

تلويث الهواء

إن أهمية الهواء الذي نستنشقه غنية عن التبيان، فهو أساس الوجود، وسر استمرارية الحياة. فقد يستطيع الإنسان البقاء حياً دون طعام أو ماء عدة أيام ، ولكنه لا يمكن أن يبقى حياً سوى بضع دقائق إذا ما انقطع عنه الهواء . ويمكن أن ندرك أهمية الهواء ، إذا علمنا أن رئة كل جسم بشري تستقبل يومياً حوالي 15 كيلوجرام من الهواء الجوي ، في حين لا يمتص الجسم البشري سوى 2.5 كيلوجرام من الماء ، وأقل من 1.5 كيلوجرام من الطعام .

ولقد عرف الإنسان تلوث الهواء منذ القدم . عندما كانت تثار الأتربة و الرمال بفعل الرياح ، و من خلال النار التي كان يستخدمها للتدهن و صنع الطعام ، وفي الحرائق التي تشتعل في بعض غابات العالم . ولقد تعاظم تلوث الهواء بممواد ومركبات مختلفة منذ بداية الثورة الصناعية، وحتى يومنا هذا، ليصبح حالياً إحدى مشاكل البيئة الحيوية الرئيسية.

ولقد نال تلوث الهواء اهتماماً كبيراً على مستوى دول العالم بأسرها، بعد أن غدا التلوث مشكلة- عالمية، وليس مشكلة إقليمية أو محلية، ففي إنجلترا مثلاً تكونت أربع هيئات فيما بين الأعوام 1285 - 1310 م لدراسة تلوث الهواء الذي نجم عن التحول من استخدام الحطب إلى الفحم في أفران الصناعة، ولقد بلغ حجم الملوثات وسمكها في بعض المناطق حداً كبيراً حتى أصبحت تشكل غطاء كثيفاً يحجب جزءاً من أشعة الشمس من الوصول إلى سطح الأرض، كما هي الحال في مدينة نيويورك ومدينة شيكاغو، إذ تحجب الملوثات الهوائية هاتين المدينتين ما بين 25 % إلى 40 % من الأشعة الساقطة.

وفي عام 1967 م عرف المجلس الأوروبي التلوث الجوي على الشكل التالي :

"يتلوث الهواء عندما تتواجد فيه مادة غريبة ، أو يحدث تغير عام في نسب المواد المكونة له يتربّط عليها حدوث نتائج ضارة ، وتسبب مضاعفات وانزعاجات". فتلويث الهواء؛ دليل على احتواء الهواء على مواد غريبة عليه ، أو من مواده نفسها ، ولكن بنسب تزيد على الحد الأعلى لتواجدها ، بحيث أن زيادةها هذه تصاحب بمؤثرات سلبية في البيئة الحيوية .

1-3 مصادر التلوث الهوائي:

لتلوث الهواء مصادر متعددة بعضها طبيعي والبعض الآخر ينشأ من إفراط الإنسان في استخدام الثروات الطبيعية أو من أنشطته المختلفة . و يمكننا حصر أهم مصادر التلوث الهوائي فيما يلي :

أولاً : مصادر طبيعية :

يحدث تلوث الهواء طبيعياً من خلال الملوثات المختلفة (الغازية ، والسائلة ، والصلبة) التي تدخل إليه ، والتي ت杰م عن الطبيعة دون تدخل الإنسان فيها من خلال أنشطته العديدة التي تحتم عليه حدوث تفاعل بينه وبين الوسط الطبيعي . ويمكن حصر مصادر التلوث الطبيعي للهواء في الآتي :

- 1- البراكين (انظر جدول 3-1).
- 2- الغبار والأتربة المثارة بفعل الرياح .
- 3- حرائق الغابات .
- 4- حبات (غبار) الطلع .
- 5- الجراثيم من بكتيريا وخلافيها.

جدول (3-1) التوزيع العام للمادة الغازية البركانية.

نسبة %	الرمز	المادة الغازية
70.75	H ₂ O	بخار الماء
14.07	CO ₂	ثاني أكسيد الكربون
0.33	H	هيدروجين
5.45	N	نيتروجين
0.18	Ar	أرجون
6.40	SO ₂	ثاني أكسيد الكبريت
0.10	SO ₃	ثالث أكسيد الكبريت
0.05	Cl	كلور

ثانياً : مصادر بشرية :

ويقصد بالتلوث الجوي البشري ؛ أنه ذلك التلوث الناجم عن استعمالات الإنسان المختلفة ، من خلال أنشطته المختلفة في البيئة التي يعيش بها ، سواءً أكانت تلك الاستخدامات في مجال التصنيع ، أم في مجال الاستخدامات المنزلية والحياتية اليومية .

