وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة الموصل
كلية التربية للعلوم الإنسانية

الفصل الثاني (التلوث البيئي)
Chapter Two (Environmental Pollution)

مدرس المادة

م. د. خضر رشيد عبدالرحمن الحكيم

العام الدراسي 2024-2025

Class Code: 3b76wn7

@ENVIRONMENTPOLLUTION2024

الفصل الثاني Chapter Two

التلوث البيئي Environmental Pollution

أولاً: مفهوم التلوث Pollution Concept:

يُعرّف التلوّث (Pollution) أو التلوث البيئيّ (Environmental Pollution) على أنّه إضافة أيّ مادة سواء كانت صلبةً، أو سائلةً، أو غازيةً، أو أيّ شكل من أشكال الطاقة، كالحرارة، أو الصوت، أوالاشعاعات إلى البيئة، بمعدّل أسرع ممّا يمكن للبيئة تحليله، أو تبديده، أو تخفيفه، أو تخزينه، أو إعادة تدويره أو حفظه بشكل غير مؤذٍ للبيئة، مما يسبب خطورة على الصحة البشرية ويهدد سلامة الأحياء النباتية والحيوانية بشتى أصنافها.

كما يعرف التلوث بأنه التغير الحاصل في الخواص الفيزيائية، أو الكيمائية، أو البيولوجية للهواء، أو التربة أو الماء ويترتب عليه ضرراً بحياة الإنسان والكائنات الحية الأخرى.

وحدد مفهوم أخر للتلوث البيئي يدخل في ضمن التغيرات غير المرغوبة التي تدخل في محيطنا والتي هي نتاج نشاطات الإنسان.

ووضع اخرون مفهوم التلوث البيئي على انه كل تغير كمي أو كيفي في مكونات البيئة الحية وغير الحية والذي لا تستطيع الانظمة البيئية استيعابه من دون ان يختل توازنها، والتلوث ووفق هذا المعنى تتنوع المسببات بيولوجياً أو كيميائياً أو فيزيائيا مما يسبب في انتشار الملوثات وبنسب مختلفة في الهواء والماء والتربة.

كما يعرف التلوث بانه أي تغيير أو تأثير في التوازن الطبيعي لأي نظام بيئي مما يغير أو يؤثر في مكونات ذلك النظام.

أما المشرع العراقي فقد عرف التلوث البيئي بأنه (وجود الملوثات في البيئة بكمية أو تركيز أو صفة غير طبيعية تؤدي بطريقة مباشرة أو غير مباشرة إلى الإضرار بالإنسان أو الكائنات الحية الأخرى أو البيئة التي توجد فيه).

ويُصنف التلوث إلى 3 أنواع رئيسية هي: **تلوث الهواء، وتلوث الماء، وتلوث التربة**، وهناك أنواع أخرى من التلوث تمّ تصنيفها حديثاً بناءً على تطور المجتمع المدني، منها **التلوث الضوضائي أو السمعي والتلوث الضوئي والتلوث البلاستكي**، وجميع هذه الأنواع لها آثار ضارة على البيئة، وحياة الكائنات الحية، وصحة الإنسان ورفاهيته.

ثانياً: الملوثات وأنواعها Pollutants and their types:

الملوثات (Pollutants) هي المواد المسببة للتلوث التي تنتج عن مصدر ما، ويؤدي طرحها إلى البيئة بأية طريقة كانت إلى تدهورها، وتتنوع هذه الملوثات بحسب مصدر نشوئها، فتكون أما ذات أصل طبيعي أو بشري، أو بحسب تركيبتها فتكون فيزيائية أو كيميائية أو احيائية، وكذلك بحسب شكلها فتكون أما غازية أو سائلة أو صلبة، أو اشعاعية أو ضوئية أو صوتية.

أنواع الملوثات:

ويمكن تقسيم **الملوثات حسب مصدرها** إلى مصدرين رئيسين هما:

1. **مصادر طبيعية أو التلوث الطبيعي Natural pollution**: وهو التلوث الذي يحدث بشكل طبيعي وليس للإنسان أي دخل فيه وهو نتيجة للعوامل الطبيعية مثل البراكين والزلازل والأعاصير والأمطار الحمضية والرياح وما تفرزه من ملوثات مثل: المواد العالقة، الغازات المنبعثة من البراكين والعيون المعدنية وحرائق الغابات، وزيادة تركيز الأملاح في المياه والتربة.
2. **مصادر من أنشطة الإنسان أو التلوث الصناعي والبشري**: وهي مصادر التلوث التي تكون أكثر خطورة حيث يزداد تأثيرها بازدياد تقدم الإنسان العلمي والتكنولوجي والحضاري وكذلك التي تزداد مع زيادة اعداده، وتشمل هذه الملوثات:

- **المخلفات المنزلية**: وتشمل المخلفات الناجمة عن النشاطات المنزلية لمخلفات الوقود المنزلي كالفحم والكيروسين والغاز والمنظفات المنزلية.
- **المخلفات الصناعية**: من الصناعات التي تكون مصدراً للملوثات الكيمياوية مثل صناعة الأسمدة والورق والنفط والمطاط والاسمنت واستخراج المعادن من خاماتها وصناعة الحديد والصلب والكبريت والفوسفات والاطارات وغيرها الكثير.
- **مخلفات العمليات الزراعية**: للعمليات الزراعية مخلفات كثيرة تشمل بقايا المحاصيل والمخلفات الحيوانية والاسمدة الكيمياوية والمبيدات الكيمياوية.
- **مخلفات وسائط النقل المختلفة**: تطرح عوادم السيارات بالإضافة إلى الرصاص ملوثات أخرى كأول اوكسيد الكربون واكاسيد النتروجين والهيدروكربونات.
- **المواد المشعة**: ان الاشعاع الصادر من المواد المشعة الناتجة من المفاعلات النووية وتجارب الانفجارات النووية يؤدي إلى تلوث البيئة.

- **الضوضاء:** يؤثر الضوضاء بشكل خاص على الإنسان الذي يعيش في وسط اصوات عديدة حيث وجد ان تأثير الضوضاء على الإنسان واضح في جعله سريع الغضب وقليل القدرة على التركيز الفكري وكثيراً ما ينجم عن ذلك الاصابة بالقرحة وقد يؤدي الضوضاء الشديد إلى الصمم.

كما يمكن تقسيم **الملوثات حسب درجة تحللها**، وتشمل نوعين هما:

1- **مواد قابلة للتحلل:** وهي المواد التي يمكن تحللها أو تكسيرها في البيئة من قبل المحللات كالبكتريا والفطريات، وتكون هذه المواد أقل خطورة في تلوث البيئة، علما ان تأثيرها السلبي يزول حال تحللها كاملاً من قبل الكائنات الدقيقة.

- **الأوراق والنباتات:** تتحلل عادةً في غضون 6 أشهر إلى سنة واحدة، اعتماداً على الرطوبة، درجة الحرارة، وحجم الأوراق. الأوراق الممزقة أو المفرومة تتحلل أسرع من الأوراق الكاملة.
- **فضلات الطعام:** تتحلل في غضون أسابيع قليلة إلى أشهر، حيث يمكن أن تتحلل قشور الفواكه والخضروات في حوالي 2-6 أسابيع، بينما قد تستغرق بقايا اللحوم أو منتجات الألبان مدة أطول تصل إلى عدة أشهر.
- **البقايا الحيوانية (مثل العظام والجلود):** قد تستغرق العظام عدة سنوات للتحلل بشكل كامل، بينما يتحلل الجلد في غضون 6 أشهر إلى سنة، حسب المعالجة.
- **القطن والصوف الطبيعي:** تستغرق حوالي 1-5 أشهر للتحلل، في حين أن الأقمشة السميكة أو المعالجة قد تحتاج لوقت أطول.
- **الخشب غير المعالج:** يمكن أن يستغرق من سنة إلى عدة سنوات للتحلل بالكامل.

2- **مواد غير قابلة التحلل:** وتشمل المواد الكيمياوية والصناعية ذات التأثير التراكمي في البيئة والتي لا يمكن تحللها، مثل مبيدات الحشرات ومبيدات الفطريات ومواد البلاستيك والنايلون وبعض المنظفات.

- **البلاستيك** :يمكن أن يستغرق من 450 إلى 1000 سنة للتحلل، وبعض الأنواع لا تتحلل أبداً بشكل كامل.
- **المعادن** (مثل الألمنيوم والحديد): الألمنيوم قد يستغرق 200-500 سنة للتحلل، بينما الحديد قد يستغرق 100 سنة أو أكثر ليصدأ ويتحلل.
- **الزجاج** :يعتبر غير قابل للتحلل عملياً، وقد يستغرق ملايين السنين ليتحلل بشكل طبيعي.

