تلوث الهواء

Air Pollution

د. صخر عجوز

أنواع ملوثات الهواء

يُعَرّف تلوث الهواء بأنه أي مادة في الهواء يمكن أن تسبب الضرر للإنسان والبيئة، ومن الممكن أن تكون هذه الملوثات في شكل جزيئات صلبة أو قطرات سائلة أو غازات، هذا بالإضافة إلى أنها قد تكون طبيعية أو ناتجة عن نشاط الإنسان حيث يمكن تقسيم الملوثات في الهواء إلى مجموعتين رئيسيتين هما الدقائقيات العالقة والملوثات الغازية.

أولاً : الدقائقيات Particulates

يقصد بالدقائقيات المواد المنتشرة في الهواء سواء كانت دقائق صلبة أم قطيرات سائلة عالقة. وتشمل الدقائق الكبيرة كلاً من الرمال والرماد المتطاير والغبار والسخام Soot في حين تشمل الدقائق الصغيرة كلاً من الدخان والضباب والغبار الجوي Aerosols.

من أهم المجاميع الرئيسية للدقائقيات في الهواء هي:

1- الرمال Grit
2- الغبار الطبيعي Natural dust
3- الدخان Smoke
4- الغبار الجوي Aerosol
5- الضباب Mist
6- السخام Soot
7- الغبار الصناعي Artificial dust
8- حبوب اللقاح Pollen grains

ثانياً: الملوثات الغازية Pollutant gases وتشمل:

1- الهيدروكربونات Hydrocarbons
2- غاز أحادي أوكسيد الكربون CO
3- ثنائي أوكسد الكربون CO_2
4- أكاسيد النيتروجين Oxides of nitrogen (NO_x)
5-أكاسيد الكبريت Sulpher oxide So_x
6- غاز كبريتيد الهيدروجين Hydrogen Sulphide H_2S

الكوارث والظواهر البيئية المسببة لتلوث الهواء حول العالم

1-كارثة مدينتي ناكازاكي وهيروشيما في اليابان: عندما ألقت الولايات المتحدة الأمريكية عليهما قنبلتين ذريتين عام 1945 راح ضحيتها أكثر من 100000 شخص وجرح نصف مليون آخرون من المواطنين اليابانيين وأصيب % 20 من السكان الباقيين بالأمراض الإشعاعية كما تم تدمير 75% من المباني بأكملها. وما زالت آثار التشوه الخلقي نتيجة هذه الكارثة حتى الآن.

2- كارثة مدينة لندن: تعد كارثة مدينة لندن من أشهر الكوارث على الإطلاق ولا تزال تسمى باسم المدينة أو باسم كارثة الطبقات السوداء Black fog وقد أطلق عليه اسم الضبخان الكبير في 1952 (Great Smog of 1952) يطلق عليه أيضاً "الدخان الكبير" Big Smoke هو ضبخان (ضباب + دخان) أصاب لندن، المملكة المتحدة في الفترة بين 5 حتى 9 كانون أول 1952.

ساهمت هذه الكارثة في وفاة الآلاف من سكان مدينة لندن. وشكلت حافزاً هاماً للحركة البيئية المعاصرة. معظم الوفيات التي نتجت عن ضبخان لندن كانت بسبب الأضرار التي تسبب بها في الجهاز التنفسي من الهيبوكسيا (انخفاض معدل الأكسجين في الدم) وصولاً إلى المشاكل الأخرى كالقيح والتهاب القصبات الحاد.

أسبابه : في أوائل كانون أول 1952 هب على لندن ضباب بارد قام بسببه اللندنيون بحرق المزيد من الفحم لغرض التدفئة بشكل أكثر من المعتاد. ونتيجة لتلوث الهواء تشكل "التعاكس الجوي" من كتلة كبيرة من الهواء البارد، كما أن تركز الملوثات وملوثات الفحم بشكل خاص تزايد بشكل دراماتيكي، وما جعل المشكلة أسوأ هو استخدام الفحم المنخفض الجودة والذي يحوي نسبة عالية من الكبريت للتدفئة المنزلية في لندن، بسبب تصدير الفحم العالي الجودة إلى الخارج بسبب الأوضاع الاقتصادية للبلاد في فترة ما بعد الحرب.

