التلوث البيئي

Environmental Pollution

مقدمة في النظم البيئية والتوازن الطبيعي:

النظام البيئي هو وحدة متكاملة تضم المكونات الحية (النباتات، الحيوانات، الكائنات الدقيقة) وغير الحية (التربة، الماء، الهواء، الطاقة الشمسية)، **التوازن الطبيعي** يعني استقرار العلاقات بين هذه المكونات بحيث تستمر دورة الطاقة والمواد دون اضطراب أو خلل. من هنا يبرز مفهوم **المرونة البيئية** وهي قدرة النظام على امتصاص الاضطرابات والعودة إلى حالته الطبيعية، لكن هناك **عتبات حرجة** إذا تجاوزها النظام بسبب التدخلات البشرية، فقد ينهار التوازن إلى حالة جديدة غير مرغوب فيها.

نتيجة لتداخل عوامل عديدة، في مقدمتها الانفجار السكاني الذي حدث خلال النصف الثاني من القرن الماضي (القرن العشرين)، وما رافقه من أنشطة تنموية وتطور صناعي وزراعي لسد الحاجات المتزايدة لملايين البشر، فضلاً عن استنزاف الموارد الطبيعية واستغلال أراضي الغابات في إنشاء المصانع والمعامل، واستغلال الأراضي الزراعية لحل أزمة السكن وشق الطرق، فقد كثرت التحذيرات حول مصير الحياة على الأرض. وتوجهت الانتقادات إلى تدخلات الإنسان في التوازن الطبيعي الذي يحدد نمط وأشكال الحياة المعروفة حالياً.

لقد تزايد القلق بسبب استخدام الإنسان للوسائل المؤثرة الناجمة عن التطور الهائل للتقنية والصناعة، مما أوجد مستويات غير مألوفة من التأثير على البيئة لم تُعرف لها مثيل عبر تاريخ تطور المعرفة البشرية.

مفهوم التلوث البيئي وتعريفه:

يختلف علماء البيئة في تعريف دقيق ومحدد للمفهوم العلمي للتلوث البيئي، حيث أن للتلوث البيئي العديد من التعاريف التي أوردها هؤلاء العلماء، فمنها:

1. التلوث هو كل تغير يطرأ على الصفات الفيزيائية أو الكيميائية أو البيولوجية للبيئة التي يعيش فيها الإنسان ويؤثر سلبياً على صحته بصورة مباشرة أو غير مباشرة.
2. كما عرف التلوث البيئي بأنه التغيرات غير المرغوبة التي تحصل في البيئة من خلال التأثيرات المباشرة وغير المباشرة في تغير شكل الطاقة ومستويات الإشعاع والبيئة الكيميائية والطبيعية للكائن الحي، والتي تؤثر بصورة مباشرة في حياته.

3. التلوث هو كل تغير كمي أو كيفي في مكونات البيئة الحية وغير الحية بحيث لا يمكن للبيئة استيعابه دون أن يختل توازنها، أو بشكل آخر فإن التلوث هو وجود أية مادة أو طاقة في غير مكانها وزمانها وكميتها المناسبة.

4. التلوث هو إفساد المكونات البيئية حيث تتحول هذه المكونات من عناصر مفيدة إلى عناصر ضارة مما يفقدها الكثير من دورها في استمرار الحياة، حيث تتحول عناصر أي نظام بيئي إلى ملوثات إذا ما تغيرت كميتها (زيادة أو نقصان) أو صفاتها بحيث تصبح مضرة للبيئة.

ومما تقدم أعلاه يتضح لنا التعريف الأنسب والأشمل للتلوث والذي هو:

التلوث البيئي (Environmental Pollution) هو إدخال الملوثات إلى البيئة الطبيعية، مما يلحق الضرر بها ويسبب الاضطراب في النظام البيئي، هذه الملوثات إما مواد دخيلة أو مواد طبيعية تجاوزت المستويات المقبولة.

لا يقتصر التلوث على المواد الكيميائية، بل يمتد إلى أشكال الطاقة: التلوث الضوضائي، الحراري، الضوئي، والإشعاعي.