ويمكن تقسيم **الملوثات حسب طبيعتها** إلى ثلاثة أنواع هم:

1- **ملوثات فيزيائية:** وهي ظواهر فيزيائية مادية وتتضمن الاشعاع (وهو أشد خطراً على البيئة والإحياء) والحرارة والضوضاء و والأمواج الكهرومغناطيسية.
2- **ملوثات كيمياوية:** -: وتتضمن مجموعة واسعة من الملوثات الأكثر انتشاراً في البيئة ، ومن مصادرها المواد الطبيعية كالنفط ومشتقاته والزيوت والشحوم والسموم الطبيعية والرصاص والزئبق والغازات المتصاعدة من البراكين وعددا كبيراً من المواد المصنعة كالمبيدات والكيماويات الزراعية والفضلات الصناعية من الأحماض والأملاح والقواعد والحرائق وعوادم السيارات والمصانع وكذلك الجسيمات الدقيقة الناتجة من مصانع الاسمنت والكيماويات السائلة عندما تلقى في التربة أو الماء.
3- **ملوثات إحيائية:** وتدخل ضمن كائنات حية مجهرية في الغالب، وتعمل على تغير عدد من الصفات أو الخصائص البيئية عند وجودها فيها أو ذات إضرار بصحة الإنسان أو الإحياء الأخرى ، وتعد وفق الأسس العلمية لعلم البيئة بأنها من المكونات الإحيائية الطبيعية ، ومنها ما هو طفيلي يعيش في أمعاء الإنسان أو الحيوانات ، وقد يسبب حالة مرضية كما هو الحال بالنسبة للطفيليات المعوية أو ليس له تأثير صحي ضار كما في حالة العديد من البكتريا المعوية ، وقد أدت ممارسات الإنسان الخاطئة تجاه البيئة مثل طرح الفضلات البشرية في الأنهار أو رمي الحيوانات الميتة في المصادر المائية إلى خلق مشاكل بيئية وصحية عديدة وبالتالي تحمل هذه الأحياء إلى ملوثات بيئية، ولذلك فان تعبير الملوثات الإحيائية يقتصر على المسببات المرضية فقط كالبكتريا والطفيليات والفطريات والفيروسات وغيرها

وتقسم **الملوثات تبعاً لحركتها الجغرافية** الى الأنواع الرئيسة التالية:

1- **الحركة الموقعية للملوثات:** وهي حركة قصيرة ومحدودة سواء أكانت في المياه او الهواء او التربة، ولا تلبث فيها الملوثات أن تتحلل بينياً أو تتلاشى من خلال الترسب مع مياه الأمطار أو كترسيب جاف.
2- **الحركة الإقليمية للملوثات:** وهي انتقال الملوثات الى مواقع بعيدة ضمن إقليم او منطقة معينة، وغالباً ما تؤدي الأنهار دوراً كبيراً في عملية الانتقال هذه، ناقلة الملوث من أعلى النهر الى مصبه، كما تشمل هذه الحركة البحار ذات الطبيعة المغلقة والصغيرة نسبياً كالخليج العربي والبحر الأبيض المتوسط.
3- **الحركة العالمية للملوثات:** وتسمى بالحركة بعيدة المدى، وتعد أخطر الخصائص للملوثات البيئية، أذ ينتقل التلوث لعموم الكرة الأرضية، وتمتاز الملوثات بالثبات ومقاومة التحلل ، كما حدث في التفجيرين

الذريين في هيروشيما وناغازاكي عام 1945، ووصل تأثير الملوثات الى مناطق نائية ومنها طيور البطريق التي تقطن القطب الجنوبي، ومن الملوثات بعيدة المدى مركبات (الكلورفلوروكربون) التي يصل تأثيرها الى طبقة الأوزون.

ثالثاً: درجات التلوث البيئي Degrees of environmental pollution:

يتفق المختصون في البيئة بأن للتلوث البيئي درجات تختلف في تأثيراتها البيئية ويمكن تقسيمها بالتالي:

1- **التلوث البيئي المقبول:** يقع التلوث ضمن الدرجة (ج) ،إذ أن الملوثات البيئية ضمن حدود الظاهرة أي انها لا تتجاوز المحددات البيئية، وعلى الرغم من انتشار مستويات التلوث المقبول على نطاق واسع من الكرة الأرضية، إلا أنه لا يترك أثراً بيئياً يمس مظاهر الحياة ، ويمثل هذا النوع من التلوث عدد من أنشطة الإنسان التي ينجم عنها تلوث طفيف يمكن معالجته كالمعامل الصناعية التي لا ينتج عنها تلوث ملحوظ، وإنما ينتج عنها ملوثات ذات محتوى عضوي بالدرجة الرئيسة ويمكن معالجتها بسهوله من خلال وحدات المعالجة وأنها ظاهرة بسيطة من درجات التلوث لا يصاحبها أي أخطار واضحة تمس مظاهر الحياة وغيرها على سطح الأرض وهي لا تشكل خطراً بيئياً ، وقد أستمرت هذه الحالة حتى الثلث الأول من القرن العشرين

2- **التلوث البيئي الخطر:** أو ما يسمى بتلوث درجة (ب)، إذ تعاني الكثير من الدول الصناعية من التلوث الخطر ، والناتج بالدرجة الأولى عن النشاط الصناعي أذ تتعدى الملوثات حد الظاهرة وتصبح مشكلة بيئية خطرة تستدعي وضع الحلول والمعالجات الناجعة وتتعرض له البيئة الطبيعية والبشرية، كما وتتطلب هذه المرحلة اجراءات سريعة للحد من التأثيرات السلبية ويتم ذلك عن طريق المعالجة كفيلة بتخفيض نسبة الملوثات لتصل الى الحد المسموح به دولياً أو عن طريق سن قوانين وتشريعات وضرائب على المصانع التي تساهم في زيادة نسبة التلوث. وتعد زيادة النشاط التعديني، والاعتماد بشكل رئيس على مصادر الطاقة الملوثة الدرجة التي تتخطى فيها الملوثات (الخط الأمن) مما يؤدي إلى حدوث خلل واضح بالحركة التوافقية داخل النظام البيئي وما يترتب على ذلك من أخطار كثيرة تؤثر بشكل سلبي على معظم مكونات البيئة الحية وغير الحية. وتعد هذه مرحلة متقدمة من مراحل التلوث يبدأ عندها التأثير السلبي في عناصر البيئة الحية كالإنسان، والحيوان، وكما هو الحال في الدول الصناعية والتي تعتمد على مصادر الوقود كالفحم والبترول. وبذلك تعد مرحلة متقدمة في التلوث، إذ إن كمية ونوعية الملوثات تتعدى الحد الايكولوجي الحرج ، وهي بذلك تتجاوز درجة الأمان وتسبب الخلل في توازن النظام البيئي ، وتصبح الملوثات مصدر خطر

كبير على الإنسان والأحياء الأخرى ، وتتطلب هذه المرحلة إجراءات سريعة للحد من التأثيرات السلبية وقد اقترنت بقيام الثورة الصناعية وما تلاها ومما يلاحظ إن التلوث المقبول كان عبارة عن ظاهره ، أما في هذه المرحلة فيتحول التلوث من ظاهرة إلى مشكلة وهذه المشكلة تحتاج إلى دراسة وعلاج فوري ومن الناحية البيئية يلاحظ بأنه لا يسمح بإقامة الصناعات المسببة لهذا النوع من التلوث داخل حدود المخطط الأساس للمدن حيث ينصح بعدم أقامة الصناعات الملوثة ضمن الحدود البلدية للموقع ويفضل خارجه وفق المحددات الموقعية لذلك النوع من الأنشطة مع توفير وحدات معالجة وفق التعليمات والضوابط .

3- **التلوث البيئي المدمر:** ويحتل المرتبة (أ) في درجات التلوث البيئي لخطورة درجات التلوث، إذ تتعدى فيه الملوثات الحد الخطر إلى الحد القاتل ، وتكون البيئة في هذه المرحلة غير قادرة على التوازن ومقاومة التأثيرات الأخرى ، مما يؤدي بالنظام البيئي إلى مرحلة الانهيار والدمار وهو أخطر درجات التلوث إذ تتعدى فيه الملوثات الحد الخطر ، لتصل إلى ما يسمى الحد القاتل أو المدمر للأحياء ، ويتمثل بالنشاطات شديدة التلوث وتشمل المشاريع الصناعية الكبرى، والتي تكون لها تأثيرات عديدة على نوعية البيئة وعلى مساحات واسعة من الأراضي ، وبذلك فإن النظام الايكولوجي ينهار ويصبح غير قادر على العطاء نظراً لاختلاف مستوى الاتزان بشكل جذري . يحدث هذا النوع من التلوث نتيجة لحدوث الكوارث الصناعية ، كحوادث الحرائق التي تحدث احياناً في مصانع البتروكيمياويات، وحوادث تسرب المواد المشعة والخطرة بكميات كبيرة إلى البيئة الطبيعية ، ومن أخطر نسب هذه الدرجة هي ما يحدث من تلوث ناتج عن المفاعلات النووية ،وغيرها، كما حدث في تشرنوبل (1986م) بسبب المفاعلات النووية والتي على أثرها أنهار النظام البيئي واستغرق وقتا حتى عاد الى توازنه بفعل ما قدمة الانسان من حلول ومعالجات ، رغم تقدير خبراء البيئة في الاتحاد السوفيتي آنذاك بأن معالجة هذا الموقع والمناطق المجاورة له تستغرق بحدود خمسين سنة حتى يمكن إعادة البيئة لوضعها الطبيعي.

