محاضرة تلوث الهواء (Air Pollution Lecture)

تلوث الهواء مصادره وأضراره

الهواء هو ذلك الجزء من الغلاف الجوي الأقرب إلى سطح الأرض والذي عندما يكون جافاً وغير ملوث فانه يتكون من عدة غازات أهمها غاز النتروجين الذي يؤلف 78.09% منه وغاز الأوكسجين الذي يؤلف ما نسبته 20.94% والآركون بنسبة 0.93% وثاني أوكسيد الكاربون بنسبة قليلة جدا لا تزيد في الهواء النقي على 0.032% وهذه الغازات الأربعة تكون في مجموعها 99.99% من حجم الهواء[20]. إضافة إلى غازات أخرى كالنيون والهليوم وغيرها وهذا ما يوضعه الجدول رقم (1).

جدول رقم (1): تراكيز مكونات الهواء الجاف غير الملوث.

الغاز	الرمز الكيميائي	التركيز	الغاز	الرمز الكيميائي	التركيز
النتروجين	N_2	%78.09	الكربتون	KR	1 ملغم/لتر
الأوكسجين	O_2	%20.94	الهيدروجين	H_2	0.5 ملغم/لتر
الآركون	Ar	%0.93	أول أوكسيد النتروجين	N_2O	0.25 ملغم/لتر
ثاني أوكسيد الكاربون	CO_2	%0.032	أول أوكسيد الكاربون	CO	0.1 ملغم/لتر
النيون	Ne	18 ملغم/لتر	الأوزون	O_3	0.02 ملغم/لتر
الهليوم	He	5.2 ملغم/لتر	ثاني أوكسيد الكبريت	SO_2	0.001 ملغم/لتر
الميثان	CH_4	1.3 ملغم/لتر	ثاني أوكسيد النتروجين	NO_2	0.0001 ملغم/لتر

لقد عرف الإنسان تلوث الهواء قديماً عندما كان يعيش في الكهوف ويشعل النار داخلها وعرف عند الفراعنة وفي العراق بمنطقة بابل وفي أوروبا خاصة إنجلترا. يعد تلوث الهواء من أخطر أنواع التلوث لسببين:

الأول: هو محدودية الغلاف الجوي فالغلاف الجوي الذي يحيط بالأرض و الذي يبلغ سمكه بضع عشر كيلومتراً يكاد يكون كقشرة التفاحة إلى التفاحة نفسها لو قارناه بحجم الكرة الأرضية.

الثاني: أن الإنسان يستهلك ما يزيد على 15 كيلو غراماً يومياً من الهواء مقارنة بثلاث كيلوغرامات من الماء و كيلوغرام من الغذاء. وهذه الحاجة المستمرة للهواء تجعل الاختيار أمام الإنسان معدوماً إذ لابد من للإنسان أن يتنفس الهواء المتوفر مهما كانت نوعيته و درجة تلوثه في حين قد يستطيع تجنب شرب الماء الملوث أو أكل الغذاء الفاسد.

ولا يعني ذلك إهمال تلوث الماء أو الغذاء بل الحاجة ماسة إلى تجنب كل تلك المشاكل ولكن القصد بذلك إبراز أهمية دراسة نوعية الهواء حتى نطمئن على صحتنا و على صحة أبنائنا خاصة إذا عرفنا أن أكثر الناس تأثراً بالتلوث هم الأطفال.

وقد حدثت كثير من الكوارث البيئية بسبب تلوث الهواء والتي راح ضحيتها أعداد كثيرة من الناس. فهناك كارثة حدثت في بلجيكا عام 1930م حيث مرض ومات المئات خلال ثلاثة أيام بسبب تراكم الملوثات في الهواء وفي أمريكا عام 1948م خلال أربعة أيام من تراكم الملوثات مرض ما يزيد عن 14000 شخص. ولكن أشهر حادثة لتلوث الهواء كانت في عام 1952م في مدينة لندن حيث مات ما يقارب 4000 شخص في مدة لا تزيد عن عشرة أيام بسبب تلوث الهواء. وفي عام 1956م تكرر الحدث ومات 1000 شخص. وفي عام 1959م عقد أول مؤتمر عالمي لمناقشة مشكلة تلوث الهواء في مدينة لندن.

تعريف تلوث الهواء Air Pollution Definition

يعرف تلوث الهواء بأنه وجود مادة أو أكثر في الغلاف الجوي على شكل غاز أو أتربة أو رذاذ أو دخان أو بخار بكمية وصفات ولمدة زمنية يمكن أن تسبب ضرر للإنسان أو الحيوان أو الممتلكات أو التي تسبب التأثير السلبي على راحة و سعادة

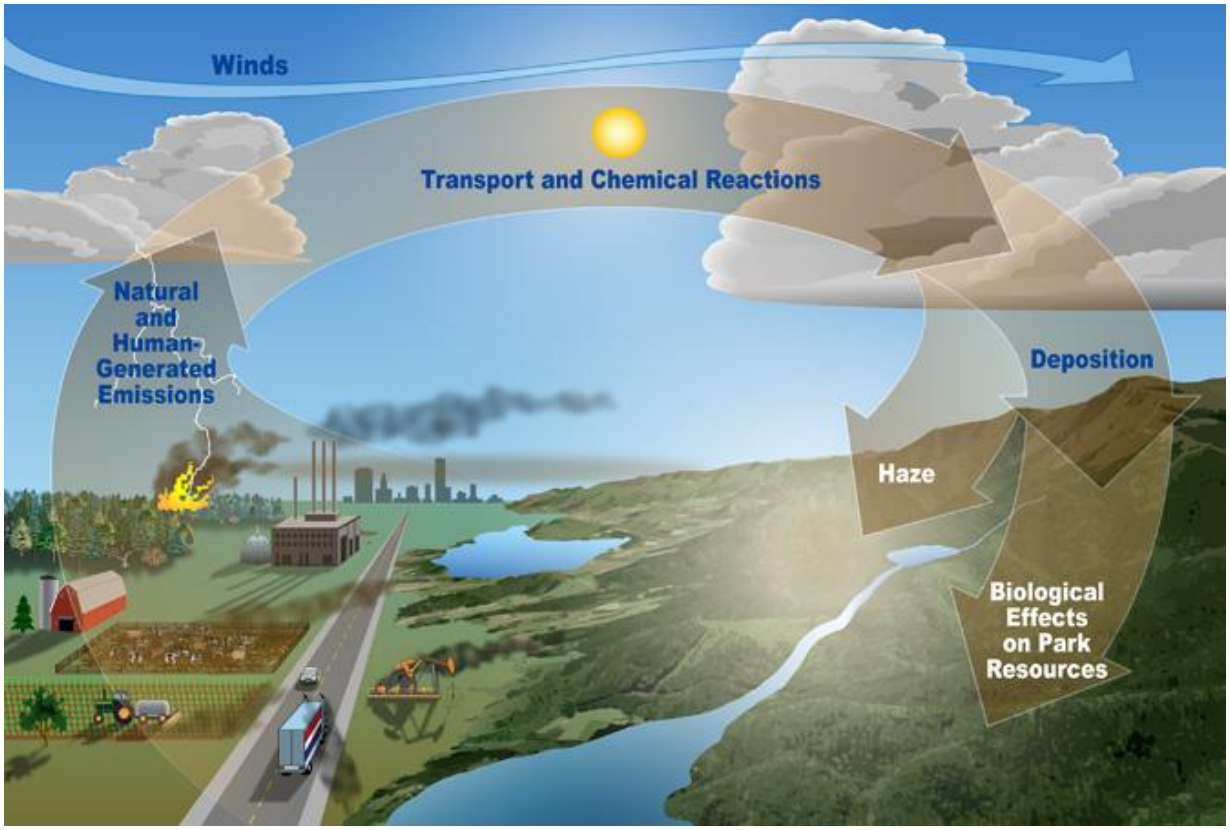
الإنسان. عرف خبراء منظمة الصحة العالمية تلوث الهواء بأنه الحالة التي يكون فيها الجو خارج أماكن العمل محتوياً على مواد بتركيزات تعتبر ضارة بالإنسان أو بمكونات بيئته .

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. ويعد الهواء ملوثاً إذا حدث تغيير في تركيبه لأي سبب، وإذا ما اختلطت به بعض الشوائب أو الغازات الأخرى بمقدار قد يضر بالحياة.

كما أن تلوث الهواء يكون بأي تغير كمي أو كيفي يطرأ على عناصره أو تركيبه وله أثر سيئ على صحة الإنسان ، أو على مصالحه الاقتصادية ، أو يكون له أثر يحدث خللاً في الانتظامات البيئية .

ويتلوث الهواء عندما تتواجد فيه مواد غازية ، أو صلبة ، أو سائلة ، تحدث تغير هام في نسب الغازات المكونة له ، بحيث تؤدي هذه التغيرات إلى تأثيرات ضارة ، مباشرة أو غير مباشرة على الكائنات الحية المكونة للنظام البيئي ، أو تجعل الظروف التي تعيش فيها هذه الكائنات غير ملائمة أو تسبب خسائر مادية.

وقد يرتبط تلوث الهواء بأماكن محلية كالمدن الكبرى ، والتجمعات الصناعية ، أو قد يكون عالمياً عندما تنتشر الملوثات على مساحات كبيرة جداً مثل وصول بعض الملوثات الإشعاعية من دولة إلى أخرى .



