الفصل الثالث

تلوث الهواء بالغازات
AIR POLLUTION

شكل يوضح مدى حجم تلوث الهواء الناجم عن أدخنة المصانع

إن الوسط البيئي للأسف يواجه فترة عصيبة من التلوث الكيميائي المفتعل من قبل الإنسان بالدرجة الأولى، وذلك لأن التلوث الكيميائي للبيئة يؤثر تأثيرًا شديدًا على الهواء، ويأتي دور العوامل الطبيعية التي لا دخل للإنسان بها في الدرجة الثانية.

إن استنشاق الهواء النقي يعد من أهم مقومات البيئة الصحية التي تحمي الإنسان من السأم، والهواء الطبيعي يحتوى على نسب تكاد تكون ثابتة من الأكسجين والنيتروجين وثاني أكسيد الكربون، مع خلوه من الأتربة والعناصر السامة، وهذا الهواء يتجدد دائمًا وبانتظام بفعل التيارات الهوائية الطبيعية، وهواء البيئة الطبيعية يحقق الأمان من الناحية الفسيولوجية، لذا كنا نجد سكان الجبال والقرى أكثر صحة من سكان المدن – خاصة الكبيرة والصناعية

منها- حيث تزيد نسبة التلوث فيها. وأصبح التلوث الهوائي مشكلة في غاية الأهمية من مشكلات العصر المعضلة، بسبب تعدد وتنوع مصادر هذا التلوث وتأثيره المباشر على صحة الإنسان.

ويعد تلوث الهواء من الظواهر التي يرجع عمرها إلى عمر الحضارات القديمة، وقد بدأت هذه الظاهرة منذ معرفة الإنسان للنار، أي قبل حوالي 50 ألف سنة. إلَّا أن حجم التلوث آنذاك كان محدودًا لا يتعدى كهف الإنسان الأول. وبدأت تتضح ظاهرة التلوث الهوائي في العصور الوسطى بسبب زيادة معدلات نمو المدن والصناعة. وأصبح التلوث خطرًا في بعض المناطق مما دفع بعض الدول إلى دراسة تلك الظاهرة، ففي إنجلترا تكونت هيئات عدة لدراسة تلوث الهواء الذي نجم عن التحول من استخدام الحطب إلى الفحم في أفران صناعة الجير. وقد أخذت ملوثات الهواء في الزيادة السريعة في الجو منذ الثورة الصناعية، بحيث أصبحت الملوثات بعد الحرب الأهلية الأمريكية مشكلة مزمنة في الولايات المتحدة، وقد بلغ حجم الملوثات في بعض المناطق حدًّا كبيرًا حتى أصبحت تشكل غطاءً كثيفًا يحجب جزءًا من أشعة الشمس من الوصول إلى سطح الأرض، كما هو الحال في مدينة نيويورك ومدينة شيكاغو؛ إذ تحجب الملوثات الهوائية ما بين 25 ٪ إلى 40 ٪ من الأشعة الساقطة على هاتين المدينتين.

ويرى علماء المناخ والأرصاد الجوية أن طبقة التروبوسفير قد بدأت تتغير ويختل توازنها بسبب زيادة حجم الملوثات في الهواء. ويمكن القول أن مشكلة التلوث الهوائي تعود إلى سوء استغلال واستنزاف موارد الطاقة وزيادة التركيز الصناعي والسكاني في المدن.

بدايةً نعطي فكرة مبسطة عن مكونات الهواء ليتضح لنا فيما بعد أثر الملوثات الكيميائية في تغيير صفات ومكونات الهواء.

مكونات الهواء الجوي:

يعد الهواء النقي عنصرًا أساسيًّا للحياة على هذه الأرض لكل الكائنات الحية من الإنسان والحيوان والنبات والكائنات الحية الدقيقة، كما أنه يعتبر المكون الرئيسي للغلاف الجوي الذي يحافظ على الحالة الطبيعية للكرة الأرضية ويحميها من الإشعاعات الضارة ومن التقلبات الجوية. الهواء الجوي غلاف من الغازات يحيط بالكرة الأرضية إحاطة تامة، والهواء

خليط من الغازات أهمها النيتروجين والأكسجين، حيث تتواجد هذه الغازات بحالة عنصرية أي غير متحدة مع بعضها البعض إلا أنها ممتزجة بشكل جيد، وخليط غازات الهواء الذي يمتد إلى إرتفاع يصل إلى 80 كيلو متر فوق سطح الأرض تكون نسب العناصر المكونة له كالتالي:

1- 76-78 ٪ غاز النيتروجين .

2- 21 ٪ غاز الأكسجين .

3- 1-3 ٪ بخار ماء .

4- 0.3 ٪ غاز ثاني أكسيد الكربون .

5- مع وجود كميات ضئيلة من الغازات الأخرى من النيون والأرجون والهليوم والكربون والأمونيا والأوزون والميثان.

وعند اختلال هذا التركيب بدخول غازات أو جسيمات غريبة فإن الهواء يصبح ملوثًا.

تلوث الهواء :

هو وجود مادة أو مواد كيميائية أو إشعاعية أو جرثومية في الهواء تؤثر على صحة أو سلامة أو راحة الإنسان، وحيث إن حديثنا في هذا الباب محل اهتمامه بالملوثات الكيميائية للهواء الجوي فإنه يمكن تعريف الملوثات الكيميائية للهواء على أنها المواد الكيميائية سواءٌ أكانت سائلة أو صلبة أو غازية والتي يمكن أن تسبب للإنسان أو الحيوان أو النبات أو الإنشاءات أضرار سيئة.

وتمثل الغازات أكبر مصدر لتلوث الهواء سواءٌ أكانت من مصادر طبيعية أو صناعية مثل الغازات المنبعثة من :

1- حرائق الغابات .

2- البراكين.

3- وسائل المواصلات.

4- محطات القوى.

5- صناعة الأسمدة والمبيدات.

6- الصناعات التعدينية.

وغير ذلك من الصناعات الكيميائية الكثير، والتي ينتج عنها غازات ضارة، وسيأتي الحديث عنها في موضعها.

الملوثات الهوائية الأولية والثانوية:

Primary and Secondary Air Pollutants

أولًا: الملوثات الهوائية الأولية :

هى الملوثات الكيميائية التي تدخل مباشرة إلى الهواء بسبب الأنشطة البشرية مثل:

1- حرق كلي للوقود الحفري :

$$C + O_2 \rightarrow CO_2$$

2- حرق جزئي للوقود الحفري :

$$2C + O_2 \rightarrow 2CO$$

3- خروج SO_2 عند ثورة البراكين :

$$S + O_2 \rightarrow SO_2$$

كما أن SO_2 يخرج أيضًا عند حرق الوقود الحفري .

ثانيًا : الملوثات الهوائية الثانوية :

هي عبارة عن المواد الكيميائية التي تتكون في الهواء نتيجة حدوث تفاعل بين الملوثات الأولية وبعض مكونات الهواء مثل بخار الماء، حيث يعمل ضوء الشمس في حالات عديدة كعامل مساعد في تفاعلات أخرى مثل (Photo Chemical Oxidants)

$$2SO_2 + O_2 \xrightarrow{u.v} 2SO_3$$

ويتفاعل SO_3 مع بخار الماء في الهواء مكونًا قطرات صغيرة جدًّا (Droplets) من حامض الكبريتيك والتي هي أحد أهم أسباب الأمطار الحامضية كالتالي:

$$SO_3 + H_2O \rightarrow H_2SO_4$$

وكذلك الحال أيضًا بالنسبة لثاني أكسيد النيتروجين الذي يتفاعل تحت تأثير الأشعة

فوق البنفسجية مؤثرًا في طبقة الأوزون حيث يتفاعل معه مكونًا ثالث أكسيد النيتروجين (NO_3).

$$NO_2 \xrightarrow{u.v} NO + O$$

$$O_2 + O \xrightarrow{u.v} O_3$$

$$NO_2 + O_3 \xrightarrow{u.v} NO_3 + O_2$$

وإليك بعض الأمثلة التي تدل على انتشار تلوث الهواء :

1- تلوث هواء المدن :

إن أحد الأسباب الأساسية لكثير من الأمراض التي يعاني منها الإنسان اليوم في المدن مثل أمراض الجهاز التنفسي وأمراض القلب وسرطان الرئة هو التلوث الهوائي، حيث وصلت معدلات التلوث الهوائي في مدن كثيرة من أنحاء العالم درجة الخطورة، وبدأ السكان يشعرون بمشكلة التلوث الهوائي وخطورته، فلقد وجد أن مجموعات ملوثات الهواء السائدة فوق المدن كالتالي:

أ- الدخان المضبّب الصناعي : (Industrial Smog)

ويتكون من ثاني أكسيد الكبريت (أوحتى قطيرات حمض الكبريتيك) مع بعض الملوثات الصلبة أو المواد العالقة في الهواء الجوي على شكل دقائق حيث يكونان معًا ضبابًا داكنًا يسمى هواء المدن الداكن (Gray Air Cities) .

$$SO_2 + SPM \rightarrow \text{Gray Air Cities}$$

حيث إن (SPM) هى المواد الصلبة والعالقة في الهواء .

ومن المعروف أنَّ الضباب الصناعي يسبب حجب الرؤية مما يساعد في إعاقة حركة المواصلات، بالإضافة إلى منع وصول أشعة الشمس بصورة كافية إلى النباتات، وبالتالي تؤثر على نموها وإصابتها بالأمراض، كما أنه يساعد على انتشار بعض الكائنات الحية الدقيقة في الجو مثل البكتريا والفطريات الممرضة.

ب- الدخان المضبّب الكيميائي : (Photochemical Smog)

عبارة عن مزيج من الملوثات الأولية مثل (Hydrocarbons, CO , SO_2)

والملوثات الثانوية مثل: (NO_3، NO_2) حيث تتحد الهيدروكربونات مع أكاسيد النيتروجين في وجود الأكسجين تحت تأثير الأشعة فوق البنفسجية (UV) مكونةً غازات ضارة جدًا على البيئة وصحة الإنسان- مثل: ($CH_3COOONO_2$, NO, O_3)- تسبب حدوث مضاعفات على الجهاز التنفسي والقلب والعين وغير ذلك .

يبدأ تكون الدخان الكيميائي خلال ساعات الصباح عندما تكون حركة المرور في أوجها نتيجة عدم ثبات السرعة مما يترتب على ذلك عدم الاحتراق الكامل للوقود وخروج كميات كبيرة من عوادم السيارات، وتزداد هذه الكميات وقت الذروة وقت إنقضاء فترة الدوام الأولى (منتصف النهار تقريبًا) :

$$2NO + O_2 \rightarrow 2NO_2$$

وبعد زيادة نشاط الإشعاع الشمسي تحدث التفاعلات التالية :

$$NO_2 \xrightarrow{u.v} NO + O$$

$$O + O_2 \xrightarrow{u.v} O_3$$

$$RCO_3 + NO_2 \xrightarrow{u.v} RCO_3NO_2$$

2- تلوث الهواء داخل المباني : Indoor Air Pollution

يقضي الناس حوالي 80 ٪ من حياتهم داخل أماكن مغلقة مثل المنازل وأماكن العمل ووسائل المواصلات، حيث يتنفسون الهواء المتواجد داخل هذه الأماكن. وفي بعض الأحيان أو غالبًا ما تكون ملوثات الهواء داخل هذه الأماكن المغلقة أعلى منها في الخارج في الهواء الطلق نتيجة استخدام المبيدات الحشرية أو بخاخات الأيروزول أو للتهوية السيئة أو لنظام التدفئة أو غير ذلك من الأسباب كما سنرى في هذا الباب.

* * *

أسباب تلوث الهواء

تتمثل الأسباب الرئيسية لتلوث الهواء الجوي في الآتي :

1- الهباء الجوي (الرذاذ - **Aerosols**):

الهباء هو عبارة عن سائل أو صلب يحتوي على خليط من الغبار الدقيق والغازات والجسيمات الصغيرة والكبيرة، وقد يحوي معه أو بداخله غازات كيميائية أو أبخرة الزيوت النفطية والهيدروكربونات، وينتشر الهباء الجوي في الهواء مما يؤثرعلى الرؤية.

وينقسم الهباء الجوي إلي:

1 ـ هباء جوي صلب.

2 ـ هباء جوي مائي.

الأضرار الناتجة عنه:

تتمثل الأضرار الناتجة عن الهباء الجوي في الآتي :

1ـ يساعد الهباء الجوي الصلب على دخول الغازات السامة وانتشارها في الرئتين، مما يؤدي إلى تسربها في جسم الإنسان بسرعة أكبر عما لو كانت هذه الغازات بمفردها.

2 ـ يسبب الهباء الجوي المائي آثارًا ضارة بصحة الإنسان.

فمثلا قد وجد أن حمض الكبريتيك المتكون نتيجة تأكسد ثاني أكسيد الكبريت (الموجود بالهباء) له آثارٌ سيئة تتمثل في الآتي :

- له تأثيره السلبي على الجهاز التنفسي للحيونات المخبرية عندما يكون بتركيز /kg 2.5 mg.

- يؤدي إلى تهيج الأغشية الداخلية للرئتين.

- يعتبر أحد الأسباب الرئيسية في استنفاذ الأوزون بطبقة الستراتوسفير.

3- تلف أسطح الأبنية وواجهاتها بسبب تفاعل بعض مكوناته الكيميائية مع مكونات الطلاء المختلفة.

