الباب الأول

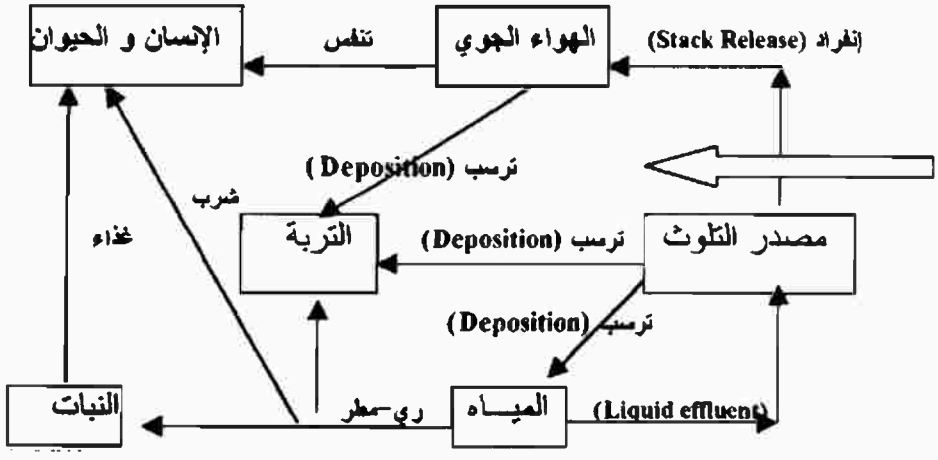
صور ملوثات الهواء الجوي و العوامل المؤثرة علي عملية الاستنشاق

صور ملوثات الهواء الجوى و العوامل المؤثرة علي عملية الاستنشاق

غالبا ما يظهر تلوث الهواء الجوي بالمدن و المناطق المحيطة بها بصورة أكبر لانتشار وسائل النقل في معظم ساعات اليوم خاصة في وقت الذروة (Rush hour) علاوة علي انتشار المؤسسات الصناعية (كالمصانع المختلفة خاصة مصانع البتروكيماويات و معامل تكرير البترول و محطات الكهرباء ووسائل التدفئة و هو ما يؤدي في جملته إلي تغير الصفات الطبيعية و الكيميائية لكتلة الهواء الجوي بصفة خاصة و لباقي مكونات النظام البيئي (Ecosystem components) بصفة عامة كالمسطحات المائية (أنهار و بحار و بحيرات و محيطات) و اليابسة ، شكل رقم (١-١) .

وتزداد درجة تلوث الهواء الجوي بدرجة أكبر بالمدن المزدحمة و الآهلة بالسكان (دورة السموم في مكونات النظام البيئي - للمؤلف) .

وتوجد السموم و الملوثات البيئية(Environmental Toxicants & Pollutants) والملوثة للهواء الجوى المستنشق بإحدى الصور التالية:



شكل رقم (١-١) : مسارات تلوث الهواء الجوي

١-١-ملوثات و سموم بيئية في صورة غازية (Gas Phase) :

حيث تمثل ملوثات الهواء الغازية حوالي ٨٨-٩٠ % من الملوثات الهوائية (أول أكسيد الكربون ٥٢ % و أول أكسيد الكبريت ١٨ % و الهيدروكربونات ١٢ % و أكاسيد نيتروجينية ٦%) و تمثل النسبة الباقية وهي ١٠-١٢ % الغيوم (Mists) وهي جزيئات سائلة أو صلبة بصورة حبيبات دقيقة جدا و مبعثرة بالهواء الجوي حيث تكون لجزيئاتها المقدرة على الحركة و الانتشار و التخلل و غالبا ما تكون درجة غليانها منخفضة جدا فهي ملوثات غازية علي درجة ٢٥ °م و ضغط جوي ٧٦٠ ملم ز وهى إما :

١-١-١-غازات سريعة الذوبان :

كالامونيا وكغازات المطبخ (Gas Cooking) المؤثرة على المسالك التنفسية العليا والقصبة الهوائية .

١-١-٢-غازات متوسطة الذوبان :

كغاز الكلور وثاني أكسيد الكبريت والمؤثرة على المسالك التنفسية مسببة اختناق حاد يؤدى إلي ارتشاح رئوي.

١-١-٣-غازات بطيئة الذوبان :

مثل فوق أكسيد النتروجين و الفوسفين حيث يظهر تأثيرهما بعد عدة ساعات من التعرض في صورة اختناق رئوي حاد يؤدي لارتشاح رئوي.

١-٢-في صورة سائلة متطايرة(Liquid Phase Volatile)

وهى مركبات سائلة ذات درجة غليان منخفضة تتسامى بتعرضها للهواء الجوى وتتحول لغاز .فأي مركب في الدم له درجة تطاير كافية سوف يمر من الدم عبر أغشية الحويصلات الهوائية بالرئة ويخرج بالزفير مثل المدخنات المستنشقة (Exhaled) و غازات التخدير(Anesthetic) و أبخرة البنزين ورابع كلوريد الكربون (٧٧ °م) وغازات التدخين السائلة كالميثيل بروميد (٣,٦ °م) وأكسيد الإيثيلين (١٠,٧ °م) وحمض الهيدروسيانيك (٢٦°م) وبعضها بطئ البخر مثل كبريتور الكربون (٤٦°م) و اليارا داى كلوربنزين(١٧٣°م) وبعض

المذيبات العضوية المتطايرة أو ممثلات مواد سامة غير متطايرة مثل سيانيد الفينيل و الكلوربكرين (ترای كلور نيتروميثان) (١١٢°م)
والجدول التالي رقم (١-١) يوضح الحد الأقصى المسموح به من الملوثات في هواء منطقة عمل (Maximum Allowable Concentration : MAC_{ww}) .