بما أن التلوث البيئي يُطلق على عملية الإخلال بالتوازن الطبيعي للبيئة والذي يؤثر على حياة الكائنات الحية، فإن استمرارية حياة الإنسان تعتمد على إيجاد حلول للمشكلات الرئيسة التي تشكل خطراً على بقائه:

1. كيفية التخلص من الفضلات المتزايدة بسرعة، خاصة النفايات غير القابلة للتحلل.
2. كيفية الوصول إلى مصادر جديدة للغذاء لتوفير الطاقة للأعداد المتزايدة.
3. كيفية التوصل إلى المعادلة السليمة في النمو السكاني، أي تحديد الكثافة السكانية المثلى لكل رقعة من الأرض.

من أهم الأمثلة على حوادث تلوث حول العالم:

- ميناماتا (اليابان) – تلوث بالزئبق العضوي سبب تشوهات عصبية.
- بوبال (الهند) – تسرب غاز ميثيل إيزوسيانات من مصنع مبيدات.(1984)
- تشرنوبل (أوكرانيا) – انفجار مفاعل تشرنوبل النووي (1986).
- إكسون فالديز (ألاسكا) – انسكاب نفطي هائل.(1989)
- ناغازاكي وهيروشيما (اليابان) – بعد تفجير هيروشيما وناغازاكي والتجارب النووية، تشكلت **اللجنة العلمية لدراسة تأثير الإشعاع الذري (UNSCEAR)** لتقييم الإشعاع الذري وآثاره الصحية.

الملوثات:

تعريف المواد الملوثة: تشمل المواد الملوثة مجالاً واسعاً فقد تكون أية مادة مصنعة من قبل الإنسان مادة ملوثة في بعض الأحيان. وقد تكون بعض المواد التي تعتبر ضرورية لحياة الكائنات الحية كالحديد والنحاس والزنك على سبيل المثال لكنها قد تكون ذات سمية عالية عند وجودها بكميات وتراكيز عالية أو متواجدة في أماكن غير مرغوب فيها.

تصنيف الملوثات:

من أجل دراسة المواد الملوثة وإمكانية التعرف عليها، يمكن تصنيفها وفق العديد من المحاور مثل مصدر وطبيعة الملوثات أو خصائصها أو وفق المحور البيئي أو حسب تأثيراتها الضارة. وفيما يلي أهم أنظمة تصنيف الملوثات:

أولاً: تصنيف الملوثات وفق المنشأ (المصدر):

تشمل مصدرين رئيسين هما:

1. التلوث البشري المنشأ (Anthropogenic Pollution)

ينتج عن كل ما تفرزه فعاليات الإنسان وأنشطته المختلفة من ملوثات ومنها:

1. مياه الفضلات والمجاري من المناطق السكنية.
2. المبيدات الزراعية (لمكافحة آفات المحاصيل والأمراض الحيوانية).
3. المواد الكيميائية الصناعية (منظفات، مذيبات، أحماض، معادن ثقيلة).
4. الملوثات الغازية المنبعثة من النقل والمواصلات وحرق الفحم والنفط.
5. النفايات الصلبة (قمامة، مخلفات صناعية، مخلفات المسالخ).

2. التلوث الطبيعي(Natural Pollution)

هو التلوث الناجم عن فعل الطبيعة ليس للإنسان أي دخل فيه:

1. **العوالق في الهواء :**دقائق التراب والرمال من الصحاري، رماد حرائق الغابات وثورات البراكين.
2. **المواد العالقة في المياه :**طمي، حبيبات الغرين في الأنهار وتأثيرها السلبي على الثروة السمكية.
3. **التعرية :**جراء السيول والفيضانات التي تؤثر على التربة والغطاء النباتي.
4. **تملح المياه :**بفعل عملية التبخر في المناطق الحارة فإن تركيز الأملاح سوف يزداد وبخاصة المياه العذبة.
5. **الغازات السامة :**كبريتيد الهيدروجين، ثنائي أكسيد الكبريت، الميثان من المنبعثة من البراكين والينابيع المعدنية.

ملاحظة :الكوارث الطبيعية لا يمكن السيطرة التامة عليها، بينما يمكن معالجة التلوث البشري أو الحد منه.

