كلية العلوم

القسم : **الكيمياء**

السنة : **الثالثة**

المادة : كيمياء بيئية

المحاضرة : ١+٢ /نظري/ د .رهام معلا

{{ مكتبة A to Z }}

Facebook Group : مكتبة A to Z

كلية العلوم ، كلية الصيدلة ، الهندسة التقنية

2026

يمكنكم طلب المحاضرات برسالة نصية (SMS) أو عبر(What's app-Telegram)على الرقم 0931497960

الإطار المفاهيمي والعلمي للتلوث البيئي

المقدمة: الأزمة البيئية العالمية

تشهد الأرض في الوقت الراهن لحظة فارقة في مسارها البيئي، حيث تتصاعد الأزمات البيئية بشكل غير مسبوق يهدد استقرار النظم البيئية والحياة على الكوكب. تعتبر سنة 2025 نقطة محورية في هذه الأزمة، خاصة بعد أن تأكد أن عام 2024 كان أكثر الأعوام حرارة في التاريخ، حيث تجاوز متوسط درجة الحرارة العالمية مستويات ما قبل العصر الصناعي بـ 1.60 درجة مئوية . لقد أدت العبثية البشرية والأنشطة الصناعية المكثفة إلى تفاقم هذه الأزمات التي أصبحت تتطلب تحولا ً جذرياً في التعامل مع البيئة .

تعريف التلوث:

التلوث هو إدخال الملوثات التي تسبب تغيراً سلبياً في البيئة الطبيعية. وقد يكون التلوث على شكل مادة (صلبة أو سائلة أو غازية) أو على شكل طاقة (مثل النشاط الإشعاعي أو الحرارة أو الضوضاء أو الضوء). وتكون الملوثات إما مواد أو طاقات دخيلة، أو ملوثات متوفرة بشكل طبيعي ولكن بتركيزات أعلى من المعدلات الطبيعية . يعرف التلوث أيضاً بأنه ارتفاع كميات المواد بأشكالها المختلفة أو إضافة أشكال الطاقة إلى البيئة مما يجعلها غير قادرة على تحليل هذه المواد أو تخزينها بأشكال غير ضارة .

التصنيفات العلمية لأنواع التلوث:

أولا : تلوث الهواء

يعتبر تلوث الهواء من أخطر أنواع التلوث وأكثرها انتشاراً. يتمثل في إطلاق المواد الكيميائية و الجسيمات في الغلاف الجوي بمعدلات تتجاوز قدرة البيئة على تخفيفها أو امتصاصها . تشمل الملوثات الغازية الشائعة:

· أكاسيد الكبريت: خاصة ثاني أكسيد الكبريت الناتج عن البراكين والعمليات الصناعية

· أكاسيد النيتروجين: خاصة ثاني أكسيد النيتروجين الذي ينبعث من عمليات الاحتراق

· أول أكسيد الكربون: غاز سام عديم اللون والرائحة ينتج عن الاحتراق غير الكامل للوقود

· المركبات العضوية المتطايرة: من أهم ملوثات الهواء الخارجية

وفقاً لمنظمة الصحة العالمية، يتسبب تلوث الهواء في 4.2 إلى 7 مليون حالة وفاة سنوياً حول العالم، حيث يتنفس 90% من سكان الأرض هواءً يحتوي على مستويات عالية من الملوثات . وفي جنوب آسيا - إحدى أكثر المناطق تلوثاً في العالم - يؤدي تلوث الهواء إلى خفض متوسط العمر المتوقع بحوالي خمس سنوات .

ثانياً: تلوث المياه

هو أي تغير فيزيائي أو كيميائي في نوعية المياه، بطريقة مباشرة أو غير مباشرة، يؤثر سلبياً على الكائنات الحية، أو يجعل المياه غير صالحة للاستخدامات المطلوبة . تنقسم ملوثات المياه إلى:

· التلوث الطبيعي: يتغير بفعل العوامل الطبيعية مثل درجة الحرارة والملوحة

· التلوث الكيميائي: يحتوي على مواد كيميائية خطرة مثل المعادن الثقيلة والمبيدات

تعد مياه الصرف الصحي من أكبر مصادر تلوث المياه، حيث يتم تصريف 80% من مياه الصرف الصحي عالمياً في البيئة دون معالجة، مما يؤثر على الناس والحياة البحرية ويشكل أكبر نسبة من التلوث الساحلي في العالم . كما يشكل التلوث النفطي خطراً كبيراً على المسطحات المائية، حيث يتسرب النفط إلى البحار والمحيطات من خلال حوادث ناقلات النفط والانسكابات النفطية .

