

## **ثانياً : تلوث الهواء بالجسيمات** Particulates air pollutants

تعرف الجسيمات بأنها ما يحمله الهواء من دقائق صلبة أو سائلة تتطلق إليه من مصادر عديدة بأحجام وأشكال وألوان مختلفة وبنكهة كيميائي مختلف . وتنتج الجسيمات إما من مصادر طبيعية أم من نشاطات الإنسان المختلفة . وكما يلعب التركيب الكيميائي للجسيمات الملوثة للهواء دوراً كبيراً في الآثار الناجمة عن تأثير الحلقات البيئية على السواء ، فإن لحجم هذه الجسيمات أهمية كبرى . حيث أنه يحدد مسارها ومدى تأثيرها على الإنسان والحيوان والنبات والجماد .

يتراوح قطر الجسيمات الملوثة للهواء ما بين 0.002 إلى 500 ميكرومتر ويمكن لهذه الجسيمات أن تبقى عالقة في الهواء لزمن يتراوح ما بين بضع ثوان إلى عدة سنوات .

ويمكن تصنيف هذه الجسيمات تبعاً لحجمها إلى ما يلي :

## - 1- الجسيمات المتساقطة Settling Particulates

وهي تلك الدقائق التي لا تلتحم إلى الأرض بعد انطلاقها من مصادرها بتأثير الجاذبية الأرضية، ويطلق عليها اسم الغبار الساقط Dust fall . ويزيد قطر هذه الجسيمات عن عشرة ميكرومترات . ولهذه الجسيمات الساقطة تأثير خفيف على المجاري التنفسية لأن شعيرات الأنف تعمل على ترسيب جزء كبير منه وخاصة الجزيئات التي يزيد قطرها عن مئة ميكرومتر . ولكنها تملك تأثيراً كبيراً على العيون والمنشآت الصناعية والأبنية والممتلكات الاقتصادية .

وبلغة كمية الغبار الساقط في لندن حوالي 23 طن/كم<sup>2</sup>/شهر ، و 33 طن/كم<sup>2</sup>/شهر في مدينة أوزاكا اليابانية . وفي مدينة الرياض بلغت عام 1981 م 50 طن/كم<sup>2</sup>/شهر في المناطق السكنية و 270- 300 طن/كم<sup>2</sup>/شهر في مداخل المدينة ومنطقة معمل الأسمنت . علماً بأن الحد المسموح به هو 9 طن/كم<sup>2</sup>/شهر .

## - 2- الجسيمات العالقة الكلية Total Suspended Particulates

يرمز لهذه الجسيمات بالرمز TSP ، وهي تلك الجسيمات التي يتراوح قطرها من 0.1 إلى 10 ميكرومترات وتبقى فترة طويلة معلقة في الهواء ، أما ترسبها فبطيء ويتوقف على الظروف المناخية من رطوبة وحرارة ورياح وغيرها . وتعتبر الجسيمات العالقة أخطر الجسيمات الملوثة للهواء حيث من الممكن أن تصل إلى الرئتين وتستقر هناك . ويختلف تركيز الجسيمات العالقة المسموح بها من قطر آخر وذلك تبعاً لاختلافات البيئة والنشاطات الداخلية في الولايات المتحدة مثلاً يجب أن لا يزيد التركيز عن 260 ميكروغرام/م<sup>3</sup> خلال 24 ساعة وعن 75 ميكروغرام/م<sup>3</sup> . وتتراوح في مدينة الرياض بين 967 ميكروغرام/م<sup>3</sup> في المناطق السكنية و 2.6 ملي غرام/م<sup>3</sup> في مداخل المدينة ومنطقة معمل الأسمنت ، والحد المسموح به هو 0.5 ملي غرام/م<sup>3</sup> .

## - 3- الجسيمات العالقة الدقيقة Fine Suspended Particulates

وهذه الجسيمات صفيرة جداً وقطرها أقل من 0.1 ميكرومتر و من الصعب ترسبها ، ولها حركة عشوائية وقد تتجمع مع بعضها ليزداد حجمها إلى أكثر من واحد ميكرومتر . ويصل عددها في الهواء النقي عدة مئات في السنتيمتر المكعب ، أما في الأجزاء الملوثة فيصل عددها إلى أكثر من 100 ألف جزيئه في السنتيمتر المكعب . ولا تشكل هذه الجسيمات خطراً كبيراً على صحة الإنسان ، مع أنها تصل إلى الرئتين بسهولة ، حيث تستطيع الرئتين نفثها أثناء الزفير .

