الفصل الخامس

تلوث الهواء

- الهواء
- مكافحة تلوث الهواء
- مكونات الهواء
- هواء المدن الصناعية
- تعريف تلوث الهواء
- مصادر تلوث الهواء
- تصنيف الملوثات
- الملوثات السائلة والغازية
- الملوثات الصلبة

الهواء

يمثل الهواء – فى الكون – دعامة مهمة من دعائم الحياة، بل بدونه تستحيل الحياة على الإطلاق.

ويعد الهواء من أهم العناصر المكونة للبيئة، وعلى الرغم من أنه أوفرها وأرخصها إلا أنه أثمنها وأغلاها. فهو أساس الحياة الذى لا يمكن أن تستغنى عنه جميع الكائنات الحية، وفى مقدمتها الإنسان. فبينما نستطيع أن نستغنى عن الماء لعدة أيام، وعن الغذاء لعدة أسابيع، فإنه لا يمكننا الاستغناء عن الهواء ... ولو لدقائق معدودات.

والهواء لا يرى بالعين، ولكن يمكن الإحساس به، فنحن نشعر بحقيقة وجوده عند اهتزاز أغصان الأشجار، وارتفاع أمواج البحر، وسير السفن الشراعية، وما شابه ذلك من ظواهر طبيعية مختلفة.

مكونات الهواء

قديما، وحتى الربع الأخير من القرن الثامن عشر الميلادى، كان الهواء يعد أحد العناصر الأربعة المكون للكون، وهى: الماء والتراب والنار والهواء. وحتى ذلك التاريخ كان الهواء يعد عنصرا مستقلا بذاته، وليس مزيجا من غازات مختلفة كما نعرفه اليوم. ومن الأسباب التى أدت إلى تأخر اكتشاف حقيقة الهواء ومكوناته، أن الغازات المكونة له جميعها عديمة الرائحة واللون. ولذا، فإنه يصعب تمييز الواحد منها عن الآخر.

وفى عام 1775م، أثبت العالم الفرنسى "لافوازييه" (La voisier) أن الهواء يتكون من أكثر من غاز، وأن أحد الغازات المكونة للهواء هو غاز الأكسجين.

وقد دلت التجارب على أن الهواء الجوى خليط معقد من عدة عناصر وغازات، يمكن تقسيمها إلى ثلاثة أقسام، وهى:

القسم الأول: غازات تظل فى الحالة الغازية تحت أى ظروف جوية.

القسم الثانى: بخار الماء، وهو متغير، فقد يتحول من الحالة الغازية إلى السيولة أو الصلابة.

القسم الثالث: بعض الأجسام الصلبة، مثل : ذرات الغبار والسناج، وغيرها.

والغازات التى يتكون منها الهواء الجوى هى مزيج من غازات النيتروجين والأكسجين وثانى أكسيد الكربون وبخار الماء، وبعض الغازات النادرة، وأهمها: الأرجون. ويوضح الجدول (5-1) التركيب الكمى لما نسميه بالهواء النظيف الجاف. وقد استثنينا من الجدول نسبة بخار الماء، والذى يوجد فى الهواء الجوى

بنسب تختلف حسب الموقع الجغرافى، وذلك لأن بخار الماء ليس له تكوين موحد على سطح الأرض.

وتختلف كمياته من مكان لآخر، ومن وقت لآخر معتمدة على درجة الحرارة، ونسبة الرطوبة، ومعدل التبخير من المصادر الطبيعية. وبصفة عامة، فإن كمية بخار الماء فى الجو تتراوح ما بين (0.01%) إلى (5%). وغالبا ما تكون ما بين (1%) إلى (3%).

وبإمعان النظر فى الجدول، فإننا نجد أن النيتروجين والأكسجين هما الغازات الأكثر شيوعا وانتشارا فى الجو. وهما يكونان معا نحو (99%) من حجم خليط الغازات الموجودة فى الهواء الجوى. كما أن الغازات الأربعة: الأكسجين والنيتروجين والأرجون وثانى أكسيد الكربون، فإنها تكون مجتمعة نحو (99.99%) من حجم ذلك الخليط. وفى الحقيقة، فإن النسبة الضئيلة الباقية تشتمل على أنواع عديدة من الغازات، والتى – غالبا – ما يكون مصدرها عوامل طبيعية.

جدول (5-1): التركيب الكمى للهواء النظيف

م	المكون	الرمز الكيميائى	التركيز (%)	الكتلة الكلية (مليون طن)
1	نتروجين	N_2	78.90	4.220.000.000
2	أكسجين	O_2	20.95	1.290.000.000
3	أرجون	Ar	0.93	72.000.000
4	ثانى أكسيد الكربون	CO_3	0.032	2.700000
5	ثيون	Ne	0.0018	10.000
6	هيليوم	He	0.00052	4.000
7	ميثان	CH_4	0.00015	4.600
8	كربتون	Kr	0.00010	16.200
9	هيدروجين	H_2	0.00005	190.00
10	أكسيد النيتروز	N_2O	0.00002	1.700
11	أول أكسيد الكربون	CO	0.00001	540.00
12	زينون	Xe	0.000008	2.010
13	أوزون	O_3	0.000002	190.00

14	أمونيا (نوشادر)	NH_3	0.0000006	21.00
15	ثانى أكسيد النيتروجين	NO_3	0.0000001	9.00
16	أكسيد النيتروجين	NO	0.00000006	3.00
17	ثانى أكسيد الكبريت	SO_2	0.00000002	2.00
18	كبريتيد الهيدروجين	H_2S	0.00000002	1.00

فمثلا، نجد أن غازات، مثل: كبريتيد الهيدروجين (H_2S)، وثانى أكسيد الكبريت (SO_2)، وأول أكسيد الكربون (CO)، تأتى إلى الجو نتيجة النشاطات البركانية. فى حين أن غازات، مثل الميثان (CH_4)، والنوشادر (NH_3)، تنتج من التحلل اللاهوائى للنباتات والحيوانات. كما نجد أن أكاسيد النيتروجين المختلفة (NO_2, NO, N_2O) تنتج من تأثير التفريغ الكهربى الذى يحدث فى أثناء البرق. كذلك، تنتج الحرائق التى تحدث فى الغابات أطنانا كبيرة من غاز (CO_2) فى كل عام. ومما تجدر الإشارة إليه، أن بعض تلك الغازات تعتبر سامة، مثل النوشادر والميثان وأول أكسيد الكربون وأكسيد النيتروز.

وبالإضافة إلى الغازات السابقة، فقد يحتوى الغلاف الجوى على كميات ضئيلة جدا من بعض الغازات الأخرى. فهو قد يحتوى على بعض الغازات الخاملة، مثل: الهيليوم والزينون والنيون.

ويختلط بالهواء كذلك كثير من الشوائب الأخرى غير الغازية، إلا أن هذا يكون دائما على ارتفاعات محدودة من سطح الأرض.

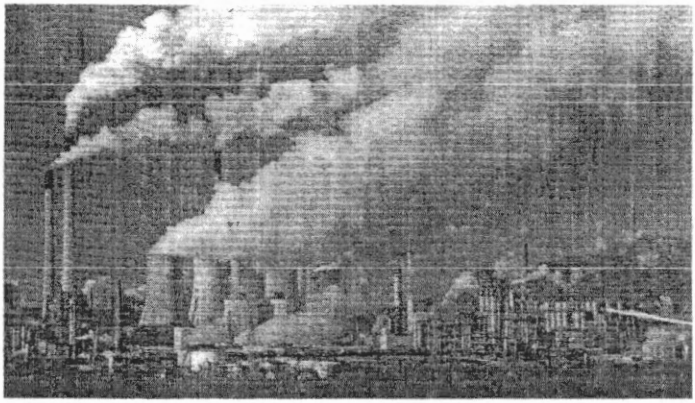
فقد يحتوى الغلاف الجوى على بعض حبوب اللقاح النباتية والتى قد توجد أحيانا على ارتفاع يبلغ حوالى ستة أميال من سطح الأرض. كذلك، قد يحتوى على بعض ذرات التراب التى تحملها الرياح من تربة الأرض أو مما تنفثه البراكين. وهناك أيضا ذرات الفحم الدقيقة والتى توجد عالقة فى الهواء؛ وخاصة حول المناطق الصناعية. كذلك توجد أنواع من البكتيريا التى تسبح فى الهواء. بالإضافة، إلى ذرات الملح التى تتطاير مع بخار الماء من سطوح الأرض.