4- تؤدي بعض الغازات إلى تلف بعض النباتات والأشجار .

2- الدقائق الحبيبية : Particulate Matter

تتمثل الدقائق الحبيبية فيما يلي :

- الأتربة الهوائية التي تطلقها الصناعات الكيميائية .

- الرصاص الذي ينطلق من السيارات (نتيجة إضافة مركباته إلى وقود السيارات للمنع أو التقليل من فرقعة محركاتها).

- العناصر السامة مثل:

الزرنيخ ، الأنتيمون (في المبيدات) ، القصدير، الكادميوم ، الزنك ، البريليوم.

- بالإضافة إلى الحرير الصخري (الأسبستوس) والصوف الزجاجي.

- بالإضافة إلى الدقائق الناتجة عن تكسير الصخور.

الأضرار الناتجة عنها:

تعتبر الدقائق الحبيبية من أكثر الملوثات الهوائية خطراً، وتتمثل أضرارها في التالي :

- تدخل مع الهواء إلى الرئة ، وتحتك بالأنسجة الحساسة بها، مما يؤدي إلى التهابها وإصابتها بالسرطان.

- تسبب حساسية والتهاب الأنف والعيون والحنجرة .

- تؤدي إلى تشويه واجهات المباني، خاصة في المدن والقرى التي يقل أو يندر بها هطول الأمطار؛ لأن الأمطار تقوم بإزالة الأتربة من الأسطح .

3 - مثيرات الحساسية :

مثيرات الحساسية هيَّ عبارة عن مركبات كيميائية طبيعية، مثل: حبوب اللقاح والتي تنتشر من بعض النباتات خاصة في فصل الربيع، أو من الغبار والأتربة التي تحملها الرياح، وهى تحمل في طياتها كائنات حية دقيقة قد تسبب لبعض الناس حساسية، ولمثيرات الحساسية مصدرين ، هما:

أ- مصدر نباتي : مثل حبوب اللقاح أو غبار القطن أو حتي بعض الفطريات.

ب- مصدر حيواني : من ريش الطيور وفراء بعض الحيوانات أو الصوف على هيئة مواد عضوية طيارة.

أضرارها: تتمثل أضرار مثيرات الحساسية في كونها تسبب الحساسية والربو؛ لذلك يتعين البعد عن الأماكن التي تظهر فيها هذه المواد وتفادي الغبار والدخان والأتربة.

مصادر ملوثات الهواء Sources of Air Pollutants

الملوثات الهوائية: هي عبارة عن مواد قد تكون إشعاعية أو جرثومية أو كيميائية (سائلة أو صلبة أو غازية) أو حتى مواد عالقة أو غبرة يمكن أن تسبب للإنسان أو الحيوان أو الإنشاءات أية أضرار، ومصادرها تنقسم إلى:

1- مصادر طبيعية :

هذا النوع من التلوث من الصعب مقاومته أو الحد منه؛ لأن الإنسان لا دخل له فيه، ومصادر هذا التلوث تنتج عن مصادر طبيعية كالتالى:

أ- الرياح وما تنقله من أتربة ورمال:

تحمل الرياح الغبار والأتربة عبر الجو القريب من سطح الأرض لمسافات طويلة حاملةً فى طياتها أعدادًا وأنواعًا مختلفة من الجراثيم ، وكلما كانت نسبة تركيز الغبار والرطوبة الجوية عالية كان الجو أكثر ملائمةً لوجود الجراثيم وتكاثرها ونموها بدرجة أكبر.

وتحمل الرياح أيضًا حبوب اللقاح التى قد تسبب حساسية لبعض الناس خاصةً فى فصل الربيع وهذا ما يعرف بالتحسس الربيعى.

كما تشكل النيازك الصغرى مصدرًا للغبار الجوى لأنه عند احتراقها فى الغلاف الجوى على شكل شهب تطلق كميات كبيرة من الدقائق الترابية .

ب- البراكين وما تنفثه من غازات سامة وغبار:

تطلق البراكين عادةً كميات كبيرة من الغازات والأبخرة السامة مثل أكاسيد الكبريت، كما أنها تطلق مواد صلبة دقيقة في الجو تعرف بالرماد البركاني محتوية على بعض المعادن الثقيلة حيث ترتفع بدافع القوة البركانية في الجو إلى عشرات الكيلو مترات وتبقى لفترة طويلة من الزمن كافية لانتشاره فوق معظم أنحاء الكرة الأرضية بواسطة فعل التيارات الهوائية المختلفة. وتقدر كمية الرماد البركاني التي تطلقها بعض البراكين الضخمة بآلاف الأطنان فضلًا عن درجات الحرارة العالية للمقذوفات البركانية، وخاصةً في جو منطقة البركان والمناطق المجاورة له. وما بركان أيسلندا منا ببعيد (أبريل-2010م) والذي على إثره تعطلت الملاحة الجوية في أوروبا بسبب السحابة الدخانية الكثيفة المنبعثة من البركان بل قد امتد أثره حتى شمال أفريقيا.

ج- الحرائق وما ينتج عنها من أدخنة وارتفاع في درجة الحرارة:

تسبب الحرائق ارتفاع شديد في درجة الحرارة مما يسبب الجفاف وخاصةً في فصل الصيف، كما أنه ينتج عنها أدخنة عالية في الجو على شكل غيوم دخانية كثيفة تنتشر بفعل الرياح إلى مسافات بعيدة وتكون محملة بكميات ضخمة من الغازات المختلفة إلى جانب جزئيات الرماد الدقيقة والتي تؤدي إلى تلوث الهواء بشكل واضح.

د - السحب وما تحمله من غازات حمضية ذائبة في مياهها.

هـ - البرق:

تحدث شرارة كهربائية بين السحب عند حدوث البرق، مما يتسبب في حدوث تفاعلات ينتج عنها بعض أكاسيد النيتروجين وهذا بدوره يؤدي إلى تلوث الهواء الجوي.

2- مصادر صناعية :

وهذا النوع من التلوث يحدث بفعل الإنسان ونشاطاته وهو في الغالب يكون حادًا ومؤثرًا على البيئة وكافة الأحياء الأخرى إذا لم يتم ضبطه أو الحد منه. وتتمثل مصادر هذا النوع في نفايات المصانع المختلفة ومحطات توليد الطاقة ومصافي النفط ومختلف وسائل النقل، حيث تلقى هذه المصادر بآلاف الأطنان من الغازات والمواد السامة مباشرة إلى الغلاف الجوي، فتعمل الرياح على توسيع نطاق انتشارها في جميع أنحاء العالم.

ولا شك أن ملوثات الهواء الناتجة عن الأنشطة البشرية (المصادر الصناعية) والتي تضاف إلى طبقتي التروبوسفير والستراتوسفير تشكل أهم مصدر لتلوث الهواء. ويمكن أن تصنف مصادر التلوث الناجمة عن الأنشطة البشرية إلى:

أ- المصادر الثابتة : Stationary Sources

مثل محطات توليد الطاقة الكهربائية، والمصانع حيث يتم الاحتراق في مكان ثابت، ومن أهم مصادر تلوث الهواء الثابتة ما يلي:

- محطات توليد الطاقة الكهربائية.
- مصانع الأسمنت والحديد والصلب.
- مصانع المنظفات الكيميائية والبطاريات.

- مصانع الزجاج والصوف الزجاجي والحرير الصخري .
- مصانع الأسمدة والمبيدات .
- مصانع تكرير النفط.
- محطات تعبئة وقود السيارات .
- مصانع دباغة الجلود.
- مصانع الورق والكيماويات مثل الأحماض.
- مكاب النفايات وبعض الأنشطة المنزلية.
- الأفران والعديد من المصانع الصغيرة مثل معامل صهر وسكب المعادن .

والجدول رقم (4) يوضح نوعية الملوثات الناتجة عن بعض هذه الصناعات :

جدول رقم (4): يوضح أهم الملوثات الناتجة عن بعض الصناعات الكيميائية

نوع الصناعة	الملوثات الناتجة عن هذه الصناعة
صناعة الحديد والصلب	غبار- دخان- أول وثاني أكسيد الكربون
صناعة الأسمنت	غبار- مركبات الكبريت
صناعة حمض الكبريتيك	بخار الحمض- أكاسيد الكبريت
صناعة حمض النيتريك	بخار الحمض- أكاسيد النيتروجين
صناعة الورق	غبار- روائح كريهة- مركبات الكبريت
دباغة الجلود	غبار- روائح كريهة- مركبات الكبريت- غازات سامة- مركبات الكروم السداسي- مركبات قلوية
صناعة صهر المعادن	غبار- أكاسيد الكبريت- غازات سامة

وفيما يلي نستعرض الملوثات الناتجة عن محطات توليد الطاقة الكهربائية والأنشطة المنزلية كنماذج لهذه المصادر:

1 - محطات توليد الطاقة الكهربائية (التقليدية): من أهم الملوثات الهوائية الناتجة عن

محطات توليد الطاقة الكهربائية التقليدية: ثاني أكسيد الكبريت، وأكاسيد النيتروجين، وأول أكسيد الكربون، والغبار، والهيدروكربونات. ومن المتوقع أن تزداد أعداد محطات توليد الطاقة الكهربائية التقليدية، وبخاصة في دول العالم الثالث نتيجة لتزايد الطلب على الطاقة الكهربائية لاسيما أن العديد من أقاليم تلك الدول لا يتوافر لديها التيار الكهربائي بالصورة المطلوبة والكافية لمتطلبات العصر الحالي. وكما هو معلوم أن اشتراك عدة دول في شبكة كهرباء واحدة يقلل من التكلفة، ويحد من مشكلات التلوث واستنزاف مصادر الطاقة، ومن أفضل الأمثلة المحلية على ذلك شبكة الكهرباء الأردنية المصرية السورية التركية، والتي من المتوقع توسيعها مستقبلًا لترتبط مع الشبكة الأوروبية.

ومن الجدير بالذكر أن محطات توليد الطاقة الكهربائية، وكذلك المفاعلات النووية ومصانع الحديد والصلب، ينتج عنها تلوث آخر بالإضافة إلى تلوث الهواء ألا وهو تلوث الماء نتيجة لقذف مياهها ذات درجة الحرارة المرتفعة إلي البحر مسببة ما يعرف بالتلوث الحراري، ومما يزيد من خطورة التلوث الحراري نقص كمية الأكسجين المذاب في الماء وارتفاع كافة العمليات الحيوية وزيادة استهلاك الأكسجين بنوعيه (COD & BOD) ويؤثر هذا كله على الأحياء البحرية والنباتات المائية لهذه المياه. وقد أصبح من المناظر المألوفة والشائعة على طول السواحل المواجهة للمدن الصناعية لافتات تحذر من الصيد والاستحمام؛ وبالتالي فقدت معظم الشواطئ أهميتها الاقتصادية والترفيهية نتيجة للتلوث.

2 – الأنشطة المنزلية : يمكن القول بأن الأنشطة المنزلية وفي طليعتها مواقد الاحتراق في نظم التدفئة المركزية تساهم بجزء بسيط نسبيًّا في التلوث الهوائي، وخصوصًا في الدول الفقيرة. أما في الدول الصناعية الباردة مثل: بريطانيا وألمانيا وفرنسا فإن نظم التدفئة المركزية تساهم بنسب أكبر في تلوث الهواء. وتحاول المصانع غالبًا إعطاء الأنشطة المنزلية دورًا أكبر مما تستحق في تلوث الهواء، وذلك للتخلص من مسئولياتها في المحافظة على نوعية جيدة من الهواء.

ب– المصادر المتحركة : Mobile Sources

تساهم وسائل المواصلات الحديثة بأنواعها المختلفة في تلوث الهواء وخاصةً في المدن، وقد أدى التزايد السريع في استخدام وسائل المواصلات المختلفة كمًّا ونوعًا إلى زيادة ملحوظة

في تلوث الهواء في العالم. وتعتمد درجة التلوث الناجمة عن المركبة على نوعية المحرك وحالة المركبة وكثافة حركة المرور. ويعتمد توزيع الملوثات الناتجة عن المركبات على الظروف المناخية والطبوغرافية، فإذا كانت المركبة تسير في نفق فإن نسبة توزيع الملوثات تختلف عن سير المركبة في شارع مفتوح أو جسر أو طريق سريع. كما تساهم الطائرات والقطارات والسفن وغيرهم في تلوث الهواء، ويمكن القول أن الطائرات المدنية والعسكرية أخذت تساهم بشكل كبير في تلوث الهواء نظرًا لزيادة نشاط حركة الطائرات في العالم.

المصادر الكيميائية لتلوث الهواء

من المعروف أن أخطر مصادر تلوث الهواء الجوي هي المصادر الكيميائية والتي تنتج من مصادر عديدة، مثل:

1- معامل تكرير النفط:

حيث تستخدم هذه المعامل النفط الخام الذي يتم تكريره فيفصل إلى مكوناته التي تختلف في نقاط غليانها والمتمثلة في الآتي:

- الغاز.
- الجازولين.
- الكيروسين.
- وقود الديزل.
- وقود الزيت.
- القطران ورواسب الأسفلت.

