4. الهواء وملوثاته

الهواء نعمة توجب الشكر لخالقها عز وجل. وباللغة الفنية، الهواء هو الغلاف الغازى المتدرج الضغط والكثافة والذى يلف كوكب الأرض، ويأتى فى مقدمة نعم أرحم الراحمين - سبحانه وتعالى - على الإنسان، وعلى كل الأحياء. هذا الغلاف (الهواء الجوى الطبيعى) مادة بالغة الرقة والشفافية، قابلة للإنضغاط. ويتكون الهواء الجوى من خليط دقيق متوازن من عدة غازات أساسية أوفرها النيتروجين الذى يمثل حوالى 78٪ من حجم الهواء، يليه الأكسجين بنسبة حوالى 21٪، والمكونات الأخرى تمثل فى جملتها ما نسبته حوالى 1٪ من الهواء (الطبيعى)، وهى الأرجون ، النيون، الهيليوم، الكربتون، الزينون، الهيدروجين، بخار الماء، ثانى أكسيد الكربون، والأوزون ... إلخ.

أما الغازات الأخرى مثل ثانى أكسيد الكبريت وثانى أكسيد النيتروجين والأمونيا والميثان، فحين تنبعث من العمليات أو المصادر الصناعية فتعتبر من الملوثات وليست من مكونات الهواء الطبيعى (النقى). وبالإضافة إلى هذه المكونات الرقيقة، يوجد فى الهواء الجوى (الطبيعى) نسب شوائب (ملوثات) متغيرة ومختلفة مثل، التراب والضباب والأدخنة والأبخرة والكربون والمواد العضوية والروائح مما يعكر شفافية الهواء ونقاوته.

والحجم النوعى للهواء ، فى الظروف القياسية، حوالى $0.84\ m^3/kg$.

والهواء النقى فى غاية الأهمية لتنفس وصحة الإنسان؛ لأنه بنقاوته يساعد على الاستشفاء. ولذلك فمن المهم أن تكون المستشفيات فى مناطق لا تعانى من التلوث؛ لأنه لا جدوى من تلقى العلاج فى مناطق تسبب المرض. ومن نافلة القول أن نذكر بضرورة مراجعة مواقع العديد من مستشفيات القاهرة؛ لكى تكون بعيدة عن مصادر التلوث بمسافات كافية.

ومن حكمة العليم الخبير – جل شأنه –أن جعل الهواء الجوى ذاتى التنقية (التنظيف) بواسطة البحار والأمطار التى تغسل الهواء باستمرار، ويتجدد الهواء عن طريق دورات طبيعية وحيوية. واختلال تركيب الهواء يخل بانتظام وكفاءة دورات التجديد والتطهير .

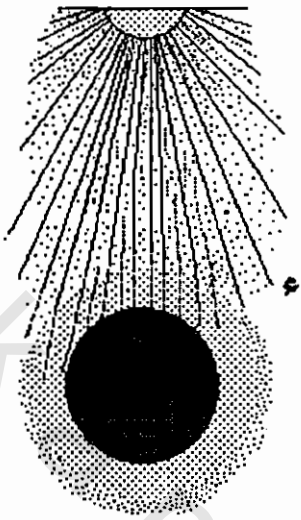
1.4. أهمية الهواء

والهواء هو أهم مادة فى الحياة الدنيا وتستحيل الحياة، ولو لعدة دقائق، بدون الهواء، وهذه النعمة هى أهم مقومات وجودنا التى يجب الحفاظ عليها نقية طيبة، ومن رحمة الله أن جعلها مشاعا بين جميع الخلائق، ولا يشترك الناس فى شىء بدرجة اشتراكهم فى الهواء، فنحن جميعا نتنفس نفس الهواء، وبعض الهواء الذى يخرج من صدرك لا يلبث أن يصل إلى صدرى، وبالعكس. واشتراك الأحياء فى التعامل مع الهواء كاشتراك خلايا الجسد الواحد فى التعامل مع الدم.

ومن الممكن الاستغناء عن الماء والطعام لعدة أيام، أما الهواء فلا. ولا فائدة ترجى من الطعام والشراب لمن يتنفس الهواء الفاسد. والإنسان يحتاج إلى كمية من الهواء الطبيعى (المتجدد) يوميا تتراوح بين 10 متر مكعب فى حالة الاسترخاء والراحة، و 60 متر مكعب فى حالة الشغل العضلى الشاق. ومتوسط حجم الفراغ الهوائى فى رئتى الإنسان العادى حوالى $550\ cm^3$ فى المتوسط، أى أزيد قليلا من نصف لتر. وفى الظروف العادية المستقرة يتنفس الإنسان حوالى 15 مرة فى الدقيقة، وعليه نقول أن الصدر البشرى يسحب حوالى 8,25 لتر هواء فى الدقيقة وهو ما يعادل 11,8 متر مكعب فى اليوم والليلة، وذلك فى الظروف المريحة التقليدية، وليس فى ظروف العمل الشاق أو ممارسة الرياضة العنيفة.

ومن خلال شفافية الهواء نرى الأشياء، وعن طريق الهواء نسمع الأصوات من حولنا. والهواء الجوى يكون الغلاف (السقف) الذى يحمى الحياة على سطح الأرض مما يهددها من الأشعة الضارة والغبار الكونى، والقذائف الكونية (كالشهب والنيازك) التى تتدفق

على الأرض ليل نهار، والهواء هو الوسيط الذى يحتضن الدورة الحرارية الطبيعية التى توزع الحرارة والضغط، فتنظم المناخ، وتنقى المياة التى تطهر مختلف الكائنات الحية على ظهر الأرض.



شكل (1.4). تمثيل ترشيح الغلاف الجوى لأشعة الشمس.

والغلاف الجوى بتكوينه الطبيعى هو المرشح المثالى لحجز الإشعاعات الشمسية الضارة، والسماح بمرور الأشعة المفيدة للنشاطات الحيوية المختلفة، كما هو ممثل فى شكل (1.4). وأيضا تعمل الملوثات الجوية على خفض الإشعاع الشمسى المباشر، والإشعاع الكلى، وتتعمل الملوثات على زيادة الإشعاع المشتت.

واختلال تركيب الهواء (نتيجة التلوث) يخل بتأدية هذه الوظيفة الترشيحية الهامة، وقد نتج عن ذلك ما سُمى بثقب الأوزون، وحمى الأرض أو "الاحتباس الحرارى".