ثانياً: تصنيف الملوثات وفق خصائصها الطبيعية:

وهي ثلاثة أنواع رئيسة:

1. **ذات الطبيعة الفيزيائية:** من أكثر الملوثات الفيزيائية شيوعاً في البيئة هي الإشعاع والأمواج الكهرومغناطيسية والحرارة والضوء والضوضاء والاهتزازات المختلفة. إن هذه المواد الملوثة تتداخل مع الخصائص الفيزيائية لعناصر البيئة الحية أو غير الحية.
2. **ذات الطبيعة الكيمائية:** تشمل مجالاً واسعاً جداً من المواد الملوثة وهي الأكثر انتشاراً في البيئة. وتتزايد أعدادها على مر الزمن عند ظهور مركبات كيمائية جديدة مصنعة من قبل الإنسان على سبيل المثال. وتتباين تأثيراتها بدرجة كبيرة ولفترات زمنية مختلفة. وعند تواجدها بتراكيز عالية فإنها سوف تعمل على تغيير الخصائص الكيمائية أو الفيزيائية للبيئة كظهور الأملاح في المياه. كما أنها قد تؤثر في البيئة حتى في تراكيز قليلة كما هو الحال في المعادن الثقيلة أو بقايا المبيدات والتي قد تظهر أثراً بيولوجياً في الكائنات الحية التي تتعرض لها ومنها الإنسان.
3. **ذات الطبيعة الحيوية:** يمكن في بعض الحالات أن تكون الكائنات الحية كمواد ملوِثة في البيئة. وعلى سبيل المثال تلك الكائنات المسببة للأمراض سواء للإنسان أم الحيوان أم النبات كما هو الحال في بعض أنواع البكتيريا والفطريات والطفيليات. كما أن الحيوانات النافقة يمكن أن تسبب مشاكل بيئية وصحية عديدة وبالتالي تتحول هذه الأحياء إلى ملوثات بيئية بخاصة عندما تُترك هذه الحيوانات النافقة دون دفن أو رميها في المصادر المائية الطبيعية بخاصة تلك التي يستعملها الإنسان بوصفها مصدراً لمياه الشرب كالأنهار والبحيرات.

ثالثاً: تصنيف الملوثات وفق التركيب الكيميائي:

يمكن تقسيمها إلى نوعين رئيسيين هما:

1- مواد عضوية: تشمل تلك التي تكون غنية **بالكلور** مثل بعض المبيدات الحشرية كالكلوردين والأدلين وDDT. كما أن هناك مواد عضوية غنية **بالفسفور** مثل البراثيوم والملاثيون وأخرى غنية بالمعادن.

2- مواد غير عضوية: قد تكون على هيئة أيونات كالأيونات **الموجبة** مثل الزنك ZN^{+} والنحاس Cu^{+} والحديد Fe^{+++} أو **السالبة** مثل النترات NO^{-3} والفوسفات PO^{-4}. أو تكون غير أيونية مثل المعادن الثقيلة كالزئبق والرصاص والكادميوم والزرنيخ.

رابعاً: تصنيف الملوثات وفق درجة التحلل:

1- قابلة للتحلل: هي المواد التي يمكن تفكيكها وتحليلها في البيئية من قبل المحلِلات كالبكتيريا والفطريات. وتكون عادة أقل خطورة في تلوث البيئة. علما بأن تأثيرها السلبي يزول حال تحللها بشكل كامل من قبل الكائنات الدقيقة.

2- غير قابلة للتحلل: تشمل المواد الكيميائية والصناعية ذات التأثير التراكمي في البيئة التي لا يمكن تحللها مثل مبيدات الحشرات ومبيدات الفطريات ومواد البلاستيك والنايلون والبولي ايثلين وبعض المنظفات.