وتشتمل إفرازات عملية التكرير على الغازات التالية:

أكاسيد الكربون	Carbon oxides, CO_x
أكاسيد الكبريت	Sulphur oxides, SO_x
أكاسيد النيتروجين	Nitrogen oxides, NO_x
الهيدروكربونات الغازية	Hydrocarbons, H.C

2 - الصناعات غير العضوية :

الصناعات الكيميائية غير العضوية تنتج نوعيات كثيرة من الروائح غير المستحبة والغازات السامة، بالإضافة إلى الإفرازات من المواد الحبيبية، فمثلا:

أ- مصانع حمض الهيدروكلوريك وحمض الكبريتيك تفرز أدخنة حمضية.

ب- مصانع الجير، والتي يحرق بها الحجر الجيري، تفرز كمية كبيرة من الغبار (من بداية العملية حتى تعبئة المنتجات).

ج- مصانع الأسمدة الفوسفورية تفرز غازات غير مرغوب فيها، مثل: SiF_4 الذي يتحلل ليعطي HF.

د- مصانع حمض HF تعالج مادة الفلورسبار(CaF_2) بواسطة حمض الكبريتيك، وتفرز (H_2S, SO_2, HF) وحمض الفلوسيليسيك (Fluosilicic acid) .

3 - مصاهر الفلزات (**Smelters**):

تتطلب عمليات صهر الفلزات درجات حرارة عالية، وتفرز عددًا هائلا من الغازات والأدخنة على هيئة غبار حبيبي.

وحيث إن بعض الفلزات تتواجد في الطبيعة على هيئة كبريتيد؛ فإن علميات الصهر تؤدي إلى إفراز غاز ثاني أكسيد الكبريت بكميات هائلة.

فمثلا : حرارة عالية

$$ZnS + O2 \longrightarrow Zn + SO_2 \uparrow$$
$$Cu_2S + O_2 \longrightarrow 2Cu + SO_2 \uparrow$$
$$PbS + O_2 \longrightarrow Pb + SO_2 \uparrow$$

أما صهر الفلزات (الخامات) في صناعة الزجاج فإنها تتحلل إلى الأكسيد المقابل، حيث تتحلل الكربونات والكبريتات والنترات وغيرهم، وينتج عن ذلك غازات كثيرة مثل أكاسيد الكبريت والنيتروجين والكربون: حرارة عالية

$$MCO_3 \longrightarrow MO + CO_X \uparrow$$
$$MSO_4 \longrightarrow MO + SO_x \uparrow$$
$$MNO_3 \longrightarrow MO + NO_X \uparrow$$

4 - الصناعات الورقية :

العملية الرئيسة لصناعة الورق تتضمن التالي:

أ- غمر الخشب الخام عدة ساعات في محلول ساخن من كبريتيد وهيدروكسيد الصوديوم(white liquor) .

ب- استخدام ضغط مرتفع لإذابة كل مكونات الخشب، ماعدا ألياف السليلوز التي تبقى في المحلول المستهلك (Black Liquor).

ج- تخفيف الضغط من وقت لآخر؛ لتفادي ارتفاع الضغط عن مستوى معين ويصحب هذا التخفيف انطلاق غازات تحتوي 5% من حجمها على مركبات كبريتيدية، تسمى مركبتيْان (mercaptans)، وصيغتها العامة (RSH)، وكلها ذات روائح كريهة، ولها آثار سيئة على البيئة والصحة العامة.

5 - الصناعات الغذائية:

تفرز مصانع معالجة وحفظ الأسماك واللحوم روائح غير مستحبة، والتي تتكون نتيجة تحلل البروتين، بالإضافة إلى تحلل النفايات العضوية من مصانع معالجة وتصنيع وتعليب الخضر والفواكه.

كما أن الروائح الناتجة من المخابز ومصانع الحلويات ومطاحن البن والمطاعم- تصنف أيضًا على أنها ملوثة للهواء.

وبعد استعراضنا لأهم أسباب ومصادر تلوث الهواء الجوي، ونظرًا لخطورة الغازات الكيميائية وسميتها الشديدة على الإنسان والنبات والحيوان والبيئة كلها بصفة عامة- فإننا نتحدث بنوع من التفصيل من أهم هذه الغازات الكيميائية الملوثة للبيئة.

* * *

التلوث بالغازات الكيميائية

يعد التلوث بالغازات الكيميائية من أخطر أنواع التلوث الكيميائي للهواء؛ وذلك لتأثيره المباشر على أجهزة الجسم المختلفة، وخاصةً الجهاز التنفسي، وخصوصًا إذا تجاوزت نسبة هذه الغازات الحد المسموح به في الهواء .

وأهم أنواع الغازات الملوثه للهواء الجوي هي :

1- الأكاسيد الغازية .

2- الغازات الهيدروجينية .

3- الأوزون.

4- الهيدروكربونات الغازية .

5- الفلوريدات .

6- دخان التبغ .

ويمكن أن نتعرف على هذه الغازات بنوع من التفصيل فيما يلي:

أولا : الأكاسيد الغازية :

وتتمثل الأكاسيد الغازية الملوثة للهواء في الآتي :

1- أكاسيد الكربون (أول وثاني أكسيد الكربون).

2- أكاسيد الكبريت (ثاني وثالث أكسيد الكبريت).

3- أكاسيد النيتروجين (أول وثاني أكسيد النيتروجين).

4- المواد العضوية المتطايرة.

5- المواد العالقة في الهواء.

6- المواد الكيميائية والمؤكسدة المتكونة في الغلاف الغازي.

وأخطر هذه الأنواع من الملوثات هي (SO_x, NO_x, CO)، كما سيتضح لنا بعد ذلك.

1- أكاسيد الكربون:

أ- أول أكسيد الكربون (Carbon monoxide, CO):

وجوده : يوجد في الهواء، ويمثل أكبر نسبة من ملوثات الهواء، ويختلف تركيز أول أكسيد الكربون في المناطق العمرانية باختلاف الظروف السائدة في كل منطقة.

وتعتمد أساسًا على مدى كثافة حركة المرور الخاصة بالسيارات، ومن ثم فهي أكثر تركيزًا في النهار عنها في الليل.

مصادره : ينتج أول أكسيد الكربون من مصدرين: أحدهما طبيعي، والآخر صناعي.

أ- المصدر الطبيعي :

تعتبر المحيطات المصدر الطبيعي له .

ب - المصدر الصناعي :

ومصدره الأساسي هو الاحتراق غير التام للوقود، أو للمواد العضوية، بمعنى: إذا تمت عملية الاحتراق في وجود نقص الأكسجين؛ أي أنه أحد نواتج احتراق الوقود الكربوني، وينتج من مصانع الحديد والفحم والكوك، كما ينتج من مداخن السيارات.

صفاته الطبيعية :

وتتمثل صفاته الطبيعية فيما يلي :

- عديم اللون. - عديم الطعم. - عديم الرائحة.

ومما يزيد من خطورة أول أكسيد الكربون أنه لا لون له ولا طعم ولا رائحة، ولذلك فإن الإنسان قد يتعرض له، وهو لا يشعر، وخاصة عند التركيزات المنخفضة منه.

صفاته الكيميائية :

1- يعتبر أول أكسيد الكربون من المرتبطات الحمضية (π- acid ligands)، حيث يتبادل الكثافة الإلكترونية مع ذرات أو أيونات الفلزات الانتقالية، وهذا ما يحدث مع هيموجلوبين الدم، وتكمن خطورة هذا التفاعل في أنه تفاعل غير عكسي، ولذلك فقد ينشأ عنه في بعض الحالات غيبوبة.

2- يتأكسد أول أكسيد الكربون ليعطي ثاني أكسيد الكربون، إلَّا أن ذلك يتم ببطء شديد.

آثاره السيئة :

1- على الصحة :

1- يؤثر أول أكسيد الكربون على الصحة العامة، خاصة على هيموجلوبين الدم؛ حيث إنه له قابلية شديدة للاتحاد معه؛ لأنه يحل محل الأكسجين تدريجيًا في الدم؛ نتيجة لاتحاده مع هيموجلوبين الدم مكونًا مادة ثابتة حمراء فاقعة، تسمى كربوكسي هيموجلوبين، بدلًا من الأكسي هيموجلوبين الحاملة للأكسجين الموجود في كرات الدم.

ومن ثم فإنه يؤثر تأثيرًا خطيرًا على عمليات التنفس في الكائنات الحية بما فيها الإنسان ويتسبب في كثير من حالات التسمم؛ أي أن أول أكسيد الكربون له تأثير فسيولوجي سام.

2- تؤدي زيادته في الدم إلى نقص في الرؤية، والإرهاق، والتأثير على الجهاز العصبي، وإلحاق الضرر بالقلب، والجهاز التنفسي، وقد تؤدي هذه الزيادة إلى انسداد الأوعية الدموية، وبالتالي إلى الوفاة.

3- يتحد مع الحديد اللازم لعمل نشاط بعض الإنزيمات التنفسية، وهذا يؤدي إلى إحباط عمل هذه الإنزيمات، أو تقليل فعاليتها.

ويمكن الحد من تأثير أول أكسيد الكربون بتزويد البيئة المحيطة به أو الموجود بها بالأكسجين الكافي لإتمام عملية الاحتراق وتكوين ثاني أكسيد الكربون، ويلزم ذلك لمواجهة حالات التسمم بالغاز.

2- على البيئة :

غاز أول أكسيد الكربون، بالإضافة إلى الغازات التي تستعمل في التبريد تتفاعل مع طبقة الأوزون وتساهم في ثقبها.

ومن المعروف أن هذه الطبقة هي التي تحمي الأرض من الإشعاعات الكونية فوق البنفسجية الصادرة من الشمس، والتي لو وصلت إلى الأرض لتسببت في أمراض خطيرة، مثل: سرطان الجلد وغيره، ولقد أثبتت الدراسات البيئية الحديثة أن هذه الطبقة حدث فيها ثقب.

ب- ثاني أكسيد الكربون (Carbon dioxide, CO_2):

غاز ثاني أكسيد الكربون مصادره كثيرة ومتنوعة، وينتشر في الهواء الجوي على هيئة دخان أسود اللون.

وينتج غاز ثاني أكسيد الكربون من الحرائق وأدخنة المصانع ووسائل المواصلات واحتراق المواد العضوية والوقود والفحم احتراقًا تامًّا.

ويصاحب تصاعد غاز ثاني أكسيد الكربون ارتفاع في درجة الحرارة، فضلًا عن أن جزيئاته تمتاز بقدرتها على امتصاص الأشعة تحت الحمراء (الأشعة الحرارية)، وبالتالي فإنه أحد العوامل المساعدة في ظاهرة "الاحتباس الحراري"، حيث يعمل كسطح عاكس للحرارة (وأيضًا الغازات التي تستعمل في التبريد تتسبب في هذه الظاهرة).

وتشير دراسات مؤتمر الأمم المتحدة للبيئة والتنمية الذي عقد في البرازيل عام 1992 م، والمعروف بمؤتمر "قمة الأرض"، إلى أن متوسط حرارة الجو قد ارتفع خلال تلك السنوات المائة بما يتراوح بين (3-6) درجة مئوية، ولو ظل الأمر على حاله فسوف يؤدي إلى زيادة درجة حرارة الغلاف الجوي، والذي بدوره يؤدي إلى ذوبان الجليد في القطبين وارتفاع منسوب المياه في البحار والمحيطات، وكل ذلك ينعكس على مناخ الكرة الأرضية.

وظاهرة الاحتباس الحراري بسبب هذه الغازات والملوثات المتراكمة في طبقات الجو العليا- توفر مناخا وظروفا لتفاعلات حيوية وكيميائية غير مرغوب فيها، ينتج عنها مواد ضارة وسامة.

آثاره السيئة :

1- يؤدي إلى صعوبة في التنفس والشعور بالاختناق.

2- حدوث تخريش [1] للأغشية المخاطية.

3- التهاب القصبة الهوائية وتهيج الحلق.

4- أحد أسباب ظاهرة " الاحتباس الحراري".

---

(1) تخريش : تمزيق أو تقطيع .

5- غاز ثاني أكسيد الكربون له خواص حامضية، ولذلك فإنه عند سقوط الأمطار يكون معها حمض الكربونيك، وإن كان هذا الحمض ضعيفا إلا أنه أحد أسباب الأمطار الحامضية، خاصة عند ازدياد نسبة CO_2 في جو رطب.

$$CO_2 + H_2O \rightarrow H_2CO_3$$

2- أكاسيد الكبريت (Sulphur Oxides)

يعتبر ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) أخطر الأكاسيد الكبريتيدية .

وجوده : ينشأ نتيجة احتراق الوقود الأحفوري، أو "الوقود الحفري" (الفحم والبترول والغاز الطبيعي)؛ لاحتوائها على كميات ملحوظة من الكبريت الذي يخرج إلى الغلاف الغازي على شكل SO_2 .

خواصه :

غاز عديم اللون، نفاذ وكريه الرائحة، أو له رائحة حادة .

ويمكن اعتباره من العناصر اللازمة لحياة ونشاط النباتات الخضراء طالما وجد بنسبة ضئيلة جدًّا في الجو؛ حيث يؤدي ذلك إلى زيادة نمو النباتات.

وتكمن مشكلة التلوث بغاز ثاني أكسيد الكبريت عند زيادة نسبته في الجو عن الحد المسموح به .

مصادره : يوجد له مصدران: أحدهما طبيعي، والآخر صناعي .

