تلوث الهواء

د. يس محمد الحسن
مدينة الملك عبدالعزيز للعلوم والتقنية

يعرف الغلاف الجوي (Atmosphere) بوجه عام بانه طبقة الهواء التي تحيط بالأرض . ويقسم في بعض الأحيان إلى جزءين : الغلاف الجوي الخارجي أو الطلق ويقصد به الجزء الذي يقع خارج الأماكن المغلقة كالأبنية والمنشآت المختلفة . والجزء الآخر ويعرف بالغلاف الجوي الداخلي وهو الجزء الذي ينحصر داخل الأماكن المغلقة كالمساكن وأماكن العمل والدور الثقافية والرياضية ودور النشاطات الأخرى . ويتكون الغلاف الجوي من عدة طبقات (شكل ١) :

١ ـ طبقة الجو السفلى : (Troposphere) وهي الطبقة السفلي من الغلاف الجوي وتلي سطح الأرض مباشرة ويبلغ سمكها حوالي ١١كم ويختلف سمك هذه الطبقة إذ يبلغ عند القطبين حوالي ٨كم وعند خط الاستواء حوالي ١٦كم ، وفيها يعيش الإنسان والكائنات الأخرى ، وتقع فيها التقلبات المناخية من رياح وأمطار وغيوم ، وتنخفض درجة الحرارة كما تقل كثافة الهواء في هذه الطبقة مع الارتفاع .

٢ ـ طبقة الجو فوق السفلى : (Stratosphere) وتمتد من ارتفاع ١١كم إلى حوالي ٥٠كم . وفي أعلى هذه الطبقة توجد طبقة الاوزون . والاوزون : هو الاكسجين ثلاثي الذرات ويمتص معظم الأشعة فوق البنفسجية الآتية من الشمس ، ويقي بذلك سطح الأرض وما عليه من كائنات حية من الأضرار البالغة لهذه الأشعة . وترتفع درجة الحرارة في هذه الطبقة مع الارتفاع على مراحل .

٣ ـ طبقة الجو الوسطى : (Mesosphere) وتمتد من ارتفاع ٥٠كم إلى ٨٠كم وتنخفض فيها درجة الحرارة انخفاضاً كبيراً .

٤ ـ طبقة الجو الحرارية : (Thermosphere) وتمتد من ارتفاع ٨٠كم إلى حوالي ٤٠٠كم وتنخفض فيها كثافة الهواء بدرجة كبيرة ، وتعود في هذه الطبقة درجة الحرارة إلى الارتفاع .

٥ ـ طبقة الجو الخارجية : (Exosphere) وهي الطبقة الخارجية وتمتد من ارتفاع ٤٠٠كم إلى نهاية الغلاف الجوي وينعدم فيها الوزن ، وترتفع في هذه الطبقة درجة الحرارة بشكل كبير .

ويبلغ الوزن الكلي للغلاف الجوي حوالي ٥,٣×١٠^١٨كجم ، ويحمل السنتيمتر المربع عند سطح البحر حمولة ١كجم من الهواء . وينحصر حوالي ٩٠٪ من الهواء بين سطح الأرض وارتفاع ١٥كم ، وحوالي ٩٩٪ منه بين سطح الأرض وارتفاع ٣٠ كم . أما ٩٩,٩٩٪ من الهواء فينحصر بين سطح الأرض وارتفاع ٤٨كم .

مكونات الهواء :

تعد تركيبة الهواء غير ثابتة وذلك نتيجة للتبادل الحركي المستمر بين الغلاف الجوي وبين سطح الأرض وما عليه من غطاء