خامساً: تصنيف الملوثات حسب درجة السمية:

يقصد بالمواد السامة أنها تلك المواد التي تسبب شللاً لحركة الكائنات الحية وتثبط نموها وتؤدي إلى موتها وذلك من خلال تأثيرها المباشر والفعال على إيقاف وعرقلة عمليات الاستقلاب (العمليات الأيضية). وتتفاوت المواد السامة في تأثيرها تبعاً لتراكيبها الكيمائية وتركيزها المؤثر. وتُقسم الملوثات السامة إلى عدة أنواع رئيسية:

1- المعادن: الرصاص والنيكل والزنك والنحاس والزئبق وغيرها من المعادن الثقيلة التي يكون مصدرها على الأغلب من العمليات الصناعية والزراعية.

2- المركبات العضوية: الدايوكسينات، المبيدات العضوية المكلورة، الهيدروكربونات الأروماتية علما بأن مصادر هذه المواد مختلفة كالفضلات الصناعية والزراعية والمخلفات المنزلية.

3- الغازات السامة: الكلور والأمونيا وأول أوكسيد الكربون.

4- الأيونات السالبة: مثل أيونات السيانيد والفلور والكبريتيد والكبريدات وفلوريد الهيدروجين.

5- المركبات الحمضية والقلوية: مثل حمض الكبريت H_2SO_4.

سادساً: الملوثات الناشئة (Emerging Pollutants):

الملوثات الناشئة هي مواد كيميائية أو ملوثات لم تخضع لرقابة بيئية شاملة في السابق، لكن الأدلة الحديثة كشفت عن مخاطرها المحتملة على الصحة والبيئة. من أبرز الأمثلة عليها: المضادات الحيوية، الهرمونات، المواد البلاستيكية الدقيقة، مركبات مقاومة اللهب، مواد التغليف المقاومة للماء والدهون، بالإضافة إلى

بعض مستحضرات التجميل ومنتجات العناية الشخصية. تكمن خطورتها في قدرتها على التراكم الحيوي، والتسبب باضطرابات هرمونية، أو مقاومة الميكروبات للعلاج، حتى بتركيزات منخفضة جداً.

جدول (1): أهم معايير تصنيف الملوثات

معيار التصنيف	نوع الملوث	تعريفه
المصدر	طبيعي	ينشأ دون تدخل الإنسان
	بشري	ناتج عن أنشطة الإنسان
القابلية للتحلل	قابلة للتحلل الحيوي	تتحلل بمساعدة الكائنات الحية الدقيقة
	غير قابلة للتحلل الحيوي	لا تتحلل طبيعياً وتستمر لعقود طويلة
الطبيعة الكيميائية	عضوية	تحتوي على الكربون والهيدروجين غالباً (من أصل حي أو هيدروكربوني)
	غير عضوية	لا تحتوي على الكربون بنيته الأساسية
النطاق المكاني	محلي	تأثيره محدود بمنطقة صغيرة
	إقليمي	يتجاوز حدود الدولة الواحدة
	عالمي (الاحتباس الحراري)	يؤثر على الكوكب بأكمله
آلية التشكل	أولي (مباشر)	ينبعث مباشرة من المصدر إلى البيئة بنفس شكله
	ثانوي (غير مباشر)	يتشكل من تفاعل ملوثات أولية مع بعضها أو مع مكونات الغلاف الجوي

أنواع التلوث البيئي:

1. **تلوث الهواء:** ويقصد بتلوث الهواء وجود المواد الضارة به مما يلحق الضرر بصحة الإنسان في المقام الأول ومن ثم البيئة التي يعيش فيها.
2. **تلوث المياه:** ويقصد به وجود المواد الملوثة الدخيلة على جميع أنواع المياه سواء مياه عذبة أو مياه مالحة مثل مسطحات الأنهار والبحيرات والبرك والبحار والمحيطات وغيرها من المسطحات المائية الملوثة والتي لها آثار سلبية على الكائنات الحية التي تستوطن هذه البيئات.