وهي الدرجة التي يتحول فيها التلوث من مشكلة التلوث البيئي إلى أزمة التلوث البيئي لذا يجب إبعادها مسافات بعيدة عن التصاميم الأساسية وتوسعاتها للمدن والأقضية والنواحي والقرى المرشحة مع توفر كافة المعالجات التي توفر حماية كافية للبيئة.

رابعاً: أنواع التلوث Types of Pollution:

1- تلوث الهواء. 2-تلوث المياه. 3-تلوث التربة. 4-التلوث الاشعاعي. 5-التلوث الضوضائي.
6- لتلوث الضوئي. 7-التلوث البصري.

تلوث الهواء Air Pollution

مقدمة:

تعاني المجتمعات الحديثة المعاصرة من مشاكل بيئية عدة ناجمة عن تلوث التربة والماء والهواء بسبب أنشطة الإنسان، فضلاً عن عناصر أخرى مثل الإشعاعات والضجيج وغيرها التي تؤثر على نحو مباشر أو غير مباشر في صحة الإنسان ومحيطة البيئي، وتتراوح خطورة هذه المشاكل بحسب نوعية التلوث ودرجة تركيزه ومناطق وجوده. ويعد تلوث الهواء من أهم أخطر المشاكل التي تواجهها المجتمعات وبخاصة الصناعية وذلك لأسباب كثيرة، وبما أن الإنسان هو جزء من البيئة وهو أغلى ما فيها فإن هذا البحث سيتطرق إلى أهمية إيجاد حل لهذه المشكلة ولفت أنظار المهتمين قبل الوصول إلى وضع يصعب تصحيحه.

يكنظ الهواء الذي نتنفسه بالفيروسات والبكتيريا والفطريات وغيرها من الكائنات المجهرية ويمكن لتلك الكائنات أن تعبر المحيط على ظهر نسمة هواء ويمكن لبعضها ان يسبب تلفا في المحاصيل الزراعية وتسبب غيرها الأمراض والوفاة – بينما يمكن استخدام البعض الآخر كأسلحة خفية فتاكة لا نعلم عنها شيئا حتى الآن إن تلوث الهواء من القضايا التي أضحت تؤرق الإنسان في جميع المجتمعات لا سيما وأن الهواء يعتبر ضرورياً للإنسان شأنه شأن الماء ، بل هو أكثر أهمية وضرورة إن تلوث الهواء مشكلة خطيرة يجب علاجها في القريب العاجل، لأنها تتسبب للبشر في مشاكل التنفس و مرض الرئتين..... الخ. وهذه ظاهرة موجودة نراها كل يوم، مثل دخان المصانع و دخان الحمامات..... كل هذه الدخاخين ينتج عنها تلوث الهواء الذي تحدثت عنه من قبل.

ويعد تلوث الهواء من أكبر المشاكل التي تعاني منها البيئة الحضرية وضوحاً في عالم اليوم بصفة عامة وفي عالم المدن الكبرى بصفة خاصة ولم يبدأ تلوث الهواء ليصبح مشكلة إلا عندما زاد اتجاه الإنسان إلى الإقامة والعيش في المدن واتساع المجالات التي أصبح فيها احتراق الوقود ضرورة معيشية.

وقد بدأت مشكلة تلوث الهواء بعد الثورة الصناعية وعلى وجه الخصوص في القرن العشرين فقد اسهم التصنيع بدرجة كبيرة في زيادة نسبة الغازات والأبخرة المتصاعدة مما يهدد حياة المجتمع الحضري في المدينة ويسبب له مشاكل صحية ونتيجة لذلك فإن أكثر أنواع التلوث انتشاراً نظراً لسهولة انتقاله من منطقة لأخرى ولمدة زمنية وجيزة نسبياً ويؤثر هذا النوع من التلوث على الإنسان والحيوان والنبات تأثيراً مباشراً ويخلف آثاراً بيئية صحية واقتصادية واجتماعية واضحة متمثلة في التأثير على صحة الإنسان وانخفاض كفاءته الإنتاجية،

أن مشكلة التلوث الهوائي مشكلة حديثة العهد لم تكن تواجه الإنسان في العصور السابقة لأن المشاكل البيئية كانت تكمن في كيفية توفير المأوى والغذاء للسكان ولذلك برزت إلى السطح والى قمة المشاكل البيئية أهمية الهواء النقي وأهمية الحفاظ على نوعية الهواء واتجهت إلى ذلك جهود الحكومات والباحثين للحفاظ على الهواء الذي يتنفسه الإنسان في كل لحظة نقياً وسليماً.

اولا – مفهوم تلوث الهواء:

تعددت التعريفات التي تناولت التلوث الهوائي منها:

- عرف خبراء منظمة الصحة العالمية تلوث الهواء بأنه الحالة التي يكون فيها الجو محتوياً على مواد بتركيزات تعتبر ضارة بالإنسان أو بمكونات بيئته. وعلى ذلك يقصد بتلوث الهواء احتوائه على ملوث أو عدة ملوثات بكميات مؤثرة، ولفترة زمنية قد يكون لها تأثير على صحة الإنسان، أو الحيوان أو النبات، أو المحيط الحيوي الذي يعيش فيه الإنسان.
- هو تغير في تركيب الهواء، وازدياد وجود أي مواد غازية أو سائلة او صلبة تؤدي إلى وقوع أضرار بأي من مكونات البيئة من نبات أو حيوان أو إنسان وتربة ومسطحات مائية ويجب أن نتذكر أن معظم ملوثات الهواء هي من صنع الإنسان.
- هو حدوث أي تغيير في تركيب الهواء سواء كان ذلك عن طريق الغازات والأبخرة، أو الأدخنة أو الرماد أو الأتربة أو الإشعاعات أو غيرها.
- هو الزيادة في تركيز المواد الغريبة عن التكوين الأساسي للهواء والتي تؤثر على الناحية الصحية للفرد وتؤدي إلى إضرار بممتلكاته.
- هو إضافة مادة غريبة للهواء تؤثر في صفاته الكيمائية والفيزيائية وتجعله في حالة تختلف عن الحالة التي يجب أن يكون فيها الهواء نظيفاً اذ يصل تركيزها إلى حد يؤثر سلباً على الإنسان وبقية أشكال الحياة الأخرى.
- هو الحالة التي يكون فيها الهواء محتوياً على مواد كيماوية وغبار وأتربة ضارة بالإنسان وبمكونات البيئة المختلفة كالنبات والحيوان وغير ذلك.
- هو وجود بعض الشوائب في الهواء الخارجي بكميات معينة ولمدة محدودة إذ تكون ضارة بحياة الإنسان والحيوان والنبات أو تتدخل في الاستمتاع المريح بالحياة أو الممتلكات أو طرق تأدية الأعمال وكذلك زيادة نسبة الغازات المساهمة في التلوث الهوائي عن معدلاتها.

ثانيا – مصادر تلوث الهواء:

تنقسم مصادر تلوث الهواء إلى قسمين رئيسين، وهي إما **مصادر طبيعية** ليس للإنسان أي تدخل فيها، أو **مصادر بشرية** بفعل نشاطات الإنسان المختلفة.

أ- المصادر الطبيعية لتلوث الهواء:

وهي المصادر التي تنجم عن الطبيعة دون تدخل الإنسان فيها، وهي إما أن تكون صلبة ، أو سائلة أو غازية ، وتنحصر مصادر التلوث الطبيعي للهواء بالآتي :

1- البراكين:

تطلق البراكين مجموعة متنوعة من الغازات أثناء ثوراتها، وبعض هذه الغازات تعتبر ملوثة للهواء ولها تأثيرات سلبية على البيئة وصحة الإنسان منها:

- **ثاني أكسيد الكبريت (SO_2):**

يعد أحد الغازات الأكثر وفرة في انبعاثات البراكين. يمكن أن يتفاعل مع بخار الماء في الجو لتكوين حمض الكبريتيك، مما يؤدي إلى الأمطار الحمضية. هذه الأمطار تلوث المجاري المائية، وترفع من درجة حموضتها ، كما وترفع من درجة حموضة التربة المجاورة لها ، وتدمر ما بها من محاصيل، ويمكن أن تسبب تآكل المباني والمنشآت.