كان الضباب أو الضبخان سميكاً للغاية للدرجة التي كانت فيها قيادة السيارة في غاية الصعوبة أو مستحيلة. كما دخل الضبخان من الأبواب بسهولة، وتم إلغاء كافة الحفلات وعروض السينما بسبب عدم تمكن الجمهور من مشاهدة الممثلين على المسرح أو شاشات العرض.

وبما أن لندن عرفت بالضباب فلم يكن هناك ذعر كبير بين السكان، ولكن في الأسابيع اللاحقة بينت الخدمات الطبية والإحصاءات المجمعة أن الضباب تسبب في مقتل 4000 شخص، معظمهم كان إما صغيراً للغاية أو كبيراً في السن، أو كان يعاني من مشاكل تنفسية. توفي 8000 شخص كحصيلة نهائية للحدث.

أدى هذا الحدث المروع إلى إعادة التفكير في تلوث الهواء. كما برهنت الكارثة على مدى خطورتها على البشر في جميع أنحاء العالم.

وضعت إجراءات جديدة تمنع استخدام الوقود "القذر" في الصناعة حيث تضمنت الإجراءات "قانون الهواء النظيف" الذي سنه البرلمان البريطاني في 1956 (راجع المحاضرة الأولى).

2- كارثة مدينة بوبال: من الكوارث الكيميائية الكبيرة ما حدث في **مدينة بوبال** الهندية عام 1984 التي تملك مصنعاً للمبيدات يعود إلى شركة يونيون كاربيد Union carbide ، حيث انفجر خزان يحوي على مادة كيماوية وهي آيسوسيانات المثيل Methyl isocyanate التي تستخدم بوصفها مركباً وسيطاً لإنتاج المبيد. وقد انطلقت هذه المادة في الهواء نتيجة الانفجار وساعد سكون الهواء على بقاء هذه المادة فوق المدينة مسببة:

1. كارثة راح ضحيتها أكثر من 2000 شخصاً لقوا حتفهم حال حدوث الكارثة.
2. كما نفقت فور حدوث التلوث جميع الحيوانات الداجنة منها وغير الداجنة بالإضافة للطيور البرية والحشرات علماً بأن الأيام التالية توفي حوالي 1500 شخص آخر.
3. أما السكان الناجون ويقدر عددهم بحوالي 200 ألف نسمة فقد عانى معظمهم من مشاكل صحية مختلفة أو عاهات مستديمة مثل فقدان البصر والعقم والتهاب الكلى والكبد وصعوبات في التنفس وغيرها.

4- كارثة مفاعل تشرنوبل: من أهم الكوارث الإشعاعية ما حدث في كارثة مفاعل تشرنوبل. ومحطة تشرنوبل الكهرونووية هي محطة روسية لإنتاج الكهرباء بوساطة التفاعلات النووية، حيث أدى عطل هذه المحطة إلى انفجارها في 26 نيسان 1986 وانطلاق المواد المشعة إلى الهواء مسببة حالة تلوث بيئي خطير شمل العديد من الدول الأوروبية. فقد وصل مستوى الإشعاعات النووية في سواحل السويد على بحر البلطيق إلى درجة يفوق المستوى الطبيعي بمائة مرة. وكان مستوى الإشعاع في بولندا أكثر من مستوى الطبيعي بحوالي 500 مرة. ووصلت نسبة المواد المشعة في هولندا في نهر الراين إلى 80 ضعفاً.