3. **تلوث التربة:** إن التربة من أكثر العناصر التي يسيء الإنسان استخدامها في هذه البيئة. فهي ذات أهمية بالغة كونها مصدر الغذاء الأساسي له ولعائلته، وينتج عن عدم الوعي والإدراك لهذه الحقيقة إهماله لها.
4. **التلوث بالنفايات:** أحد أنواع التلوث البيئي والتي تشتمل على القمامة والنفايات الإشعاعية.
5. **التلوث السمعي أو التلوث الضوضائي:** هو أصوات غير منسقة ذات استمرارية غير مرغوب فيها وبمستويات صوتية عالية تحدث في المناطق الحضرية والتجارية المزدحمة.
6. **التلوث البصري:** هو تشويه لأي منظر تقع عليه عين الإنسان يحس عند النظر إليه بعدم ارتياح نفسي، ويمكننا وصفه أيضا بأنه نوعا من أنواع انعدام الذوق الفني أو اختفاء الصورة الجمالية لكل شيء يحيط بنا من أبنية إلى طرقات أو أرصفة.

يضاف إلى ذلك التلوث الغذائي والتلوث الدوائي والتلوث الحراري.

درجات التلوث البيئي:

حدد علماء البيئة ثلاث درجات للتلوث البيئي، وهي كما يأتي:

1. التلوث المقبول (Acceptable Pollution): وهي درجة من درجات التلوث التي لا يتأثر بها التوازن البيئي ولا يكون مصحوباً بأي أخطار أو مشاكل بيئية رئيسية، حيث لا تكاد تخلو منطقة من مناطق الكرة الأرضية من هذه الدرجة من التلوث، نظراً لسهولة نقل التلوث بأنواعه المختلفة من مكان إلى آخر سواء كان ذلك بوساطة العوامل المناخية أو البشرية.

2. التلوث الخطير (Risky Pollution): وهذه الدرجة من التلوث تعاني منها الكثير من الدول الصناعية، ويعود ذلك بالدرجة الأولى إلى النشاط الصناعي وزيادة النشاط التعديني والاعتماد بشكل رئيسي على الفحم والبترول كمصدر للطاقة. وهذه المرحلة تعد مرحلة متقدمة من مراحل التلوث، إذ أن كمية ونوعية الملوثات تتعدى الحدود المسموح بها، حيث يبدأ معه التأثير السلبي على العناصر البيئية الطبيعية والبشرية، كما تتطلب هذه المرحلة إجراءات سريعة للحد من التأثيرات السلبية للتلوث، ويتم ذلك عن طريق معالجة التلوث الصناعي باستخدام وسائل تكنولوجية حديثة كإنشاء وحدات معالجة كفيلة بتخفيض نسبة الملوثات لتصل إلى الحد المسموح به دولياً، أو عن طريق سن قوانين وتشريعات على المصانع التي تساهم في زيادة التلوث.

3. التلوث المدمر (Devastating Pollution): وتمثل هذه الدرجة المرحلة التي ينهار فيها النظام البيئي ويصبح غير قادر على إعادة التوازن، نظراً لاختلاف مستوى الاتزان بشكل جذري. ولعل حادثة تشرنوبل عام 1986 التي وقعت في المفاعلات النووية للاتحاد السوفيتي سابقاً وانفجار المحرك النووي في مدينة ساروف الروسية عام 2019، هي خير مثال لهذا النوع من التلوث حيث أنهار النظام البيئي كلياً، الأمر الذي يحتاج إلى سنوات طويلة لإعادة اتزانه بوساطة التدخل البشري وبتكلفة اقتصادية باهظة.

تراكيز الملوثات:

يعبر عن تراكيز الملوثات في كثير من الأحيان بالأجزاء الصغيرة جداً فتركيز جزء بالمليون (ppm) يطابق جزء واحد من الملوث مقابل مليون جزء من خليط الغاز أو السائل أو الصلب الذي يوجد فيه الملوث. وعلى أية حال فتراكيز الملوثات على الرغم من صغرها إلا أنها تكون ذات تأثير خطير، فمثلاً 1 ppm من الفينول في الماء يكون مميتاً لبعض الأحياء المائية ومنها الأسماك، وكذلك 0.2 ppm من نترات بيروكسي بنزويل الموجودة في الضبخان (Smog) يمكن أن تؤدي إلى تهيج شديد في عيون الانسان، و0.001 ppm من غاز HF يتلف نباتات حساسة مثل الخوخ.

من المفاهيم المهمة والمتعلقة بتراكيز الملوثات يجب التمييز بين:

أ. التركيز الحيوي.
ب. التضخم الحيوي.
ج. التمييز الحيوي.

