٤- تلوث الهواء

الكرة الأرضية على عكس سائر الكواكب الأخرى، محاطة بغلاف جوي يتكـون من الهواء بالنسب المئوية التالية بالوزن من الغازات المكونة له:

٧٨,٠٩	نيتروجين
٢٠,٩٥	أوكسجين
٠,٩٣	ارجون
٠,٠٠٠١	كوبيتون
٠,٠٠٠٠٠١	هيدروجين
٠,٠٠٠٠٥٢	هليوم
٠,٠٠٠١٨	نيون
٤	بخار ماء (على الأكثر)
٠,٠٣	ثاني أوكسيد كربون
٠,٠٠٠٠٠١	أوزون
١٠٠,٠٠٢.٠٠٣	إجمالي

والهواء بهذا التركيب حيوي جدًّا لجميع الكائنات، فإن النباتات تحتاج إلى كل من ثاني أوكسيد الكربون والنيتروجين لصنع غذائها ونموها، حيث إن الأوكسجين لازم لكل الكائنات الحية لأداء وظائفها الحيوية.

يحتاج الإنسان في الشهيق إلى نصف لتر هواء، وبتكرار التنفس لعدد ٢٢٠٠٠ مرة في اليوم، وذلك في الحالة العادية بينما تزيد مرات التنفس مع الحركة والمجهود، وإجمالا يصل الهواء إلى حوالي ١٥٠٠٠ لتر هواء يوميـا، ومـا يـساوي ١٦ كيلـوجرام يوميًّـا، وهذه الكمية تزيد عما يستهلكه الفرد من الماء والغذاء يوميًّا.

أهمية الغلاف الجوي:

- شرط لوجود الحياة على الأرض.
- يتسبب في حدوث الرياح، الأمطار، السحب.

obeikandl.com

- يؤثر في ثبات درجة الحرارة اليومية على الأرض، ولولاه لانخفضت درجة الحرارة على الأرض إلى -١٠°م نهارًا - ١٤٨°م ليلاً، حيث يقوم بحبس حرارة الشمس الداخلة إلى الأرض.
- يتكون الغلاف الغازي حول الأرض بالوزن من نيتروجين ٧٥٪، أوكسجين ٢٣٪، ثاني أوكسيد الكربون ٠,٠٠٤٪، الأرجون ١,٠٣٪ وبالحجم نيتروجين ٧٨,٠٩٪، الأوكسجين ٢٠,٩٥٪، ثاني أوكسيد الكربون ٠,٠٠٣٪، ويستهلك الإنسان يوميًّا ١٥٠٠ لتر هواء.

والأوكسجين لا لون له أو طعم أو رائحة، ويذوب بنسبة قليلة في الماء، وهذا هو المصدر لتنفس الحيوانات المائية، ويرجح أنه ناتج من تحلل أبخرة الماء بواسطة الأشعة فوق البنفسجية في طبقات الجو العليا، ومن أكثر العناصر وجودًا على الأرض، وتبلغ نسبته ٤٩.٥٪ من وزن القشرة الأرضية، ونسبة ٨٨٪ من وزن الماء، ولازم للمحافظة على الحياة واستمرارها.

يعتبر الهواء ملوثًا إذا حدث تغير ملحوظ في نسب تركيبه أو إذا اختلط بالشوائب والملوثات، التي تدخل إلى جسم الإنسان عن طريق جهازه التنفسي، وصولاً إلى الدم مباشرة، كما تنفذ من الجلد مباشرة إلى الدم أيضا، أو عن طريق الجهاز الهضمي مع الأغذية والمشروبات، إذا كانت ملوثة.

وأهم ملوثات الهواء، الآتي:

- أكاسيد الكبريت (SO_x).
- أكاسيد النيتروجين (NO_x).
- أول أوكسيد الكربون (CO).
- المركبات العضوية المتطايرة (VOC).
- الجزئيات الدقيقة العالقة (SPM).

وإضافة إليها يحتمل أن يصل إلى الهواء أيضا:

- الأتربة والشوائب والعواصف وانبعاثات البراكين.
- مركبات الكلوروفلوروكاربون (CFC).
- الأمطار الحامضية.

obeikandl.com

بالإضافة إلى ما ينتج عن عمليات التنفس، من ثاني أوكسيد الكربون (CO_2)، وكذلك ما ينتج من حرق أنواع الوقود، ومع التزايد في استخدامات الوقود، فإن نسبة غاز ثاني أوكسيد الكربون في الهواء الجوي تزايدت عن السنوات الأخيرة؛ ذلك أن واحد جرام من الوقود أو المواد العضوية المحتوية على الكاربون تعطي عند احتراقها بالكامل ثاني أوكسيد كربون بكمية حوالي من ١٠٥ إلى ٣ جرامات، ومع ما يتم حرقه من أنواع الوقود فتقدر أن حوالي ٢٠ مليار طن من (CO_2) ينبعث سنويًّا إلى الهواء، وبحيث زادت الكمية من ٢٦٠ جزءًا في المليون في القرن ١٨ إلى ٣٤٥ جزءًا في المليون في نهاية القرن العشرين، وستكون ٥٢٠ جزءًا في المليون عام ٢٠٢٠.

وتقوم جميع النباتات البرية والبحرية بامتصاص جزء كبير من ثاني أوكسيد الكربون المنطلق في الهواء لاستخدامه في نموها، وتكوين ما تحتاجه من غذاء (المواد العضوية)، مما يخفض من نسبته خلال فصل الربيع مع نمو النباتات، وتزداد في الشتاء عندما تنخفض بما يتم القيام به من عمليات التمثيل الضوئي للنباتات، كما أن قطع الغابات في بعض البلدان (البرازيل) يساعد على زيادة نسبته.

وذوبان ثاني أوكسيد الكربون في الماء يكون حمض الكربونيك، وهو حمض ضعيف، وإن كان يتفاعل مع بعض المكونات القلوية للتربة مكونا مركبات تشمل بيكربونات الكالسيوم، وكربونات الكالسيوم.

ويقوم ثاني أوكسيد الكربون بامتصاص الأشعة الحرارية المنعكسة من الأرض مع الاحتفاظ بها؛ مما يتسبب في حدوث الاحتباس الحراري، والذي إذا ما استمر في الزيادة سيؤدي إلى انصهار أجزاء من الثلج، الذي يغطي القطبين الشمالي والجنوبي، وكذلك الموجود على قمم الجبال، مما سيؤدي إلى ارتفاع مستوى سطح الماء في البحار والمحيطات بحوالي ٢٠ سم عام ٢٠٣٠، وإلى غرق عديد من المدن الساحلية والشواطئ الموجودة على البحار والمحيطات، كما سيؤدي ذلك إلى تلوث للمياه الجوفية، وإلى زيادة الملوحة في التربة الزراعية، مما يفقدها الصلاحية للاستنبات، كما يتوقع اختلال في سقوط الأمطار، وكذلك التأثير على الثروة السمكية مع غمر الشواطئ؛ مما يعني التدمير الواسع مع الزيادة في ثاني أوكسيد الكربون، وما يحدثه من إخلال بالتوازن الطبيعي للبيئة فوق سطح الأرض.

أما التلوث بأكاسيد الكبريت وأكاسيد النيتروجين، فإنها عند ذوبانها في ماء السحاب، فتحوله إلى مياه حامضية تحتوي على أحماض الكبرتيك والنيتريك، ومما

تتسبب في سقوطها كأمطار حامضية، يتسبب في تآكل المباني والأسوار والمعادن وخلافه مما يوجد على سطح الأرض ، كما سبق التوضيح، إضافة إلى أن أكاسيد النيتروجين عندما تصل إلى غاز الأوزون في طبقات الجو العليا، والتي تحمي الأرض من الأشعة فوق البنفسجية، فإنها تحدث أضرارًا كبيرة وتؤدي على تفكك الأوزون، وبالتالي زيادة ما يصل إلى الأرض من أنواع الأشعة المرئية وغير المرئية (UV&IR).

أما أول أوكسيد الكربون فإنه ينتج عن عدم الأكسدة الكاملة للوقود في المحركات، ورغم أن نسبته منخفضة إلا أنه يتصف بالسمية الشديدة، ويعتبر من أخطر أنواع الغازات على صحة الإنسان؛ إذ يكون مع الدم مركبًا صلبًا (حدوث تجلط للدم)، بذلك يقلل من كفاءة الدم على نقل وامتصاص الأوكسجين، وإذا ما زادت كميته قليلا فإنه يتسبب في انسداد الأوعية الدموية، وربما في حدوث الوفاة للأفراد. كما يقلل من كفاءة عمل الإنزيمات وجميعها خسائر صحية قاتلة.

كما أن المركبات العضوية المتطايرة تشمل الكثير من المركبات السريعة التطاير، ولكنها التي قد تكون متحدة مع بعض أنواع المعادن من الفلزات، مثال: النحاس، الزئبق، الزنك، الكادميوم...إلخ، والتي تتصاعد على نحو مستمر من المداخن، والمركبات العضوية، بذلك شديدة السمية للأفراد والكائنات الحية المختلفة، ومن السهل وصولها إلى الأفراد مع التنفس أو إلى الخضروات؛ خاصة المزروعة على حواف الطرق السريعة، نتيجة عوادم السيارات، وتؤثر بصفة خاصة على صغار الأطفال مسببة أمراض التخلف الذهني والغباء والعته، مع التشوهات الجسدية، من كبر حجم الرأس، وبروز العينين، وخلافه، وعند وصولها على داخل جسم الأفراد تتراكم داخل الكبد والكلى والعظام والمخ.

وتحتوي الغازات المنبعثة من المداخن على كثير من الشوائب العالقة والأبخرة والجزئيات الدقيقة أو أحيانا على الأبخرة المحتوية على مركبات الزرنيخ، الفسفور، الكبريت، السلينيوم، الزئبق، الرصاص، الكادميوم وخلافه، حيث تبقى معلقة في الهواء على هيئة أيروسولات أو ضباب خفيف.

تأثيرات الأشعة فوق البنفسجية:

تتراوح طول موجات الأشعة فوق البنفسجية، مع ما تحدثه من تأثيرات صحية على النحو التالي:

- طول ٢٠٠ – ٢٨٠ نانومتر: قاتلة وتحدث أورامًا سرطانية، ويقوم الأوزون بحجبها ومنع وصولها إلى الأرض.

- طول ٢٨٠ – ٣٢٠ نانومتر: ضارة ويمتص الأوزون جزءًا كبيرًا منها.
- طول ٣٢٠ – ٤٠٠ نانومتر: غير ضارة نسبيا، ولا يمتص الأوزون منها إلا جزء ضئيل.