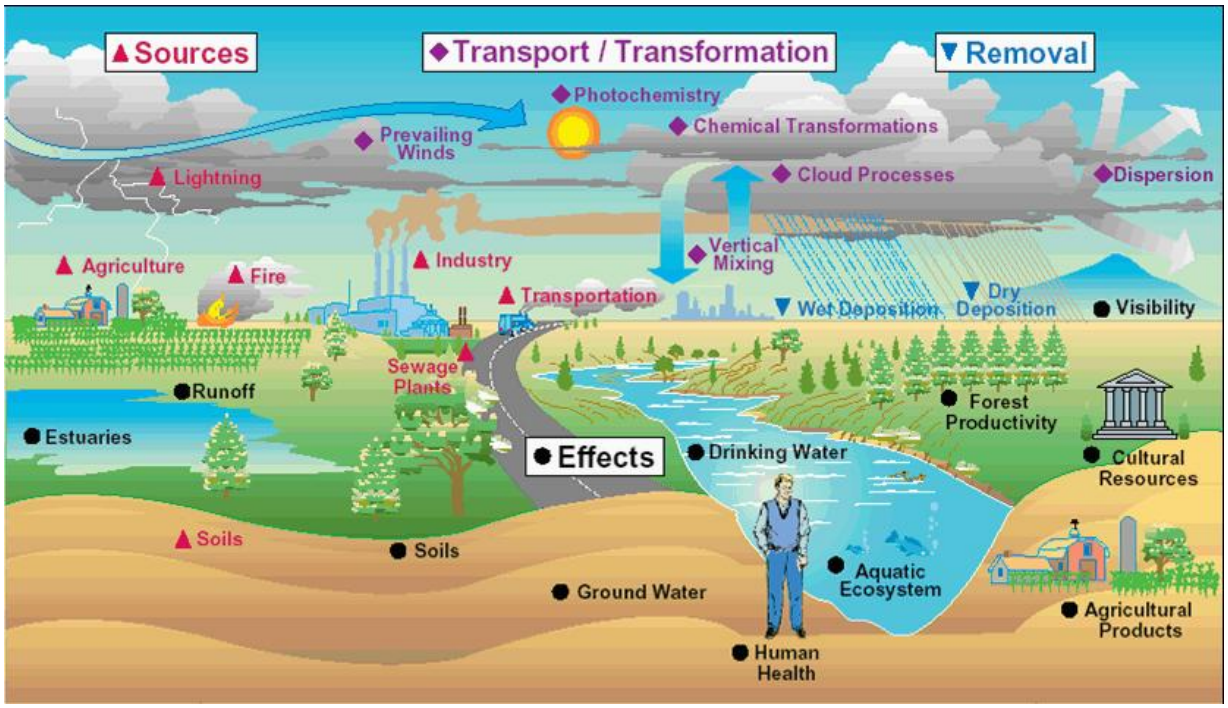
ونجد في الغالب أن مشكلة تلوث الهواء ترتبط بعملية الاحتراق أو بمعنى آخر أن عملية الاحتراق تؤدي إلى مشكلة تلوث الهواء.

فالمصادر المختلفة تطلق الكثير من الغازات والجسيمات الضارة إلى الهواء محدثة تغير في المكونات الطبيعية وبالتالي تكون مشكلة تلوث الهواء والتي تنعكس آثارها على الإنسان و البيئة.

نظام تلوث الهواء (Air Pollution System).

ويقصد بنظام تلوث الهواء هي المحاور التي يرتكز عليها في دراسة المشكلة فنجد أن المشكلة تبدأ من المصادر التي تبعث بالملوثات للهواء ثم بعد ذلك انطلاق هذه الملوثات في الهواء وتأثير الظروف الجوية عليها وهي الظروف الفيزيائية – اتجاهها

وتركيزها كذلك تأثير الظروف الكيميائية وهي التفاعلات التي تحدث في الجو سوءا تفاعلات ضوء كيماوية أو غيرها ثم بعد ذلك المستقبلات لهذه الملوثات أو مصير هذه الملوثات وهذه تقودنا إلى التفكير في قضية التحكم في المشكلة حيث يجب أن تكون في المصدر.



ويمكن تلخيص ذلك في بما يلي:

المصادر ← الجو (الظروف الجوية الفيزيائية والكيميائية) ← المستقبلات (إنسان، حيوان، نبات، جماد).

التحكم

مصادر تلوث الهواء Air Pollution Sources :

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

أولاً : 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 : البراكين وفي أثناء ثورانها تنطلق منها غازات ومواد صلبة إلى الجو ، ويمكن لهذه المواد الصلبة الدقيقة أن ترتفع إلى مسافات بعيدة قد تصل إلى طبقة الستراتوسفير (حوالي 55كم 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 .

كما أن بعض الحمم التي تطلقها البراكين ، قد تحتوي على نسبة عالية من الكبريت المنصهر ، ويحتوي بعضها على الغازات الذائبة فيها ، مثل : غاز كبريتيد الهيدروجين ، أو غاز ثاني أكسيد الكبريت ، وفي بعض الأحيان قد تحتوي على غاز كلوريد الهيدروجين ، وهذه الغازات حمضية التأثير ، لذا فهي شديدة الضرر بالبيئة ، وعندما تذوب في مياه الأمطار تلوث المجاري

المائية ، وترفع من درجة حموضتها ، كما وترفع من درجة حموضة التربة المجاورة لها ، وتدمر ما بها من محاصيل.

إضافة إلى الغازات المنبعثة في الجو من الانفجار البركاني، تنطلق أيضاً كميات ضخمة من الذرات البركانية الصلبة ، وخاصة الغبار الناعم ، وتقدر هذه الكمية بآلاف الأطنان ، وتبقى عالقة في الجو عدة أشهر مؤثرة بذلك على الإشعاع الشمسي، وبالتالي على درجة حرارة سطح الأرض .

2) الرياح والعواصف:

تلعب الرياح والعواصف دوراً هاماً في تلوث الهواء لما تحمله من تراب، غبار ورمال ويبدو دورها واضحاً في المناطق الجافة والأراضي القاحلة، اذ 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 187 طناً على الكيلو متر المربع في الشهر، وفي الكويت بلغت كمية الغبار والأتربة المترسبة خلال شهر آب من عام 1978م حوالي 239 طناً على الكيلو متر المربع وفي الولايات المتحدة قدر المتوسط الشهري بحوالي 30 مليون طن في عام 1970م.

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 التروبوسفير ، ينتج عن هذه الحرائق انطلاق كميات ضخمة من الغازات المختلفة، مثل غاز ثاني أوكسيد الكربون، أول أكسيد الكربون، إضافة إلى جزئيات الرماد الدقيقة التي تنطلق إلى الجو والتي تؤدي إلى تلوث الجو بشكل واضح .

ولعل من أشهر الحرائق في العصر الحديث ما شهدته غابات "التابغا" في سيبيريا في الأيام الأخيرة من شهر أبريل 1987م، والذي استمر مدة تزيد على خمسة عشر يوماً، والذي قضى على مساحات شاسعة من الغابات حوالي (35000هكتار) وأطلق آلاف الأطنان من الملوثات إلى الهواء .

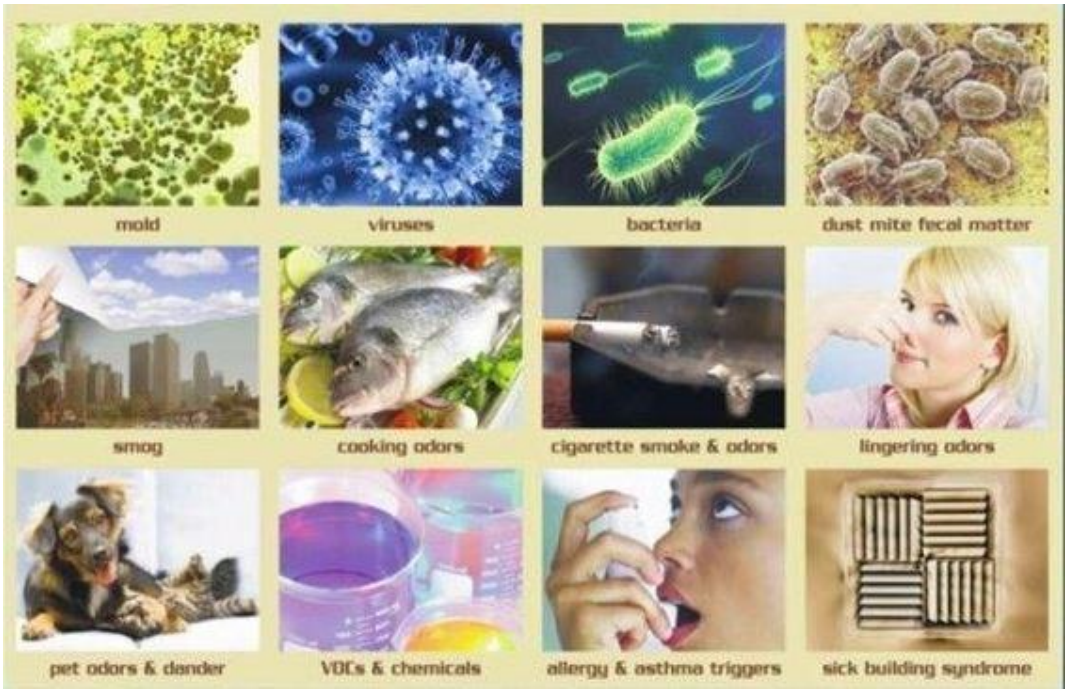
4) حبوب اللقاح :

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) ، وتم تقدير حوالي مليون طن من حبيبات اللقاح فوق أرض الولايات المتحدة الأمريكية في العام 1970م .

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.



تنتشر في الهواء أنوع عديدة من البكتريا والفطريات في حالة ساكنة وتصيب الإنسان إذا توفرت الظروف الملائمة. ومن أجناس البكتريا (Streptococcus، Corynebacterium، Yersinia، Mycobacterium)، أما الفطريات فتشمل(Pentium، Candida، Aspergillus). ويعد فيروس الأنفلونزا أكثر الفيروسات انتشاراً في الهواء. تستخدم الميكروبات في الحروب الجرثومية لسهولة انتشارها في الهواء وتسبب أمراضاً فتاكة بالإنسان ومن اشهر هذه الميكروبات في وقتنا الحاضر الجمرة الخبيثة التي تسببها Bacillus anthrax ويعد الهواء موصل جيد للعدوى مثل الطاعون (Pasture plague Upsets) والجدري الذي يسببه فيروس (Small pox) .

ثانياً: المصادر البشرية لتلوث الهواء:

إن 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 اندفاعا محموماً 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 الأوكسيجينية 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 رقم (2)

جدول رقم (2) المواد الملوثة الناتجة عن محركات الاحتراق الداخلي من المادة الملوثة لكل من الوقود

المادة الملوثة	محرك البنزين غم/كغم	محرك الديزل غم/كغم
ثاني أكسيد الكربون	180	191
ثاني أكسيد الكبريت	0.139	3.48
أكاسيد النيتروجين	2.200	15.08
أول أكسيد الكربون	301.600	9.28
سناج	0.220	1.16
هيدروكربونات غير محترقة	52.200	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.

والسيارة بجميع أجزائها تطلق مخلفات إلى الهواء، وتكمن الخطورة في انبعاثات السيارات في أنها تطلق ملوثاتها ومخلفاتها في نفس المستوى الذي يتنفس فيه الإنسان، والجدول رقم (3) يبين أجزاء السيارة والملوثات المنطلقة من كل جزء من هذه الأجزاء .