- **التركيز الحيوي:** هو تراكم مادة ملوثة (مثل المعادن الثقيلة أو المبيدات) داخل أنسجة كائن حي من البيئة المحيطة مباشرة (مثل الماء أو الهواء)، دون الحاجة لتناوله عبر الغذاء. يحدث غالباً في الكائنات المائية كالأسماك التي تمتص الملوثات من الماء عبر خياشيمها.
- **التضخم الحيوي** (أو التضخم البيولوجي): هو زيادة تدريجية في تركيز الملوثات كلما ارتفعنا في السلسلة الغذائية. فالمفترسات الكبيرة (كالعقاب أو التونة) تحتوي على نسب أعلى من الملوثات مقارنة بالفرائس الصغيرة، لأنها تستهلك العديد من الكائنات الملوثة.
- **التمييز الحيوي:** ويعني وجود المواد الملوثة بتراكيز أقل كلما تقدمنا في سلسلة الغذاء بسبب وجود آلية لتنظيم هذه المواد في داخل أجسام الكائنات الحية تمنعه من زيادة التركيز أكثر من المستويات الطبيعية وبذلك يبقى الملوث في المحيط بتركيز أكبر مما هو عليه في جسم الكائن الحي. كما نجد أن متبقيات مبيد الألدرين في أنسجة نباتات الجزر والبطاطا النبات أقل التربة التي ينمو عليها.

أهم ظواهر التلوث البيئي عالمياً:

يمكن حصرها بأربع ظواهر رئيسية ذات تأثير في الغلاف الجوي والمناخ العالمي:

1. الاحتباس الحراري (Global Warming): ارتفاع تدريجي في متوسط درجة حرارة الأرض بسبب تراكم الغازات الدفيئة (مثل ثاني أكسيد الكربون والميثان) في الغلاف الجوي، والتي تحبس الحرارة الصادرة من سطح الأرض ويؤدي ذلك إلى ذوبان الجليد وارتفاع مياه البحار وزيادة العواصف والجفاف.

2. ثقب الأوزون (Ozone Hole): تناقص سمك طبقة الأوزون في الستراتوسفير، خاصة فوق القطب الجنوبي، بسبب انبعاث غازات صناعية مثل مركبات الكلوروفلوروكربون(CFCs) مما يسمح بوصول كميات أكبر من الأشعة فوق البنفسجية الضارة، مما يسبب سرطان الجلد ويضر بالنظم البيئية.

3. المطر الحمضي (Acid Rain): تساقط أمطار أو ثلوج ذات درجة حموضة منخفضة بسبب تفاعل أكاسيد الكبريت والنيتروجين المنبعثة من عوادم المصانع والسيارات مع بخار الماء في الجو مما يؤدي إلى تآكل المباني، ارتفاع حموضة التربة والبحيرات، وقتل الغابات والأسماك.

4. الضباب الدخاني الكيميائي الضوئي (Photochemical Smog): ظهور ضباب بني اللون قرب سطح الأرض ناتج عن تفاعل الملوثات الأولية (أكاسيد النيتروجين والمركبات العضوية المتطايرة) المنبعثة من السيارات والمصانع مع أشعة الشمس مما يسبب التهابات العينين والجهاز التنفسي، ويقلل الرؤية ويضر بالنباتات.

جهود العالم للحد من التلوث:

نشطت دول العالم وشعوبها في بذل قصارى جهودها للحد من تفاقم المشاكل التي تواجه البيئة ومنها مشكلة التلوث التي أصبحت تهدد كوكبنا الأرض، إدراكاً منها أن مسؤولية مواجهة هذه المشكلة العالمية واجب على الجميع حمايةً لهذا الكوكب من مخاطرها والسعي للحفاظ على بيئة سليمة وآمنة.

تمثلت جهود العالم في:

1- عقد المؤتمرات والندوات العلمية.

2- دعم البحوث والدراسات والمؤلفات التي تساهم في الحد من أخطار التلوث عالمياً.