أ- المصدر الطبيعي :

عند تعفن المواد العضوية يتكون كبريتيد الهيدروجين وهو غاز سام، والذي يتحول بفعل الأكسدة إلى أكاسيد الكبريت، والناتج النهائي لعمليات الأكسدة هو ثالث أكسيد الكبريت.

ب- المصدر الصناعي :

ينتج ثاني أكسيد الكبريت بشكل متواصل من احتراق الفحم، ونواتج البترول ومصاهر الفلزات (وخاصة النحاس)، وتكرير النفط واحتراق مصادر الطاقة، ووقود السيارات.

ويحتوي الفحم والنفط على حوالي 2٪ كبريت من وزن الوقود، ولذلك تقدر نسبة SO_2 الناتجة من حرق الوقود في أمريكا مثلًا بنحو 50 مليون طن سنويًا.

وتتمثل صفاته في الآتي:

- **الصفات الطبيعية:**

تتمثل الصفات الطبيعية لثاني أكسيد الكبريت في:

1- غاز عديم اللون.

2- له رائحة الكبريت المحترق.

3- له رائحة نفاذة.

- **الصفات الكيميائية:**

وتتمثل صفاته الكيميائية في التالي:

1- حمضي التأثير عند تركيزات أقل من جزء من المليون (1-ppm).

2- يتأكسد ثاني أكسيد الكبريت في الجو، فيتحول إلى ثالث أكسيد الكبريت بواسطة عمليات فوتوكيميائية مساعدة (Catalytic Photo Reaction).

3- يتفاعل غاز ثاني أكسيد الكبريت مع أكسجين الهواء بوجود الأشعة فوق البنفسجية الصادرة عن الشمس، وينتج ثالث أكسيد الكبريت، الذي يتحد بعد ذلك مع بخار الماء الموجود في الجو؛ ليعطي حمض الكبريتيك، الذي يبقى معلقًا في الهواء على هيئة رذاذ دقيق، تنقله الرياح من مكان لآخر، مثلما يحدث مع ماء المطر، كما توضح المعادلات الآتية:

$$2SO_2 + O_2 \xrightarrow{u.v} 2SO_3 + 46\ KCal$$

$$2SO_3 + H_2O \longrightarrow H_2SO_4$$

وقد أثبتت بعض الدراسات أن هواء الكثير من المدن الصناعية يحتوي على نسبة من أكاسيد الكبريت وحامض الكبريتيك تتراوح بين 5-20 ٪ .

آثاره السيئة:

1- على الصحة:

لكل من ثاني وثالث أكسيد الكبريت وحمض الكبريتيك تأثير ضار بالجهاز التنفسي للإنسان والحيوان؛ حيث تسبب التهابات خطيرة في الجهاز التنفسي، تظهر على شكل نوبات تنفسية حادة، تكون مصحوبة بالتهابات رئوية مزمنة، كما يؤدي إلى الإصابة بالسعال وبأمراض الربو والتهابات القصبة الهوائية والحنجرة- إذا كانت نسبته في مستويات الدخان حوالي 250 mg لكل م^3، وقد تصيب القلب بآلام حادة تسبب الوفاة.

2- على البيئة:

يشارك ثاني أكسيد الكبريت مع ملوثات أخرى في إحداث مشاكل بيئية، منها: الأمطار الحمضية؛ حيث تتعرض المباني، وبخاصة الأثرية إلى تأثير غاز ثاني أكسيد الكبريت (الحامضي مع ماء المطر)، الذي يؤدي إلى تآكل أو تجوية هذه المباني.

كذلك نلاحظ تحلل التماثيل المصنوعة من حجر الكلس، وتفتت الصخور الجيرية حين سقوط المطر الحامضي، ولذلك فقد اتخذت بعض الاحتياطيات اللازمة الضرورية للاقتصار على استخدام أنواع الوقود الخالية من الكبريت أو المحتوية على مقادير ضئيلة منه.

الأضرار الناتجة عنه:

يمكن إجمال الأضرار الناتجة عنه فى الآتي:

1- لثاني أكسيد الكبريت رائحة نفاذة مهيجة للأغشية عند تركيزات أعلى من 3 أجزاء بالمليون (3-ppm)، كما يسبب الربو والزكام المزمن وضيقًا في التنفس، وقد يصل الأمر إلى التصلب الرئوي.

2- عند اتحاد ثالث أكسيد الكبريت مع الماء ينتج حمض الكبريتيك، الذي يتساقط مع ماء المطر مسببًا المطر الحمضي، الذي يعمل على تفتيت مواد البناء، وخاصة الرخام والبلاط والسيراميك والجير والطلاءات.

3- يعمل ثالث أكسيد الكبريت على تآكل معظم أنواع الفلزات والسبائك المعدنية، وعلى وجه الخصوص الحديد والصلب والزنك.

4- لأكاسيد الكبريت آثار ضارة على النبات، وخاصة عند تركيزات 0.03 أجزاء المليون (0.03 ppm).

5- ويؤثر SO_2 و H_2SO_4 على الجهاز التنفسي للإنسان والحيوان.

6- التركيزات العالية تسبب تشنج الأحبال الصوتية وقد تؤدي إلى تشنج مفاجىء واختناق.

7- التعرض الطويل للغاز يؤثر في حاسة التذوق والشم، ويؤثر أيضًا على الطبقة الخارجية للأسنان.

8- يعمل على تهيج الغشاء المخاطي للعيون، ويؤثر أيضًا على الجلد.

3-أكاسيد النيتروجين (**Nitrogen Oxides**) :

أكاسيد النيتروجين عادة تكون مصاحبة لاحتراق الوقود في الهواء عند درجات حرارة عالية، حيث إن مصدر هذه الأكاسيد (كلٌّ من غَازَيْ النيتروجين والأكسجين اللذين يكونان هذه الأكاسيد) هو الهواء الجوي ذاته، ومن ثم تكون المركبات والأجهزة المولدة للطاقة في محطات القوى الكهربائية هما أحد المصادر الأساسية لأكاسيد النيتروجين؛ لأنها تعمل عند درجات حرارة مرتفعة، وخاصة تلك التي تستخدم الوقود الحفري، وعندما يكون التبريد سريعًا يمنع تفكك هذه الغازات.

غاز النيتروجين:

يوجد على هيئة غاز في طبقات الهواء الجوي، ويمثل النسبة الأكبر في مكونات هذه الطبقة، ويتكون جزيئه من اتحاد ذرتين من ذراته، ورمزه الكيميائي (N_2) شأنه في ذلك شأن بقية العناصر الغازية، مثل: الأكسجين (O_2)، والفلور (F_2)، والكلور (Cl_2)، فيما عدا جزيئات الغازات الخاملة التي هي أحادية الذرة مثل الهيليوم (He) وغيره.

وغاز النيتروجين يوجد متحدًا مع غيره من العناصر والمركبات في الطبيعة مكونًا مركبات كثيرة، مثل: أملاح النترات، والنتريت، والأمونيا، وحمض النيتريك، ويدخل في تركيب بعض المواد العضوية، مثل: البروتين.

إن أكثر أكاسيد النيتروجين انتشارًا في الجو تتمثل في:

1- أول أكسيد النيتروجين (NO).

2- ثاني أكسيد النيتروجين (NO_2).

مصادر الحصول عليهما:

يمكن الحصول على NO و NO_2 بتفاعل النيتروجين (الناتج من النشاط الإنساني) مع الأكسجين عند درجة حرارة عالية (أعلى من 1100°C) .

والتفاعل العام لأكسدة النيتروجين كما يلي :

$$N_2 + XO \xrightarrow{>1100^oC} 2NO_X$$

ونسبة NO_2 المتكونة لا تزيد عن 0.5٪ .

آثاره السيئة:

1- على الصحة:

هذه الغازات سامة؛ حيث تكون حامض النيتريك في الرئتين، وتحدث فيها التهابات خطيرة، وقد تؤدي إلى الموت خلال نصف ساعة إذا وصلت نسبتها في الهواء إلى 0.07 ٪ ، وتتحد هذه الأكاسيد أيضًا مع هيموجلوبين الدم، وتمنع نقل الأكسجين إلى الخلايا.

ويتعرض الأطفال أكثر من غيرهم لهذا النوع من التسمم، ويلاحظ في هذه الحالة زرقة الشفاه عند الأطفال، كما تتحول إلى مركبات شديدة الأكسدة، من أهمها: غاز الأوزون، وفوق أكسيد أستيل النترات، والتي تهاجم الأغشية المخاطية والعيون والجهاز التنفسي.

2- على البيئة:

تعد هذه الأكاسيد من الملوثات الرئيسة في تساقط الأمطار الحامضية في المناطق الصناعية، حيث تتفاعل هذه الأكاسيد مع بخار الماء أو ماء المطر مكونة حمض النيتروز والنيتريك.

ومن أهم مصادر هذه الأكاسيد عوادم المركبات المختلفة ومصانع حامض النيتريك ومحطات الطاقة الكهربائية التي تستخدم الوقود الحفري.

وتتفاعل أكاسيد النيتروجين في الهواء مع المركبات الهيدروكربونية والأكسجين بواسطة تفاعلات ضوئية بفعل أشعة (UV)، وتتحول إلى مركبات شديدة الأكسدة، ومن أهمها: غاز الأوزون، والتي عند ارتفاع تركيز الأوزون في الجو تقل مدى الرؤية وتسمى هذه الحالة بالضباب الكيميائي.

$$NO_2 \xrightarrow{u.v} NO + O$$

$$O + O_2 \xrightarrow{u.v} O_3$$

$$NO_2 + O_3 \xrightarrow{u.v} NO_3 + O_2$$

$$RCO_3 + NO_2 \xrightarrow{u.v} RCO_3NO_2$$

- الأضرار الناتجة عنهما:

1- تعمل أكاسيد النيتروجين على إزالة الألوان (bleaching) من صبغة الملابس، كما أنها تحلل الملابس القطنية، وكذلك المصنعة من النايلون؛ لأنها أكاسيد حامضية .

2- يحدث أول أكسيد النيتروجين أثارًا ضارة بالنباتات، ويعيق نموها، حيث يؤدي إلى إتلاف أوراقها.

3- لأول أكسيد النيتروجين قابلية للاتحاد مع هيموجلوبين الدم (أعلى قابلية من CO بـ 1500 مرة) إلا أنه- من رحمة ربي- لا يصل إلى مجرى الدم.

4- عند تواجد غاز NO_2 في الهواء بتركيز 100 جزء بالمليون (100-ppm) -فإنه يقضي على حياة الإنسان والحيوان خلال بضع دقائق، كما أنه عند تركيز 5 أجزاء بالمليون (5-ppm) يؤدي إلى آثار سيئة للغاية على الجهاز التنفسي، مثل: تهيج البطانة المخاطية للجيوب الأنفية والمجاري التنفسية، ويسبب أضرارًا غير عاديةٍ وبالغةً بالرئة.

5- يلعب NO_2 دورًا رئيسًا في توليد مركبات مثل HNO_2 ، CH_3COONO_2 الضارة بطبقة التروبوسفير، بالإضافة إلى أنه يعجل من نفاذية الأوزون بالستراتوسفير؛ بسبب تفاعله مع الأوزون وتكوين NO_3 .

6- إن تواجد أكاسيد النيتروجين في الهواء يؤدي إلى تآكل المعادن، وذلك لتكون جزيئات النترات.

7- تؤدي إلى تكوين المطر الحمضي.

8- يدخل في تكوين بعض المركبات التي تعمل على تهيج الغشاء المخاطي للعيون، مثل: $CH_3COOONO_2$.

وحيث إننا بصدد الحديث عن الأكاسيد الملوثة للهواء الجوي- فإنه لابد من الإشارة إلى الأمطار الحمضية؛ لأن هذه الأكاسيد هي السبب الرئيس في تكوينها.

الأمطار الحمضية:

تكوين الأمطار الحمضية :

تنتج الأمطار الحمضية من أكاسيد الكربون وأكاسيد الكبريت وأكاسيد النيتروجين طبقًا للتفاعلات التالية:

$$2SO_2 + O_2 \xrightarrow{u.v} 2SO_3$$

$$SO_3 + H_2O \longrightarrow H_2SO_4$$
$$CO_2 + H_2O \longrightarrow H_2CO_3$$
$$NO_2 + H_2O \longrightarrow HNO_3$$
$$NO + H_2O \longrightarrow HNO_2$$

وعندما تصبح الظروف المناخية مناسبة لسقوط الأمطار- فإنها تذوب في ماء المطر، وتسقط على سطح الأرض على هيئة مطر حمضي.

وقد يتحد ثالث أكسيد الكبريت مع بعض الغازات في الهواء، مثل: النشادر في وجود الرطوبة، وينتج في هذه الحالة مركب جديد هو كبريتات النشادر.

أما عندما يكون الجو جافًا ولا تتوفر فرصة لسقوط الأمطار- فإن رذاذ حمض الكبريتيك ودقائق كبريتات النشادر يبقيان معلقين في الهواء الساكن، ويظهران على هيئة ضباب خفيف، وهذه قد تنتقل بواسطة التيارات الهوائية من مكان إلى آخر؛ فالملوثات لا تعرف حدودًا؛ إذ يمكن أن تنتقل الغيوم لمسافات بعيدة، تتراوح بين 1000 – 1500 كيلو متر عن مصادر التلوث الصناعي، فتهطل أمطار حمضية على مناطق لاعلاقة لها بمصدر التلوث، وبالتالي تحدث آثارًا بيئية سيئة على المستوى المحلي والإقليمي والعالمي.