٤-١ صور وأحجام أهم ملوثات الهواء

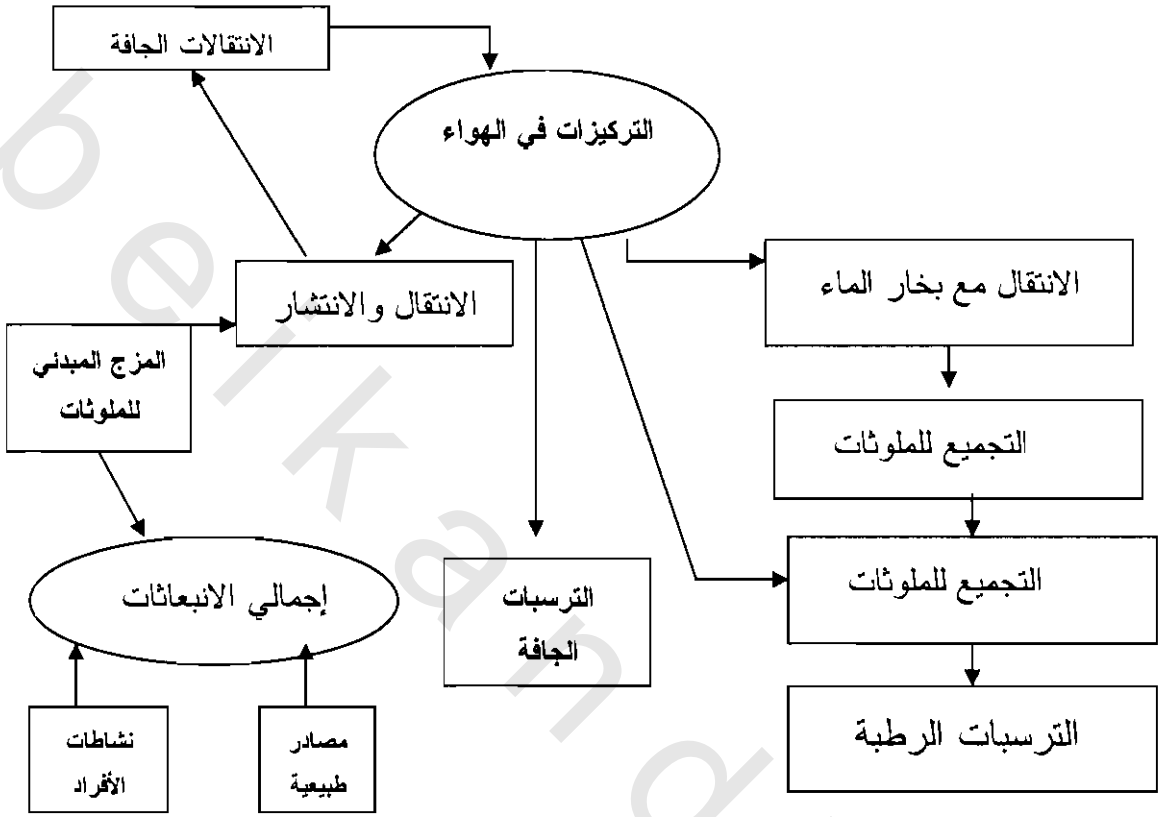
يلزم أولا تحديد حالة ملوثات الهواء؛ إذ إنها توجد إما على هيئة غازات أو على هيئة جزئيات دقيقة، وتشمل الغازات أكاسيد الكبريت والنيتروجين إضافة إلى الأوزون. وغالبا ما تكون بتركيزات على نحو كتلة من وحدة الحجم (مليجرام/ م٣)، أو كنسبة من الحجم على صورة جزء في المليون (ج ف م $١٠^{-٦}$)، أو جزء في البليون (ج ف ب $١٠^{-٩}$)، أما الجزئيات الدقيقة، فإن خواصها تختلف على نحو كبير، حيث إنها تشمل المركبات العضوية وغير العضوية، وبأقطار تتراوح من أكبر من ٠.١ ميكروميتر إلى اقل من ١٠٠ ميكروميتر، وحيث إن جزئيات الأيروسولات الدقيقة سريعا ما تكبر باتحادها مكونة جزئيات كبيرة، ولذا سرعان ما تتساقط بتأثير الجاذبية الأرضية، وحيث يكون الجزء الأكبر منها ذو حجم من ٠.١ إلى ١٠ ميكروميتر، والجزئيات الأكبر من ٢ ميكروميتر غالبًا ما تتكون بنمو الجزئيات الصغيرة جدًّا، والتي تنبعث في عمليات التكثيف، بينما تنشأ الجزئيات الأكبر منها مع عمليات التحلل الميكانيكي، وأغلب جزئيات الأيروسول الأقل في الحجم عن ٢ ميكروميتر فإنها غالبًا من نشاطات الأفراد، مثال انبعاثات الرصاص من المصادر المختلفة، وكبريتات الأمونيا، ومن أكسدة ثاني أوكسيد الكبريت في الجو، بينما الأكبر من ٢ ميكروميتر غالبا ما تكون من المصادر الطبيعية، مثال ما تحمله الرياح من جزئيات التربة أو الانبعاثات البحرية للأملاح، وذلك بالطبع ليس تحديدًا أو فصلاً محددًا؛ إذ يختلف حسب الظروف البيئية والجوية وحركة الرياح ودرجات الحرارة وغيرها من المؤثرات.

٤-٢ دورات الملوثات:

تنبعث الملوثات أو لا من مصادرها، كما أنها تخرج من الجو بالترسيبات الجافة أو الرطبة، ويمثل الشكل (٢) دورة تقليدية للملوثات.

شكل (٢)

دورة تقليدية للملوثات في الهواء



وأغلب الملوثات إما أن تنتج من نشاطات الأفراد أو من المصادر الطبيعية، ورغم محدودية هذه المصادر الطبيعية عند تساقط الملوثات سواء طبقًا لكونها جافة أو رطبة. وتتضمن الترسبات الجافة الانتقال والإزالة للغازات والجزيئات، سواء إلى سطح الأرض أو البحار والمحيطات، ودون أن تتداخل مع الأمطار أو الثلج، وبالنسبة للغازات التي يتم إزالتها عند السطح، فإن الترسبات الجافة تحدث بتأثيرات التناقص في التركيزات التي يتسبب فيها ما يقابلها من أسطح، ويعمل هذا الميكانيزم للجزئيات الدقيقة في توزان مع ما تحدثه الجاذبية الأرضية للجزئيات الكبيرة. ويمكن التمثيل للترسبات الجافة بما يعرف بسرعة الترسيب (ف)، وطبقًا للمعادلة التالية:

$$\text{ف (متر/ ثانية)} = \frac{\text{سرعة السريان (ميكروجرام/ متر مربع/ ثانية)}}{\text{التركيز في الجو (ميكروجرام/ متر مكعب)}}$$

ويشتمل الجدول (٣) على بعض القيم لسرعة الترسيب، حيث كانت الغازات مثال ثاني أوكسيد الكبريت لها قيم مرتفعة، والترسبات الجافة لها تأثيرات محددة على التركيزات عندما تكون قريبة من السطح، ولكن ربما يكون لها تأثير واضح عند المستويات المحيطة للمسافات الكبيرة لاتجاهات الرياح.

جدول (٣)

بعض التقييم لسرعة الترسيب

الملوث	السطح	سرعة الترسيب (سم/ ثانية)
ثاني أوكسيد الكبريت	حشائش	١,٠
ثاني أوكسيد الكبريت	المحيط	٠,٥
ثاني أوكسيد الكبريت	التربة	٠,٧
ثاني أوكسيد الكبريت	الغابة	٢,٠
الأوزون	حشائش جافة	٠,٥
الأوزون	حشائش رطبة	٠,٢
الأوزون	ثلج	٠,١
حامض نيتريك	حشائش	٢,٠
أول أوكسيد الكربون	تربة	٠,٠٥
ايروسولات (أصغر من ٢.٥ ميكروميلي)	حشائش	٠,١٥

وتشتمل الترسبات الجافة على ما يتم من عمليات التجميع (الكنس) للملوثات، ثم ترسيبها مع الأمطار أو الثلوج أو الشبورة والضباب، وحيث يتم إيجاده من تساقط الامطار، والتي تصف ما يحدث من تجميع في طبقات السحب، أو ما يتم من غسيل حيث يعبر كلاهما عما يعرف بنسبة التجميع (و) والتي غالبًا ما يطلق عليها بطريق الخطأ عامل المسح.

$$\text{ف (متر/ ثانية)} = \frac{\text{التركيز في ماء المطر (مليجرام/ كيلوجرام)}}{\text{التركيز في الهواء (ملي جرام/ كيلوجرام)}}$$

يشتمل الجدول (٤) على عدد من النتائج لعامل المسح، حيث إن القيم المرتفعة تصف المسح بفاعلية، وربما كنتيجة من الاختلاط العمودي الحادث في طبقات السحب؛ حيث يكون ذلك المسح في أعلى فاعلية.

جدول (٤)

النتائج لعامل المسح (نسبة التجميع)

الشريحة	و
ايون الكلورين	٦٠٠
ايون الكبريتات	٧٠٠
الصوديوم	٥٦٠
البوتاسيوم	٦٢٠
المنجنيز	٨٥٠
الكالسيوم	١٨٩٠
الكادميوم	٣٩٠
الرصاص	٣٢٠
الزنك	٨٧٠

وهناك عمليات مرتبطة بذلك الترسيب، والتي يطلق عليها الترسيب المخفي (غير المنظور)، والذي يحدث عندما تترسب الملوثات مع ماء الضباب على الأسطح المختلفة. وتركيزات الملوثات في ماء الضباب غالبًا أكبر من تلك الموجودة في ماء المطر، وحيث إن هذه العملية ربما تكون مشاهدة، رغم محدودية الأحجام في الماء المتساقط.

وهناك عملية أخرى للترسب تشتمل على التحول الكيميائي، من واحد من الملوثات إلى نوع آخر، والتي يطلق عليها الانتقالات الجافة؛ ذلك أن ما يحدث من أكسدة في الجو لتكوين حامض الكبريتيك إنما هو ناتج من ترسبات ثاني أوكسيد الكبريت، ولعديد من الملوثات فإن أغلب الترسبات إنما تنشأ من التعامل مع شق الهيدروكسيد (يد ا)، وكيميائيًا فمنذ انبعاث الملوثات على نحو مستمر في الجو ثم ما يعقبه من إزالة لها، فإنه يكون لها فترة بقاء، وعلى النحو الوارد بالجدول (٥).