3- اتخاذ الإجراءات المناسبة ووضع التشريعات القانونية المتعلقة بحماية البيئة وصونها وضرورة المحافظة عليها.

المؤتمرات البيئية العالمية:

أ. مؤتمر ستوكهولم (1972) – أول مؤتمر بيئي عالمي:

تولت الأمم المتحدة الدعوة لعقد أول مؤتمر بيئي عالمي والذي تم عقده في ستوكهولم في السويد.

النتائج:

- استحداث مؤسسة لتنسيق الفعاليات البيئية الدولية (UNEP).
- تخصيص ميزانية 100 مليون دولار.
- إعلان **يوم البيئة العالمي** 5 حزيران من كل عام.

بعده توالت الندوات وظهر الوعي البيئي لدى الشعوب، وأدخلت المفاهيم البيئية في المناهج الدراسية من رياض الأطفال وصولاً إلى الجامعات.

ب. مؤتمر قمة الأرض – ريو دي جانيرو(1992):

أوضح مؤتمر قمة الأرض اهتمام دول العالم كافة في موضوع البيئة والحفاظ عليها من مخاطر التلوث الذي حضر فيه معظم دول العالم متمثلة بأعلى المستويات السياسية من أصحاب القرار حيث حظي بمشاركة واسعة من 172حكومة (108 منها أرسلت رؤساء أو رؤساء حكومات)، و2400 منظمة غير حكومية، 17,000 فرد، 10,000 إعلامي.

النتائج:

- وضعت العديد من البرامج والتوجيهات للحد من مخاطر التلوث.
- برز في المؤتمر عدد من المشاكل البيئية شملت ثقب الأوزون والاحتباس الحراري وتدهور الغابات والتصحر وغيرها.

كما صدرت مجموعة من الوثائق عن هذا المؤتمر مثل:

- **إعلان ريو** بشأن البيئة والتنمية (27 مبدأ).
- **جدول أعمال القرن 21 – (Agenda 21)** خطة عمل عالمية للتنمية المستدامة.
- **اتفاقية التنوع البيولوجي.(CBD)**
- **اتفاقية الأمم المتحدة الإطارية بشأن تغير المناخ – (UNFCCC)** التي أدت لاحقاً إلى اتفاقية باريس 2015.

من النتائج العملية لهذه الاتفاقيات والمؤتمرات:

- التخلص التدريجي من غاز الفريون (CFCs) بدءاً من 1997 في بعض الدول (ألمانيا والدول الاسكندنافية).
- قرار إيقاف إنتاج رابع كلوريد الكربون (المستخدم في إطفاء الحرائق) وكلوروفورم المثيل (باعتباره مذيباً عضوياً) في أوائل القرن الحادي والعشرين.

دور الهيئات والمنظمات والمراكز البحثية ووسائل الإعلام في مكافحة التلوث:

يعد التلوث البيئي الشغل الشاغل منذ منتصف القرن الماضي (العشرين) للعديد من الهيئات والمنظمات والمراكز البحثية ووسائل الإعلام. وتم نشر العديد من الكتب والأبحاث والدراسات تتناول تدخل الإنسان المباشر وغير المباشر في التوازن الطبيعي. ومن أهم المنظمات الدولية التي تعنى بالشأن البيئي:

- **اللجنة العالمية للبيئة والتنمية World Commission on Environment & Development (WCED):** هي لجنة شكلتها الأمم المتحدة عام 1983 والتي أصدرت تقريرها عام 1987 وأوصت بإعداد إعلان عالمي لحماية البيئة.