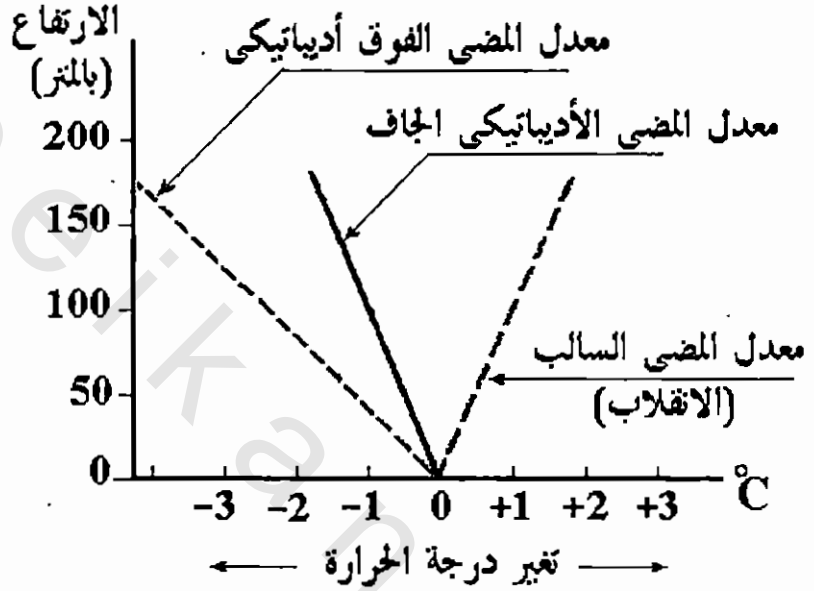
2.4. ديناميكا جو الأرض

المقصود بالجو هنا هو حال الغلاف الغازى المحيط بالكرة الأرضية، وهـذا الغـلاف متبـاين من حيث التركيب والضغط ودرجة الحرارة، وقد أوضحنا ذلك فى الفصل السابق. وعندما تكون مكونات هذا الغلاف مختلطة جيدا، يبلغ كل من الضغط ودرجة الحرارة أقصى قيمهما بالقرب من سطح الأرض، وكلما ارتفعنا فى طبقة التروبوسفير (Troposphere) تقل درجة الحرارة وكذلك الضغط؛ بسبب التمدد الأديباتيكى نحو الفضاء. ففى حالة الخلط الجيد للهواء الجوى تقل درجة الحرارة بمقدار درجة مئوية واحدة (تقريبا) كلما ارتفعنا مسافة 100متر فى الجو، كما هو ممثل فى شكل (2.4). هذا الانخفاض فى درجة الحرارة، والذى ينتج عن التغيرات العلوية فى الضغط يسمى معدل المضى (الانحدار) الأديباتيكى (Adiabatic lapse rate). وفى أوقات كثيرة، يزيد المضى أو ينقص عن هذا المعدل. وحينما يزيد معدل المضى عن المعدل الأديباتيكى، يقال أن الهواء فوق اديباتيكى (Superadiabatic)، وذلك فى حالة عدم استقرار الجو، ووجود خلط رأسى فعال. وملوثات الهواء التى تنبعث فى حالة الجو الفوق أديباتيكية تُنقل رأسيا وتتشتت بسرعة.

عندما يكون معدل المضى أقل من معدل المضى الأديباتيكى يكون الجو أكثر استقرارا، وينحسر تشتت (انتشار) التلوث. وحينما يصير معدل المضى سالبا، أى أن درجة الحرارة تزداد مع الارتفاع فعندئذ ينشأ انقلاب (Inversion). ومعدلات المضى الممكنة موضحة فى شكل (2.4).

الانقلاب يوجد حالة معكوسة، ويحدث ذلك عندما تتحرك كتلة هواء ساخنة على الهواء الأبرد الذى يأتى تحتها. وطبيعيا فكتلة الهواء الساخن العلوية لا يمكن أن تتحرك خلال (تخترق) الهواء الأثقل البارد الموجود أسفلها، لذلك فهى تتحرك فوقها. الهواء الذى يسخن من الأرض يرتفع حتى يضرب الهواء الأعلى الذى لا يزال ساخنا. وحين تحدث

هذه الحالة، يبدو الأمر كما لو أن طبقا غازيا ممسوكا فوق المدينة، والملوثات تصبح محبوسة بهذا الطبق بالانقلاب. وحين تسكن **الرياح** تتراكم الملوثات (حول المصدر) لمعدلات عالية مما يسبب أزمة فى المنطقة.



شكل (2.4). معدلات مضى درجة حرارة الهواء الجوى.

انقلابات درجة الحرارة يمكن أن تنشأ من دورة ﴿**اختلاف الليل والنهار**﴾ المعتادة، خصوصا فى الليالى الصافية. فبعد غروب الشمس يبرد سطح الأرض (اليابسة) بسرعة مبردا الهواء الذى يعلوه مباشرة، وقد يصبح معدل المضى صفرا، أو حتى سالبا نتيجة برودة الهواء السفلى بينما الهواء الذى لا يزال مرتفعا فيظل دافئا. وهكذا ينشأ الانقلاب. وشروق شمس اليوم التالى يسخن الأرض والهواء القريب منها ويزيل هذا الانقلاب. فسبحان الذى ﴿**يقلب الليل والنهار ، إن فى ذلك لعبرة لأولى الأبصار**﴾ الآية 44،

سورة النور، والآيـة التـى تسبقها (مباشـرة) فـى كتـاب الله (جـل وعـلا) تتحـدث عـن الطبقات الجوية وتداخلات السحاب وتولد المطر والبرق.

أشهد ألا إله إلا أنت، خالق كل شيء، سبحانك.

3.4. تلوث الهواء

التوازن الدقيق لمكونات الهواء النقى تم فقدانه فى العصر الحديث؛ بسبب أنشـطة الإنسـان على المستوى العالمى، مما قد يصل بالضرر إلى مسـتوى الكارثـة فـى المستقبل القريـب إن استمر السلوك على ما هو عليه حاليا. فتلوث الهواء أصبح خطرا يلف معظـم المـدن علـى سطح الأرض ﴿**بما كسبت أيدى الناس ليذيقهم بعض الذى عملوا لعلهم يرجعون**﴾.

وتلوث الهواء يعنى وجود مادة أو أكثر فـى الهـواء بنسـب تختلـف (زيـادة أو نقصـا) عـن المعدلات التى كانت موجودة فى البيئة الطبيعية (الطبيعة الغفـل)، فنقـص الأكسـجين فـى الهواء يضر بصلاحيته للتنفس، وكذلك زيادة نسبة ثانى أكسيد الكربـون، أو نسـبة المـواد العالقة، أو المواد المشعة أوالسـامة، أو الأدخنـة، أوالرطوبـة .... إلخ. أيضـا تجـاوز درجـة حرارة الهواء أو ضغطه للحدود المعتادة يعد أمرا ضارا بصحة الإنسان والأحياء الأخرى.

ونوجز بأن تلوث الهواء هـو نمـو نسـب المكونـات المدخولـة عليـه، علـى حسـاب نسـب مكوناته وخصائصه الأصلية. ويتلوث الهواء بانطلاق غـازات ضـارة أو روائـح كريهـة أو جسيمات من عمليات صناعية، كيميائية أو حيوية وتعتبر ضارة بالأحيـاء ومقلقـة للراحـة إما بسبب سميتها، أو بسبب تقليلها لنسبة الأكسجين اللازم للتنفس، أو لأنها غير مرغوبة من حيث المذاق والرائحة. واستشعار الناس للتلوث ينحصر غالبا فـى المشـاهدة البصريـة والشم وأحيانا ضيق التنفس، لكن الكثير من ملوثات الهواء لا تستشـعرها تلـك الحـواس؛ بسبب انعدام لونها ورائحتها. ومحدودية قدرة الحواس فى هـذه الحالـة تعـد نعمـة مـن الله (تبارك وتعالى)، وإلا لتأزم الآنسان بسبب أشياء يمكن تحملها إلى حين.