وبمقارنتها بالمصادر الطبيعية ، فإنه مهما تعاظم حجم الملوثات الطبيعية ، فإنها أقل من الملوثات البشرية (انظر جدول 3-2) ، كما أن نوعيتها أقل خطورة وتأثيراً على البيئة الحيوية من نوعية الملوثات التي

أحدثها الإنسان في بيئته . ويمكننا بصورة عامة أن نصنف مصادر التلوث البشري للهواء في خمسة مجموعات هي :

- 1- الملوثات الناتجة عن حرق الوقود لإنتاج الطاقة .
- 2- الملوثات الناتجة عن انبعاث العوادم من وسائل النقل المختلفة .
- 3- الغازات التي تطلق من النفايات البشرية بجميع أنواعها .
- 4- الغازات ومركباتها المختلفة ، وجزيئات الغبار ، والحرارة المتولدة من الواقع الصناعية المختلفة .
- 5- الملوثات الغازية والجزيئية التي تنتج من أعمال التعدين المختلفة .

جدول (2-3) الملوثات المنطلقة إلى الجو سنويًا من سطح الأرض بفعل الإنسان (بملايين الأطنان).

أكسيد النيتروجين	هيدروكربونات	أكسيد الكبريت	الجزيئات	أول أكسيد الكربون	مصدر التلوث
8.1	16.6	0.8	1.2	63.8	وسائل النقل
10.0	0.7	24.4	8.9	1.9	احتراق الوقود
0.2	4.6	7.3	7.5	9.7	عمليات صناعية
0.6	1.6	0.1	1.1	7.8	النفايات الصلبة
1.7	8.5	0.6	9.6	16.9	مصادر مختلفة
20.6	32.0	33.2	28.3	100.1	المجموع

2-3 ملوثات الهواء : Air pollutants

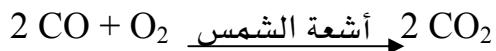
ينطلق إلى الهواء نتيجة لأنشطة الصناعية والعمارية أو من مصادر طبيعية خليط من الملوثات الغازية والسائلة والصلبة بتركيز يلحق الضرر بالإنسان والحيوان والنبات والجماد . وإن كان لهذه الملوثات صفاتها وخصائصها المستقلة إلا أنها تتدخل مع بعضها في البيئة لتشكل خطراً مباشراً على النظام البيئي . وفيما يلي سنستعرض أهم الملوثات الجوية :

أولاً : الملوثات الغازية :

1- أكسيد الكربون Carbon Oxides

أ) غاز أول أكسيد الكربون CO :

يتميز هذا الغاز بأنه لا لون له ولا طعم ولا رائحة وينحل في بلازما الدم بقدر ما ينحل بالماء . ويوجد بالهواء الطبيعي غيراً ملوث عند تركيز لا يزيد على 0.1 جزء من المليون . ويتأكسد في الطبيعة إلى غاز ثاني أكسيد الكربون وبوجود أشعة الشمس بمعدل 1 % من حجمه بالساعة تبعاً للمعادلة التالية :



• مصادره:

ينتج هذا الغاز بسبب الاحتراق غير الكامل للوقود ، وخصوصاً في وسائل النقل ، وذلك لعدم توفر الأكسجين الكافي للاحتراق . كما أن كمية هذا الغاز تتناسب عكسيًا مع سرعة المحرك فعندما تكمن السرعة 18 كم/ساعة فإن نسبة غاز أول أكسيد الكربون قد تصل إلى 5 % من مجموع الغازات المنطلقة من العادم . وعندما تصل السرعة إلى 110 كم/ساعة تقل هذه الكمية لتصل إلى حوالي 2 % . مما يفسر الارتفاع الكبير في تركيز غاز أول أكسيد الكربون داخل المدن عنه في الطرق الخارجية . كذلك ينتج من العديد من الصناعات مثل مصانع النفط وصناعاته ، نصاهر الحديد والفولاذ وغيرها . كما ينتج هذا الغاز من الأكسدة التي تقوم بها بكتيريا التربة . إلا أن عوادم السيارات تشكل المصدر الأساسي لتلوث الهواء بهذا الغاز .

تأثيره على صحة الإنسان:

يعتبر غاز أول أكسيد الكربون من أشد الغازات الملوثة للهواء سمية ، ويغير تأثير هذا الغاز على صحة الإنسان تبعاً لتركيزه . وفي الولايات المتحدة الأمريكية فإن معدل تركيز هذا الغاز المسماوح به هو 9 أجزاء من المليون .

- عندما يصل تركيزه 50 جزء من المليون لمدة ستة أسابيع فان ذلك يؤثر على عمل القلب والدماغ ، كما يؤثر على حدة الرؤيا .

- وعندما يصل تركيزه 85 جزء من المليون فإن فاعلية الدم لنقل الأكسجين تقل بمعدل 15 % .

- كما وجد أن التعرض لتركيز 100 جزء من المليون لعدة ساعات يسبب الدوار وصعوبة التنفس وارتخاء العضلات .

- وإذا وصل التركيز إلى 750 جزء من المليون فإن ذلك يؤدي إلى الغيبوبة قد يتبعها وفاة .