جدول (٥)

التركيبات المختلفة وفترة البقاء المصاحبة لها

الغاز	متوسط التركيزات (ج ف م)	فترة البقاء
نتروجين	٧٨٠٨٤٠	٦١٠ عام
أوكسجين	٢٠٩٤٦	٥٠٠٠ عام
ثاني أوكسيد الكربون	٣٣٢	١٥ عام
أول أوكسيد الكربون	٠,١	٦٥ يوم
الميثان	١,٦٥	٧ أعوام
الهيدروجين	٠,٥٨	١٠ أعوام
الأوزون	٠,١ – ٠,١	١٠٠ يوم
أكاسيد النيتروجين	$١٠^{-٢}$ – $١٠^{-٦}$	يوم واحد
أمونيا	$١٠^{-٣}$ – $١٠^{-٤}$	٥ أيام
ثاني أوكسيد الكبريت	$١٠^{-٤}$ – $١٠^{-٥}$	١٠ أيام
حامض النيتريك	$١٠^{-٣}$ – $١٠^{-٥}$	يوم واحد
ثاني أوكسيد النيتروجين	٠,٣٣	٢٠ عام

٤-٣ ملوثات محددة للهواء:

٤-٣-١ ثاني أوكسيد الكبريت:

أهم مصادر ثاني أوكسيد الكبريت الملوثة للهواء تنتج عن احتراق أنواع الوقود الأحفوري المحتوية على الكبريت؛ خاصة من أنواع الفحم أو وقود الأفران، ذلك أن الجازولين والسولار والغاز الطبيعي تحتوي على نسب منخفضة من الكبريت. ويشتمل الجدول (٦) على أهم مصادر الانبعاثات لهذا الغاز، سواء من حيث المستخدم كوقود أو لنوع الوقود المستخدم، مع تغير لعديد من المستهلكين إلى استخدام الغاز الطبيعي، والاتجاهات في التركيزات للمدن من ثاني أوكسيد الكبريت وللأدخنة قد اشتمل عليها الجدول (٧).

جدول (٦)

الانبعاثات من ثاني أوكسيد الكبريت الناتجة عن احتراق الوقود، طبقًا لنوع الوقود

الاستخدام للوقود	عام ١٩٨٦ (مليون طن)	عام ٢٠٠٠ (مليون طن)	النسبة إلى الإجمالي٪ ١٩٨٦	النسبة إلى الإجمالي٪ ٢٠٠٠
الاستخدام المدني	٠،٢	٠،٣	٥	٧،٧
الخدمة العامة	٠،١٣	٠،١٤	٤	٣،٦
محطات الكهرباء	٢،٦	٢،٦	٧٠	٦٧،٤
معامل التكرير	٠،١٧	٠،١٧	٤	٤،٤
الزراعة	٠،٠١	٠،٠١	--	--
الصناعات الأخرى	٠،٥٧	٠،٥٧	١٥	١٤،٧
السكة الحديد	--	--	--	--
النقل البري	٠،٠٥	٠،٠٦	١	١،٥
الإجمالي	٣،٧٤	٣،٨٦	١٠٠	١٠٠

الانبعاثات طبقًا لنوع الوقود

	١٩٨٦/ ٢٠٠٠	٪
• الفحم	٢،٨٢	٪٧٥
• وقود صلب غير مدخن	٠،٠٩	٪٢
• البترول		
○ سوائل محركات	٠،٠٢	--
○ الجازولين	٠،٠٣	٪١
○ الغاز الطبيعي	٠،٠٥	٪١
○ زيت الغاز	٠،١٧	٪٤
○ زيت الوقود	٠،٥٦	٪١٥
○ الإجمالي	٣،٧٤	٪١٠٠

obeikandl.com

جدول (٧)

تركيز ثاني أوكسيد الكبريت والأدخنة في المدن ؛

حيث يتم جمعها من الترسبات على أوراق الترشيح

الفترة	معامل تركيز (SO2) عام ١٩٩١/ ١٩٩٢=١٠٠ (٥٠مليجرام/ م٣)	معامل تركيز الأدخنة عام ١٩٩١/ ١٩٩٢=١٠٠ (٢٣مليجرام/ م٣)
١٩٨٦/١٩٨٧	١٣٥	١٤٠
١٩٨٧/١٩٨٨	١٣٥	١٤٥
١٩٨٨/١٩٨٩	١١٨	١١٣
١٩٨٩/١٩٩٠	١٢٦	١١٣
١٩٩٠/١٩٩١	١١٤	١٠٩
١٩٩١/١٩٩٢	٩٦	٣٣
١٩٩٢/١٩٩٣	١٠٠	١٠٠
١٩٩٣/١٩٩٤	٨١	٧٤
١٩٩٤/١٩٩٥	٧٩	٧٨
١٩٩٥/١٩٩٦	٧٣	٦٧

ومع ما حدث من انخفاض في الانبعاثات (إنجلترا) وبنسبة تصل على ٢٥٪، كما تلعب المداخن تأثيرًا في انبعاث هذه الملوثات، حيث تكون المداخن الأطول والأكثر ارتفاعًا ذات تأثير أكبر على تشتيت الملوثات على مساحات أكبر مما تصنعه المداخن القصيرة، ومما يعني أن المداخن الأطول ذات تأثير أكبر في توزيع وتشتيت الملوثات ونقلها إلى أماكن أخرى، والذي يحدث خلال هذه الانتقالات فإن أكاسيد الكبريت والنيتروجين تحدث لها عمليات أكسدة وذوبان؛ لتتحول إلى أحماض الكبريتيك والنتريك، وبذلك فإنها تصنع المطر الحامضي وعلى مسافات بعيدة وطبقًا لاتجاهات الرياح. والتي تتسبب في القضاء على الأسماك والحيوانات البحرية، مع ارتفاع حموضة المياه، وكذلك إلى إتلاف المزروعات والتربة.

وتشتمل التأثيرات المتعددة لثاني أوكسيد الكبريت أيضًا على تدمير الجهاز التنفسي للأفراد؛ خاصة إذا ما تم التعرض للجزئيات الدقيقة، كما حدث في مدينة لندن مع انبعاث الضباب المدخن (Smog) في عقد الخمسينيات، وكذلك تتأثر النباتات؛ خاصة مع ارتفاع التركيز لمركب (SO_2).

وتضع وكالة حماية البيئة في أمريكا حدًّا أقصى لمركب (SO_2) بمقدار ٨٠ مليجرام/ متر مكعب هواء كمتوسط سنوي، وكذلك ٣٦٥ مليجرام/ متر مكعب هواء لمدة ٢٤ ساعة فقط.

ويتم قياس (SO_2) بعدة طرق تشمل:

- الامتصاص في ثاني أوكسيد الهيدروجين (H_2O_2)، والحامض الناتج يتم حسابه بالمعايرة مع قلوي، وباستخدام القياسات للاتصالات الكهربائية، وتحتاج تلك الطريقة إلى ٢٤ ساعة لإكمالها.
- التعامل مع صوديوم أو بوتاسيوم رابع كلور الزئبق، حيث يتكون ثاني كبريتيد الزئبق، والذي يتم حسابه بالتقطير بعد إضافة مركب أنيلين ميثيل حامض السلفونيك، ومما يقلل من تأثيرات أي مواد أخرى مثال الأمونيا، والتي تكون منبعثة على نحو طبيعي.
- استخدام اللهب الفوتومتري، وهذه طريقة دقيقة حتى تركيز ٠،٥ جزء في البليون، وخلال ٢٥ ثانية.
- الابنعاث الفلوريني للغاز، ويحتاج إلى ٢ دقيقة ولتركيز ٠،٥ جزء في البليون.

٤-٣-٢ الجزئيات الدقيقة العالقة:

الكثير من الجزئيات الدقيقة العالقة الملوثة للهواء، تصنعها المنتجات الثانوية من التفاعلات الكيميائية، مثال: تكون مركبات كبريتات الأمونيوم، ونترات الأمونيوم، والناتجة من التفاعلات الحادثة في الجو بين ملوثات الهواء المختلفة، ولا توجد قائمة جاهزة للانبعاثات من هذه الجزئيات الثانوية؛ ذلك أنها تعتمد على الانبعاثات من الغازات الأساسية، وعلى مدى سرعتها في الدخول للتفاعلات الكيميائية التحولية. والمصدر الرئيسي للجزئيات الأساسية الملوثة، التي يصنعها الإنسان هي الناتجة عن احتراق أنواع الوقود الأحفوري، وخاصة الفحم، والاتجاهات في الانبعاثات للأدخنة من احتراق الفحم قد اشتمل عليها الجدول (٨)، ومن مصادره في الصناعة والاستخدامات الخدمية خلال الفترة ١٩٨٠ إلى ٢٠٠٦.

جدول (٨)

انبعاثات الأدخنة من احتراق الفحم من الاستخدامات الخدمية والصناعية والسكك الحديدية (مليون طن)

العام	الاستخدامات الخدمية	الصناعة	السكك الحديدية	جميع المصادر
١٩٨٠	١,٢١	٠,٣٥	٠,١٩	١,٧٥
١٩٨٥	٠,٩٥	٠,١٤	٠,٠٦	١,١٥
١٩٩٠	٠,٦٤	٠,٠٨	--	٠,٧٢
١٩٩٥	٠,٣٥	٠,٠٤	--	٠,٣٩
٢٠٠٠	٠,٢٥	٠,٠٣	--	٠,٢٨
٢٠٠١	٠,٢٤	٠,٠٣	--	٠,٢٧
٢٠٠٢	٠,٢٤	٠,٠٣	--	٠,٢٧
٢٠٠٣	٠,٢٢	٠,٠٣	--	٠,٢٥
٢٠٠٤	٠,١٦	٠,٠٢	--	٠,١٨
٢٠٠٥	٠,٢٣	٠,٠٣	--	٠,٢٦
٢٠٠٦	٠,٢٤	٠,٠٣	--	٠,٢٧