وبلغ الأس الهيدروجيني (pH) للأمطار الحمضية في بعض المدن حوالي 3.5 أو أقل، ومن هنا يمكن لنا تصور حجم الضرر الذي تلحقه هذه الظاهرة على الحياة النباتية والحيوانية وكذلك التربة والمياه الجوفية في العديد من الدول الصناعية والمجاورة لها.

الآثار السلبية للأمطار الحمضية:

الأمطار الحمضية تسبب أضرارًا صحية وبيئية واقتصادية واجتماعية كالتالي:

1- تسبب تلف كثير من المباني وتغيير ألوانها، خاصة التاريخية منها والأثرية.

2- تمزق الألياف القطنية والنايلون وتشقق المطاط والجلود وتدهور الصبغات.

3- تآكل التماثيل وتلفها وتآكل المعادن المستخدمة فى البناء والجسور والمنشآت الصناعية من الصلب والنيكل والزنك والنحاس.

4- تساعد على ترسيب السناج والأتربة مما يؤثر على نمو النباتات وإصابتها بالأمراض.

5- زيادة الأمطار الحمضية تؤثر على مياه الأنهار والبحيرات؛ حيث تغير الظروف الطبيعية التي تعيشها الأسماك والكائنات الحية الأخرى، فضلًا عن النباتات المائية، ومثال ذلك: ما حدث في بحيرة موس الصافية الواقعة غرب جبال أديروندك حيث اختفت أسماك السلمون المرقط والضفادع، حتى إن البط الغواص قد هاجر، واختفى الطائر القانص الذي يغوص فيها بحثًا عن الأسماك.

6- تجرف الأمطار الحمضية معها عناصر معدنية مختلفة بعضها بشكل مركبات من الزئبق والرصاص والنحاس والألومنيوم، فتقتل الأحياء في البحيرات وتزيد من تلوث التربة بهذه العناصر .

7- تؤثر الأمطار الحمضية في النباتات الاقتصادية ذات المحاصيل الموسمية، مثل: الغابات الصنوبرية، فهي تجرد الأشجار من أوراقها، وتحدث خللًا في التوازن النشادري في التربة، وبالتالي تجعل الامتصاص يضطرب في الجذور، مما يفقد الأخشاب جودتها، وبذلك تؤدي إلى خسارة اقتصادية في تدمير الغابات وتدهورها، فضلًا عن أنَّ الغابات تطلق في الكيلو متر المربع الواحد حوالي 1300 طن من الأكسجين، وتمتص نحو 1640 طنًّا من ثاني أكسيد الكربون خلال فصل النمو الواحد.

8- ارتفاع درجة حموضة التربة يؤدي إلى انخفاض نشاط بعض البكتيريا، مثل: المثبتة للنيتروجين، وانخفاض معدل تفكك الأداة العضوية، مما يؤدي إلى سماكة طبقة البقايا النباتية إلى الحد الذي أصبحت فيه تعوق نفاذ الماء إلى داخل التربة، وإلى عدم تمكن البذور من الإنبات، وفي النهاية إلى انخفاض الإنتاجية.

9- يشكل الضباب الدخاني في المدن الكبيرة حينما يكون معلقًا في الجو.

10- يؤدي المطر الحمضي إلى زيادة معدلات التجوية في مواد البناء والمباني، وبخاصة في الحجر الكلسي والرخام والأسمنت.

4- المواد العضوية المتطايرة (Volatile Organic Compounds - VOCS):

وتشمل هيدروكربونات غازية وسائلة، مثل: الميثان والكلوروفورم، بالإضافة إلى ذلك هناك العديد من الملوثات العضوية المتطايرة التي لم يستطيع العلم التعرف عليها بعد؛ بسبب قصور التقنيات التحليلية الحالية بالرغم من التقدم المذهل في هذا المجال.

ويعد أهم مصادر هذه الملوثات هي مصافي البترول ومحارق النفايات الصلبة، وتشكل الهيدروكربونات عنصرًا مهمًّا في تكوين الضباب الدخاني، وتسبب بعض المركبات الهيدروكربونية الحلقية الأمراض السرطانية للإنسان مثل البنزوبيرين الذي يوجد في غازات عوادم السيارات والغازات الناجمة عن حرق الفحم.

5- المواد العالقة في الهواء (Suspended Particulate Matter - SPM) :

وهذه المواد توجد على نوعين:

أ- دقائق صلبة Solid particles :

مثل الغبار (Dust)، والسخام (Soot)، والمعادن الثقيلة، مثل: الرصاص والكادميوم، وتبقى هذه المواد عالقة في الهواء حسب حجمها ووزنها وتأثير الجاذبية الأرضية والظروف المناخية عليها.

ويمكن تمييز أنواع متعددة من الحبيبات الدقيقة، مثل:

1- الغبار (Dust):

حبيبات متناهية في الصغر، تنشأ عن طريق تكسير وطحن وتفجير بعض المواد، مثل:

الأحجار والخامات والفحم والخشب والحبوب وغيرهم.

2- البخار المعدني (Fume) :

وهي عبارة عن مواد صلبة دقيقة تكونت نتيجة التكثيف.

ب- قطرات سائلة Liquid Droplets :

مثل: الأحماض، والزيوت، والمبيدات، وتكون على شكل:

1- الضباب (Fog) :

وهو عبارة عن جزيئات سائلة معلقة في الهواء ذات حجم أكبر من10 µm، تتكون عند تكثيف السوائل المتبخرة.

2- رذاذ (Mist) :

وهو عبارة عن جزيئات سائلة معلقة في الهواء ذات حجم أقل من 10µm عند تكثيف السوائل المتبخرة.

زمن وجودها في الهواء : لا تبقى الجسيمات عالقة في الهواء دون حدود زمنية، كما أنها لا تتسرب تلقائيًّا، وتعتمد سرعة السقوط على حجم الجسيمات، وعلى عوامل أخرى، منها: اتجاهات الرياح؛ حيث يمكنها تحريك الجسيمات ونشرها على مساحات شاسعة مما يؤثر على المناخ.

أضرارها :

1- لها تأثير سلبي على الجهاز التنفسي، مثل التهاب الشعب الهوائية، والانتفاخ الرئوي، وأمراض الحساسية، والربو، وغيرها.

2- الإصابة بالتلف الرئوي أو التحجر الرئوي "مرض السيليكوز" الناجم عن استنشاق الغبار الصادر من مصانع الأسمنت.

3- الإصابة بمرض الصفري " اسبيستوزز" الناجم عن غبار الأسبستوس.

4- الإصابة بسرطان الرئة والكبد؛ نتيجة تلوث الهواء بدخان المصانع والسجائر وماتحمله من شوائب وأبخرة ضارة.

5- التأثير السلبي على الجلد والعيون.

6- مواد كيميائية مؤكسدة :

المواد الكيميائية المؤكسدة ، والمتكونة في الغلاف الغازي خلال تفاعل الأكسجين مع أكاسيد النيتروجين، والمواد العضوية المتطايرة تحت تأثير الأشعة الشمسية لتكوين مركبات أخرى، مثل: الأوزون وفوق أكسيد أستيل النترات المهيج للعيون { (PAN) $CH_3COOONO_2$} وغيرهما، وسيأتي الحديث عنها في الأوزون.

ثانيا : الغازات الهيدروجينية :

وتشتمل الغازات الهيدروجينية الملوثة للهواء على التالي:

أ- **كلوريد الهيدروجين (HCL) :**

- **مصدره** : ينتج كلوريد الهيدروجين على هيئة غاز بطريقتين :

1- أثناء تحضير كربونات الصوديوم من كلوريد الصوديوم.

2- من مصانع الملح والصودا.

- **أضراره:**

تتمثل أضرار كلوريد الهيدروجين في التالي:

1- تكوين المطر الحمضي الذي يؤذي النبات ويدمر الغابات.

2- تفككه يؤدي إلى استنفاد طبقة الأوزون.

3- غاز الكلور (Cl_2) أيضا له آثارٌ سيئة على الصحة مثل تهيج العيون والجهاز التنفسي.

ب – كبريتيد الهيدروجين (H_2S):

- **مصدره:**

- ينتج من تحلل المخلفات وتعفن بقايا النباتات تحت تأثير البكتريا؛ حيث تتحول المركبات العضوية التي تحتوي على الكبريت إلى غاز كبريتيد الهيدروجين.

- كما يتكون أثناء معالجة مياه الصرف الصحي، ومن بعض الصناعات البترولية، وأثناء تنقية الغاز الطبيعي.

- **أضراره :**

1- له رائحة كريهة، مثل: رائحة البيض الفاسد.

2- استنشاقه يؤدي إلى أضرار بالجهاز التنفسي، مثل: تهيج وتخريش الأغشية المخاطية للمجاري التنفسية والتهاب الحنجرة والقصبة الهوائية وملتحمة العين.

3- يعتبر الغاز سامًّا وخطيرًا عند التركيزات العالية.

4- حاسة الشم لا تحسه إذا زاد تركيزه عن 0.025 ppm -1 .

5- يؤثر على الجهاز العصبي المركزي.

6- يثبط عملية الأكسدة الخمائرية، مما يؤدي إلى حدوث اضطراب وصعوبة في التنفس.

7- يسبب خمولًا في القدرة على التفكير.

8- يتحد مع الهيموجلوبين مما يضعف من قدرة الهيموجلوبين على حمل الأكسجين.

ج- الأمونيا (NH_3):

- تعد الأمونيا أحد مركبات النيتروجين، ورمزها الكيميائي، وهي في الصورة الغازية: (NH_3)، ولها رائحة مميزة .

- تذوب الأمونيا في الماء مكونة محلول الأمونيا المعروف بهيدروكسيد الأمونيوم (NH_4OH)

$$NH_3 + H_2O \rightarrow NH_4OH$$

أضرارها :

1- تسبب تهيجًا في الأغشية المخاطية للعيون والحنجرة والجيوب الأنفية.

2- قد تؤدي إلى العقم؛ وذلك لشدة تأثيرها على بعض الإنزيمات في الجسم.

ثالثا - الأوزون (O_3) Ozone :

الأوزون هو غاز شفاف يميل إلى الزرقة، ورمزه الكيميائي (O_3)، وينتج صناعيًّا من عمليات اللحام، وعمليات التبييض، وعمليات معالجة المياه، ومخلفات المصانع، كما ينتج من تفكك جزيء O_2، تحت تأثير أشعة UV، ثم تتفاعل الذرتان مع جزيء الأكسجين، كما هو موضح بالمعادلتين الآتيتين:

$$O_2 \xrightarrow{UV} 2O$$

$$2O_2 + 2O \longrightarrow 2O_3$$

وينتشر الأوزون في صورة حزام غازي، يحيط بالكرة الأرضية؛ لحماية الأرض والكائنات الحية من الآثار القاتلة للأشعة فوق البنفسجية المنبعثة من الشمس، فيقوم الغاز بامتصاصها والسماح فقط بجزء قليل بالتسرب إلى سطح الأرض، ونسبته في الغلاف الجوي ضئيلة جدًّا، قد لا تتجاوز في بعض الأحيان واحدًا في المليون، وهو يتواجد بالدرجة الأولى في طبقتين: الترموسفير، والستراتوسفير، وهو غاز سام للإنسان، حتى في حالة التركيزات الضعيفة، ولذلك فمن رحمة الله بعباده أنّ تكوينه لا يتم قريبًا من سطح الأرض؛ حتى لا يستنشقه الإنسان أو الحيوان مختلطًا بالأكسجين؛ لأن تنفس قدر ضئيل منه يحدث تهيجًا في الجهاز التنفسي، وقد يؤدي إلى الموت.

الأضرار الناتجة عنه :

إن زيادة تركيز الأوزون في طبقة التروبوسفير عن المعدل الطبيعي تتسبب في:

1- ضيق في التنفس، والتهاب في الأغشية المخاطية للعين.

2- ينفذ إلى الرئتين مسببًا أضرارًا في الأغشية المخاطية للجهاز التنفسي.

3- يؤدي إلى إضعاف البصر ومعظم القدرات الأخرى.

4- يسبب السعال، وقد يحدث تورمات خبيثة في أنسجة الرئتين.

5- يتفاعل مع بعض مكونات الهواء العضوية، مثل: الألدهيدات الناتجة من الهيدروكربونات؛ لينتج فوق أكسيد أسيتيل النترات $CH_3COOONO_2$ المهيج للعين، حسب التفاعل التالي :

$$O_3 + H.C. \rightarrow RCO_2 + RCHO \text{ or } R_2CO$$
$$RCO_2 + NO \rightarrow NO_2 + RCO$$
$$RCO + O_2 \rightarrow RCO_3$$
$$RCO_3 + NO_2 \rightarrow CH_3COOONO_2$$

إذا تم التعبير عن مجموعة الألكيل (R) بمجموعة الميثيل (CH_3)

6- تكمن خطورة الأوزون في تفاعله مع الهيدروكربونات المهلجنة (الكلوروفلوروكربون)، وتعرف هذه الغازات تجاريًا بالفريونات، ويرمز لها (CFC)، وهي المسئولة بالدرجة الأولى عن تدمير هذا الحزام، ونادرًا ما تحتوي هذه الغازات على البروم (Br)، وهي إما أن تكون على هيئة مواد غازية، أو سوائل.