تلوث أهم المصادر الطبيعية التى نعيش عليها وهو الهواء الذى نتنفسه أصبح قضية قومية وعالمية. وتلوث الهواء الذى نعانيه هو فى الأساس ناتج بمجتمعاتنا الصناعية والحضرية، وهذا التلوث العالمى يزيد بزيادة تلك المجتمعات. وعلى مدى ال 50 عاما الماضية أصبحت الشواهد واضحة على أن نمو المجتمعات الصناعية والتطورات التكنولوجية ، بتوجهها الحالى، يولد تأثيرا مضادا وخطيرا على جودة الهواء الذى نتنفسه[9].

والآثار السلبية لتلوث الهواء نوجزها فيما يلى:

1. الضرر المباشر والشديد بصحة الإنسان، وخصوصا الجهاز التنفسى والدم والقلب والمخ والجهاز العصبى والعينين والسمع والجلد والشعر والسرطانات.
2. تغيير خواص الهواء وتكوين الضباب وتقليل الرؤية وحجب نسبة من أشعة الشمس وتغيير المناخ على سطح الأرض.
3. الإضرار بالنباتات، وخصوصا الضرر الناتج عن غاز ثانى أكسيد الكبريت. وعموما تدخل الملوثات الغازية إلى النبات أثناء عملية التنفس الطبيعى للنبات، وعندما تصل هذه الملوثات إلى أوراق النبات فإنها تحطم الكلوروفيل. أما أتربة الهواء فتترسب على أوراق النبات مكونة طبقة عازلة وخانقة وأحيانا حارقة.
4. يؤثر تلوث الهواء على مختلف المواد التى تهم الإنسان، على الأقل بتوسيخها وأحيانا يسبب تآكلها وتلفها كما يحدث للدهانات والوصلات والكابلات الكهربية والنسيج والأجهزة وغيرها.

4.4. ملوثات الهواء

على حد ما نعلم، فأهم مكونات الهواء (للإنسان) هى الأكسجين والنيتروجين وبخار الماء، وما زاد على ذلك نعتبره غير مرغوب فيه أو غير هام. بالنسبة لحياة الإنسان؛ فالحصول على الأكسجين هو هدف عملية التنفس. أما النيتروجين فإنه يكبح عملية

الاحتراق ويدعم الدورة الحيوية لمعظم الأحياء، أما بخار الماء فيدور فى دورة التطهير الحيوية لجميع الأحياء والموجودات، كما يدخل فى آلية تعديل درجة حرارة الجو بالتبخر والتكثف لتخفيف حدة التغيرات الجوية.

وزيادة نسبة بخار الماء فى الهواء يعنى زيادة الرطوبة لدرجة قد تصبح غير مريحة للتنفس خصوصا فى الجو الحار، إلا أن ذلك لا يعد تلوثا رغم أنه فى بعض المناطق الساحلية قد يشعر الإنسان باحتباس العرق والتصاق بعض العوالق بيديه وملابسه وأدواته. وزيادة الرطوبة فى الصباح تكون الشابورة التى تعكر شفافية الهواء وتعوق الرؤية، وكل ذلك يزول تلقائيا بسرعة دون أن يترك أثرا ضارا.

أما ثانى أكسيد الكربون ، المحدود النسبة ، فهو الوسيط الحيوى الرقيق بين الإنسان والحيوان من ناحية، وبين النبات من الناحية الأخرى. ولكن زيادة نسبة ثانى أكسيد الكربون ينتج عنها بعض المضار؛ لأنه غاز خانق، وهو على رأس قائمة الغازات المتهمة فى فساد المناخ، وفيما يسمى بظاهرة "الاحتباس الحرارى للأرض" (Greenhouse) التى سنتعرض لها فيما بعد.

ملوثات الهواء فى هذا العصر أصبحت تفوق الحصر، ولذلك نحاول حصر أهمها فى الأصناف التالية:

1. مواد صلبة (أو عوالق) وميكروبات.
2. مواد غازية ضارة.
3. أبخرة ضارة.
4. حرارة.
5. عوالق مشعة.
6. صوتيات (ضوضاء).
7. روائح كريهة.

ومعظم هذه الملوثات تنتج من العمليات الصناعية والاصطناعية التى ابتكرها ويمارسها الإنسان بتهور، خصوصا فى العصر الحديث مثل: الاحتراق، الحرق، التخمير، تحريك التربة، تفجير الصخور، مناولة المواد السائبة، التفتيت، الطحن، رش المبيدات، التفجيرات النووية، والأنشطة الكهرومغناطيسية وغيرها.

ومن رحمة الله (سبحانه وتعالى) أن الملوثات لا تمكث فى الهواء طويلا؛ لأنه يوجد عدد من الآليات الطبيعية التى تعمل على تنظيف الهواء من هذه الملوثات، مثل التحلل الكيميائى والأكسدة والتشتت وتساقط الملوثات إما بالترسيب الطبيعى (بالجاذبية)، أو الاصطياد الصناعى (بالمرشحات) أو الطبيعى (بالرئتين!)، أو سقوطها مع الأمطار.

5.4. مصادر تلوث الهواء

كما ذكرنا قبلا، فإن ملوثات الهواء تشمل أساسا الجسيمات التى يحملها الهواء والغازات، كالتراب والهباء (Aerosols)، وهذه الملوثات لها مصادر عديدة يمكن تقسيمها كالتالى:

1- **المصادر الطبيعية:** وهى تشمل غبار العواصف والمناطق الصحراوية وتصل أقطار هذه الحبيبات إلى حوالى 0.6 ميكرون ، وكذلك التفاعلات الكيميائية التى تنتج عنها حبيبات بأقطار حتى دقة 0.4 ميكرون. أما البراكين فتنطلق منها الجسيمات، والغازات التى أبرزها ثانى أكسيد الكربون. يضاف إلى ذلك رذاذ المحيطات الذى ينتج حبيبات بأحجام أكبر من 0.6 ميكرون. ومن مصادر التلوث مخرجات الإنسان نفسه (كالزفير) وخصوصا حين يتكدس فى أماكن ضيقة أو سيئة التهوية، وكذلك مخرجات الحيوانات التى يتعامل الإنسان معها كالدواجن والماشية، وتكون آثارها بالغة الوضوح فى جو الحظائر. والمستوى الخفيف من مثل هذه المصادر (الطبيعية) قد تعايش الإنسان معها واحتملها لآلاف السنين، وتمتصها دورة الحياة وتمر وتختفى بسرعة. أما المستويات الشديدة (العاتية) منها فهى مهلكة ويتعذر

التحكم فيها، ويسلطها الله على من يشاء كعقاب أو ابتلاء، والأمثلة فى كتاب الله (جل وعلا) عديدة، لمن يعتبر، كما حدث لقوم عاد وثمود.