وربما يعزي ذلك الانخفاض في تركيزات الأدخنة المنبعثة إلى عدة أسباب، أولا طرق القياس التي تعتمد على جمع العينات للجزئيات على سطح مرشح، ثم فحصها بدرجة انعكاس الضوء منه؛ لتغيير درجة اكتسابه للون الأسود بتأثير هذه الجزئيات. وباستخدام الجداول القياسية السابق إعدادها فإنه يمكن حساب تركيزات الأدخنة رجوعا على درجة الأسوداد للمرشح. وهذه الجداول القياسية، تم إعدادها في إنجلترا منذ عديد من السنوات الماضية، عندما كان أهم الاستخدامات الفحم كوقود. وبالتالي استخدمت الأدخنة الناشئة عنه في إعداد هذه الجداول. ولكن حاليا فإن هناك مصادر أخرى مهمة للجزئيات، ولما تحدثه من درجات الاسوداد، والتي انخفضت على نحو كبير، وتوضح الأبحاث أن ما يتم قياسه هو عنصر الكاربون وبذلك فإن الحادث من انخفاض كبير من عمليات الاحتراق غير الفعال أو الكامل، وبالتالي الخفض في انبعاثات ذلك الكربون، هو التفسير في انخفاض درجة الاسوداد للأدخنة. وحاليا فإن المصدر الرئيسي لانبعاثات الأدخنة السوداء، هي الناتجة عن الاحتراق الغير كامل لوقود زيت الغاز (السولار) في محركات الديزل، والتي يتزايد استخدامها في محركات النقل الكبيرة، ولا يوجد بعد تعريف عالمي واضح للأدخنة. ورغم أنها تعرف بصفة عامة على أنها الجزئيات الدقيقة جدًّا العالقة، والتي يقل حجمها عن ١٥ ميكرو مي ميتر والناتجة عن الاحتراق غير الكامل لأنواع الوقود، ومما دفع إلى التطوير في أنواع الوقود بحيث أن لا ينتج عنها أدخنة، سواء باستخدام أنواع الوقود الأحفوري أو

الفحم، وكذلك مع التوسع في استخدامات الغاز الطبيعي، ومما قلل من انبعاثات هذه الأدخنة الملوثة للهواء، وقد شملت هذه التطورات استخدامات أنواع الوقود غير المدخنة في محطات توليد الكهرباء.

كذلك هناك طريقة تعتمد على قياس الزيادة في أوزان المرشحات عقب تعرضها لهذه الأدخنة السوداء، وبالتالي يمكن تقييم درجة الاسوداد للمرشحات اعتمادًا على استخدام الوزن. ولكن نظرا للمشكلات في الحساب لعينات الأدخنة المتكونة من الجزئيات الكبيرة الحجم، فقد تم استخدام الوسائل التي تسمح بإمرار فقط الجزئيات ذات الحجم أقل من ١٠ ميكروميلي متر ، والتي أطلق عليها تعبير PM_{10} (أي الجزئيات الدقيقة أصغر من ١٠ ميكروميتر).

وهناك طريقة أساسية في حساب تلوث الهواء بالجزئيات، يعتمد على حساب الانخفاض في مدى الرؤية مع زيادة درجة التلوث، كما يوضحها الشكل (٣).

شكل (٣)

الانخفاض في مدى الرؤية مع زيادة درجة التلوث

ورجوعا إلى الرقابة على ملوثات الهواء منذ شملت كل من الأدخنة السوداء وثاني أوكسيد الكربون، واستنادًا إلى ما حدث في مدينة لندن عام ١٩٥٢ من بلوغ ذروة تأثيرات هذين الملوثين وأحداثهما لما عرف بالأدخنة الضبابية والتي أدت خلال أربعة أيام فقط إلى وفاة قرابة ٤٠٠٠ (أربعة آلاف فرد) وكانت ناتجة أساسًا من الانبعاثات من احتراق الفحم، ورغم أن الانبعاثات كانت بنسب قليلة وإنما سوء الأحوال الجوية المصاحبة لها، والتي لم تحدث أي تشتيت فعال لها، ومن ذلك نشأت التسمية لتلك الأدخنة الضبابية بالجمع بين مسمى الأدخنة (Smoke) والضبابية

(Fog) ومن ذلك نشأ المسمى Smog (الأدخنة الضبابية)، والذي يحدث الاعتام والنقص في الرؤية الواضحة، وتزداد المشكلة أن وجود الأدخنة مع ثاني أوكسيد الكبريت معًا، فإنهما يزيدان من الفاعلية وإحداث تأثير يزيد بكثير عما يتم من جمع تأثيرهما معا (Synergistice) كل بمفرده. ويعتقد أن ذلك التأثير يحدث من أن جزئيات الأدخنة تعمل على حمل (SO_2) إلى الجزء السفلي من النظام التنفسي لدى الأفراد، والتي لا يمكن الوصول إليها إذا ما كان بمفرده نتيجة للامتصاص الذي تحدثه في جدار الممر التنفسي، وكذلك يتسبب في زيادة معدلات الوفاة بين الأفراد نتيجة لاستنشاق تلك الأدخنة الضبابية. والتي لا يمكن حدوثه بتأثير أي منهما بمفرده (الدخان& SO_2) أو كما يتضح من الجدول (٩) للتلوث الحادث في دول المجموعة الأوروبية.

جدول (٩)

جودة الهواء بتأثيرات الأدخنة وثاني أوكسيد الكبريت

١. الأدخنة:		سنويًا	المتوسط اليومي	٨٠ ميكروجرام/ م^3 هواء
		شتاءً	المتوسط اليومي	١٣٠ ميكروجرام/ م^3 هواء
		(أكتوبر – ٣١ مارس)		
			أعلى قياس	٢٥٠ ميكروجرام/ م^3 هواء
٢. ثاني أوكسيد الكبريت:				
سنويا	تركيز الأدخنة	٤٠ ميكروجرام/ م^3	تركيز SO_2	١٢٠ ميكروجرام/ م^3
		٦٠ ميكروجرام/ م^3	تركيز SO_2	١٨٠ ميكروجرام/ م^3
شتاءا	تركيز الأدخنة	٦٠ ميكروجرام/ م^3	تركيز SO_2	١٣٠ ميكروجرام/ م^3
		١٥٠ ميكروجرام/ م^3	تركيز SO_2	٣٥٠ ميكروجرام/ م٣

أي أن زيادة تركيز الأدخنة تؤثر بالزيادة الكبيرة على تركيز SO_2 والتي أدت إلى الزيادة في إحداث التلوث البيئي وزيادة الوفيات.

٤-٣-٣ التلوث بالمعادن في الجو تقدر نسب آثار المعادن الموجودة في الجو بالتركيزات، المذكورة في الجدول (١٠).

جدول (١٠)

نسب تركيزات آثار المعادن الموجودة في الجو

المعدن	هواء المدن (جرام/ م^3)	هواء الريف (جرام/ م^3)
الزرنيخ	٥-٣٠٠	١-٢٠
الكادميوم	٠,٥-٢٠٠	٠,٥-١٠
النيكل	١-٥٠٠	١-٥٠
الرصاص	١٠-١٠٠٠٠	٥-٥٠٠
الفانديوم	١٠-١٠٠	٣-٥٠
الزنك	٢٠٠-٢٠٠٠	٠,١-٥
الكوبالت	٠.٢-٢٠	٠,١-٥
الكروميوم	٢-٢٠٠	١-٢٠
النحاس	١٠-١٠٠٠	٢-١٠٠
الحديد	١٠٠-١٠٠٠٠	١٠٠-١٠٠٠٠

وقد ازداد الاهتمام بالتلوث بهذه المعادن؛ نتيجة لما تحدثه من سميات للأفراد، خاصة الرصاص، الكادميوم، والزئبق. واستنادا إلى ما حدث في السابق مع عديد من تجمعات الأفراد، فإن الرصاص قد أحدث التلوث في عديد من البلدان، ومما دفع إلى الحد من انبعاثه كملوث خطير للهواء. وكان أهم المصادر استخدام مركبات الرصاص في صناعات رفع رقم الأوكتان اللجازولين (رابع ميثيل الرصاص ورابع إيثيل الرصاص) $Pb(CH_3)_4$ & $Pb(C_2H_5)_4$؛ إذ مع احتراق الوقود تتحول إلى أكاسيد الرصاص، ينبعث على هيئة ايرسولات ذات جزئيات دقيقة متناهية الصغر، وقد تم في عام ١٩٧٢ تخفيض نسبته في الجازولين إلى ٠،٨٤ جرام/ لتر، ثم إلى ٠،٤ جرام/ لتر في عام ١٩٨١ ثم في عام ١٩٨٦ إلى ٠.١٥ جرام/ لتر، ثم في عقد التسعينيات إلى منع استخدامه تمامًا. وخاصة مع التوسع في استهلاك الجازولين للسيارات الخاصة.

وفي إنجلترا ازدادت كمية الجازولين المستهلكة من ١٦،١٢ مليون طن عام ١٩٧٥ إلى ٢١،٤٧ مليون طن عام ١٩٨٦، انخفضت نسبة الرصاص المضافة إليها من ٧،٤ ألف طن عام ١٩٧٥ إلى ٢،٩ ألف طن عام ١٩٨٦، وعند وصول الرصاص إلى داخل جسم الفرد خاصة يتجه مباشرة إلى الدم. ولذا يتخذ الدم كوسيلة للكشف عن التلوث بالرصاص للأفراد، ولكن لازال هناك عديد من المصادر الأخرى للرصاص، مما أهمها العبوات المعدنية المختلفة المستخدم الرصاص في اللحامات لها، وكذلك في الأجهزة الإلكترونية ولعب الأطفال وغيرها مما يستخدم بها.

ولتحديد نسب التلوث بالجزئيات الدقيقة العالقة، فإنه يتم بعديد من الطرق نذكر منها الآتي:

١- الطرق غير المتلفة للعينات الجاري تحليلها:

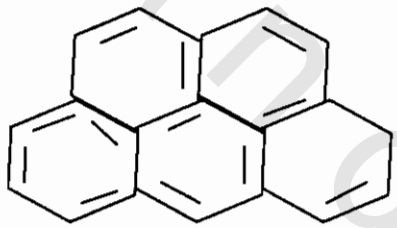
- قياس درجة الفلورسنت باستخدام الأشعة السبنية.
- التحليل باستخدام النيترونات النشطة.

وحيث يتم القياس المباشر لنسب الملوثات.

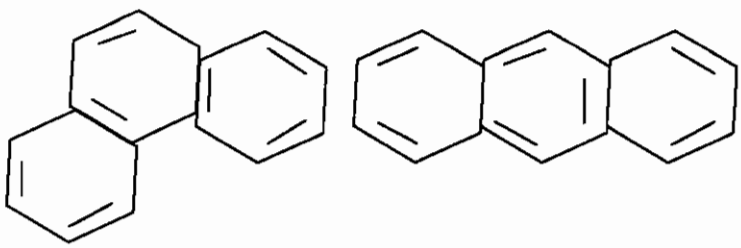
٢- الطرق المتلفة للعينات:

تتم بالإذابة في الأحماض المؤكسدة ثم التحلل باستخدام الطيف الذري الامتصاصي، أو الانبعاثات الطيفية، أو طيف الكتلة، أو غيرها من الأجهزة المعملية الدقيقة.

