تلوث الهواء Air Pollution

يختلف تلوث الهواء من وقت إلى آخر ومن مكان إلى آخر تبعاً لبعض العوامل، من أهمها سرعة الرياح والظروف الجوية. فمثلاً تتفاعل أكاسيد النتروجين مع الهايدروكاربونات في وجود ضوء الشمس تحت ظروف جوية خاصة غالباً ما تكون في فصل الصيف لتنتج مواد كيميائية سامة مثل رباعي الأسيتيل بيروين وغاز الأوزون، وتؤدي هذه المركبات الكيميائية مع بعض المكونات الأخرى إلى ما يعرف بالضبخن أو الضباب الدخاني Smog، والذي في الغالب يكون لونه مائل إلى البني، ويحدث الضباب الدخاني في المدن المزدحمة بالسيارات مثل مدن لوس أنجلوس ونيويورك ولندن والقاهرة وغيرها. ومن أشهر ظواهر الضبخن هي التي حدثت في لندن عام 1952 والتي راح ضحيتها أكثر من 4000 شخص.

الضبخن Smog (Smoke + Fog = Smog): وضعت هذه الكلمة لوصف حالات الدخان – الضباب، وفي كثير من الأحيان يشار إلى تلوث الهواء في المناطق الحضرية بالضباب الدخاني والذي يكون على نوعين:

١) **الضباب الدخاني الكلاسيكي Classical Smog:** وهو نمط الضباب الدخاني الذي يحدث في لندن.
٢) **الضباب الدخاني الكيموضوئي Photo-Chemical Smog:** وهو نمط الضباب الدخاني الذي يحدث في لوس أنجلوس، لأنه يتشكل عن طريق تفاعلات كيميائية تتضمن ضوء الشمس.

Characteristics	Classical Smog	Photochemical Smog
First occurrence noted	London	Los Angeles
Principle pollutants	Sulphur oxides SOx and Particulate matter	Nitrogen oxides NOx, CO, Hydrocarbons, O_3 and Free radicals
Principle sources	Industrial fuel combustion	Motor vehicle fuel combustion
Effect on Human	Lung & Throats irritation	Eye irritation
Effect on compounds	Reducing	Oxidizing
Time of occurrence	Winter months (Morning)	Summer months (Midday)

تقدر خسارة العالم سنوياً بحوالي 5000 مليون دولار، بسبب تأثير الهواء على المحاصيل والنباتات الزراعية. ويعتبر تلوث الهواء من أسوأ الملوثات وأخطرها بالجو، وكلما إزداد عدد السكان في المنطقة الملوثة كلما زاد التأثير الخطر لهذه الملوثات. ومن الأسباب التي تجعل تلوث الهواء من أخطر المشاكل البيئية هي:

١. إنتقال الهواء الملوث بسرعة من منطقة إلى أخرى حسب سرعة الرياح وإتجاهها، مما يسبب صعوبة تفادي التلوث أو السيطرة عليه.
٢. يستنشق الإنسان يومياً كمية كبيرة من الهواء تقدر بحوالي 15 كلغم.

إن هذا التأثير المباشر لتلوث الهواء قد دفع الكثير من المؤسسات الحكومية والجمعيات والمنظمات العالمية ومنظمات المجتمع المدني، إلى إتخاذ إجراءات معينة للحد من تلوث الهواء والسيطرة عليه ورصد مصادره. إذ تشير الدراسات الخاصة بتلوث الهواء في شتى بقاع العالم إلى أن معظم ملوثات الهواء تنتج عن عمليات الإحتراق في القطاع الصناعي إضافةً إلى قطاع النقل.

(صورة تبين الضباب الدخاني ومدى إنتشار تلوث الهواء في المدن المزدحمة)

مصادر تلوث الهواء Air Pollution Sources

وهي المصادر الناتجة عن نشاطات الإنسان المختلفة، إذ تتمثل أهم مصادر تلوث الهواء الرئيسية بما يأتي:

١. قطاع النقل والمواصلات بكافة أنواعها.
٢. مراكز الإحتراق الثابتة أينما وجدت، وخاصةً محارق الطمر الصحي في المدن.
٣. المراكز والتجمعات الصناعية ومحطات توليد الكهرباء ومصافي النفط، وأية صناعة تولد إنبعاثات.