2- **المصادر الصناعية:** وهى من صنع الإنسان وفى تصاعد، وتشمل الغازات والأبخرة والأتربة والرماد والغبار والإشعاع الناتج من الحروب ومعداتها وتدريباتها وإفرازاتها، ومن العمليات الصناعية وتفاعلاتها الكيميائية، والمبيدات الحشرية. تلك هى أبرز الملوثات الغريبة على الطبيعة والأشد خطورة والتى تتراكم ويطول زمن وجودها فى الجو، قبل أن تصل إلى سطح الأرض (فى البر والبحر). ونركز فى هذا الكتاب على هذا الصنف من الملوثات؛ نظرا لخطورته ولإمكانية التحكم فيه والسيطرة عليه. وأصابع الاتهام كلها تشير إلى الصناعات وما أفرزت بلا ضوابط كافية، فى عصر صناعة المداخن. والعقل يطالب الإنسان بأن يراجع نفسه وإلا هلك؛ فالإنسان هو الذى يلوث، وهو الذى يشتكى!

والملوثات الصناعية لمادة (وسط) الهواء عديدة نذكر منها:

أ. عوادم السيارات، وما تنفثه المصانع والمحارق والقمائن ونظم الصرف الصحى والصرف الصناعى.

ب. الاستخدام المتزايد للغازات الصناعية والفحم والبترول والزيوت ومشتقاتها.

ج. الأنشطة التعدينية المختلفة.

د. استخدام المبيدات الحشرية.

6.4. الجسيمات العالقة بالهواء

هى مواد دقيقة الحجم متماسكة يمكن أن تعلق بالهواء عند حركته بسرعات معينة؛ بسبب التيارات الهوائية والعواصف، ولزوجة الهواء، وبسبب تحريك هذه الجسيمات أو

تذريتها. وتعد الجراثيم والميكروبات الضارة من الملوثات التى يمكن أن تعلق بالهواء وتضر بصحة الإنسان، إلا أنها ناتجة من عمليات بعضها شبه طبيعى، ولكن تحتاج إلى إجراءات وقائية. والجسيمات العالقة بالهواء والتى تقل مقاساتها عن 10 ميكرون يمكن أن تتسلل عبر دفاعات الجهاز التنفسى ولذلك فهى الأشد خطورة على الصحة، وخصوصا إن كانت تتضمن مواد مؤذية كالأسبستوس ومركبات المعادن الثقيلة، والمواد المشعة، وبعض المركبات العضوية أو تحمل ميكروبات. وفى الجزء التالى نذكر بعض العوالق الصناعية التى تلوث الهواء.

1.6.4 التراب والرماد

من أبرز أمثلة المواد العالقة الملوثة للهواء هى أتربة الشوارع الغير نظيفة وماأكثرها، والرماد المتطاير المتبقى بعد احتراق الوقود التقليدى كالفحم والخشب وزيت الوقود، والنفايات وغيرها. ويتركب الرماد المتطاير أساسا من السيليكا والألومينا وأكاسيد الكالسيوم والماغنسيوم والحديد والكبريت والمنجنيز وغيرها. أما الأتربة فتنتج من العمليات الصناعية وأبرزها عمليات الحرث والنشر وصناعات مواد البناء كالأسمنت والجير والجبس والطوب وخلافه.

والتراب تكون جسيماته كبيرة نسبيا، فمقاس جسيمات تراب الأسمنت (مثلا) تتدرج وتصل إلى 100 ميكرون. وتشترك هذه الأتربة مع الرماد المتطاير فى التركيب الكيميائى وإن اختلفت عنها فى النسب والأطوار، وهذا ما يميز الرماد عن التراب (أى عملية الحرق). ومعظم هذه الجسيمات العالقة يمكن ملاحظتها بالعين المجردة وهى تنبعث من مصادرها، أو وهى تعكر صفو الجو، كما هو الحال فى محيط مصانع الأسمنت والجير والحديد والصلب. وهذه العوالق أيضا تعوق الرؤية وتُحفّز العديد من التفاعلات فى طبقات الجو السفلى.

2.6.4. الدخن

الدخن (Fume) هو جسيم صلب، فى الغالب يكون أكسيد معدنى، نتج عن تكثف أبخرة بالتسامى، التقطير، الكلسنة، أو بعمليات التفاعل الكيميائى. من أمثلة الدخن أكاسيد الزنك والرصاص الناتجة من تكثف وأكسدة المعادن التى تطايرت عند درجات حرارة عالية. مقاسات الدخن تكون بالغة الدقة، فى حدود 3. 0. - 0.3 ميكرون، ولذلك فى تتسلل عبر دفاعات الجهاز التنفسى بسهولة.

3.6.4. الضباب والدخان والرش

الضباب (Mist): هو قطرات سائلة صغيرة تتكون بتكثف البخار وربما من تفاعل كيميائى. ومثال ذلك عملية تكون ضباب حامض الكبريتيك؛ حيث أن:

SO_3 عند درجة حرارة 22 درجة مئوية يتحول إلى سائل؛ لأن نقطة الندى بالنسبة له هى درجة حرارة 22 درجة مئوية.

$$SO_3 + H_2O \rightarrow H_2SO_4$$

وقطر حبيبات الضباب يكون فى حدود 0.5 - 3 ميكرون.

الدخان (Smoke): هو جسيمات صلبة تكونت نتيجة عدم اكتمال احتراق مواد كربونية. بالرغم من أن الهيدروكربونات، الأحماض العضوية، أكاسيد الكبريت، وأكاسيد النيتروجين أيضا تنتج فى عمليات الاحتراق، لكن فقط الجسيمات الصلبة الناتجة من عدم اكتمال الاحترق هى التى نعتبرها دخان. مقاسات جسيمات الدخان تكون فى حدود 0.5 - 1 ميكرون تقريبا.

أما الرش (Spray): فهو جسيمات سائلة تتكون بتذرير السائل الأم، ويحدث ذلك فى الغالب نتيجة هروب السائل من فتحة ضيقة تحت الضغط الشديد.

4.6.4. جسيمات الرصاص

قائمةالاتهامات الموجهة إلى مركبات الرصاص (التى يحملها الهواء) طويلة، فالرصاص يفسد أغلب مقومات الحياة، ويسبب العديد من الأمراض الخطيرة بدءا من متاعب الجهاز التنفسى وما يصاحبه من الهجمات الربوية وصعوبة التنفس مرورا بأمراض القلب والمخ والجهاز العصبى والسرطان، ولذلك نخصه بالذكر من بين الجسيمات الأخرى.