٤-٣-٤ المركبات الهيدروكاربونية العطرية متعددة الحلقات: يوجد عديد من المركبات العطرية متعددة الحلقات، ومن أهمها وأخطرها في إحداث الأورام السرطانية مركب بنزوبيرين، وتركيبه كالتالي:



بينما البعض لا يصنف على أنه مسبب للسرطان، مثال: الفينثارين، والانتارين.



وأهم الطرق لقياس هذه المركبات، استخدام كروموتوجرافيا الغازات لفصلها، ثم القياس باستخدام اللهب أو الأشعة فوق البنفسجية أو الفلوروسينية.

٤-٣-٥ مركبات الكبريتات والنيترات:

غالبا ما تكون هذه المركبات موجودة في الأمطار الحامضية، ويتم القياس باختزال النترات إلى النيتريت ثم التحليل بالأشعة الطيفية أو طرق الكرومتري لتحليل الكبريتات، وكذلك بالتفاعل مع كلوريد الباريوم أو كورموتوجرافيا الألمونيات يتفاعل تبادل الألمونيات ثم قياس التغير في معدلات التوصيل.

٤-٣-٦ أكاسيد النيتروجين:

من أهم مصادر التلوث الطبيعي بأكاسيد النيتروجين في الهواء الجوي مركب أوكسيد النيتروز، الذي يتكون من التفاعلات الميكروبولوجية الطبيعية داخل التربة، وحيث تصنف عادة على إنها ليست من الملوثات، وعلى الرغم مما تحدثه من تفاعلات مع تركيزات غاز الأوزون في طبقة الاستراتوسفير، وكذلك مع التزايد في استخدم الكميات الكبيرة من الأسمدة النيتروجينية ومما يزيد أيضًا من مستويات أوكسيد النيتروز في الجو.

هذا وتشمل أكاسيد النيتروز الآتي:

- أكاسيد النيتريك (NO).
- ثاني أوكسيد النيتروجين (NO_2)، وهو الأكثر وجودًا في الجو.
- أكسيد النيتروز (N_2O).

ويعبر عنها جميعًا عند انبعاثها كملوثات بالرمز (NO_x).

وأهم الميكانيزمات التي تحدثها التفاعل بين أوكسيد النيتريك مع الأوزون الجوي، وكذلك مع الأوكسجين الجوي، وإن كان على نحو بطيء للغاية مع التركيزات الموجودة في الهواء.

وأهم مصدر لتكون أكاسيد النتروجين التفاعل عند الحرارات المرتفعة بين كل من النيتروجين والأوكسجين وذلك خلال عمليات حرق أنواع الوقود نتيجة للنيتروجين الموجود في الوقود.

ويشتمل الجدول (١١) على بيان لأهم مصادر (NO_x) ونسبتها إلى الإجمالي خلال الفترة ١٩٩٦ إلى ٢٠٠٦.

obeikandl.com

جدول (١١)

انبعاثات (NO_x) ومصادرها ونسب وجودها (ألف طن)

المصدر	١٩٩٦	٢٠٠٦	النسبة إلى الإجمالي عام ٢٠٠٦٪
الخدمي	٥٠	٥٧	٤
التجاري/ العام	٤١	٤٥	٢
محطات الكهرباء	٧٧٤	٧٨٣	٤٠
معامل التكرير	٤٤	٣٨	٢
الزراعة	٥	٣	--
الصناعة	٢٩٢	١٧٩	٩
السكك الحديدية	٤٢	٣٧	٢
النقل بالطرق	٦٠٣	٧٨٤	٤٠
طرق المخلفات	١٢	١٢	١
الإجمالي	١٨٦٣	١٩٣٧	١٠٠

وتصل تركيزات (NO_x) المعتادة في المدن إلى حدود ١٠-٢٠٠ مليجرام/ م^3، وفي الريف بأقل من ٢٠ مليجرام/ م^3، وتضع وكالة حماية البيئة في أمريكا مقاييس جودة الهواء بحدود ١٠٠ مليجرام/ م^3 كمتوسط سنوي.

وتتعلق التأثيرات المباشرة لأكاسيد النيتروجين على الأفراد بإصابة الجهاز التنفسي بالتهابات في المسارات، بالإضافة إلى إتلافها للنباتات، أما التأثيرات غير المباشرة فتشمل التفاعلات الضوء كيمائية لتكوين الأدخنة الضبابية، وكذلك للذوبان في السحب والسقوط كأمطار حامضية، وما تحدثه من مشكلات على المنشآت والبيئة.

وتشمل تحليلات أكاسيد النيتروجين التحول من كونها ثاني أوكسيد النيتروجين على أوكسيد النيتريت، ثم بالتفاعل المكون لصفة الأيزو، ولكن يعيبها عدم الدقة بسبب:

- المنتجات القياسية متغيرة بسبب أن تجميع أوكسيد النيتروجين هو الآخر متغير.
- إن الكشف بالتحليل الضوئي هو الآخر غير ثابت.

واستخدم كبديل التفاعل مع مركب الزرنيخ للمساعدة على التحول إلى النيتريت، ولكن يعيق هذه الطرق هو أن التحول الكمي من NO إلى NO_2 ليس ثابتًا كميًا.

والتحاليل باستخدام الأجهزة الأكثر دقة؛ إذ يتفاعل أكاسيد النيتروجين مع الأوزون لإعطاء ثاني أوكسيد النيتروجين المشع للضوء بطول موجة ٦٠٠-٣٠٠٠ ملي ميكرون، عادة عند ١٢٠٠ ملي ميكرون، يمكن استخدامه بدقة أعلى.

$$NO + O_3 \longrightarrow NO_2 + O_2$$

$$NO_2 \longrightarrow NO_2 + HO$$

ومع زيادة كمية الأوزون، فإن الأشعة تزداد على نحو خطي مع تركيزات أوكسيد النيتروجين، وفي الحدود من واحد جزء في البليون إلى ٤١٠ أجزاء في المليون.

٤-٣-٧ أول أوكسيد الكربون (CO):

غالبا ما يصاحب إدارة محركات الجازولين للسيارات انبعاث لغاز أول أوكسيد الكربون، وبذلك فإن هذه المحركات تشكل المصدر الأساسي لتلوث الهواء به، وكما يتضح من الجدول (١٢)، سواء كانت هذه المحركات دائرة في الظروف المعتادة أو الشديدة البرودة أو السخونة، وذلك أن بقية عمليات حرق الوقود جميعها ذات كفاءة عالية، ولا تتسبب إلا في انبعاث كميات قليلة من (CO).

جدول (١٢)

انبعاثات أول أوكسيد الكربون من المصادر المختلفة

المصدر	١٩٩٦ ألف طن	٢٠٠٦ ألف طن	النسبة إلى الإجمالي عام ٢٠٠٦٪
القطاع الخدمي	٦١١	٤٣٣	٩
التجاري/ الخدمة العامة	١٣	١١	--
محطات الكهرباء	٥٢	٤٨	١
معامل التكرير	٤	٤	--
الزراعة	١	١	--
الصناعة	١١١	٧٥	١
السكك الحديد	١٦	١٤	--
النقل بالطرق	٣٨٠٤	٤٧٤٨	٨٥
حرق أنواع المخلفات	٢٢٠	٢٢٠	٤
الإجمالي	٤٨٦٢	٥٦٠٢	١٠٠

هذا ويتفاعل شق الأيدروكسيد مع (CO)؛ محولاً إياه إلى (CO_2)، وذلك أفضل الوسائل لخفض نسبته في الجو، ولكن هذه العملية شديدة البطء، وإذا ما حدثت بعيدًا عن مصادر الانبعاثات، فإنها تتأثر على نحو كبير بظروف التخفيف الحادثة جويًا للانبعاثات. هذا ويصنف (CO) على أنه مشكلة تلوث حادة، خاصة مع ازدياد

الكثافة المرورية وفي الطرق المحاطة والضيقة، وعندما تتزايد التركيزات إلى حدود ٥٠ ج ف م (جزء في المليون) أو ما يزيد عن ذلك؛ إذ إن التفاعل الحادث مع هيموجلوبين الدم مكونًا لمركب كاربوكس هيموجلوبين، والذي لـه ثبـات عـالي، فإنـه يتـسبب في خفض قدرة الدم على حمل ونقل غاز الأوكسجين. واستنادًا إلى ذلك، وضـعت هيئـة حماية البيئة في أمريكا الحدود التالية لغاز (CO):

التعرض لفترة ٨ ساعات: لا تزيد عن ٩ ج ف م.

التعرض لفترة ساعة واحدة: لا تزيد عن ٣٥ ج ف م.

القياس الكيميائي:

يتم استخدام الأشعة تحت الحمراء غير المشتتة لقياس نسبة (CO) في العينات من هواء الطرق، والمتوقع أن تكون بحدود ١-٥٠ ج ف م، وبسبب وجـود تطـابق عـلى نحو جزئي لمناطق الامتصاص بسبب تداخل (CO) مع بخار الماء، فمـن الـلازم أولاً إزالة بخار الماء، وذلك بإمرار عينة الهواء فوق عامل تجفيف، والذي يـؤثر أيـضا عـلى (CO)، بالمقارنة مع عينة هواء لا تحتوي على (CO).

كذلك يستخدم التحليل باللهب المؤين الكاشـف (FID) ، والـذي يتـيح قيـاس (CO) إضافة إلى غاز الميثان والهيدروكاربونات الكلية وباستخدام الهيـدروجين كغـاز حامل لعينة الهواء، وعمود فاصل مملوء بمركب بوليمر كلورين كمادة ماصة، ولوقت كافٍ، وبما يتيح فصل (CO) & (CH_4) عن بقية المكونات الثقيلة والتي تـزال بـالنفخ العكسي لذلك التيار، وبالتبخير للخليط في منخل للجزئيـات المحتويـة عـلى C_3 يـتم الفصل بينهما، للتمرير في جهاز (FID).

وتشمل تأثيرات وخواص أوكسيد الكربون على الآتي:

- خامل كيميائيا، لا يتفاعل بدرجة ملحوظة مع أي مكونات أخرى مـن مكونـات الهواء.
- يتحد مع الهيموجلوبين في الدم بدرجة أكثر مما يتحد بها غاز الأوكسجين، وبالتالي يمنع وصول الأوكسجين بالدرجة المطلوبة إلى المخ وأنسجة وخلايا الجسم.
- يؤدي إلى الـشعور بالـصداع، والإرهـاق، والارتبـاك، مـع انخفـاض في القـدرة الذهنية.
- إذا زاد إلى نسبة ٠,٣٥٪ (٣٥٠٠ ج ف م) في الهواء أدى إلى الاختناق.