ثالثاً: تلوث التربة

هو دخول مواد غريبة في التربة أو زيادة في تركيز إحدى مكوناتها الطبيعية، مما يؤدي إلى تغير في التركيب الكيميائي والفيزيائي للتربة . تشمل مصادر تلوث التربة:

· المخلفات الصلبة: النفايات المنزلية والصناعية والزراعية

· المبيدات والأسمدة الكيميائية: التي تستخدم في الأنشطة الزراعية

· الملوثات الصناعية: الناتجة عن الأنشطة الصناعية المختلفة

تتعرض التربة أيضاً لمشكلتي الانجراف والتصحر، حيث تفقد الطبقة السطحية الخصبة بسبب العوامل المناخية والأنشطة البشرية مثل إزالة الغطاء النباتي والرعي الجائر .

رابعاً: التلوث الضوضائي

هو الخليط المتنافر من الأصوات ذات الاستمرارية غير المرغوب فيها، والذي يحدث عادة بسبب التقدم الصناعي . تقاس شدة الضوضاء بوحدة الديسيبل، وتصنف مصادرها إلى:

· ضوضاء وسائل المواصلات: تمثل حوالي 60% من أسباب الضوضاء البيئية في بعض الدول

· الضوضاء الاجتماعية: من المحيط السكني مثل الضجيج الصادر عن الأعمال المنزلية

· ضوضاء المصانع: تؤثر على العاملين في هذه الأماكن والسكان المجاورين

يسبب التلوث الضوضائي العديد من الآثار الصحية بما في ذلك الاضطرابات السمعية، والأرق، والإ جهاد، وارتفاع ضغط الدم، وتداخل الكلام عند الحديث .

خامساً: التلوث البلاستيكي

يعد التلوث البلاستيكي أحد أخطر أنواع التلوث في عصرنا الحالي. يشير التقرير إلى أن العالم أنتج 419 مليون طن من البلاستيك في عام 2015 مقارنة بـ 2 مليون طن فقط في عام 1950 . ويصل حوالي 14 مليون طن من البلاستيك إلى المحيطات كل عام، وإذا لم يتم اتخاذ إجراءات فعالة، فمن المتوقع أن يصل هذا الرقم إلى 29 مليون طن بحلول عام 2040 . والكارثة أن 91% من جميع البلا ستيك الذي تم إنتاده لم يتم إعادة تدويره، ومع أن البلاستيك يحتاج إلى 400 سنة ليتحلل، فإن آثاره على البيئة طويلة الأمد ولا رجعة فيها .

➤ **الأبعاد الرئيسية للأزمة البيئية العالمية**

1. الاحتباس الحراري وتغير المناخ

يعد الاحتباس الحراري الناتج عن حرق الوقود الأحفوري التحدي الأكبر الذي يواجه الكوكب.
فتركيزات غازات الدفيئة في الغلاف الجوي وصلت إلى مستويات قياسية في عام 2023، مما يلتزم الكوكب بمواجهة ارتفاع درجات الحرارة لسنوات قادمة . وتشمل آثار هذه الأزمة:

· الظواهر الجوية المتطرفة: أصبحت العواصف المدارية وموجات الحر والفيضانات أكثر شدة وتكراراً

· ذوبان الجليد وارتفاع مستوى سطح البحر: تذوب الصفائح الجليدية بوتيرة غير مسبوقة، وترتفع مستويات سطح البحر بسرعة مضاعفة

· تأثيرات لا رجعة فيها: حتى إذا توقفت جميع انبعاثات غازات الدفيئة فوراً، ستستمر درجات الحرارة العالمية في الارتفاع في السنوات القادمة

2. فقدان التنوع البيولوجي

شهدت أحجام populations الثدييات والطيور والزواحف والبرمائيات والأسماك انخفاضاً متوسطه 68% بين عامي 1970 و 2016 . ويسرع العالم حالياً نحو الانقراض الجماعي السادس، حيث يوجد أكثر من 500 نوع من الحيوانات البرية على وشك الانقراض ومن المرجح أن تضيع خلال 20 عاماً . في الظروف الطبيعية، كان من الممكن أن يستغرق هذا المعدل من الخسارة آلاف السنين.

3. إزالة الغابات

يتم قطع مساحة غابات تعادل 300 ملعب كرة قدم كل ساعة، وإذا استمرت إزالة الغابات بالمعدل الحالي، فقد لا يتبقى سوى 10% من الغابات بحلول عام 2030، ويمكن أن تختفي تماماً في أقل من 100 عام . تعد غابات الأمازون - التي تغطي 40% من قارة أمريكا الجنوبية - واحدة من أكثر النظم البيئية تنوعاً بيولوجياً في العالم، حيث تأوي حوالي 3 ملايين نوع من النباتات والحيوانات، ومع ذلك لا تزال إزالة الغابات القانونية منتشرة على نطاق واسع .

