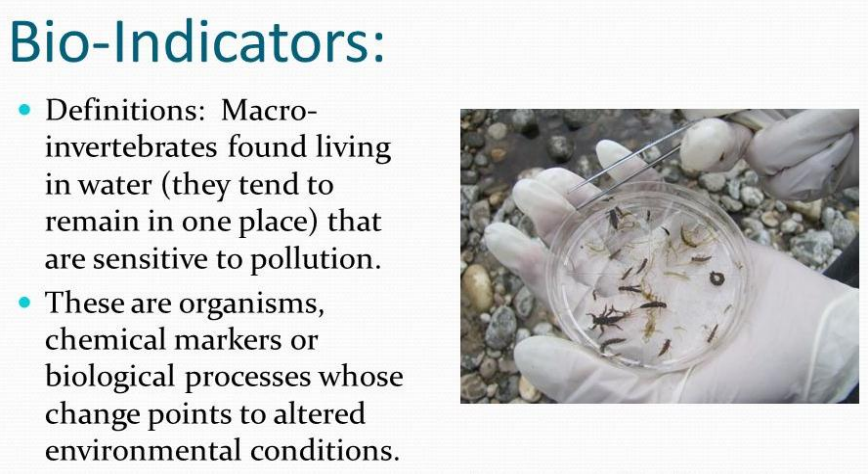


تعد المؤشرات والتقارير البيئية أحد أهم الأدوات التي تدعم متخذي القرار في التخطيط السليم بهدف تحديد الأولويات في إستغلال الإمكانيات والموارد المتاحة للحصول على الأهداف المنشودة، حيث تعكس المؤشرات والتقارير البيئية الوضع البيئي بصورة دقيقة، وذلك في إطار تنفيذ التوجيهات السياسية بضرورة إتخاذ كافة الإجراءات للحفاظ على البيئة من أجل توفير الحياة الآمنة والصحة الجيدة والتوجه نحو تحقيق التنمية المستدامة.

المؤشرات البيولوجية Biological indicators (Bioindicators)

هي الأنواع التي يمكن استخدامها لمراقبة صحة البيئة أو النظام البيئي أي أنها أنواع بيولوجية أو مجموعة من الأنواع قد تكون وظيفتها أو تجمعها أو أي وضع لها يكشف عن درجة النظام البيئي أو السلامة البيئية الموجودة. مثال على مجموعة من المؤشرات البيولوجية هي مجدافية الأرجل والقشريات المائية الصغيرة الأخرى الموجودة في كثير من المسطحات المائية. ويمكن رصد تأثر هذه الكائنات بالتغييرات (الكيميائية الحيوية أو الفسيولوجية أو السلوكية) التي قد تشير إلى وجود مشكلة في النظام البيئي. وقد تُخبرنا المؤشرات البيولوجية

عن الآثار التراكمية للملوثات المختلفة في النظام البيئي وعن مدى المشكلة التي قد تكون موجودة، التي لا يمكن إجراء الاختبار الفيزيائي والكيميائي عليها.



يمكن تعريف **المراقب الحيوي** أو **المراقب البيولوجي** او المؤشر البايولوجي على أنه المتعضية التي توفر المعلومات الكمية في نوعية البيئة الموجودة حولها. وعلى هذا، ستشير المراقبة الحيوية الجيدة إلى وجود الملوث وتحاول أيضًا تزويد معلومات إضافية عن الكمية وشدة التعرض.

المؤشرات البيولوجية اداة للرصد الحيوي المائي

تستخدم الانواع البيولوجية كمؤشرات بيولوجية لمراقبة النظام البيئي وسلامته حيث ان هذه الانواع تتأثر بالعوامل الكيميائية او الفزيائية المتغيرة في البيئة المائية وكذلك الملوثات المتراكمة، حيث ان بعض الكائنات الحية الحساسة للمتغيرات البيئية تعتبر مؤشر لجودة المياه من خلال قدرتها على البقاء على قيد الحياة اذ تستخدم لرصد تلوث البيئة المائية مثل بعض انواع المحار Oysters قد يعكس تغير لونه تلوث مياه البحر بأيونات النحاس، او قد تحدث تغييرات في نشاط إنزيم الدماغ للكارب بسبب التلوث بمبيد الفوسفات العضوي.

ان وجود الانواع يتحدد بالتلوث فقط لان بعض الكائنات لها المقدرة على التكيف او المقاومة ولكن هناك مقاييس اخرى مثل سرعة المياه وعمقها والمناخ والمنطقة الجغرافية وغيرها لذا يجب اعطاء هذه العوامل اهمية عند استخدام النوع كمؤشر حيوي. يقدم المؤشر الحيوي دليل على وجود ملوثات من خلال ظهور اعراض ومعلومات عن التغيرات البيئية مثل العناصر والشكل الخارجي والسلوك وتجمعاتها السكانية بالإضافة الى التمثيل الغذائي.