- **ثاني أكسيد الكربون (CO_2):**

يُعد ثاني أكسيد الكربون غازًا دفيئًا ينطلق من البراكين. على الرغم من كونه غازًا طبيعيًا، إلا أن الانبعاثات الكبيرة من CO_2 من البراكين تساهم في ظاهرة الاحتباس الحراريي، خاصة إذا تم دمجها مع انبعاثات بشرية أخرى.

- **أول أكسيد الكربون (CO):**

يُعتبر غازًا سامًا يمكن أن يؤدي إلى مشاكل صحية خطيرة، مثل التسمم، عندما يتم استنشاقه بكميات كبيرة.

- **الهيدروجين الكبريتي (H_2S):**

غاز ذو رائحة كريهة يشبه رائحة البيض الفاسد. يُعتبر سامًا عند استنشاقه بكميات كبيرة، ويمكن أن يؤدي إلى تهيج الجهاز التنفسي ومشاكل صحية أخرى.

- **أكاسيد النيتروجين (NO_x):**

:تشمل أكاسيد النيتروجين مثل أكسيد النيتروز (N_2O) وأكسيد النيتريك (NO) تساهم في تلوث الهواء وتكوين الأوزون عند مستوى الأرض، مما يؤثر على صحة الجهاز التنفسي ويزيد من حالات الربو والمشاكل الصحية الأخرى.

إضافة إلى الغازات المنبعثة في الجو من الانفجار البركاني، تتطلق أيضاً كميات ضخمة من الذرات البركانية الصلبة المواد الجسيمية (Particulate Matter)، وخاصة الغبار الناعم، وتقدر هذه الكمية بألاف الأطنان، ويمكن لهذه المواد الصلبة الدقيقة أن ترتفع إلى مسافات بعيدة قد تصل إلى طبقة الاستراتوسفير (حوالي 55 كم عن سطح البحر)، وهي بذلك تمثل أحد العوامل الطبيعية الهامة التي تتسبب في تلوث البيئة بشكل عام؛ لأن المواد البركانية المنشأ تبقى عالقة في الجو فترة طويلة من الزمن، وهذه الفترة كافية تماماً لأن تنتقل هذه الملوثات وتنتشر فوق مساحات كبيرة من الكرة الأرضية بواسطة الرياح، وغالباً ما يكون لها كبير الأثر على عناصر المناخ. وتؤثر هذه الجسيمات الصلبة على جودة الهواء ويمكن أن تتسبب في مشاكل صحية مثل الأمراض التنفسية اذ يمكن أن تستقر هذه الجسيمات في الرئتين وتسبب تهيجًا.

2- الرياح والعواصف:

تلعب الرياح والعواصف دوراً هاماً في تلوث الهواء لما تحمله من تراب ، وغبار ، ورمال ، ويبدو دورها واضحاً في المناطق الجافة، والأراضي القاحلة، حيث تقوم الرياح المصاحبة للعواصف والتي تنطلق غالباً بموازاة سطح الأرض بحمل كميات هائلة من الرمال من سطح التربة الصحراوية ؛ وذلك لأنها لا تجد أمامها عائقاً يمنعها، كما لا توجد نباتات تحمي هذه التربة وتؤدي إلى تماسكها ، وقد تحمل الرياح هذه الرمال والأتربة إلى مسافات بعيدة جداً لتسقطها في النهاية على المدن والأراضي الزراعية وقد تدمر ما بها من محاصيل.

ومن أمثلة الرياح التي تؤثر في تلوث الهواء رياح الخماسين ، والتي تهب على شمال مصر في بداية الصيف من كل عام، وتقدر كمية الغبار والأتربة المترسبة في القاهرة حوالي ١٨٧ طناً على الكيلو متر المربع في الشهر ، وفي الكويت بلغت كمية الغبار والأتربة المترسبة خلال شهر حوالي ٢٣٩ طناً على الكيلو متر المربع.

3- الحرائق:

كثيراً ما تتعرض مناطق الغابات وأراضي الحشائش في بعض أيام أشهر الصيف الحارة والجافة إلى حرائق تأتي على آلاف الأشجار والشجيرات، وعلى مساحات كبيرة من أراضي الحشائش ، وهي بذلك تطلق الدخان إلى الجو على شكل غيوم سوداء كثيفة ، قد تصل إلى طبقة التربوسفير ، ينتج عن هذه الحرائق انطلاق كميات ضخمة من الغازات المختلفة ، مثل : غاز ثاني أكسيد الكربون، أول أكسيد الكربون، أكاسيد الأزوت ، إضافة إلى جزئيات الرماد الدقيقة التي تنطلق إلى الجو والتي تؤدي إلى تلوث الجو بشكل واضح . ولعل من أشهر

حرائق الغابات في العقدين الماضيين:

- أوروبا والمغرب.. يوليو/تموز 2022
- كوريا الجنوبية.. مارس/آذار 2022
- الجزائر.. أغسطس/آب-سبتمبر/أيلول 2021
- إيطاليا.. يوليو/تموز 2021
- تركيا أغسطس/اب 2021
- اليونان.. أغسطس/آب 2021
- روسيا.. أغسطس/آب 2021
- أستراليا.. يناير/كانون الثاني-أكتوبر/تشرين الأول 2020

وتقضي هذه الحرائق على مساحات شاسعة من الغابات تقدر بمئات الاف الكيلومترات وأطلاق آلاف الأطنان من الملوثات إلى الهواء

4- حبوب اللقاح:

غالباً ما تكون في فصل الربيع ، وهو فصل إزهار معظم أنواع الأشجار ، والنباتات، وهذه تتطلب تلقيحاً قد يكون ذاتياً ، أو غير ذاتي عن طريق انتقال حبوب اللقاح هذه من أشجار إلى أخرى ، وهذا يجعل الهواء مليء بهذا الغبار الذي يؤدي إلى نوع من الحساسية لدى بعض الناس (مرض الحساسية الربيعي)، والتي يُمكن أن تسبب أعراضًا مثل سيلان الأنف، والعطس، وحكة العيون، والطفح الجلدي، وحتى صعوبة التنفس.

كما يمكن أن تؤدي حبوب اللقاح إلى تفاقم حالات الربو، حيث يعاني الأشخاص المصابون بالربو من تفاقم الأعراض خلال فترات ارتفاع مستويات حبوب اللقاح.

5- الجراثيم:

يتواجد في الهواء بشكل دائم أعداد كبيرة من أنواع البكتيريا ، وغالباً ما تكون العلاقة طردية بين التركيز البكتيري والكثافة السكانية ودرجة التهوية ، فكلما كانت الأماكن مغلقة وذات كثافة سكانية عالية ازداد بالتالي تركز البكتيريا ، لذا غالباً ما تكون الأماكن المغلقة المزدحمة بالسكان ذات تلوث جرثومي واضح مثل : (دور السينما ، المعارض ، الشوارع المكتظة ، المحلات التجارية ، وسائط النقل العامة).

أما أجواء المناطق الريفية فتكون أقل تلوثاً بالجراثيم، نظراً لقلة السكان ، وتجدد الهواء باستمرار ولكن إذا كانت نسبة تركيز الغبار مرتفعة ، والرطوبة الجوية عالية كان ذلك ميداناً خصباً لنشوء أعداد أكبر من الجراثيم . ومهما تعاظم وتفاقم حجم الملوثات الطبيعية، فإنها لا تصل إلى درجة الملوثات. البشرية ، كما أن نوعيتها أقل خطورة على الصحة العامة ، وتأثيرها على البيئة الحيوية يبقى محدوداً.

ب- <u>المصادر البشرية لتلوث الهواء :</u>

ان استعمالات الإنسان المختلفة من خلال أنشطته المتنوعة في البيئة التي يعيش فيها تعتبر من المصادر البشرية لتلوث الهواء، سواء كانت تلك الاستخدامات في المجالات الصناعية، أو الاستخدامات المنزلية أو الحياتية اليومية. ذلك أن الإنسان الذي يعيش في القرن العشرين اندفع الدافعاً م حموماً لم يسبق له مثيل من أجل إشباع رغباته من كل ما هو جديد ، منبهراً بوسائل التقنية الحديثة ، فأسرف باستغلالها غير مكترث بنتائجها ، فانعكس ذلك سلباً على نظام حياته ، وكان هو أكثر المتضررين من جراء التلوث الذي أحدثه.