تواجه البشرية تحديات بيئية غير مسبوقة تتطلب تحولا ً جذريا ً في نمط الحياة والأنشطة الا قتصادية. تشمل الحلول الممكنة:

· التحول إلى الطاقة المتجددة: مثل الطاقة الشمسية وطاقة الرياح بدلا ً من الوقود الأحفوري

· تحسين إدارة النفايات: من خلال إعادة التدوير والحد من استخدام البلاستيك

· السياسات البيئية الفعالة: مثل فرض قوانين بيئية صارمة للحد من الانبعاثات الملوثة

· زيادة المساحات الخضراء: عن طريق زراعة الأشجار لزيادة المساحات الخضراء وتحسين جودة الهواء

التلوث الهوائي

التعريف العلمي للتلوث الهوائي

التلوث الهوائي هو تغير في الخصائص الفيزيائية أو الكيميائية أو البيولوجية للهواء الجوي، نتيجة لإ ضافة مواد غريبة إليه (ملوثات) أو ارتفاع ملحوظ في نسبة بعض مكوناته الطبيعية، بكميات ولفترات زمنية قد تؤدي إلى إلحاق الضرر بالإنسان والكائنات الحية الأخرى، أو الإضرار بالبيئة المادية والممتلكات، أو التدخل في التمتع الطبيعي بالحياة والممتلكات.

عناصر التعريف الرئيسية (المفاتيح العلمية)

1. تغير الخصائص:

· الفيزيائية: مثل تغير درجة الحرارة (الاحتباس الحراري)، أو تقليل الرؤية بسبب الجسيمات العالقة.

· الكيميائية: مثل زيادة تركيز غازات سامة (أول أكسيد الكربون، الأوزون على مستوى الأرض) أو زيادة حموضة الهواء.

· البيولوجية: مثل وجود حبوب اللقاح بكميات كبيرة، أو الجراثيم، أو الفطريات.

2. المواد الملوثة (مصادر التلوث):

· ملوثات أولية: تطلق مباشرة في الهواء من المصادر.

· أكاسيد الكبريت (SOx): principalmente من حرق الوقود الأحفوري.

· أكاسيد النيتروجين (NOx): من عوادم السيارات ومحطات الطاقة.

· الجسيمات الدقيقة (PM2.5 و PM10): من الصناعة والبناء وحرق الوقود.

· أول أكسيد الكربون (CO): من الاحتراق غير الكامل للوقود.

· المركبات العضوية المتطايرة (VOCs): من المذيبات والبنزين والصناعات.

· المعادن الثقيلة: مثل الرصاص والزئبق.

· ملوثات ثانوية: تتكون في الغلاف الجوي نتيجة تفاعلات كيميائية بين الملوثات الأولية في وجود ضوء الشمس.

· الأوزون الأرضي (O_3): المكون الرئيسي للضباب الدخاني، يتكون من تفاعل أكاسيد النيتروجين والمركبات العضوية المتطايرة بوجود الشمس.

· حمض الكبريتيك (H_2SO_4) وحمض النيتريك (HNO_3): المسؤولان عن المطر الحمضي.

3. الكمية والتركيز والزمن:

العلمياً، لا يعتبر وجود المادة في الهواء تلوثاً بحد ذاته، بل التركيز الذي توجد به والفترة الزمنية للتعرض. فالهواء يحتوي بشكل طبيعي على غازات قد تكون سامة بتركيزات عالية (مثل الأوزون في

طبقات الجو العليا). تقيس معايير جودة الهواء (مثل تلك الصادرة عن منظمة الصحة العالمية) هذه التركيزات الآمنة (ميكروجرام/متر مكعب، أو جزء في المليون).

4. الآثار الضارة (العواقب):

هذا هو الجوهر الذي يجعل التلوث "تلوثاً". وتشمل الآثار:

· على صحة الإنسان: أمراض الجهاز التنفسي (الربو، التهاب الشعب الهوائية)، وسرطان الرئة، وأمراض القلب والأوعية الدموية، وتأثيرات على الجهاز العصبي.

· على البيئة: المطر الحمضي الذي يدمر الغابات والمسطحات المائية، ظاهرة الاحتباس الحراري وتغير المناخ، استنفاد طبقة الأوزون.

· على الممتلكات: تآكل المواد والمنشآت، اتساخ الواجهات والأبنية، الإضرار بالمحاصيل الزراعية.

باختصار، التلوث الهوائي علمياً هو وجود مواد ضارة في الهواء بمستويات تركيز عالية Enough لوقت كاف Enough لتسبب تأثيرات سلبية على صحة الإنسان والبيئة.

هذا التعريف هو الأساس الذي تُبنى عليه قوانين البيئة، ومعايير جودة الهواء، وبرامج الرصد و المراقبة في جميع أنحاء العالم.

"ما هي أهمية دراسة التلوث الهوائي وفهمه ومكافحته؟"

أولا: الأهمية الصحية (الحفاظ على الحياة)

هذا هو البعد الأكثر إلحاحاً.