- وعندما يصل تركيز غاز أول أكسيد الكربون إلى 1000 جزء من المليون فإن ذلك يسبب الوفاة حالاً .

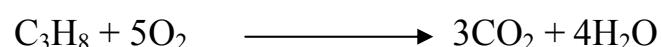
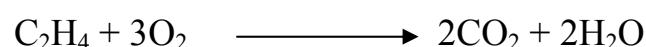
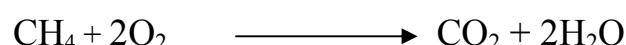
ويعزى ذلك إلى قدرته على الاتحاد مع هيموجلوبين الدم بدلاً من الأكسجين مكوناً كربوكسيل الهيموجلوبين ، حيث أن قدرته للاتحاد مع الهيموجلوبين تفوق 250 مرة اتحاد الأكسجين مع الهيموجلوبين . وعندما يصل تركيز أول أكسيد الكربون في الهواء إلى 120 جزء من المليون فإن تركيز كربوكسيل الهيموجلوبين قد يصل إلى 20 % ، وعندما يصل التركيز إلى 600 جزء من المليون ، فإنه يصبح تقريباً كامل جزيئات الهيموجلوبين محملة بغاز أول أكسيد الكربون .

ب) غاز ثاني أكسيد الكربون CO_2

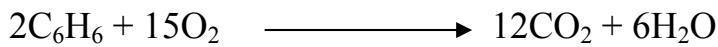
عبارة عن غاز عديم اللون والرائحة ، ولكن له طعم غير مقبول ، ويتراوح تركيزه في الهواء الطبيعي الجاف غير الملوث 303 - 320 جزءاً من المليون . وبسبب إطلاق كميات كبيرة من هذا الغاز من مصادر مختلفة على مستوى عالمي ، فقد وصل تركيزه في الغلاف الجوي حوالي 346 جزءاً من المليون عام 1988 م . ويكون أقل تركيز له في الهواء في النصف الثاني من النهار ، حيث تكون عملية التمثيل الضوئي في أوجهها . ويعتقد أنه توجد زيادة سنوية في تركيز هذا الغاز في الهواء تصل إلى 0.7 جزء من المليون بسبب احتراق الوقود .

• مصادره :

ينتج ثاني أكسيد الكربون عند احتراق المواد الكربونية ، حيث يشكل 21 % من مجموع الغازات المتصاعدة من عملية الاحتراق . كما ينتج هذا الغاز إضافة إلى بخار الماء من الاحتراق الكامل عند اختلاط الوقود بالأساس من مواد هيدروكربونية مع كمية كافية من الهواء . كذلك يتتصاعد هذا الغاز من صناعات متعددة مثل صناعة الألمنيوم ، حمض الفسفوريك ، البيروجين وغيرها من الصناعات . كما يتتصاعد من العديد من العمليات البيولوجية وأثناء تحمر السكر . إلى أن احتراق الوقود بشكل كامل يشكل المصدر الأساسي لتلوث الهواء بغاز ثاني أكسيد الكربون (كما توضح المعادلات التالية).



كما يتضح من المعادلات السابقة فإن كمية غازات أكسيد الكربون المنتعة تعتمد على نوع الوقود المستخدم . كما أن احتراق المواد البلاستيكية المحتوية على بلمرات بولي إثيلين Polyethylene وبولي ستيرين Polystyrene عند حرارة 300 - 450 درجة مئوية يؤدي إلى انبعاث أكسيد الكربون .



- تأثيره على الإنسان :

لا يعتبر ثاني أكسيد الكربون مصدر تلوث خطير على صحة الإنسان والحيوان ، حيث أنه يوجد في الهواء الطبيعي بمعدل 345 جزء من المليون . في حين تكون الجرعة القاتلة للإنسان من هذا الغاز 80,000 جزء من المليون . ولكن مصدر خطورته تكمن في ارتفاع تركيزه 0.7 % سنوياً بسبب انتلاف المزيد من هذا الغاز من احتراق الوقود . ويعتقد أن هذا التركيز العالى هو أحد أسباب ارتفاع درجة الحرارة في المدن المزدحمة بوسائل النقل . وتسمى هذه الظاهرة ظاهرة البيوت الزجاجية Green house phenomenon .

فعندما تسقط أشعة الشمس المرئية (ذات الطول الموجي 0.4 - 0.75 ميكرومتر) عبر الغلاف الجوى فإن الحرارة الساقطة يتم امتصاصها من قبل سطح القشرة الأرضية ثم لا تلبث أن تفقدتها الأرض على هيئة أشعة فوق حمراء . وعندما يخلو الهواء من الملوثات فإن كمية الحرارة الممتصة من قبل سطح الأرض تعادل كمية الحرارة التي تفقدتها الأرض ، وبالتالي لا يحدث تغير في درجة القشرة الأرضية أو الغلاف الجوى . ولكن عندما يزيد تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون في الهواء فإن هذا الغاز يستطيع أن يمتص كمية كبيرة من الأشعة فوق الحمراء ويحتفظ بها في الغلاف الجوى ، مما يؤدي إلى ارتفاع حرارة الغلاف الجوى ومن ثم القشرة الأرضية .