أنواع تلوث الهواء Air Pollution Types

١. **التلوث بالمواد الصلبة العالقة Suspended Particulate Matter**

وتشمل كل من الدخان وإنبعاثات عوادم السيارات ومولدات الكهرباء وتصاعد الأتربة، وكذلك حبوب اللقاح وغبار القطن وأتربة معامل الإسمنت، ويعبر عنها بالرمز (PM_{10}) وهي المواد العالقة التي تقل أحجامها عن 10 مايكرون.

٢. **التلوث بالمواد الغازية والأبخرة Gases and Vapors**

مثل غاز الكلور وأكاسيد النتروجين والكاربون، وثاني أوكسيد الكبريت، وغاز الأوزون إضافةً إلى الغازات المنبعثة عن عمليات التحلل مثل الميثان وكبريتيد الهيدروجين.

٣. **التلوث بالأحياء المجهرية Microbial Pollution**

وتشمل مخلفات عمليات التحلل للمواد العضوية مثل البكتيريا والفايروسات والعفن.

٤. **تلوث الهواء بالصوت (الضجيج أو الضوضاء) Noise Pollution**

ويتضمن الأصوات المرتفعة غير المنسقة الناتجة عن وسائل النقل وإشتغال المكائن والمعدات، وكذلك تلك الناتجة عن الأماكن المكتظة كالأسواق التجارية، والتي ستوضح في محاضرة لاحقة.

٥. **التلوث بالإشعاع Radioactive Pollution**

حيث تنبعث عن بعض النشاطات العلمية والعسكرية إشعاعات مختلفة تسبب خطورة كبيرة على الإنسان والكائنات الحية، وستوضح في محاضرة لاحقة.

ملوثات الهواء Air Pollutants

تصنف ملوثات الهواء إلى الملوثات الأساسية والملوثات الثانوية. فالملوثات الأساسية هي التي تتمثل بالأكاسيد الناتجة عن حرق الوقود بأنواعه والفحم الحجري والنشاطات الصناعية الأخرى، وينتج عنها إنبعاثات تتضمن ما يأتي:

١. أكاسيد الكاربون CO و CO_2.
٢. أكاسيد النتروجين (NOx) وهي كل من NO و NO_2 و N_2O.
٣. ثاني أوكسيد الكبريت SO_2.
٤. المادة الدقائقية Particulate Matters مثل المركبات الهايدروكاربونية متعددة الحلقات، إضافةً إلى أملاح الكبريت وأملاح النترات.
٥. مركبات عضوية متطايرة مثل البنزين والكلوروفورم والميثان.
٦. بخار الماء.

أما الملوثات الثانوية فهي تلك الناتجة عن التفاعلات التي تحصل بين الملوثات الأساسية أو الأولية ومكونات الهواء بوجود بخار الماء وأشعة الشمس، مثل الأمطار الحامضية والأوزون وغيرها.

ملوثات الهواء الأساسية أو الأولية Primary Air Pollutants

يعتبر التلوث البيئي الناجم عن العمليات الصناعية من أخطر أنواع التلوث وأكثرها تأثيراً على الإنسان والحيوان والنبات. مثال ذلك هو صناعة الإسمنت إذ تعتبر من الصناعات الملوثة للبيئة وخاصةً الهواء، سواء داخل بيئة العمل أو في البيئة المحيطة بالمعمل، وذلك لما تطرحه هذه المعامل في الجو من غبار وإنبعاثات غازية بدءاً من المقالع وصولاً إلى أقسام التعبئة والتسويق. وحتى وقت قريب كان الغبار والأتربة المنطلقة من المداخن في معامل الإسمنت تعتبر المشكلة البيئية الأهم والأخطر في صناعة الإسمنت، لكن ومنذ أواخر الثمانينات وبداية التسعينات إتسعت قائمة الملوثات الواجب أخذها بعين الإعتبار لغرض السيطرة عليها لتشمل ما يأتي:

- المادة الدقائقية Particulate Matter.
- أول أوكسيد الكاربون CO.
- ثاني أوكسيد الكاربون CO_2.
- أكاسيد الكبريت SOx.
- أكاسيد النتروجين NOx.
- المعادن الثقيلة (الرصاص Pb).
- الدايوكسين والفيوران Dioxins & Furans.
- المركبات الهايدروكاربونية Hydrocarbons.