وبخلاف ما سبق، فهناك ما يسمى بـ "تراب النجوم" الذى يأتى من الفضاء الخارجى. وتقدر كمية هذا التراب التى تدخل غلافنا الجوى بحوالى (2000) طن كل يوم.

هواء المدن الصناعية

يتميز الهواء الجوى بتركيبته الثابتة، غير أن الهواء الموجود فوق المدن الصناعية أو المناطق التى تكثر فيها المصانع، يحتوى على كثير من المكونات

الإضافية التى تنتج من احتراق أنواع الوقود المختلفة فى محطات التوليد والمصانع شكل (5-1)، والآلات والسيارات.



شكل (5-1): تلوث الهواء في المدن من مخلفات محطات التوليد والمصانع

وعندما يحرق الوقود الحفرى، مثل: الفحم أو البترول أو الغاز الطبيعى، فإن النواتج الرئيسية هى غاز ثانى أكسيد الكربون (CO_2)، والماء (H_2O).

ولا يعد غاز ثانى أكسيد الكربون أو الماء سامين، ولكن استمرار تزايد كمياتهما قد يؤدى إلى إحداث أثار خطيرة على المناخ فثانى أكسيد الكربون فى الجو قادر على أن يعمل كالزجاج فى البيت الدافئ، الذى يمرر أشعة الشمس ولا يسمح بمرور الأشعة تحت الحمراء، ففى البيت الزجاجى الدافئ تمتص النباتات أشعة الشمس الحارة عبر الزجاج، ثم تعيد إطلاق جزء مما امتصته كأشعة تحت حمراء لا تقدر على النفاذ إلى الخارج.

لذلك فهذه الأشعة المحتجزة ترفع درجة الحرارة داخل البيت الزجاجى عن محيطه. ونفس الظاهرة تفسر ارتفاع درجة الحرارة داخل السيارة إذا كانت مغلقة النوافذ والأبواب ومعرضة لأشعة الشمس الساطعة. كذلك، فإن غاز ثانى أكسيد الكربون ينقل الضوء المرئى فى نفس الوقت الذى يحجز فيه الضوء تحت الأحمر.

وعلى ذلك، فإن زيادة تركيز غاز ثانى أكسيد الكربون فى الجو قد يتسبب فى إحداث ما يسمى "أثر البيت الزجاجى"، مما يؤدى إلى ارتفاع متوسط درجة الحرارة على سطح الأرض. وإذا حدث ذلك، فقد ينصهر الجليد عند القطبين وعلى قمم الجبال، مما يؤدى إلى ارتفاع مستوى المحيطات والبحار لتفيض على مساحات واسعة من القارات، مسببة فيضانات ضخمة وعالية، يمكن أن تدمر كل شئ على سطح الأرض.

كذلك، فإن درجات الحرارة الأعلى، ستؤثر –حتما– على أنماط الترسيب، ومعدلات سقوط الأمطار، والأحوال المناخية، بشكل عام.

ورغم أن ظاهرة البيت الزجاجي قد تصبح على المدى البعيد أكثر نتائج التصنيع ضررا، إلا أن هناك خطرا أقرب يتمثل في النواتج الجانبية لعملية الاحتراق. فالوقود الحفري، الذي يستخدم في الأغراض المختلفة، ليس كله كربونا نقيا أو هيدروكربونيا نقيا، وإنما توجد به كميات لا بأس بها من الكبريت، الذي يكون عند احتراق الوقود غازات (SO_x)، التي تشمل غازي: SO_2، SO_3. وهما مادتان مؤذيتان، يمكن أن تسببا ضررا بالغا على الأغشية المخاطية في المجاري التنفسية.

وكما هو معروف، فإنه عند الظروف الفعلية، يحترق الوقود احتراقا غير كاملا، حيث تتكون حبيبات من الكربون (العنصري)، وغاز أول أكسيد الكربون CO، وتتبقى كمية من الوقود دون احتراق. وتحمل الغازات الساخنة الناتج والوقود (غير المحترق) إلى الجو. كما أن حرق الفحم يؤدي إلى تكوين كميات كبيرة من البقايا غير العضوية، التي تسمى "رمادا"، حيث يحمل هذا الرماد إلى الجو كغبار شديد القلوية.

وفي الأحوال الجوية العادية، يعد غاز النيتروجين خاملا ولا يتحد مع الأكسجين. ولكن، عند درجات الحرارة التي تسود لدى حرق الوقود، وبخاصة في آلات الاحتراق الداخلي في السيارات، يتحول النيتروجين الجوي (N_2) إلى أكاسيد، أبرزها أكسيد النيتريك، الذي يتحول بسهولة إلى ثاني أكسيد النيتروجين (NO_2)، طبقا لما يأتي:

$$N_{2(g)} + O_{2(g)} \xrightarrow{\text{حرارة}} 2NO_{(g)}$$

$$NO_{(g)} + \tfrac{1}{2}O_{2(g)} \xrightarrow{\text{حرارة}} NO_{2(g)}$$

وفي الحقيقة، فإن وجود الغازات : CO، SO_2، SO_3، أو NO_2، وحبيبات السناج بكميات قليلة في الهواء الجوي، فإنها لا تمثل أي خطر على الصحة أو البيئة بوجه عام. ويرجع ذلك إلى أن عمليات الانتشار في الجو قادرة على توزيعها بما يجعل نسبة وجودها في حدود التراكيز الآمنة، مما يقلل ويكفي تأثيراتها الضارة على البيئة.

إلا أنه إذا أطلقت كميات كبيرة من هذه الغازات، تبلغ مئات أو آلاف الأطنان منها، في منطقة ما، وفي خلال وقت (فترة) زمنية قصيرة، فإن الظروف الجوية

وعمليات الانتشار وإعادة التوزيع الطبيعية تصبح عاجزة عن مواجهة هذه الكميات، وعاجزة عن إعادة توزيعها، مما يؤدى إلى زيادة تركيزها، وحدوث آثارها الضارة والخطيرة على الإنسان والحيوان والنبات، بل وعلى كل عناصر البيئة.

تعريف تلوث الهواء

يعرف تلوث الهواء بأنه: "إدخال مباشر أو غير مباشر لآية مادة إلى الغلاف الجوى بالكمية التى تؤثر على نوعية الغلاف الجوى وتركيبته، بحيث ينجم عن ذلك آثار ضارة على الإنسان والبيئة والموارد الطبيعية، وعلى إمكان الانتفاع من البيئة وعناصرها بوجه عام".

مصادر تلوث الهواء الجوى

يمكن تقسيم تلوث الهواء الجوى إلى قسمين رئيسيين، وهما: المصادر الطبيعية والمصادر البشرية.

أولا: المصادر الطبيعية

نقصد بالمصادر الطبيعية تلك العناصر والعوامل التى تحدث نتيجة ظواهر ونشاطات الطبيعة دون أن يكون للإنسان أو نشاطاته أو تقنياته المختلفة أى دور فى حدوثها. حيث تبث تلك الظواهر الطبيعية إلى الهواء الجوى بكميات كبيرة من الأدخنة والأبخرة والغازات والجسيمات الدقيقة.