تنبعث مركبات الرصاص مع عادم السيارات خصوصا تلك التى تستخدم البنزين المضاف إليه مركبات الرصاص، ومنها رابع إيثيلات الرصاص (Tetra Ethyl Lead, TEL)، لرفع "رقم الأوكتين" (Octane number) ، ومقاومة "الصفع" (Detonation)، وفى العادة كان يضاف واحد جرام لكل كيلوجرام بنزين. ويحتوى الجرام من TEL على 0.64 جرام رصاص. وينبعث الرصاص من بعض المصانع وخصوصا من المسابك على هيئة غبار معدنى.

ورصاص الهواء يكون على هيئة جسيمات، ومن الناحية الكيميائية يكون على هيئة أكسيد الرصاص أو كلوريد الرصاص. رصاص عادم السيارات يتساقط على مدى مئات الأمتار مع الريح التى تهب على الطرق السريعة. ويجب وضع ذلك فى الحسبان عند اختيار المحاصيل التى تزرع فى الأرض المجاورة للطرق السريعة. أما فى المدن فيتساقط الرصاص على أرض الشارع والأرصفة والمارة والبضائع المعروضة فيعلق بها وبالأتربة ويمكن أن يتطاير مع الأتربة مرة أخرى.

5.6.4. التلوث الميكروبى

التلوث الميكروبى ليس جديدا على البشرية، ولكن فى ضوء التقدم العلمى والطبى أصبحت صورته أكثر وضوحا، وطرق انتقال معظم الأمراض أصبحت معروفة. ويلعب الهواء دورا بارزا فى نقل العديد من الأمراض من المرضى إلى غير المرضى. فالميكروبات

بأنواعها تعلق بأدوات المريض ويمكن أن تنتقل للهواء القريب، وبعضها يخرج مع نفس المريض (أو الحامل للميكروب)، والعطسة الواحدة تقذف بملايين الميكروبات التى يمكن أن تعلق بالهواء وتنتقل إلى الأصحاء. ووجود المريض فى مكان مغلق يرفع كثافة الميكروبات فى الهواء ويزيد فرصة إصابة مخالطيه. ومعظم الميكروبات تموت فى خلال أيام ما لم تصل إلى إلى عائل آخر. وما يعنينا هنا هو التركيز على أهمية تفويت الفرصة على الميكروب، العالق فى الهواء الملوث، فى الوصول إلى العائل الجديد حتى يموت الميكروب، ويتحقق ذلك بحسن التهوية وتشتيت الميكروبات لتضمحل كثافتها فى الهواء إلى أن تموت وتتلاشى خطورتها. وفى الحالات الخاصة والحرجة يلزم التعقيم للقضاء على الميكروبات بسرعة.

7.4. مضار عوالق الهواء

جميع المواد العالقة، المذكورة قبلا، تمثل عبئا على الجهاز التنفسى للإنسان، وهى من أخطر الملوثات البيئية على صحة الإنسان؛ لما تحتويه من مركبات كيميائية عسرة تتجمع بالجسم لتحدث به أضرارا بالغة. ففى هذة الجسيمات العديد من العناصر السامة كالرصاص والكادميوم والكروم، والزرنيخ ودهانات السيارات بأنواعها، والأسبستوس. ومدى الضرر الناتج عن هذه الجسيمات العالقة بالهواء يتوقف على:

1. التركيب الكيميائى لهذه الجسيمات: إذ أنه فى حالة وجود مادة مثل السليكا الحرة عالقة بالهواء يجعلها شديدة الضرر وأسرع فى إصابة الإنسان بأمراض التحجر الرئوى وتوابعه؛ لأنها مادة غير قابلة للذوبان. أما المواد القلوية والحامضية القابلة للذوبان فضررها لخلايا الجهاز التنفسى مؤكد.
2. أحجام الحبيبات: فكلما استدقت الحبيبات كلما وجدت طريقها بسرعة وسهولة إلى الجهاز التنفسى، والحبيبات الأدق من 10 ميكرون يمكن أن يتسلل بعضها

لتصيب الإنسان بالضرر، والجسيمات الأدق من 5 ميكرون تكون فرصتها أكبر في اختراق دفاعات الجهاز التنفسي الترشيحية، أما الجسيمات الأدق من 2 ميكرون فوصولها لعمق الجهاز التنفسي مؤكد وضررها لا شك فيه إثر تراكمها في الحويصلات الهوائية مما يسبب الدرن.

3. تركيز الحبيبات: فكلما زاد تركيز الحبيبات التي تقل مقاساتها عن 5 ميكرون – في الهواء – كلما زادت احتمالات الإصابة بأمراض الجهاز التنفسي.

4. فترة التعرض للحبيبات: فالجهاز التنفسي له قدرة احتمال معينة (محدودة) للتعامل مع الجسيمات الأدق من 5 ميكرون، لذلك فطول التعرض لهذة الجسيمات يزيد من احتمالات الضرر (التراكمي) والإصابة بأمراض الجهاز التنفسي، ولذلك تظهر الأعراض المرضية بسرعة على العمال الذين يعملون بالقرب من مصادر التلوث.

وتقاس نسبة الأتربة والغبار المنبعثة من المصدر بالمليجرام أو بالميكروجرام لكل متر مكعب من الغازات الناتجة، وتقاس درجة التلوث في المنطقة المحيطة بالمصدر (الكمية المتساقطة) بالطن على الكيلومتر المربع.

8.4. الملوثات الغازية

يعتبر استخدام الوقود في الصناعة وعمليات تكرير البترول وعوادم السيارات ومحطات توليد الطاقة (الحرارية) والمسابك من أبرز مصادر التلوث بالغازات والأبخرة الضارة. وخطورة الغازات تخفى على الكثيرين، وخصوصا العوام؛ لأن معظم هذه الغازات غير مرئية وعديمة الرائحة. وأبرز أنواع الملوثات الغازية هي:

1. مركبات الكبريت، وتنتج في الغالب من حرق وقود يحتوى على كبريت.

2. مركبات الكربون، وتنتج فى الغالب من عمليات الحرق والاحتراق.

3. أكاسيد النيتروجين: وتنتج فى ظروف الاحتراق عند درجات حرارة عالية.

4. مركبات الهالوجين: وأبرز مصادرها هى العمليات الميتالورجية.

5. مركبات أخرى متنوعة.

وتقاس درجة التلوث الغازى بالجزء فى المليون (ppm) أو فى البليون، كما سنوضح فى نهاية هذا الفصل.

وكما ذكرنا قبلا فالغازات الصغرى التى تختلط بالهواء الجوى عديدة، وما دامت بنسب أوآثار ضئيلة فهى محتملة، لكن إذا وصلت لمستويات معينة فيبدأ ضررها فى البروز فتؤذى الحيوان وأيضا النبات (أنظر شكل 3.4). وفى هذا الجزء نركز على أبرز الغازات التى تؤثر فى جودة الهواء.

شكل (3.4). نماذج للضرر الذى يسببه الهواء الملوث للنبات[13].