المادة الدقائقية Particulate Matter (PM_{10})

وهي الجسيمات التي تنبعث من خلال مداخن المصانع وكذلك عوادم السيارات نتيجةً لإحتراق الوقود. وهناك العديد من الجسيمات التي لها آثار صحية سيئة على الإنسان، مثال ذلك إنبعاثات الرصاص الذي يضاف إلى البنزين للمساعدة في عملية الإحتراق وتقليل عملية الفرقعة في المحرك، إذ أن إنطلاق هذه المواد في الجو يسبب بعض المشاكل الصحية مثل نقص الكريات الدموية في جسم الإنسان، كما أن تراكم الرصاص في أنسجة الجسم يؤدي إلى إرباك في الجهاز العصبي فهو يؤثر على الأطفال بشكل خاص حيث يضعف الذكاء عندهم، الأمر الذي يؤثر على الحالة العقلية وقد يسبب التخلف العقلي في الحالات المتقدمة.

يحتوي الغلاف الجوي على كميات ضخمة من ذرات الغبار الدقيقة جداً والتي تسمى بالجسيمات Aerosols أو المادة الدقائقية Particulate Matter والتي تتكون عادةً من:

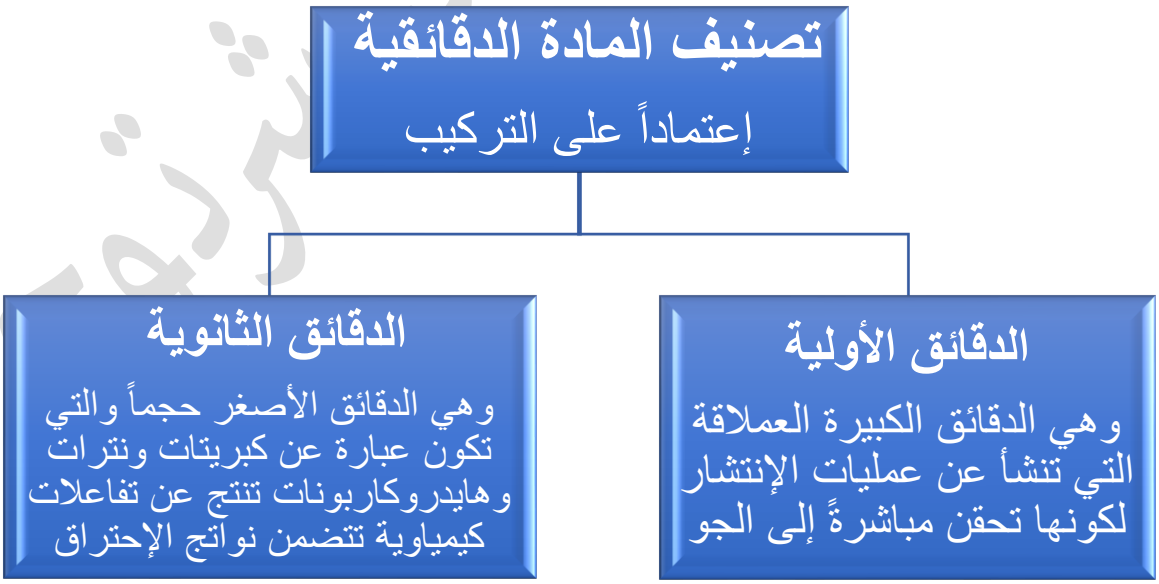
١. مواد صلبة غير غازية عضوية ولا عضوية.
٢. عناصر معدنية.
٣. قطرات حامضية وهايدروكاربونية.
٤. دخان من مختلف الأصناف والأحجام.

تقل أقطار المادة الدقائقية كثيراً عن 100 مايكرومتر (µm)، ويقدر تركيزها في الغلاف الجوي فوق اليابسة بحوالي 10000 جسيمة / سم^{3} كمعدل عام.

تكون المادة الدقائقية على شكلين هما:

A. **الهباء السائل Liquid Aerosol** وهو الذي ينتج عن عمليات التكثيف ويسمى بالسديم Mist.
B. **المادة الصلبة العالقة Suspended Solids** وهي التي تنتج عن عمليات التعرية أو السحق أو الرش وتسمى بالهباء الصلب أو الغبار Dust.

وتصنف المادة الدقائقية إعتماداً على التركيب:



أو قد تصنف إعتماداً على الخصائص وكما يأتي:

التأثيرات العامة للمادة الدقائقية General Effects of Particulate Matter

للمادة الدقائقية تأثيرات سلبية على مختلف جوانب الحياة بصورة عامة، ومن أهم هذه التأثيرات ما يأتي:

I. إختزال الرؤيا عن طريق إمتصاص وتشتيت ضوء الشمس.
II. تؤدي إلى تآكل الفلزات عند إرتفاع مستوى الرطوبة، ويتجلى تأثيرها في هذا المجال من خلال تلف وتآكل المعدات الكهربائية (الماسات الكهربائية) عبر فعل المادة الدقائقية الكيمياوي والميكانيكي.
III. التأثيرات السمية على الإنسان والحيوان، كالسمية الداخلية التي تنتج عن فعل بعض الخصائص الكيمياوية والفيزياوية للمادة الدقائقية، أو من خلال التدخل في آليات التنقية في القناة التنفسية أو إفراز مواد سمية داخل الجسم.