نجم عن **كارثة تشرنوبل** عدة آثار صحية خطيرة منها آثار حادة آنية وأخرى مزمنة. ومن آثار الإشعاع انطلاق أشعة جاما و أشعة بيتا اللتان تخترقان جسم الإنسان. وأدت أشعة جاما إلى قصور حاد في نخاع العظام فضلاً عن أعراض معوية حادة. في حين أدت أشعة بيتا إلى حروق شديدة. بالإضافة إلى التأثيرات الوراثية على الأجنة في الأرحام ذات العمر 8–15 أسبوعاً. وقدرت نسبة احتمال الإصابة بالتخلف العقلي الحاد ب 40% إثر التعرض لأشعة لحظية حادة. وتوقع أحد علماء الجمعية الكيميائية الأمريكية أنه سيصاب خلال السبعين سنة التي تلت الانفجار ما يزيد عن مليون شخص بالسرطان بمختلف أنحاء العالم بسبب هذه الكارثة. كما أن بقية الكائنات الحية لم تسلم هي الأخرى من هذه الإشعاعات، فقد وصلت تراكيز الإشعاع في حليب الأبقار ما بين 100–200 من اليود 131 لكل لتر.

تكمن خطورة التلوث الإشعاعي هنا سواء أن هذا الإشعاع انتشر إلى بلدان أخرى أم استقر في نفس بلد الكارثة فإن ما ينتج من مواد غذائية التي تصدر إلى البلدان الأخرى سوف تحمل تراكيز من هذا الإشعاع. فاللحوم والبيض والحليب والمعلبات باختلاف أنواعها عادة ما تصدر من دول منتجة إلى دول مستوردة فينتقل هذا الإشعاع بهذه الطريقة إلى دول أخرى.

ملوثات الهواء ذات الطابع العالمي

لا بد من التنويه إلى أن الهواء متحرك وعند حركته لا يمكن أن يقف عند الحدود السياسية أو الجغرافية لدولة واحدة حيث أن الغلاف الجوي للكرة الأرضية مشتركاً لجميع دول العالم تقوده حركة الكتل الهوائية المتغيرة دائماً. فالملوثات الغازية والملوثات الإشعاعية يمكن أن تنتقل من منطقة إلى أخرى. ويمكن التطرق إلى بعض الأمثلة على ما يلوث الهواء ويؤثر في مناطق جغرافية عديدة قد تصل إلى كل الكرة الأرضية بأكملها ومنها:

أولاً: **الاحتباس الحراري** Global warning

مفهوم الاحتباس الحراري لا يختلف عن ظاهرة البيت الزجاجي Green house effect، فهو يتعلق بزيادة تركيز غاز ثنائي أوكسيد الكربون CO_2 في الغلاف الجوي. هذا الغاز غير سام للكائنات الحية ونسبته في الهواء بحدود 300 جزء بالمليون في الهواء الجاف وغير الملوث، كما هو الحال في المناطق البعيدة عن الأنشطة البشرية. وكما هو مسجل في العالم فإن تركيز هذا الغاز هو في زيادة مستمرة رغم أن هذه الزيادة هي ضئيلة وليس لها تأثير صحي على الإنسان أو الأحياء. لكن خطر هذه الزيادة في كونها ستؤدي إلى الإقلال من انتشار الحرارة من سطح الكرة الأرضية إلى الفضاء الخارجي بفعل تأثير البيت الزجاجي مما يسبب ارتفاع معدلات درجات الحرارة على سطح الأرض. علماً بأن هناك غازات أخرى في الغلاف الجوي لها مثل هذه القابلية بل وأكثر من هذا الغاز منها بخار الماء وغازات الميثان وأوكسيد النتروز ومركبات الكلوروفلوروكربونات. أي أن هذه الغازات لها القدرة على الحبس الحراري وتفوق قدرتها في ذلك قدرة غاز ثنائي أوكسيد الكربون بآلاف المرات بخاصة مركبات الكلوروفلوروكربونات، علماً بأن هذه الغازات والمواد ليست بمشكلة كما هو الحال في غاز ثنائي أوكسيد الكربون وذلك بسبب انخفاض تراكيزها في الغلاف الجوي وقلة مصادرها على سطح الأرض.