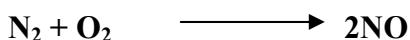
ويُعتقد أنه إذا بقيت الزيادة في إطلاق غاز ثاني أكسيد الكربون على ما هي عليه بمعدل 0.4 % من تركيزه في السنة فسيرتفع تركيزه ما بين 381 - 551 جزء من المليون في عام 2030 وأن ذلك سيؤدي إلى ارتفاع حرارة القشرة الأرضية بمعدل 1.3 - 3.9 درجات مئوية . مما يعني انصهار كتل ضخمة من الجليد من المناطق المتجمدة ، مما سينتتج عنه فيضانات مدمرة .

2- أكسيد النيتروجين Nitrogen Oxides

يقصد بأكسيد النيتروجين مركبات النيتروجين الغازية والتي تتكون عند اتحاد النيتروجين والأكسجين تحت درجات حرارة عالية كما هو الحال عند احتراق الوقود داخل الأفران أو في وسائل النقل وغيرها . وأهم هذه المركبات أول أكسيد النيتروجين NO، وثاني أكسيد النيتروجين NO₂. وينتج

حوالي 70 % من أكسيد النيتروجين الموجود في الجو من الاحتراق داخل محركات السيارات ، بينما ينبع الباقى من الصناعات المختلفة ومن محطات الطاقة الكهربائية وغيرها .

أول أكسيد النيتروجين غاز عديم اللون وهو لا يساعد على الاشتعال العادى ، ويكون من اتحاد كل من عنصر النيتروجين والأكسجين في الهواء الجوى بفعل حرارة احتراق الوقود :



ويتحد أول أكسيد النيتروجين بالأكسجين عند درجات الحرارة العادية مكوناً ثاني أكسيد النيتروجين.

وثاني أكسيد النيتروجين عبارة عن غازبني مصفر وذلك نتيجة لامتصاصه للون الأخضر المزرق في طيف أشعة الشمس المرئية، كما أنه ينحل بالماء مكوناً كل من حمض النيتريك (HNO_3) وحمض النيتروز (HNO_2).

• مصادر أكسيد النيتروجين:

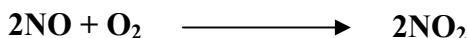
تطلق أكسيد النيتروجين من عوادم السيارات نتيجة لاحتراق الوقود ، كما تتصاعد من احتراق الغاز الطبيعي والفحم الحجري ومعظم خامات النفط ، ومن حرق الفضلات العضوية . كما تطلق من صناعات الزيوت والبلاستيك وإطارات السيارات وصناعة النحاس . كذلك تطلق هذه الغازات من صناعة نترات الأمونيوم وأثناء مراحل تصنيع حمض النيتريك ، كما تطلق أثناء صناعات النفط وتكريره . بالإضافة لتلك المصادر الصناعية فإن غازات أكسيد النيتروجين تنتج من سلسلة التفاعلات الطبيعية التي تحدث في الغلاف الجوى . والتي تشكل المصدر الأكبر لهذه الغازات حيث يتكون أكسيد النيتروز N_2O من خلال الدورة النيتروجينية في الطبيعة بفعل البكتيريا في التربة ومن أكسدة المواد العضوية النيتروجينية ، والذي يتحول بدوره إلى أكسيد النيتروجين بفعل الأشعة فوق البنفسجية :

كما أن أول أكسيد النيتروجين ينبع من عمليات التحلل الحيوي بفعل الكائنات الدقيقة ، وكذلك من



عمليات الاحتراق ونتيجة للبرق ، والذي بدوره يتفاعل مع الأكسجين الجوى مكوناً غاز ثانى أكسيد

النيتروجين :



تأثير ثاني أكسيد النيتروجين على الإنسان :

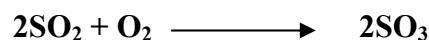
يتفاوت تأثير غاز ثاني أكسيد النيتروجين على صحة الإنسان تبعاً لتركيزه وفترة التعرض من تهيج العيون وبطانة الجيوب الأنفية والجهاز التنفسى ، وإلى احتقان رئوي والتهاب بالقصبات الهوائية . ومما يزيد من آثاره الصحية تحوله إلى حمض نيتريك مخفف يهاجم أنسجة الجهاز التنفسى ابتداء بالجيوب الأنفية ووصولاً للحويصلات الهوائية في الرئتين .

فعندما يصل تركيزه إلى 3 أجزاء من المليون فإنه يؤدي إلى تهيج في العين والأنف . وعند التعرض لتركيز 25 جزء من المليون لمدة خمس دقائق فإنه يسبب اضطرابات في التنفس . بينما التعرض لتركيز 50 جزءاً من المليون لمدة دقيقة واحدة يسبب احتقان رئوي .