يلاحظ من خلال الجدول أن غالبية الملوثات تصدر عن العادم، إذ إنه المصدر الوحيد الذي تخرج منه الغازات بعد عملية الاحتراق، وكذلك تنتج ملوثات أخرى عن كل من الفرامل، والكاربوريتر، ومخزن الوقود، وفلتر الهواء، وشمعات الاحتراق، بمعنى أن السيارة بجميع أجزائها مصدر فعال في تلوث الهواء، إذ تعتبر السيارات هي المسئولة عن حقن الجو بحوالي 60% من ملوثات الهواء، ولا غرابة في ذلك، فعدد السيارات في العالم كان في العام 1982 حوالي 331 مليون سيارة ، وأصبح في سنوات التسعينات حوالي

400 مليون سيارة، وعلى سبيل المثال فإن مدينة القاهرة بلغ عدد السيارات فيها من مطلع التسعينات حوالي 650000 سيارة تستهلك حوالي 1.25 مليون طن من الوقود، ينتج عنها حوالي 100 ألف طن نواتج احتراق.

جدول رقم (3) الملوثات الناتجة عن أجهزة السيارات

الرقم	المصدر	ملوثات الهواء
1-	العادم	غاز أول أكسيد الكربون، جسيمات هيدروكربونية، غاز ثاني أكسيد الكربون، أكاسيد النيتروجين، السناج، جسيمات الرصاص بهيئة مركبات، ثاني بروميد الإيثلين ، مادة البنزوبيرين .
2-	الكاربوريتر	هيدروكربونات ، غاز أول أكسيد الكربون ، غازات هيدروكربونية .
3-	مخزن الوقود	هيدروكربونات، أكرولين، الدهايدات (فورمالدهيد، بروماليهيد، استيلدهيد) .
4-	فلتر الهواء	غاز أول أكسيد الكربون .
5-	شمعات	غازات هيدروكربونية
6-	الفرامل	جسيمات الاسبستوزات .

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 ، وفي دراسة (الدمنهوري 1989) حول تقييم بعض الآثار البيئية الناجمة عن التلوث الجوي بغبار الإسمنت في مدينة الفحيص في مجالات صحة الإنسان وراحته وبعض ممتلكاته وأوراق بعض الأشجار المثمرة . وكانت أهم النتائج التي توصل إليها الباحث أن الهواء في مدينة الفحيص يعتبر هواءً ملوثاً يهدد صحة الإنسان، ويلحق أضراراً ببعض النباتات والممتلكات ، وأن تركيز الغبار في جو المنطقة يصل في بعض الأحيان إلى 164 ميكرو جرام/م^3 .

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 130م^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 .

الوحدات المستخدمة في تلوث الهواء Air Pollution Units.

إذا أردنا أن نقيم مشكلة تلوث الهواء يجب أن يكون لدينا مقياس أو وحدات لقياس تركيز الملوثات في الهواء. والوحدات المستخدمة لقياس تركيز الملوثات في الهواء متعددة فهناك الوحدات التي تكون على شكل كتلة على حجم (غم/م^3 أو ميكروغرام/م^3) .

أو يكون على شكل حجم على حجم وهو ما يعرف بـ جزء في المليون أو جزء في البليونppm،ppb .

كما أن هناك علاقة بين الوحدتين الأساسية وهي كالتالي:

$$ppm = (\mu g/m^3 \times 24.5) / (MW \times 10^3)$$

علما أن MW هو الوزن الجزيئي للملوث. وهذه العلاقة تتحقق في ظروف جوية تحت ضغط جوي 1 .p= 1 atm ودرجة حرارة 25م.

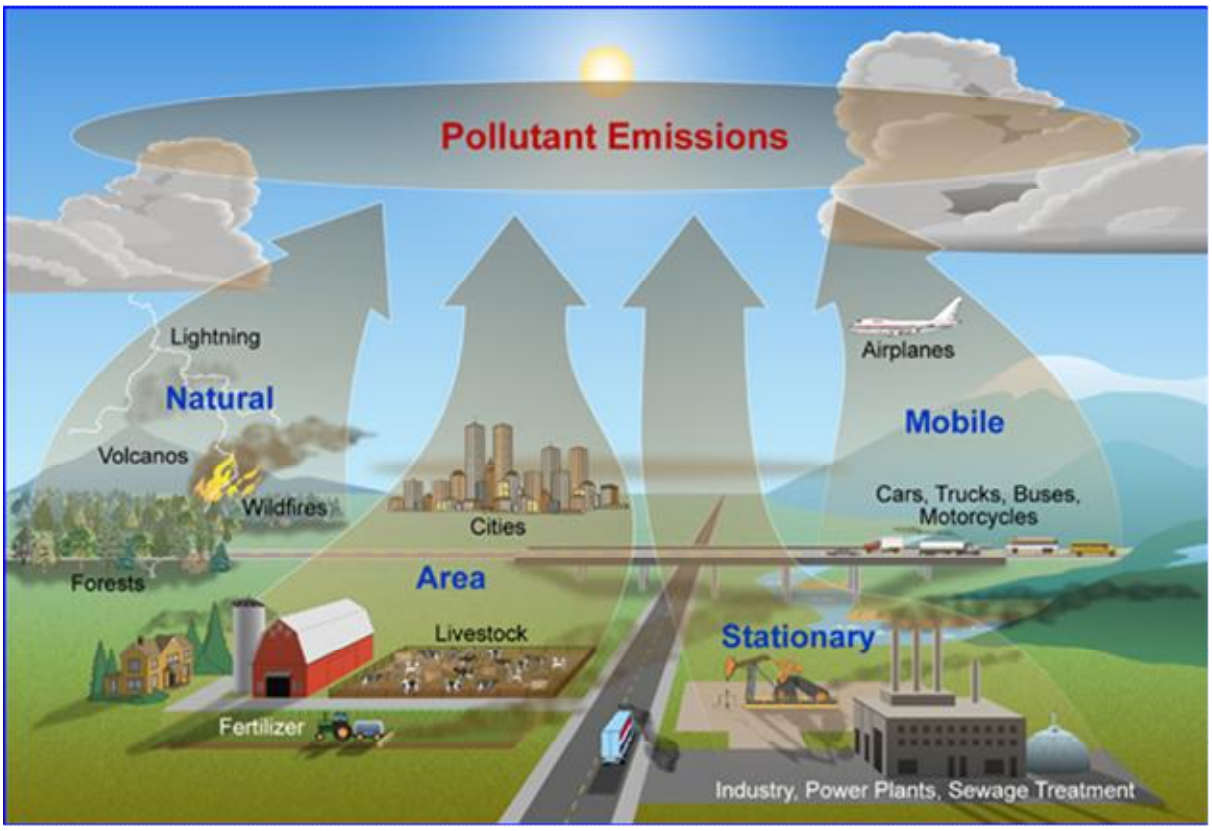
معامل الانبعاث Emission Factors

معامل الانبعاث هو كمية الملوثات المنبعثة من استهلاك كمية من الوقود وهو معامل محسوب في ظروف متحكمة لانواع المركبات المختلفة حسب نوع الوقود المستخدم وكميته وظروف التشغيل (من سرعة وحالات المحرك المختلفة) ويكون على شكل جداول. والوحدة المستخدمة لقياس معامل الانبعاث هي كجم/ طن (كتلة/كتلة) للمصادر الثابتة في الغالب، و كجم / 1000كم (كتلة / مسافة) للمصادر المتحركة (المركبات).

جدول 4 معامل الانبعاث لبعض الغازات المنبعثة من المركبات وهي الكمية المنبعثة بالغرام عندما تسير المركبة 1000كم.

جدول (4) معامل الانبعاث للملوثات من المركبات.

نوع المركبة	الوحدة	الجسيمات غم/ للوحدة	SO_2 غم/للوحدة	NO غم/للوحدة	الهيدرو–كربون غم/للوحدة	CO غم/ للوحدة
مركبات البنزين	1000كم	2	0.54	10.3	14.5	377
مركبات الديزل	1000كم	2.4	19 الكبريت	11	2.6	43.5



كما أن هناك معامل انبعاث لكل وقود يحرق ولكل صناعة وتكون الوحدة كجم من الغاز أو الملوث لكل طن من المادة الوقود المحترق فمثلا احتراق طن من الزيت ينتج 20.1(نسبة الكبريت) كجم من ثاني أكسيد الكبريت.

ملوثات الهواء (Air Pollutants)

ينطلق إلى الهواء إما من المصادر الطبيعية ، أو البشرية ، العديد من الملوثات الصلبة ، والسائلة ، والغازية ، بنسب وتركيزات متفاوتة، وهذه من شأنها أن تلحق ضرراً بالإنسان والحيوان والنبات وحتى الجماد فالصناعات المختلفة ووسائط النقل تساهم في إنتاج قدر كبير من ملوثات الهواء إضافة إلى الملوثات التي تنطلق من محطات توليد الطاقة والغازات المنبعثة من أماكن حرق النفايات الصلبة ، هذه كلها وغيرها تساهم في تركيز بعض العناصر في الهواء .

وتنقسم ملوثات الهواء إلى عدة أقسام :

- تلوث الهواء بالغازات .
- تلوث الهواء بالعناصر الثقيلة .
- تلوث الهواء بالجسيمات .
- الملوثات الثانوية للهواء .

