الباب الثانى عشر

التلوث البيئى

الهـواء

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

ويعدّ 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 الإستغناء عن الهواء.. ولو لدقائق معدودات. والهواء لا يرى بالعين، ولكن يمكن الإحساس به، فنحن نشعر بحقيقة وجوده عند إهتزاز أغصان الأشجار، وإرتفاع أمواج البحر، وسير السفن الشراعية، وما شابه ذلك من ظواهر طبيعية مختلفة.

مكونات الهـــواء

قديماً وحتى الربع الأخير من القرن الثامن عشر الميلادى، كان الهواء يعدّ أحد العناصر الأربعة المكون للكون وهى : الماء والتراب والنار والهواء. وحتى ذلك التاريخ كان الهواء يعدّ عنصراً مستقلاً بذاته، وليس مزيجاً من غازات مختلفة كما نعرفه اليوم. ومن الأسباب التى أدت إلى تأخر إكتشاف حقيقة الهواء ومكوناته، أن الغازات المكونة له جميعها عديمة الرائحة واللون. ولذا، 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 هى :

القسم الأول : غازات تظل في 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 (1) التركيب الكمى لما نسميه بالهواء النظيف الجاف. وقد إستثنينا من الجدول نسبة بخار الماء، والذى يوجد في 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 في الجو تتراوح ما بين (0.01%) إلى (5%). وغالباً ما تكون ما بين (1%) إلى (3%).

جدول (1): التركيب الكمى للهواء النظيف

م	المكون	الرمز الكيميائى	التركيز (%)	الكتلة الكلية (مليون طن)
1	نيتروجين	N_2	78.90	4.220.000.000
2	أكسجين	O_2	20.95	1.290.000.000
3	أرجون	Ar	0.93	72.000000
4	ثانى أكسيد الكربون	CO_2	0.032	2.700000
5	نيون	Ne	0.0018	70.000
6	هيليوم	He	0.00052	4.000
7	ميثان	CH_4	0.00015	4.600
8	كريبتون	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_2	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

وبإمعان النظر في الجدول (1)، فإننا نجد أن النيتروجين والأكسجين هما الغازات الأكثر شيوعاً وإنتشاراً في الجو. وهما يكونان معاً نحو (99%) من حجم خليط الغازات الموجودة في الهواء الجوى. كما أن الغازات الأربع : 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 – غالباً – ما يكون مصدرها عوامل طبيعية.

فمثلاً نجد أن غازات مثل : كبريتيد الهيدروجين (H_2S) وثانى أكسيد الكبريت (SO_2) وأول أكسيد الكربون (CO) تأتى إلى الجو نتيجة النشاطات البركانية. في 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 في أثناء البرق. كذلك تنتج الحرائق التى تحدث في الغابات أطنانا عديدة من غاز (CO_2) في 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 جداً 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 دائماً على إرتفاعات محدودة من سطح الأرض.

فقد يحتوى الغلاف الجوى على بعض حبوب اللقاح النباتية والتى قد توجد أحياناً على إرتفاع 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 أيضاً ذرات الفحم الدقيقة والتى توجد عالقة في الهواء، وخاصة حول المناطق الصناعية. كذلك توجد أنواع من البكتيريا التى تسبح في 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 إحتراق أنواع الوقود المختلفة في محطات التوليد والمصانع والآلات والسيارات. 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 يعدّ غاز أكسيد الكربون أو الماء سامين، ولكن إستمرار تزايد كمياتهما قد يؤدى إلى إحداث آثار خطيرة على المناخ. فثانى أكسيد الكربون في الجو قادر على أن يعمل كالزجاج في 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 إمتصه كأشعة تحت حمراء لا تقدر على النفاذ إلى الخارج.

لذلك فهذه الأشعة المحتجزة ترفع درجة الحرارة داخل البيت الزجاجى عن محيطه. ونفس الظاهرة تفسر إرتفاع درجة الحرارة داخل السيارة إذا كانت مقفلة ومعرضة لأشعة الشمس الساطعة. وكذلك فإن غاز ثانى أكسيد الكربون ينقل الضوء المرئى في نفس الوقت الذى يحجز فيه الضوء تحت الأحمر.