ويوجد من هذه المركبات أكثر من 40 نوعًا، وتستخدم غالبيتها في صناعة أجهزة التبريد المختلفة، كالثلاجات، والمكيفات، والمعطرات، ومصففات الشعر، كما تستخدم كمنظفات للقطع الإلكترونية؛ حيث ينتج من تفاعلها مع الأوزون مركبات سامة للغاية؛ وذلك بسبب تعرضها إلى الأشعة فوق البنفسجية قصيرة الموجة بحيث تجري التفاعلات على النحو التالي:

$$CFC1_3 + UV \longrightarrow CFC1_2 + Cl$$
$$Cl + O_3 \longrightarrow ClO + O_2$$
$$O_2 + UV \longrightarrow O + O$$
$$ClO + O \longrightarrow Cl + O_2$$

بالإضافة إلى أنَّ هذه المركبات في صورتها الغازية تسبب تحطيم أو إنقاص سمك طبقة الأوزون في طبقات الجو العليا (الستراتوسفير)؛ حيث يتم إطلاق ذرة كلور أو بروم أو كليهما معًا في حالة وجودهما في تركيب الفريون، ومن ثم تقوم ذرات الكلور النشطة "CL " بمهاجمة الأوزون وتحويله إلى أكسجين(O_2) ، وبذلك تقوم هذه المركبات بتدمير طبقة الأوزون، كما هو واضح من المعادلة الثانية.

ولعل ذلك هو أحد أسباب ثقب طبقة الأوزون، الأمر الذي يجعل الأشعة فوق البنفسجية الساقطة على الأرض من الشمس تصل إلى سطح الأرض مسببة سرطان الجلد لمن يتعرض لها، مع ملاحظة أن جزءًا واحدًا من هذه الفريونات (الكلور فلوروكربون) يستطيع أن يحطم 100.000 جزءًا من غاز الأوزون، مع الأخذ بعين الاعتبار أن الفريون CF-11 يستطيع البقاء في الأتموسفير مدة 70 سنة، والفريون CF-12 يستطيع البقاء مدة 100 سنة.

رابعا : الهيدروكربونات الغازية :

وتتمثل الهيدروكربونات الغازية الملوثة للهواء في :

أ- الميثان (Methane , CH_4)

وهو المكون الرئيسي للوقود المعروف بالغاز الطبيعي، وهو غاز، عند درجة الحرارة العادية، عديم اللون والرائحة، ويمكن اكتشاف تسربه بإضافة نسبة ضئيلة من المركبات الكبريتية إليه (لتكوين رائحة مميزة)؛ وذلك لتفادي الحرائق.

ب- الإثيلين (Ethylene,C_2H_4)

ج - والبروبيلين (Propylene,C_3H_6)

وهما غازان في درجة الحرارة العادية.

الأضرار الناتجة عن الهيدروكربونات الغازية:

1- يؤثر غاز الإثيلين تأثيرًا سيئًا على نمو النباتات.

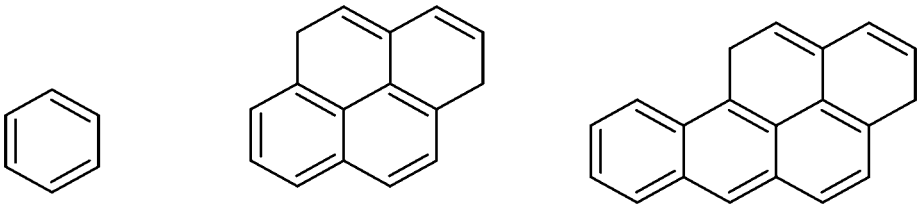
2- تنبعث هيدروكربونات عديدة مع العوادم الغازية للمركبات مؤدية إلى الإصابة بسرطان الرئة.

3- تسبب تلوث التروبوسفير، حيث تؤدي إلى زيادة نسبة الأوزون فيه.

4- تدخل في تكوين الضباب الدخاني الذي يلحق أثارًا ضارة بصحة الإنسان.

5- الألدهيدات، وخاصة الفورمالدهيد الناتجة عن تحول الإيثيلين بواسطة التفاعلات الكيموضوئيه، تؤدي إلى حدوث تهيج في العيون.

6- الهيدروكربونات العطرية ، والمقصود بالهيدروكربونات العطرية هى المركبات الأروماتية، مثل: البنزين ومشتقاته، ويمكن القول بأن المركبات عديدة الحلقات، مثل: البيرين(Pyrene) والبنزبيرين(Benzpyrene) هى أشد خطرًا على الإنسان والبيئة؛ لأنها ذات تأثير سرطاني قوي، وخاصةً على الرئة عن طريق استنشاق أبخرتها، وتنتج هذه المركبات عند احتراق الوقود، والزيوت البترولية، ومن القار المستخدم في الطرقات وأسطح المنازل وصناعة المطاط وفي دخان السجائر.



Benzene Pyrene Benzpyrene

خامسا : الفلور والفلوريدات:

مصدرها: تنتج من الصناعات التالية:

1- صناعة الأسمدة الفوسفاتية.

2- صناعة الألومنيوم.

3- عند صهر الحديد الخام.

الفلوريدات أنها:

1- شديدة السمية.

2- تؤدي إلى ضيق في التنفس.

3- تؤدي إلى تهيج الجزء العلوي من الجهاز التنفسي وقرنية العين .

4- تسبب الصداع الشديد، وربما الموت .

5- تنزع تكلس العظام.

6- تزيد أملاح الفلور، وخاصة في مياه الشرب، فتسبب مرضًا يُدعَى مرض التفلور الأسناني، والذي ينتج عنه بقع صفراء، أو بُنِّيَّة، أو حتى سوداء في ميناء الأسنان، ويحدث ذلك إذا زادت نسبة الفلور في الماء عن (1.5 ppm)، أما إذا زادت الكمية زيادة كبيرة فإن ذلك يسبب تفتت الأسنان، أما التركيزات الضئيلة جدًّا فإنها مفيدة للأسنان إذ تمنع تسوسها.

- أما فلوريد الهيدروجين (HF):

فإنه سام، ومهيج قوى، وضار لكل خلايا الجسم، ويؤثر على العظام والأسنان بشدة، ويضر بالنباتات.

سادسا : دخان التبغ :

مصدره : ينتج دخان التبغ من التدخين.

أضراره : يعد الضرر الرئيس لدخان التبغ هو أنه يسبب سرطان الرئة للمدخنين وغير المدخنين المتواجدين معه بسبب التدخين السلبي.

طرق السيطرة على أكاسيد الكبريت وكبريتيد الهيدروجين

نعرض فيما يلي أهم طرق طرق السيطرة أو التخلص من أكاسيد الكبريت وكبريتيد الهيدروجين كالتالي:

1- التخلص من أكاسيد الكبريت :

توجد عدة طرق للتخلص من ثاني أكسيد الكبريت، أشهر هذه الطرق استعمالًا كالتالي:

ا- طريقة حقن حجر اللايم (كربونات الكالسيوم) :

تعد هذه الطريقة من الطرق المتقدمة لإزالة SO_2 من غازات الاحتراق، وهي تتضمن الخطوات التالية :

1- وضع مسحوق من كربونات الكالسيوم في الحارقة، حيث يلتقى أكسيد الكالسيوم مع أكاسيد الكبريت الناتجة من الحرق.

2- إمرار كمية من الأكسجين فى مداخن التفاعل، حيث يتكون كبريتات الكالسيوم.

3- المعادلات التالية توضح ذلك:

$$CaCO_3 \xrightarrow{\Delta} CaO + CO_2$$

$$2CaO + 2SO_2 + O_2 \rightarrow 2CaSO_4$$

4- يتم سحب ناتج التفاعل من الحارقة، ويغمر في الماء، وذلك لإتمام التفاعل.

مميزات هذه الطريقة :

تتميز طريقة حقن حجر اللايم بالتالي:

1- فعالة في التخلص من SO_2.

2- من الطرق البسيطة وغير المكلفة.

3- يكمن استخدام كبريتات الكالسيوم الناتج في صناعات كيميائية أخرى، مثل: صناعة الأسمنت.

ب – طريقة يلمان لورد :

وتتم هذه الطريقة لفصل غاز SO_2 من غازات الاحتراق طبقًا للخطوات التالية:

1- تمرر غازات الاحتراق خلال محلول كبريتيت الصوديوم الذي يعتبر كوسيط لامتصاص غاز SO_2، كما هو موضح بالمعادلة التالية:

$$2SO_2 + Na_2SO_3 + H_2O \rightarrow 2NaHSO_4$$

2- يتم تسخين محلول بيكبريتات الصوديوم لاستعادة SO_2 في صورة شبه نقية.

$$2NaHSO_4 \rightarrow Na_2SO_4 + H_2O + SO_2$$

ويتم تحويل جزء من SO_2 إلى حامض الكبريتيك بطريقة التماس الكهربائي، وإلى كبريت عضوي بطريقة كلاس.

ج- وسائل التحكم في كميات أكاسيد الكبريت الناجمة عن العمليات الصناعية:

يمكن تخفيف وضبط كميات أكاسيد الكبريت الناجمة عن العمليات الصناعية بالتالي:

1- استخدام الوقود الذي يحتوي على نسب قليلة من الكبريت.

2- استبدال عمليات حرق الوقود المحتوي على الكبريت بمصادر أخرى للطاقة.

3- إزلة الكبريت من الوقود قبل حرقه.

4 - إزالة أكاسيد الكبريت من الغازات المنطلقة من مختلف العمليات.

2- التخلص من كبريتيد الهيدروجين:

يمكن التخلص من كبريتيد الهيدروجين بالطرق التالية:

أ- طريقة الجريتول:

حيث يتم في هذه الطريقة تفاعل H_2S مع الأمين.

$$2RNH_2 + H_2S \leftrightarrows R(NH_3)_2S$$

وبعدها يتم استعادة الأمين بواسطة البخار.

ب-طريقة السيبوود:

وفي هذه الطريقة يتفاعل H_2S مع كربونات صوديوم .

$$Na_2CO_3 + H_2S \leftrightarrows NaHCO_3 + NaSH$$

ويتم استعادة الكربونات بنفخ الهواء.

جـ- طريقة الفوسفات:

وفي هذه الطريقة يتفاعل H_2S مع فوسفات البوتاسيوم.

$$K_3PO_4 + H_2S \leftrightarrows KSH + K_2PO_4$$

ويتم استعادة الفوسفات بالبخار.

د- طريقة أحادي أمين الإيثانول:

أما في هذه الطريقة فيتفاعل H_2S مع أحادي أمين الإيثانول.

$$2\ HO\text{-}CH_2\text{-}CH_2\text{-}NH_2 + H_2S \leftrightarrows (HO\text{-}CH_2CH_2NH_3)_2S$$

ويتم استعادة أحادي أمين الإيثانول بالتسخين إلى درجة حرارة تصل إلى 250 م.

أهم الملوثات الهوائية داخل المنازل

وبعد استعراضنا للملوثات الهوائية عامة والكيميائية خاصة، ربما يقول الإنسان: إن الهواء يكون ملوثا في أماكن الإنتاج والتصنيع فقط، وإن هذه الملوثات قلما توجد في المنازل أو البيوت، فنقول: إن هذا الكلام غير صحيح؛ لأن الهواء متحرك، وينتقل من مكان التلوث إلى آخر غير ملوث، بل إن الأمر ليس عند هذا الحد فقط؛ حيث توجد ملوثات كيميائية إضافية أخري داخل المنازل، ولا يدري الإنسان أنها من الملوثات الكيميائية الخطيرة هى الأخرى، وإليك بعض الأمثلة لأشهر الملوثات الهوائية التي تتواجد في المناطق السكنية، بل في المنازل.

1- النفثالين (Naphthalene) :

تستخدمه ربات المنازل على هيئة كرات صغيرة؛ كمادة حافظة للملابس من العتة، وهي تسبب السرطان للإنسان.

2- الكلوفورم (Chloroform) :

يضاف إلى المياه المستعملة في الحمامات الساخنة، كما أنه يستعمل كمذيب في صناعة

البلاستيك والمنظفات، وهو مخدر للأعصاب ، ويسبب ضمورًا في الكبد، وتوقف عمل القلب ، وتدميرًا مزمنًا للكلية بالإضافة إلى يسبب السرطان.

3- بارا ثنائي كلوروبنزين (Para-dichlorobenzene) :

يأتي من ملطفات الجو، وكرات مكافحة العث، ويسبب السرطان للإنسان.

4- رباعي كلوروبنزين (Tetra-dichlorobenzene):

يأتي من الملابس المنظفة بطريقة التنظيف الجافة (Dry Cleaning) ، حيث يستخدم في تنظيف الملابس، ويسبب أضرارًا للكبد والكلى وخاصة عند استنشاقه.

5- ثلاثي كلور إيثان (1 , 1, 1- Trichloroethane) :

يوجد في بخاخات الإيروزول، ويسبب للإنسان دوخة وتنفسًا غير طبيعي.

6- فورمالدهيد (Formaldehyde) :

يأتي من مواد الأثاث ورغوة العزل الحراري، ويسبب للإنسان تهيج العيون والجلد والرئتين.

7- أكاسيد النيتروجين (Nitrogen Oxides) :

ينتج من المدافئ والأفران، ويسبب للإنسان تهيج العيون والصداع، وقد سبق الحديث عنها.