أولاً : تلوث الهواء بالغازات :

1) أكاسيد الكربون :

والمقصود بغازات الكربون هما غاز أول أوكسيد الكربون (CO)، وغاز ثاني أوكسيد الكربون (CO_2)، ينتج غاز أول أكسيد الكربون من الاحتراق غير الكامل للوقود المحتوي على المواد العضوية، ومن صفات هذا الغاز أنه لا لون ولا طعم ولا رائحة له، وينحل في بلازما الدم بقدر ما ينحل في الماء، ودرجة انحلاله في الماء قليلة، يمكنه أن يحترق، لكنه لا يساعد على الاحتراق. ويعتبر غاز أول أكسيد الكربون 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 وقد يسبب الموت . ويعد هذا الغاز من أكثر الغازات الملوثة للهواء سميّة وتقدر كمية أول أكسيد الكربون المنتجة عالمياً بحوالي 300 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 0.1 جزء في المليون ، وعندما يتعرض الإنسان إلى جو يحتوي على 15 جزء في المليون من هذا الغاز، فإن طاقة جهاز الدوران على حمل الأوكسجين تقل بمعدل 15% أما إذا كانت حركة المرور في بعض الشوارع كثيفة، وارتفع تركيز هذا الغاز إلى 20–30 جزء في المليون، فإن الإنسان غالباً ما يصاب بالصداع ، وضعف الرؤية، والغثيان والإرهاق

أما غاز ثاني أكسيد الكربون فهو عديم اللون والرائحة وذو طعم غير مقبول ، يتراوح تركيزه في الهواء الطبيعي الجاف غير الملوث 303–320 جزء في المليون، وبسبب إطلاق كميات كبيرة من هذا الغاز من مصادر مختلفة على مستوى عالمي، فقد وصل تركيزه في الغلاف الجوي عام 1988م

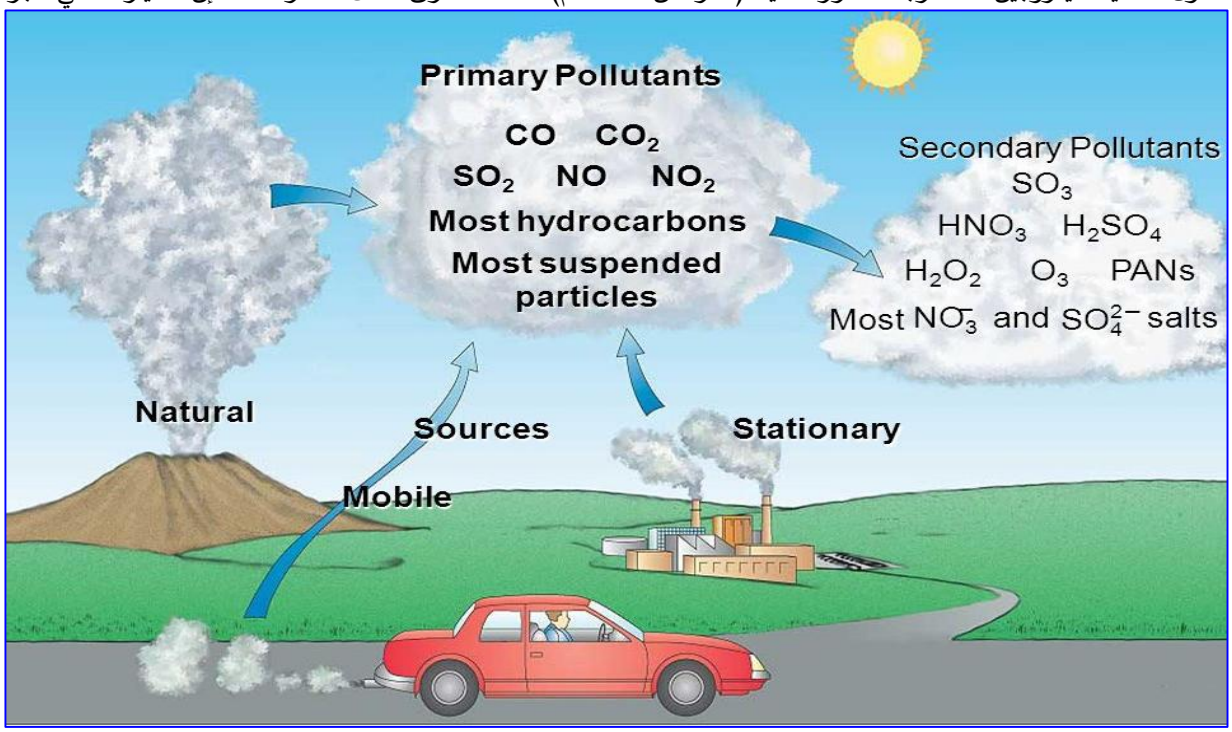
حوالي 346 جزءاً في المليون، وخلال الفترة ما بين 1970–1987م كان معدل إطلاق الغاز إلى الهواء بمعدل 16000–29000 مليون طن سنوياً . ويعتقد أنه توجد زيادة سنوية في تركيز هذا الغاز في الهواء تصل إلى حوالي 0.7 جزءاً في المليون بسبب احتراق الوقود المستخدم مثلاً في التدفئة ، وسائل المواصلات وتوليد الكهرباء ، والصناعات المختلفة ، وحرق الفضلات.

2) أكاسيد النيتروجين :

أكاسيد النيتروجين عديدة أشهرها غاز ثاني أكسيد النيتروجين (NO_2)، وغاز أول أكسيد النيتروجين (NO) ، وتتكون هذه الأكاسيد عند اتحاد الأوكسجين والنيتروجين ، تحت درجات حرارة عالية، كاحتراق البنزين، والسولار في المركبات، وهذه الغازات تعتبر سامة، أما إذا وصلت نسبتها في الهواء إلى (0.07%) فإنها تؤدي إلى الموت خلال نصف ساعة .

ويعد عادم المركبات، ومصانع حامض النيتريك ومحطات توليد الطاقة الكهربائية من أهم مصادر أكاسيد النيتروجين . وتساهم غازات أكسيد النيتروجين مع المركبات الهيدروكربونية في تكوين الغيوم السوداء التي نشاهدها في سماء المدن الصناعية.

تتكون أكاسيد النيتروجين عند درجات حرارة عالية (أكثر من 1000 م) أثناء الاحتراق داخل المحرك لذا فإن السيارات هي اكبر



مصدر لهذه الملوثات. أكاسيد النيتروجين تسبب إثارة الجهاز التنفس للإنسان و عموما مهيجة للأنسجة الحية إذا ما استنشقها الإنسان إذ يمتص الجسم حوالي 60 % منها. كما أنها يمكن أن تتحد مع الهيموجلوبين في الدم حين استنشاقها و تمنع نقل الأوكسجين إلى الخلايا و يتعرض الأطفال أكثر من غيرهم لهذا التسمم. كما أن هذه الأكاسيد تتفاعل مع بخار الماء الموجود في الهواء الجوي تكون أحماض النيتروجين الخطرة كما أن ثاني أكسيد النيتروجين في وجود أشعة الشمس و وجود الهيدروكربونات تتفاعل و تكون غاز الأوزون و الضباب الصناعي الذي يشاهد في سماء بعض المدن المزدحمة وهذه الملوثات تهاجم الأغشية المخاطية و العيون و الجهاز التنفسي .

3) أكاسيد الكبريت :

و تعتمد كميات انبعاثها من المصادر على نسبة الكبريت في الوقود المستخدم. و يعتبر ثاني أكسيد الكبريت من الملوثات الهوائية الخطرة فهو غاز غير قابل للاشتعال وعديم اللون ويؤثر على حس الذوق إذا وصل تركيزه إلى 0.3 جزء في المليون. أما الحد المسموح به كمعدل يومي لتركيز غاز ثاني أكسيد الكبريت حسب قياسات الفدرالية الأمريكية فهو 0.1 جزءاً في المليون 285 ميكرو

غرام/م^3 . ونشعر برائحته الحادة إذا وصل تركيزه 3 أجزاء في المليون ويمكن أن يتأكسد في الجو وينتج ثالث أكسيد الكبريت (SO_3) والذي يتفاعل مع بخار الماء الموجود في الهواء ويكون حمض الكبريتيك (H_2SO_4). كما أن ثاني أكسيد الكبريت والأحماض التي تتكون بسببه تزيد من تأكل المعادن. و يدخل ثاني أكسيد الكبريت إلى الجسم عن طريق جهاز التنفس فيؤثر على الجهاز التنفسي للإنسان والحيوان إذ يعمل على التخرش الشديد على للأغشية المخاطية مسبباً السعال الجاف والألم الصدري والتهاب القصبات الهوائية وضيقاً في التنفس. كما تسبب التركيز العالية لهذا الغاز تشنج للحبال الصوتية الذي يؤدي إلى تشنج فجائي واختناق.

والتعرض الطويل لتراكيز ولو منخفضة لغاز ثاني أكسيد الكبريت يسبب ضعف لحاستي الذوق (الطعم) والشم كما يسبب التهاب للقصبات الهوائية المزمن والتصلب الرئوي والأطفال هم أكثر تأثرا بهذا الغاز بصفة خاصة وبقية الملوثات الهوائية بصفة عامة. كما أنه يعيق عملية التنظيف التي تقوم بها الشعيرات الهوائية التي تبطن الجهاز التنفسي كما أنه يهيج الغشاء المخاطي للعيون ويهيج الجلد. وأغلب تأثيراته لها صفة الديمومة وقليلاً ما يؤثر فيها العلاج . هذا بالإضافة إلى تأثيراته السلبية على النباتات و المباني .

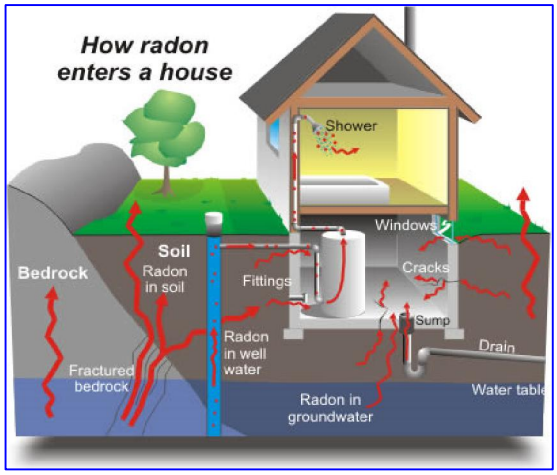
4) غاز كبريتيد الهيدروجين (H_2S) :

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 .المسموح به فهو يتراوح ما بين (0.003–0.008 جزء في المليون) .

5-الهيدروكربونات(Hydro Carbons)

الهيدروكربونات تنبعث من محركات السيارات و مصافي البترول و محارق النفايات الصلبة. وهي المواد التي تحتوي على الكربون والهيدروجين ولها تأثيرات مختلفة تعتمد على نشاط وقدرة المركب الهيدروكربوني. فكلما كانت فعالة ونشطة كلما ازدادت خطورتها.



فمجموعة الالكينات نشطة جدا في حين إن مركبات البنزين الحلقية ضعيفة التفاعل. كما أن هناك أنواع من الهيدروكربونات و هي المركبات الحلقية عديدة النوى تعتبر مساعدة للإصابة بالسرطان مثل مركب البنزوبيرين إضافة إلى دورها في التفاعلات الضوء كيميائية .

6–الرادون

الرادون هي مادة تنتج عن التحلل الطبيعي للمواد المشعة مثل اليورانيوم والراديوم الموجودة في التربة. تختلف كمية الرادون في التربة حسب التركيب الكيميائي للتربة، وينتقل من التربة إلى الهواء مع ذرات الغبار. تعتمد سرعة وكمية دخوله إلى الهواء على حالة الطقس ونفاذية التربة وعلى درجة رطوبة التربة، ويصعب تمييز

وجوده في الهواء لأنه لا يرى وليس له رائحة أو طعم. ويعتبر الرادون الموجود في الهواء سبب رئيسي لسرطان الرئة ويتسبب سنويا بموت آلاف الأشخاص. يتواجد الرادون في كل مكان تقريبا, في الهواء الخارجي والمنزلي ويشتد تركيزه كلما اقتربنا من سطح الأرض فمثلا يكون تركيزه في الطبقات السفلى من البناية أكبر منه في الطبقات العليا، ويمكن التخفيف من تركيزه داخل المنزل عن طريق التهوية الجيدة .