· إنقاذ الأرواح: يُعد التلوث الهوائي أحد أكبر المهددات للصحة العالمية. وفقاً لمنظمة الصحة العالمية، يتسبب في حوالي 7 ملايين وفاة مبكرة سنوياً على مستوى العالم. مكافحته تعني مباشرة إنقاذ ملا يين الأشخاص من الموت بسبب:

· أمراض الجهاز التنفسي (الربو، الالتهاب الرئوي، سرطان الرئة).

· أمراض القلب والأوعية الدموية (النوبات القلبية والسكتات الدماغية).

· السكتات الدماغية.

· تحسين جودة الحياة: تقليل التلوث يعني مجتمعات أكثر صحة، مع انخفاض في حالات الحساسية، والتهابات العين، والسعال المزمن، والإجهاد. وهذا يخفف العبء على الأفراد والأسر.

ثانياً: الأهمية الاقتصادية (توفير المليارات)

التلوث الهوائي ليس مشكلة بيئية فقط، بل هو كابوس اقتصادي. مكافحته توفر أموالا ً طائلة للدول والأفراد من خلال:

· خفض تكاليف الرعاية الصحية: تنفق الحكومات مليارات الدولارات على علاج الأمراض المرتبطة بـ التلوث. تقليل التلوث يعني توفير هذه الأموال لاستثمارها في مجالات أخرى مثل التعليم والبنية التحتية.

· زيادة الإنتاجية: عندما يكون الناس أصحاء، ينخفض تغيبهم عن العمل ("الإجازات المرضية")، وتزداد إنتاجيتهم في العمل. كما أن الهواء النظيف يحسن الوظائف الإدراكية والتركيز.

· حماية المحاصيل والغابات: الملوثات والأمطار الحمضية تدمر المحاصيل الزراعية والغابات، مما يتسبب في خسائر فادحة في القطاع الزراعي. تحسين جودة الهواء يحمي الأمن الغذائي.

· تقليل أضرار المباني والآثار: التلوث يتسبب في تآكل المباني والجسور والآثار التاريخية، مما يزيد من تكاليف الصيانة والترميم.

ثالثاً: الأهمية البيئية (الحفاظ على الكوكب)

· مكافحة تغير المناخ: العديد من ملوثات الهواء هي أيضاً غازات دفيئة مسببة للاحتباس الحراري (مثل ثاني أكسيد الكربون). لذلك، فإن معالجة التلوث الهوائي (مثل التحول إلى الطاقة النظيفة) تساهم بشكل مباشر في كبح جماح ظاهرة الاحتباس الحراري وتغير المناخ وآثاره الكارثية (الفيضانات، الجفاف، ارتفاع منسوب البحار).

· منع الأمطار الحمضية: التي تدمر النظم البيئية المائية والغابات وتقتل الكائنات الحية فيها.

· حماية طبقة الأوزون: لقد ساعدت الجهود العالمية في الحد من الملوثات التي تستنفد طبقة الأوزون (مثل مركبات الكلوروفلوروكربون) على حماية الحياة على الأرض من الأشعة فوق البنفسجية الضارة.

· الحفاظ على التنوع البيولوجي: يحمي النظم البيئية والكائنات الحية من الانقراض بسبب تدهور بيئاتها.

رابعاً: الأهمية الاجتماعية والاستراتيجية

· العدالة البيئية: غالباً ما تتركز مصادر التلوث في المناطق ذات الدخل المنخفض والمجتمعات المهمشة. بالإضافة تعد مكافحة التلوث هي قضية عدالة اجتماعية لضمان حق كل إنسان في هواء نظيف بغض النظر عن مكان عيشه.

· الأمن القومي: تحسين كفاءة الطاقة والتحول من الوقود الأحفوري المستورد إلى مصادر الطاقة المحلية المتجددة يعزز أمن الطاقة ويقلل من الاعتماد على دول أخرى.

· جودة الحياة الحضرية: المدن ذات الهواء النظيف هي مدن أكثر ملاءمة للعيش، بها مساحات خضراء، وضوضاء أقل، وبيئة أكثر استدامة، مما يجعلها جاذبة للاستثمار والسياحة والمواهب.

خامساً: الالتزام الأخلاقي والقانوني

· حق إنساني أساسي: يعترف العديد من الدساتير والقوانين الدولية بالحق في بيئة صحية، والتي يشكل الهواء النظيف ركناً أساسياً فيها.

· مسؤولية تجاه الأجيال القادمة: لدينا واجب أخلاقي لتوريث كوكب صالح للعيش لأطفالنا وأحفادنا، وليس كوكباً ملوثاً ومرضاً.

"أهمية" التلوث الهوائي تكمن في أن معالجته هي استثمار ضخم في صحة الإنسان، والاستقرار الا قتصادي، واستدامة الكوكب، والعدالة الاجتماعية. إنه ليس ترفاً، بل هو ضرورة حتمية لضمان مستقبل آمن ومزدهر للبشرية جمعاء.