وعلى ذلك فإن إرتفاع تركيز غاز ثانى أكسيد الكربون في الجو قد يتسبب في إحداث ما يسمى "أثر البيت الزجاجى"، مما يؤدى إلى إرتفاع متوسط درجة الحرارة على سطح الأرض. وإذا حدث ذلك فقد ينصهر الجليد عند القطبين وعلى قمم الجبال، مما يؤدى إلى إرتفاع مستوى المحيطات والبحار لتفيض على مساحات واسعة من القارات، مسببة فيضانات ضخمة وعاتية يمكن أن تدمر كل شئ على سطح الأرض. كذلك فإن درجات الحرارة الأعلى ستؤثر – حتماً – على أنماط الترسيب ومعدلات سقوط الأمطار والأحوال المناخية بشكل عام.

ورغم أن ظاهرة البيت الزجاجى قد تصبح على المدى البعيد أكثر نتائج التصنيع ضرراً، إلا أن هناك خطراً أقرب يتمثل في النواتج الجانبية لعملية الإحتراق. فالوقود الحفرى الذى يستخدم في الأغراض المختلفة، ليس كله كربوناً نقياً أو

هيدروكربونـاً نقياً، وإنمـا توجد بـه كميات لا بـأس بهـا من الكبريت، الذى يكوّن عند إحتـراق الوقـود غـازات (SO_X)، التـى تـشمل غـازى : SO_2 ، SO_3 ، وهمـا مادتـان مؤذيتان يمكن أن تسببا ضرراً بالغاً على الأغشية المخاطية في المجارى التنفسية.

وكما هو معروف، فإنــه عنـد الظروف الفعليـة، يحترق الوقود إحتراقاً غيـر كامـل، حيـث تتكـون حبيبـات مـن الكربـون (العنـصرى)، وغـاز أول أكـسيـد الكربـــون CO، وتتبقى كمية من الوقود دون إحتراق. وتحمل الغازات الساخنة السناج والوقود (غير المحترق) إلى الجو. كما أن حرق الفحم يؤدى إلى تكوين كميات كبيرة من البقايا غير العضوية، التى تسمى "رماداً"، حيث يحمل هذا الرماد إلى الجو كغبار شديد القلوية.

وفـى الأحـوال الجويـة العاديـة، يعـدّ غـاز النيتـروجين خـاملاً ولا يتحـد مـع الأكسجين. لكن عند درجات الحرارة التى تسود لدى حرق الوقود، وبخاصة في آلات الإحتراق الداخلى في السيارات، يتحول النيتروجين الجوى (N_2) إلى أكاسيد أبرزها أكسيد النيتريك (NO)، الذى يتحول بسهولة إلى ثانى أكسيد النيتروجين (NO_2)، طبقاً لما يأتى :

$$N_{2\,(g)} + O_{2\,(9)} \xrightarrow{\text{حرارة}} 2NO_{(g)}$$

$$NO_{(g)} + \frac{1}{2}\ O_{2\,(9)} \xrightarrow{\text{حرارة}} NO_{(g)}$$

وفـى الحقيقـة فـإن وجـود الغـازات: CO, SO_2, SO_3 أو NO_2، وحبيبـات السناج بكميات قليلة فى الهواء الجوى، فإنها لا تمثل أى خطر على الصحة أو البيئـــة بوجـــه عام. ويرجع ذلك إلى أن عمليات الإنتشار فى الجو قـــادرة على توزيعهـــا بما يجعل نسبة وجودها فى حدود التراكيـز الآمنة، مما يقلل ويلغـى تأثيراتها الضارة على البيئـــة.

إلا أنه إذا أطلقت كميات كبيرة من هذه الغازات، تبلغ مئات أو آلاف الأطنان منهـا فـى منطقـة مـا، وفـى خـلال وقت (فتـرة) زمنيـة قصيرة، فـإن الظـروف الجويـة وعمليات الإنتشار وإعادة التوزيع الطبيعيـة تصبح عاجزة عن مواجهـة هذه الكميات، وعاجزة عن إعادة توزيعها، مما يؤدى إلى زيادة تركيزها، وحدوث آثارها الضارة والخطيرة على الإنسان والحيوان والنبات، بل وعلى كل عناصر البيئية.