يتوضح مفهوم حدوث الاحتباس الحراري في الغلاف الجوي للأرض من خلال تفهم طبيعة الإشعاع الشمسي Solar radiation وعلاقته بدرجة الحرارة. فالطاقة الشمسية Solar energy تتألف من العديد من الأمواج ذات أطوال مختلفة كالأشعة التي تستطيع العين البشرية رؤيتها والتي تعرف بالأشعة المرئية Visible light أو الضوء الذي نراه وينحصر ما بين الأطوال الموجية 400–780 نانومتر. أما الموجات التي أقصر من 400 نانومتر فتعرف بالأشعة فوق البنفسجية Ultraviolet light وما دونها هي أشعة اكس وأشعة جاما. أما الأطوال الأكبر من 780 نانومتر فهي الأشعة تحت الحمراء Infrared radiation وهي الأمواج الحرارية، وتعقبها الموجات الميكروية Microwaves ثم الأمواج الراديوية Radiowaves. وتمثل الأشعة المرئية جزءاً ضئيلاً للغاية من مجموع أطوال أو مدى الأطوال الموجية للإشعاع الكهرومغناطيسي ومن ضمن خصائصها أنها ذات قدرة على اختراق طبقات الغلاف الجوي دون مقاومة تذكر، كما أنها تستطيع بنفس الطريقة اختراق زجاج النوافذ (كما هي في البيت الزجاجي)، بعكس الأشعة تحت الحمراء التي ليس لها القدرة على ذلك.

إن اصطدام موجات الأشعة المرئية بأي حاجز يؤدي إلى تحولها إلى حرارة. لذا عند وصولها إلى الكرة الأرضية سوف تتحول إلى حرارة بعد اصطدامها بالموجودات وتبقى حبيسة في الداخل. ويعمل غاز ثنائي أوكسيد الكربون

والغازات الأخرى القابلة على الحبس الحراري بنفس الطريقة حيث كلما ازدادت تراكيزها في الغلاف الجوي زادت كمية الحرارة المحتبسة في الغلاف الجوي للأرض. إن ارتفاع معدل درجات الحرارة المتوقع لها على سطح الكرة الأرضية بمقدار 1.5–4.5 درجة مئوية خلال هذا القرن (الحادي والعشرين) سيؤدي إلى ارتفاع مستوى سطح البحار والمحيطات بمقدار 0.5–2 متر أو أكثر خلال تمدد المياه في المحيطات نتيجة ارتفاع درجة الحرارة بالإضافة لذوبان كميات أكبر من الجبال الثلجية مما سيؤدي إلى تدمير المدن الساحلية والهجرة العشوائية للسكان والإخلال البيئي في العديد من النظم البيئية المائية و البرية (اليابسة).

تسعى دول العالم إلى تقليص مجموع الانبعاث العالمي لغاز ثنائي أوكسيد الكربون واستخدام التقنيات النظيفة بيئياً وتحسين إدارة الغابات والمساحات الخضراء والحفاظ عليها (راجع مؤتمر قمة الأرض، اتفاقية كيوتو، اتفاق باريس للمناخ في المحاضرة الأولى).

ثانياً: طبقة الأوزون في الغلاف الجوي

أهمية الأوزون:

يعتبر غاز الأوزون O_3 أحد المكونات الطبيعية للهواء إذ تبلغ نسبته الحجمية 0.02 جزء بالمليون، لذا فهو يعد من الغازات النادرة فعلاً حيث لا تتجاوز كتلته الكلية في كامل الغلاف الجوي عن 200 مليون طن. حيث أن للغاز القابلية على امتصاص الأشعة فوق البنفسجية ذات الأطوال الموجية التي تتراوح ما بين 280–320 نانومتر من الأشعة الشمسية. كما أن 90% من هذا الغاز يتواجد في طبقة الستراتوسفير(18–50 كم فوق سطح البحر). رغم التركيز الضئيل لغاز الأوزون لكنه يعد كافيًا وضرورياً لحماية الحياة على سطح الأرض. وإن تناقص غاز الأوزون سيؤدي إلى اختراق هذه الأشعة للغلاف الجوي مما يترتب عليه تأثيرات سلبية على الحياة على سطح الكرة الأرضية بما يشمل الإنسان كذلك.