و من الأهمية بمكان في هذا الصدد الأخذ في الاعتبار بأن الغازات و الأبخرة الملوثة للهواء غالبا ما تمتص بصفة عامه في مكان انفرادها حيث مكان انفرادها قريب الصلة جدا بمعدل ذوبانها أو تفاعلها . فامتصاص الغازات خلال المخاط (Mucus) بالجهاز التنفسي و ألا نسجه المختلفة بالجهاز الدوري يكون من خلال عملية الانتشار (Diffusion) حيث تكون القوه المؤدية لذلك هي الضغط الجزئي (Partial pressure : Pa) أو الجذب (Tension) والذي له صله بالتركيز (جم /سم^3) ولكن لا يساويه و عند الاتزان يكون الضغط الجزئي على الجانبين متساوي و يطلق على معدل التركيزات بكلا جانبي الطبقة الحاجزة بمعامل الذوبان أو معامل التجزيء (Partion or Solubility Coefficient : λ) .

وفى حالة الإتزان تكون التركيزات على جانبي الغشاء هي نفسها إذا ما كان المعامل (λ) = ١ . ولقد تم تعريف قيمة هذا المعامل للعديد من المواد المنتقلة كالهواء -السوائل و السوائل- أجسم صلبه و السوائل- سوائل .

والمكان الذي تمتص عليه الملوثات البيئية الغازية والأبخرة يكون كبير بحيث يصعب تقديره الذوبان الليبيدى للمادة المرغوبة .

١-٢-١-امتصاص الملوثات البيئية الغازية والأبخرة ذات معامل الذوبان(λ) أكبرمن ١٠ :

إذا كان الهواء المحتوى على الغاز له معامل ذوبان كبير فإنه يمر بطول الجهاز التنفسي و يمتص منه قدر معقول خلال المخاط و الأنسجة . فعندما يستنشق الهواء فإن الضغط الجزئي له ينخفض بسرعة خاصة في المستويات العميقة من القناة التنفسية ، وإذا ما تم التنفس من خلال الأنف فإن مساحة الأنف الكبيرة تؤدى لخفض تركيز الغازات و الأبخرة بالهواء المتنفس حتى يصل إلى الحنجرة (Larynx) ولهذا لا ينتقل من مخلوط الهواء شيء الى الحويصلات الهوائية . أما إذا تم التنفس من خلال الفم فإن الغازات و الأبخرة سوف تتخلل لأعماق أكبر في القناة التنفسية .

جدول رقم (١-١): الحد الأقصى المسموح به (MAC_{ev}) بجو المعمل والجو الخارجي لبعض الملوثات البيئية والسموم :

الملوث	تعرض ٧ س عمل بالجو الداخلي		تعرض ٧ س عمل بالجو الخارجي		الملوث	تعرض ٧ س مل بالجو الداخلي		تعرض ٧ س عمل بالجو الخارجي	
	PPM	ملج/م ٣	PPM	ملج/م ٣		PPM	ملج/م ٣	Ppm	ملج/م٣
الأوزون	٠,١	٠,٢	٠,٠٠٣	٠,٠١	أسيتون	١٠٠٠	٢٥٠٠	٣٣	٨٠
أول أكسيد الكربون	٥٠	٦٠	٢,٥	٢,٩	كلوروفورم	٥٠	٢٥٠	١٠٧	٨
ثاني أكسيد الكربون	٥٠٠٠	٩٠٠٠	٥٠٠	٩٠٠	فينول	٥	٢٠	٠,٠١	٠,٠٤
ثاني أكسيد الكبريت	٥	١٣	٠,٠٠٧٥	٠,٢	إيثير ايثيل	٤٠٠	١٢٠٠	١٥	٥٠
أول كلوريت الكبريت	١	٥,٠	—	—	كحول إيثيلي	١٠٠٠	١٦٠٠	٤٠	٧٥
كبريتد الهيدروجين	٣٠	٢٨	٠,٠٠٧	٠,٠٠٣	سيكلو هكسانون	٥٠	٢٠٠	١,٥	٦
ثاني كبريتد الكربون	٢٠	٦٠	٠,٠٢	٠,٠٦	كحول ميثلي	٢٠٠	٢٥٠	٢	٢,٥
أول أكسيد النتروجين	٥	١٠	٠,١	٠,٢	هكسين	٥٠٠	٢٠٠٠	٢٠	—
سيانيد الأيدروجين	٠,٠٥	٠,٣	٠,٠٠٢	٠,٠٠٥	هبتين	٥٠٠	٢٠٠٠	٢٠	—
كلوريد الهيدروجين	٥	٧	٠,٠٨	٠,٠٧	زيلين	٢٠٠	٩٠٠	٦	٢,٥
فلوريد الهيدروجين	٣	٢,٥	٠,٥	٠,٠٩	تلوين	٢٠٠	٨٠٠	٦	٢٥
سيانيد الهيدروجين	٠,٠٥	٠,٣	٠,٠٠٢	٠,٠٠٥	رابع كل الكربون	٢٥	١٩٠	١	٦
الفوسجين	١	٤	٠,٠٣	٠,١٥	فورمالدهيد	٥	٦	٠,٢	٠,٢٥
الكلور	١	٢,٩	٠,٠٣	٠,٠٩	خلات الاثيل	٤٠٠	١٥٠٠	١٥	٦٠
الامونيا	١٠٠	٧	٣,٢٥	٢,٥	حمض خليك	١٠	٢٥	٣٥	٠,٨٥
البروم	١	٦	—	—	خلات الزنك	١٠	٢٥	٠,٢	٠,٥
نيتروبنزين	١	٥	٠,٠٣	٠,١٥	فوسفن	٣,٥	٣,٥	٠,٠٣	٠,١

أما في عملية الزفير (Exhalation) فإن الهواء يغادر الحويصلات وهو خالي من هذه الملوثات البيئية الغازية وينفرد جزء من الغازات الممتصة مرة أخرى مع هواء الزفير ، أما إذا كان الغاز نشط كيميائيا فإن كميه من الممتص سوف تكون قادرة على الدخول لمجرى الدم فالجهاز الدوري و منه تنتشر خلال أنسجة الجسم المختلفة .

أما إذا كانت المادة عالية النشاط الكيميائي فإن الغاز يكون جاهز للتحول في طبقة المخاط أو الطبقة الطلائيه ويتوقف ذلك على نواتج التفاعل المتطايرة و التي يتم التخلص منها مع حركة المخاط أو مع الهواء الخارج أثناء عملية الزفير .