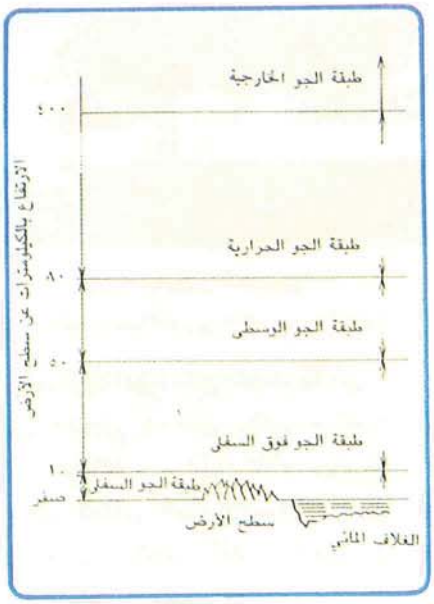
حيوي ونباتي ومائي . وإذا علمنا ان كمية الغبار البركاني الناتج عن انفجار أحد البراكين (كراكوتوا) في عام ١٨٨٣م ، والمنبعث في الغلاف الجوي ، قد تجاوز في كميته ما انتجته جميع الحرائق التي أوقدها الإنسان في تاريخه يمكننا ادراك استحالة احتفاظ الهواء بتركيبة واحدة بل نستطيع ان نفهم صعوبة التحدث عن نقاء الهواء . وعلى الرغم من ان تركيبة الهواء غير ثابتة إلا أنه يتكون من مكونات رئيسة وأخرى ثانوية كما يوضح الجدول رقم (١)

يعد الهواء من أهم العناصر المكونة للبيئة وبالرغم من انه أوفر هذه العناصر وأرخصها إلا أنه أثمنها . فهو أساس الحياة الذي لا يمكن ان تستغنى عنه الكائنات الحية وفي مقدمتها الإنسان ، فبينما نستطيع ان نستغنى عن الماء لعدة أيام وعن الغذاء لعدة أسابيع لا يمكننا ان نستغنى عن الهواء لدقائق معدودات . وتكمن أهمية دور الهواء في حياة الإنسان والكائنات الأخرى في أنه يصعب التحكم في اختيار النوعية التي تستنشق منه على عكس الماء والغذاء اللذين يسهل التحكم في اختيار نوعيتهما . ويلعب الغلاف الجوي دوراً رئيساً في حفظ درجة حرارة الأرض من الانخفاض الشديد الذي قد تتعذر الحياة معه ، هذا ويقوم الغلاف الهوائي بالعديد من الوظائف الأخرى التي لا يتسع المجال لذكرها .

تلوث الهواء :

يعرف تلوث الهواء بانه ادخال مباشر أو غير مباشر لأي مادة في الغلاف الجوي بالكمية التي تؤثر على نوعية الغلاف الجوي الخارجي وتركيبته بحيث تنجم عن ذلك آثار ضارة على الإنسان ، والبيئة ، والأنظمة البيئية ، ومواد التشييد ، والموارد الطبعية ، وعلى امكان الانتفاع من البيئة .

وبوجه عام يشمل التلوث العديد من الظواهر والنشاطات التي تؤدي في النهاية إلى تدهور النوعية الطبعية للهواء . وفي معناه الدقيق يعرف تلوث الهواء بانه انبعاث الملوثات الصلبة، والسائلة والغازية في الهواء، كما يعد انبعاث أي نوع ضار من الطاقة في الهواء ملوثاً للهواء ويدخل في هذا الاطار أشكال كثيرة من الطاقة مثل الطاقة الحرارية، الضوضاء، الذبذبات، الإشعاع والذي لايقتصر على الإشعاع النشط فقط (Radioactive) بل أيضاً على الإشعاع الكهرومغنطيسي كالموجات الدقيقة (الميكروويف) والرادار، والتردد العالي جداً (Ultra Highfrequency)، ومايصدر من خطوط الكهرباء ذات الجهد العالي .



شكل (١) : طبقات الغلاف الجوي

الملوثات الهوائية :

هناك أكثر من تصنيف لملوثات الهواء إذ يعتمد التصنيف على الخواص المختلفة أو المشتركة للملوثات كخواصها الفيزيائية ، أو الكيميائية ، أو ما يترتب عليها من آثار ، أو أستناداً على طريقة فصلها ، أو طريقة انبعاثها من مصادرها . وتصنف ملوثات الهواء حسب خواصها الفيزيائية إلى ملوثات صلبة ، وسائلة ، وغازية .