1.8.4. أكاسيد الكربون

تنتج أكاسيد الكربون من اتحاد الكربون مع الأكسجين فى ظروف متنوعة أبرزهـا عمليـة الاحتراق، وفى أغلب الظروف يكون الناتج هو ثانى أكسيد الكربون، وأحيانا يوجـد إلى جواره أول أكسيد الكربون، وذلك فى حالة نقص الأكسجين اللازم للإحتراق، أو فـى حالات سوء خلط الوقود بالهواء. وعنـد درجـات الحـرارة العاليـة يتفكـك ثـانى أكسـيد الكربون إلى أول أكسيد الكربون وأكسجين، وبمجرد هبوط درجة الحـرارة ينعكـس هـذا التفكك إلى اتحاد مرة أخرى. وفى الجزء التالى نتعرض لتأثير كل منهما على البيئة:

1. أول أكسيد الكربون (Carbon monoxide, CO): وهـو غـاز عديـم اللـون والرائحة، لكنه سام. وينتج هذا الغاز السام فى معظم الحالات نتيجة نقص هـواء الاحتراق، بسبب عدم ضبط وصيانـة تجهيزات الاحـتراق، كمـا فـى السيارات والغلايات والأفران السيئة الصيانة، والغير منضبطة التشغيل. ويوجد عدة وسـائل صناعية وفنية يمكن استخدامها لتقليل نسبة أول أكسيد الكربون فى العوادم.

وتأثير أول أكسـيد الكربون المُستنشق على صحة الإنسان يتناسب مع كميته التـى تتحد مـع هيموجلوبين الـدم. وعندمـا يوجـد أول أكسـيد الكربـون بـتركيزات منخفضة فى الهواء فإنه يسبب الصداع وهبوط النشاط الذهنى. وعند التركيزات العالية فإنه سريع القتل. فعندما يدخل CO مع هواء التنفـس، لتيـار الـدم، فإنـه يتفاعل مع الهيموجلوبين ويعرقل قدرة الدم على حمل الأكسجين (اللازم للتمثيـل الغذائى).

أكسجين التنفس ينتقل للدم علـى هيئـة أكسـيهيموجلوبين (HbO_2) وهـو مركب شبه مستقر وفيه يرتبط O_2 بضعف مع Fe^{2+} فى هيموجلوبـين خلايـا الدم الحمراء. الأكسجين يـزال إلى خلايـا التنفـس، والهيموجلوبـين المتولـد يتهيـأ

لنقل المزيد من الأكسجين. أما فى حالة وجود CO فى هواء التنفس فإنه يقلل قدرة الدم على حمل الأكسجين، وذلك باتحاد CO مع الهيموجلوبين ليكون "كربوكسيهيموجلوبين" (HbCO)، وهو مركب مستقر. الهيموجلوبين المتحد على هيئة HbCO لا يمكن استرداده، ويصبح غير جاهز لنقل الأكسجين حتى نهاية عمر خلية الدم الحمراء التى حدث فيها ذلك.

والخلاصة أن CO يسمم نظام نقل الأكسجين بالهيموجلوبين.

فى داخل السيارة التى تعمل وسط زحام المرور، تركيز أول أكسيد الكربون قد يصل لمستويات عالية تؤثر على السائق مما يهدد السلامة. عند حوالى 100 جزء فى المليون من CO، أغلب الناس تشعر بدوار، صداع، إعياء، وأعراض التسمم الأخرى. تركيزات أعلى من هذا المعدل تحدث عادة فى الجراجات والأنفاق وخلف السيارات مباشرة. وأول أكسيد الكربون ملوث محلى (موضعى)؛ لأنه سرعان ما يتحد مع أكسجين الهواء الجوى ويتحول إلى ثانى أكسيد الكربون.

2. ثانى أكسيد الكربون (CO_2): وهو غاز خانق، عديم اللون والرائحة، شفاف تماما بالنسبة للضوء المرئى وكذلك بالنسبة الأشعة فوق البنفسجية، ولذلك يمر فيه ضوء الشمس بيسر حتى يصل إلى سطح الأرض. وثانى أكسيد الكربون يمثل نسبة بارزة من نواتج الحرق والاحتراق، ومن عملية الزفير أيضا. ولقد ارتفعت نسبة CO_2 فى الغلاف الجوى للأرض بسبب الكثافة الاصطناعية للنشاطات البشرية. ويعد CO_2 من أبرز غازات الاحتباس الحرارى للأرض، التى سنتعرض لها فيما بعد. وتؤثر نسبة ثانى أكسيد الكربون فى عملية الاتزان القائمة بين الهواء والماء والكائنات الحية. وتقل نسبة CO_2 فى فصل الربيع إلى حد ما بسبب نشاط عمليات نمو النبات، وبالعكس تزيد نسبته فى فصل الشتاء بسبب تقلص عمليات التخليق الضوئى فى النبات.

2.8.4. أكاسيد النيتروجين

في درجات الحرارة العادية، النيتروجين غاز خامل، وهو الغاز رقم 1 في الغلاف الجوى، من حيث الكم، وربما نعتبره الغاز الأساسى للأرض. وأثناء عملية إحتراق الوقود (مع الهواء) يتأكسد النيتروجين وسط الضغط العالى والجو الساخن المتولد من حرارة الاحتراق، فيكون أكسيد النيتريك (Nitric oxide, NO)، ويتحول NO فى الجو المفتح إلى ثانى أكسيد النيتروجين (Nitrogin dioxide, NO_2) ، لذلك فهو يعتبر أحد المؤكسدات الفوتوكيميائية المسئولة عن الضباب (أنظر شكل 4.4). و NO_2 لونه بين البنى والبرتقالى.

وأكسيد النيتريك (NO): غاز سام، عديم اللون، وقد قتل العالم الكيميائى "همفرى ديفى" عام 1800م، ولذلك فهو ملوث مُسمم للبيئة، وينتج مع نواتج الاحتراق ، مثل عوادم السيارات والأفران، وغلايات محطات القوى الحرارية وحوارق التوربينات الغازية. هذا الغاز يتفاعل سريعا مع الأكسجين ليكون دخانا ضبابيا يزيد من مخاطر الربو، كما أنه يزيد من التلوث لما يكونه من أمطار حمضية. وتفاعل النيتروجين مع الأكسجين يتوقف أساسا على درجة الحرارة، وثابت التوازن للتفاعل التالى

$$N_2 + O_2 \rightarrow 2NO$$

يتناسب تقريبا مع الأس الرابع لدرجة الحرارة المطلقة التى يتم عندها التفاعل، ومعنى ذلك أن ارتفاع درجة الحرارة يزيد من فرصة إنتاج NO الذى يتأكسد فى الجو إلى NO_2.

أما أكسيد النيتروز (Nitrous oxide, N_2O) فهو غاز عديم اللون، خامل نسبيا، ولا ينتج أثناء الاحتراق، ويستخدم كغاز حامل فى البخاخات.

وعند وصول الأكاسيد النيتروجينية إلى طبقة الأوزون، التى تحمى الأرض وماعليها من مخاطر الأشعة فوق البنفسجية، فإنها تسبب تفكك الأوزون.