أما إذا كانت مادة الغاز الملوث المستنشقة لها تأثيرات سامه في تركيبات الأنف أو الفم التشريحية فإن موقع الفعل التسممي يختلف بين الأنواع المختلفة .

١-٢-٢-امتصاص الملوثات البيئية الغازية والأبخرة ذات معامل الذوبان(λ) أقل من ٥:

غالبا ما يكون امتصاص الغازات و الأبخرة ذات معدل الذوبان المنخفض في المسالك الهوائية العليا (Upper air ways) ويكون محدد و يعتمد على نشاطها الكيميائي ، كما أن الامتصاص خلال الدم أيضا يكون قليل الأهمية . أما إذا كان الغاز و الأبخرة له نشاط كيميائي منخفض فإنه سيمر عبر الجسم حتى طلائية الحويصلات الهوائية و يتزن مع الدم و الأنسجة الأخرى التي يصل إليها بالجسم .

وهنا تظهر التأثيرات السامة في كل من الجدر و القناة التنفسية و يكون ذلك جهازيا .

أما إذا كان الغاز والأبخرة له نشاط كيميائي عالي فإن تأثيرها السام سيكون محصور (مقيد) بالجهاز التنفسي ويكون تركيزها بالأنسجة غالبا قليل .

١-٢-٣-امتصاص الملوثات البيئية الغازية والأبخرة ذات معامل الذوبان(λ) بين ١,٠-أقل من ١٠:

حيث يكون امتصاص مثل هذه الغازات والأبخرة محدود في المسالك الهوائية العليا وهنا لا تلعب الغازات دور مميز في التبادل الغازي مع الدم خاصة إذا

ما كانت المادة الكيميائية نشاطها منخفض . فالملوثات الغازية ذات معامل التجزيء (الذوبان) العالي فإن ضغطها الجزئي في الحويصلات الهوائية سوف ينخفض بحده نتيجة تناولها مع الدم بمجرد دخولها الجسم فضغطها الجزئي في الدم هو فقط جزء من الهواء المتنفس . وسعة الامتصاص لهذه الملوثات الغازية في الجسم غالبا ما تكون عالية حيث التركيز الجهازي لمثل هذه الغازات غالبا ما يرتفع تدريجيا و ببطيء (دقائق لساعات) .

وكل المواد المخدرة و المتعاطاه عن طريق الاستنشاق تنتمي لهذه المرتبة من الغازات و الأبخرة ففعلها جهازي تماما . وبأخذ ذلك في الحسبان واعتمادا على معامل التجزيء فإن هذه المواد تكون أتربعه (سيكل أتروبان :(λ) =٠,٥) أو بطيئة (داى ايثيل أيثر :(λ) =١٠) و عليه فالمواد ذات النشاط الكيميائي المنخفض لا تتراكم وأغلبها يكون في حالة أتزان وهو ما يخالف الغازات و ممثلاتها النشطة كيميائيا (السامة) وإذا كانت هذه الملوثات الغازية غير متطايرة فإنها تظل بالجسم وتتراكم حيويا به (Bio accumulation) في أنسجه متخصصة بالجسم وذلك لذوبانها العالي أو لارتباطها الموضعي .

وإزالة الملوثات الغازية من الجسم يتحدد بواسطة نفس عمليات انتشارها كالامتصاص و الذي يأخذ مكانه وطريقه خلال الجهاز التنفسي وهنا يجب الإشارة إلى أن بعض كميات من هذه الملوثات و السموم الغازية و كذلك ممثلاتها الغير متطايرة يمكن و أن تخرج عن طريق الكلى .

١-٣-صورة أيروسولات (Aerosols):

وهى بصورة معلقات صلبة أو نقاط سائلة في وسط غازي أو نقاط زيتية مركزة حيث يكون حجم الجزئي الصلب للمركب أو السائل هو المحدد لمكان استقرارها وترسبها لاصطدامها بحواجز و تجاويف و إنثناءات الجهاز التنفسي أو التخلص منها بطردها للخارج كالرصاص .

و يتوقف معدل سريانها خلاله على العوامل الطبيعية المؤثرة على مكان استقرارها وترسبها أو التخلص منها بطردها للخارج مره أخرى كالرصاص المنبعث من عادم المحركات والسيارات. و عليه فالأيروسولات غالبا ما تكون مخاليط ثابتة في الهواء أو جسيمات مسحوقة صلبة أو قطرات محاليل حيث تنتقل جسيماتها خلال الجهاز التنفسي بكثرة بواسطة التجمع (Convention) حيث أن الجسيمات تكنس (Swept) بطول سريان الهواء أو تدفقه ويعتمد عدم ترسبها

أو عدم استقرارها(Deposition) على تدفق الهواء وحجم هذه الجسيمات . وآليات الاستقرار والمتضمنة عملية تصادم وضغط أو كبس (Impacting) و ترسب (Sedimentation) أو انتشار (Diffusion) أو حجز وإعاقة (Interception) .

و في عملية التصادم والكبس (رص) لجزيئات الملوثات البيئية تعتمد على القانون الميكانيكي لبقاء العزم : قوة الدفع (Conservation of momentum) عند تدفق الهواء وما يحمله من ملوثات بيئية في ممراته في الجهاز التنفسي يحدث تغير في الاتجاه إلا أن جسيمات الإيروسول تحاول استكمال مسيرتها والاستمرار في نفس الاتجاه الأصلي للتدفق . أما في حالة الجسيمات الكبيرة ذات نصف القطر المتراوح بين ٥-٣٥ ميكروميتر فالانتقال لدقائقها يكون بواسطة الارتطام (Collision) مع جسيمات الغاز المحيط بها الذي يكون له تأثيره القوى. أما الجسيمات الكبيرة فأنها لا تتبع مسار التغير في الاتجاه بل تصطدم بالجدر ويحدث أكبر تغير في اتجاه التدفق يكون في الأنف والحنجرة وهذا ما يعطى للاستقرار نتيجة الكبس أو الرص أهميته الكبيرة هنا .