أما أهم المصادر البشرية لتلوث الهواء فهي كما يلي:

1- وسائط النقل:

تشكل وسائط النقل المختلفة البرية والجوية والبحرية مصدراً رئيساً لا يستهان به في مجال تلوث الهواء، أما الوسائط البرية فهي الأهم في ذلك نظراً لزيادة أعدادها وأنواعها، وما تقذفه من مخلفات احتراق الوقود في داخلها ، مما يترك آثاراً سلبية على الإنسان وسائر الكائنات الحية ، خاصة إذا علمنا أن هذا المصدر في حالة تزايد

مستمر نتيجة للزيادة المطردة في أعداد المركبات وانتشارها في أنحاء العالم في المدن الكبرى والصغرى وحتى في الأرياف.

وتكمن أهم الأسباب التي تجعل من السيارات مصدراً رئيساً لتلوث الهواء فيما يلي :

1- نوعية الوقود المستعمل ، وزيادة نسبة المركبات الأكسوجينية ومركبات الرصاص المضافة إليه لتحسين أداء المحرك ورفع كفاءته.

2- عدم الاحتراق الكامل للوقود بنزين) ، (ديزل) داخل محركات السيارة.

3- عدم إجراء الصيانة المستمرة لمحركات السيارات للتأكد من أداء المحرك ومن عملية احتراق الوقود بداخله.

ونتيجة لحركة المركبات المستمرة ، تنبعث من عوادمها أنواع عديدة من الملوثات ، أهمها : غازات أول أكسيد الكربون ثاني أكسيد الكربون ، الرصاص ، أكاسيد النيتروجين ، ثاني أكسيد الكبريت ، الهيدروكربونات ، السناج ، هذا بالإضافة إلى الروائح الكريهة ، كما تعتمد كمية هذه الملوثات على كمية الوقود المستهلك وعمر المركبة ، ودرجة صيانتها ، وحركة المرور وكثافتها ، كما تلعب

الظروف المناخية دوراً رئيساً في كيفية انتشار هذه الملوثات في الهواء ومداها). ولعل الانبعاثات الناتجة عن المركبات يتحكم فيها بالدرجة الأولى نوع الوقود المستخدم (ديزل بنزين)، والتي ينتج عنها العديد من الملوثات مثل : غازات الكربون، والكبريت، والنيتروجين وغيرها، جدول (1).

جدول (1) المواد الملوثة الناتجة عن محركات الاحتراق الداخلي (غم) من المادة الملوثة لكل (كجم) من الوقود

المادة الملوثة	محرك البنزين	محرك الديزل
ثاني أكسيد الكربون	180	191
ثاني أكسيد الكبريت	0.139	3.48
أكساييد النيتروجين	2.2	15.08
أول أكسيد الكربون	301.6	9.28
سناج	0.22	1.16
هيدروكربونات	52.2	1.16
رصاص	0.116	-

يوضح الجدول أن أول وثاني أكسيد الكربون هما الأكثر انبعاثاً من عوادم السيارات، وكذلك الهيدروكربونات غير المحترقة، وأن الرصاص ينتج عن محركات البنزين دون محركات الديزل كما أن الكبريت ينتج عن محركات الديزل أكثر منه في محركات البنزين، وهذا يشكل خطراً كبيراً على قطاع البيئة، وإن نسبة وجود الكبريت في الديزل تعتبر عالية جداً في غالبية الدول العربية.

2- الصناعة:

تلعب الصناعة دوراً هاماً في تلوث الهواء، فبالإضافة إلى الغازات الملوثة الناتجة عن احتراق الوقود اللازم للصناعة، تطلق الصناعات المختلفة العديد من الملوثات كناتج للعملية الصناعية فالصناعة تطلق الكثير من ملوثات الهواء، وتعتمد كميات وأنواع المركبات المنبعثة على نوع الصناعة والمواد الخام والوقود والتكنولوجيا، والتدابير المستخدمة في حماية البيئة، كما أن هناك عوامل لا تقل أهمية عن سابقتها، فحجم المنشأة الصناعية، وعمر الآلات ومستوى الصيانة والإدارة، كلها تساهم بنوع وحجم التلوث الصادر عن تلك المنشأة وينتج عن العملية الصناعية العديد من الملوثات مثل : الكبريت، وأكاسيد الكبريت، والنيتروجين، وثاني أكسيد الكربون ، وأول أكسيد الكربون ، والمواد الهيدروكربونية، والمواد العالقة ، هذا بالإضافة إلى ما تطلقه الصناعة من ملوثات تعتبر نادرة لكن بعضها يحتمل السمية.

وتعتبر المصانع بجميع قطاعاتها ، والمعامل ، ومحطات توليد الطاقة من المصادر الصناعية الهامة في تلويث الهواء، إلا أن محطات توليد الطاقة، ومصانع تكرير البترول، ومصانع الإسمنت هي الأكثر مساهمة في تلوث الهواء ، وما يصاحب ذلك من آثار سلبية على الإنسان

3- الملوثات الناتجة عن الاستخدامات المنزلية:

الإنسان ومن خلال استخداماته المنزلية لمواد الوقود المختلفة فحم ، مازوت ، كيروسين ، غاز يطلق كميات كبيرة من الدخان والغازات الضارة مثل : أكاسيد الكربون ، أكاسيد الكبريت ، والهباب ، وما يتولد أيضاً من حرارة تنطلق إلى الوسط المحيط ، تعمل على رفع درجة حرارته كنوع من التلوث الحراري للجو الذي له دور في تكون الجزر الحرارية لبعض المدن.

4- الملوثات الناتجة عن النفايات الصلبة:

تشكل مكبات النفايات الصلبة مصدراً للتلوث الجوي الكيميائي ، لكونها تحتوي على بقايا عضوية تسمح بنشاط الفعل البكتيري في ظروف وجود الأكسجين على شكل تحلل هوائي، أو عدم وجوده تحلل لا هوائي . مما يترتب على ذلك تشكل وانطلاق غازات مختلفة كالنشادر ، وأول وثاني أكسيد الكربون ، والميثان ، والنيتروجين ، والهيدروجين، ويقدر أن الطن الواحد من النفايات الصلبة يتولد عنه ما يعادل **130** م^3 من الغازات.

5- الملوثات الناتجة عن احتراق الوقود:

ينجم عن استهلاك الوقود المتمثل في الفحم والبترول والغاز الطبيعي، سواء في المعامل ، أو الاستخدامات المنزلية، انطلاق غازات مختلفة وجزئيات دقيقة صلبة ومركبات كيميائية، ودخان، تعمل جميعها على تلوث الجو، وتعد ملوثات الهواء الناتجة عن احتراق الوقود من أكثر الملوثات انتشاراً وتأثيراً على النظام البيئي، وباحتراق الوقود في الهواء ينتج عنه طاقة حرارية وغازات مختلفة ونفايات صلبة، وإذا كان الاحتراق كاملاً ، فإنه ينتج عنه ثاني أكسيد الكربون، أما في حال كونه غير كامل فيكون الناتج عندئذ غاز أول أكسيد الكربون.

ثالثاً – أنواع ملوثات الهواء:

تنقسم أنواع ملوثات الهواء إلى:

أ- تلوث الهواء بالغازات.

ب-تلوث الهواء بالعناصر الثقيلة.

ج-تلوث الهواء بالجسيمات.

د- الملوثات الثانوية للهواء.

وسنتناول كل عنصر من هذه العناصر على حدة.

أ- تلوث الهواء بالغازات:

1. أكاسيد الكربون:

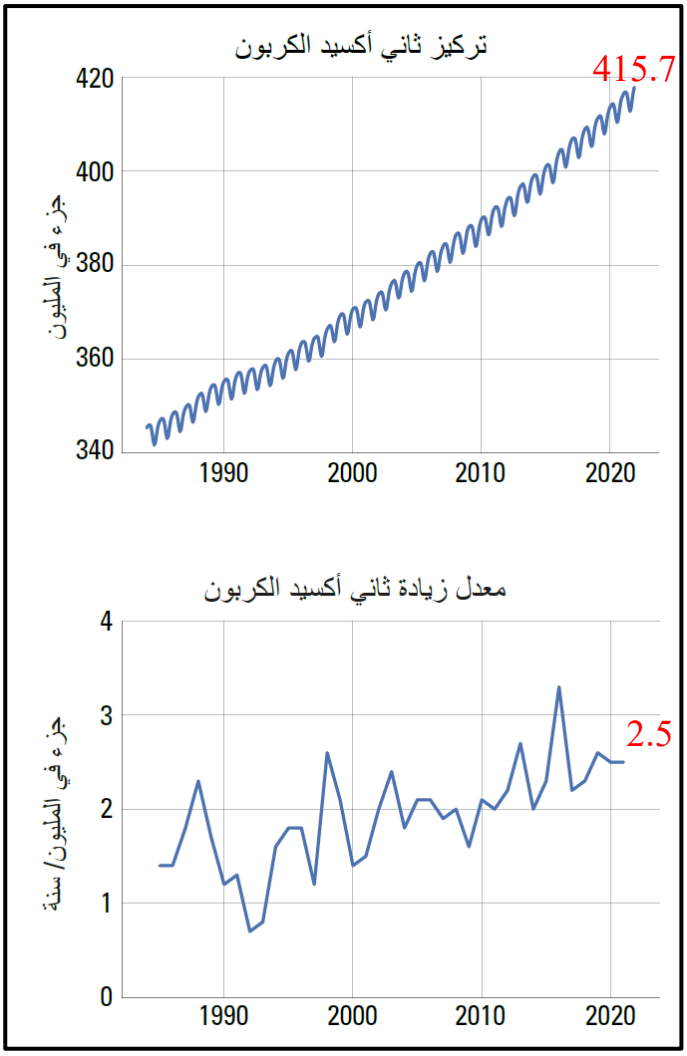
والمقصود بأكاسيد الكربون هما غاز أول أكسيد الكربون(CO) ، وغاز ثاني أكسيد الكربون (CO_2) ينتج غاز أول أكسيد الكربون من الاحتراق غير الكامل للوقود الكربوني (المواقد، الافران، المولدات، الصوبات، عوادم السيارات، دخان السجائر) ويبقى معلقاً في الهواء لمدة شهرين تقريباً، ويتحلل في الهواء عبر التفاعل مع المواد الكيميائية الأخرى ويتحول الى ثاني أكسيد الكربون، ومن صفات هذا الغاز أنه لا لون ولا طعم ولا