آلية تخرب الأوزون:

لغاز الأوزون ميل شديد إلى التفاعل مع الملوثات البيئية أو مع الجذور الناتجة منها متحولاً إلى غاز الأوكسجين. ومن بين هذه الملوثات البيئية كل من أكاسيد النتروجين والمركبات الكلورية العضوية مثل مبيدات دي دي تي DDT والألدرين والكلوردين وغيرها من مركبات الفنيل الكلورية Polychlorinated phenyls ومركبات الكلوروفلوركربونات المعروفة تجارياً باسم غاز الفريون. وتتحلل هذه المركبات في الهواء تحت تأثير ضوء الشمس لإعطاء غاز الكلور الذي يعمل على تحويل غاز الأوزون إلى أوكسجين. لذا فإن تناقص تراكيز غاز الأوزون يعتمد على تواجد الملوثات البيئية المذكورة أعلاه وتفاعلها معه. وكانت أولى التسجيلات عن تناقص هذا الغاز بسبب انطلاق مركبات الكلوروفلوروكربونات إلى الغلاف الجوي. علما بأن تناقص تراكيز الغاز تصاحبه زيادة في كمية الأشعة فوق البنفسجية أي نفاذ هذه الأشعة إلى سطح الأرض وزيادة تعرض البشر أصحاب البشرة البيضاء إليها مما يؤدي إلى رفع نسبة الإصابة بسرطان الجلد والتلف البصري والأمراض المعدية

التي تسببها الفيروسات وهذه تنشط خلال تعرضها إلى هذه الأشعة مما يقلل القدرات الدفاعية للجهاز المناعي في الجسم فضلاً عن التأثيرات البيئية الأخرى على الأحياء البرية مثل تساقط الفراء أو الريش أو الحراشف من بعض المناطق من الجسم.

يهدد تناقص تركيز غاز الأوزون الدول القريبة من قطبي الكرة الأرضية الشمالي والجنوبي لذا فإن زيادة دخول الأشعة فوق البنفسجية ستتركز عليها حيث أن ذلك بسبب مسار الأشعة الشمسية التي يكون في أقصاها فوق منطقة القطبين وبذلك فإن التفاعلات الكيميائية الضوئية التي تحطم غاز الأوزون تكون في أقصى معدلاتها في القطبين. لذا فإن سكان تلك المناطق من ذوي البشرة البيضاء سيتضررون بسبب حساسية بشرتهم بخاصة عند ممارستهم السباحة والاستجمام على السواحل البحرية.

منذ منتصف السبعينات بعد أن قدّم العالم الأمريكي شيروود رولاند Sherwood Roland وصفاً عن تناقص الغاز بسبب انطلاق مركبات الكلوروفلوروكربونات، فقد تركزت الجهود العلمية على مراقبة طبقة الأوزون بما يلي:

1. تم وضع برنامج من قبل الأمم المتحدة لحماية البيئة The United Nations Environment Programme (اليونيب UNEP) : مهمته مراقبة طبقة الأوزون.
2. تم التوقيع على اتفاقية فيينا لحماية الأوزون عام 1985
3. بروتوكول مونتريال الخاص بالمواد الكلورية الفلورية الكربونية التي تؤثر على طبقة الأوزون عام 1987،
4. ومن ثم تتالت المؤتمرات كمؤتمر هلسنكي 1989 ومؤتمر لندن 1989 و 1990 .
5. وتشير هذه اللقاءات الدولية إلى حماية طبقة الأوزون من خلال منع إنتاج وتداول المركبات التي تؤدي إلى تناقص هذا الغاز مثل مركبات الكلوروفلوروكربونات كغاز الفريون. علماً أن لغاز الفريون استخدامات عديدة منها كسوائل دفع في عبوات رش المستحضرات الصيدلانية كالعطور والمستحضرات التجميلية والمبيدات وسوائل التبريد في الثلاجات ومكيفات الهواء وسوائل تنظيف وتعقيم الأدوات الجراحية وغيرها.