كما أنه يمكن تصنیف الجسيمات الملوثة للهواء تبعاً لطبيعتها إلى الأنواع التالية :

- 1 جسيمات الغبار Dust وهو مواد دقيقة صلبة وغالباً ما تكون خاملة لتفاعلات الكيميائية .
  - 2 جسيمات السخام أو السناج Soot وهي عبارة عن تجمع لذرات الكربون المنبعثة من الاحتراق .
  - 3 جسيمات الرماد Ash تتطلق مع غازات المدخن . وقد تحمل معها وقوداً غير محترق .
  - 4 جسيمات الدخان Smoke وهو دقائق صلبة قطرها أقل من ميكرومتر واحد وت تكون عندما تتكاثف الأبخرة أو عند حدوث تفاعلات كيميائية .
  - 5 جسيمات الأبخرة Fume وتنتج عن طريق التكتيف أو التفاعلات الكيميائية ويكون قطرها عادة أقل من واحد ميكرومتر .
  - 6 جسيمات الرذاذ Mist وت تكون من سائل عالق في الهواء ولا يزيد قطرها عن 2 ميكرومتر .
  - 7 جسيمات الأيروسولات Aerosols وهي عبارة عن دقائق صلبة أو سائلة متاخرة الصغر لا تراكم أبداً ، ويكون قطرها بصورة عامة أقل من ميكرومتر واحد .
- وتنتج الجسيمات إما من مصادر طبيعية أو من نشاطات الإنسان المختلفة . وتمثل الجسيمات الناتجة عن المصادر الطبيعية في الرمال وجزيئات التربة وذرات الأملاح بالقرب من شواطئ البحار والغبار البركاني . أما الجسيمات الناتجة من نشاطات الإنسان فهي جسيمات عضوية وأخرى غير عضوية . وتنتج الجسيمات العضوية من احتراق الفحم والنفط والخشب والنفايات وتتألف بصورة أساسية من الكربون وتحتوي على العديد من المركبات المسيبة للسرطان إضافة إلى الجسيمات الناتجة من المبيدات الكيميائية والصناعات الكيميائية والغذائية . أما الجسيمات غير العضوية فتنتج من صناعة التعدين والصناعات الكيميائية غير العضوية وصناعة مواد البناء وشق الطرق وحركة وسائل النقل وصناعة الأسمنت والزجاج وغيرها .
- ومن أخطر الجسيمات الملوثة للهواء هي جسيمات مبيدات البكتيريا والفطريات والقوارض والحشرات والأعشاب . والتي تبقى عالقة في الهواء لفترات طويلة حتى تسقط مع الأمطار إلى التربة المستطحات المائية أو تمتصها بعض ملوثات الهواء الأخرى .
- وتحوي الجسيمات الدقيقة العالقة بالهواء على العديد من العناصر الثقيلة السامة مثل الزئبق ودقائق الرصاص والكادميوم والزرنيخ والبريليوم والنيكل .

## • تلوث الهواء بالعناصر المعدنية

### 1- الرصاص Lead

تعتبر جسيمات الرصاص أحد ملوثات الهواء التي تتبعث من مصادر متعددة يستخدم فيها الرصاص ومركباته كمواد خام كما هو الحال في صناعة مبيدات الحشرات المختلفة والدهانات وصناعة البطاريات . كما تستخدم مركبات الرصاص المختلفة مثل كبريتيد الرصاص وكرومات الرصاص في الطلاء وفي صناعات مختلفة مثل صناعة صفائح المنازل والقصدير وحروف الطباعة . ويعتبر استخدام الرصاص مع وقود السيارات على هيئة مركبات هالوجينية مثل رابع إيثيل الرصاص أحد المسبيات الرئيسية لتلوث الهواء بجسيمات الرصاص ، حيث تحول إلى مركبات غير عضوية تتبعث من عوادم السيارات إلى الهواء .

### 2- الزئبق Mercury

ويعتبر الزئبق من الملوثات التي حظيت باهتمام كبير ولاسيما بعد معرفة أن الزئبق العضوي يتتحول إلى صورة عضوية سامة هي ميಥيل الزئبق Methyl Mercury عن طريق بعض الكائنات الدقيقة ويتركز في العظام . ويعتبر الزئبق ملوثاً جوياً خطراً ذلك لأنّه يوجد في صورة بخار زئبق ، ويسبب بخار الزئبق آثاراً تدميرية للجهاز العصبي المركزي . وأهم مصادر الزئبق الجوي هي الأصباغ ومصانع محطات الطاقة التي تعمل بالفحم ومحطات تصنيع الزئبق .