ومن أمثلة العوامل الطبيعية: الزلازل، والبراكين، والرياح، وحرائق الغابات:

أ- الزلازل

الزلزال هو اهتزاز القشرة الأرضية فى مكان ما من سطح الأرض. وتتفاوت شدة الزلزال حسب قوة الاهتزاز وطبيعة القشرة الأرضية فى منطقة حدوث الزلزال. ويتعرض سطح الأرض بما عليه فى تلك المناطق إلى تموجات بسبب انهيار المنازل والجسور وتشقق الطرقات. كما تنفجر خطوط المياه والنفط والصرف الصحى. وتنقطع أسلاك الكهرباء والهاتف، وتندلع الحرائق. وينتج عن ذلك انبعاث كميات هائلة من الأتربة والغازات إلى الهواء الجوى مما يتسبب فى تلوثه.

ب- البراكين

يعرف البركان بأنه خروج الصخور المنصهرة (الصهير) من باطن الأرض إلى سطحها نتيجة وجود شقوق وشروخ بها فى منطقة حدوث البركان. ويرتفع

"الصهير" فى الجو لمسافات مرتفعة، وهو ذات درجة حرارة عالية، ويكون فى الحالة السائلة، حيث يجرى الصهير على سطح الأرض، ويتجمد كلما انخفضت درجة حرارته مكونا صخورا وتلالا فى المناطق التى برد عندها.

وتمثل البراكين كارثة أرضية، وبخاصة عند حدوثها بالقرب من الأراضى الزراعية، حيث يؤدى اندفاع صهير البركان (المجما Magma) إلى سطح الأرض إلى دفن الأراضى الزراعية وتغطيتها بأكوام من الصخور البركانية (شكل 5-2). وتحتوى "المجما" على كميات مختلفة من الغازات المنحلة، التى تكون محتجزة فى الصخر المنصهر الداخلى بالضغط المحكم، حيث تلعب هذه الغازات -عند انطلاقها- دورا كبيرا فى تلويث الهواء الجوى.

شكل (5-2): اندفاع "صهير البركان" علي سطح الأرض

ويعد الماء هو المادة الرئيسية الطيارة فى "المجما"، وهو يتسرب من المادة البركانية على شكل بخار ماء. كما أن غاز ثانى أكسيد الكربون (CO_2)، غاز كربونى شائع ومعروف جدا فى الانفجارات البركانية، وكذلك غاز النيتروجين (N_2). وتحتوى "المجما" أيضا على بعض مركبات الكبريت، مثل: كبريتيد الهيدروجين (H_2S) وأكاسيد الكبريت الأخرى، والتى يستدل عليها برائحتها الكريهة. بالإضافة إلى ذلك، فإن كميات قليلة من غازات أخرى تنطلق، مثل: أول أكسيد الكربون (CO)، والهيدروجين (H_2)، والنوشادر (NH_3)، والميثان (CH_4)، وغيرها.

ويوضح الجدول (5-2) التوزيع العام للغازات الموجودة بـ (المجما) عند انفجار البركان.

جدول (5-2): نسب الغازات الموجودة في المجما.

م	الغاز	رمزه	نسبته المئوية
1	بخار الماء	H_2O	70.75
2	ثانى أكسيد الكربون	CO_2	14.07
3	الهيدروجين	H_2	0.33
4	النيتروجين	N_2	5.45
5	أرجون	Ar	0.18
6	ثانى أكسيد الكبريت	SO_2	6.40
7	ثالث أكسيد الكبريت	SO_3	0.10
8	الكلور	Cl_2	0.05

وبالإضافة إلى الغازات المنبعثة فى أثناء الانفجار البركان، تنطلق أيضا كميات ضخمة من الفتاتات البركانية الصلبة – وبخاصة الغبار الناعم – تقدر بآلاف الأطنان، والتى تقذف فى الجو لمسافات تبلغ عشرات الكيلومترات، حيث تصل إلى طبقة "الستراتوسفير"، لتبقى فى الجو عدة أشهر مؤثرة بذلك على كمية الأشعة الشمسية العابرة من خلاله، وبالتالى على درجة حرارة سطح الأرض. هذا إلى جانب الآثار الحيوية المباشرة للغازات ومركباتها المختلفة.

وهكذا، يمكن حصر الدور الذى تسهم به البراكين فى تلويث الهواء الجوى، على النحو التالى:

1- الغازات الناتجة عن البراكين ومركباتها المختلفة.
2- الفتاتات الصخرية الناعمة والخشنة، والغبار.
3- الحرارة العالية لتلك المقذوفات البركانية، سواء الصلبة منها أو الغازية، والتى تسبب حدوث التلوث الحرارى للجو.

جـ- الرياح والأعاصير والعواصف

تنشأ الأعاصير نتيجة التفاف الهواء البارد حول الهواء الساخن مكونا الانخفاض الجوى (الإعصار)، حيث تدفعه الرياح العكسية من الغرب إلى الشرق. ويتحرك الإعصار بسرعة تتراوح ما بين (45) إلى (60) كيلو مترا فى الساعة.

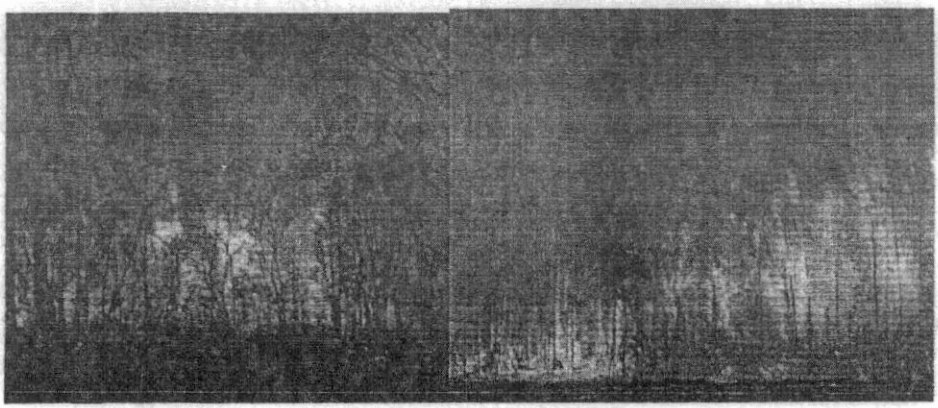
وتتسبب الرياح والعواصف الترابية فى اندلاع الحرائق فى أماكن متفرقة، مما يتسبب فى انبعاث كميات من الأتربة والدخان والجسيمات الدقيقة إلى الهواء الجوى.

ونذكر هنا العاصفة الترابية التى اجتاحت مدينة القاهرة فى اليوم الثانى من شهر فبراير عام 1988، فى أعقاب مرور منخفض جوى شديد العمق. فقد حملت

هذه العاصفة كمية هائلة من الرمال والأتربة المثارة من الصحراء، مما أدى إلى حجب الرؤية فى منطقة الأهرامات الواقعة على أطراف مدينة الجيزة.

د- الحرائق الطبيعية فى الغابات

تمثل الحرائق الطبيعية التى تحدث فى كثير من الغابات (شكل 5-3)، بسبب ارتفاع درجة الحرارة والجفاف، أحد العوامل الطبيعية التى تؤدى إلى تدهور البيئة النباتية، والقضاء على الكساء النباتى، وتؤدى هذه الحرائق إلى القضاء على مظاهر الحياة بتلك الغابات. كما تؤدى إلى اختفاء أنواع من الحيوانات والطيور من تلك التى كانت تعيش فى هذه الغابات.



شكل (5-3): الحرائق الطبيعية التى تحدث فى كثير من الغابات

ثانيا: المصادر البشرية

وهى تشمل جميع المصادر الصناعية أو تلك التى تنتج نشاطات الإنسان وتجاربه المختلفة فى مجالات الأبحاث، وحضارته وتقنياته المختلفة.