تعريف تلوث الهواء

يعرف تلوث الهواء بأنه : "إدخال مباشر أو غير مباشر لأية 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 الإنتفاع من البيئة وعناصرها بوجه عام".

مصادر تلوث الهواء الجوى

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

أولاً : المصادر الطبيعية :

نقصد بالمصادر الطبيعية تلك العوامل 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 كميات – غير قليلة – من الأدخنة والأبخرة والغازات والجسيمات الدقيقة.

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

a – الزلازل :

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

b- 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 إنخفضت درجة حرارته مكوناً صخوراً وتلالاً فى المناطق التى برد عندها.

وتمثل البراكين كارثة أرضية، وبخاصة عند حدوثها بالقرب من الأراضى الزراعية، حيث يؤدى إندفاع صهير البركان (المجما Magma) إلى سطح الأرض إلى دفن الأراضى الزراعية وتغطيها بأكوام من الصخور البركانية.

وتحتوى "المجما" على كميات مختلفة من الغازات المنحلة، التى تكون محتجزة فى الصخر المنصهر الداخلى بالضغط المحكم، حيث تلعب هذه الغازات – عند إنطلاقها – دوراً كبيراً فى تلويث الهواء الجوى.

ويعدّ 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 جداً فى الإنفجارات البركانية، وكذلك غاز النيتروجين (N_2). وتحتوى "المجما" أيضاً 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 (2) التوزيع العام للغازات الموجودة بـ (المجما) عند إنفجار البركان.

جدول (2) نسبة الغازات الموجودة فى 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 الإنفجار البركانى، تنطلق أيضاً كميات ضخمة من الفتاتات البركانية الصلبة – وبخاصة الغبار الناعم – تقدر بآلاف الأطنان، والتى تقذف فى الجو لمساحات 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.

C- **الرياح والأعاصير والعواصف** :

تنشأ الأعاصير نتيجة إلتفاف الهواء البارد حول الهواء الساخن مكوناً الإنخفاض الجوى (الإعصار)، حيث تدفعه الرياح العكسية من الغرب إلى الشرق، ويتحرك الإعصار بسرعة تتراوح ما بين (45) إلى (60) كيلومتراً فى الساعة.

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

ونذكر هنا العاصفة الترابية التى إجتاحت مدينة القاهرة من الغرب فى اليوم الثانى من شهر فبراير عام 1988، فى أعقاب مرور منخفض جوى شديد العمق. فقد حملت هذه العاصفة كميات هائلة من الرمال والأتربة المثارة من الصحراء، مما أدى إلى حجب الرؤية فى منطقة الأهرامات الواقعة على أطراف مدينة الجيزة.

d – **الحرائق الطبيعية فى الغابات** :

تمثل الحرائق الطبيعية التى تحدث فى كثير من الغابات – بسبب إرتفاع درجات الحرارة – 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 إختفاء أنواع من الحيوانات والطيور من تلك التى كانت تعيش فى هذه الغابات.

ثانياً : المصادر البشرية

وهى تشمل جميع المصادر الصناعية أو تلك التى تنتج عن 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، ويرجع ذلك لسببين، وهما :

a- الأضرار الصحية الخطيرة الناتجة من نواتج إحتراق وقود تلك المركبات.

b- تركيز الملوثات الناتجة عن تلك المركبات وزيادة نسبتها فى أجواء المدن.

2- قطاع الصناعة والإنتاج :

وتعدّ الصناعة وخطوط الإنتاج هى أهم مصدر 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 (SO2).

3- التفجيرات النووية :

إن الممارسات الخطيرة التى تنتهجها بعض الدول المتقدمة فى مجال بحوث تطوير إستخدامات إندماج الذرة وإنشطارها، تعدّ من المصادر الرئيسية لتلوث الهواء الجوى. وتشكل تجارب التفجيرات النووية والأسلحة الذرية مصدراً مهماً من مصادر الإشعاع الذرى.

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

4- الأسلحة الكيميائية :

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

- 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 غاز سيانيد الهيدروجين سامة جداً، ولها تأثيرات مباشرة على أنزيمات التنفس بالذات، مما يؤدى إلى موت الخلية فى النهاية. وتعدّ هذه الأبخرة السامة متلفة للجهاز التنفسى.