3.8.4. أكاسيد الكبريت

أكاسيد الكبريت تنتج أساسا من احتراق الوقود الحفرى (كالفحم والبترول) الذى يحتوى على الكبريت بنسب متفاوتة. ويحدث ذلك الحرق لتوليد الطاقة فى محطات توليد الكهرباء (الحرارية) والأفران والمركبات وغيرها، وهو فى ذلك يصاحب ثانى أكسيد الكربون. فعندما يحترق الوقود يحترق الكبريت معه معطيا ثانى أكسيد الكبريت ونسبة صغيرة من ثالث أكسيد الكبريت (Sulfure trioxide SO_3) الذى يتحول فى الجو مباشرة إلى حامض الكبريتيك (ماء النار)، وضرره معروف، حيث أنه يسبب تآكل معظم الأشياء. وينتج SO_2 أيضا عند استخلاص النحاس من خام كبريتيد النحاس، وينتج أيضا من البراكين.

وثانى أكسيد الكبريت (Sulfure dioxide, SO_2) غاز حمضى أكال وهو من أخطر ملوثات الهواء والتى تسبب الأمطار الحمضية.وحده يمكن أن يهيج أعلى الجهاز التنفسى، ويمكن أن يعلق بالغبار ويُحمل إلى الرئتين حيث يؤذى الأنسجة الرقيقة، ويمكن أن يسبب أمراض تنفسية كالسعال ونزلات البرد والأزمات الربوية وانتفاخ الرئة والسرطان، كما يمكن للجسيمات الدقيقة أن تنقل معادن سامة إلى عمق الرئة، ويؤدى إلى وفاة المصابين بأمراض الجهاز التنفسى عند اختلاطه بالضباب الدخانى فوق المدن. ويسقط SO_2 مع الأمطار فيلوث التربة والمجارى المائية ويضر بحياة مختلف الكائنات، ويسبب اختلال التوازن الطبيعى، ويؤدى إلى تآكل أحجار المبانى والآثار .

وثانى أكسيد الكبريت غاز عديم اللون، رائحته خانقة، سريع الذوبان فى الماء ليكون حامض الكبريتيك، ودقائق حامض الكبريتيك يمكن أن تخترق دفاعات الجهاز التنفسى وتؤذى أنسجة الرئتين، وأيضا يتلف النباتات والمعدات.

غاز SO_2 يتحد مع أكسجين الهواء الجوى معطيا ثالث أكسيد الكبريت.

4.8.4. الأمطار الحمضية

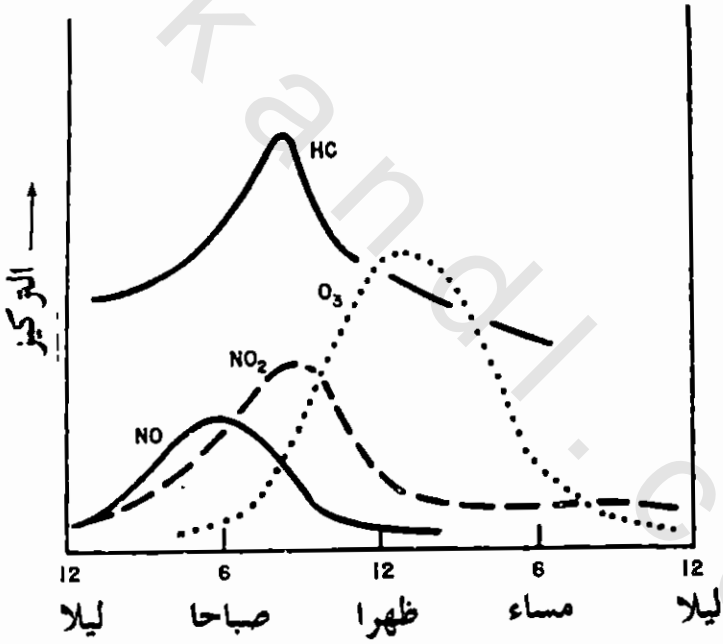
الترسيب الحامضى هو ملوث آخر يتكون بالتفاعل فى الهواء. فمثلا ثانى أكسيد الكبريت وثانى أكسيد النيتروجين يتفاعلان مع الماء والأكسجين الجوى وينتج عن ذلك حامض الكبريتيك وحامض النيتريك. الرقم الهيدروجينى (pH) للمطر الغير ملوث حوالى 5.6 ، لكن للمطر الحامضى يمكن أن ينخفض الرقم إلى 2.5 . ومئات البحيرات فى شمال أمريكا والدول الإسكندنافية أصبحت حامضية لدرجة تجعلها غير صالحة لحياة الأسماك. وفى دراسة حديثة للبحيرات النرويجية، وُجد أن 70 بالمئة من البحيرات التى يقل رقمها الأيدروجينى عن 4.5 قد انعدمت فيها الأسماك، وتقريبا كل البحيرات التى رقمها الهيدروجينى 5.5 فما فوق يوجد بها أسماك. تأثير انخفاض الرقم الهيدروجينى على الأسماك ليس مباشرا فقط، بل يساهم فى تحرير المعادن السامة مثل الألومنيوم، وذلك يضاعف حجم المشكلة. وفى النرويج، وُجد أن العواصف التى تمر عبر المناطق الصناعية فى بريطانيا وقارة أوروبا تلقى بملوثات مُتلفة. نفس الشىء، تحميض شمال أمريكا قد مسح الأسماك فى العديد من البحيرات الجبلية العالية، وأثر أيضا على النباتات فى العديد من المناطق. وما تقدم من آثار ضارة ومؤثرات يضع المداخن العالية محل تساؤل.

5.8.4. الأوزون الأرضى

الأوزون (Ozone, O_3)، وهو أكسيد الأكسجين ويكون فى شكل جزيئى ثلاثى الذرات وذرة الأكسجين الثالثة فى جزيئ الأوزون تكون ضعيفة الارتباط وسهلة الانطلاق، ولذلك فالأوزون غاز نشط جدا وغير مستقر، وهوعديم اللون والرائحة، ويتكون بالهواء ومصادره عديدة، أهمها التفاعل الجوى بين أشعة الشمس وبعض الملوثات كالغازات النيتروجينية والهيدروكربونية المنبعثة مع عادم السيارات والمصانع وأبخرة المسابك خصوصا فى فصل الصيف وقد بلغت نسبته 120 جزءا فى البليون، وفى بعض الأحيان تصل إلى 180 جزءا فى البليون وتظل عالقة فى الجو لحوالى 8 ساعات

الذى يوجد فى الهواء الذى نتنفسه وهو سام، وهوغير الأوزون الموجود فى طبقة الجو الستراتوسفير (Stratosphere) التى تبدأ عند ارتفاع من حوالى 11 إلى 16 كيلومتر من سطح الأرض، على حسب الارتفاع وفصول السنة، وهو المسمى بطبقة الأوزون. ويتكون الأوزون أيضا بمرور شحنات كهربية تحت ضغط مرتفع خلال الهواء، والبرق هو أحد أسباب تكون الأوزون الجوى.