وسوف نتناول بالتفصيل أهم المصادر البشرية التى تؤدى إلى حدوث تلوث الهواء الجوى، وهى:

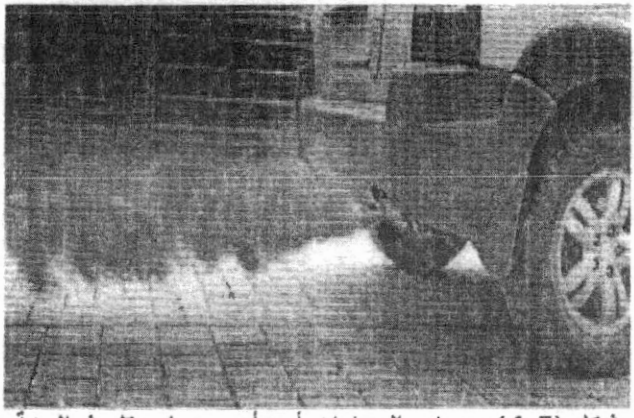
1- قطاع النقل والمواصلات

ويشمل:

- المركبات المزودة بمحركات البنزين.
- المركبات المزودة بمحركات الديزل.

ويعد قطاع المواصلات، وبخاصة السيارات والشاحنات، من أهم مصادر التلوث فى الوقت الحاضر (شكل 5-4)، ويرجع ذلك لسببين، وهما:

1- الأضرار الصحية الخطيرة الناشئة عن نواتج احتراق وقود تلك المركبات.
2- تركيز الملوثات الناتجة عن تلك المركبات وزيادة نسبتها فى أجواء المدن.



شكل (5-4): عوادم السيارات أحد أهم مصادر تلوث البيئة

2- قطاع الصناعة والإنتاج

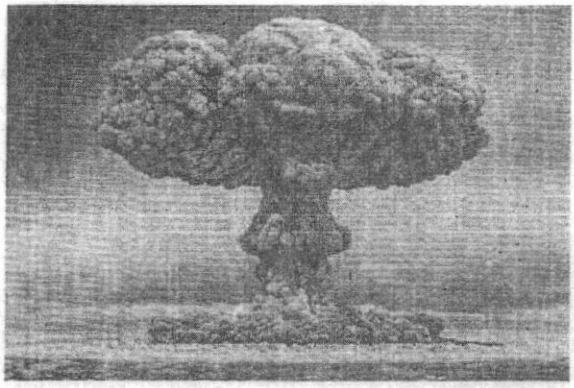
تعد الصناعة وخطوط الإنتاج من أهم المصادر للجسيمات (الهباء)، كما أنها المصدر الثانى لأكاسيد الكبريت (SO_X).

وتولد المصادر الصناعية مجموعة من المواد الملوثة تتوقف على الأساليب المستخدمة والآلات المستحدثة. وأهم تلك المواد الملوثة المنبعثة:

- أول أكسيد الكربون (CO).
- الجسيمات.
- أكاسيد النيتروجين (NO_X).
- الهيدروكربونات.
- ثانى أكسيد الكبريت (SO_2).

3- التفجيرات النووية

إن الممارسات الخطيرة التى تنتهجها بعض الدول المتقدمة فى مجال بحوث تطوير استخدامات اندماج الذرة وانشطارها، تعد من المصادر الرئيسية لتلوث الهواء الجوى. وتشكل تجارب التفجيرات النووية والأسلحة الذرية مصدرا مهما من مصادر الإشعاع الذرى (شكل 5-5).



شكل (5-5): انتشار كم هائل من الأتربة المشعة والغازات نتيجة لأختبار نووي تحت الأرض

ولقد شهدت السنوات الأخيرة، تزايد انتشار المواد المشعة فى الجو بصورة كبيرة لم تكن معروفة من قبل، وأصبحت تشكل خطرا على الصحة العامة.

4- الأسلحة الكيميائية

اتجهت بعض الدول الكبرى إلى إدخال السلاح الكيماوى كأحد الأسلحة الحديثة التى تزود بها جيوشها. وأقدمت هذه الدول على استخدام الأسلحة الكيميائية وذلك فى أثناء حروبها أو معاركها مع دول أخرى، أو لتصفية بعض المتمردين على نظامها.

ومن أنواع تلك الأسلحة الكيميائية، ما يلي:

- غازات الأعصاب، كالزارين.
- الغازات الكاوية مثل، الخردل (غاز حارق).
- غازات الدم، مثل: حمض الهيدروسيانيك.
- الغازات الخانقة، مثل: الفوسجين.
- الغازات المقيئة، مثل: الأدمسيت.
- الغازات المسيلة للدموع، مثل: الكلورواسيتومنيتون.
- غازات الهلوسة.

وهذه الغازات قاتلة أو تعمل على شل القدرة، وتستمر هذه الغازات فى الجو لمدة زمنية معينة. فغازات الأعصاب تستمر من 12 ساعة إلى عدة أيام، والغازات الأخرى تبقى من عدة دقائق إلى بضع ساعات.

كذلك، فإن أبخرة سيانيد الهيدروجين سامة جدا، ولها تأثيرات مباشرة على أنزيمات التنفس بالذات، مما يؤدى إلى موت الخلية فى النهاية، وتعد هذه الأبخرة السامة متلفة للجهاز التنفسى.

5- السلوكيات الخاطئة

مما لاشك فيه، أن هناك الكثير من الممارسات والسلوكيات الخاطئة التي تصدر عن العديد من الأشخاص، والتي تؤدى إلى تلوث الهواء بالدرجة التى تسبب الأذى والضرر للإنسان نفسه والكائنات الحية التى تشاركه الحياة على سطح هذه الأرض.

ومن أهم السلوكيات والممارسات الخاطئة الصادرة عن الإنسان ونشاطاته، والتى تسبب تلوث الهواء:

- التلوث الناتج عن حرق المخلفات والقمامة.
- التلوث الناتج عن تدخين التبغ.
- تلوث الهواء الناجم عن منظفات الجو والمعطرات والمبيدات الحرية المنزلية.
- الاستخدام الخاطئ للمخلفات.
- تلوث الهواء الناجم عن استخدام وسائل التدفئة.

تصنيف الملوثات طبقا لحالتها الفيزيائية

تقسم الملوثات الهوائية طبقا لخواصها الفيزيائية إلى ملوثات صلبة وسائلة وغازية.

وسوف نتناول هذه الأقسام بشئ من التفصيل:

أولا: الملوثات السائلة والغازية

وتشمل عديد من المركبات التى تختلط بمكونات الهواء، وتختلف هذه الملوثات فى تركيزها ونوعيتها وتركيبها الكيميائى باختلاف مصادرها.

وتقدر ملوثات الهواء الغازية بنحو (90%) من مجموع الملوثات التى تقذف إلى الهواء الجوى، وأهم هذه الملوثات:

1- غاز أول أكسيد الكربون (CO)

يوجد غاز أول أكسيد الكربون (CO) فى الهواء الجوى بنسبة (0.00001) حجما، وهى نسبة صغيرة وضئيلة جدا بمقارنتها بنسب وجود الغازات الأخرى، مثل: الأكسجين والنيتروجين.

وتعد عمليات الاحتراق هى المصدر الرئيسى لغاز (CO) المتسرب إلى الهواء الجوى، وفيها يتأكسد الكربون جزئيا إلى أول أكسيد الكربون بدلا من الأكسدة الكاملة إلى غاز ثانى أكسيد الكربون (CO_2).

وتقدر كمية الغاز التى تنطلق إلى الجو بسبب استعمال وسائل المواصلات المختلفة بحوالى (75%) من كمية الغاز المنطلقة بسبب النشاطات البشرية. كما

تسهم حرائق الغابات والمزارع ومخلفات الفحم بنسبة (11.5%). كذلك، تسهم عمليات التخلص من النفايات الصلبة عن طريق الحرق بحوالى (5%). بينما تسهم عمليات توليد الكهرباء (من حرق الفحم والبترول والغاز) بنسبة ضئيلة نسبيا تصل إلى حوالى (0.5%).

ويوضح الجدول (5-3) المصادر المختلفة لغاز أول أكسيد الكربون ونسبة كل منها.

جدول (5-3): مصادر غاز أول أكسيد الكربون (CO) فى الهواء الجوى.