الملوثات الأساسية للهواء (مصادرها وآثارها)

تُصنف الملوثات الأساسية للهواء عادة إلى ملوثات أولية (تنبعث مباشرة من المصادر) وملوثات ثانوية (تتكون في الهواء نتيجة تفاعل الملوثات الأولية). فيما يلي أهم هذه الملوثات:

1. الجسيمات الدقيقة (PM - Particulate Matter)

هي خليط من جزيئات صلبة وسائلة دقيقة جداً عالقة في الهواء.

· المصادر:

· مصادر بشرية: عوادم المركبات (خاصة الديزل)، حرق الوقود الأحفوري في المحطات والمصانع، البناء والأنشطة الصناعية، حرائق الغابات (بفعل الإنسان)، الغبار الناتج عن تآكل الإطارات والمكابح.

· مصادر طبيعية: الغبار المعدني المنقول بالرياح، حرائق الغابات الطبيعية، الأملاح البحرية.

· الآثار:

· على الصحة: تسبب مشاكل في الجهاز التنفسي (كالربو والتهاب الشعب الهوائية) والقلب والأوعية الدموية. الجسيمات الأصغر (PM2.5) تكون أخطر لأنها يمكن أن تخترق الرئتين وتدخل مجرى الدم، مسببة السرطان والسكتات الدماغية.

· على البيئة: تساهم في تشكل الضباب الدخاني، وتقلل من الرؤية، وتؤدي إلى تحمض المسطحات المائية عند ترسبها.

2. ثاني أكسيد النيتروجين (NO_2)

هو غاز بني محمر سام وذو رائحة نفاذة.

· المصادر:

· مصادر بشرية (أساسية): عمليات الاحتراق عند درجات حرارة عالية، وخاصة في محركات المركبات ومحطات توليد الطاقة الكهربائية. (ينبعث أولاً على شكل أكسيد النيتريك NO الذي يتحول إلى NO_2 في الهواء).

· مصادر طبيعية: البرق والانبعاثات البركانية.

· الآثار:

· على الصحة: يهيج الجهاز التنفسي ويقلل من مناعة الرئة ضد الالتهابات التنفسية (مثل الإنفلونزا)، ويزيد من حدة أعراض الربس والتهاب الشعب الهوائية.

· على البيئة: مادة أساسية في تكوين الأمطار الحمضية والضباب الدخاني الكيميائي الضوئي (Smog). كما يساهم في تكوين الجسيمات الدقيقة والمواد المسببة لتآكل طبقة الأوزون.

3. ثاني أكسيد الكبريت (SO_2)

هو غاز عديم اللون ذو رائحة نفاذة.

· المصادر:

· مصادر بشرية (أساسية): حرق الفحم والنفط المحتويين على الكبريت في محطات الطاقة و المصانع. صهر المعادن.

· مصادر طبيعية: الانبعاثات البركانية.

· الآثار:

· على الصحة: يهيج الجهاز التنفسي ويسبب السعال وضيق التنفس، ويزيد من خطر الإصابة بأمراض الجهاز التنفسي المزمنة.

· على البيئة: المُلوث الرئيسي لتكوين الأمطار الحمضية، التي تضر بالغابات والتربة والمسطحات المائية والمباني والتماثيل الأثرية.

4. أول أكسيد الكربون (CO)

هو غاز عديم اللون والرائحة وسام للغاية.

· المصادر:

· مصادر بشرية (أساسية): الاحتراق غير الكامل للوقود، مثل عوادم السيارات، وأجهزة التدفئة المنزلية المعطلة، وحرق الكتلة الحيوية (مثل الأخشاب).

· مصادر طبيعية: حرائق الغابات.

· الآثار:

· على الصحة (الخطر الرئيسي): يرتبط بالهيموغلوبين في الدم بقوة أكبر من الأكسجين، مكوناً "كربوكسي هيموغلوبين" مما يقلل من قدرة الدم على حمل الأكسجين. يؤدي إلى حرمان الأنسجة من الأكسجين مسبباً الصداع والدوار وضعف الوظائف الإدراكية، وفي التركيزات العالية يؤدي إلى الوفاة.

· على البيئة: يساهم بشكل غير مباشر في تكوين بعض الملوثات الثانوية مثل الأوزون على مستوى الأرض.

5. الأوزون على مستوى الأرض (O_3)

هو ملوث ثانوي ضار، ولا ينبغي الخلط بينه وبين طبقة الأوزون في الغلاف الجوي العلوي التي تحمينا من الأشعة فوق البنفسجية.

· المصادر:

· يتكون من تفاعلات كيميائية ضوئية بين أكاسيد النيتروجين (NOx) والمركبات العضوية المتطايرة (VOCs) بوجود أشعة الشمس. لذلك، تزيد مستوياته في الأيام المشمسة والحارة.