رائحة له، وينحل في بلازما الدم وفي الماء، كما انه يعد من الغازات السامة، وترجع خاصية السمية إلى قوة اتحاده مع هيموجلوبين الدم، حيث يحل محل الأكسجين، مما يحد من قابلية الدم لنقل الأكسجين من الرئتين إلى خلايا الجسم مما قد يسبب الموت.

ويعد هذا الغاز من أكثر الغازات الملوثة للهواء سمية، إذ ان التسمم بأول أكسيد الكربون هو السبب الرئيسي للوفاة بسبب التسمم في الولايات المتحدة الأمريكية. وتقد كمية أول أكسيد الكربون المنتجة عالمياً بحوالي ٣٠٠ مليون طن، وتعتبر الصناعة، والسيارات، وتدفئة المنازل المصادر الرئيسة لتركز أول أكسيد الكربون في الجو. ويوجد في الهواء الطبيعي غير الملوث عند تركيز لا يزيد عن 0.01 جزء في المليون، يتراوح متوسط مستويات غاز أول أكسيد الكربون في المنازل التي لا تحتوي على مواقد غاز بين 0.5 و5 أجزاء في المليون. وغالبًا ما تكون مستويات غاز أول أكسيد الكربون بالقرب من مواقد الغاز المعدلة بشكل صحيح من 5 إلى 15 جزءًا في المليون، وقد تكون المستويات بالقرب من مواقد الغاز المعدلة بشكل غير صحيح 30 جزءًا في المليون أو أعلى.

تم وضعَ الحدود المسموح بها للتعرض لهذا الغاز من قبل الهيئات الخاصة بالصحة والسلامة (مثل إدارة السلامة والصحة المهنية OSHA و المعهد الوطني للسلامة والصحة المهنية NIOSH ، و المؤتمر الأمريكي لأخصائي الصحة الصناعية الحكوميين ACGIH) وهو 25–50 جزءًا في المليون (29–55 مجم/متر مكعب) خلال متوسط التعرض الزمني البالغ 8 ساعات.

أما غاز ثاني أكسيد الكربون فهو عديم اللون، والرائحة، وذو طعم غير مقبول، يتراوح تركيزه في الهواء الطبيعي الجاف غير الملوث 300–320 جزء في المليون ، وبسبب إطلاق كميات كبيرة من هذا الغاز من مصادر مختلفة على مستوى عالمي، فقد وصل تركيزه في الغلاف الجوي عام 2022 حوالي (415.7) جزء في المليون وبمعدل زيادة قدره (49%) عما كانت عليه قبل الثورة الصناعية في عام 1750م والذي كان يبلغ في حينها (278.7 جزء في المليون) أي متوسط زيادة سنوية تبلغ حوالي (0.5 جزء في المليون) ويعزى ذلك في الأساس إلى الانبعاثات الناتجة عن احتراق الوقود الأحفوري ووفقاً لوكالة الطاقة الدولية (IEA) شهدت انبعاثات ثاني أكسيد الكربون العالمية من احتراق الطاقة والعمليات الصناعية طفرة إذ وصلت إلى (36.3 مليار طن) في عام 2021 أي بزيادة (6%) عما كانت عليه في عام 2020 (34.2 مليار طن) عندما انخفضت الانبعاثات بالنسبة إلى مستويات العام السابق بسبب القيود الناتجة عن جائحة (كوفيد–19).



ووفقاً لتحليل أجرته (منظمة مشروع الكربون العالمي Global Carbon Project) لعام 2021، أسهمت إزالة الغابات وغيرها من التغيرات في استخدام الأراضي بنسبة (4 مليار طن) سنوياً في المتوسط (للفترة2011–2020). تراكم حوالي (48%) إجمالي الانبعاثات الناجمة عن الأنشطة البشرية للفترة (2011–2020) في الغلاف الجوي و (26%) في المحيطات، و (29%) على اليابسة.

وبلغ معدل زيادة غاز ثاني أكسيد الكربون (2.5 جزء في المليون أو بنسبة 0.6%) عما كانت عليه في عام (2021) وبلغ متوسط الزيادة السنوية المطلقة في السنوات العشر الأخيرة (2012–2022) حوالي (2.5 جزء في المليون).

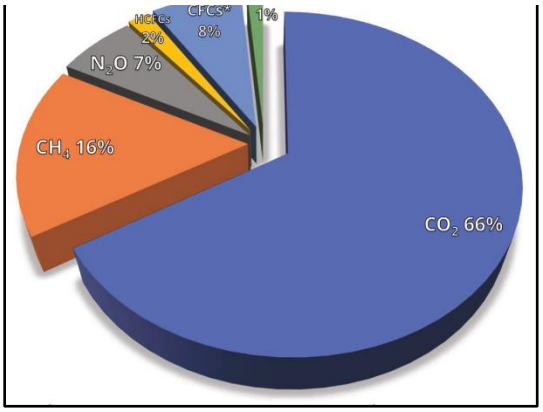
أما عن التطور التاريخي لغاز ثاني أكسيد الكربون فيوضحه الجدول رقم (2) اذ بلغت متوسط الزيادة السنوية لكمية غاز ثاني أكسيد الكربون للفترة (1970–2020) حوالي (0.4 مليار طن).

جدول (2) التطور التاريخي للمتوسط السنوي لانبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون للفترة (1970–2020)

الفترة	كمية انبعاثات غاز CO_2 (مليار طن)
1980–1970	17
1990–1980	21
2000–1990	26
2010–2000	31
2020–2010	35

ويعد غاز ثاني أكسيد الكربون من أهم غازات الاحتباس الحراري لانه يساهم بنسبة (66%) في ظاهرة الاحتباس الحراري من مجموع الغازات المساهمة في هذه الظاهرة.

نسب مساهمة الغازات في ظاهرة الاحتباس الحراري



2. الميثان CH_4:

يعتبر الميثان واحدًا من أهم الغازات الدفيئة التي تسهم في تغير المناخ، ويأتي بعد غاز ثاني أكسيد الكربون من حيث تأثيره على ظاهرة الاحتباس الحراري (بنسبة 16%). يُعرف الميثان بغاز "CH4"، وهو غاز هيدروكربوني يتكون من ذرة كربون وأربع ذرات هيدروجين.