ثالثًا: التلوث الإشعاعي Radiation Pollution

يعد الإشعاع ظاهرة طبيعية تحيط بالإنسان في كل مكان في حياته اليومية. وقد أدى نشاط الإنسان إلى زيادة تراكيزه في بعض المواقع أو بسبب حوادث عرضية أو مشاكل صناعية معينة أو سوء إدارة مما أدى إلى حالات تلوث خطيرة. فالتسرب الإشعاعي خلال الحوادث التي تحدث في المفاعلات النووية أو بسبب التجارب النووية أو النفايات المشعة التي تتسرب من خزانات الصواريخ والمركبات والأقمار الصناعية أو بسبب القمامة الخطرة الناتجة من المصانع التي تستعمل الكيماويات المعاملة إشعاعياً أدى إلى زيادة الإشعاع. حيث تؤدي هذه الإشعاعات إلى تلويث الهواء والماء والتربة والغذاء مما يؤدي إلى مخاطر مميتة وقاتلة للإنسان والكائنات الحية

الأخرى، أو إحداث خلل في النظم الحيوية وذلك حسب مستوى الجرعات الإشعاعية ونوعها. يعرف **التلوث الإشعاعي** أنه انبعاث إشعاعات خطيرة نتيجة حوادث تحصل في المفاعلات النووية أو من النفايات المشعة أو أي مصدر يُستعمل فيه الإشعاع بجرعات ضارة تعمل على تدمير خلايا الكائن الحي بشكل مباشر عند التعرض للإشعاع بشكل مباشر أو غير مباشر من خلال تركيزها في الهواء أو الماء أو التربة أو الغذاء.

وتشمل **الجسيمات الإشعاعية** أربعة أنواع رئيسية:

1. جسيمات ألفا a
2. جسيمات بيتا B
3. أشعة جاما
4. الأشعة السينية X – Rays مصدرها الطبيعي الشمس. ولها طاقة فوتونية أقل من أشعة جاما. وتمتاز بقدرتها على اختراق الأجسام الصلبة. ولها تأثير على الأنسجة الحية وخطر كبير على الخلايا. اكتشفت هذه الأشعة عام 1895 من قبل رونتجن، لذا تسمى كذلك بأشعة رونتجن.

يُعد استخدام عنصر **اليورانيوم المنضب** خرقاً دولياً للاتفاقيات والمواثيق الدولية، كما أنه عمل منافٍ لجميع الاعتبارات الأخلاقية والقيم الإنسانية. وأصبح هذا العنصر يُعرف بمعدن العار كما صدر عنه كتاب في الولايات المتحدة الأمريكية يحمل هذا المعنى Metal of Dishonor.

ومن الاتفاقيات التي حدت من استخدام اليورانيوم المنضب والنفايات الأخرى الخطرة على صحة الإنسان والبيئة اتفاقية بازل للتحكم بالنفايات الخطرة حيث تم التصديق على هذه الاتفاقية في 22 آذار عام 1989. وهي معاهدة دولية تم تصميمها لمنع نقل النفايات الخطرة من البلدان المتقدمة إلى البلدان الأقل نمواً.ومعالجة حركة النفايات المشعة. وتهدف الاتفاقية أيضاً لتقليل كمية وسمية النفايات المتولدة، لضمان الإدارة السليمة بيئياً قدر الإمكان، ومساعدة أقل البلدان نمواً في الإدارة السليمة بيئياً للنفايات الخطرة والنفايات الأخرى التي تولدها.

طرق المعالجة والحد من تلوث الهواء

كما تم التطرق له في أعلاه فإن من أهم الملوثات للهواء هي أول أوكسيد الكربون وثنائي أوكسيد النتروجين، وثنائي أوكسيد الكبريت والدقائقيات والهيدروكربونات.