م	المصدر	نسبة غاز (CO) المنسابة فى الجو(%)
1	تأكسد غاز الميثان	77.6
2	نمو وتحلل الكلوروفيل	2.6
3	الطحالب والأحياء الأخرى	3.9
4	مصادر طبيعية مختلفة	6.5
5	النشاطات البشرية	9.4

وعلى الرغم من الكميات الهائلة لأول أكسيد الكربون التى تنطلق إلى الهواء الجوى فى كل عام، إلا أن التركيز العام للغاز فوق سطح الأرض يكاد يكون ثابتا. ويرجع ثبات تركيز غاز (CO) فى الجو إلى أن هناك أنواعا عديدة من التربة لها القدرة على امتصاص الغاز من الجو. وعملية الامتصاص هى عملية بيولوجية فى طبيعتها، والعامل النشط لهذه العملية هو (14) نوعا من الفطريات. وتبلغ سعة امتصاص هذه التربة للغاز حوالى ثلاثة أضعاف الكمية التى تدخل إلى الجو سنويا. وعلى الرغم من ذلك، فإن تركيز الغاز لا يتناقص بسبب هذه النوعية من التربة. ويرجع ذلك إلى أن انتشار هذه الأنواع من التربة ليس منتظما على سطح الأرض، كما أن الأماكن التى تنتج الغاز بكميات كبيرة تفتقر إلى هذه النوعية من التربة.

ولقد تم تتبع أول أكسيد الكربون لبضع سنوات فى الأماكن المأهولة، وأوضحت البيانات أن المتوسط على جانب الطرق فى شوارع خمس مدن كبرى خلال ثلاث سنوات (1964 – 1966) بلغ (7.3) جم/م، وكان الحد الأدنى (6.7) جم/م، والحد الأعلى (7.9) جم/م. بينما وصل التركيز – فى بعض الحالات – إلى (100) جم/م، وخاصة بجوار مناطق حركة المرور الثقيلة فى الأماكن المحصورة.

ويظهر ارتباط تركيز (CO) بحركة المرور فى دراسة تمت فى مدينة نيويورك فى عام (1967م). ففى موقع بأحد الشوارع، ظل مستوى الغاز من

التاسعة صباحا حتى السابعة مساءا عند (15) جم/م. ولكنه بين الساعة الواحدة والثانية صباحا، انخفض المستوى إلى (2.1) جم/م.

الآثار السلبية لغاز (CO)

أ- على الإنسان

يتحد غاز (CO_2) مع مادة الهيموجلوبين المتواجدة فى خلايا الدم الحمراء بدرجة أعلى بكثير من قابلية اتحاد هذه المادة مع غاز الأكسجين (قابلية اتحاد الهيموجلوبين بغاز CO تفوق اتحادها بغاز الأكسجين بحوالى 300 مرة). ويؤدى ذلك إلى منع توصيل الأكسجين بالكميات اللازمة والضرورية من خلال مادة الهيموجلوبين إلى أنسجة الجسم وخلايا المخ.

ولهذا، فإن وجود غاز (CO) فى الهواء بنسبة صغيرة يؤدى إلى شعور الإنسان بالصداع والإرهاق وانخفاض القدرة الذهنية. وفى حالة زيادة نسبة (CO) فى الهواء الجوى إلى حوالى (3500) جزء فى المليون (0.35%)، فإن ذلك يؤدى إلى الاختناق.

ويوضح الجدول (5-4) التأثير الصحى لكمية (CO) فى هيموجلوبين الدم.

ب- على النبات

يعتمد التأثير الناتج عن الغاز على تركيزه فى الهواء المحيط. ولم يلاحظ أى تأثير للغاز على النباتات والأعشاب حتى عندما يبلغ مستوى تركيزه (100) جزء فى المليون. ولكن التأثير على الإنسان أكثر حدة عند تراكيز تقل بكثير عن هذا الرقم، كما أوضحنا سابقا.

جدول (5-4): التأثير الصحى لكمية (CO) فى الدم.

م	نسبة (CO) فى الدم	التأثير الصحى
1	أقل من (0.1%)	لا شئ
2	أقل من (0.1-2%)	بعض التأثيرات السلوكية
3	أقل من (2-5%)	تأثيرات على الجهاز العصبى – إضعاف فى حدة الرؤية وفى حدة الوضوح
4	أقل من (5-10%)	تغيرات فى وظائف القلب والرئتين
5	أقل من (10-80%)	صداع – تعب – خمول ونعاس – غيبوبة
6	أقل من (90%)	عطل فى التنفس – حدوث الوفاة

2- أكاسيد النيتروجين (NO_x)

تحتوى أغلب أنواع الوقود على نسبة صغيرة من بعض المركبات العضوية المحتوية على النيتروجين فى تركيبها. وعند احتراق هذا الوقود تتأكسد هذه المركبات النيتروجينية، ويتحد ما بها من نيتروجين مع أكسجين الهواء مكونا مجموعة من الاكاسيد: أهمها: أول أكسيد النيتروجين (NO) الذى يتحول فى الهواء إلى ثانى أكسيد النيتروجين (NO_2).

وأكاسيد النيتروجين بأنواعها المختلفة (NO_2, NO , N_2O) هى أكاسيد حمضية، تكون عند اتحادها مع الماء حمضا قويا هو حمض النيتريك (HNO_3).

وتنبعث هذه الأكاسيد إلى الجو، إما من مصادر طبيعية، وإما بفعل النشاطات البشرية المختلفة. فغاز (N_2O) الموجود بالجو مصادر الطبيعية، أما غاز (NO) فينتج من مصادر طبيعية بنسبة (80%). فى حين تعد النشاطات البشرية هى مصدر نسبة الـ (20%) الباقية. ولكن، بالنسبة لغاز (NO_2) فإن مصادره الرئيسية هى النشاطات البشرية المختلفة.

وعلى الرغم من أن كميات غازات (NO_x) التى تنتج من المصادر الطبيعية تعادل ثلاثة أضعاف ما تنتجه النشاطات البشرية، إلا أنه لا توجد تأثيرات مباشرة لهذه الغازات. ويرجع ذلك إلى بطء إنتاجها وانبعاثها، مما يجعل عملية الانتشار الطبيعى كفيلة بتخفيف تركيزها، وبالتالى تقليل تأثيراتها الضارة على البيئة. فى حين أن الأنشطة البشرية، تنتج كميات كبيرة من تلك الغازات وفى حيز ضيق، مما يؤدى إلى تركيزات محلية وعالية. وهذا ما يجعلها ذات تأثيرات ملوثة ومؤثرة.

ويوضح الجدول (5-5) أهم مصادر انبعاث غازات ، التى ترجع للأنشطة البشرية.

جدول (5-5): أهم مصادر انبعاث غازات (NO_x)، التى ترجع للأنشطة البشرية.

م	المصدر	نسبة غازات (NO_x) (%)
1	وسائل المواصلات	51.5
2	احتراق الوقود وتوليد الكهرباء	44.1
3	العمليات الصناعية المختلفة	0.9
4	الحرائق فى الغابات والمزارع	1.8
5	التخلص من النفايات الصلبة	1.7

وعلى الرغم من أن الكمية الكلية لغازات (NO_x) المنبعثة إلى الهواء الجوى حوالى (1/6) كمية غاز (CO) المنبعثة فى الجو، إلا أن مصادر غازات (NO_x) تبلغ (22) ضعف مصادر غاز (CO).

كذلك، فإن غازات (NO_x) تدخل فى تفاعلات كيميائية وفى دورة كيميائية تحت تأثير الضوء وفى وجود الهيدروكربونات، وينتج عنها ملوثات شديدة الخطورة على الصحة والبيئة، والتى تسبب ما يعرف بـ "الدخان الضوء- كيميائى".