- التأثير الصحي > ٠,١ لا شيء، ٠,١ -٢٪ تأثيرات سلوكية.
- ٢-٥٪ تأثيرات على الجهاز العصبي، إضعاف في حدة الرؤية.
- ٥-١٠٪ تغيرات في وظائف القلب والرئتين.
- ٣-٨٠٪ صداع، تعب، نعاس، غيبوبة.
- ٩٠٪ توقف التنفس، الوفاة.

و٨٠٪ من مصادر أول أوكسيد الكربون العادم، المنبعث من محركات السيارات.

٤-٣-٨ الهيدروكاربونات: تعتبر أبخرة المذيبات وأنواع الوقود المصدر الأساسي لتلوث الهواء بمركبات الهيدروكاربونات، هذا بالإضافة إلى الاحتراق الجزئي لأنواع الوقود، وكما يتضح من الجدول (١٣).

جدول (١٣)

مصادر انبعاثات الهيدروكربونات

المصدر	١٩٩٦ ألف طن	٢٠٠٦ ألف طن	النسبة إلى الإجمالي عام ٢٠٠٦٪
القطاع الخدمي	١٠٢	٧٨	٤
التجاري/ الخدمة العامة	١	١	--
محطات الكهرباء	١٣	١٣	١
معامل التكرير	١	١	--
الصناعة	٤	٣	--
السكك الحديد	١١	١٠	--
النقل بالطرق	٤٥٦	٥٧٣	٢٨
حرق المخلفات	٣٨	٣٨	٢
تسرب الغاز	١٤٢	٢٠١	١٠
العمليات الصناعية وتبخر المذيبات	١٠٤٣	١٠٦٨	٥٢
الغابات	٨٠	٨٠	٤
الإجمالي	١٨٩٠	٢٠٦٥	١٠٠

وحيث ينبعث عن هذه العمليات عديد من المركبات الهيدروكاربونية، والتي يقدر عددها بحوالي ما يزيد عن ٢٠٠ مركب عند تحليل عينة من الهواء المحيط بالمدن، وكمثال عن هذه المركبات تلك الواردة بالجدول (١٤)، والمشتمل على المتوسط الحسابي والقيم القياسية، وعلى النحو الصادر في إنجلترا، للمركبات من ك٢ إلى ك٦ فقط.

وأكثر الطرق اختبارًا لقياس نسب المركبات الهيدروكاربونية، هو جهاز اللهب الإيوني مع استخدام الهواء المحيط كعامل للأكسدة، ومع خليط الهواء الهيدروجين كلهب، وحيث إن وجود الهيدروكاربونات يساعد على اشتداد اللهيب. وبما يسمح بالقياس الكمي، كما أن حساسية ذرات الكربون للمركبات الهيدروكاربونية تختلف على نحو محدود للغاية، بينما المركبات الأوكسجينية أو الهالوجينية تحدث تأثيرًا محدودًا، أما بخار الماء وثاني أوكسيد الكربون وأول أوكسيد الكربون، فإنها لا تحدث أي تأثير على النتيجة، ويتم معايرة الجهاز باستخدام غاز الميثان، وتسجيل النتائج كجزء في البليون للكاربون (PPbC).

وكمثال على ذلك:

٢٥ ج ف ب	بيوتان	يعبر عنه ١٠٠ ج ف ب كربون.
٥٠ ج ف ب	إيثان	يعبر عنه ١٠٠ ج ف ب كربون.
١٠٠ ج ف ب	ميثان	يعبر عنه ١٠٠ ج ف ب كربون.

obeikandl.com

جدول (١٤)

تركيزات المركبات الهيدروكاربونية المحددة ك٢-ك٦ (جزء في البليون)

المركب	القيمة القياسية	المتوسط الحسابي
إيثان	٢٨,١	٥٤,٢
إيثلين	٩,٣	٤٢,٣
استيلين	٦,٠	١٠,٣
بروبان	٥,٨	١٢,٢
بروبلين	٧,١	٩,٩
أيزوبيتان	١٠,٢	٤٠,٧
نورمال بيتان	١٢,٨	١٦,٦
بيتولين	٨,٠	١١,٠
ميثيل بروباليين	١,٦	١,٢
بتولين -٢- ترانس	١٧,٠	١٨,٩
بيتولين -٢- سيس	٧,٢	٨,٧
نورمال بنتيان	٧,١	١١,٢
٢- ميثيل بيوتان	٦٥,٧	٦١,٢
٢-٢ ثنائي ميثيل بروبان	١٦,٦	٥٨,٨
١- بنتين	٤,٩	١٠,٣
ترانس بنتين -٢	١٢,٤	١٩,٧
سيس بنتين -٢	١٧,٧	١٣,٦
٢ ميثيل بيتونين -١	٠,٣	٠,٤
٣ ميثيل بيتونين	١٧,٧	٣٨,٣
نورمال هكسان	٤,٥	١٠,١
٢.٢ ثنائي ميثيل بتبان	١٦,٩	٤٧,٩
ميثيل بنتان	١٧,٥	٢١,٢
أيثيل تبيان	٢٠,٨	٤٠,٢
هكسان	٩,٣	١٠,٤
ترانس هكسين -٣	٥,٤	٥,١
سيس هكسين -٣	٧,١	٦,٣

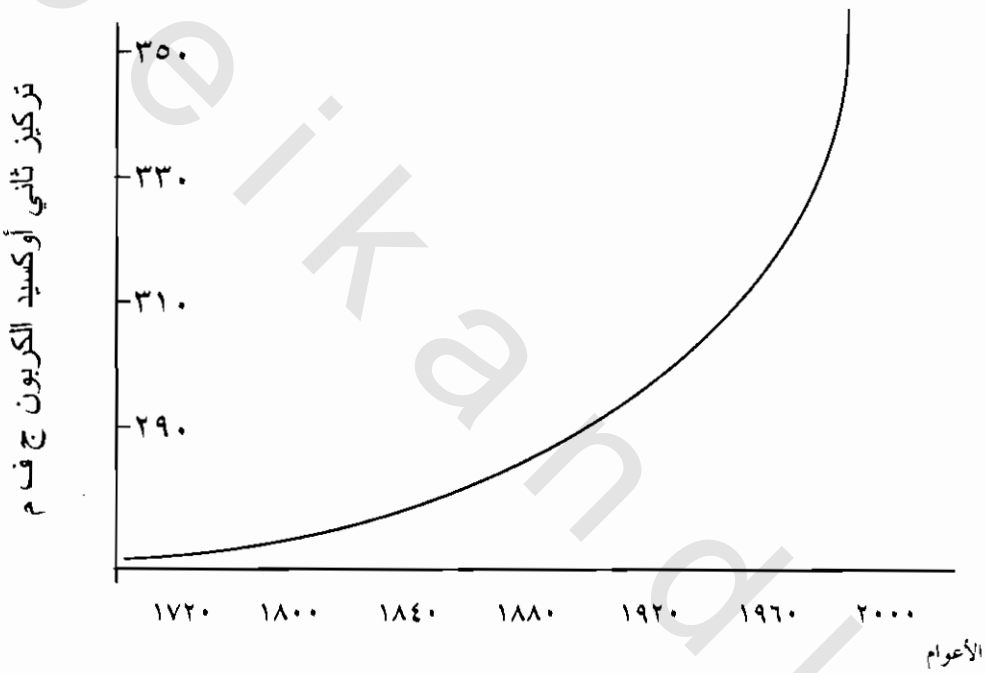
opeikanal.com

٤-٣-٩ ثاني أوكسيد الكربون:

مع زيادة انبعاثات ثاني أوكسيد الكربون من الأفراد ومختلف الحيوانات والغابات ولتحلل واحتراق المواد، ومع ما تقوم بامتصاصه الغابات خلال عمليات التخليق الضوئي، كذلك ما يتم امتصاصه أو انبعاثه من المحيطات، وما تحتوي عليه من مركبات البيكاربونات، إضافة بالطبع إلى احتراق أنواع الوقود، ومما تسبب في الزيادة على النحو الموضح بالشكل (٤).

شكل (٤)

الزيادة في تركيز (CO_2) من عام ١٧٢٠ إلى عام ٢٠٠٠



٤-٣-١٠ الملوثات الثانوية:

تشمل الأوزون نتيجة للتفاعلات بين أكاسيد النيتروجين والمركبات الهيدروكاربونية في ضوء الشمس كما تتكون أيضًا من هذا التفاعل عديد من المركبات الثانوية الأخرى، ولكن الأوزون أكثرها أهمية، حيث وجد في تكوين الأدخنة الضبابية، مثال ما حدث في كاليفورنيا، حيث كانت نسبة الأوزون تزيد عن ٤٠٠ ج ف ب، ويتأثر التلوث بالأوزون بالظروف المناخية المختلفة، كما يصل التركيز أحيانا في جنوب إنجلترا إلى حدود ٢٥٠ ج ف ب.

obeikandl.com

٤-٣-١١ التلوث داخل المنازل:

من اللازم كفاءة التهوية لإزالة أي ملوثات وتجديد الهواء، إضافة إلى كفاءة حرق أنواع الوقود خاصة الكيروسين، وعند استخدامه كوقود للمدافئ، وما يصاحب ذلك من انبعاث لأول أوكسيد الكربون وثاني أوكسيد الكبريت، وما يسببانه من أضرار على النحو السابق ذكره.

٤-٤ مواجهة تلوث الهواء:

تشمل الطرق والوسائل الممكن استخدامها أو الاستعانة بها؛ لمواجهة تلوث الهواء الآتي:

١- استخدام المرشحات البيولوجية (Bio-filtters)؛ حيث تقوم بامتصاص الملوثات من الغازات، مثال: أكاسيد الكبريت والنيتروجين والأمونيا، أو امتصاص الجزئيات الصلبة، على مرشحات ذات مسطحات كبيرة ومسام نوعية، مثال: الصوف الحجري، أو الكربون النشط أو الصوف الزجاجي أو المعادن، وحيث تنفصل أيضًا الميكروبات، والبكتريا الملتصقة مع الجزئيات الصلبة، ويلزم تغير هذه المرشحات دوريًّا.

٢- استخدم أنواع من المرسبات الكهربائية (الكتروستاتيكية)؛ حيث تشحن كهربائيًّا لشحنات مضادة للشحنات السائدة على الملوثات من الجزئيات الصلبة أو الميكروبات، وقد توسع استخدامها في محطات توليد الطاقة؛ إذ تحقق الفصل لأكثر من ٩٩٪ من جزئيات الملوثات.