ويستخدم الأوزون أحيانا فى تعقيم الماء، ولكن الاستخدام الأغلب يكون لأكسدة المواد المكسبة للطعم مثل الفينول فى الماء، وفى معادلة الروائح فى الغازات والهواء.



شكل (4.4). تكون الضباب "الفوتوكيميائى"[13].

الأوزون مُؤكسد ومهيج بشدة، وتركيزات عدة أجزاء فى المليون يسبب احتقان الأوعية الدموية بالرئة، والاستسقاء (Edema)، والنزيف الدموى. والتعرض المباشر للتركيزات العالية من الأوزون يمكن أن يؤثر سلبيا على صحة الحيوان وحيوية النبات. وتعرض الإنسان لتركيز 2500 ميكروجرام/ متر مكعب يخفض طاقة التنفس.

أعراض التعرض للأوزون تكون مبدئيا، جفاف الزور، يتبعه صداع، دوخة، وتغير نمط التنفس. والأوزون من غازات الاحتباس الحرارى، التى تؤثر فى مناخ الأرض. ومن شكل (3.4) يمكن تبين إحدى الفوائد الطبيعية للإستيقاظ المبكر وكذلك القيلولة فى الظهيرة.

6.8.4. ملوثات غازية أخرى

الملوثات الغازية الأخرى عديدة وفيما يلى نذكر بعضها:

1. الهيدروكربونات (Hydrocarbons, C_aH_y): وهى عديدة الأنواع، وتعتبر السيارات من أبرز مصادر الهيدروكربونات الجوية. المصادر الثابتة للهيدروكربونات تشمل مصانع البتروكيماويات، تكرير البترول، المحارق، المغاسل الجافة، وصناعة واستخدام الدهانات.

2. فلوريد الهيدروجين (Hydrogen fluoride, HF): وهو غاز حامضى عديم اللون، ينتج أساسا عند حرق الطفلات والخامات التعدينية ومساعدات الصهر التى تحتوى على الفلور، أى من صناعات مثل الصلب والخزف وتنقية الألومنيوم، ومصانع السوبر فوسفات. هذا الغاز يضر النباتات وخصوصا الموالح والزهور ، ويؤثر فى أسنان وعظام الماشية التى تتغذى على الأعلاف والمراعى التى تأثرت بهذا الغاز.

9.4. قياسات التلوث الغازى

فى مجال التحكم فى تلوث الهواء يلزم وجود مقياس متفق عليه لحساب حجم الملوثات المختلفة (غازات وأبخرة وسوائل وجوامد) عند الضغط ودرجة الحرارة العاديين، وقد سبق أن ذكرنا أمثلة عديدة لهذه الملوثات. وتركيز أو نسبة الملوثات فى الهواء تحسب عادة بالميكروجرام فى المتر المكعب من الهواء ($\mu g/m^3$) وهى وحدة مناسبة لكل صور المادة حتى الصلب منها. ويوجد طريقة أقدم للتعبير عن تركيز الملوثات فى الهواء ومازالت تستخدم ووحدتها هى الجزء فى المليون (ppm) وهى نسبة حجمية وأساسها كالتالى:

$$\text{ppm} = \frac{\text{1 حجم من الملوث الغازى}}{\text{مليون حجم من الملوث الغازى والهواء معا}}$$

والمعادلة السابقة تعنى أن $1\text{ppm} = 1/10^6 = 0.0001\ \%$

وللتحويل بين $\mu g/m^3$ و ppm نستخدم القانون العام للغازات المثالية وهو:

$$P\,V = n\,R\,T$$

حيث أن: ضغط الغاز $= P$

حجم الغاز $= V$

عدد ال moles من الغاز $n = (\text{weight/mol.wt})$

ثابت الغاز $= R$

درجة حرارة الغاز بالكلفن $T = (K)$

مثال

بتحليل عادم إحدى السيارات وجد أنه يحتوى على نسبة 1.8٪ (بالحجم) من غاز أول أكسيد الكربون عند الضغط الجوى ودرجة حرارة 87 درجة مئوية. عبر عن هذه النسبة مرة بالجزء فى المليون، ومرة بالميكروجرام فى المتر المكعب.

الحل

النسبة الحجمية تنتج بضرب النسبة المئوية فى مليون بعد قسمتها على المئة كالتالى:

$$1.8\% = 1.8/100 = 18{,}000 \text{ ppm}$$

ومعنى ذلك أنه يوجد 18 ألف لتر من CO فى كل مليون لتر من عادم هذه السيارة الملعونة.

أما وزن الملوثات فى المتر المكعب فيمكن حسابها كالتالى:

نحسب الوزن الجزيئى لغاز أول أكسيد الكربون فيساوى $12 + 16 = 28 \text{g/mole}$

درجة الحرارة المطلقة $= 87 + 273 = 360\text{K}$ ، والضغط واحد جوى، وثابت الغاز

$$R = 0.082 \text{ L atm / mole K} .$$

وبالتعويض فى القانون العام للغازات لحساب وزن أول أكسيد الكربون،

$$P * V = (\text{weight of CO/ mol.wt}) R * T$$

$$1 * 18{,}000 = (\text{wt. of CO} / 28)\ 0.082 * 360$$

وزن أول أكسيد الكربون = 17,073.171 g فى المليون لتر من غازات العادم، أو فى الألف متر مكعب من هذه الغازات الملوثة. ولو قسمنا على 0. 1٪ لتصبح النتيجة

$17.073171 g/m^3$ exhaust $=17,073.171 mg/m^3 = 17,073,171 \mu g/m^3$.

وجدير بالذكر أن النسبة المسموح بها لاتتعدى $20 mg/m^3$.

أسئلة للمراجعة

1. كيف نقدر كمية الهواء يستنشقها الإنسان العادى فى الساعة؟
2. ما أهمية الغلاف الجوى لكوكب الأرض؟
3. بفرض أن معدل الانحدار الأديباتيكى السائد فى وقت معين هو $0.008\ ^oC/m$ ودرجة الحرارة عند سطح الأرض $26\ ^oC$. إحسب درجة الحرارة المتوقعة على ارتفاع 300m ، ووضح ذلك بالرسم.
4. بتحليل عادم إحدى السيارات السيئة وجد أنه يحتوى على نسبة حجمية 2٪ من غاز أول أكسيد الكربون عند الضغط الجوى ودرجة حرارة 80 درجة مئوية. عبر عن هذه النسبة مرة بالجزء فى المليون، ومرة بالميكروجرام فى المتر المكعب.
5. أذكر بعض أمثلة الضرر الذى يسببه تلوث الهواء للنبات؟
6. كيف يتكون الأوزون الأرضى وكيف تتغير نسبته على مدار اليوم، وماهى أضراره؟
7. أذكر خمسة أمثلة للملوثات الغازية ومضار كل منها.
8. سيار أجرة تستهلك فى اليوم 50 لتر بنزين يحتوى على TEL. إحسب كمية الرصاص التى تنبعث منها فى الهواء يوميا.