أكاسيد النيتروجين وطبقة الأوزون

يتكون الأوزون (O_3) من جزيئات الأكسجين، وذلك عندما تمر فيها الأشعة فوق البنفسجية الواردة من الشمس، فتنحل بعض جزيئات الأكسجين بتأثير هذه الأشعة إلى ذرات أكسجين نشطة، لا تستطيع البقاء منفردة بل تتحد سريعا مع بعضها البعض مكونة جزيئات ثلاثية الذرة، هى جزيئات الأوزون (O_3)، طبقا للمعادلات الآتية:

$$O_2 \xrightarrow{\text{الأشعة فوق البنفسجية}} O + O \quad \text{(أكسجين ذرى نشط)}$$

$$O_2 + O \rightarrow O_3 \quad \text{(غاز الأوزون)}$$

وتلعب طبقة الأوزون التى تتكون دورا مهما بالنسبة للحياة على سطح الأرض. وتمثل طبقة الأوزون درعا واقيا يحمى الكائنات الحية التى تعيش على سطح الأرض من أخطار وأضرار الأشعة فوق البنفسجية. حيث يؤدى النقص فى تركيز طبقة الأوزون إلى وصول شدة أكبر من هذه الأشعة، مما قد يسبب للكائنات الحية حروق شمسية وبعض سرطانات الجلد. وكذلك، قد يؤدى إلى تغيير فى بعض العوامل الوراثية للكائنات، وقد يؤثر أيضا فى عمليات التخليق الضوئى، وقد تتسبب فى حدوث الدمار البيولوجى.

وعندما يصطدم أحد جزيئات أكسيد النيتريك (NO) ، مثلا، مع جزئ من الأوزون (O_3)، ينحل جزئ الأوزون مكونا جزيئا من الأكسجين (O_3) وآخر من ثانى أكسيد النيتروجين (NO_2)، طبقا للمعادلة التالية:

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

وكما هو واضح، فإن هذا التفاعل لا ينتج عنه اختفاء أكاسيد النيتروجين، ولكنه يؤدى فقط إلى اختفاء جزيئات الأوزون، مما يؤدى إلى مزيد من الضرر لطبقة الأوزون.

التأثيرات البيئية لغازات (NO_X)

يعد غاز ثانى أكسيد النيتروجين (NO_2) أكثر سمية، لأنه يتحول بواسطة الرطوبة إلى حمض النيتريك (HNO_3)، الذى يؤدى استنشاقه إلى أضرار كبيرة للرئة والجهاز التنفسى.

$$4NO_2 + 2H_2O \longrightarrow 4HNO_3$$

كما أن وجود هذا الحمض يساعد – إلى جانب ثانى وثالث أكسيد الكبريت – على زيادة أضرار الأمطار الحمضية.

ومن جهة أخرى، تتفكك أكاسيد النيتروجين فى وجود الأكسجين والضوء، وينتج عن ذلك تكون غاز الأوزون، كما أوضحنا ذلك سابقا. ولهذا الغاز أضرار بالغة على الجهاز التنفسى، ويؤدى إلى تلف أنسجة الرئة، كما يسبب التهاب الأنف والعينين، ولهذا، فإن الحد الأقصى المسموح به من ذلك الغاز لا يتجاوز (0.1) جزء فى المليون.

وثانى أكسيد النيتروجين (NO_2) ماص قوى للأشعة فوق البنفسجية القادمة من الشمس، وحافز للتفاعلات الكيميائية الضوئية المكونة للضباب المحمل بالدخان فى الأجواء الملوثة. كذلك، يمكن للغاز أن يتحد مع بخار الماء مكونا حمض النيتريك (HNO_3)، كما اشرنا سابقا، الذى يتفاعل بدوره مع الامونيا أو الجسيمات الموجودة فى الهواء مكونا أملاح النترات، مثل : نترات الامونيا (NH_4NO_2). ولا تتفاعل كل أكاسيد النيتروجين كيميائيا ضوئيا، ولكن (NO_2) الذى لا يتفاعل يتحول فى النهاية إلى "أيروسول"، وهى مواد تترسب من الهواء أو تزول مع المطر.

3- أكاسيد الكبريت (SO_X)

تعد أكاسيد الكبريت: SO_2 ,SO_3، أحد الملوثات التى تنبعث إلى الهواء الجوى. وعلى الرغم من أن نسبة (SO_X) الموجودة فى الهواء الجوى ضئيلة نسبيا إذا ما قورنت ببعض الأنواع الأخرى من الغازات، إلا أن تأثيراتها الضارة كثيرة ومباشرة الأثر على الإنسان.

ولقد وجد أن حوالى (87%) من غازات (SO_X) المنبعثة إلى الجو يرجع إلى احتراق الفحم، حيث إن الفحم الحجرى يحوى ما بين (0.2%) إلى (7%) من وزنه كبريت.

ويمثل غاز ثانى أكسيد الكبريت (SO_2) الجزء الأكبر من غازات (SO_X)، والجزء الباقى هو غاز ثالث أكسيد الكبريت (SO_3). وقد وجد أن غاز (SO_2) الناتج من المصادر الطبيعية يأتى من أكسدة غاز كبريتيد الهيدروجين (H_2S)، الذى يتكون من تحلل المواد العضوية، أو كأحد نواتج البراكين النشطة، مثل: بركان "إتنا" فى ايطاليا، والذى ينفث فى الهواء قدرا كبيرا من غاز (SO_2).

أما غاز (SO_2) المتكون بفعل النشاطات البشرية، فإنه يأتى من احتراق الفحم بصفة أساسية، بالإضافة إلى كميات ضئيلة تنتج كناتج ثانوى لعمليات صناعية مختلفة، مثل: عمليات استخلاص النحاس من خامة كبريتيد النحاس، وصناعة حمض الكبريتيك، وعمليات تكرير البترول.

وهو غاز حمضي ويكون مع الماء حمضا قويا هو حمض الكبريتيك (H_2SO_2). كما يمكن أن يتفاعل حمض الكبريتيك معطيا أملاح الكبريتات، مثل: كبريتات الامونيوم. ويوجد كل من حمض الكبريتيك وأملاح الكبريتات المتكونة بهذه الكيفية فى الهواء على هيئة (أيروسولات).

أكاسيد الكبريت ... والأمطار الحمضية

غاز (SO_2) عند تصاعده إلى طبقات الجو العليا، فإنه يتحد مع أكسجين الهواء فى وجود ضوء الشمس مكونا أكسيدا آخر من أكاسيد الكبريت يعرف باسم ثالث أكسيد الكبريت، الذى يتحد مع بخار الماء مكونا حمض الكبريتيك.

$$SO_2 + \frac{1}{2}O_2 \longrightarrow SO_3$$
$$SO_3 + H_2O \longrightarrow H_2SO_4$$

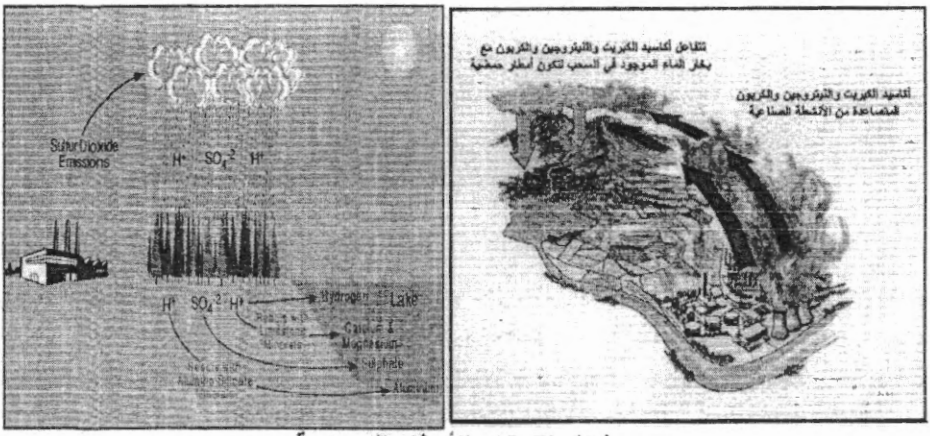
وعندما يكون الجو جافا، فإن هذا الحمض قد يظهر فى الهواء على هيئة رزاز. وقد يتحد هذا الحمض مع بعض النوشادر، التى قد توجد فى الهواء مكونا ملحيا من أملاحه يعرف باسم كبريتات النوشادر [$(NH_4)_2.SO_4$].

$$H_2SO_4 + 2NH_3 \longrightarrow (NH_4)_2SO_4$$

ويبقى هذا الملح أيضا معلقا فى الهواء على هيئة ضباب رقيق فى الجو الجاف وفى الهواء الساكن. ويعرف ذلك جيدا بعض سكان المناطق الصناعية فى انجلترا، وفى غيرها من البلدان الصناعية. ومثل هذا الضباب يسبب ضيقا فى التنفس، كما يحدث التهابا فى العيون.