٣- استخدام العوامل المساعدة المحولة (Catalytic Converter)، والتي يتم تركيبها داخل مواسير إخراج العادم من المحركات (الشكمانات)؛ إذ تقوم بتحويل أول أوكسيد الكربون إلى ثاني أوكسيد الكربون، وكذلك أكاسيد النيتروجين إلى نيتروجين، وبذلك تنخفض نسبة الملوثات الضارة. وقد كان استخدام ألكيل الرصاص كإضافة إلى الجازولين، يتسبب في الانبعاثات من أكاسيد الرصاص والتي توقف عمل هذه العوامل المساعدة، وتحويلها إلى قطع من الحديد لا تأثير لها على الملوثات.

٤- التوسع في استخدام المصادر المتجددة للطاقة، مثال: الرياح أو الماء أو الأقل في التلويث مثال الغاز الطبيعي، وكذلك الكهرباء بديلاً عن حرق المنتجات البترولية الملوثة للهواء.

٥- الاهتمام بالتشجير وإقامة الأحزمة والمسطحات الخضراء؛ حيث تقوم بحجز وامتصاص الملوثات، وبنسب تصل إلى ٧٠-٨٠٪، مثال امتصاص أول أوكسيد

obeikandl.com

الكربون وثاني أوكسيد الكبريت، وكذلك أكاسيد الرصاص الناتجة من استخدام الجازولين المحتوي على ألكيلات الرصاص، كما تفرز الأشجار مواد ومركبات متطايرة، تعمل على إثباط وقتل البكتريا والفطريات ومسببات الأمراض، مثال: الحادث من أشجار الصنوبر، الكافور، الزيزفون، الزعتر؛ إذ لها تأثيرات مثبطة على أنواع الملوثات من الميكروبات والبكتريا، وتشير التحاليل إلى أن الهواء في المناطق المشجرة يحتوي على نسب، تقل بحوالي ٢٠٠٪ مرة عما يحتوي عليه هواء المدن من هذه الملوثات. لذلك توجد التوصية بأن تحتوي المدارس والمستشفيات على حوالي ٥٠-٦٠٪ من إجمالي مساحتها على أشجار، وبالنسبة للمدن ألا تقل عن ٤٠٪ من مساحتها، وبذلك تخفض من شدة الضوضاء بها.

٦- سن وتطبيق ومراقبة تنفيذ التشريعات والقوانين التي تحدد الحد الأقصى المسموح به للملوثات الموجودة في الهواء؛ خاصة في المناطق الصناعية، ومع التوسع في إقامة، وكذلك إضافة محطات ووحدات الرصد والمراقبة لملوثات الهواء.

٧- الاهتمام بالتوعية الإعلامية والتعريف بمخاطر التلوث، وكذلك مصادر الإزعاج والضوضاء. وما تحدثه من تأثيرات على الصحة العامة؛ خاصة في المناطق السكانية، ومنع استخدام مكبرات الصوت، وكذلك مراقبة أصوات المصانع والورش والمقاهي، وأبواق السيارات وغيرها، حيث يلزم ألا تزيد شدة الضوضاء عند المدارس والمستشفيات عن ٣٠-٤٠ ديسيبل، يساعد على تحقيق ذلك الخفض الاستعانة بحزام من الأشجار؛ إذ إن ذلك يخفض من شدة الضوضاء بحدود تصل ١٠٥ ديسيبل.

٨- التوسع في البحوث العلمية ومراحل التطوير للمحافظة على طبقة الأوزون (استخدام الفريون) وكذلك تجنب مخاطر الاحتباس الحراري.

٩- تحريم حرق المخلفات الصناعية أو الزراعية؛ خاصة داخل كردون المدن بالقرب من الأماكن السكنية.

وتشمل الغازات الرئيسية المنبعثة عن الأنشطة البشرية:

- ثاني أوكسيد الكربون، المنبعث عن احتراق أنواع الوقود، وعمليات تطهير الأراضي لأغراض الزراعة، وكذلك في عمليات إنتاج الأسمنت، وزراعة ونمو النباتات وتنفس الأفراد والحيوانات.

- غاز الميثان المنبعث من القمامة المتخمرة، وكذلك من الصرف الصحي والمجاري، وفي عمليات تربية الماشية وزراعة الأرز.
- أكسيد النيتروز، المنبعث من حرق الوقود وأكسدة غاز النيتروجين، ومن بعض العمليات الصناعية واستخدامات الأسمدة.
- غازات الفريون (الكلوروفلورو كاربون، الهيدروفلور و كاربون، البيروفلو كاربون، سداس فلوريد الكبريت) والناتجة من التسربات من المبردات والمكيفات، وعبوات الأيروسول، وخلال إنتاج الألمونيوم وصناعة أشباه الموصلات، وصهر المغنسيوم، وبعض التركيبات الكهربائية، وخلافها من العمليات.
- وتشير الدلائل إلى أن الانبعاثات قد وصلت على مستويات حرجة، وبالتالي أدت إلى تغيرات مناخية لا رجعة فيها.
- وجود نظم إيكولوجية متنوعة مثال: غابات الأمازون الخطيرة والمناطق الواقعة في المنطقة القطبية الشمالية، والتي وصلت إلى تغيرات كبيرة من خلال الاحتراق والجفاف.
- انحسار في المناطق الجليدية الجبلية وارتفاع منسوب المياه في البحار وبمعدلات أسرع عما كان حادثًا من قبل، ويزيد من معدل الفقدان ويبلغ ذروته خلال فصل الصيف.

والاحترار الحادث في منطقة القطب الشمالي يعادل ضعف الاحترار في أغلب مناطق العالم؛ نتيجة إلى أن الثلوج تزيد من انعكاس الطاقة الشمسية إلى الفضاء، بينما الأسطح المظلمة مثال مناطق الصحراء الجرداء أو المحيطات المفتوحة تمتص المزيد من الطاقة الشمسية ثم تشعها لتسخين الهواء فوق هذه المناطق فقط، ومن ضمنها مناطق ذوبان الجليد. كذلك تؤدي العواصف القوية خاصة خلال بداية فصل الصيف إلى الدفع بالكتل الجليدية؛ مما أدى إلى نشوء رقع واسعة من أسطح المحيطات المفتوحة. وتبلغ معدلات الفقدان الحالية للثلوج قرابة ١٠٠ كيلو متر مكعب سنويًّا، إن ذوبانًا كاملاً للثلوج من المتوقع حدوثه، نتيجة لمعدلات الاحترار المتنبأ بها خلال العقود القادمة.

٤-٥ غازات الدفيئة (غازات الصوبا إلخضراء):

غازات الصوبا الخضراء اسم يطلق على مجموعة من الغازات التي تتسبب في أن تجعل حرارة الأرض أكثر دفئًا، وبمتوسط يصل إلى حدود ٣٣°م (درجة مئوية)، عما كان مفترض أن يكون في حالة إذا ما لم تكن هذه الغازات موجودة ومحيطة بالأرض في الغلاف الجوي، وتعرف هذه الظاهرة بمسمى تأثيرات غازات الصوبا الخضراء.

خلال القرن الماضي (العشرين)، ارتفعت درجة حرارة الأرض بحدود ٠,٥°م، وعديد من العلماء يعزون ذلك إلى زيادة تركيز غازات الصوبا الخضراء في الغلاف الجوي، والتي تتسبب حاليًا في إحداث ما يعرف بالتغيرات المناخية، وكذلك ما يطلق عليه مسمى (الارتفاع الحراري للأرض Global warming)، ومما تسبب فيه من انصهار للثلوج، وحدوث الفيضانات، وفي بعض المناطق، الجفاف إضافة إلى النمو للحشرات، وأكثر المخاوف حاليا هو استمرار الأفراد في إنتاج وانبعاث هذه الغازات، وخاصة بالسرعات العالية. وهي تكون نتائجها السلبية في التزايد، مثال انخفاض المستوى الصحي للأفراد، ومع الانخفاض في النمو الاقتصادي، في المقابل يعزي عدد من العلماء تلك الظاهرة، إنها من الظواهر الطبيعية للأرض، وفي إطار الدورة الطبيعية للمناخ والأرض، وحتى الآن لا يوجد بعد اتفاق على أي من هذين التفسرين هو الأصح، ولكن في أي الأحوال يوجد اتفاق على ثبوت وصحة أمر واحد، هو أن سكان الأرض يزيدون على نحو مستمر في انبعاث هذه الغازات، ومع عدم ثبوت أو انخفاض في انبعاثها، وطبقًا لما تم قياسه خلال الأعوام القليلة الماضية.

ومع الاتفاق على بروتوكول كويوتو، وصدوره في عام ١٩٩٧ فقد بدأ في نهاية الأمر اتخاذ الخطوة الأولى نحو الخفض في انبعاثات غازات الصوبا الخضراء.

٤-٥-١ تاثيرات الصوبة الزجاجية:

الصوبة الناتجة من زيادة تركيزات غاز ثاني أوكسيد الكربون، أوكسيد النيتروز الفريون، بخار الماء، غاز الميثان وغيرها، مما ينبعث من الأرض، والتي تتسبب في زيادة حرارة الجو، ومع الاستمرار في ذلك فإن الأرض ستتعرض لتغير كبير في المناخ وعلى نحو لم يسبق بعد التنبؤ به، أو التَحكم فيه إذا ما حدث.

إن الأرض محمية من الشمس بواسطة غطاء من الهواء وبسمك كبير في طبقة التروبوسفير، وبذلك تقل كثافة الهواء مع التدرج بشدة في الارتفاع، وحيث يوجد حوالي ٨٠٪ من كتلة الغلاف الجوي، وتوجد قمة طبقة البتروبوسفير على ارتفاع حوالي ١٠ كيلو مترات فوق القطبين، و١٥ كيلو مترًا فوق خط الاستواء.

ولا يصل إلى الأرض عقب مرور أشعة الشمس في الطبقات التريبوسفير، وفوق الستراتوسفير المملوء بغاز الأوزون، إلا حوالي ٥٤٪ من هذه الأشعة.

ويشع نظام الأرض إلى الغلاف الجوي الطاقة مرة أخرى، وصولاً إلى حدوث توازن، بين الأشعة الساقطة على الأرض والصادر عنها، وقد يكون ذلك التوازن متحققًا بعد فترة زمنية طويلة، ربما تصل إلى سنة أحيانًا.