5 - **السلوكيات الخاطئة** :

مما لا شك فيه، أن الكثير من الممارسات والسلوكيات الخاطئة الصادرة عن العديد من الأشخاص 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 ملطفات الجو والمعطرات والمبيدات الحشرية المنزلية
- الإستخدام الخاطىء للمخلفات
- تلوث الهواء الناجم عن وسائل التدفئة

تصنيف الملوثات طبقاً لحالتها الفيزيائية

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

وسوف نتناول هذه الأقسام بشئ من التفصيل:

أولاً – الملوثات السائلة والغازية :

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

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

1- أول أكسيد الكربون (CO) :

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

وتعدّ عمليات الإحتراق هى المصدر الرئيسى لغاز (CO) المتسرب إلى الهواء الجوى، وفيها يتأكسد الكربون جزئياً إلى أول أكسيد الكربون بدلاً من الأكسدة الكاملة إلى ثانى أكسيد الكربون (CO2).

وتقدر كمية الغاز التى تنطلق إلى الجو بسبب إستعمال وسائل المواصلات المختلفة بحوالى (75%) من كمية الغاز المنطلقة بسبب النشاطات البشرية. كما تسهم حرائق الغابات والمزارع ومخلفات الفحم بنسبة (11.5%). وتسهم العمليات الصناعية المختلفة بحوالى (7.7%) كذلك، تسهم عمليات التخلص من النفايات الصلبة عن طريق الحرق بحوالى (5%). بينما تسهم عمليات توليد الكهرباء (من حرق الفحم والبترول والغاز) بنسبة ضئيلة نسبياً تصل إلى حوالى (0.5%).

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

جدول (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 ثابتاً. ويرجع ثبات تركيز غاز (CO) فى الجو إلى أن هناك أنواعاً عديدة من التربة لها القدرة على إمتصاص الغاز من الجو. وعملية الإمتصاص هى عملية بيولوجية فى طبيعتها، والعامل النشط لهذه العملية هو (14) نوعاً من الفطريات. وتبلغ سعة إمتصاص هذه التربة للغاز حوالى ثلاثة أضعاف الكمية التى تدخل إلى الجو سنوياً. وعلى الرغم من ذلك، فإن تركيز الغاز لا يتناقص بسبب هذه النوعية من التربة. ويرجع ذلك إلى أن إنتشار هذه الأنواع من التربة ليس منتظماً 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) يبلغ (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 حركة المرور الثقيلة فى الأماكن المحصورة.

ويظهر إرتباط تركيز غاز (CO) بحركة المرور فى دراسة تمت فى مدينة نيويورك فى عام (1967). ففى موقع بأحد الشوارع ظل مستوى الغاز من التاسعة صباحاً حتى السابعة مساءاً عند (15) جم/م. ولكنه بين الساعة الواحدة والثانية صباحاً، إنخفض المستوى إلى (2.1) حم/م.

الآثار السلبية لغاز CO :

a – **على الإنسان** : يتحد غاز (CO) مع مادة الهيموجلوبين المتواجدة فى خلايا الدم الحمراء بدرجة أعلى بكثير من قابلية إتحاد هذه المادة مع غاز الأكسجين (قابلية

إتحاد الهيموجلوبين بغاز CO تفوق إتحادها 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 وإنخفاض القدرة الذهنية. وفى حالة زيادة نسبة (CO) فى الهواء الجوى إلى حوالى (3500) جزء فى المليون (0.35%)، فإن ذلك يؤدى إلى الإختناق.

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

جدول (4): التأثير الصحى لكمية (co) فى الدم

م	نسبة (CO) فى الدم	التأثير الصحى
1	أقل من (0.1%)	لا شـــــــئ
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
5	أقل من (90%)	عطل فى التنفس – حدوث الوفاة

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 سابقاً.

2- أكاسيد النيتروجين (NOX) :

تحتوى أغلب أنواع الوقود على نسبة صغيرة من بعض المركبات العضوية المحتوية على النيتروجين فى تركيبها. وعند إحتراق هذا الوقود تتأكسد هذه المركبات النيتروجينية، ويتحد ما بها من نيتروجين مع أكسجين الهواء مكوناً مجموعة من

الأكاسيد 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، تكوّن عند إتحادها مع الماء حمضاً قوياً هو حمض النيتريك (HNO_3).