أما الترسب فيتوقف أساسا على تأثير الجاذبية الجسيمات ذات حجم محدد وهو ما يؤدى لسقوطها عن مخلوط الهواء المتجانس وهذه العملية تتضمن الجسيمات ذات الحجم ١-٥ ميكروميتر حيث يكون ترسبها بطريقة الرص السابقة معدومة .

وطالما أن معدل تدفق الهواء يقل بانخفاض قطر ممر الهواء الجهاز التنفسي فإن عملية الترسبات تأخذ مكانها في القصبات الهوائية فالشعب فالشعيبات الهوائية و أي تغير في الاتجاه في هذا الجزء من القناة التنفسية فيكون أكثر تدرجا عن مثيلة في الأنف أو الحنجرة ولهذا فكبث أو رص جسيمات الملوثات العالقة في الهواء المستنشق تكون أقل أهمية .

أما الجسيمات ذات نصف القطر الأقل من واحد ميكروميتر فأنها تتبع الحركة البروانيه بدرجة كافيه لنشرها و إظهار مساهمة هامة لانتقالها .

أما في الحويصلات الهوائية فإن الانتقال بالانتشار سوف يؤدى لارتطام جسيمات الإيروسول مع الجدر مما يؤدى لاستقرارها .

وشكل أي جسيم ايروسولى له أهميته في التلامس مع جدر القناة التنفسية ، فالجسيمات الإبر يه الشكل تتلامس مع الجدر بسرعة عن مثيلاتها في نفس الكتلة و لكن ذات الشكل المنضغط .

ومهما كان تكون مادة الإيروسول من جسيمات تمتص عقب استقرارها فإن ذلك يتحدد بالانتشار وهو ما يعتمد على حجمها الجزيئى و نصف قطر القناة التنفسية الموجودة فيه .

و يعد أهم عائق للمواد الهيدروفيليه هي أغشية الحويصلات الهوائية ذات قنوات الانتقال (Alveolar duct) ذات القطر ١٠ أنجستروم .

و يحدد أيضا مدى امتصاص المواد الليبوفيليه لدرجة كبيره بعملية الانتشار و لكن طرق الانتقال يختلف عما في حالة المواد الهيدروفيليه و لبعض المواد الملوثة طرق انتقال خاصة مثل أنظمة الحمل الوسطية (Carrier mediated systems) . ويلاحظ أن بعض هذه الجسيمات تتراكم بالرئتين خاصة التي يتم هضمها فميا كما في حالة مبيد الباراكوات في النوع الثاني من الخلايا الرئوية (Pneumocytes).

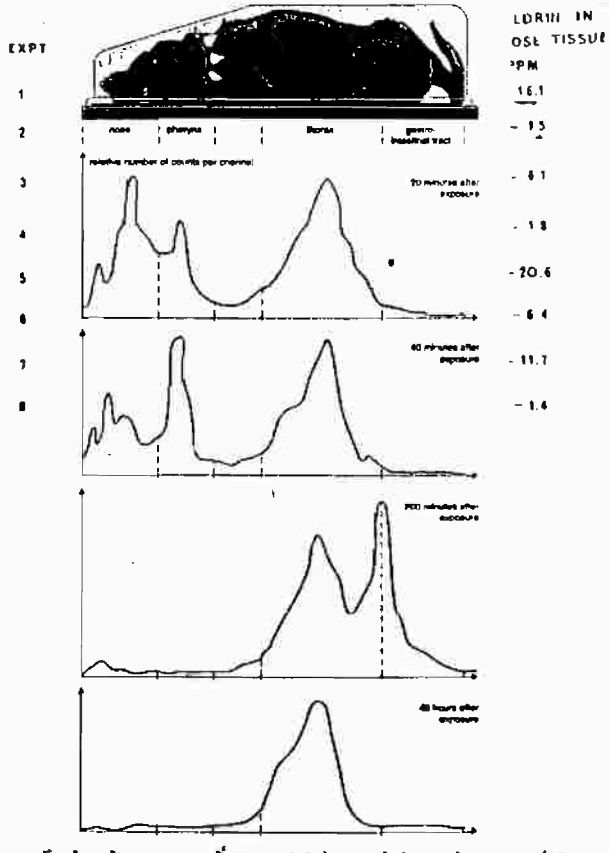
أما آلية أزالتها فعديدة و تتحدد تبعا لمكان الترسيب في الأماكن المختلفة من القناة التنفسية : ففي الأماكن أو المناطق المغطاة بالأنسجة الطلائيه المهدبه تكون أزالتها بالمخاط الذي يعد أهم وسيله للانتقال حيث تتوقف سرعة الإزالة على معدل حركة تدفق المخاط و الذي يتوقف بدوره على الموقع من الجهاز التنفسي : ففي الأنف و القصبة الهوائية فإن الجسيمات يتم تصيدها في المخاط والذي يتحرك بمعدل ٧ ملليمتر / دقيقه و تقل في الشعب الهوائية فتصل إلى ١ ملليمتر / دقيقه و تقل أكثر فتصل إلى ٠,٥ ملليمتر / دقيقه .

والشكل التالي رقم (١-٢) يوضح انتقال جسيمات سيليكات الألومنيوم المعلمة في الكلاب بمناطق الجهاز التنفسي المختلفة و التي تم تعريضها له بالاستنشاق . فالسمات الأخاذة (Striking feature) كانت عقب التعريض بحوالي ٢٠٠ دقيقه بالقرب من الأنف و الحنجرة و التي بدورها تزال للقناة الهضمية و فعل نظام الإزالة هذا يكون قوى التأثير من خلال الصفات الخاصة بجسيمات الإيروسول. فالصفات الطبيعية للمخاط ربما تؤخر أو الطلائيه الهدبيه لا تحركها أو تخرب .

و في المناطق التي تغيب فيها طبقة الطلائيه المهدبه (Ciliated Epithelial layer) فإن المسار الرئيسي للإزالة يكون من خلال الخلايا الملتهمة (Phagocytosis) بواسطة الخلايا الكبيرة (Macrophages) و التي تحمل الجسيمات يمكن أن تتحرك بواسطة الحركة الأميبية (Amoeboid) بالطبقة الطلائيه المهدبه أو النظام الليمفاوي .