### 3- الكادميوم Cadmium

يوجد الكادميوم في الطبيعة بتركيز منخفض في الماء والتربة ، كما تطلق جسيمات الكادميوم إلى الهواء بسبب استخدامه في صناعات متعددة ، فمركبات الكادميوم تستخدم كعوامل مضادة للاحتكاك ويستخدم في الصناعات الكهربائية وفي المفاعلات النووية . وتكون خطورة التلوث بجسيمات الكادميوم في خاصية التراكم الحيوي لهذا العنصر ، حيث تتساقط جسيمات الكادميوم وتغسل من الهواء مع الأمطار ثم تتركز في أنسجة النباتات لتنقل بعد ذلك إلى الحيوانات ثم إلى جسم الإنسان بعد أن يزداد تركيزها في كل مرحلة من المراحل المترابطة . ويتراكم الكادميوم في الأعضاء التنسالية والكلية والكبد ليسبب تسممات عديدة قد تسبب تشوهات جنينية وبعض أنواع السرطان . ووفقاً لذلك فإن الحد المسموح به مثلاً في الولايات المتحدة الأمريكية لتلوث الهواء بالكادميوم هو 0.1 ملagram/m<sup>3</sup> على هيئة أبخرة أو 0.2 ميكروجرام/m<sup>3</sup> على هيئة جسيمات حاملة للكادميوم .

## 4- الزرنيخ Arsenic

يعتبر الزرنيخ من العناصر واسعة الانتشار في الطبيعة ويستخدم في صناعة مبيدات الآفات الحشرية وفي تحضير بعض المواد الطبية ، كما يستخدم الزرنيخ كمادة حافظة للخشب . ويتوث الهواء ببخار وجسيمات مركبات الزرنيخ ، حيث تقوم بعض أنواع من الفطريات بتحويل الزرنيخ إلى بخار الزرنيخ السام . وللزرنيخ خاصية التراكم الحيوي ، حيث أنه يتراكم على طول السلسلة الغذائية ليصل ويتراكم بعد ذلك في أنسجة جسم الإنسان . ويعتقد أن سبب سمية بخار الزرنيخ ومركبات الزرنيخ هو أنه يعمل على إحباط تفاعلات الأكسدة الفسفورية في الجسم بسبب تناقض الزرنيخ مع الفسفور في التفاعلات الحيوية .

### • مصادر الملوثات الجسيمية :

تبعد إلى الهواء العديد من الملوثات الجسيمية من العديد المصادر الصناعية والطبيعية . ويعتبر احتراق الوقود من النفط والفحم الحجري وفحم الخشب النباتي من المصادر الأساسية لتلوث الهواء بالجسيمات والهيدروكربونية والألياف المعدنية . كما يعتبر استخدام مبيدات الحشرات والقوارض والنباتات الصغيرة من مصادر تلوث الهواء بالجسيمات الكيميائية الفعالة شديدة الخطورة . وتشكل مصانع الأسمنت ومحطات تصنيع الحجر الجيري وحجر الرمل مصدرًا لتلوث الهواء بالجسيمات خاصة إذا كانت هذه المصانع لا تستخدم مرشحات لحجز الجسيمات . كما أن استخدام مواد التنظيف المختلفة يؤدي إلى انطلاق كميات كبيرة منها على شكل جسيمات أو على شكل رغوة ، وتتعلق إلى الهواء أيضًا ألياف غير معدنية كألياف السيليوز من المناجر وألياف قطنية من مصانع الملابس . هذا بالإضافة إلى الألياف المعدنية (الإسبستوزات) التي تتطلق من ورش تصليح السيارات وصناعة الألمنيوم ومن استخدام فرامل السيارات . كما تساهم الصناعات الغذائية المختلفة في تلوث الهواء بالجسيمات المتعددة . بالإضافة إلى ما سبق ، فإن وجود ملوثات أولية غازية في الهواء يؤدي إلى تكون جسيمات صلبة أو سائلة ، حيث تتكون جسيمات الكبريتات من أكسيد الكبريت ، وجسيمات النترات من أكسيد النيتروجين ، ويكون رذاذ الأحماض من تلوث الهواء بأكسيد النيتروجين وال الكبريت . وتشترك بعض المصادر الطبيعية في تلوث الهواء بالجسيمات ، حيث تحمل الرياح جسيمات الأتربة والغبار ، وكذلك تتطلق حمم البراكين حاملة معها جسيمات عديدة بعضها تحمل مواد مسرطنة وتساهم الرياح والأمواج في حمل رذاذ الأملاح من مسطحات البحار والمحيطات .