ثانياً : تلوث الهواء بالعناصر الثقيلة :

1) الرصاص :

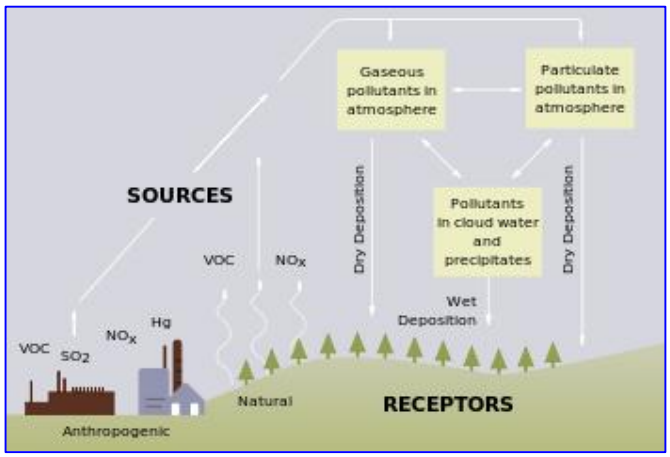
يعد الرصاص من أكثر المعادن السامة انتشاراً في الهواء وهو أخطرها على الإطلاق ، لذا فإن هذا المعدن جدير بأن يهتم به أكثر من غيره ، لما له من أضرار بالغة، والسبب في ذلك أن المعادن لا توجد بنسب عالية إلا في بعض المناطق، أي أن انتشارها محدودٌ، بينما الرصاص يعتبر معدناً واسع الانتشار، ويعتبر ملوثاً عالمياً وللسيارات الدور الأساسي في ذلك . ويستخدم الرصاص ومركباته كمواد خام كما هو الحال في صناعة مبيدات الحشرات والدهانات وصناعة البطاريات، إذ إن هذه المصانع (مصانع البطاريات) تقذف إلى الهواء معدلات عالية ، فبينما حددت منظمة الصحة العالمية الحدود القصوى لتركيز هذا العنصر في الجو (0.05–1) ميكرو غرام/م^3 كمعدل سنوي.

وقد حددت منظمة الصحة العالمية الحد الأعلى لتركيز الرصاص في مياه الشرب 0.05 جزءاً في المليون ، وفي الدم 0.7 جزءاً في المليون غير أن العديد من الهيئات الطبية أقرت بأنه من الواجب ألا تزيد المستويات العظمى للرصاص في الدم على 0.4 جزءاً في المليون عند البالغين، و0.3 جزءاً في المليون عند الأطفال، أما المستوى العادي للرصاص في دم البالغين فبلغ 0.2–0.3 جزءاً في المليون، يدخل إلى الجسم إما عن طريق الطعام والشراب، أو عن طريق التنفس.

وتؤدي زيادة تركيز الرصاص في جسم الإنسان إلى الضعف، وضعف في الاستجابة العقلية، والإجهاض للنساء الحوامل، وفقر الدم، والإخلال بالجهاز العصبي، والكليتين، ويؤثر على الدماغ، وهو يتراكم في الجسم حيث يحل محل الكالسيوم في العظام.

2) الزئبق :

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 الزئبق 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 وإلى تلف الكلية والتعرض لفترة طويلة لتركيزات منخفضة من بخار الزئبق يؤدي إلى تشوهات جنينية وإلى التخلف العقلي عند الأطفال . أما الحد المسموح به في الاتحاد السوفيتي مثلاً خلال 24 ساعة لا يزيد عن 0.0003 مليغرام/م^3 .

3) الكادميوم :

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 مليغرام/م^3 على هيئة أبخرة ، أما إذا كان على هيئة جسيمات حاملة للكادميوم فإن الحد الأعلى المسموح به هو 0.2 ميكروغرام/م^3 .

4) الزرنيخ :

يعد هذا العنصر من العناصر واسعة الانتشار في الطبيعة، ويستخدم في صناعة مبيدات الآفات الحشرية، وتحضير بعض المواد الطبية، ويستخدم كمادة حافظة للخشب.

يتلوث الهواء ببخار وجسيمات مركبات الزرنيخ ، حيث يقوم بعض أنواع من الفطريات بتحويل الزرنيخ إلى بخار الزرنيخ السام ، وقد يصل إلى الإنسان أيضاً عن طريق الغذاء ويتراكم بعد ذلك في أنسجة الجسم ويرجع سبب سمية هذا العنصر إلى أن الزرنيخ يعمل على إحباط تفاعلات الأكسدة الفسفورية في الجسم بسبب تنافس الزرنيخ مع الفسفور في التفاعلات الحيوية.

5) الأسبستوس

الأسبستوس هو مجموعة من المعادن الطبيعية لها القدرة على مقاومة الحرارة والتحلل الكيميائي وتختلف عن باقي المعادن من خلال تركيبها البلوري الذي يكون على شكل ألياف رفيعة وطويلة. وبسبب مقدرته على تحمل الحرارة الشديدة، فإنه يستخدم بكثرة في أعمال البناء كعازل ضد الحرارة. لقد أظهرت الأبحاث العلمية والطبية التي أجريت على العمال أن الكثير من حالات السرطان والمشاكل التنفسية الأخرى مرتبطة بشكل كبير باستنشاق ألياف الأسبستوس أثناء العمل. وبسبب المخاوف من أي تأثير محتمل قد ينتج عن الأسبستوس المستخدم كعازل في بناء المدارس والجامعات, باشرت العديد من الدول بعملية إزالته من أبنيتها الرسمية. لكن عملية إزالته مكلفة جدا عدا على أن مثل هذه العملية قد تزيد من احتمال تعرض الناس له .

ثالثاً : 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 ثوانٍ وقد تستقر في الجو لعدة أشهر والتلوث بالجسيمات يكون مرئياً في حالتين :

1- عندما يكون حجم الجسيمة (100 ميكرون) أي ما يعادل حجم نقطة الكتابة فهو يُرى بالعين المجردة .

2- عندما تمتلك الجسيمات الأصغر حجماً خصائص تعمل على حجب أو امتصاص أو عكس أشعة الشمس وبذلك يظهر تأثيرها على شكل ضباب خفيف وتتكون الجسيمات التي يزيد حجمها على 10 ميكرون من أنشطة ميكانيكية كطحن المواد المختلفة ، وعمليات الرش ، واحتكاك إطارات السيارات، أما الجسيمات التي يتراوح حجمها بين 1-10 ميكرون، والتي تظهر على شكل دخان، فإنها تكون نواتج لعمليات الحرق، وغبار التصنيع والأملاح المتطايرة من البحار، أما الجسيمات التي يقل حجمها عن 1 ميكرون فتنتج من عمليات الحرق أو التكثيف .

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 ، كذلك تتولد الدقائق نتيجة الأبخرة المشبعة. وتصنف الجسيمات تبعاً لحجمها وطبيعتها على النحو التالي :

1) تصنيف الجسيمات تبعاً لحجمها:

أ- الجسيمات المتساقطة:

تتكون هذه الجسيمات من جزئيات يزيد قطرها عن عشرة ميكرون، ولا تلبث هذه الجسيمات أن تتساقط بعد دقائق من انطلاقها من مصدرها، وقد تحملها الرياح الشديدة مرة أخرى ، وللجسيمات المتساقطة تأثير ضعيف على المجاري التنفسية ؛ لأن الشعيرات التنفسية تعمل على التخلص من جزء كبير من جزئياته وخاصة التي يزيد قطرها عن 100 ميكرون ، ولكن لها آثار بالغة على حياة النبات ، وتلحق أضراراً كبيرة بالحيوان ووسائل النقل والمباني والممتلكات الاقتصادية ، وتصل كمية الغبار المتساقط إلى معدلات كبيرة في المناطق الصناعية والمدن الكبرى قد يزيد عن 100طن/كم^2/شهر ، علماً بأن الحد المسموح به 9 طن/كم^2/شهر .

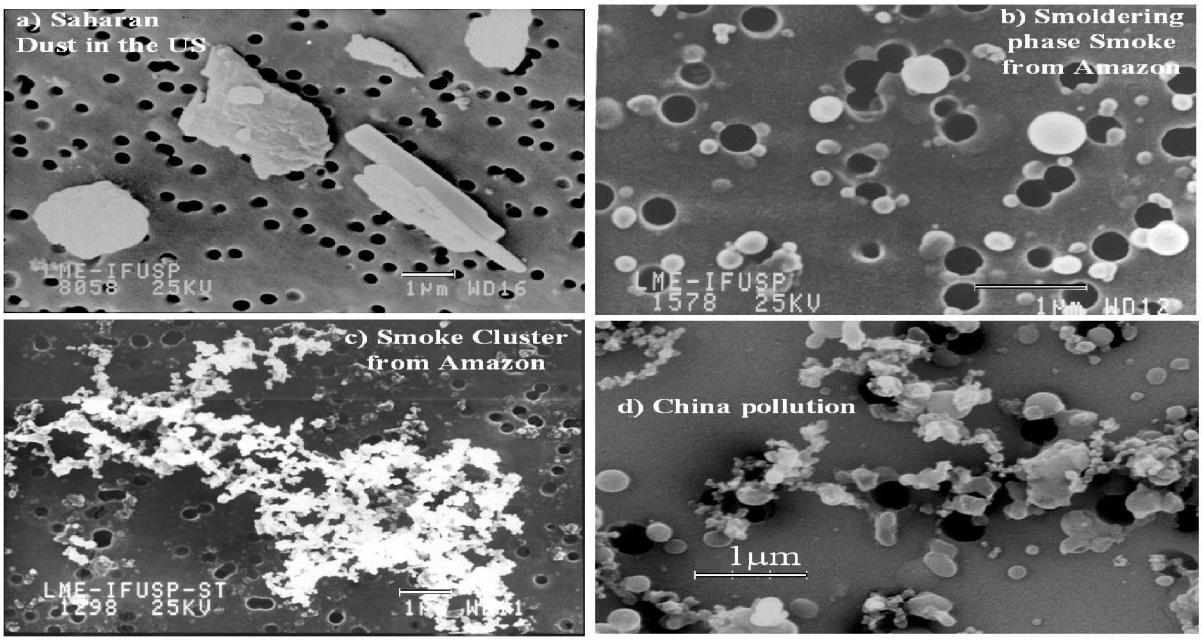
ب- الجسيمات العالقة:

يتراوح قطرها بين 0.1-10 ميكرون وتبقى فترة طويلة معلقة في الهواء، أما ترسبها فيكون بطيئاً ويتوقف على الظروف المناخية من رطوبة ودرجة حرارة ورياح وغيرها وهي من أخطر الجسيمات الملوثة للهواء، حيث من الممكن أن تصل إلى الرئتين وتستقر هناك وتشمل الجسيمات العالقة عدة أنواع تختلف تبعاً لمسبباتها سواء أنشطة عمرانية أم صناعية .