كما يعتبر غاز ثاني أكسيد النيتروجين من الملوثات شديدة الخطورة لأنه يشكل المفتاح الذي يدخل في سلسلة التفاعلات الكيموبيولوجية التي ينتج عنها تكون الضباب الكيموبيولوجي وذلك بوجود الهيدروكربونات وثاني أكسيد الكبريت والأشعة الشمسية .

3- أكسيد الكبريت Sulphur Oxides

توجد أكسيد الكبريت في الهواء على هيئة ثاني أكسيد الكبريت SO_2 وثالث أكسيد الكبريت SO_3 . ويعتبر ثاني أكسيد الكبريت من أخطر ملوثات الهواء وهو غاز عديم اللون غير قابل للاحتراق . يؤثر في حس الذوق إذا وصل تركيزه في الهواء إلى 0.3 أجزاء من المليون أو أكثر . وله رائحة نافذة إذا تجاوز تركيز 3 أجزاء من المليون . ويتحول في التفاعلات الكيموبيولوجية التي تحدث في أجواء المدن إلى ثالث أكسيد الكبريت SO_3 وإلى ضباب Mist حمض الكبريت H_2SO_4 إذا كان الهواء مرتفع الرطوبة كما توضح ذلك المعادلات التالية :



ويسقط حمض الكبريت مع الأمطار على شكل أمطار حمضية تغير من خصائص المياه والتربيه .

كما أن ثاني أكسيد الكبريت يزيد من تآكل المعادن خاصة إذا ترافق تركيزه المرتفع في الهواء مع ارتفاع في الرطوبة .

ويتراوح تركيز ثاني أكسيد الكبريت في أجواء المدن بين 0.01 - 0.2 جزء من المليون ، وإذا وصل تركيزه في الهواء إلى 0.1 جراءً من المليون وأكثر إلى انخفاض في الرؤية لأنه يزيد من التفاعلات الكيماوية المكونة للضباب الدخاني من جهة وتشكيل الضباب عند توافر الرطوبة من جهة ثانية . وتتحفظ الرؤية إلى 8 كم فقط إذا بلغ تركيزه في الهواء 0.1 جزء من المليون وكانت رطوبة الهواء 50 % . وفي ولاية كاليفورنيا في الولايات المتحدة الأمريكية إذا وصل تركيز ثاني أكسيد الكبريت إلى 5 جزاء من المليون فإنه يعتبر تلوثاً خطراً . والسموّح به كمعدل يومي لتركيز هذا الغاز حسب المقاسات الفيدرالية الأمريكية هو 0.1 جزء من المليون ، بينما التركيز المسموح به في المملكة العربية السعودية على أن لا يزيد متوسط التركيز عن 0.03 جزء من المليون خلال العام .

• مصادر غاز ثاني أكسيد الكبريت

يتتصاعد غاز ثاني أكسيد الكبريت من حرق الكبريت أو الكبريتيد أو مركبات الكبريت بشكل عام . وتنطلق النسبة الكبرى من احتراق الوقود الحفري الذي يحتوي على مركبات الكبريت مثل الفحم و البترول . حيث يحتوي النفط الخام على نسبة من الكبريت لا تقل عن 1 - 5 % ، كما يحتوي الفحم على نسبة 0.4 - 0.5 % من الكبريت . ويتصاعد هذا الغاز من صناعات عديدة كالصناعات التي يدخل فيها عنصر الكبريت مثل صناعة حمض الكبريت . كما ينطلق هذا الغاز من صناعات عديدة أخرى كصناعة الأسمدة وصناعة الطوب وصناعة النحاس وأثناء تنقية الرصاص . كذلك يتتصاعد غاز ثاني أكسيد الكبريت من صناعات الدباغة والمطاط والزيوت وصناعة النسيج والورق . كما ينتج هذا الغاز من مصادر طبيعية كالبراكين وينابيع الكبريت ومن تحلل المواد العضوية المكبرة .

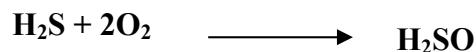
• تأثير ثاني أكسيد الكبريت على الإنسان

يعتبر غاز ثاني أكسيد الكبريت من أخطر الملوثات الهوائية ويتفاوت تأثيره على الإنسان ما بين ضيق في التنفس والتهاب المجرى التنفسي والكحة الشديدة وتساقط الشعر والتهاب في الكلى . فعند تراكيز منخفضة من هذا الغاز تصل إلى 0.092 جزء من المليون تزيد الحالات المرضية في الجهاز التنفسي ويزداد عدد الوفيات عندما تصل التركيز إلى 0.52 جزء من المليون . وتجدر الإشارة إلى أن الحد المسموح به لتركيز هذا الغاز هو 0.3 جزء من المليون . وعند التعرض لتركيز حتى 1 جزء من المليون فإنه يسبب انقباض القصبات الهوائية ، مما يزيد في مقاومة مرور الهواء إلى الرئة . ويتأثر الجزء العلوي من الجهاز التنفسي ، حيث أن هذا الغاز يذوب في أول جزئيات ماء تواجهه في الجزء العلوي من الجهاز التنفسي ، ويتحول إلى حمض كبريتيك مخفف وكبريتات . كما أنه يعيق عملية التنظيف التي تقوم بها الشعيرات