## • تأثير الجسيمات الملوثة للهواء على صحة الإنسان :

تؤثر الجسيمات على صحة الإنسان بدرجات متفاوتة تبعاً لحجمها وطبيعتها الكيميائية المختلفة . فالجسيمات الكبيرة الحجم التي يزيد قطرها عن 50 ميكرومتر لا تعتبر شديدة الخطورة على صحة الإنسان حيث تتمكن الشعيرات المبطنة للجيوب الأنفية من التقاطها ومنعها من النفاذ إلى الرئتين . أما الجسيمات الدقيقة التي يتراوح قطرها إلى ما دون 10 ميكرومتر فهي شديدة الخطورة على صحة الإنسان .

وقد لوحظ أن تأثير الجسيمات يكون أكثر ضرراً مع وجود ملوث آخر في الهواء ، حيث أن بعض الجسيمات الملوثة للهواء خاصية الامتصاص Adsorption حيث أنها تدمص بعض الملوثات الغازية إلى سطوحها وتدخل إلى الرئتين حاملة تأثيراً مزدوجاً . وعندما يصل تركيز الجسيمات (100 - 130) ميكروجرام / م<sup>3</sup> فإن ذلك يؤدي إلى زيادة الحالات المرضية للجهاز التنفسى عند الأطفال ، وإذا وصل التركيز إلى 300 ميكروجرام / م<sup>3</sup> زادت حالات الالتهاب للشعيرات الهوائية . وعندما يصل التركيز إلى 750 ميكروجرام / م<sup>3</sup> فإن ذلك يؤدي إلى زيادة الوفيات بين الأطفال وكبار السن . وتتجدر الإشارة هنا إلى أن للتركيب الكيميائي للجسيمات الملوثة للهواء أثراً كبيراً في تحديد مسار تأثير هذه الملوثات على صحة الإنسان .

وعند الحديث عن الجسيمات الملوثة للهواء فلابد من الحديث عن واحد من أخطر هذه الملوثات ، ألا وهي جسيمات الأسبستوزات Asbestoses . وهي عبارة عن ألياف معدنية دقيقة تتطلق إلى الهواء بسبب العمليات الصناعية . ولبعض هذه الجسيمات القدرة على احتراق الجلد محدثة تقرحاً به ، كما أن الجسيمات الدقيقة منها يمكن أن تصل إلى الحويصلات الهوائية لتستقر هناك بقية الحياة وتتراكم مع مثيلاتها مسببة ما يعرف بالتحجر الرئوي ، وتسبب التهاباً خاصاً لأنسجة الرئة يسمى الالتهاب الأسبستوزي Asbestosis مما ينتج عنه صعوبة في تبادل الغازات ، حيث أن معظم الشعيرات الدموية تصبح مغطاة بالتليف الناتج عن التهاب الحويصلات الهوائية .

## ثالثاً : ملوثات الهواء الثانوية Secondary pollutants

ويقصد بالملوثات الثانوية تلك الملوثات الضارة التي تنتج عن وجود ملوثات أولية Primary pollutants في الهواء . حيث أن انبعاث العديد من الملوثات الأولية إلى الهواء ومع وجود الأكسجين والنيتروجين وبخار الماء وأشعة الشمس وغيرها يؤدي إلى دخول هذه الملوثات في تفاعلات كيميائية تؤدي إلى تكوين ملوثات أخرى جديدة هي الملوثات الثانوية . ومن أشهر ملوثات الهواء الثانوية : الضباب (الدخاني والكيمياضوئي) والمطر الحمضي .