8- بنزوبيرين (Benzo(a) pyrine) :

في دخان السجائر والمدافئ وعوادم السيارات، ويسبب للإنسان سرطان الرئة.

9- إستيرين (Styrene) :

يوجد في السجاد والمواد البلاستيكية المختلفة، ويسبب للإنسان أضرارًا للكلى والكبد، وخاصةً إذا وجد على هيئة إستيرين حر، وهي الجزيئات التي لم تحدث لها عملية بلمرة أثناء التصنيع.

10- أسبستوس (Asbestoses):

يستخدم في مواد العزل، ويسبب للإنسان سرطان الرئة، وقد سبق الحديث عنه.

11- أول أكسيد الكربون (Carbon Monoxide)

ينتج من الحرق غير المكتمل للمدافئ والأفران المستخدم فيها الفحم الحجري كوقود، ويسبب للإنسان الصداع والنعاس وإحداث خلل في نظام دقات القلب، وقد يؤدي بالإنسان إلى الوفاة إذا زادت نسبته في المنزل، وقد سبق الحديث عنه.

12- ميثيل الكلور (Methylene chloride) :

يأتي من الدهانات؛ لأنه أحد مذيباتها، ويسبب للإنسان خللًا في الجهاز العصبي ومرض السكري.

13- سموم الفطريات والأبواغ (Mycotoxins and Spores) :

تساهم الفطريات التي تعيش داخل المنازل في المناطق الرطبة، مثل: أسقف الحمامات والمطابخ وغيرهما من الأماكن، في إحداث أضرار صحية بالإنسان.

14- رادون (Radon – 222) :

هذا الاحتمال بسيط، إلا أن التعرض له محتمل، ومصدره من التربة المشعة أو الملوثة والصخور المشعة والمياه المشعة، ويسبب للإنسان أمراض سرطانية عديدة وخاصةً سرطان الرئة.

- أهم أسباب تركيز هذه الملوثات :

أ - نظم التدفئة والطبخ السيئة

(Bad conditions for heating and cooking)

يستعمل معظم سكان العالم الوقود الحفري لأغراض الطبخ والتدفئة، وفي حالة حرق الوقود الحفري بشكل غير مكتمل وعدم تصريف الغازات العادمة إلى خارج المنزل جيدًا- يتعرض هؤلاء السكان إلى ملوثات هوائية ضارة جدًّا؛ لأنه قد يتكون أول أكسيد الكربون، وقد سبق الحديث عنه وعن أضراره، في حين أن استعمال مشتقات البترول تحت نفس الظروف أقل خطورة.

أما بالنسبة لطاقة الكتلة الحية (Biomass Fuels) مثل: الأخشاب وبقايا النباتات، والتي تستعمل حتى الآن في دول العالم الثالث في نار مفتوحة داخل المنازل، فينتج عنها مئات

الملوثات الهوائية، مثل: المواد العالقة، وأول أكسيد الكربون، وأكاسيد الكبريت، والنيتروجين، والبنزين، والفينول، والألدهيدات (تولوين وغيره)، فهي أشد خطرًا على الصحة والسلامة العامة.

ب- التهوية السيئة (Bad Ventilation):

تتراكم الملوثات الهوائية داخل المباني بسبب عدم وجود تهوية مناسبة تطرد الملوثات وتجدد الهواء، كما أن بعض الملوثات، مثل: غاز الرادون، تدخل إلى المباني من الخارج عن طريق تشققات الأساسات والجدران والشبابيك.

ج- وجود العديد من الكيميائيات داخل المنازل والمصانع

Industrial and Household Chemicals

وجود العديد من الكيميائيات الملوثة للهواء داخل المنازل والمصانع ينشأ عنها آثارٌ سيئة، خاصة في حالة سوء تخزينها أو استعمالها، مثل: المبيدات الحشرية الطاردة للذباب والبعوض وغيرهما، فهي تسبب أضرارًا بالغة للإنسان، وخاصةً الأطفال، وهناك العديد من الأمثلة على تسمم الإنسان في المساكن والمصانع نتيجة سوء التخزين أو الاستعمال الخاطئ لهذه الكيماويات.

تأثير التلوث الهوائي Effects of Air pollution

1- على الصحة Effect on the Health :

لقد أثبتت الكثير من الدراسات الوبائية والمعملية أن المصدر الأساسي للكثير من الأمراض التي يعاني منها الإنسان في النصف الثاني من القرن العشرين ومطلع القرن الحالي، مثل: أمراض الجهاز التنفسي، وأمراض القلب، وسرطان الرئة، والأنفلونزا بأنواعها، وغيرها الكثير من الأمراض- هو التلوث الهوائي (Air borne pollutants).

وقد وصلت معدلات التلوث في مناطق كثيرة إلى درجة الخطر، أو بمعنى آخر زادت فوق حدود القدرة الاحتمالية لبعض عناصر النظام الحيوي، وبدأ الكثير من السكان يشعرون بمشكلات التلوث وخطورتها.

فالضباب الدخاني (Smog) يؤدي إلى تهيج العيون والصداع والإعياء وأمراض

الصدر، وضيق التنفس.

وتعد أمراض الجهاز التنفسي من أخطر آثار التلوث الهوائي وأكثرها شيوعًا، وبخاصة أمراض سرطان الرئة، والتهابات القصبة الهوائية، وانتفاخ الرئة، وصعوبة التنفس.

وتنتج أمراض الجهاز التنفسي عن الحبيبات الدقيقة الملوثة والعالقة في الهواء التي لا يمكن احتجازها في الأنف، ومن ثم تصل إلى الرئتين، أي أنه تتزايد أمراض التهاب القصبات الهوائية بزيادة تركز تلك الملوثات، وكذلك بالنسبة لتأثير وارتفاع معدلات تراكيز الأكاسيد الكبريتية والنيتروجينية في صحة الإنسان، حيث يظهر ذلك في اضطراب الجهاز التنفسي وظهور أمراض الرئة المزمنة وأمراض القلب.

2- على البيئة Effect on the Environment :

يرجع حوالي 66 ٪ من أول أكسيد الكربون في المدن الصناعية إلى حركة التنقل والمرور داخل المدن، وتتوقف معدلات خروج أول أكسيد الكربون من السيارات على سرعة الحركة داخل المدينة، إذ كلما زادت الحركة كلما قلت معدلات أول أكسيد الكربون الصادرة، وبالتالي فإن تخطيط حركة المرور داخل المدن بصورة جيدة (تسهيل سرعة الحركة)- تساعد على تخفيف معدلات الملوثات الهوائية .

تؤدي زيادة تركيز معدلات أكاسيد النيتروجين إلى تمزق الألياف القطنية، وألياف النايلون، وتشقق المطاط، والجلود، وتآكل المعادن المطلية بالنيكل، كذلك تؤثر تلك الأكاسيد في النباتات الطبيعية، ونباتات المحاصيل، وتدهور الإنتاج مع زيادة تركيز أكاسيد النيتروجين.

وقد أدت زيادة تركز ثاني أكسيد الكبريت في جو المدن الصناعية إلى تكرار حوادث الأمطار الحامضية، وقد زاد في العقدين الأخيرين تركيز ثاني أكسيد الكبريت في المياه السطحية، ما أدى إلى اختفاء بعض الكائنات الحية من المجاري النهرية والبحيرات، حيث يسبب تخفيض الرقم الهيدروجيني.

بالإضافة إلى ماسبق فإن الملوثات الهوائية لها تأثير سلبي على المناخ؛ حيث تؤثر على درجة الحرارة وشدة الإشعاع الشمسي، وتشكل الغيوم والضباب، وتسبب الأمطار الحمضية بخطورتها المعروفة، كما سبق ذكر ذلك عند الحديث عن الأمطار الحمضية.

قياس الملوثات الهوائية Measurements of Air Pollutants

يتكون الهواء من العديد من الغازات (مزيج)، وبنسب تختلف (ولو قليلًا) مع الموقع، ولذلك يجابه تعريف مواصفات الهواء النقي بعض الصعوبة.

ويقاس تركيز الملوثات الهوائية الغازية بعدد وحدات الحجم من الغاز لكل مليون وحدة حجم من الهواء (Parts per million ppm).

ويقاس تركيز المواد الصلبة العالقة في الهواء بكتلتها لوحدة حجم من الهواء (g/m^3) ، كما يقاس تدفق المواد الصلبة العالقة في وحدة الزمن (kg/h) ويمكن تحويل (ppm) إلى (mg/m^3) باستعمال القانون التالي:

$$Ppm = \frac{22.414}{\text{الوزن الجزيئي (Mol. Wt.)}}$$

حيث إن حجم مول واحد من الغاز في درجة الحرارة الاعتيادية، وتحت ضغط جوي واحد يساوي 22.414 لترًا.

ولمعرفة كمية ونوعية الملوثات الهوائية يجب التفرقة بين قياس الملوثات كالتالي:

أ- قياس الملوثات مباشرة عند خروجها من مصدر التلوث وقبل خروجها إلى الهواء المحيط (Measurement of Emission):

وتستخدم هذه القياسات لمعرفة مدى التقيد بالمواصفات المعتمدة أو لقياس كفاءة عمل الأجهزة المستعملة في التحكم أو معالجة الملوثات الهوائية .

ب- قياس الملوثات الهوائية في أماكن مختلفة:

(Measurement of Pollutants)

وتستخدم هذه القياسات للحصول على معلومات عن طبيعة الملوثات في المنطقة ومراقبة جودة الهواء، وبهذه الطريقة نعتمد على المعلومات المناخية، مثل: سرعة الرياح واتجاهه.

ومن أجل عمل القياسات اللازمة هناك العديد من الأجهزة، والتي تأخذ العينات يدويًا أو أوتوماتيكيًا، ثم يمكن قياس الملوثات الهوائية سواء أكانت صلبة أو غازية، مثل:

أ- قياس المواد الصلبة العالقة في الهواء (SPM) :

1- **المرشح الشريطي** (Tape Filter)، وتعتمد هذه الطريقة على إمرار كمية معلومة من الهواء من خلال مرشح يعمل على حجز الدقائق الصلبة، وبالتالي يتم قياسها.

2- جمع الغبار المترسب في إناء ذي فتحة كبيرة، أو على شريط لزج يثبت في المكان المطلوب، حيث يسقط الغبار في الإناء أو يلتصق على الشريط.

ب- قياس الملوثات الغازية:

1- امتصاص كمية من الهواء وتمريره على مادة مدمصة، مثل: الكربون النشط (Activated Carbon)، حيث تمتص الغاز، ثم يتم استخلاصه والتعرف عليه بالطرق الكروماتوغرافية.

2- استعمال طريقة دريجر (Draeger Multi Gas Detector) :

وهي طريقة لقياس أكثر من 150 ملوثًا غازيًّا، ويتكون هذا الجهاز من مضخة يدوية أو ميكانيكية، تأخذ في كل مرة كمية معلومة من الهواء المحيط وتمرره من خلال أنبوب الفحص.

ويستعمل لكل نوع من الغازات الملوثة نوع محدد من هذه الأنابيب، والتي تحتوي على مواد كيميائية (كواشف)، تختلف باختلاف نوعية التلوث المراد قياسه، وعند ضخ الهواء من خلال الأنبوب يحدث تغير في لون الأنبوب، ومن خلال درجة اللون يمكن معرفة كمية أو تركيز التلوث. ويمكن بهذه الطريقة قياس تركيزات تتراوح ما بين (0.5 - 300 ppm) بانحراف لا يزيد على 15 ٪، ومن إيجابيات هذا الجهاز سرعة إخراج النتائج، وسهولة الاستعمال.

وسائل حماية الهواء من التلوث

Controlling Air Pollution

إن عمليات برامج ضبط نوعية الهواء تتطلب تحديات كبيرة بسبب الحركة الدائمة للهواء وعدم استقراريته، فمثلًا: لا يمكن تنفيذ برامج ضبط الهواء ضمن أحواض هوائية (Air Sheds) -إن جاز التعبير-؛ إذ لا تنحصر الرياح والملوثات التي تنقلها في منطقة جغرافية محددة، كما هو معروف بالنسبة للمجاري المائية التي يتكون منها الحوض المائي.

وتحت هذه الظروف فإنه لا يمكن تحديد أحواض هوائية لتكثيف العمل وتنفيذ برامج

ضبط الهواء، ولذلك فإن أفضل الطرق هي تقليل انبعاث الملوثات من مصادرها، مع التركيز على تنفيذ برامج أخرى كالتالي:

أ- سن القوانين والتشريعات الخاصة بنوعية الهواء وضبط تلك النوعية، كما هي الحال في قانون الهواء النظيف الأمريكي لعام 1970 م، والتعديلات التي أجريت عليه، والتي انتهت بوضع مواصفات رئيسة وثانوية؛ فالمواصفات الثانوية تهتم بنوعية الهواء، مثل: انبعاث الهواء من السيارات والمصانع ومحطات توليد الطاقة وغيرهم، وتتضمن تلك المواصفات الثانوية الحد من تأثير تلوث الهواء في المحاصيل الزراعية والرؤية والمناخ وراحة الإنسان، مع المراقبة المستمرة للمصانع، والتأكد من التزامها بالتشريعات الخاصة بحماية البيئة.

أما المواصفات الرئيسة فقد بنيت على أساس تحديد الآثار الخطيرة للملوثات في صحة الإنسان، مع احتياط خاص لكبار السن والأطفال.