فالملوثات الصلبة هي ما يحمله الهواء من دقائق صلبة لمواد مختلفة تشكل مع الهواء ما يعرف بالغبار . وتختلف هذه الملوثات في نوعها باختلاف مصدرها ، كما تختلف أيضاً في حجم ذراتها وتأثيرها على البيئة وما عليها . ويصنف الغبار استناداً على احتوائه مواداً سامة أو خلوه منها إلى نوعين رئيسين . **النوع الأول** : غبار يحتوي على مواد سامة ونشطة حيوياً ، وتشمل هذه المواد المعادن الثقيلة وغيرها من مواد نشطة ، ومن أمثلتها : الزرنيخ ، المنجنيز ، الرصاص ، الزئبق ، السيانيد ، والمواد المشعة . **والنوع الثاني** : وهو الغبار الذي لا يحتوي على المواد السامة ويصنف بدوره حسبما يحتوي عليه من مواد وآثار لتلك المواد إلى : غبار يسبب تليف الأنسجة ويتكون من المواد التي تسبب التليف ، ومن أمثلتها : الاسبستوس ، ذرات الفحم الأسود ، الجرافيت ، ذرات الفولاذ الناتجة عن عملية التجلية ، وهناك الغبار الذي يحتوي على مكونات تسبب الحساسية : ومن أمثلة مكوناته القطن ، القنب ، الصوف ، الريش ، الجير المحروق ، والليف الزجاجي . أما النوع الأخير من الغبار فهو الذي لا يسبب الآثار المذكورة آنفاً كالرمل وغيره من المواد . وتعتمد كمية الغبار في الغلاف الجوي الخارجي على عدة عوامل كسرعة الرياح ، والرطوبة ، وكمية الغبار السطحي ، وكثافة مصادر الغبار الطبعية ، ويقدر متوسط تركيز الغبار بالوزن في الهواء غير الملوث بحوالي ٢٠ ميكروجرام في المتر المكعب .

وتشمل الملوثات الغازية والملوثات السائلة العديد من المركبات التي تختلط بمكونات الهواء وتختلف هذه الملوثات في تركيزها ، ونوعيتها ، وتركيبها الكيميائي باختلاف مصادرها . ومن أمثلة هذه المجموعة من الملوثات أول وثاني أكسيد الكربون ، الميثان ، أكاسيد النيتروجين ، الأمونيا ، أكاسيد ومركبات الكبريت ، المواد الهيدروكربونية ، والأبخرة العضوية . ويعد ثاني أكسيد الكربون والجسيمات الصغيرة للمواد الصلبة والسائلة بالإضافة

إلى الاوزون ، وما يترتب عليه من تأثير سلبي على مناخ الأرض من أخطر الملوثات في الوقت الحاضر على المستوى العالمي . ويوجد تداخل كبير بين الملوثات الغازية والسائلة ، إذ تؤدي بعض التفاعلات الفيزيائية أو الكيميائية إلى تحول الملوثات الغازية إلى سائلة أو العكس . ولعل أكثر ما ينتج عن هذه التحولات ما يسمى بالمطر الحمضي الذي يحتوي على حامض الكبريتيك والنتريك . ويتكون حامض الكبريتيك في وجود بخار الماء في الجو نتيجة لاكسدة ثاني أكسيد الكبريت الذي ينبعث بكميات كبيرة من مصادر انتاج الطاقة الكهربائية ، كما يتكون حامض النتريك ، تحت الظروف نفسها ، نتيجة لاكسدة أكاسيد النيتروجين التي تشكل عوادم وسائل المواصلات المصدر الرئيس لها .

وتقدر ملوثات الهواء الغازية بنحو ٩٠٪ من مجموع الملوثات التي تقذف في الهواء ، أما الملوثات الصلبة والسائلة فتمثل نحو ١٠٪ . ويقدر وزن ملوثات الهواء الغازية والسائلة والصلبة التي تدخل غلاف الأرض الجوي سنوياً بنحو ٣×١٠^{١٢}كجم .

مصادر تلوث الهواء :