· الآثار:

· على الصحة: مهيج قوي للرئتين، يسبب السعال وضيق التنفس، ويزيد من حدة نوبات الربس، وقد يسبب التهابات رئوية.

· على البيئة: المكون الأساسي للضباب الدخاني. يضر بالنباتات والمحاصيل الزراعية، مما يقلل من إنتاجيتها.

6. الرصاص (Pb)

معدن ثقيل سام.

· المصادر:

· مصادر بشرية (تاريخياً وأساسياً): كان يُضاف إلى البنزين كمادة محسنة للأوكتان، ولا يزال مستخدماً في بعض البلدان. المصانع (مثل صهر المعادن)، وإنتاج البطاريات، والطلاء القديم.

· مصادر طبيعية: الانبعاثات البركانية.

· الآثار:

· على الصحة: يتراكم في الجسم ويؤثر على الجهاز العصبي، وخاصة لدى الأطفال مسبباً تأخر في النمو ومشاكل في التعلم وتلف في الدماغ. كما يسبب فقر الدم وارتفاع ضغط الدم لدى البالغين.

· على البيئة: يترسب في التربة والماء، ملوثاً السلسلة الغذائية.

تعتبر هذه الملوثات الستة من أكثر الملوثات خطورة وانتشاراً، ويتم مراقبتها بشكل روتيني في معظم دول العالم لتقييم جودة الهواء واتخاذ الإجراءات اللازمة للحد منها.

يمكن تصنيف هذه المصادر إلى عدة فئات رئيسية:

1. قطاع النقل والمواصلات

هذا القطاع هو أحد أكبر المساهمين في تلوث الهواء في المدن.

· مركبات الطرق: عوادم السيارات والشاحنات والحافلات التي تعمل بالبنزين والديزل تطلق:

· أكاسيد النيتروجين (NOx) والجسيمات الدقيقة (PM) خاصة من محركات الديزل.

· أول أكسيد الكربون (CO) والمركبات العضوية المتطايرة (VOCs).

· ثاني أكسيد الكربون (CO_2) كغاز دفيئ رئيسي.

· الطائرات والسفن: تستهلك كميات هائلة من الوقود وتطلق ملوثات مماثلة، مما يؤثر على جودة الهواء حول المطارات والموانئ.

2. قطاع الصناعة

تشكل الأنشطة الصناعية مصدراً هائلاً للتلوث، حيث تطلق مجموعة واسعة من الملوثات.

· عمليات الاحتراق: حرق الوقود الأحفوري (الفحم، النفط، الغاز) لتشغيل المصانع وتوليد الحرارة.

· العمليات الكيميائية: تطلق المصانع الكيماوية غازات وابخرة سامة مثل ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) والمركبات العضوية المتطايرة (VOCs) والأمونيا (NH_3).

· الصناعات التحويلية: مثل مصانع الأسمنت والأسمدة والحديد والصلب، التي تنتج كميات كبيرة من الجسيمات الدقيقة وأكاسيد الكبريت والمعادن الثقيلة.

3. قطاع إنتاج الطاقة

محطات توليد الطاقة التي تعتمد على الوقود الأحفوري هي من أكبر المصادر المفردة للتلوث على مستوى العالم.

· محطات الطاقة التي تعمل بالفحم: المصدر الرئيسي worldwide لانبعاثات ثاني أكسيد الكبريت (SO_2)، كما تطلق كميات هائلة من أكاسيد النيتروجين (NOx) والجسيمات الدقيقة (PM) والزئبق.

· محطات الطاقة التي تعمل بالغاز الطبيعي: تنتج انبعاثات أقل من الفحم لكنها仍然 تطلق أكاسيد النيتروجين (NOx).

4. حرق الوقود في المنازل والتجارة

يعرف هذا القطاع أحياناً بـ "قطاع المباني".

· الطبخ والتدفئة: استخدام وقود مثل الكيروسين أو الفحم أو الحطب أو حتى الغاز في المنازل و المطاعم ينتج تلوثاً داخلياً خطيراً (خاصة في البلدان النامية) كما يساهم في التلوث الخارجي، من خ لال إطلاق الجسيمات الدقيقة وأول أكسيد الكربون.

· حرق النفايات المنزلية: يطلق مواد سامة مثل الديوكسينات والجسيمات الدقيقة.

5. الزراعة

قد لا يكون هذا القطاع أول ما يتبادر إلى الذهن، لكنه مصدر رئيسي لبعض الملوثات المحددة.

· الماشية: تنتج الماشية (الأبقار والأغنام) كميات كبيرة من غاز الميثان (CH_4) من خلال عملية الهضم.