التي تبطن الأجزاء الرئيسية للجهاز التنفسى كما يهيج الغشاء المخاطي للعيون ويهيج الجلد . هذا بالإضافة إلى أن أغلب آثاره لها صفة الديمومة وقليلًا ما يؤثر فيها العلاج . ويعتبر التركيز 150 جزء من المليون الجرعة القاتلة للإنسان من هذا الغاز .

4. غاز كبريتيد الهيدروجين Hydrogen Sulphide

يوجد على شكل غاز عديم اللون له رائحة البيض الفاسد وهو أثقل من الهواء . كما أنه يحترق ويكون ثاني أكسيد الكبريت و الماء إذا كانت كمية الأكسجين كافية أما إذا كانت غير كافية فإنه يحترق احتراقاً غير كامل إلى كبريت وماء . وب مجرد الشعور برائحته يعني أن تركيزه في الهواء أعلى من التركيز المسموح به والذي يتراوح بين 0.003 - 0.008 جزء من المليون . ومن الجدير بالذكر أن تركيزه في بعض مدن المملكة العربية السعودية يصل إلى 0.02 جزء من المليون . كما أن كبريتيد الهيدروجين يتآكسد في الهواء إلى حمض الكبريتيك :



لذلك فإن تركيزه في الهواء على مستوى العالم لا يزداد مع الزمن على الرغم من انبساط حوالي 300 طن كل سنة . وبالتالي فإن تأثيره على الصحة يأتي من التركيز المفاجئ في مناطق محدودة .

• مصادر غاز كبريتيد الهيدروجين

ينتج غاز كبريتيد الهيدروجين من تخمر المخلفات البشرية السائلة ومن احتراق المواد التي تحتوي على الكبريت ومن الصناعات الجلدية وصناعة تكرير النفط وصناعة المطاط وغيرها . إلا أن المصدر الرئيسي لتلوث البيئة يأتي من تكرير البترول ومن بعض الصناعات البتروكيميائية لاعتباره أحد مكونات البترول والغاز الطبيعي . كما يوجد كبريتيد الهيدروجين في كثير من المياه المعدنية (المياه الكبريتية) كما يتتصاعد من فوهات البراكين حيث يحترق كثير منه احتراقاً غير كامل إلى كبريت وماء .

• تأثير غاز كبريتيد الهيدروجين على الإنسان

يعتبر هذا الغاز ذا سمية عالية تفوق سمية أول أكسيد الكربون ويدخل الجسم عن طريق التنفس والجلد . ويسبب تلوث الهواء بهذا الغاز تهيجاً في بطانة الغشاء المخاطي في أعضاء الجهاز التنفسى والعيون ، كما يحدث اضطراباً وصعوبة في التنفس بسبب تأثيره على عدد من الإنزيمات الفعالة في الجسم ، كذلك يسبب تلوث الهواء بهذا الغاز خمولًا في التفكير وعدم القدرة على التركيز وعلى تقدير الوقت حيث إنه يؤثر على الجهاز العصبى المركزي .

فعدما يوجد بتركيز منخفض جداً يصل إلى 0.1 جزء من المليون يمكن الإحساس برائحته ، ولكن عند التعرض لهذا التركيز لمدة ساعة فإنه يؤثر على الجهاز العصبي . وعند التعرض لتركيز 0.3 جزء من المليون لمدة طويلة يؤدي إلى تدمير حياة الشم . كما أن التعرض لتركيز 100 جزء من المليون يتلف الإحساس بالشم وإذا استمر لمدة ساعة كاملة يؤدي إلى إصابة الجهاز التنفسى . ويعتبر التعرض لتركيز 500 جزء من المليون لمدة دقيقة واحدة الجرعة القاتلة للإنسان .

4- غاز فلوريد الهيدروجين **Hydrogen Fluoride**

غاز فلوريد الهيدروجين HF ذو رائحة نفاذة ، وهو سام ومسبب للتآكل بدرجة كبيرة . ويذوب في الماء مكوناً حمض الهيدروفلوريك . وقد حددت منظمة الصحة العالمية تركيز هذا الغاز بأن لا يزيد عن 0.001 جزء من المليون . وينتج هذا الغاز من العديد من الصناعات مثل صناعة الحديد ، والأمنيوم ، تكرير النفط ، الأسمدة العضوية ، حمض الفوسفوريك ، الفولاذ ، الأواني الحديدية وغيرها .