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

وعلى الرغم من أن كمية 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 وإنبعاثها، مما يجعل عملية الإنتشار الطبيعى كفيلة بتخفيف تركيزها، وبالتالى تقليل تأثيراتها الضارة على البيئة. فى حين أن الأنشطة البشرية تنتج كميات من تلك الغازات وفى حيز ضيق، مما يؤدى إلى تركيزات محلية وعالية. وهذا ما يجعلها ذات تأثيرات ملوثة وضارة بالبيئة.

ويوضح الجدول (5) أهم مصادر إنبعاث غازات (NOX)، التى ترجع للأنشطة البشرية.

جدول (5): أهم مصادر إنبعاث غازات (NO_X) التى ترجع للأنشطة البشرية

م	المصدر	نسبة غازات (NO_X) (%)
1	وسائل المواصلات	51.5
2	إحتراق 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 مضار غازات (NO_X) تبلغ (22) ضعف مضار غاز (CO).

كذلك فإن غازات (NO_X) تدخل فى تفاعلات كيميائية وفى دورة كيميائية تحت تأثير الضوء وفى وجود الهيدروكربونات، وينتج عنها مصادر تلوث كثيرة 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 سريعاً مع بعضها البعض مكونة جزيئات ثلاثية الذرة، هى جزيئات الأوزون (O_3)، طبقاً للمعادلات الآتية :

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

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

وتلعب طبقة الأوزون التى تتكون دوراً مهماً بالنسبة للحياة على سطح الأرض. وتمثل طبقة الأوزن درعاً واقياً 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 حروقاً شمسية وبعض سرطانات الجلد. وقد يؤدى إلى تغيير فى بعض العوامل الوراثية للكائنات، وقد يؤثر أيضاً فى عمليات التخليق الضوئى، وقد تسبب أخيراً الدمار البيولوجى.

وعندما يصطدم أحد جزيئات أكسيد النيتريك (NO)، مثلاً، مع جزئ من الأوزون (O_3)، ينحل جزئ الأوزون مكوناً جزيئاً من الأكسجين (O_2) وآخر من ثانى أكسيد النيتروجين (NO_2)، طبقاً للمعادلة التالية :

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

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

التأثيرات البيئية لغازات (NO_X) :

يعدّ غاز ثانى أكسيد النيتروجين (NO_2) أكثر سمية، لأنه يتحول بواسطة الرطوبة إلى حمض النيتريك (HNO_3)، الذى يؤدى إستنشاقه 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 سابقاً. ولهذا الغاز أضرار بالغة على الجهاز التنفسى، ويؤدى إلى تلف أنسجة الرئة، كما يسبب إلتهاب الأنف والعينين. ولهذا، فإن الحد الأقصى المسموح به من ذلك الغاز لا يتجاوز (0.1) جزء فى المليون.

وثانى أكسيد النيتروجين (NO2) 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 مكوناً حمض النيتريك (HNO3) – كما أشرنا سابقاً – الذى يتفاعل بدوره مع الأمونيا أو الجسيمات الموجودة فى الهواء مكوناً أملاح النترات، مثل : نترات الأمونيا (NH4NO2). ولا تتفاعل كل أكاسيد النيتروجين كيميائياً ضوئياً، ولكن (NO2) الذى لا يتفاعل يتحول فى النهاية إلى "أيروسول"، وهى مواد تترسب من الهواء أو تزول مع المطر.

3 – أكاسيد الكبريت (SO_X) :

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

ولقد وجد أن حوالى (87%) من غاز (SO_X) المنبعثة إلى الجو يرجع إلى إحتراق 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 أغلب غاز (SO_2) الناتج من المصادر الطبيعية يأتى من أكسدة غازكبريتيد الهيدروجين (H_2S)، الذى يتكون من تحلل المواد العضوية، أو كأحد نواتج البراكين النشطة، مثل : بركان "إتنا" فى إيطاليا، والذى ينفث فى الهواء قدراً كبيراً من غاز (SO_2).