ونظراً لخطورتها فإن التركيز المسموح به يختلف من شطر لآخر ، وذلك تبعاً للاختلافات البيئية ، والنشاطات الداخلية ، فمثلاً في الولايات المتحدة الأمريكية حددت وكالة حماية البيئة الأمريكية ألا يزيد التركيز عن 260 ميكروغرام/م^3 خلال 24 ساعة ، وعن 75 ميكروغرام/م^3 كمعدل سنوي ، وفي السعودية مثلاً فإن التركيز المحدد هو 340 ميكروجرام/م^3 خلال 24 ساعة لفترة 12 شهر ، بينما المعدل السنوي العام لا يزيد عن 80 ميكروجرام/م^3 .

ج- الجسيمات الدقيقة:

وهي جسيمات متناهية في الدقة قطرها أقل من 0.1 ميكرون تصل إلى الرئتين بسهولة ومع ذلك فهي لا تشكل خطراً على صحة الإنسان ؛ لأن الرئتين تستطيع نفثها بسهولة، وقد تتجمع هذه الجسيمات مع بعضها البعض ليصل حجمها إلى أكثر من



ميكرون، يصل عددها في الهواء النقي إلى عدة مئات/سم^3، أما في الهواء الملوث فيصل عددها إلى 100000جزيئة/م^3.

2) تصنيف الجسيمات حسب طبيعتها:

أ- الجزيئات الرملية: وهي عبارة عن جزيئات صلبة معلقة في الهواء ويزيد قطرها عن 500 ميكرون، مصدرها العواصف الرملية بالدرجة الأولى .

ب- الغبار: وهي عبارة عن جزيئات أدق من الرمال، معلقة في الهواء، بقطر يتراوح بين 0.25-500 ميكرون،تنتج عن تفتت الأجسام الصلبة وتطايرها إلى الجو .

ج- الدخان: جزيئات صلبة دقيقة جداً من الهباب الناجمة عن عمليات الاحتراق كما في دخان المصانع والمعامل والمنازل ، قطرها أقل من 2 ميكرون .

د- الرماد: تنبعث هذه الدقائق مع غاز المداخن وقد تحمل معها وقوداً غير محترق.

هـ- الرذاذ: وهي قطرات من سائل معلق في الهواء ، ويمكن رؤيتها بالعين المجردة ، وقد تتكون من الضباب والدخان مكونة الضباب الدخاني ، كما يتكون الضباب الرقيق من الرذاذ والغبار والغازات الملوثة ، ويخلق هذا الضباب انخفاضاً في مجال الرؤية في المدن الملوثة .

و- الأبخرة المعدنية: وهي عبارة عن جسيمات من المعادن والمواد العضوية، تتراوح أقطارها بين 0.01-1 ميكرون .

ز- الأيروزولات: وهي عبارة عن جزيئات صلبة أو سائلة ، غالباً ما تبقى معلقة في الهواء نظراً لصغر حجمها، وقطرها بصورة عامة أقل من ميكرون .

رابعا: الملوثات الثانوية للهواء : Secondary Pollutants

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 الأوكسجين 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 والمطر الحمضي ولها آثار بالغة على عناصر البيئة لا تقل خطورة عن تأثيرات الملوثات الأولية.

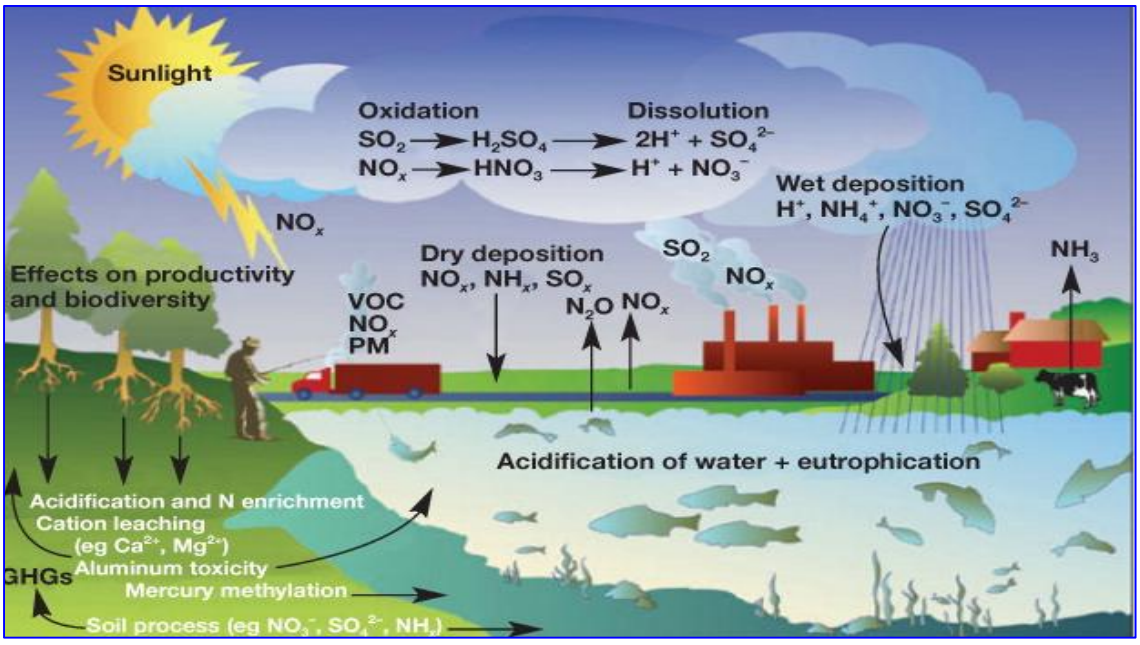
الملوثات الثانوية هي الملوثات التي تتكون في الجو نتيجة تفاعل الملوثات الأولية (المنبعثة من المصادر مباشرة) في الجو وعند توفر الظروف الملائمة لهذه التفاعلات.

-التفاعلات الكيماوية في الجو Chemical Reactions in the Atmosphere

و يقصد بهذه التفاعلات جميع التفاعلات التي تحدث في الجو حيث تتفاعل الملوثات المواد الموجودة في الجو مع بعضها حين توفر ظروف جوية معينة وينتج عن هذه التفاعلات ملوثات ثانوية مثل الأحماض وغيرها وقد تكون هذه الملوثات أشد خطورة من الملوثات لأولية التي تنبعث من المصادر مباشرة. و هذه التفاعلات تحدث في النهار والليل.

$$NO + NO_2 + H_2O \longrightarrow 2HNO_2 \quad ; \quad N_2O_5 + H_2O \longrightarrow 2HNO_3$$

$$SO_2 + O_2 \longrightarrow 2\ SO_3 \quad ; \quad SO_3 + H_2O \longrightarrow H_2SO_4$$



التفاعلات الضؤكيميائية Photochemical Reactions

التفاعلات الضؤكيميائية يقصد بها التفاعلات التي تحدث للملوثات الأولية في الجو أو الغلاف الجوي وذلك في وجود أشعة الشمس. إذن فإن هذه التفاعلات لا تحدث إلا في النهار. تبدأ التفاعلات الضؤكيميائية بامتصاص فوتون من قبل الذرة أو الجزيء أو الجذر الحر أو الأيونات. نتيجة هذا الامتصاص يعتمد على الطول الموجي للفوتون الممتص. و الأشعة التي تبدأ بها التفاعلات الضؤكيميائية هي الأشعة التي تكون في مجال الرؤية و فوق البنفسجية. إن امتصاص الفوتون يؤدي إلى تفكك للمادة التي تمتصه والذي يهمنا هنا هو تفكك الجزيئات حين امتصاصها للفوتونات.

التأثير الأولي لامتصاص الفوتون وتفكك الجزيء يسمى التفاعل الضوء كيمياوي الأولي و التفاعلات التي تعقب ذلك التفكك تسمى تفاعلات ثانوية.

يمكن تلخيص التفاعلات الضؤكيميائية كالتالي:

$$A + h\nu \longrightarrow A$$

حيث أن عنصر A يمتص الطاقة الشمسية hν فيثار أو يتفكك.

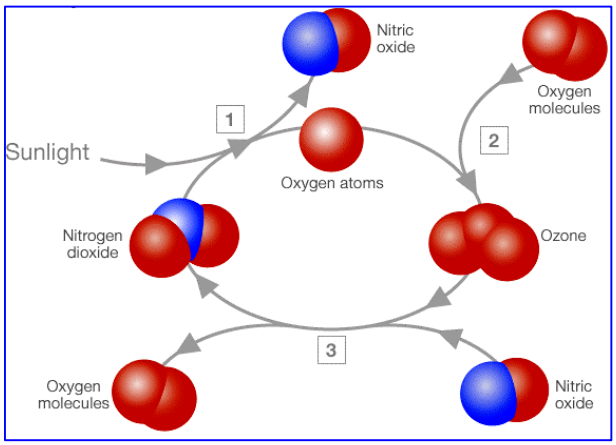
$$A \longrightarrow B + C$$

فالتفكك ل A يكون إلى عنصرين B & C.

عدد التفاعلات الضؤكيميائية التي تحدث في الجو تعتمد على شدة الإشعاع الشمسي وذلك التفاعل بالتحديد يعتمد على طاقة وطول الموجة للفوتون الممتص. $E = h\nu, \quad C = \lambda\nu, E = hc/\lambda$

حيث E= الطاقة، h= ثابت، ν= التردد، c= سرعة الضوء، λ= طول الموجة.

شدة الإشعاع الشمسي عبارة عن دالة لخطوط الطول والوقت خلال السنة واليوم وشدة الغيوم وكمية الملوثات في الجو واستقرارية الظروف الجوية.



أهم التفاعلات الضوكيماوية التي تحدث عند سطح الأرض في أسفل طبقة التروبوسفير هي:

تفكك غاز ثاني أكسيد النتروجين "NO_2" نتيجة امتصاصه لأشعة الشمس (للفوتونات).

$$NO_2 + h\nu = NO + O$$

O: أوكسجين ذري (جذر حر) free radical نشط جدا.