· الأسمدة النيتروجينية: يؤدي استخدام الأسمدة في التربة إلى انبعاث غاز الأمونيا (NH_3)، الذي يساهم في تكوين الجسيمات الدقيقة الثانوية (PM2.5).

· حرق المخلفات الزراعية: يطلق كميات كبيرة من الجسيمات الدقيقة والكربون الأسود.

6. إدارة النفايات

· مكبات النفايات: تنتج غاز الميثان (CH_4) من تحلل النفايات العضوية في ظل عدم وجود أكسجين.

· محارق النفايات: إذا لم تكن مجهزة بتقنيات تنقية متطورة، يمكن أن تطلق مواد سامة مثل الديوكسينات والمعادن الثقيلة والجسيمات الدقيقة.

7. مصادر أخرى

· البناء والهدم: تنتج كميات هائلة من الغبار (الجسيمات الدقيقة).

· المذيبات والطلاء: استخدام الدهانات والمواد اللاصقة والمنظفات الكيميائية يطلق المركبات العضوية المتطايرة (VOCs).

· تآكل الإطارات والمكابح: ينتج جسيمات دقيقة من المطاط والمعادن.

الآثار الصحية للتلوث البيئي (العواقب على صحة الإنسان)

تعتبر الآثار الصحية من أكثر عواقب التلوث مباشرة ووضوحاً. حيث يؤدي التعرض للملوثات إلى أمراض حادة ومزمنة، تساهم في الوفيات المبكرة لملايين الأشخاص globally كل عام. يمكن تصنيف هذه الآثار حسب نوع الملوث وطريقة التعرض:

1. آثار تلوث الهواء (أخطر أشكال التلوث صحيًا)

· أمراض الجهاز التنفسي والرئتين:

· الربو: يهيج الملوثات الشعب الهوائية ويثير نوبات الربو، خاصة لدى الأطفال.

· مرض الانسداد الرئوي المزمن (COPD): يتسبب في التهاب دائم وتلف للحويصلات الهوائية، مما يؤدي إلى صعوبة التنفس.

· سرطان الرئة: هناك علاقة مؤكدة بين التعرض طويل الأمد للجسيمات الدقيقة (PM2.5) وملوثات مثل البنزابيرين والإصابة بسرطان الرئة.

· الالتهابات الرئوية: يضعف التلوث جهاز المناعة في الرئتين، مما يزيد من قابلية الإصابة بالعدوى.

· أمراض القلب والأوعية الدموية:

· النوبات القلبية والسكتات الدماغية: تدخل الجسيمات الدقيقة جداً (أقل من 2.5 ميكرون) إلى مجرى الدم، مسببة التهابات في الأوعية الدموية، وتصلب الشرايين، وتكوّن الجلطات.

· عدم انتظام ضربات القلب وارتفاع ضغط الدم.

· آثار على الجهاز العصبي والمخ:

· السكتة الدماغية: يساهم تلوث الهواء في ما يقرب من 20% من حالات الوفاة بالسكتة الدماغية.

· تأخر النمو العصبي لدى الأطفال: يرتبط التعرض للرصاص والزئبق وبعض الملوثات العضوية بتدني معدل الذكاء، وصعوبات التعلم، ومشاكل في السلوك.

· الأمراض العصبية التنكسية: تشير بعض الدراسات إلى وجود صلة محتملة بين التلوث وزيادة risk الإصابة بمرض الزهايمر وباركنسون.

· السرطانات الأخرى:

· سرطان المثانة: يعزى إلى مياه الشرب الملوثة بالزرنيخ.

· سرطان الجلد: يعزى إلى تآكل طبقة الأوزون وزيادة التعرض للأشعة فوق البنفسجية.

· آثار على الفئات الأكثر vulnerabilit vulnerability:

· الأطفال: أجهزتهم المناعية وأعضاؤهم في طور النمو، مما يجعلهم أكثر عرضة للتأثيرات السامة. كما أن تنفسهم أسرع نسبياً، فيستنشقون كميات أكبر من الملوثات مقارنة بوزنهم.

· كبار السن: ومرضى القلب والرئة المزمنين.

· الحوامل: يمكن أن يؤدي التعرض للتلوث إلى الولادة المبكرة، وانخفاض وزن المولود، وتأثيرات سلبية على النمو العقلي للجنين.

(تلوث الهواء وحده مسؤول عن حوالي 7 ملايين وفاة مبكرة على مستوى العالم سنوياً، وفقاً لمنظمة الصحة العالمية).

2. آثار تلوث المياه

· الأمراض المنقولة بالماء: مثل الكوليرا، والتيفوئيد، والإسهال، والدوسنتاريا، والتي تسببها البكتيريا و الفيروسات والطفيليات في المياه الملوثة بمخلفات الصرف الصحي.

· التسمم بالمعادن الثقيلة:

· الرصاص: يسبب تلف في الدماغ والكلى، وتأخر في النمو لدى الأطفال.