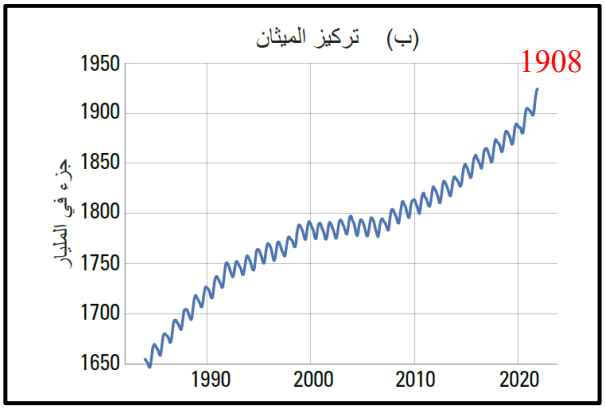
أما مصادر غاز الميثان فهي:

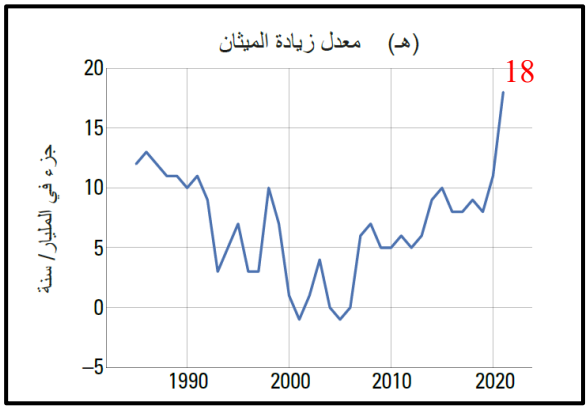
- ينتج من عمليّات التنقيب عن النفط الغاز الطبيعيّ، إذ يعد أحد المكوِّنات الرئيسيّة للغاز الطبيعيّ الموجود في باطن الأرض.
- المخلّفات العضويّة بعد تحلّلها؛ حيث تحلّل البكتيريا الدقيقة الموادّ العضوية لإنتاج غاز الميثان، مثل: أوراق النباتات، وروث الحيوانات، والنفايات، ومخلّفات الصرف الصحيّ.
- الكائنات الدقيقة الموجودة في التربة المغمورة بالمياه، مثل: تربة حقول الأرزّ.
- تخمُّر المواد العضويّة بواسطة البكتيريا في الأجهزة الهضميّة لدى بعض الحيوانات، مثل: الأبقار، والخراف، والجواميس يؤدي إلى إطلاق غاز الميثان.
- بالإضافة إلى توفّره بكميّاتٍ كبيرةٍ في قيعان البحار والمحيطات.
- كما يحتوي الهواء الصاعد من المستنقعات عليه.

غاز الميثان بالإضافة إلى غازاتٍ أخرى، مثل: ثاني أكسيد الكربون، وأكسيد النيتروز وغيرها، من الغازات الدفيئة التي تحتبس الحرارة المرتدّة عن سطح الأرض في الغلاف الجويّ، وهذه الغازات تُحدث تغيُّراتٍ في مناخ الكرة الأرضيّة؛ حيث تؤدّي زيادة تركيزها في الغلاف الجويّ إلى ارتفاع درجة حرارة الأرض بشكلٍ عامّ، ويُعدّ غاز الميثان غازاً شديد الخطر؛ حيث إنّ قدرته على تسخين الغلاف الجويّ تفوق تأثير غاز ثاني أكسيد الكربون بخمسٍ وعشرين مرّةً.

وينبعث نحو (40%) من الميثان في الغلاف الجوي من مصادر طبيعية، في حين ينبعث (60%) من مصادر بشرية، ووصل تركيزه في الغلاف الجوي عام 2022 حوالي (1908) جزء في المليار وبمعدل زيادة قدره (161.5%) عما كانت عليه قبل الثورة الصناعية في عام 1750م والذي كان يبلغ في حينها (729.2 جزء في المليار) أي متوسط زيادة سنوية تبلغ حوالي (4.35 جزء في المليار). وبلغ معدل زيادة غاز الميثان في عام 2022 (18 جزء في المليار أو بنسبة 0.95%) عما كانت عليه في عام (2021) وبلغ متوسط الزيادة السنوية المطلقة في السنوات العشر الأخيرة (2012–2022) حوالي (9.2 جزء في المليار).

وانخفض متوسط الزيادة السنوية للميثان في أواخر ثمانينات القرن من نحو (12 جزء في المليار سنوياً) إلى ما يقرب من الصفر في الفترة الممتدة من عام (1999–2006) ومنذ عام (2007) لم يتوقف غاز الميثان عن الزيادة في الغلاف الجوي حتى بلغ نسبة (161.5%) من مستويات العصر ما قبل الصناعي بسبب زيادة الانبعاثات من المصادر البشرية المنشأ. وتشير الدراسات التي يجريها برنامج المراقبة العالمية للغلاف الجوي (GAW) التابع للمنظمة العلمية للارصاد الجوية (WMO) إلى أن الأسباب المرجحة لتلك الزيادة هي زيادة انبعاثات الميثان من الأراضي الرطبة في المناطق المدارية ومن المصادر البشرية.





3. أكسيد النتروز N_2O:

يساهم أكسيد النيتروز بنحو (7%) في ظاهرة الاحتباس الحراري الناجم عن غازات الاحتباس الحراري، وهو ثالث أهم عنصر يساهم في ظاهرة الاحتباس الحراري. وينبعث أكسيد النيتروز في الغلاف الجوي من مصادر طبيعية (57% تقريبا) ومصادر بشرية (43% تقريباً)، بما في ذلك المحيطات والتربة وحرق الكتلة الأحيائية واستخدام الأسمدة والعمليات الصناعية المختلفة. وفي عام 2022 بلغ تركيزه 334.5 جزء في المليار، وبنسبة 24 % عن مستوى عصر ما قبل الثورة الصناعية عام 1750م (حيث كان يبلغ 270.1 جزء في المليار في حينها).

وبلغ معدل زيادة غاز أكسيد النتروز في عام 2022 (1.3 جزء في المليار أو بنسبة 0.39%) عما كانت عليه في عام (2021) وبلغ متوسط الزيادة السنوية المطلقة في السنوات العشر الأخيرة (2012–2022) حوالي (1.01 جزء في المليار).

4. غازات الاحتباس الحراري الأخرى:

تشكل مركبات الكلوروفلوروكربون (CFCs) المستنفدة لطبقة الأوزون الستراتوسفيري، إلى جانب الغازات الهالوجينية الضئيلة، نحو (11%) من ظاهرة الاحتباس الحراري الناجم عن غازات الاحتباس الحراري المعمرة (LLGHGs)، وبينما تتناقص مركبات الكلوروفلوروكربون (CFCs) ومعظم الهالونات، فإن بعض مركبات الكربون الهيدروكلوروفلورية (HCFCs) مركبات الكربون الهيدروفلورية(HFCs) ، وهي غازات قوية أيضا من غازات الاحتباس الحراري، تتزايد بمعدلات حثيثة نسبيا؛ ومع ذلك، فإنها لا تزال منخفضة في الوفرة فهي عند مستويات الجزء في المليار. ورغم أن وفرة سداسي فلوريد الكبريت (SF) منخفضة بشكل مماثل، فإنه من غازات الاحتباس الحراري المعمرة (LLGHGs) القوية للغاية. وتنتجه الصناعات الكيميائية، إذ يستخدم في الأساس كعازل كهربائي في أجهزة توزيع الطاقة. ويبلغ كسره الجزيئي الحالي أكثر من ضعف مستواه المرصود في منتصف تسعينات القرن الماضي.

5. الهيدروكربونات HC:

تتشكل نتيجة لعملية الاحتراق غير الكامل، فعندما تسير السيارة على الطرق السريعة وبسرعة 90 كم / ساعة تكون كفاءة المحرك مرتفعة وبالتالي تكون الهايدروكاربونات المتشكلة قليلة ولكن الصورة تختلف داخل المدينة ففي كل مرة تزداد فيها سرعة المحرك أو تبطئ يفقد المحرك كثيراً من كفاءته وعندها يكون الاحتراق غير الكامل وتزداد الهيدروكربونات التي تنطلق مع عوادم السيارات وخاصة عند احتراق البنزين. لهذه الملوثات تأثيرات ضارة على النبات كما انه يسبب تهيج للعيون ويجمع الباحثون على أن هذه المادة من أخطر الملوثات المسببة للسرطان، كما تعد الهيدروكربونات مواد سامة تسبب أمراضاً خطيرة مثل تلف الكلى والكبد والتحجر الرئوي والتهابات الجهاز التنفسي ويزداد خطرها بما تنتجه من مشتقات ثانوية نتيجة تعرضها وتفاعلها مع اكاسيد النتروجين في وجود ضوء الشمس لتتكون مركبات يطلق عليها الضبخان الكيموضوئي.

6. أكاسيد النيتروجين NO_X:

أكاسيد النيتروجين عديدة أشهرها غاز ثاني أكسيد النيتروجين (NO_2) ، وغاز أول أكسيد النيتروجين (NO)، وتتكون هذه الأكاسيد عند اتحاد الأكسجين والنيتروجين، تحت درجات حرارة عالية ، كاحتراق البنزين ، والغاز في المركبات، وهذه الغازات تعتبر سامة ، أما إذا وصلت نسبتها في الهواء إلى (0.07%) فإنها تؤدي إلى الموت خلال نصف ساعة. ويعتبر عادم المركبات، ومصانع حامض النيتريك، ومحطات توليد الطاقة الكهربائية من أهم مصادر أكاسيد النيتروجين. وتساهم غازات أكسيد النيتروجين مع المركبات الهيدروكربونية مع وجود ضوء الشمس في تكوين الضبخان الكيموضوئي التي نشاهدها في سماء المدن الصناعية، وتبلغ نسبته في الهواء النقي قرابة (100 ملغم/م3) فإذا زادت هذه النسبة يعد الهواء ملوثاً.