أما غاز (SO_2) المتكون بفعل النشاطات البشرية، فإنه يأتى من إحتراق الفحم بصفة أساسية. بالإضافة إلى كميات ضئيلة تنتج كناتج ثانوى لعمليات صناعية مختلفة، مثل: عمليات إستخلاص النحاس من خامة كبريتيد النحاس، وصناعة حمض الكبريتيك، وعمليات تكرير البترول. وغاز (SO_2) حمضى يعطى مع الماء حمضاً قوياً هو حمض الكبريتيك (H_2SO_4). كما يمكن أن يتفاعل حمض الكبريتيك معطياً أملاح الكبريتات، مثل : كبريتات الأمونيوم، 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 مكوناً أكسيداً آخر من أكاسيد الكبريت، يعرف بإسم ثالث أكسيد الكبريت (SO_3)، الذى يتحد مع بخار الماء مكوناً حمض الكبريتيك (H_2SO_4).

$$SO_2 + ½\ O_2 \longrightarrow SO_3$$

$$SO_3 + H_2O \longrightarrow H_2SO_4$$

وعندما يكون الجو جافاً، فإن هذا الحمض قد يظهر فى الهواء على هيئة رذاذ. وقد يتحد هذا الحمض مع بعض النوشادر، التى قد توجد فى الهواء مكوناً ملحاً من أملاحه يعرف بإسم "كبريتات النوشادر" [$(NH_4)_2 . SO_4$].

$$H_2SO_4 + 2NH_3 \longrightarrow (NH_4)_2\ SO_4$$

ويبقى هذا الملح أيضاً معلقاً فى الهواء على هيئة ضباب رقيق فى الجو الجاف وفى الهواء الساكن. ويعرف ذلك جيداً بعض سكان المناطق الصناعية فى إنجلترا، وفى غيرها من البلدان الصناعية، ومثل هذا الضباب يسبب ضيقاً فى التنفس، كما يحدث إلتهاباً فى العيون.

وعندما يصبح الجو مهيئاً 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 تذيب الطبقة السطحية من هذه التربة، وتحمل قدراً من عنصر الكالسيوم الموجود فى التربة الجيرية إلى الأنهار والبحيرات وبذلك فهى تحدث نحراً فى هذه التربة، كما أنها ترفع من تركيز الكالسيوم فى المجارى المائية الطبيعية.

الآثار الضارة لأكاسيد الكبريت :

يعدّ غاز (SO_2) ملوثاً لا يقل خطره عن غاز (CO)، فهو يساهم فى زيادة أمراض الجهاز التنفسى، والألم الصدرى، وإلتهاب القصبات والضيق فى التنفس، ويعدّ مسئولاً – إلى حدٍ ما – عن زيادة معدلات الربو المزمن والإلتهاب 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 سابقاً، 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 إنعكس هذا التغيير فى موت كثير من النباتات والحيوانات المائية، هذا بالإضافة إلى تخريب الآثار التاريخية، ونحر التربة وتجريفها.

4- الهيدروكربونات :

يعدّ البترول ومشتقاته مثل : البنزين المصدر الرئيسى لإطلاق الهيدروكربونات إلى الهواء الجوى. ويتم ذلك فى كل من عمليات التبخير والإحتراق الداخلى، التى تتكون عوادمها من الهيدروكربونات غير المحترقة (غير المؤكسدة)، وغير كاملة الإحتراق.

ويوضح الجدول (6) أهم مصادر إنبعاث الهيدروكربونات نتيجة النشاطات البشرية.

جدول (6): أهم مصادر إنبعاث الهيدروكربونات بسبب النشاطات البشرية

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

الآثار الضارة للهيدروكربونات :

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

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

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

$$O + O_2 \longrightarrow O_3$$

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

ويتفاعل الأكسجين الذرى مع الهديوكربونات النشطة، ويتكون ما يعرف كيميائياً 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 مكوناً مواد ملوثة ثانوية، ومن بينها الفورمالدهيد وغيره من الألدهيدات والكتيونات. وفى وجود ثانى أكسيد الكبريت تتكون أيضاً "الأيروسولات".