مهما كانت طرق إزالة ملوثات الهواء الناتجة من المصانع المتطورة، فليس بإمكانها إزالة جميع هذه الملوثات بسبب الحجم الكبير نسبياً لإنتاج ملوثات الهواء بخاصة المصانع الكبيرة، ومن هذهذ الطرق:

1- نشر هذه الملوثات على مساحة أكبر: وبذلك فقد تولدت فكرة تصميم المداخن الضخمة وفقاً للحسابات العلمية الدقيقة التي تأخذ بعين الاعتبار الارتفاع المطلوب وسرعة خروج الملوثات من المدخنة وسرعة واتجاه الرياح السائدة في المنطقة والخواص الفيزيائية للملوثات المتعلقة بسرعة انتشارها. ولكي يكون نشر الملوثات

وتخفيفها في الجو بصورة فعالة وأمينة فإن الأمر يتطلب أن يزيد ارتفاعات المداخن بمقدار مرتين ونصف عن ارتفاع أعلى بناية مجاورة للمصنع، كما يجب أن تؤخذ سرعة خروج الملوثات بعين الاعتبار.

2- استخدام الطرق التقنية الحديثة: كذلك يمكن السيطرة على الأنواع المختلفة لملوثات الهواء بوساطة الطرق التقنية الحديثة على الرغم من التكاليف الباهظة حيث سيتحملها المستهلكون بصيغة أسعار أعلى للبضائع المنتجة لذلك المصنع مع ضرائب أعلى وحدود أرباح منخفضة للصناعة، مع وضع قيود أكثر حزماً لنشاط حرق النفايات واستخدام السيارات. وقد لا تعطي الفوائد تحسينات في نوعية البيئة فحسب بل تتعداها إلى الصحة والزراعة في الإنتاج النباتي والثروة الحيوانية.

3- استخدام المرسبات الكهروستاتيكية: يمكن التحكم في التلوث الدقائقي بوساطة المرسبات الكهروستاتيكية القادرة على خفض كمية الدخان والغبار المنبعث إلى الجو. أما الملوثات الغازية فإن التخلص منها يكون **بالوسائل الكيميائية** المعتمدة في إحدى نظمها المستخدمة على القابلية التفاضلية لذوبان الغازات في الماء. ويمكن عن طريق الرش الدقيق للماء في جهاز يعرف باسم جهاز غسل الغازات Scrubber أن تُعزل الغازات ويجري التخلص منها بالترشيح أو الامتصاص بواسطة كربون منشّط Activated carbon. كما يمكن التخلص من أنواع أخرى من الغازات بتحويلها كيماوياً إلى مواد خاملة أو مترسبة أو غير ضارة.

بالنسبة إلى الملوثات الناجمة من حرق الوقود في محركات الاحتراق الداخلي للسيارات وما شابهها فقد اعتُمدت الطرق الأولية التي استنبطت **لخفض الانبعاثات الملوثة** كإعادة تدوير غازات العادم أو احتجازها في غرفة تفاعل حراري مساعدة لمدة زمنية أطول وعند درجات حرارية أعلى للوصول إلى تأكسد أفضل. وقد خفّض ذلك كميات أول أوكسيد الكربون والهيدروكربونات المنبعثة إلى حد ما. إلا أن مشكلة أكاسيد النيتروجين والرصاص لم تُحِل باستخدام هذه الطريقة.

وقد برزت في السبعينات من القرن العشرين فكرة حل هذه المشكلة للتخلص من أكاسيد النيتروجين والرصاص من خلال توفير وتهيئة ما يلي:

1- محركات أصغر
2- محركات أكثر كفاءة
3- كازولين خال من الرصاص
4- تصنيع محركات تعمل ببدائل غير ملوثة (محركات تعمل بالطاقة الكهربائية أو بالطاقة الشمسية...الخ)

وتلجأ الدول الصناعية والمتقدمة إلى سن القوانين للحد من تدهور نوعية الهواء. كما تسن قوانين للسلامة المهنية والمحافظة على الصحة من خلال وضع المواصفات للحد من أخطار التعرض للمواد السامة والخطرة أثناء العمل في المصانع والمهن الصناعية المختلفة.

وتجد بعض الدول نفسها مضطرة لتخطيط القطاع الصناعي بصورة أفضل مما هو عليه وذلك خلال مراعاة الأمور الآتية:

1- اختيار مواقع المنشآت الصناعية بعيداً عن المناطق السكنية وعلى أن لا تكون في المناطق المعرضة للرياح الشديدة. وتلجأ بعض الدول لعزل المناطق الصناعية عن المدن بأحزمة من الغابات والأشجار ما يدعى بالحزام الأخضر.