- الضباب (الدخاني والكيمياضوئي):

عند اتحاد كل من الضباب مع الدخان يتكون ملوث جديد يعرف باسم الضبخان Smog وهو عبارة عن تجميع لكل من كلمتي دخان Smoke وضباب Fog. ويختلف الضباب الكيمياضوئي والذي يعرف أيضاً بضباب لوس أنجلوس Los Angelos Smog عن الضباب الدخاني والذي يعرف أيضاً بضباب لندن London Smog . ينشأ الضباب الدخاني من تراكم الملوثات الأولية للهواء أساساً كالدخان وثاني أكسيد الكبريت مع وجود تركيز عالي من بخار الماء وتفاعلها معاً . وعادة يتكون الضباب الدخاني في الشتاء عند درجات حرارة منخفضة قريبة من الصفر المئوي وعندما تكون سرعة الهواء هادئة . وقد أصبح هذا النوع من الضباب مشكلة كبيرة في كثير من المدن التي تستخدم الفحم للتدفئة والتي تزدحم بالسيارات حيث يؤدي إلى تهيج العيون والحنجرة والبطانة المخاطية للجهاز التنفسى وتقلل من مدى الرؤيا وتلحق أضراراً كبيرة بالنباتات والأعمال الفنية والممتلكات الاقتصادية . ومن أمثلة ذلك ما حدث في لندن حيث أدى إلى وفاة 1000 شخص في لندن عام 1956 م. في حين يتكون الضباب الكيمياضوئي Photochemical Smog بسبب التفاعلات بين الملوثات الأولية ومكونات الهواء الطبيعية تحت أشعة الشمس.

### الأمطار الحمضية : Acid Rain

يعتبر تلوث الهواء بغازات أكسيد الكبريت وأكسيد النيتروجين بالإضافة إلى غاز كلوريد الهيدروجين السبب الرئيسي لتكون المطر الحمضي . حيث تتحد هذه الغازات كملوثات أولية مع قطرات بخار الماء مكونة قطرات مائية محتوية على تراكيز من حمض كبريتيك وحمض نيتريك وحمض هيدروكلوريك ، تغسل مع المطر بشكل مطر حمضي يسقط على الأشجار فيؤدي إلى جفافها وعلى البحيرات والأنهار فيؤدي إلى هلاك الأسماك والكائنات المائية فيها .

وتعتبر الأمطار الساقطة أمطاراً حمضية إذا كانت درجة حموضتها (الأس الهيدروجيني) pH أقل من 5.6 وعندما يصبح الأس الهيدروجيني للمسطحات المائية أقل من 5.6 فهذا يعني أنها أصبحت ملوثة بالمطر الحمضي . أما المطر الطبيعي ومياه المسطحات الغير ملوثة بالمطر الحمضي فيزيد أسها الهيدروجيني عن 5.6 .

ومن أضرار هذه الأمطار الحمضية تلك التي لوحظت في وسط أوروبا ، والتي تتلقى في الوقت الحاضر ما يربو على واحد غرام من الكبريت على كل متر مربع من التربة سنوياً ، أو ما يزيد خمس مرات على الأقل على المعدل الطبيعي . ولم تكن هناك أدلة تذكر على تضرر الأشجار في أوروبا في عام 1970 م ، أما في عام 1983 فقد تحدثت ألمانيا عن تضرر الأوراق بصورة ملحوظة غاباتها بنسبة 34 %

وازدادت إلى 53 % عام 1985 م . وتحدث السويد عن وقوع أضرار في 30 % من غاباتها و 59 % في هولندا و 52 % في سويسرا و 59 % في تشيكوسلوفاكيا و 38 % في فرنسا . وحتى الآن فإن ما يقدر بـ 14 % من جميع أراضي الغابات الأوروبية قد أصابها الضرر .

كما أن التربة في مناطق من أوروبا أخذت تصاب بالتحمض مما يؤدي إلى أضرار بالغة ، كان انخفاض نشاط البكتيريا المثبتة للنيتروجين مثلاً وانخفاض معدل تفكك المادة العضوية مما أدى إلى زيادة سمامة طبقة البقايا النباتية إلى الحد الذي أصبحت فيه تعوق نفاذ الماء إلى داخل التربة . وقد أدت هذه التأثيرات إلى انخفاض إنتاج الغابات .

كما أثرت الأمطار الحمضية على البحيرات . فتبين الدراسات أن 18 ألف بحيرة من أصل 85 ألف بحيرة قد تأثرت بالأمطار الحمضية . وأدت الأمطار الحمضية في بعض هذه البحيرات إلى موت كثير من الكائنات الحية التي تعيش فيها وخاصة الأسماك والصفادع .