ويكون هذا النظام الناقل بطيئ جدا ويستغرق شهور قبل أن تزال أغلب جزيئات هذه المادة وخلال هذه المدة الطويلة فإن الجزيئات المتبقية بالجسم تعطيه فرصة كافيه للذوبان خاصة إذا ما كانت المادة فقيرة الذوبان .

ويعد الأوزون وأبخرة الفورمالدهيد غازات ملوثه نشطه متفاعلة و استنشاقها يؤدى لتغيرات نسيجية في الأنف . كما وجد أن الأوزون أيضا يؤدى لتغيرات نسيجية في طلائية الرئة على مستوى الحويصلات الهوائية ولكن المهم هنا هو ما يفعله الفورمالدهيد بالنسبة لمعامل التجزيء بين الماء- الغاز مقارنة بالأوزون .



شكل رقم (١-٢) : معدل انتقال سيليكات الألومنيوم المعلمة مع الوقت خلال القناة التنفسية والجسم بعد فترات مختلفة من التعريض

١-٤-ملوثات هواء جسيمية (Air Particulate Pollutants) :

و هي ملوثات منتشرة في الهواء الجوي المحيط بالكرة الأرضيـــة فـــي صورة جسيمات صغيرة صلبة أو بصورة قطرات ســائلة (Liquid droplets) و ذلك بإستثناء القطرات المائية .

و هذه الجسيمات تتفاوت و تختلف في أحجامها (نصف قطرهـــا) ولـــهذا تقسم إلي :

- ملوثات جسيمية دقيقة :ميكرونية (Micro Particles) : تتراوح أقطارهـــا في حدود ٠,٠٠٠٢ ميكرون و تظل عالقة بالهواء الجوي و منتشرة بـــه و يحملها لمسافات بعيدة و هي مازالت عالقة به .
- ملوثات جسيمية كبيرة : ماكرونية (Macro Particles)تتراوح أقطارهـــا في حدود ٥٠٠٠ ميكرون و تستقر علي الأسطح بعد ثوان من الـــهواء و تترسب علي الأسطح .

و يختلف مصدر هذه الجسيمات فقد تنتج من مساحيق مواد صلبة (Powders) أو من رش السوائل بعد تبخر المذيب منها ، كما أنها تختلـــف مـــن حيـــث طبيعة مصدرها (Source nature) و لهذا تقسم إلي :

- جسيمات حجرية الأصل : مثل الرمال و الحصى .
- جسيمات معدنية الأصل : مثل جسيمات الحديد و النحاس .
- جسيمات ملحية الأصل : مثل جسيمات أملاح الحديد و الزرنيخ و الرصاص .
- جسيمات نباتية الأصل : مثل جسيمات نشارة الخشب و غبار القطن .
- جسيمات ملح مياه البحر:(Sea salt aerosols)
- جسيمات بركانية ناتجة من النشاط البركاني (Volcanic activity)
- جسيمات نحات التربة (Soil erosion)
- جسيمات ناتجة من عمليات الاحتراق .

كذلك قد تقسم الجسيمات الملوثة للهواء الجوي إلي :

- جسيمات أولية (Primary Particles) : وهي الجسيمات المنفردة مباشـــرة للهواء الجوي بآية من الطرق السابقة و تبلغ نسبة إنتاج الجسيمات الأوليـــة (Anthropogenic) أقل من ٨ % من الإنتاج الطبيعي .

- جسيمات ثانوية (Secondary Particles) : وهي الجسيمات المتكونة في الغلاف الجوي بواسطة تجمع (Agglomeration) أو تفاعل الغازات المتنوعة لإذابتها في ماء القطرات مثل أكاسيد الكبريت ثم ذوبانها في هذه القطرات المائية و تكون حمض الكبريتيك . وزيادة الجسيمات الثانوية في الهواء الجوي تؤدي إلي زيادة كمية ايروسولات ملح البحر الداخلة للهواء الجوي كل سنة وهي جسيمات غير أولية (UN Anthropoginic) و تبلغ نسبتها ٢٠ % ، جدول رقم (١-٢) .

ويهمنا هنا في هذا الصدد من الناحية التوكسيكولوجية تقسيمها إلي :

١-٤-١-ملوثات هواء جسيمية غبارية (Air-Dusts particular pollutants) :

وهي ملوثات هواء جسيمية ترابية دقيقة متباينة الحجوم تتراوح أقطارها بين ١-٥٠٠ ميكرون .

و تبث في الغلاف الجوي نتيجة الأنشطة العمرانية و وسائل النقل المختلفة و أماكن حرق القمامة المفتوحة و كمائن الطوب و مداخن المصانع والمنازل.

أما مصادر بثها الطبيعية في الغلاف الجوي فتنحصر في البراكين و بخار أملاح مياه المحيطات و البحار و المسطحات المائية عموما . أما الرياح و التي تهب علي الصحاري و أثناء و بعد حفر الترع والمصارف وتمهيد الطرق و تنظيفها كذلك عقب العمليات الزراعية و تكسير الصخور بالجبال يدويا أو ميكانيكيا و حول المحاجر . أو تكون ناتجة من عمليات الطحن أو التفتيت أو السحق للمواد الصلبة .

و الحد المسموح بتواجده في الهواء الجوي في منطقة عمل (MACwz) هو ٥٠ ميكروجرام /م٣ حيث يؤدي تلوث الهواء الجوي بهذه الجسيمات إلي :

- إعاقة حركة الملاحة الجوية(المطارات) والبحرية (الموانئ) والبرية .
- إعاقة تشغيل كثير من المعدات و الأجهزة خاصة الحربية .
- نخر المنشآت المعدنية و الصاج و زجاج و مصابيح السيارات .
- تراكمها علي الأسطح الحضرية فتسد ثغورها التنفسية و المسام علاوة علي الضرر الميكانيكي (خدوش) و هو في النهاية ما يعيق عملية البناء الضوئي لحجب السطح الأخضر و لو جزئيا عن الضوء ذلك أيضا بجانب أن تراكمها علي مياسم (كرا بل) الأزهار يعوق معه عملية الإخصاب .