- **وكالة حماية البيئة(EPA) Environment Protection Agency :** هي وكالة تابعة لحكومة الولايات المتحدة الأمريكية ومكلفة بحماية صحة الإنسان والبيئة، تم اقتراحها من قبل الرئيس ريتشارد نيكسون رئيس الولايات المتحدة السابع والثلاثين في 3 كانون الثاني عام 1970، لا تعتبر وزارة ولكن المسؤول عليها برتبة وزير (تضم 18000 موظف بدوام كامل).
- **منظمة الأغذية والزراعة(FAO) Food and Agriculture Organization :** هي إحدى المنظمات المتخصصة التابعة للأمم المتحدة والتي تقوم بمساعدة البلدان النامية والبلدان في مرحلة التطور على تطوير وتحسين ممارسات الزراعة والغابات ومصائد الأسماك، كافلةً بذلك التغذية الجيدة والأمن الغذائي للجميع. تم تأسيس المنظمة في 16 أكتوبر عام 1945 في مدينة كوبيك بكندا والمقر الرئيسي لها الآن في روما إيطاليا.
- **برنامج الأمم المتحدة للبيئة :(UNEP)** ينسق الأنشطة البيئية العالمية.
- **منظمة السلام الأخضر :(Greenpeace)** منظمة غير حكومية تعمل بالضغط والإعلام.
- **الاتحاد العالمي للحفاظ على الطبيعة :(IUCN)** يصدر القائمة الحمراء للأنواع المهددة بالانقراض.

بالإضافة إلى وسائل الإعلام ووسائل التواصل الاجتماعي التي ساهمت في نشر الوعي البيئي وتطبيقات رصد جودة الهواء.

حلول واستراتيجيات حديثة للحد من التلوث:

أحدث الاستراتيجيات العامة المعتمدة عالمياً هي:

1. **الانتقال إلى الطاقة النظيفة:** يمثل التحول من الوقود الأحفوري إلى الطاقة المتجددة (الشمسية وطاقة الرياح) حجر الزاوية في تقليل انبعاثات الغازات الدفيئة والجسيمات الملوثة للهواء بشكل كبير، مع العمل على تحسين كفاءة استخدام الطاقة في المباني والصناعة.
2. **المعالجة الحيوية (Bioremediation):** حل طبيعي ومستدام يعتمد على استخدام الكائنات الحية الدقيقة (البكتيريا والفطريات) أو النباتات لامتصاص وتفكيك الملوثات الناشئة وتحويلها إلى مواد أقل سمية، مما يحمي الماء والهواء والتربة.
3. **تعزيز الاقتصاد الدائري:** يعيد هذا النموذج تعريف النفايات كمورد. فهو يركز على التقليل من النفايات، إعادة الاستخدام، التدوير، والتصميم لإنتاج سلع قابلة للإصلاح والتفكيك. كما يُعزز استخدام الأسمدة الحيوية وإعادة تدوير العناصر الغذائية للحد من تلوث النيتروجين.
4. **الاستثمار في وسائل النقل المستدامة:** تطوير السيارات الكهربائية لتقليل تلوث الهواء في المدن خصوصاً إذا شحنت بطاقة نظيفة، جنباً إلى جنب مع تحسين النقل العام والمشي وركوب الدراجات.

5. **تعزيز السياسات والتشريعات البيئية:** تسن الحكومات معايير أكثر صرامة للانبعاثات وإدارة النفايات، وتوسع شبكات رصد جودة الهواء، وتضع حدوداً دنيا للملوثات العابرة للحدود، كجزء من خطط وطنية طويلة الأجل.
6. **تطبيق تقنيات المعالجة الذكية:** يساهم استخدام الذكاء الاصطناعي (AI) في تحسين كفاءة الطاقة، ودمج الطاقات المتجددة بالشبكات بشكل أفضل، ومراقبة التلوث ورسم خرائطه .كما تتيح إنترنت الأشياء (IoT) تبسيط عمليات جمع وفرز النفايات.
   - بروتوكول مونتريال (1987) – حماية طبقة الأوزون.
   - اتفاقية باريس (2015) – خفض الانبعاثات للحد من الاحترار.
   - اتفاقية مينماتا (2013) – الحد من الزئبق.
7. **الاستثمار في التوعية وتغيير السلوك:** تبقى حملات التوعية والتثقيف البيئي التي تشجع السلوكيات المسؤولة والممارسات الفردية المستدامة ركيزة أساسية لا غنى عنها في أي استراتيجية بيئية فعالة.

رغم فعالية هذه الحلول، يواجه تطبيقها تحديات كبرى تتمثل في ارتفاع التكاليف التشغيلية واحتياجاتها للطاقة، مما يستلزم تطويرها لتكون في متناول الجميع لضمان جدواها على نطاق واسع.