الإعتلالات الصحية الناتجة عن المادة الدقائقية (PM_{10}) Health Disorders Caused by وتتضمن:

١) إلتهاب القصبات المزمن Chronic Bronchitis المتمثل بالتلف الدائم للأنابيب القصبية، والذي يؤدي إلى فشل الأهلاب وفيض في إنتاج المخاط.

٢) الربو القصبي Bronchial Asthma المتمثل بحساسية الأغشية القصبية، والذي يؤدي إلى إنتفاخ الأغشية مسبباً أزيزاً وقصراً في التنفس.

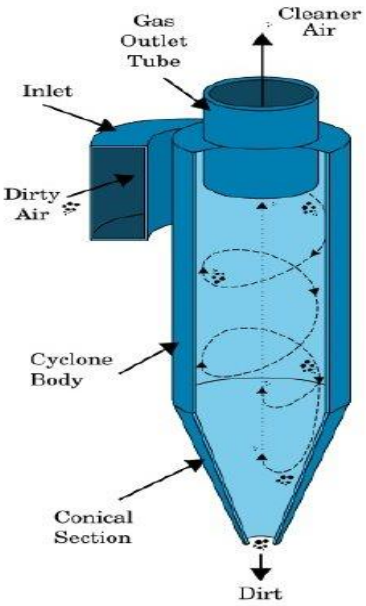
٣) إنتفاخ الحويصلات الهوائية Emphysema الناتج عن إنقباض القصيبات الهوائية، وقد يصل الإنتفاخ إلى إنفجار الحويصلة الرئوية مسبباً إنخفاضاً في ضخ الأوكسجين للدم.

٤) سرطان الرئة Lung Cancer وعادةً ما يحدث في المناطق الحضرية المكتضة نتيجةً لتركيب المادة الدقائقية المتضمن أبخرة بعض الفلزات والهايدروكاربونات العطرية المتفرعة مثل 3-4 Benzopyrene.

تقنيات السيطرة على المادة الدقائقية Techniques for Controlling Particulate Matter:

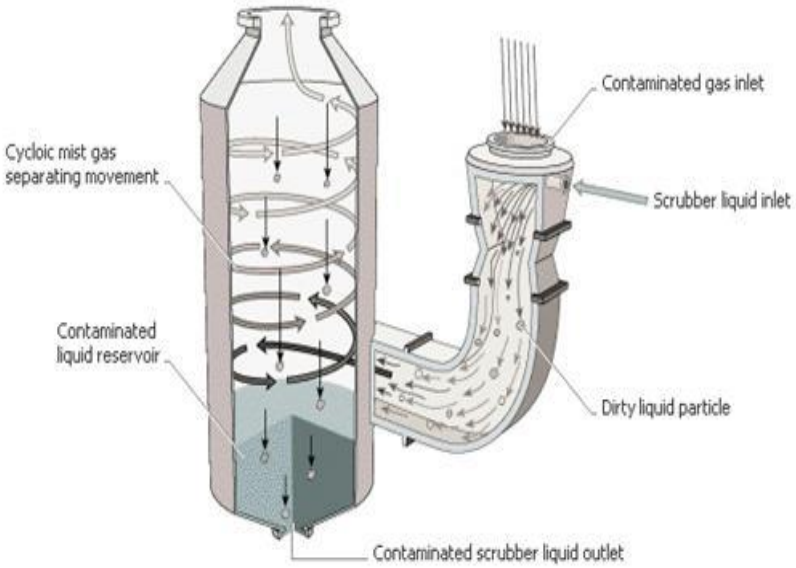
هناك بعض التقنيات التي تستخدم لغرض السيطرة على التلوث بالمادة الدقائقية أو التقليل منه لغرض الحفاظ على بيئة صحية خالية من التلوث ضمن المحددات البيئية المسموح بها، وهذه التقنيات يجب أن تستخدم في كل النشاطات الصناعية التي من شأنها توليد هكذا إنبعاثات ملوثة. ومن أهم هذه التقنيات:

أولاً: فاصلات الإعصار الحلزونية Cyclone Separators



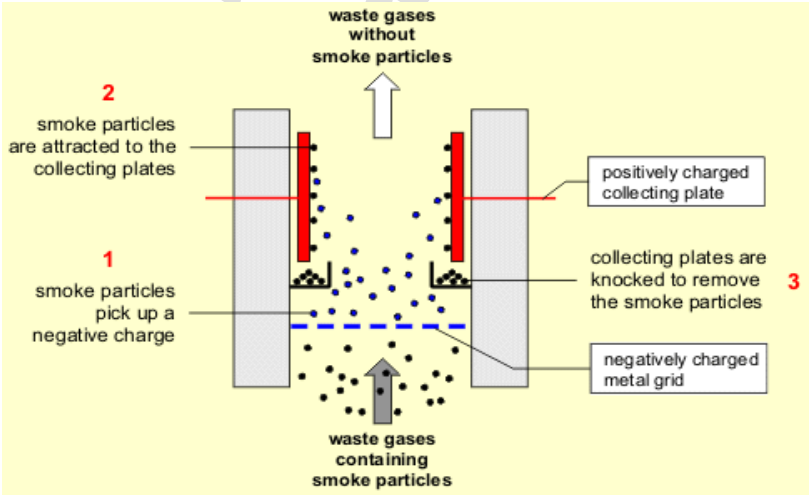
وهي عبارة عن تراكيب مخروطية الشكل يمر من جانبها الهواء الملوث بشكل حلزوني بسرعة معينة لتترسب جسيمات المادة الدقائقية وتخرج من أسفل المخروط وينطلق الهواء النظيف من الأعلى.

ثانياً: أجهزة الغسل الرطب Wet Scrubbers



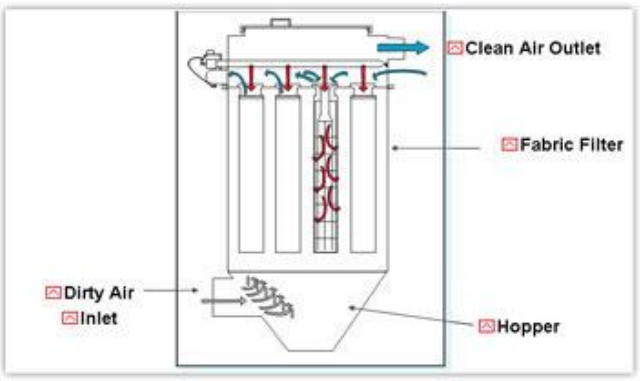
عبارة عن تراكيب إسطوانية الشكل تتصل بها منظومة لحقن المواد الكيميائية السائلة التي تستخدم لغسل الهواء الحاوي على المادة الدقائقية، حيث يدور الهواء بنظام ديناميكي معين داخل التراكيب الإسطوانية وفي نفس الوقت يرش محلول الغسل الكيميائي لغرض التخلص من المادة الدقائقية، فيخرج الهواء النظيف من أعلى المنظومة، ويُجمع محلول الغسل الحاوي على الجسيمات الملوثة من أسفل المنظومة لتتم معالجته لاحقاً.

ثالثاً: المرسبات الكهروستاتيكية Electrostatic Precipitators



وفيها يتم إستخدام تيار كهربائي شديد لغرض فصل أو سحب المواد العالقة من خلال التجاذب بين الشحنات الموجبة والسالبة للجسيمات من جهة وبين جدران المنظومة المصممة للسحب من جهة أخرى، حيث يتم جمع المواد العالقة التي ترسبت في الأسفل بعد الإنتهاء من عمل المنظومة.

رابعاً: المرشحات النسيجية Fabric Filters



تتشابه طريقة عمل المرشحات النسيجية مع طريقة عمل المكنسة الكهربائية المنزلية، حيث يمر الهواء المحمل بالجسيمات الدقائقية عبر تراكيب نسيجية تحت ضغط جوي متخلخل، حيث تَعْلَق الجسيمات الملوثة في هذه الفلاتر النسيجية ويطلق الهواء النظيف إلى الخارج.

أشكال ريش الإنبعاثات من مداخن المصانع:

ويقصد به شكل الدخان المنبعث من مداخن المصانع التي تنتج ملوثات هواء دقائقية، إذ يحمل الهواء هذه الجسيمات العالقة في دخان المصانع إلى مسافات وجهات بعيدة الأمر الذي يسهم في إنتقال التلوث إلى مناطق أخرى لم تكن ملوثة أصلاً، وتعتمد أشكال ريش الإنبعاثات على ظروف بيئية مختلفة.