جدول رقم (١-٢) :أتربة و جسيمات صلبة (لا يزيد قطرها عن ١٥ ميكرون) و الجسيمات السائلة العالقة :

الملوث	التعرض (ملليج/م٣)		الملوث	التعرض (ملليج/م٣)	
	٧ ساعة	٢٤ ساعة		٧ ساعة	٢٤ساعة
رصاص	٠,٢	٠,١٤	رابع إيثيل الرصاص	٠,٠٧٥	–
منجنيز	٦,٠	٠,٢	سيانيد	٠,٥	٠,١٧
زئبق	٠,١	٠,٠٠٣	كبريتيد الفوسفور	١,٠	٠,٠٣
فوسفور	٠,١	٠,٠٠٥	داي كلورفينيل	٠,١	٠,٠٣
زرنيخ	٠,٥	٠,٠٠٥	كلوريد الفوسفور	١,٠	٠,٠٣
تليوبوم	٠,١	٠,٠٠٥	داي نيتروتولوين	٠,٥	٠,٠٥
باريوم	٠,٥	٠,٠٠٥	ددت	١,٠	٠,٠٢
كادميوم	٠,١	٠,٠٠٥	أسبستوس	١٨٠	–
انتيمون	٠,٥	٠,٠٠٥	حمض كبريتيك	١,٠	٠,١
سيانيوم	٠,١	٠,٠٠٥	تراب خالي السيليكا	١٨٠٠	٥٠
أكاسيد حديد	٠,١٥	٠,٥	ميكا تحتوي على >٥% سيليكا	٧٠٠	–
فلوريدات	٢,٥	٠,٠٨	أسمنت بورتلاندي	١٨٠٠	٦٠
أكسيد زنك	١٥	٠,٥	سيليكا تحتوي على> ٥٠% سيليكا حرة	١٨٠	٦
أكسيد ماغنسيوم	١٥	٠,٥	تلك و أتربة منظفات	٧٠٠	–

وتنقسم ملوثات الهواء الجسيمية الغبارية إلي :

- جسيمات حيوية (Viable particulate) كالبكتريا و الفطر و جراثيمها .
- جسيمات غير حيوية(Non-Viable particulate) و تتكون من تكسير و هدم المواد (Break down) و من خلال تجمعها مرة أخري (Agglomeration) أو ايروسولات ملح ماء البحر فينفرد العديد من القطرات الدقيقة (Tiny) حيث يتبخر ماؤها و يبقي الملح .

و تستجيب الطحالب و الأسن للغبار المعدني بالهواء الملوث كما تلعب دورها بذلك في تنقية مياه الشرب من المعادن السامة في الأنهار و البحيرات .

١-٤-١-١-ملوثات هواء جسيميه غبارية متساقطة(متراكمة) :

حيث تتراوح حجم جسيماتها بين ٠,٠١-١٠٠ ميكرون لـذا تترسـب مـن الهواء الحامل لها و تستقر علي سطح الكرة الأرضية و ما عليها من ملوثـات كيميائية لثقل وزنها بفعل الجاذبية الأرضية خاصة عند هدوء سرعة الريـاح و ضعف تيارات الحمل الصاعدة أو انعدامها في الصباح الباكر .

و ليس لهذه الجسيمات الساقطة أو المتراكمة أضـرار أو خطـورة علـي الجهاز التنفسي ، فالحاجز الأنفي يمنعها من الوصول إلي الرئتين ويطرد مـا يترسب منها من خلال الكحة أو السعال ومن أمثلتها :

١-٤-١-١-١-ملوثات جسيمية بصورة ضباب (Fog) :

وتكون بصورة قطرات سائلة صغيرة و غالبا ما تكون بصورة كرويـة يقل قطرها عن ١ ميكرون و تتكاثف بطبقات الهواء العلوية بالغلاف الجـوى وتتحول لغيوم وقد تخلط بالسناج (Soot) أو بالضبـاب المتكـون صناعيـاً وتتحول لمركبات سامة لها تأثيراتها على الصحة العامة.

وتكمن خطورتها في تعلق هذه القطرات لفترة طويلـة بالـهواء دون أن تترسب .

أما الرذاذ (Mist) فهو جسيمات ملوثة للهواء الجوى بصورة سائلة متكاثفـة متباينة الحجم (١- ٢ ميكروميتر) والتركيب ترى بالعين أثنـاء حركتـها لـذا تعوق الرؤية والملاحظة .

١-٤-١-١-٢-ملوثات جسيميه بصورة أدخنة (Smokes) :

أي بصورة جسيمات دقيقة غازية (١ ميكرون) ناتجة عن حرق المـواد العضوية حرقاً غير كامل لذا تحتوى على كربون غير تام الحـرق و أكاسـيد (ولهذا تحتوي علي نسبة عالية من الكربون كمكـون أساسـي) أو تتكـاثف بصورة قطرات سائلة تتحول بارتفاع الحرارة وانخفاض الضغط إلى دخـان لا يستقر بسرعة و يبقى عالقا بالهواء لفترة .

و يكثر وجودة حول كمائن حرق الطوب و يؤدي أستمرار التعـرض لـه إلي الإصابة بسرطان الرئة لما يحتويه من هيدروكربونات و معـادن ثقيلـة سامة وأكاسيد كبريتية .

ولقد أدي ارتفاع درجة تلوث الهواء الجوي بها في مدينة دونورا في مقاطعة بنسلفانيا ١٩٤٨ و المحاطة بتلال مرتفعة تعوق حركة الرياح والهواء حيث حدث بها تغير فجائي في درجة الحرارة فحل تيار هوائي دافئ محل تيار هوائي بارد و بالتالي منع الدخان و الضباب (Fog) من الارتفاع إلي أعلي فظلت الأدخنة السمراء والحمراء و الصفراء كسحابة حبيسة تخيم علي سماء المقاطعة و لمدة ستة أيام أصيب خلالها ستة آلاف شخص بأمراض صدرية عديدة مات منهم ألفان مع العلم بأن عدد سكان المقاطعة ١٢٣٠٠ نسمة .