هناك العديد من مصادر تلوث الهواء ، وتقسم المصادر حسب نوعيتها إلى مصادر طبعية ومصادر ناتجة عن نشاط الإنسان . ويصعب أحياناً الفصل بين هذين المصدرين إذ ان ما يصدر عن نشاط الإنسان في منطقة ما قد ينقله مصدر طبعي كالرياح إلى منطقة أخرى فيصعب بالتالي تحديد أصل المصدر . وتشمل المصادر الطبعية الأنشطة البحرية ، والبركانية ، والغازات ، والميكروبات ، والشهب الفضائية ، وحرائق الغابات ، والمواد العضوية التي ينتجها النبات عندما يزهر . أما مصادر تلوث الهواء الناتجة عن نشاط الإنسان فهي متشعبة وتشكل أهمية أكبر . وذلك لضخامة ما تقذف به هذه النشاطات من ملوثات في الهواء وخطورتها على البيئة ، ويساهم نشاط الإنسان كمصدر للتلوث بنحو ١٠٪ من هذه الكمية . وقد يستنتج خطأ من هذه الاحصائية ان المصادر الطبعية تفوق مصادر نشاط الإنسان في تلوثها للهواء ، ولكن تتغير هذه النسبة مع الوقت ، كما ان الملوثات الناتجة عن نشاط الإنسان ، اضافة إلى انها تفوق في خطورتها الحيوية الملوثات الطبعية ، فإنها تقذف بتركيز عال جداً في مناطق محصورة وفترات زمنية محدودة . ويتوقع في المستقبل القريب ان يفوق الإنسان الطبيعة فيما تنتجه من ملوثات للهواء . ويقدر ما ينتجه الفرد من ملوثات في بعض الدول المتقدمة صناعياً ، مثل امريكا ، والمانيا الاتحادية ، والمانيا الديمقراطية ، وتشيكوسلوفاكيا بحوالي ٣٥٠ ـ ١٠٠٠كجم في العام ، كما يقدر ان تصل كمية ملوثات الهواء في عام ٢٠٠٠م إلى $١٠^{١٣}$كجم في العام ، أي نحو ثلاثة أضعاف ما يحمله الهواء من ملوثات في الوقت الحاضر من مصادر التلوث الطبعية والناجمة عن نشاط الإنسان . ويتمثل نشاط الإنسان الذي يسهم في تلوث الهواء في الصناعة ، واحتراق الوقود ، ووسائل النقل والمواصلات ، وانتاج الطاقة بأنواعها المختلفة ، وبعض النشاطات الأخرى .

ففي البلدان الصناعية تقذف المصانع بأنواع عديدة من ملوثات الهواء . ويختلف النوع باختلاف الصناعة ، فمنها ما يقذف بالغازات الضارة ومنها ما يقذف بالغبار الذي يحتوي على الملوثات الصلبة . ومن أمثله ملوثات المصانع الزئبق ، وهباب الفحم ، وغبار مصانع الأسمنت ، وغاز فلور الهيدروجين ومركبات الفلور الأخرى

جدول (١) متوسط النسبة المئوية للمكونات الغازية في الغلاف الهوائي

(أ) المكونات الرئيسة

المكونات	الهواء الجاف الحجم ٪	الهواء الرطب الحجم ٪
النتروجين	٧٨,٠٩	٧٥,٦٥
الأكسجين	٢٠,٩٤	٢٠,٢٩
بخار الماء	ـــــ	٣,١٢
الأرجون	٠,٩٣	,٩٠
المجموع	٩٩,٩٦	٩٩,٩٦

(ب) المكونات الثانوية*

المكونات	الهواء الجاف جزء من المليون	الهواء الرطب جزء من المليون
ثاني أكسيد الكربون	٣١٥	٣٠٥
غازات خاملة أخرى	٢٤,٢٨	٢٣,٤٥
ميثان	١	٠,٩٧
أكاسيد النيتروجين	٠,٥٠	٠,٤٩
غازات أخرى	٠,٦٥	٠,٤٩

* تمثل نسبة الغازات الثانوية ٠,٠٤ من مجموع مكونات الهواء الغازية .

والتي تنتجها مصانع الأسمنت والألمنيوم .

وتساهم وسائل النقل والمواصلات بدور أساس في تلوث الهواء إذ تطلق من الغازات الملوثة حوالي ٦٠٪ من مجموع الغازات الملوثة للهواء . ويقدر ما تطلقه ١٠٠٠ سيارة متحركة في اليوم الواحد بحوالي ٣,٢ طن من أول أكسيد الكربون و ٣٠٠كجم من الغازات الأخرى .

ومن المواد التي تطلقها السيارات في الهواء أكاسيد النيتروجين ، الرصاص ، ثاني أكسيد الكبريت ، ثاني أكسيد الكربون ومواد أخرى .