صفات المؤشر الحيوي الجيد :

يعرف المؤشر الحيوي الجيد بأنه الكائن الحى الذى يعطى أكبر كمية من المعلومات عن حالة البيئة من حوله. وذلك من خلال اظهار بعض التغيرات الفزيائية او الكيميائية او السلوكية كاستجابة للملوثات البيئية في الوسط المحيط به ، حيث يتم رصد هذه التغيرات عن طريق دراسة محتوى هذه الكائنات من بعض العناصر أو المركبات من حيث:

- شكلها الظاهري (المورفولوجي) أو تركيبها الخلوي .
- العمليات الأيضية والبيوكيماوية .
- سلوكها وتركيب مستعمراتها ومساكنها .

انواع المؤشرات الحيوية :

المؤشرات النباتية Plant Indicators

قد يوفر وجود نبات معين أو عدم وجوده أو غيره من الحياة النباتية في النظام البيئي دليلاً بشأن الصحة البيئية كالحفاظ على البيئة. هناك العديد من أنواع المؤشرات النباتية، بما في ذلك الحزازيات والأشنيات ولحاء الشجرة وجيوب اللحاء وحلقات الشجر وأوراق الأشجار والفطريات.

الأشنيات عبارة عن كائنات حية تتكون من الفطريات والطحالب إنها ليست نباتات (تم العثور على الأشنيات في الصخور وجذوع الأشجار، وتستجيب للتغيرات البيئية في الغابات، بما في ذلك تغيرات في بنية الغابة ويشير اختفاء الأشنيات من الغابة إلى الضغوط البيئية، مثل المستويات العالية من ثنائي أوكسيد الكبريت والملوثات الناتجة عن الكبريت وأوكسيدات النيتروجين. تكوين أنواع الطحالب وإجمالي كتلتها الحيوية في النظم المائية يمثل القياس المهم للتلوث العضوي وحمل المواد المغذية مثل النيتروجين والفوسفور. كما وجد كائنات حية مُهندسة وراثيًا تُساعدنا في الإشارة إلى مستويات التأثير السمي في البيئة، مثل نوع من العشب تمت هندسته وراثيًا وينمو هذا العشب بلون مختلف إذا كان في التربة سموم.

ومن الأمثلة الأخرى على استخدام النباتات أو أجزاء منها كمؤشرات حيوية :

- يعتبر تغير وانخفاض نمو المجموع الجذري والخضري، وكذلك انخفاض المحتوى البروتيني لنبات دوار الشمس مؤشرا على التلوث بعنصر الرصاص في محيطة البيئي .

- تبرقش أوراق وثمار نبات الكرز الأسود وموتها وسقوطها المبكر يعتبر أحد المؤشرات الحيوية على تلوث البيئة بغاز الأوزون .
- تهتك أنسجة أوراق نباتات الفول والدخان ونجيلة الجاودار وموتها مؤشرا على تلوث البيئة بالرصاص والكبريت والنحاس والكادميوم والزنك والفلور .
- تهتك الأوراق والموت السريع لنبات الملفوف الأخضر احد الدلائل الكبرى على تلوث البيئة حول النبات بالملوثات العضوية المسرطنة مثل الهيدروكربونات العطرية متعددة الحلقات وثنائي الفينيل متعدد الكلور وثنائي البنزودايوكسين عديد الكلور وثنائي البنزوفيوران عديد الكلور ومركب الكلوروفلوروكربون .
- يعتبر موت وسقوط أوراق نبات الصنوبر مؤشرا على تلوث البيئة بالرصاص والكبريت والنحاس والكادميوم والزنك والفلور والنيتروجين، والملوثات العضوية مثل الهيدروكربونات ومركب الكلور وفلوروكربون .
- سيطرة أو اختفاء بعض النباتات في المسطحات المائية كالبحيرات والأنهار دليل على تلوث تلك البيئات بالعناصر الثقيلة، مثل الرصاص والنحاس والزنك والزئبق .

المؤشرات الحيوانية Animal Indicators

تستخدم بعض الحيوانات كمؤشرات حيوية وذلك بمراقبة تكاثرها ونموها وسلوكها في أي نظام بيئي، حيث تعتبر الزيادة في اعداد الحيوانات او نقصانها مؤشرا على الأضرار التي قد تكون لحقت بنظامها البيئي كنتيجة للتلوث. فعندما يسبب التلوث، على سبيل المثال، في استنزاف المصادر الغذائية لأحد الأنواع الحيوانية فان ذلك سيؤدى الى انخفاض اعداد هذا النوع ولربما أدى أيضا الى انقراضه.

من الأمثلة الأخرى على استخدام الحيوانات كمؤشرات حيوية هو استخدام طيور الكناري للكشف عن الغازات السامة في مناجم الفحم لأنها أكثر حساسية لمثل هذه الغازات من البشر، حيث تنهار قبل فترة طويلة من عمال المناجم، وهذه اشارة واضحة الى عمال المناجم على الخروج فورا من المنجم.