ويسبب هذا الغاز تهييجاً في جميع أسطح الجسم الخارجية ، خاصة في المناطق الرطبة إذا وصل تركيزه إلى 2.5 جزء من المليون . وعند التراكيز العالية فإنه يؤثر على الجهاز التنفسى ويعمل على تكسيل مفاصل العظام وعلى التهاب الكبد والكلى . ويموت الإنسان خلال عشر دقائق إذا وصل تركيز هذا الغاز إلى 4000 جزء من المليون .

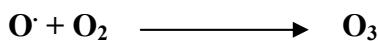
5- الأوزون **Ozone**

يمتاز غاز الأوزون O₃ برائحة خاصة مميزة . ويلعب هذا الغاز في طبقات الجو العليا المعروفة بطبقة الغلاف الزمهريري Stratosphere دوراً مهماً في حماية الكرة الأرضية من الأشعة فوق البنفسجية . ويوجد هذا الغاز بصورة طبيعية في الطبقة السفلية من الغلاف الجوي Troposphere ليشغل نسبة 0.02 جزءاً من المليون . ولكن زيادة تركيزه في هذه الطبقة Troposphere تعتبر تلوثاً جوياً يجب تفاديه . ويتفاوت تركيزه في هواء المدن والمناطق الصناعية من الغلاف الجوي تبعاً للفصول ولساعات اليوم . فقد أظهر المسح الذي تم لكمية الأوزون الجوي فوق مدينة لوس أنجلوس الأمريكية مستويات عظمى مقدارها 0.9 جزءاً من المليون ، مقارنة مع المستويات العظمى فوق منطقة لندن البالغة 0.1 جزءاً من المليون في ظروف موجة حرارية استثنائية .

يعتبر الأوزون عاملًا مؤكسداً قوياً للمواد العضوية ، وهو يدخل في التفاعلات الكيمياضوئية مكوناً مع أكسيد النيتروجين ودقائق الهيدروكربونات ملوثات ثانوية أهمها الضباب الكيمياضوئي.

• مصادر الأوزون

يتشكل الأوزون في الهواء تحت تأثير الأشعة الشمسية والبرق ويتشكل بسرعة أثر إذا كان الهواء يحتوي على ثاني أكسيد النيتروجين ولو بتركيز قليل حيث يعطي هذا الأخير ذرة أكسجين ويتحول إلى أكسيد النيتريك . تتحد ذرة الأكسجين هذه مع غاز الأكسجين الجوي لتعطي الأوزون :



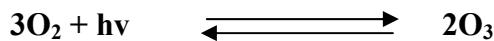
• تأثير غاز الأوزون على صحة الإنسان

يتفاوت يأثير الأوزون من جفاف في الغشاء المخاطي المبطن لكل من الأنف والفم والحنجرة إلى تأثير على حدة الرؤيا والصداع . وقد يصل الأمر إلى التأثير على عمل الرئتين وتسبب الاحتقان بهما . ويعزى تأثير الأوزون بسبب تأثيره على قدرة الhimoglobins بالاتحاد مع الأكسجين من أجل نقله إلى بقية أجزاء الجسم . فتركيز 0.05 جزء من المليون يسبب تهييجاً في الأنف والحنجرة وجفاف مخاطية الجزء العلوي من الجهاز التنفسى . وعندما يصل تركيز الأوزون إلى جزء واحد من المليون ويتم التعرض له لمدة ساعة ، فإن ذلك يؤدي إلى اضطرات في وظائف الرئة والتهاب في الشعيبات الهوائية ، كما يفقد himoglobins 40 % من قدرته على الاتحاد مع الأكسجين . وإذا بلغ تركيز الأوزون بالهواء إلى جزأين من المليون ، فإن ذلك يؤدي إلى تغيرات كيميائية في بروتينات الرئتين ، مما يقلل قدرتها على مقاومة الأصابة بعدي البكتيريا . وعند التعرض لتركيز عالٍ مثل 5 - 10 جزء من المليون فإنه يؤدي إلى آثار بالغة مثل التهابات حادة ونزيف رئوي .

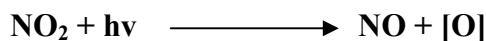
• نضوب طبقة الأوزون Ozonlayer depletion

كما سبق ذكره في الفصل السابق توجد طبقة الأوزون في طبقة الغلاف الزمهريري Stratosphere على ارتفاع 22 كيلومتر من الغلاف الجوي وتسمى بطبقة الأوزون Ozonlayer أو حاجز الأوزون . وللأوزون في هذه الطبقة دور مهم في امتصاص الأشعة فوق البنفسجية ذات الموجات القصيرة وبالتالي منعها من الوصول إلى سطح الأرض ، لأن وصولها إليه يحدث آثاراً مدمرة على الكائنات الحية فيها . ويوجد الأوزون في هذه الطبقة في حالة توازن مستقر ، أذ أن سرعة تولده من الأكسجين بمساعدة الأشعة فوق البنفسجية تتساوى تقريباً مع سرعة اختفائه (سرعة تجرئه إلى جزيئات أكسجين) وهذا يعني أنه