وقد أسهمت التعديلات التي أضيفت إلى قانون الهواء النظيف في عام 1977 م في الحد من تدهور نوعية الهواء في الولايات المتحدة، كذلك أسهم قانون السلامة المهنية والصحة الأمريكي الذي وضع عام 1970م في وضع مواصفات للحد من أخطار التعرض للمواد السامة والخطرة أثناء العمل في المصانع والمهن الصناعية المختلفة.

ومن الجدير بالذكر أنه يجب إدخال مبدأ " الملوث يدفع " في قانون البيئة، خاصةً في الدول العربية؛ لأن ذلك يساهم في تشجيع الصناعات في البحث عن وسائل وطرق جديدة للحد من التلوث، بالرغم من أن هذا الإجراء يزيد من كلفة الإنتاج الصناعي، بالإضافة إلى ذلك لابد من عقد الاتفاقيات الدولية لحماية الهواء والمناخ على المستوى الإقليمي والعالمي.

ب- نشر الوعي البيئي الخاص بالتلوث بين السكان، وإشراكهم في عملية اتخاذ القرارات حول الحد من التلوث، مثل: ترك سياراتهم في منازلهم أيامًا معينة، واستعمال المواصلات العامة لتقليل عادم السيارات من جهة، وتوفير الطاقة من جهة أخرى.

وقد طبقت مثل هذه المعايير في اليابان والدنمارك والسويد وإيطاليا واليونان، فمثلًا أدى هذا الإجراء في مدينة بروكسل (في بلجيكا) إلى خفض نسبة غازات أكاسيد النيتروجين في أيام العطلات إلى 75 ٪، وثاني أكسيد الكربون إلى 90 ٪ .

ج- يجب توجيه الجهود العلمية في الوقت الحاضر إلى استغلال مصادر الطاقة البديلة، مثل: الطاقة الشمسية والرياح والمد والجزر وطاقة باطن الأرض، والحد من استهلاك الوقود الحفري، ومعالجته لتقليل حجم الملوثات، مع تطوير استخدام مصادر الطاقة الأخرى.

د- تخطيط المدن بصورة أفضل مع مراقبة نموها السكاني، ونمو الأنشطة المختلفة، وبخاصة الصناعية، وتخطيط حركة المرور، وذلك للحد من حجم الملوثات.

والتخطيط الجيد يجب أن يراعي فيه زيادة المساحة الخضراء في المدينة بحيث لا تقل عن 15 ٪ من مساحتها؛ لأن زيادة المساحات الخضراء يعني زيادة إنتاج الأكسجين وزيادة استهلاك ثاني أكسيد الكربون؛ بفعل النبات، علاوة على قيمة المساحات الخضراء من الناحية الجمالية والترفيهية.

هـ - إنشاء مدن جديدة:

وتتضمن عملية تخطيط المدن أيضًا تشجيع بناء مدن صغيرة، بدلًا من استمرار المدن الكبيرة في النمو والتضخم، وتحديد النشاط الصناعي في المدن، وعدم السماح بإقامة أنشطة صناعية جديدة، وكذلك تحديد المسافات المناسبة بين المدن لتخفيف حدة الضغط الحضري والسكاني في الأقاليم المختلفة؛ فقد أدى النمو العشوائي للمدن في الفترات السابقة إلى التحام المناطق السكانية بالمناطق الصناعية، أو تطويق المناطق الصناعية، بحيث أصبحت الأخيرة في كثير من المدن تقع في وسط المدن السكنية، حتى أصبح التخلص من هذا الوضع بهدف حماية البيئة أمرًا مكلفًا إن لم يكن متعذرًا.

و- استعمال تكنولوجيات متقدمة: لضبط التلوث مع تطويرها باستمرار، بما يتناسب مع مستجدات التلوث، وذلك للوصول إلى المواصفات المطلوبة والمرجوة، ويتم ذلك من خلال:

1- السيطرة على مدخلات التلوث Input Control Methods))؛

هذه الطريقة مهمة جدًّا؛ لأنها تعالج المشكلة قبل حدوثها، وهي طريقة ذات فعالية عالية وأقل كلفة على المدى البعيد، ولكن يتم فيها معالجة كل نوع من الملوثات بطريقة خاصة.

ومن أهم الأمثلة على ذلك:

أ- **إزالة ثاني أكسيد الكبريت** قبل خروجه إلى الغلاف الغازي، وذلك من خلال:

1- استعمال مصادر الطاقة الفقيرة بالكبريت، مثل: الغاز الطبيعي.

2- إزالة الكبريت من البترول قبل حرقه .

3- التخلص من الكبريت خلال عملية الحرق بطريقة:

{ Fluidized – Bed Combustion (FBC) }

حيث يمرر الغاز العادم على طبقة من حجر الكلس المطحون (Limestone) عند درجة حرارة 460°C ، حيث يحدث التفاعل التالي:

$$CaCO_3 + SO_2 + 1/2\ O_2 \rightarrow CaSO_4 + CO_2$$

وهذه الطريقة يمكن أن تحجز 90 – 98 ٪ من SO_2 ، كما تحجز أيضًا قسمًا من NO_x ، وهذه الطريقة مكلفة، ولكن يمكن الاستفادة من الجبس الناتج على شكل منتج ثانوي (By product –) في صناعة الأسمنت والإنشاءات.

4- استعمال طريقة حقن الكلس مع الفحم:

{Limestone Injection Multiple Burning (L I M B)}

حيث يتم حقن الكلس المطحون تحت درجات حرارة أقل من الدرجات التقليدية المتبعة في طريقة (F B C) منتجة مادة الجبس أيضًا، وبهذه الطريقة تتم إزالة حوالي 50 – 60 ٪ من (SO_2)، ولذلك فهي طريقة أقل كفاءة من طريقة (F B C).

ب- **إزالة أكاسيد النيتروجين** قبل خروجها إلى الغلاف الغازي، وذلك من خلال:

1- طريقة (F B C)، حيث يمكن إزالة 50 –70٪.

2- طريقة (L I M B) ، حيث يمكن إزالة 50 –60 ٪.

3- تخفيض درجات الحرارة للاحتراق يؤدي إلى إزالة 50 – 60 ٪.

جـ- **إزالة المواد العالقة في الهواء (S P M)** قبل خروجها إلى الغلاف الغازي وذلك عن طريق تحويل الفحم الحجري إلى بترول سائل.

2- السيطرة على مخرجات التلوث (Output Control Methods) :

وهذه الطريقة تعتمد على معالجة التلوث حال دخوله إلى البيئة، وتتميز هذه الطريقة

بصعوبة التطبيق والكلفة العالية، ومن أهم الأمثلة على ذلك:

أ- السيطرة على الغازات الكيميائية من خلال :

1- استعمال المداخن العالية لتخفيف تركيز الملوثات في الهواء القريب، وهي طريقة غير مرغوبة؛ لأنها لم تضع حدًا للتلوث.

2- وضع ضرائب على كل وحدة إنتاجية من الغازات لتشجيع الصناعة على استعمال وتطوير تقنيات جديدة.

ب- معالجة المواد العالقة في الهواء (S P M) من خلال :

1- استعمال المداخن العالية أيضا لتخفيف تركيز الملوثات في الهواء.

2- إزالة المواد العالقة باستعمال التقنيات التالية:

أ - الفلاتر الكهربائية (Electrostatic Precipitation):

حيث تزيل حوالي ٪99 من الدقائق، ولكن لا تزيل الدقائق الصغيرة جدًّا.

ب - أجهزة الفصل الحلزونية (Cyclone Separator):

وهي عبارة عن أجهزة حلزونية يدخلها الهواء الحامل للمواد العالقة، بحيث يحدث دوامة أو إعصارًا حلزونيًّا يدفع المواد العالقة على الجدار ومنه تسقط إلى الأسفل، وتزيل هذه الطريقة حوالي ٪ 50-90 من الدقائق الكبيرة الحجم، كما تزيل نسبة قليلة من الدقائق المتوسطة (5-10 µm) والدقيقة ذات الحجم أقل من (5µm).

ج - المرشحات الكيسية (Bag House Filter):

حيث يمرر الهواء الحامل للمواد العالقة ليتم حجز الغبار داخل هذه الأكياس، وتستعمل مواد القماش أو الصوف أو النايلون أو الألياف الزجاجية، وتزيل بهذه الطريقة حوالي ٪ 99 من الدقائق، بما فيها الدقائق الصغيرة جدًّا.

3- مكافحة التلوث الهوائي من المصادر المتحركة (المركبات)، وذلك من خلال:

1- الاعتماد- قدر الإمكان- على وسائل المواصلات العامة، بدلًا من المركبات الخاصة.

2- استخدام وقود أقل تلويثًا، مثل: الغاز الطبيعي والجازولين الخالي من الرصاص.

3- يجب تحسين كفاءة عمل المحرك للاستفادة من الوقود، والحد من الملوثات.

4- استعمال المركبات الكهربائية في المدن يساهم ولا شك في الحد من التلوث الهوائي داخل هذه المدن، ولكنه يزيد من الطلب على الطاقة الكهربائية في محطات توليد الطاقة الكهربائية.

5- استعمال الكحول (الميثانول) يقلل من مشكلة التلوث الهوائي، ولكن هذا المصدر لايزال مكلفًا، كما أننا نحتاج لإنتاج الميثانول مواد عضوية سكرية لتخميرها والحصول على الكحول، ونظرًا لقلة الأراضي الزراعية في العالم والتي نحتاجها لإنتاج المحاصيل السكرية من أجل الطاقة.

6- استعمال غاز الهيدروجين كمصدر للطاقة، وهذا المصدر لايزال مكلفًا، وهناك خطورة تعرض هذا الغاز للانفجار، ولذلك لا ينصح حاليًّا باستعمال هذا المصدر قبل تطوير طرق آمنة لاستعماله.

كما يمكن أيضا مكافحة التلوث الهوائي من المصادر المتحركة (المركبات) وذلك عن طريق:

1- استعمال جهاز الحفاز المحول (Catalytic Converter):

والذي يحول أول أكسيد الكربون والهيدروكربونات وأول أكسيد النيتروجين إلى غاز ثاني أكسيد الكربون وبخار الماء وغاز النيتروجين، ولا توجد فائدة لهذا الجهاز إذا لم يكن الجازولين خاليًا تمامًا من الرصاص.

2- استعمال جهاز التهوية المكرنك الإيجابي Positive Crankcase (Ventilation):

والذي يعيد الاستفادة من الهيدروكربونات من جديد داخل المحرك للحد من درجة حرارة الاحتراق، وبالتالي الحد من كمية أول أكسيد النيتروجين الخارجة من الغازات العادمة.

4- التخلص من المكونات الحبيبية:

طورت وسائل كثيرة للتخلص من المكونات الحبيبية (في غازات عوادم المصانع

الكيميائية وخاصة غير العضوية)، وذلك حسب الخصائص الكيميائية والطبيعية التي تختلف كثيرًا من صناعة إلى أخرى، وفيما يلي وسائل التحكم في المكونات الحبيبية:

أ ـ وسائل التخلص من الحبيبات ذات الأحجام الأكبر من 50 µm .

1ـ فاصل السيكلون (Cyclone Separator):

الفاصل السيكلوني، وهو يعتمد على قوة الطرد المركزية، لذا فإن كفاءته أعلى للحبيبات الكبيرة، ويمكن بواسطته التخلص من 50ـ 90٪ من الكتلة الكلية للمواد الحبيبية.

2ـ الشاطف المبلل البسيط (Simple wet scrubber):

وفيه ينقى الغاز بواسطة الماء الذي يمتص بعض الغازات الضارة (أو المسببة للتآكل)، ويمكن بواسطته التخلص من 75ـ 99٪ من الغبار.

- عيوب الشاطف المبلل البسيط :

1 ـ يسبب بعض مشاكل التآكل.

2 ـ ارتفاع تكاليف معالجة الماء الملوث.

3 ـ الغاز الناتج من عملية التنقية يحمل بعض بخار الماء.

ب ـ التخلص من الحبيبات ذات الأحجام الأقل من1µm :

يمكن التخلص من هذه الحبيبات بالطرق التالية:

1ـ المرسب الكهروستاتيكي (Electrostatic Precipitator):

وفيه تمرر التيارات الغازية بين أزواج من الأقطاب الكهربائية، بحيث توضع الأقطاب السالبة تحت جهد مرتفع بالنسبة للأقطاب الأخرى الأرضية، وبذلك يتم إزالة كل من الغبار الصلب والجسيمات السائلة، ويمكن بواسطته التخلص من 80ـ 99.5٪ من الكتلة الكلية للملوثات.

2ـ المرشحات القماشية (Fabric Filters):

والمرشحات القماشية يتم من خلالها ترشيح المواد الحبيبية من تيارات الغازات (على أن تبرد الغازات إلى أقل من درجة 0°C ؛ حتى لا تؤدي إلى تلف أنسجة المرشح) بواسطة التالي:

a- استخدام منسوجات قماشية أو ورقية أو حصائر ترشيح.

b- مواد محببة، مثل: الرمل أو الكوك.

يجب التنويه إلى أنه ينتج عن جميع هذه الطرق فضلات لابد من التخلص منها بطرق آمنة، كما أنه حتى الآن لا توجد طريقة تحمينا من التلوث كليًّا، وكل هذه الطرق ماهي إلا وسائل أو محاولات للحد من التلوث.

* * *