الأوكسجين الذري (O) المتكون من التفاعل يتفاعل مع الأوكسجين الموجود في الجو ويكون الأوزون بوجود جسم ثالث (M) لامتصاص الطاقة الزائدة لمنع تفكك الأوزون بسرعة في نفس التفاعل.

$$O + O_2 + M = O_3 + M$$

ثم أن الأوزون يتفاعل مع أكسيد النتروجين (NO) وينتج ثاني أكسيد النتروجين (NO_2) كالتالي:

$$O_3 + NO = NO_2 + O_2$$

و هذه التفاعلات الثلاث تمثل الدورة الأساسية للتفاعلات الضوء كيماوية.

- الأوزون (O_3) :

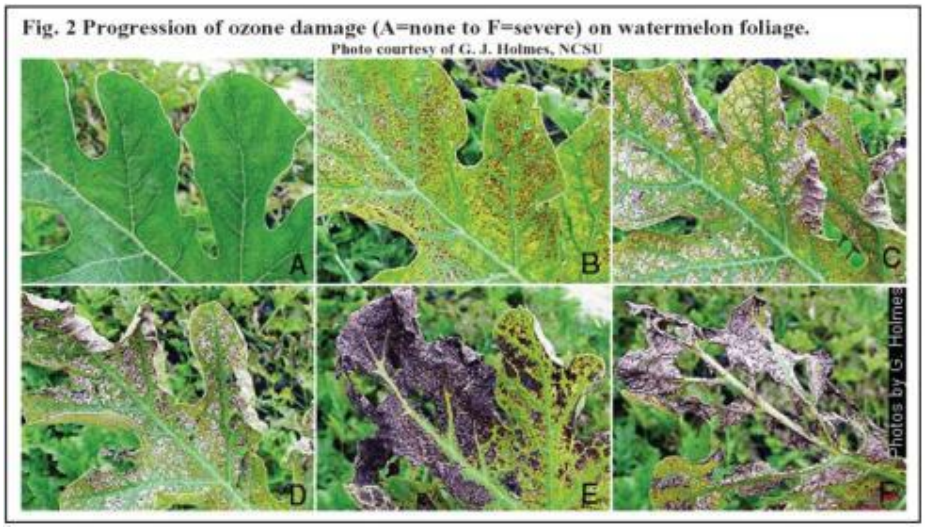
الأوزون ملوث ثانوي لا ينتج من المصادر الأولية مباشرة لكنه يتكون في الجو نتيجة التفاعلات الضوء كيميائية و يعتبر ملوث له آثار صحية سيئة عند سطح الأرض على عكس دوره في طبقات الجو العليا.

وحيث ان وجود الأوزون يتطلب وجود أشعة الشمس والدول العربية تتصف بأيامها المشرقة معظم أيام السنة فالمتوقع ان يتكون الأوزون في معظم الأيام خاصة و أن المواد الأساسية لتكون الأوزون (أكاسيد النتروجين) متوفرة والسيارات من المصادر الرئيسية لها.

ويجب هنا أن ننبه إلى قضية التفريق بين وجود غاز الأوزون في طبقات الجو العليا وعند سطح الأرض فهو في طبقات الجو العليا يمتص الأشعة فوق البنفسجية قصيرة الموجة و يحمي بإذن الله الأرض من أضرارها فهي من مسببات مرض السرطان و إعتام عدسة العين بالإضافة إلى زيادة تسخين سطح الأرض الذي يترتب عليه الكثير من المشاكل.

أما الأوزون عند سطح الأرض فله أضرار صحية كبيرة فهو غاز مهيج للجهاز التنفسي كما أنه يهيج العين كما أنه ضار للنبات و يتسبب في تشقق المطاط ومن الملاحظ أن استهلاك إطارات السيارات في الدول العربية كثير وقد يكون من ضمن الأسباب والتي قد تكون كثيرة، هو وجود غاز الأوزون.

يتواجد في الهواء الطبيعي بنسبة 0.02 جزءاً في المليون، أما إذا بلغت درجة تركيزه 1.5–2.0 جزءاً في المليون فإنه سيترك آثاراً مرضية متمثلة في التهاب العيون والحنجرة والرئتين. كما يؤثر الأوزون في النباتات، فيسبب تبقع الأوراق، ويظهر التأثير جلياً في نباتات البرسيم والقمح والبطاطا وغيرها . ويلعب هذا الغاز في طبقات الجو العليا دوراً هاماً في حماية الكرة الأرضية من الأشعة فوق البنفسجية.



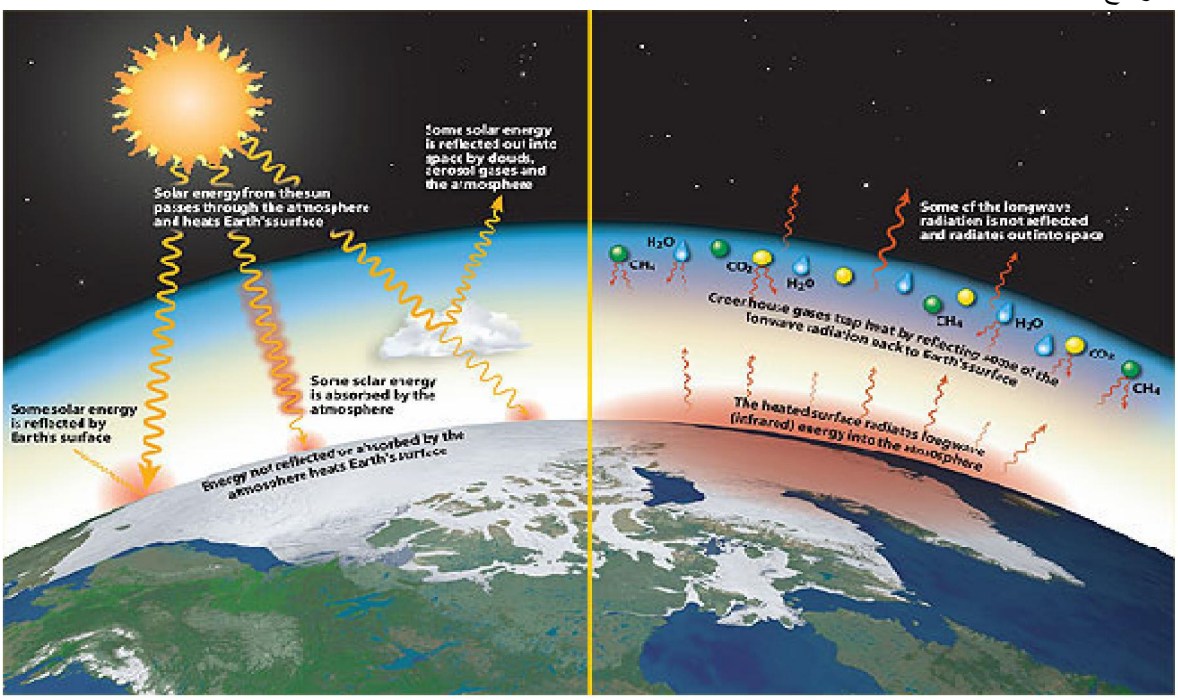
-غازات الدفيئة(Greenhouse)

تشمل بخار الماء، ثاني أوكسيد الكربون (CO_2)، أوكسيد النيتروز (N_2O) ، الميثان(CH_4)، الأوزون (O_3)، الكلوروفلوركاربون (CFCs)، عندما يزيد تركيز الغازات في الجو فان ذلك يؤدي إلى حدوث اختلال في مكونات الغلاف الجوي والاتزان الحراري. وينتج عنه تغيرات في المناخ والجو وآثار سيئة على صحة وحياة الإنسان والأحياء. وان من أهم الأخطار التي تهدد التوازن الطبيعي زيادة تركيز ثاني أكسيد الكربون.

تلعب غازات الدفيئة دورا حيويا ومهما في اعتدال درجة حرارة سطح الأرض، اذ تمتص الأرض الطاقة المنبعثة من الإشعاعات الشمسية وتعكس جزء من هذه الإشعاعات إلى الفضاء الخارجي، وجزء من هذه الطاقة او الإشعاعات يمتص من خلال بعض الغازات الموجودة في الغلاف الجوي. ومنها الغازات الدفيئة التي تلعب دورا حيويا ورئيسيا في تدفئة سطح الأرض للمستوى التي تجعل الحياة ممكنة على سطح الأرض. حيث تقوم هذه الغازات الطبيعية على امتصاص جزء من الأشعة تحت الحمراء المنبعثة من سطح الأرض وتحتفظ بها في الغلاف الجوي لتحافظ على درجة حرارة سطح الأرض ثابتة وبمعدلها الطبيعي أي بحدود 15°. ولولا هذه الغازات لوصلت درجة حرارة سطح الأرض إلى 18° تحت الصفر .

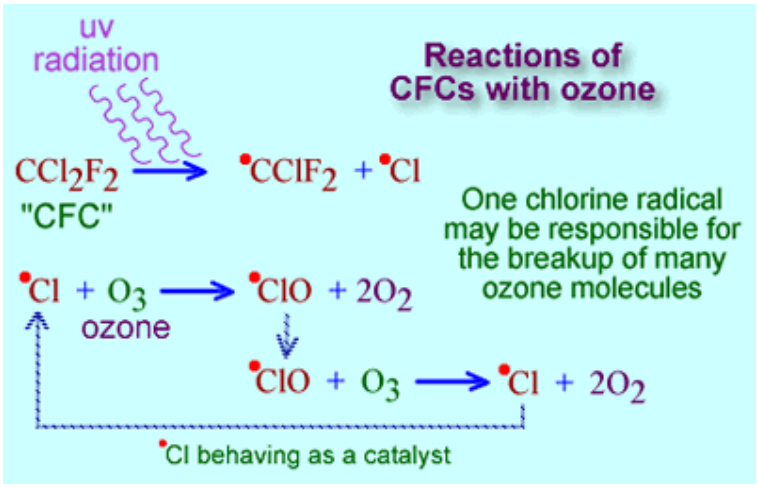
فما هي ظاهرة الاحتباس الحراري:

هي الارتفاع التدريجي في درجة حرارة الطبقة السفلى من الغلاف الجوي المحيط بالأرض. وسبب هذا الارتفاع هو الزيادة في انبعاث غازات دفيئة أو (greenhouse gases)، اذ طرأ ارتفاع بمعدل 0.3–0.6 في درجة الحرارة منذ بداية القرن التاسع عشر نتيجة النشاطات الإنسانية المتزايدة وخاصة الصناعية منها. ان زيادة الغازات الدفيئة لدرجة أصبح مقدارها يفوق ما يحتاجه الغلاف الجوي للحفاظ على درجة حرارة سطح الأرض ثابتة وعند مقدار معين. فوجود كميات إضافية من الغازات الدفيئة وتراكمها في الغلاف الجوي يؤدي إلى الاحتفاظ بكمية أكبر من الطاقة الحرارية في الغلاف الجوي وبالتالي تبدأ درجة حرارة سطح الأرض بالارتفاع .