كذلك ما حدث في لندن عام ١٩٥٢ حيث ساد جو شديد البرودة مما أضطر السكان لاستهلاك كميات كبيرة من الفحم للتدفئة فزاد الدخان بالجو لد بلغت فيه مستوي الرؤية متر واحد . أيضا ما حدث في ولاية لوس أنجلوس الأمريكية عام ١٩٤٩ حيث أضطر الأطباء لمنع سكان الولاية من الخروج من منازلهم للرياضة أو المشي أو لعب الجولف حتى لا يستنشقوا كميات كبيرة من الهواء الملوث بالأدخنة فتضر بالجهاز التنفسي كما أمر الطلاب بالمكوث في المنازل و عدم الذهاب إلي المدارس .

١-٤-١-١-٣-ملوثات جسيميه بصورة أبخرة (Fumes) :

وهي جسيمات معادن و مواد عضوية متكاثفة (Condensed vapors) بصورة أبخرة تصاحب حرق أو تسامي أو تركيز المواد وعادة ما يصحبها تغيير في التركيب الكيميائي لمادة السم أو الملوث البيئي وأغلب الأبخرة السامة تكون لأكاسيد معدنية ومواد عضوية و تميل للتجمع وتكون جزئيات كبيرة (ايروسولات) غالبا ما تكون بشكل كروي أو صفائحى تتراوح بين ١-١٠٠ ميكرون .

ويؤدي استمرار التعرض لها إلي الإصابة بسرطان الرئة لما تحتويه من هيدروكربونات و أبخرة معادن غالبا ما تكون معادن ثقيلة سامة كأكاسيد الرصاص والحديد و أكاسيد كبريتية خاصة ثالث أكسيد الكبريت و التي تبث من مداخن مصانع الحديد و الصلب وسبائك المعادن خاصة المصانع المستخدمة للفحم كمصدر للطاقة و الوقود .

١-٤-١-١-٤-ملوثات جسيميه بصورة ضباب دخاني (Smog) :

خليط من الجسيمات الملوثة للهواء الجوى والغازات (كعادم السيارات ونواتج الاحتراق) وغالبا ما تحتوى على أكاسيد عناصر سامة.

١-٤-١-١-٥-ملوثات جسيميه غبارية :

كغبار السيليكا الناعم و الذي تنبثه مصانع طحن و سحق الرمل الناعم النقي : ثالث أكسيد السيليكون حيث يؤدى استنشاقها إلي تليف الرئة : مرض الغبار الرئوي (Silicosis) و قد يؤدي إلي السل في بعض الحالات المتقدمة في حين أنه في نفس الوقت ضروري لبناء الهيكل العظمي بمراحله الأولية و كذلك في بناء الغضاريف و جدر الشرايين و الميتوكوندريا و لكن زيادته في الجسم تؤدي إلي ترسبه في الكلي و الحالبين و المثانة في صورة حصوات .

أما غبار الأسبستوس : الحرير الصخري فهي ألياف معدنية يتراوح سمكها ٥ ميكروميتر و بطول ٢٠ ميكرون و تختلف تبعا لنوع و طبيعة معدنها : سيليكات حديد أو ماغنسيوم و تستخدم في صناعة العوازل و معدات التكيف و الأسقف و تيل الفرامل و أسطوانات الدبرياج وتتمكن من اختراق الأغشية المخاطية الرقيقة محدثة تقرحات وتسرى مع الدم حتى تستقر بالحويصلات الهوائية مسببة تليف رئوي وتكلس لغشاء البللورا فتقل مرونته مما يؤدى لاحتباس الهواء بالرئة و التي تنتهي بسرطان.

كذلك غبار القطن و الكتان بمناطق المحالج و تؤدي لسل الحلاجين : بيسينوسس . وغالبا ما تكون هذه الجسيمات ملوثة بهيدروكروبونات حلقية مسرطنه أو قد تؤدى لخدوش بنسيج الرئة ينتهي بسل رئوي .

كذلك غبار قطع و تصنيع الخشب و غبار عصر و طحن مصاصة القصب أثناء تصنيع الخشب الحبيبي : الصيني حيث يبث غبار و أبخرة خاصة أثناء عمليات الصبغ المختلفة .

و من الأهمية بمكان التنويه هنا إلي الخطورة الكبيرة من حمل هذا الغبار لميكروبات بكترية أو فطرية أو فيروسية نامية عليه خاصة في الأجواء الرطبة و مقدرة هذه الميكروبات علي اختراق الجلد و الأغشية المخاطية الرقيقة المترسب عليها فتحدث تقرحات ثم تسري مع الدم و تخترق الجهاز التنفسي مسببة تلف و تليف و التهاب رئوي يؤدي لضيق التنفس و تكلس البللورا فتقل مرونته مما يصعب معه خروج هواء الزفير : احتباس الهواء بالرئة (Emphysemia) تنتهي بسرطان الرئة و الحنجرة أو المعدة . أما حركتها في الدم فتؤدي إلي خدوش جروح و تجريح مستمر بالأنسجة الملامسة لها و هو ما يؤدي بدوره إلي سل رئوي فموت .

ويقاس مدي تلوث الهواء الجوي بها من خلال قياس عددها / سم ٢ ثم

تجمع و تعرف نوعيا من حيث العنصر الأساسي بها و ذلك من خلال ترشيح الهواء الجوي الملوث بها و المار علي مرشحات خاصة حجم ثقوبها ٠,٨ ميكروميتر مكعب ثم تفرد علي شريحة زجاجية و تعد ميكروسكوبيا .

و قد تثبت (Fixation) قبل العد علي الشريحة باستخدام محلول ٠,٢٥ ميثيل ميثا كريلات (methyl m-crilate) المذابة في الكلوروفورم و يساعد علي فردها جيدا نقطة من جليسريل تراي أسيتات .