· الزرنيخ: التسمم المزمن بالزرنيخ يؤدي إلى آفات جلدية وسرطانات الجلد والمثانة والرئة.

· الزئبق: يؤثر على الجهاز العصبي، ومشاكل في النمو لدى الأجنة والأطفال.

· الاضطرابات الهرمونية: due إلى ملوثات مثل "مضطرابات الغدد الصماء" الموجودة في بعض المبيدات والنفايات الصناعية، والتي يمكن أن تعطل عمل النظام الهرموني في الجسم.

3. آثار تلوث التربة

· التسمم المباشر: عند تناول محاصيل مزروعة في تربة ملوثة بالمعادن الثقيل أو المواد الكيميائية.

· تلوث السلسلة الغذائية: تتراكم الملوثات في النباتات والحيوانات التي يتغذى عليها الإنسان.

الآثار البيئية للتلوث (اختلال التوازن في النظم البيئية)

تؤثر هذه الآثار على كوكب الأرض ككل، مما يهدد استقرار النظم البيئية التي تدعم الحياة.

1. تغير المناخ (الاحتباس الحراري)

· السبب الرئيسي: تراكم غازات الدفيئة (مثل ثاني أكسيد الكربون CO2، والميثان CH4) في الغلاف الجوي إلى حرق الوقود الأحفوري وإزالة الغابات.

· الآثار:

· ارتفاع درجة حرارة الأرض: يؤدي إلى ذوبان الجليد القطبي والأنهار الجليدية، مما يتسبب في ارتفاع منسوب مياه البحر وغرق المناطق الساحلية.

· الطقس المتطرف: زيادة وتيرة وشدة الظواهر الجوية العنيفة مثل الأعاصير والفيضانات وموجات الجفاف والحرائق.

· اختلال النظام البيئي: تغير في مواسم الهجرة والتكاثر للكائنات الحية، وتبيض الشعاب المرجانية إلى ارتفاع حرارة وحموضة المحيطات.

2. تدهور جودة الهواء والضباب الدخاني

· الضباب الدخاني (Smog): مزيج من الضباب والدخان، يتكون mainly من الأوزون الأرضي و الجسيمات الدقيقة. يسبب مشاكل في الرؤية ويهيج العينين والجهاز التنفسي.

3. الأمطار الحمضية

· السبب: انبعاثات أكاسيد الكبريت (SOx) وأكاسيد النيتروجين (NOx) من المصانع ومحطات الطاقة، والتي تتفاعل في الغلاف الجوي لتشكل أحماضاً.

· الآثار:

· تلف الغابات والنباتات: يضعف الأشجار ويجعلها أكثر عرضة للأمراض.

· المسطحات المائية: يرفع حموضة البحيرات والأنهار، مما يقتل الأسماك والكائنات المائية الأخرى.

· تآكل المباني والآثار: يتلف المواد البنائية مثل الحجر الجيري والرخام.

4. فقدان التنوع البيولوجي

· تدمير الموائل: تلوث الهواء والماء والتربة يجعل البيئات غير صالحة للحياة.

· السمية المباشرة: تسبب الملوثات الكيميائية موت الكائنات الحية مباشرة أو تضعف مناعتها وقدرتها على التكاثر.

· التلوث البلاستيكي في المحيطات:

· الابتلاع: تبتلع السلاحف والطيور والحيتان البلاستيك ظناً منه أنه غذاء، مما يؤدي إلى انسداد جهازها الهضمي وموتها جوعاً.

· التشابك: تتشابك الكائنات في شباك الصيد المهملة وحلقات البلاستيك، فتفقد قدرتها على الحركة أو التغذية.

· اللدائن الدقيقة (Microplastics): تدخل في السلسلة الغذائية البحرية وتنتهي في أجسامنا.

5. تدمير طبقة الأوزون

· السبب: انبعاث مركبات الكلوروفلوروكربون (CFCs) المستخدمة سابقاً في المبردات والعبوات.

· الأثر: تكون "ثقب" في طبقة الأوزون Stratosphere، مما يسمح بمرور كمية أكبر من الأشعة فوق البنفسجية الضارة (UV-B)، مسببةً زيادة في معدلات سرطان الجلد وإعتام عدسة العين، وتلف

المحاصيل والعوالق النباتية في المحيطات.

الآثار الصحية والبيئية للتلوث مترابطة بشكل لا ينفصم. فالتلوث الذي يضر بالبيئة (مثل تغير المناخ) يعود ليضاعف آثاره الصحية (مثل انتشار الأمراض في ظل ارتفاع الحرارة). وهو ما يؤكد أن حماية البيئة ليست رفاهية، بل هي استثمار أساسي في صحة الإنسان واستقرار الاقتصاد واستمرار الحياة على كوكب الأرض.

مكتبة A to Z