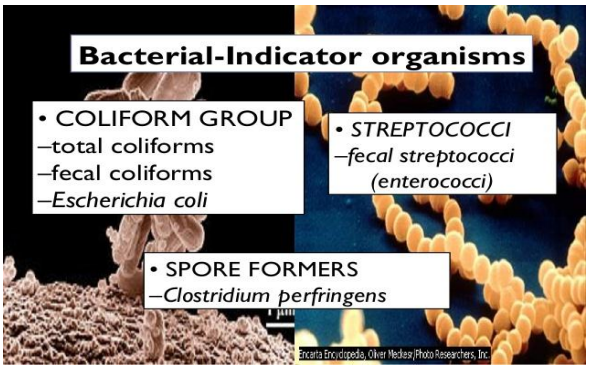
كذلك يشير موت وانخفاض معدل النمو وحدوث التشوهات الخلقية والسلوك غير الطبيعي للبرمائيات، كالضفادع الى تلوث بيئتها بالملوثات الكيميائية كالمبيدات والعناصر الثقيلة والأمطار الحمضية. كما تحدث تغيرات في السلوكيات الاجتماعية لمجموعة كبيرة من الأنواع مثل طيور

البلشون والنورس والسمان والصقور والفئران والقرود والضفادع والقواقع، حيث يلاحظ التغير في سلوكيات التزاوج والأبوة والأمومة وبناء العش والتعلم وتجنب الحيوانات المفترسة ومستويات النشاط والتوازن .

قد تشير زيادة أو نقصان عدد الحيوانات إلى الأضرار التي لحقت بالنظام البيئي بسب التلوث. على سبيل المثال، إذا تسبب التلوث في استنزاف مصادر الغذاء المهمة، وكانت أنواع الحيوانات تعتمد على هذه الأغذية فسيقل العدد: أي انخفاض عدد السكان. وقد يكون الانفجار السكاني نتيجة لنمو الأنواع النفعية. وإضافة إلى رصد حجم وعدد بعض الأنواع، تشتمل الآليات الأخرى عند الحيوانات على رصد تركيز السموم في الأنسجة الحيوانية، أو رصد المعدل الذي تنشأ فيه التشوهات في قطعان الحيوانات.

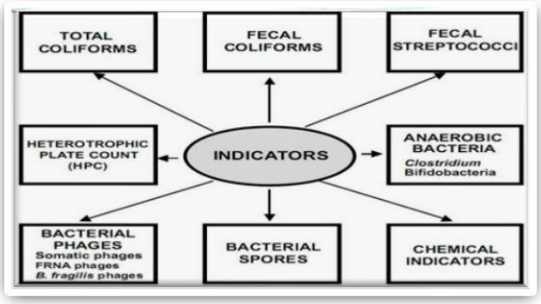
المؤشرات الميكروبية Microbial Indicators

يمكن استخدام الكائنات الحية الدقيقة على أنها مؤشرات على صحة النظام البيئي المائي أو الأرضي. تُعد الكائنات الحية الدقيقة أسهل من غيرها من الكائنات الحية في عملية أخذ العينات وتوجد بكميات كبير، وقد تُنتج بعض الكائنات الحية الدقيقة بروتينات جديدة، وتسمى بروتينات الإجهاد، عندما تتعرض لملوثات مثل الكادميوم والبنزين. ويمكن استخدام بروتينات الإجهاد هذه على أنها نظام للإنذار المبكر للكشف عن مستويات التلوث العالية.



غالبًا ما يتم استخدام المؤشرات الميكروبية في التنقيب عن النفط والغاز في الأحواض الحدودية لتحديد المناطق المحتملة لتواجد النفط والغاز. ومن المعروف في العديد من الحالات أن النفط والغاز يتسربان نحو السطح كمستودع هيدروكربوني وعادة ما يتسرب أو قد تسرب نحو السطح عن طريق قوى الطفو للتغلب على ضغوط التسرب. ويمكن للهيدروكربونات

هذه تغيير الحوادث الكيميائية والميكروبية الموجودة بالقرب من التربة السطحية أو يمكن التقاطها مباشرة.



المؤشرات الحيوية اللافقرية

تُعد اللافقاريات من المؤشرات المفيدة والمريحة للصحة البيئية للمسطحات المائية أو الأنهار. وتكون اللافقاريات موجودة في كثير من الأحيان، ومن السهل أخذ عينة منها والتعرف عليها.

وقد وجد أن حساسية مجموعة اللافقاريات ستمكننا من حكم موضوعي عن الحالة البيئية. في أستراليا، تم وضع طريقة "الإشارة" واستخدامها من قبل الباحثين ومجموعات مراقبة المياه المجتمعية لمراقبة صحة المياه. في الولايات المتحدة، قد نشرت وكالة حماية البيئة (EPA) البروتوكلات السريعة للتقييم الحيوي، بناءً على اللافقاريات إضافة إلى

نباتات قاعية ملتصقة والسمك . وتستخدم هذه البروتوكلات من قبل العديد من المؤسسات الحكومية الاتحادية والمحلية لتصميم المسح الحيوي لتقييم نوعية المياه.

عمل المؤسسات التطوعية لمراقبة جريان النهر في الولايات المتحدة بالتعاون مع الهيئات الحكومية، وعادة ما تستخدم هذه المؤسسات طرق اللافقاريات. وتتم إجراءات تحديد الأنواع في هذا المجال دون استخدام معدات معينة، وبسهولة يمكن دراسة الأساليب في جلسات تدريب تطوعية.