5- غاز ثانى أكسيد الكربون (CO_2) :

يعدّ غاز ثانى أكسيد الكربون (CO_2) أحد الملوثات التى تلعب دوراً مهماً فى التغيرات المناخية التى تسود الجو فى أيامنا الحالية. ويتمثل المصدر الرئيسى لغاز

(CO_2) الجوى فى عمليات إحتراق الوقود بمختلف أشكاله، وفى شتى مجالات إستخدامه. بجانب ما ينتج أيضاً من كميات منه بفعل تحلل العناصر الحيوية فى التربة، وما تطلقه البراكين فى أثناء ثورانها، إذ يمثل هذا الغاز نسبة (14%) من مجمل الغازات المندفعة إلى الجو فى أثناء ثورة البركان.

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

وتؤدى زيادة كمية (تركيز) غاز (CO_2) فى الجو إلى إرتفاع درجة الحرارة. وقد أدت الزيادة فى تركيز غاز (CO_2) فى الجو فى خلال الأربعين سنة الماضية إلى إرتفاع فى درجة الحرارة قدره (0.02) درجة مئوية سنوياً، مما أحدث تغيرات فى درجة الحرارة بالزيادة وصلت إلى حوالى (0.6-0.5) درجة مئوية عما كانت عليه من قبل. ويوضح الجدول (7) معدلات الزيادة فى درجة الحرارة المصاحبة لزيادة كميات ثانى أكسيد الكربون المنبعثة إلى الجو نتيجة إحتراق الوقود.

جدول (7): معدلات الزيادة فى درجة الحرارة المصاحبة للزيادة فى كميات غاز (CO_2) المنبعثة إلى الجو

السنة	تركيز (CO_2) فى الجو (جزء من المليون)	تزايد درجة الحرارة (م 5)
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	0.80
2010	403	1.10

زمن الظواهر التى تصاحب تزايد كميات (CO_2) فى الجو ظاهرة ما يعرف 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 إمتصها كأشعة تحت حمراء لا تقدر على النفاذ إلى الخارج.

لذلك فهذه الأشعة المحتجزة ترفع درجة الحرارة داخل البيت الزجاجى عن محيطه. ونفس الظاهرة تفسر إرتفاع درجة الحرارة داخل السيارة إذا كانت مقفلة الأبواب والنوافذ ومعرضة لأشعة الشمس الساطعة.

ثانياً : 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 بإختلاف مصدرها، كما تختلف أيضاً فى حجم ذراتها، وفى تأثيراتها المختلفة على البيئة.

ويصنف الغبار – إستناداً إلى إحتوائه مواد سامة أو خلوه منها – لنوعين، هما :

النوع الأول : غبار يحتوى على مواد سامة ونشطة حيوياً، 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- الغبار 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) ميكروجراماً فى المتر المكعب من الهواء.

الجسيمات (الهباء) فى الهواء

الجسيمات – سواء أكانت سائلة أم صلبة – هى مواد بالغة التعقيد، كما أنها تعدّ من أكثر ملوثات الهواء إنتشاراً. 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 وزناً. وتشمل كذلك الأتربة الصناعية والرماد، وما شابه ذلك.

وتشترك الجسيمات على إختلاف 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 كيميائياً مع بعضها بعضاً فى الهواء، نظراً 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 – تبعاً لحجمها – لمدة أسابيع. ويمنع الترسيب بفعل الجاذبية للجسيمات الأكبر، كالرماد المتطاير والتراب من الأبتعاد عن مصادرها. وإن كانت المصادر الكبيرة كالبراكين الثائرة والإنفجارات 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، تعدّ الأجسام الحية المعلقة، مثل: البكتيريا والفطر والعفن من أنواع الهباء.

وتعدّ 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 إحتراق 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 الأكاسيد النيتروجينية (NO_X) وتكون الكربونات منن غاز (SO_2).

ويوضح الجدول (8) المصادر الرئيسية للهباء الناتج عن نشاطات بشرية.

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

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

أثـر الهبـاء 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، وإعتماداً 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 إستنشاقه 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 بالكيماويات 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 وإصفرار أوراقه. كما أنه قد يؤثر على عملية التزهير أو الإثمار فى تلك النباتات. بل وفى بعض الأحيان قد يؤدى إلى هلاكها.