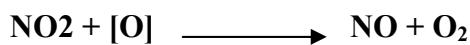
عندما يصل إلى حالة التوازن المستقر فإن سرقة التفاعل التالي في أحد اتجاهيه تتساوى مع سرعته في الاتجاه المضاد كما في المعادلة التالية :



إلا أن إدخال مواد كيماوية محددة في الجو ، ووصولها إلى طبقة الجو الأوزونية ، يعمل على إحداث تهتك في هذا الحاجز . وأهم المواد الملوثة التي تقوم بهذا الدور هي أكسيد النيتروجين وبخار الماء وأمصال مرکبات الفلوروكلوروکربون المستعملة في أجهزة التبريد ، حيث تعمل هذه الملوثات على تحويل الأوزون في هذه الطبقة إلى أكسجين ، مما يعطي الفرصة للأشعة فوق البنفسجية القصيرة الموجة من الوصول إلى سطح الأرض وإحداث أثرها المدمر للكائنات الحية عليها . ويمكن تلخيص التأثير الذي يحدث لطبقة الأوزون من جراء وجود أكسيد النيتروجين كما في المعادلات التالية :



وتدخل نواتج هذا التفاعل في تفاعلات متسلسلة كما في المعادلتين التاليتين :

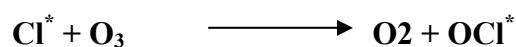


ويوضح من هذه التفاعلات أن وجود ثاني أكسيد النيتروجين ، ولو بكميات قليلة يتسبب في حدوث سلسلة من التفاعلات تؤدي إلى تحويل الأوزون إلى جزيئات أكسجين عاديّة بطريقة مستمرة .

أما مشتقات الفلوروكلوروکربون المستعملة في أجهزة التبريد وفي علب المطففات الغازية فإنها تنشط بامتصاص طاقة الأشعة فوق البنفسجية منتجة ذرات كلور نشيط كما في التفاعلات التالية :



يلي ذلك قيام هذا الكلور $[\text{Cl}^*]$ على تدمير جزيئات الأوزون ، ويمكن تصوير ذلك على النحو التالي :



وتستمر سلسلة التفاعلات على هذا النحو لإحداث أكبر تدمير ممكن لطبقة الأوزون ، بسبب أن أصل الكلور الحر يتولد تلقائياً من تكرار حدوث هذه التفاعلات .

6- الـhydrocarbons (HC)

الـhydrocarbons عبارة عن مركبات مكونة من عنصرين فقط هما الكربون والهيدروجين . ويمكنها أن توجد بشكل غازات أو سوائل أو بشكل صلب ضمن الشروط البيئية العادية . وتحت تلك الشروط ، فإن الجزيئات الـhydrocarbons تحتوي على أربعة ذرات كربون أو أقل لتشكل الغازات ، بينما السائل منها والصلب يحتوي على خمسة ذرات كربون أو أكثر . ومعظم الـhydrocarbons التي تساهم في تلوث الهواء تحتوي جزيئاتها على 12 ذرة كربون أو أقل ، وهي تكون إما غازات أو سوائل طيارة (سريعة التبخّر) .

وتعتبر الـhydrocarbons المكون الرئيسي للبترول وتشمل من الاحتراق غير الكامل للوقود في وسائل النقل والمصانع . ولها أضرار على الصحة كما أنها تسبب الضباب الدخاني ذي الآثار الضارة على الصحة . ومن المركبات الـhydrocarbons ذات الضرر البالغ ، يمكن ذكر البنزوبيرين (C_2OH_{12}) الذي يعد من أهم المواد المسرطنة . ويكون من احتراق مكونات البترول وخاصة الثقيلة مثل الزيوت والقار كما يوجد في دخان السجائر (التبغ) وفي قطران الفحم .

ثانياً : تلوث الهواء بالجسيمات Particulates air pollutants

تعرف الجسيمات بأنها ما يحمله الهواء من دقائق صلبة أو سائلة تتطلق إليه من مصادر عديدة بأحجام وأشكال وألوان مختلفة وبنكهة كيميائي مختلف . وتنتج الجسيمات إما من مصادر طبيعية أم من نشاطات الإنسان المختلفة . وكما يلعب التركيب الكيميائي للجسيمات الملوثة للهواء دوراً كبيراً في الآثار الناجمة عن تأثير الحلقات البيئية على السواء ، فإن لحجم هذه الجسيمات أهمية كبرى ، حيث أنه يحدد مسارها ومدى تأثيرها على الإنسان والحيوان والنبات والجماد .

يتراوح قطر الجسيمات الملوثة للهواء ما بين 0.002 إلى 500 ميكرومتر ويمكن لهذه الجسيمات أن تبقى عالقة في الهواء لزمن يتراوح ما بين بضع ثوان إلى عدة سنوات .

ويمكن تصنيف هذه الجسيمات تبعاً لحجمها إلى ما يلي :