مركبات الكلوروفلوركاربون

تنتج هذه المركبات من صناعات عديدة أهمها الأيروزولات التي تحمل المبيدات أ بعض مواد تصفيف الشعر أو مزيل روائح العرق وكذلك تستخدم مركبات الكلوروفلوركاربون على هيئة سائل في أجهزة التكيف والتبريد ثلاجات المنازل. كما أن إحراق النفايات المنزلية إحراق غير كامل يؤدي إلى انتشار هذه المركبات في الجو .



يلاحظ تركز هذه المركبات في طبقات الجو على بعد 18كم فوق المناطق القطبية. وتقدر كمية هذه المركبات التي تنطلق في الجو بما يزيد على مليون طن سنوياً. وعند وصولها لطبقة الستراتوسفير التي تقع بها طبقة الأوزون فإنها تتحلل

بفعل الأشعة الفوق بنفسجية الموجودة في الشمس إلى ذرات الكلور والفلور التي تقوم بدورها بمهاجمة الأوزون وتحويله إلى أوكسجين وبذلك تساهم على تحطيم طبقة الأوزون. وهناك محاولات أيضا لاستبدالها بمواد نافعة أخرى من بينها استعمال خليط من غاز البيوتان والماء ويطلق عليه اسم اكواصول aqua sol ولا تحتوي على الكلور والفلور. هناك أيضا عوادم الطائرات النفاثة والطائرات الأسرع من الصوت بما تلفظه من نتروجين من العادم الذي يدفعها للأمام ويؤدي إلى التلوث من جهة أخرى. إطلاق الصواريخ للفضاء تحرق كمية كبيرة من الوقود السائل أو الصلب وبذلك تخلف أطناناً من الغازات الضارة بطبقة الأوزون. فقد ورد في إحصائية روسية أن كل عملية إطلاق صاروخ "مكوك فضائي" تدمر مليون طن من غاز الأوزون. كما ثبت أن الدقيقتين الأولي من إطلاق المكوك والتي تمثل المرحلة الأولى في الصواريخ الحاملة للمكوك ينتج عنها 187 طناً من غاز الكلور ومركباته و 17 طناً من أوكسيد الألمنيوم .

الحد من تلوث الهواء :

يمكن الحد من تلوث الهواء المدمّر وذلك عن طريق:

- الوعي الذاتي لدى الشخص بأن التلوث ما هو إلا كارثة تحتاج إلى جهد إيجابي منه لأنها تنذر بفنائه.
- وقف تراخيص مزاولة النشاط الصناعي الذي يدمر البيئة.
- تهجير الصناعات الملوثة للبيئة بعيدًا عن أماكن تمركز البشر بخطة زمنية محددة.
- تطوير أساليب مكافحة تلوث الهواء، فالحل لا يكمن في مزيد من الارتفاع في أطوال المداخن، لأنه لا يمنع التلوث بل ينقله إلى أماكن أبعد.
- تطوير وسائل التخلص من القمامة، وخاصة تلك العمليات التي تتضمن الحرق في الهواء الطلق، والذي يزيد من التلوث.
- القيام بعمليات التشجير على نطاق واسع للتخلص من ملوثات الهواء وامتصاصها.
- الكشف الدوري على السيارات، لأن عوادمها من أحد العوامل الرئيسية المسببة للتلوث.
- اللجوء إلى استخدام المبيدات العضوية التي لا يحتوي تركيبها على المواد الكيميائية.

الأضرار التي تلحقها الجسيمات العالقة بصحة الإنسان(للاطلاع فقط) :

يمكن القول بصفة عامة أن الملوثات الناتجة عن الأنشطة البشرية والطبيعية على حد سواء تؤثر بصورة كبيرة ومباشرة على جميع أجزاء جسم الإنسان دون استثناء فالكبد، الجهاز التنفسي، العظام، الدماغ، الغدد، الطحال، الجلد، الكلية، الدم والعيون تتأثر بالكثير من الملوثات ، كما بين ذلك جدول رقم (5) .

جدول رقم (5) الأعضاء والأنسجة في جسم الإنسان والملوثات التي تستهدفها

العضو	الملوثات التي تؤثر عليه
الجهـــاز التنفسي	غاز أول أكسيد الكربون، أكاسيد النيتروجين، أكاسيد الكبريت، الأوزون، جسيمات الأسبستوزات، جسيمات الغبار العالق، جسيمات الهيدروكربونات، النيكل، الكادميوم، البريليوم .
الكبد	الكربونات الهالوجينية ، الزرنيخ ، المواد المشعة .
العظام	المواد المشعة ، الرصاص .
الدماغ	الرصاص ، الزئبق ، الكوبالت .
الغـــــدة	اليود المشع .
الطحال	الكادميوم ، الزئبق .
الجلد	جسيمات الغبار المتراكم ، جسيمات الأسبستوزات ، الزرنيخ .
الكلية	الكادميوم .
الدم	غاز أول أكسيد الكربون ، غاز أول أكسيد النيتروجين ، الرصاص .
العيون	رذاذ المطر الحمضي، جسيمات الغبار العالق والمتساقط ، أكسيد الكبريت، النيتروجين ، الضباب الدخاني .

كما يلحق الجسم العديد من الأمراض نتيجة لتركيز بعض العناصر في الجو أو في الجسم ، والجدول رقم (6) يبين الأمراض الناتجة عن ملوثات الهواء الأولية التي قد تصيب الإنسان .

جدول رقم (6) بعض الأمراض الناتجة عن ملوثات الهواء الأولية التي قد تصيب الإنسان

الرقم	نوع الملوث	التأثير
1	الجسيمات	مرض التحجر الرئوي ويعرف أيضاً بمرض الغبار الحجري ، مرض الغبار ، مرض الالتهاب الأسبستوزي .
2	غاز أول أكسيد الكربون	نقص في قدرة الهيموجلوبين على نقل الأوكسجين إلى أجزاء الجسم ، حيث يتحد مع الهيموجلوبين مكوناً أوكسيد الهيموجلوبين الذي لا يستطيع حمل الأوكسجين مما ينتج عنه آثاراً جانبية متعددة في الجسم تشمل الضعف العام وارتخاء العضلات وسرعة التنفس كما ويتحد مع الحديد اللازم لبعض الأنزيمات التنفسية مما يؤدي إلى إحباط عملها أو تقليل فعاليتها .
3	غاز ثاني أكسيد الكبريت	يسبب تهيج للبطانة المخاطية في الجهاز التنفسي مما يؤدي إلى سعال شديد وضيق في التنفس، كما يعطل عمل الأهداب الدقيقة المبطنة لمجرى الجهاز التنفسي ويسبب التهاباً بالقصبات الهوائية .
4	غاز أول أكسيد النيتروجين	يتحد مع الهيموجلوبين مكوناً الميثاجلوبين مما يسبب نقص وصول الأوكسجين إلى أنسجة الجسم وعند التركيز العالي لهذا الغاز يسبب شللاً مميتاً، كما أن التعرض لتركيزات منخفضة من الغاز يسبب ظاهرة الطفل المزرق بسبب تكون الميثاجلوبين .
5	غاز ثاني أكسيد النيتروجين	يسبب تهيج في البطانة المخاطية ، للجهاز التنفسي بسبب رائحته المخرشة والمسببة لحساسية معينة.
6	غاز الأوزون	يسبب الأوزون تهيج في البطانة المخاطية وعند التركيز العالي فإنه يسبب اختناقاً رئوياً والتهاباً في القصيبات الهوائية ومرض انتفاخ الرئة .
7	الزئبق	يهاجم الزئبق أنسجة الجهاز العصبي المركزي ويسبب آثاراً نفسية وعصبية ، كذلك يسبب تلوث الهواء ببخار وجسيمات الزئبق اضطرابات في الجهاز التنفسي والتهابات متنوعة وتشنج العضلات.
8	الرصاص	يسبب تلف لجهاز البصر المركزي وقد يصيب الإنسان بالتخلف العقلي .
9	النيكل	يسبب التقيؤ والصداع وسرعة التنفس كتأثير مباشر كما ينتج عن تلوث الهواء بجسيمات ومركبات النيكل حروق بالجلد ، وقد يسبب أيضاً كل من سرطان الرئة والجيوب الأنفية .
10	الزرنيخ	يسبب تلوث الهواء بالزرنيخ كل من سرطان الجلد وسرطان الكبد وسرطان الرئة كما قد يؤدي تلوث الهواء بالزرنيخ إلى تشويهات خلقية .
11	الكادميوم	يسبب تلوث الهواء بالكادميوم مرض ويلسون كما يؤدي إلى تلف الرئة والكلية .
12	البريليوم	يسبب تقرح الجلد وتهيج بطانة الجهاز التنفسي كما ينتج عنه سرطان نخاع العظم.

معايير تلوث الهواء (للاطلاع فقط):

تستعين الجهات المعنية بشئون البيئة في غالبية الدول العربية بالمعايير العالمية المتوفرة سواء في كندا ، أو الولايات المتحدة الأمريكية ، أو معايير ومواصفات منظمة الصحة العالمية كما بينها الجدول رقم (7) .

جدول رقم (7) معايير ومواصفات هواء المدن

الرقم	الملوث	كندا	الولايات المتحدة	منظمة الصحة العالمية
1	ثاني أكسيد الكربون سنوياً 24 ساعة ساعة واحدة	ppm 2.3 ppm 11 ppm34	ppm0.3 ppm 13.9 ppm 49.7	ppm 2.3–1.5 ppm 4.7 ppm 13.4
2	أول أكسيد الكربون 8 ساعات ساعة واحدة	ppm 13 ppm 31	ppm 9 ppm 35	ppm 9 ppm 25
3	ثاني أكسيد النيتروجين سنوياً 24 ساعة ساعة واحدة	ppm 5.3 ppm 11 ppm 21	ppm 5.3 ppm 7.9 ppm 21	--- --- ---
4	الجسيمات العالقة سنوياً 24 ساعة	70 ميكروغرام/م^3 120 ميكروغرام/م^3	75 ميكروغرام/م^3 260 ميكروغرام/م^3	90–60 ميكروغرام/م^3 120 ميكروغرام/م^3