وتعد محطات توليد الكهرباء ، ومحطات تكرير النفط وغيرها من الآلات التي تستخدم الوقود في مقدمة المصادر الملوثة للهواء . وتشكل الملوثات الناتجة عن احتراق الوقود خطراً كبيراً على المستوى المحلي . وفي هذا المجال يعد الاحتراق غير الكامل أكثر خطورة من الاحتراق الكامل ، وذلك لانتاج غاز أول أكسيد الكربون السام بالإضافة إلى الغازات الأخرى التي ينتجها الاحتراق الكامل مثل : ثاني أكسيد الكربون ، بخار الماء ، وبعض أكاسيد الكبريت والنيتروجين والتي تعد أقل خطورة نسبياً . وهناك العديد من الغازات الأخرى كالنشادر وكبريتيد الهيدروجين التي تقذفها مثل هذه المحطات .

وتعد المصادر الصناعية التي تلوث الهواء بالمواد المشعة من المصادر الأكثر خطورة على البيئة ، وتشمل تلك المصادر التفجيرات النووية ، المفاعلات النووية ، والمصادر الإشعاعية المستخدمة في الطب والصناعة ، ويمكن ان تساهم جميع هذه المصادر في تلوث الهواء . ويوضح الجدول (٢) المصادر الرئيسة لتلوث الهواء والناتجة عن نشاط الإنسان .

الآثار السلبية لتلوث الهواء :

لاشك ان لتلوث الهواء الكثير من الاضرار . ويعتمد الضرر الناجم عن تلوث الهواء على عوامل عديدة منها كمية الملوثات وتركيزها في الهواء وفي الجسم المستقبل لها ، ونوعية الملوثات ، ونوعية الضرر الذي قد ينجم عنها ، وقابلية الجسم للتأثر بها . ويؤثر تلوث الهواء بشكل مباشر أو غير مباشر على حياة الإنسان وصحته ، وعلى الغلاف الحيوي ، وعلى الموارد الطبعية ، وبشكل خاص المياه والتربة . ويسبب تلوث الهواء خسائر اقتصادية تتمثل في ازدياد معدل الأمراض التي تؤدي إلى تعطيل القوى المنتجة وإلى ازدياد معدل استهلاك واستيراد الكثير من الأدوية والعقاقير . ويؤثر التلوث كذلك على الغطاء النباتي والزراعة فينتج عن ذلك انحسار الغابات وانخفاض الانتاج الزراعي والحيواني . ولتلوث الهواء آثار ضارة على المباني ومواد البناء والمعادن ، إذ يقلل من عمر المباني ويزيد من تآكل المعادن والمباني والمنشآت . مما يزيد في ارتفاع تكلفة صيانتها المتكررة . هذا وتقدر خسائر الولايات المتحدة الأمريكية لعام ١٩٦٧م في هذا المجال بحوالي ١٢ بليون دولار . وبالإضافة إلى الخسائر المادية يؤثر تلوث الهواء سلبياً على استقرار حياة الإنسان بما يسببه من اضطراب في الظروف البيئية التي تلائم حياته وانشطته المختلفة . وتنعكس هذه الآثار في ترك العمال والسكان للمناطق الملوثة والهجرة منها الأمر الذي يترتب عليه آثار سلبية كثيرة .

جدول (٢)
مصادر تلوث الهواء الرئيسة والناتجة عن نشاط الإنسان

كمية الملوث في العام × (10^9 كجم)

المصـــدر	المواد الصلبة	أكاسيد الكبريت	أكاسيد النيتروجين	أول أكسيد الكربون	المواد الهيدروكربونية	المجموع
وسائل النقل :						
ـ السيارات	٠,٧	٠,٣	٧,٠	٦٧,٣	١٢,٧	
ـ وسائل أخرى	٠,٥	٠,١	١,٠	٣,٩	١,١	٩٤,٦
احتراق الوقود :						
ـ محطات الكهرباء	٢,٣	١٤,٠	٣,٥	٠,١	—	
ـ المصانع	٣,٠	٥,٥	٣,١	٠,٣	٠,١	
ـ المـدن	٠,٤	١,٨	٠,٥	١,٣	٠,٦	
ـ مصادر أخرى	٠,٣	٠,٧	٠,٤	٠,٢	—	٣٨,١
المعالجة الكيميائية للمواد الخام	٥,٩	٧,٢	٠,٢	٧,٨	٣,٥	٢٤,٦
النفايات	١,٢	٠,١	٠,٧	٤,٥	١,٤	٧,٩
مصادر أخرى	٠,٤	٠,٦	٠,٢	١,٢	٤,٢	٦,٦
المجموع	١٤,٦	٣٠,٣	١٦,٦	٨٦,٦	٢٣,٦	١٧١,٨