وعندما يصبح الجو مهيئا لسقوط الأمطار، فإن هذا الحمض وملحه النوشادرى يذوبان فى ماء المطر، الذى يسقط على سطح الأرض على هيئة مطر حمضى.

وفى كثير من الأحيان تسبب الأمطار الحمضية بعض الأضرار للتربة، خاصة عندما تكون هذه التربة جيرية. فالأمطار الحمضية (الشكل 5-6) تذيب الطبقة السطحية من هذه التربة، وتحمل قدرا من عنصر الكالسيوم الموجود فى التربة الجيرية إلى الأنهار والبحيرات وبذلك فهى تحدث نحرا فى هذه التربة، كما أنها ترفع من تركيز الكالسيوم فى المجارى المائية الطبيعية.



شكل (5-6): الأمطار الحمضية

الآثار الضارة لاكاسيد الكبريت

يعد غاز (SO_2) ملوثا لا يقل خطورة عن غاز (CO)، فهو يساهم فى زيادة أمراض الجهاز التنفسى، والألم الصدرى، والتهاب القصبات الهوائية والضيق فى التنفس. كما أنه يعد مسئولا - إلى حد ما – عن زيادة معدلات الربو المزمن والالتهاب الرئوى.

كذلك، وجد أن لغاز (SO_2) تأثيرات مختلفة على النبات، فهو يزيل اللون الأخضر لورقة النبات، حيث يتحول لونها بالتدريج من الأخضر إلى الأصفر. كما ينخفض معدل البناء الضوئى بدرجة كبيرة قد تصل إلى مرحلة التوقف.

وكما ذكرنا سابقا، فإن حمض الكبريتيك إضافة إلى حمض النيتريك يكونان ما يسمى بـ "الأمطار الحمضية"، والتى أصبحت من أكبر مشاكل التلوث التى تقلق الدول.

فقد أدت الأمطار الحمضية إلى تغيير الرقم الهيدروجينى لمياه الأنهار والبحيرات. وقد انعكس هذا التغيير فى موت كثير من النباتات والحيوانات المائية، هذا بالإضافة إلى تخريب الآثار التاريخية، ونحر التربة وتجريفها.

4- الهيدروكربونات

يعد البترول ومشتقاته، مثل: البنزين المصدر الرئيسى لإطلاق الهيدروكربونات إلى الهواء الجوى. ويتم ذلك فى كل من عمليات التبخير والاحتراق الداخلى، التى تتكون عوادمها من الهيدروكربونات غير المحترقة

(غير المؤكسدة)، وغير كاملة الاحتراق، ويوضح الجدول (5-6) أهم مصادر انبعاث الهيدروكربونات نتيجة النشاطات البشرية.

جدول (5-6): أهم مصادر انبعاث الهيدروكربونات بسبب النشاطات البشرية.

م	مصدر انبعاث الهيدروكربونات	النسبة (%)
1	وسائل المواصلات	56.2
2	العمليات الصناعية (تكرير البترول – إسالة الغاز الطبيعي – صناعة النوشادر – صناعة الكربون الأسود)	15.8
3	حرائق الغابات	20.5
4	التخلص من النفايات الصلبة (عن طريق الحرق)	5.8
5	استعمالات الوقود في توريد الكهرباء	1.7

الآثار الضارة للهيدروكربونات

يمتص غاز أكسيد النيتروجين (NO_2) الأشعة فوق البنفسجية من الشمس، ويتكسر إلى (NO) والأكسجين الذرى.

$$NO_2 \xrightarrow{\text{الأشعة فوق البنفسجية}} NO + O$$

ثم يتفاعل الأكسجين الذرى مع جزيئات الأكسجين مكونا الأوزون (O_3)، والذى يتفاعل بدوره مع أكسيد النيتروجين مكونا ثانى أكسيد النيتروجين والأكسجين الجزيئى.

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

ويتفاعل الأكسجين الذرى مع الهيدروكربونات النشطة، ويتكون ما يعرف كيميائيا بـ "الشق" (Radical). ويأخذ "الشق" دوره فى سلسلة من التفاعلات التى ينتج عنها شقوق أكثر مع الأكسجين الجزيئى والهيدروكربونات وأكسيد النيتروجين. ويبدأ الأوزون (O_3) فى التراكم، والتفاعل مع الهيدروكربونات مكونا مواد ملوثة ثانوية، ومن بينها الفورمالدهيد وغيره من الالدهيدات والكتيونات. وفى وجود ثانى أكسيد الكبريت تتكون أيضا "الايروسولات".

4- غاز ثانى أكسيد الكربون (CO_2)

يعد غاز ثانى أكسيد الكربون (CO_2) أحد الملوثات التى تلعب دورا مهما فى التغيرات المناخية التى تسود الجو فى أيامنا الحالية.

ويتماثل المصدر الرئيسى لغاز (CO_2) الجوى فى عمليات احتراق الوقود بمختلف أشكاله، وفى شتى مجالات استخدامه. بجانب ما ينتج أيضا من كميات منه بفعل تحلل العناصر الحيوية فى التربة، وما تطلقه البراكين فى أثناء ثوراتها، إذ يمثل هذا الغاز نسبة (14%) من مجمل الغازات المندفعة إلى الجو فى أثناء ثورة البركان.

ومما لاشك فيه أن نسبة غاز (CO_2) أصبحت فى ازدياد مضطرد نتيجة الزيادة المطردة فى استهلاك الوقود. كما أن لنشاطات الإنسان وممارساته وسلوكياته – والتى تتمثل فى الرعى الجائر وقطع الأشجار والقضاء على الغابات بهدف الاستفادة من أخشابها، أكبر الأثر فى رفع معدلات وزيادة تركيزات ذلك الغاز فى الجو.

وتؤدى زيادة كمية (تركيز) غاز (CO_2) فى الجو إلى ارتفاع درجة الحرارة. وقد أدت الزيادة في تركيز غاز (CO_2) فى الجو فى خلال الأربعين سنة الماضية إلى ارتفاع فى درجة الحرارة قدره (0.02) درجة مئوية سنويا، مما أحدث تغيرات فى درجة الحرارة بالزيادة وصلت إلى حوالى (0.5-0.6) درجة مئوية عما كانت عليه من قبل.

ومن الظواهر التى تصاحب تزايد كميات (CO_2) فى الجو ظاهرة تعرف بـ "البيت الزجاجى". وفعل غاز (CO_2) يشبه عمل الزجاج فى البيت الدافئ، الذى يمرر أشعة الشمس ولا يسمح بمرور الأشعة تحت الحمراء. ففى البيت الزجاجى الدافئ تمتص النباتات أشعة الشمس المارة عبر الزجاج، ثم تعيد إطلاق جزء مما امتصتها كأشعة تحت حمراء لا تقدر على النفاذ إلى الخارج. لذلك، فهذه الأشعة المحتجزة ترفع درجة الحرارة داخل البيت الزجاجى عن محيطه. ونفس الظاهرة تفسر ارتفاع درجة الحرارة داخل السيارة إذا كانت مقفلة الأبواب والنوافذ ومعرضة لأشعة الشمس الساطعة.