ومن اثاره يؤدي إلى ظهور إمراض مختلفة للجهاز التنفسي، كما يعد من مسببات امراض الربو، وإزالة ألوان المنشآت وتقليل معدل نمو النباتات وتساقط اوراقها.

7. أكاسيد الكبريت SO_X:

أكاسيد الكبريت عديدة ، وأشهرها على الإطلاق غاز ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) ، ويتصف هذا الغاز بأنه عديم اللون ، قابل للاشتعال ، له رائحة نافذة إذا تجاوز تركيزه (3 جزء في المليون) . يتصاعد غاز ثاني أكسيد الكبريت من حرق الكبريت ، أو الكبريتيد ، أو مركبات الفحم ، والبترول المحتوي على مركبات الكبريت ، حيث يوجد الكبريت في الفحم ، والبترول بنسب متفاوتة ، ويؤثر ثاني أكسيد الكبريت على الأغشية المخاطية

، ويسبب التهاباً في الجهاز التنفسي ، كما يسبب السعال وعدم الراحة ، وإذا وجد هذا الغاز بتركيز (5 جزء في المليون) فإن هذا مؤشر لوجود تلوث خطير ، كما يؤثر هذا الغاز على النباتات، وبصفة عامة يمكن القول إن غازات الكبريت ، وما ينتج عنها من ملوثات ثانوية ، من أخطر ملوثات الهواء على النظام البيئي ، فهي شديدة الخطورة لكل من الإنسان والحيوان والنبات على حد سواء . أما الحد المسموح به كمعدل يومي لتركيز غاز ثاني أكسيد الكبريت حسب قياسات الفدرالية الأمريكية فهو (0.1 جزءاً في المليون).

8. كبريتيد الهيدروجين H_2S:

يتصف هذا الغاز برائحته الكريهة التي تشبه رائحة البيض الفاسد ، ينتج من تخمر المخلفات البشرية السائلة ، ومن احتراق المواد التي تحتوي على الكبريت ومن الصناعات الجلدية ، وتكرير البترول ، وصناعة المطاط ، وهو من الغازات شديدة السمية يدخل في الجسم إما عن طريق التنفس أو عن طريق الجلد، وهو بهذا يؤثر على الجهاز العصبي المركزي ، مما يؤدي إلى حدوث اضطرابات في التنفس ، والحد من قدرة التفكير ، كما يسبب التهابات في الحنجرة ، والقصبات الهوائية، أما الحد الأعلى المسموح به فهو يتراوح ما بين (0.003–0.008) جزء في المليون وإذا زاد مثلاً إلى (100 جزء في المليون لعدة دقائق) فإنه يتلف حاسة الشم فوراً .

9. الأوزون O_3:

يتواجد هذا الغاز في المستويات المنخفضة في الجو ، وتتزايد درجة تركيزه نتيجة الملوثات المتزايدة المنطلقة من عوادم السيارات، يتواجد في الهواء الطبيعي بنسبة (0.02 جزءاً في المليون)، أما إذا بلغت درجة تركيزه (2–1.5 جزءاً في المليون)، فإنه سيترك آثاراً مرضية متمثلة في التهاب العيون، والحنجرة ، والرئتين ، ويلعب هذا الغاز في طبقات الجو العليا دوراً هاماً في حماية الكرة الأرضية من الأشعة فوق البنفسجية، ويتفاوت تركيزه في الطبقات السفلى تبعاً لساعات اليوم حيث يرتفع عند الظهر في المدن والضواحي السكنية . كما يؤثر الأوزون في النباتات فيسبب تبقع الأوراق.

ب- تلوث الهواء بالعناصر الثقيلة:

1. الرصاص Lead:

يعد الرصاص من أكثر المعادن السامة انتشاراً في الهواء، وهو أخطرها على الإطلاق، لذا فإن هذا المعدن جدير بأن يهتم به أكثر من غيره ، لما له من أضرار بالغة ، والسبب في ذلك أن المعادن لا توجد بنسب عالية إلا في بعض المناطق ، أي أن انتشارها محدود ، بينما الرصاص يعتبر معدناً واسع الانتشار ، ويعتبر ملوثاً عالمياً ، وللسيارات الدور الأساسي في ذلك، إذ يستخدم في إنتاج بعض المركبات العضوية (رابع اثيلات ورابع مثيلات الرصاص) التي تضاف إلى البنزين لرفع كفاءته ولمنع الفرقعة في مكان الاحتراق الداخلي بنسبة (2 غم) من الرصاص لكل (4.5 لتر) وان (90%) من الرصاص الموجود في هواء المدن مصدره من عادم السيارة.ويستخدم الرصاص ومركباته كمواد خام كذلك ، كما هو الحال في صناعة مبيدات الحشرات ، والدهانات ، وصناعة البطاريات

أما تأثيراته الصحية فبالغة الخطورة على الدماغ والجهاز العصبي فقد تسمم بعض الخلايا للدماغ وظهور علامات السلوك العدواني ويعد فقر الدم أحد الأعراض المرافقة للتسمم بالرصاص. وتبلغ نسبته في الهواء النقي 100 مايكروغرام / سم^3 ويعد الهواء ملوثاً إذا زادت النسبة أكثر من ذلك.

2. الزئبق Mercury:

يعتبر الزئبق المعدن الوحيد الموجود في حالة السيولة، ويتبخر عند درجات الحرارة العادية ويدخل الهواء على شكل بخار الزئبق، ويستخدم هذا العنصر في صناعة الأدوات الكهربائية ، وصناعة الكلور ، ومحطات الطاقة الكهربائية العاملة على الفحم الحجري ، ومعامل تصنيع الزنبق ، ويستخدم كمبيد للفطريات . ويعتبر بخار الزئبق أخطر أشكال الزئبق، حيث إنه ينفذ إلى الرئتين، ثم ينتقل ليتراكم في الدماغ وأجزاء أخرى من الجسم مسبباً بذلك تسممات مختلفة تظهر على هيئة التهاب اللثة ، وتلف الكلية. والتعرض لفترة طويلة لتركيزات منخفضة من بخار الزنبق يؤدي إلى تشوهات جنينية، وإلى التخلف العقلي عند الأطفال. أما الحد المسموح به في الاتحاد السوفيتي مثلاً خلال ٢٤ ساعة لا يزيد عن 0.0003 مليجرام / م^3.

3. الكادميوم Cadmium:

تنطلق جسيمات الكادميوم إلى الهواء بسبب استخدامه في صناعات متعددة، فمركبات الكادميوم تستخدم كعوامل مضادة للاحتكاك، كما يستخدم في الصناعات الكهربائية، وتكمن خطورة هذا العنصر في خاصية التراكم الحيوي لهذا العنصر، حيث تتساقط جسيماته، وتغسل من الهواء مع الأمطار، ثم تتركز في أنسجة النباتات، ومنها إلى الحيوانات، ومنه إلى جسم الإنسان. هذا وقد يسبب تركيز الكادميوم بعض أنواع السرطان ، ونظراً لخطورته فقد حددت الولايات المتحدة الأمريكية الحد الأعلى المسموح به ، كما حددته هيئة حماية البيئة وهو 0.1 مليجرام /م^3 على هيئة أبخرة، أما إذا كان على هيئة جسيمات حاملة للكادميوم فإن الحد الأعلى المسموح به هو 0.2 ميكروغرام /م^3.

ج- تلوث الهواء بالجسيمات:

الجسيمات أو الدقائق في لغة التلوث الهوائي تشمل مواد صلبة، أو سائلة منتشرة في الجو وبأحجام تتراوح بين جزئيات صغيرة قطرها حوالي 0.0002 ميكرون، وجسيمات كبيرة قطرها حوالي 500 ميكرون، هذه الذرات ممكن أن تترسب في ثوان وقد تستقر في الجو لعدة أشهر وبصفة عامة يمكن القول إن الجسيمات المنتشرة في الهواء تنتج من رش السوائل، أو سحق المواد الصلبة وانتقال الرذاذ أو المساحيق إلى الجو كعوالق بواسطة الاهتزاز، أو حركة الرياح.

د- الملوثات الثانوية للهواء:

تتكون الملوثات الثانوية للهواء نتيجة لتفاعل الملوثات الهوائية الأولية مع الملوثات الغازية بمساعدة أشعة الشمس كمصدر للطاقة، أي انطلاق ملوثات أولية متعددة إلى الهواء مع توفر الأكسجين والنيتروجين وبخار الماء وأشعة الشمس يؤدي ذلك إلى دخول هذه الملوثات في تفاعلات كيميائية تؤدي إلى تكوين ملوثات أخرى هي الملوثات الثانوية والتي من أشهرها الضباب الدخاني او الضبخان (Smog) والمطر الحمضي (Acid rain) ولها آثار بالغة على عناصر البيئة لا تقل خطورة عن تأثيرات الملوثات الأولية .