وتمتاز الأشعة الساقطة باحتوائها على نسبة كبيرة من الأشعة قصيرة الموجات، مثال الأشعة فوق البنفسجية، بينما تكون الأشعة الصادرة من الأرض ذات موجات أطول (تحت الحمراء) وهذا الاختلاف في أطوال الموجات هو الذي يصنع تأثيرات الصوبة الزجاجية.

وتمتص الغازات المحيطة بالأرض لا تمتص بطريقة منتظمة عبر الطيف الضوئي كله، ولكن الحادث إنها تمتص على نحو اختياري، وعبر حزم طيفية من أطوال موجة معينة، والتي غالبا ما تكون الأطول، وذلك الفارق بين أطوال الموجات الضوئية الساقطة على الأرض والمنعكسة منها يصنع أيضا تأثيرات الصوبة.

وأهم الغازات الصانعة لتأثيرات الصوبة هو ثاني أوكسيد الكربون، والذي كان تركيزه قبل حدوث الثورة الصناعة ٢٩٠ جزءًا في المليون حجمًا، وقد وصل تركيزه حاليا إلى حوالي ٣٤٥جزءًا في المليون، أي زيادة بحدود ٢٠٪، ومن المتوقع في عام ٢٠٥٠ أن يصل التركيز إلى قرابة الضعف ليكون بحدود ٥٨٠ جزءًا في المليون.

وتشمل مصادر غاز ثاني أوكسيد الكربون الآتي:

١- احتراق أنواع الوقود الأحفوري من العمليات الصناعية والخدمية المختلفة.

٢- احتراق أنواع الوقود الأحفوري في محركات السيارات ومحطات توليد الكهرباء.

٣- التفاعلات الكيميائية في صناعة الأسمنت بتحويل الحجر الجيري (كاربونات الكالسيوم) إلى الجبس (أكسيد الكالسيوم) بالتسخين في الأفران الخاصة بهذه الصناعة. ويقدر أن هذه العملية يتصاعد منها سنويًا ما يزيد عن ٥.٥ بليون طن من ثاني أوكسيد الكربون، تجد طريقها إلى الغلاف الجوي.

ويؤثر التغيير في نمط التصنيع على الانبعاثات من البلدان المختلفة، ففي عام ١٩٥٠ انبعثت من أمريكا وأوروبا الغربية ٦٨٪ من إجمالي ما انبعث من الأرض من ثاني أوكسيد الكربون، لكن في عام ١٩٨٠ انخفضت هذه النسبة إلى ٤٣٪ ورغم

كونها أكثر عما كان ينبعث في عام ١٩٥٠، بينما زادت خلال ذات الفترة الانبعاثات من دول الجنوب من ٧٪ إلى أكثر من ٢٠٪ حيث بدأت دول الجنوب في التصنيع، وطبقًا للنموذج الأوروبي.

كما إن إزالة الغابات والتغيرات في استخدامات الأراضي تؤثر على انبعاثات ثاني أوكسيد الكربون.

٤-٦ تأثيرات التغيرات المناخية: من المتوقع مع التغيرات المناخية أن يحدث الآتي:

١- التأثير على الزراعة بين انكماش مناطق سابقة أمام التوسع في مناطق جديدة، ولكن أين ستكون هذه المناطق الجديدة، فذلك من الصعب بعد تحديده ولا متى سيحدث.

٢- التغير في إنتاج الحبوب، مما يعني انتهاء الدور الذي تلعبه الدول، التي تحقق الفائض من الحبوب وتسيطر بها على السوق العالمي، إذا ما تعثرت هذه الميزة.

٣- حدوث تحركات سكانية ضخمة وهجرات في اتجاه المناطق الجديدة والخصبة ودون التقيد بالحدود الدولية وما يتوقع معه من حدوث مؤثرات سياسية.

٤- ارتفاع منسوب البحر الناتج عن ذوبان الجليد مع ارتفاع درجات الحرارة.

٥- التمدد الحراري لماء البحر.

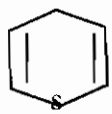
ومن المتوقع أن المناطق في النصف المتوسط من الكرة الأرضية، مثال حوض البحر المتوسط أو منغوليا، سوف تتحول لتكون سلة غذاء العالم، حيث إن زيادة تركيز ثاني أوكسيد الكربون ستلعب دورًا كبيرًا على التأثير المباشر على نمو النباتات، ومما يزيد من الإنتاج ويقلل من الاحتياجات المائية.

٤-٧ تلوث الهواء بمصادر الطاقة: تشمل مصادر الطاقة الآتي:

الخامات البترولية، الفحم، الصخر الزيتي، الرمل القاري، والذي يتحول إلى منتجات سواء كانت غازية أو سائلة، وجميعها مصدر مهم للتلوث البيئي.

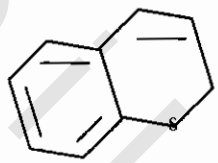
وتقدر الكميات المستخرجة سنويًا من خام البترول بمقدار ٢-٩ بليون طن، وبما يعني دخولها إلى البيئة، وكذلك إذا ما تحولت إلى أنواع البتروكيماويات.

وأهم العناصر المحتوى عليها البترول والمسببة للتلوث، تشمل: الكبريت، النيتروجين، المعادن، الأوكسجين ويدخل معها المركبات التي تحتوي عليها، ويصنف الكبريت بأنه من أهم هذه الملوثات، وتتراوح نسبة وجوده في الخامات البترولية بين ٠،٠١٪ إلى ٣،٧٪ بالوزن والذي غالبًا ما يكون متواجدًا في صورة مركب ثايوفين.



Thiophene

مركب ٢،٣ بنزفيومين



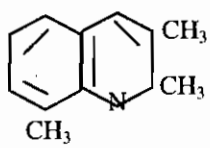
2,3 Benzothiophene

وغيرها من المركبات، مثال 2Ethyl -4,5 diomethyl thiozole

ويقل وجود النيتروجين عن نسبة الكبريت؛ إذ غالبًا بحدود ١٪ بالوزن، وأهم المركبات مركبة ثيازول

Thiozole

مركب ٨.٣.٢ ميثيل كينولين



2,3,8 trimethyl quinoline

وتشمل المعادن في الخامات البترولية الآتي:

الألمونيوم، الكالسيوم، النحاس، الحديد، الكروميوم، الصوديوم، السيلكون، الفانديوم، الرصاص، الباريوم، البورون، الكوبالت، الموليديوم.

وقد توجد بنسبة ٠,١ ج.ف.م، وتزيد أحيانا إلى ١٠٠ ج.ف.م، كما توجد أحيانًا في صورة كلوريدات وفلوريدات.

كما أن بعضها يصل إلى للخام البترولي أثناء عمليات استخراجية من الأرض، وباستخدام أنواع من طفلة الحفر أو سوائل الاستحلاب.

٤-٧-١ تأثيرات أكاسيد النيتروجين والأوزون

بتأثرات الأشعة فوق البنفسجية مع ضوء الشمس، يحدث الآتي:

$$O_2 \longrightarrow O^- + O^-$$

$$O_2 + O^- \longrightarrow O_3$$

$$NO + O_3 \longrightarrow O_2 + NO_2$$

أ. تدمير طبقة الأوزون:

يتكون غاز الأوزون من ثلاث ذرات (O_3) ويحمي الأرض من الأشعة فوق البنفسجية (بطول موجة ٢٩٠-٣٢٠ ميلي ميكرون)، وذلك ما يسمى طبقة الأوزون Ozonsphere، والتي تقع على ارتفاع ٢٢-٢٥كم فوق سطح الأرض، وإن كان وجوده ممتدًا في جميع الطبقات، وهذه الطبقة غير متصلة أو ذات حدود واضحة، سواء في طريفها العلوي أو السفلي، ونسبة وجوده في طبقة الأوزون تقريبا ١٢ مليجرام في الجرام الواحد من الهواء، ويقل تركيز الأوزون كلما ارتفعنا عن هذه الطبقة، وإن كان ذلك التغير يحدث في بطء شديد وعلى نحو تدريجي.

ب. ثقب الأوزون:

يحدث خاصة فوق منطقة القطب الجنوبي، خلال فترة ربيع القطب الجنوبي (شهر سبتمبر وأكتوبر)، وهذا الثقب ازداد اتساعًا في السنوات الأخيرة، وفي ازدياد مستمر لاتساعه، وستصبح طبقة الأوزون رقيقة للغاية نتيجة لانخفاض السمك.

أسباب حدوث ثقب الأوزون:

١ - التعامل مع أوكسيد النيتروجين، كما سبق الذكر.

٢ - التفاعل مع مركبات الكلورو فلوروكاربون

$$CF_2CL_2 + Ho \longrightarrow CF_2CL + CL$$

$$CL + O_3 \longrightarrow CLO + O_2$$

$$CFCL_3 + Ho \longrightarrow CFCL_2 + CL$$

$$CL + O_3 \longrightarrow CLO + O_2$$

$$CLO + O \longrightarrow CL + O_2$$

وبذلك يستمر الكلور في تدمير طبقة الأوزون.

أخطار ثقب الأوزون:

زيادة ثقب الأوزون تزيد من وصول الأشعة فوق البنفسجية إلى الأرض، وسيكون لذلك نتائج على كافة الكائنات الحية، مثال: ارتفاع الإصابة بسرطان الجلد، وخفض إنتاج الغذاء، سواء على الأرض أو البحر، وازدياد انتشار الأراضي الأمراض المعدية، مع تسارع ظاهرة ارتفاع حرارة الأرض، والإقلال من تجمعات الطافيات النباتية (Phytophnktons)، التي تقوم بتثبيت ثاني أوكسيد الكربون، وبكمية تزيد على نصف ثاني أوكسيد الكربون، المنبعث على نطاق الكرة الأرضية سنويًا؛ مما سيؤدي إلى اضطراب سلاسل الغذاء البحري، وبالتالي سيلحق الأذى بالأسماك والسرطانات البحرية والريبان (الجمبري)، وغيرها.

وانبعاث ثاني أوكسيد الكربون إلى الغلاف الجوي، سوف يزيد من ارتفاع درجة حرارة الأرض وبالتالي رفع مستويات البحار، وبالتالي هبوط الإنتاج الزراعي، مع نقص شديد في النيتروجين اللازم للنبات (الأرز).

ومن الخطير إحداث إعتام لعدسة العين؛ ذلك أن العين عكس الجلد لا تستطيع مقاومة الأشعة فوق البنفسجية؛ مما يتوقع إصابة أكثر من ١٠٠ ألف شخص بالعمى كلما نقص الأوزون ١٪، مع التأثير على النواحي الوراثية، وكذلك تلف عديد من المواد، مثال: البلاستيك، المطاط، الخشب، المنسوجات، الدهانات وخلافه.