2- معالجة النفايات الصناعية المختلفة الصلبة والسائلة والغازية قبل إطلاقها إلى البيئة.

3- إنشاء مراكز ومحطات القياس والتحذير والتي تمارس دورها في المراقبة و الإبلاغ عن مستويات التلوث.

4- نشر الوعي البيئي بين الجمهور وإشراكهم في عملية اتخاذ القرارات في الحد من التلوث مثل تقليل استخدام السيارات الخاصة بخاصة المستهلكة منها واستخدام المواصلات العامة لتقليل عوادم المركبات من جهة وتوفير الطاقة من جهة أخرى. وقد اتبع عدد من الدول هذه التدابير كاليابان والدانمارك والسويد وإيطاليا واليونان وقد أدى هذا الإجراء في مدينة بروكسل في بلجيكا إلى خفض نسبة غاز ثنائي أوكسيد النتروجين في أيام العطل إلى 75% وغاز ثنائي أوكسيد الكربون إلى 90% مقارنة مع قيمها السابقة قبل اتخاذ هذا الإجراء.

5- وضع القوانين التي تجبر أصحاب المصانع على تحويل جزء من الأرباح إلى عمليات التحسين البيئي في مناطق وجودها للحفاظ على مستوى معين من نوعية البيئة.

6- التخطيط لاستغلال مصادر الطاقة البديلة النظيفة وغير الملوثة كالطاقة الشمسية والحرارة الأرضية والرياح والمد والجزر. واتجهت الجهود في الآونة الأخيرة ليس فقط لتقليل الحد من استهلاك الوقود الأحفوري بل وإلى تطوير استخدام الطاقات البديلة. ومن الأمثلة ما قامت به فرنسا بعمل محطة كهربائية في خليج رانس شمال غرب فرنسا منذ عام 1969 لتوليد الطاقة الكهربائية من طاقة المد والجزر وبطاقة إنتاجية لتصل إلى 24 ميجاواط. كما أن اليابان لها تجربتها باستغلال التيارات المائية في البحار لإنتاج الطاقة. وقد طورت بعض الدول المتقدمة آلية حديثة للاستفادة من طاقة المطبات الصناعية (المطبات الذكية)على الطرقات حيث يمكن توليد طاقة كهربائية من الضغط عليها عند مرور السيارات عليها.

7- تخطيط المدن بصورة أفضل ووفق أسس بيئية، ومراقبة نموها السكاني ونمو الأنشطة الاقتصادية بخاصة الصناعية وتخطيط حركة المرور وزيادة المساحات الخضراء في المدينة بإنشاء الحدائق وتشجير الشوارع والأراضي غير المستعملة. إذ يجب أن لا تقل المساحة الخضراء في المدينة عن 51% من مساحتها الكلية. إن زيادة المساحات الخضراء تعني زيادة إنتاج الأوكسجين وزيادة استهلاك ثنائي أوكسيد الكربون خلال عملية البناء الضوئي للنباتات، فضلاً عن القيمة الجمالية والترفيهية وتعديل المناخ للمدينة بما يعرف بالتنمية البيئية Environmental development. كما تتضمن عملية تخطيط المدن أيضاً تشجيع بناء المدن الصغيرة بدلاً من الاستمرار في توسيع المدن الكبيرة وعدم السماح بإقامة أنشطة صناعية جديدة وكبيرة مع ضرورة تحديد المسافات المناسبة بين المدن المتجاورة.

8- عقد المؤتمرات والندوات واللقاءات العلمية والاجتماعية والإعلامية للوصول إلى برامج وأهداف مشتركة بين بلدان العالم المختلفة والتركيز على أن التلوث الهوائي ليس له حدود وتبادل الخبرات في أحدث ما توصل إليه العلماء والباحثون في مجالات الحد من التلوث وحماية البيئة وتحسينها.

د. صخر عجوز