ويوضح الجدول (5-7) معدلات الزيادة فى درجة الحرارة المصاحبة لزيادة كميات ثانى أكسيد الكربون المنبعثة إلى الجو نتيجة احتراق الوقود.

جدول (5-7): معدلات الزيادة فى درجات الحرارة المصاحبة للزيادة فى كميات غاز (CO_2) المنبعثة إلى الجو.

السنة	تركيز فى الجو (جزء من المليون)	تزايد درجة الحرارة (ف)
1900	295	0.02
1910	297	0.04
1920	299	0.07
1930	302	0.09
1940	305	0.11
1950	309	0.15
1960	314	0.21
1970	322	0.29
1980	335	0.42
1990	351	0.58
2000	373	0.08
2010	403	1.10

ثانيا: الملوثات الصلبة

الملوثات الصلبة ... هى ما يحمله الهواء من دقائق صلبة لمواد مختلفة تشكل مع الهواء ما يعرف بـ "الغبار".

وتختلف هذه الملوثات فى نوعها باختلاف مصدرها، كما تختلف أيضا فى حجم ذراتها، وفى تأثيراتها المختلفة على البيئة.

ويصنف الغبار – استنادا إلى احتوائه مواد سامة أو خلوه منها لنوعين، وهما:

النوع الأول: غبار يحتوى على مواد سامة ونشطة حيويا. وتشمل هذه المواد المعادن الثقيلة وغيرها من مواد نشطة، مثل: الزرنيخ، والمنجنيز، والرصاص، والسيانيد، والزئبق والمواد المشعة.

النوع الثانى: وهو الغبار الذى لا يحتوى على مواد سامة، ولكنه قد يترك آثاره على الإنسان وجسده، ومن أمثلة هذا النوع:

1- غبار يسبب تليف الأنسجة، ويتكون من المواد التى تسبب التليف. ومن أمثلتها: الأسبستوس (Asbestos)، وذرات الفحم الأسود، والجرافيت، وذرات الفولاذ (الحديد) الناتجة عن عمليات التجلية.
2- غبار يحتوى على مكونات تسبب الحساسية، ومن أمثلتها: القطن، والقنب، والصوف، والجير المحروق.

3- غبار لا يسبب أى من الآثار السابقة، كالرمل وغيره.

وتعتمد كمية الغبار فى الجو على عدة عوامل، منها:

- سرعة الرياح.
- درجة الرطوبة.
- كمية الغبار السطحى.
- كثافة مصادر الغبار الطبيعية.

ويقدر متوسط تركيز الغبار (بالوزن) فى الهواء غير الملوث بحوالى (20) ميكروجراما فى المتر المكعب من الهواء.

الجسيمات (الهباء) فى الهواء

الجسيمات – سواء أكانت سائلة أم صلبة – هى مواد بالغة التعقيد، كما أنها تعد من أكثر ملوثات الهواء انتشارا، وهى تتولد من مصادر متعددة. فما ينتج منها من عمليات ميكانيكية كالتجليخ والرش، لا يزيد قطر الجسيم على (10) ميكرونات. والجسيمات من ميكرون واحد إلى (10) ميكرونات عديدة فى الجو، وتمثل عادة أثقل أنواع الغبار وزنا. وتشمل كذلك الأتربة الصناعية والرماد، وما شابه ذلك.

وتشترك الجسيمات على اختلاف أنواعها وحجومها فى مجموعة من الخواص الفيزيائية. فهى تنمو بالتكثيف وتمتص أو تمتز الأبخرة والغازات، وتتجمد أو تنتشر، كما أنها تمتص الضوء أو تشتته، وقد تتفاعل الجسيمات كيميائيا مع بعضها بعضا فى الهواء، نظرا لتصادمها بعضها ببعض بكثرة.

وفى العادة تظل الجسيمات المتولدة فى جو المدن محمولة فى الهواء لعدة أيام قليلة فقط، وإن كانت قد تظل محمولة فى الهواء – تبعا لحجمها – لمدة اسابيع. ويمنع الترسيب بفعل الجاذبية الجسيمات الأكبر، كالرماد المتطاير والتراب من الابتعاد عن مصادرها. وإن كانت المصادر الكبيرة كالبراكين الثائرة والانفجارات النووية وحرائق الغابات، قد تولد جسيمات تطوف حول العالم.

مصادر الهباء

كما ذكرنا، فإن الهباء يشمل جميع المعلقات الصلبة والدخان والغبار (التراب) والأبخرة والضباب. كذلك، تعد الأجسام الحية المعلقة، مثل: البكتيريا والفطر والعفن من أنواع الهباء.

وتعد المصادر الطبيعية، مثل: الزلازل والبراكين والرياح والحرائق الطبيعية للغابات هى المصدر الرئيسى للهباء فى الجو، فهى تبث حوالى (80%) من

مجمل الهباء الجوى فى العالم، فى حين أن المصادر البشرية تبث فقط نسبة الـ (20%) المتبقية.

ويمكن تقسيم المصادر البشرية للهباء إلى قسمين، وهما:

1- **مصادر مباشرة:** كنواتج احتراق الوقود فى محطات توليد الكهرباء أو وسائل المواصلات المختلفة وغيرها.

2- **مصادر غير مباشرة:** حيث تتحول بعض الملوثات إلى هباء، ومن أمثلة ذلك: تكون الكبريتات من غاز SO_2. وتكون النيترات من الاكاسيد النيتروجينية (NO_x)، وتكون الكربونات من غاز CO_2. **(5-8)**

ويوضح جدول (5-8) المصادر الرئيسية للهباء الناتج عن نشاطات بشرية.

جدول (5-8): المصادر الرئيسية للهباء الناتج عن نشاطات بشرية.

م	المصدر	النسبة (%)
1	العمليات الصناعية	50.0
2	احتراق الوقود (من المصادر الثابتة)	26.0
3	حرائق الغابات	15.0
4	التخلص من النفايات	5.4
5	وسائل المواصلات والنقل	2.7

أثر الهباء على البيئة

من الناحية البيئية، فإن الهباء يؤثر على الإنسان والحيوان والنبات بطريقة مباشرة وغير مباشرة.

1- أثر الهباء على الإنسان

يتركز ضرر الهباء على الإنسان فى تأثيره على الجهاز التنفسى بصورة خاصة، واعتمادا على حجم الجسيمات المتطايرة ونوعها، فقد يؤدى ذلك إلى إصابة الإنسان بسرطان الرئة.

2- أثر الهباء على الحيوان

قد يؤثر الهباء على الحيوان بطريقة مباشرة من خلال استنشاقه للأتربة الموجودة فى البيئة المحيطة، أو بطريقة غير مباشرة نتيجة تغذية هذه الحيوانات على بعض النباتات الملوثة بكيماويات سامة تضر هذه الحيوانات، مما يؤدى إلى إصابتها بالعديد من الأمراض، وهذا بدوره يؤدى إلى نقص إنتاجها من الألبان، وضعف بنيتها، مما يؤدى إلى تدهور كميات اللحوم التى تمدنا بها هذه الحيوانات.

وفى أحيان كثيرة، فإن غذاء الحيوان الملوث بالكيمياويات والمواد السامة قد يؤدى إلى نفوق أعداد كبيرة من تلك الحيوانات.

3- أثر الهباء على النبات

لقد وجد أن الهباء، وبصورة رئيسية التراب يتجمع فوق أوراق النبات ويتراكم عليها، وبالتالى فهو يسد الثغور المنتشرة على سطح الأوراق مما يؤثر على عملية التمثيل الغذائى الضوئى للنبات ويضعفها. وينعكس هذا على النبات فى صورة ضمور فى بعض أجزائه واصفرار أوراقه. كما أنه قد يؤثر على عملية التزهير أو الإثمار فى تلك النباتات، بل وفى بعض الأحيان قد يؤدى إلى هلاكها.