١-٤-١-٢-ملوثات هواء جسيميه غبارية عالقة(Suspended particulate):

و هي جسيمات غبارية عالقة في الهواء الملوث بها و هي دقيقة الحجم تتراوح بين ٠,١-١٠ ميكرون و لهذا تظل عالقة في الهواء الجوي لفترة طويلة و إذا ترسبت تترسب ببطيء و يصل عددها إلي ١٠ مليون / سم ٣ . و الحد المسموح بتواجده في الهواء عالميا هو ٧٥ ميكروجرام / متر مكعب أي ما يبلغ ١٠٨ طن / كيلومتر مربع / سنة ، و تختلف من منطقة إلي أخري تبعا للأنشطة البشرية (Human activities) فتصل علي سبيل المثال بمنطقة حلوان الصناعية إلي ٣٧٠ طن / كيلومتر مربع / سنة .

وخطورتها تكمن في دقة جسيماتها وهو ما يجعلها عالقة بالجو لفترة وهو بدوره ما يتيح لها الفرصة لاستنشاقها مع الهواء عبر الأنف ثم دخولها إلي القصبة الهوائية فالشعب و الشعيبات ثم في النهاية إلي الحويصلات الهوائية حيث تستقر بها و تلتصق بالشعيرات و الخلايا المبطنة و الإفرازات المخاطية.

و إذا ما أخذنا في الاعتبار في هذا الصدد أن عملية التنفس تتم من خلال من خلال عمليتي شهيق و زفير بمعدل ١٧-١٨ مرة في الدقيقة يحصل الدم خلالها علي الأكسيجين من الهواء الجوي المستنشق والملوث بها وأن كل عملية شهيق يتحصل الإنسان فيها علي نصف لتر هواء أي بمعدل :

٠,٥ x ١٨ x ٦٠ x ٢٤= ١٢,٥ متر مكعب هواء

أي ما يعادل ١٥ كيلو جرام يوميا أو ٣,٦ مليون لتر سنويا

أي ما يعادل ٥,٤٧٥ طن سنويا و هنا يمكن تخيل ما تسببه هذه الكمية من الهواء و الذي غالبا ما يكون ملوث و محمل بجسيمات عالقة دقيقة من أضرار خطيرة علي الجهاز التنفسي و بالتالي الجهاز الدوري لما يمتص ويحمل منها و يسري مع الدم .

و لكننا نجد أن الله سبحانه وتعالي رحمنا وخلق لنا الجهاز التنفسي بطريقة متآلفة من عدد من الأعضاء ذات الأنسجة المتفاوتة والمتلائمة كل مع وظيفته و المتحكمة في دخول وخروج الهواء الجوي منها و إليها كحواجز تتخللها إنثناءات تقلل من سرعة تدفق تيار الهاء المستنشق وما يحمله من ملوثات علاوة علي تكيف درجة حرارتها وتثبيت درجة رطوبتها وهو ما نجده في الأنف كأول جزء في مدخل الجهاز التنفسي حيث تبطن بغشاء مخاطي غني بالغدد المخاطية وفي نفس الوقت بالشعيرات الدموية لتكيف درجة حرارته ومزود أيضا بالشعيرات الكثيفة و التي تحجز أكبر قدر من الجسيمات العالقة بالهواء الجوي المستنشق كمصفاة أو مرشح طبيعي للتنقية وبمروره بعد ذلك خلال البلعوم و لسان المزمار بأول الحنجرة ثم القصبة الهوائية فالشعبتين والتي كل منهما مبطنة من الداخل بغشاء مخاطي مهدب تدفع أهدابه الإفرازات وذرات الجسيمات العالقة بها لأعلي و للخارج بحركة سلمية للتخلص منها إلا أن الجسيمات الدقيقة يمكنها الوصول إلي أدق تركيبات الجهاز التنفسي وهي الحويصلات الهوائية و كلما زاد تركيز هذا المستوي من الجسيمات بالهواء الجوي كلما زاد تركيزها في الرئتين .

ويؤدي تلوث الهواء المستنشق بهذه الجسيمات إلي رفع درجة حرارة و الرطوبة النسبية و الضغط الجوي للهواء المستنشق و بالتالي حركته وهو ما يؤثر بدوره علي مستوي نشاط المراكز العصبية و مرونة الجلد و جفاف الأغشية المخاطية ومستوي ماء الجسم وهو ما ينجم عنه اختلاف في مستوي أداء العمليات الفسيولوجية فعلي سبيل المثال ارتفاع الضغط فقط يصيب الكلئن الحي بصعوبة و ضيق في التنفس ، و تعد الإناث أكثر من الذكور خاصة الرجال بالتغيرات الرئوية وعلي وجه الخصوص لتعرض النساء ولوقت طويل لغبار المطبخ و الكنس وتنظيف السجاد و الموكيت (١-٠,٠١ ميكرون) .

العوامل المؤثرة على استنشاق السموم

(Factors Affecting Poisons Expiration) :

أغلب المواد الغريبة كالسموم والملوثات البيئية الغازية تتفصل أساسا من الجسم بالرئتين ومعدل انفصالها يعتمد على :

١-معدل الذوبان (Solubility Rate) : وهنا يرتبط درجة ذوبانها ومعدل التنفس / د بمعدل انفصالها : فكلما زاد معدل ذوبانها و زاد معدل التنفس في نفس الوقت وبالتالي زاد معدل انفصالها

٢-معدل التنفس (Respiratory Rate): فكلما زاد معدل التنفس /دقيقه كلما زاد معدل انفصالها عن الجسم .

٣-معدل سريان الدم إلى للرئتين: كلما زاد معدل سريان الدم للرئتين كلما أنخفض معدل انفصالها .

٤-معدل التطاير(Volatilization Rate) :كلما زاد معدل التطاير كلما زاد معدل انفصالها فالأثير مذيب عالي التطاير والذوبان لذا فمعدل انفصال سريع جدا خاصة بواسطة التهوية العالية (Hyper Ventilation) بينما مركب سادس فلوريد الكبريت (Sulfur Hexa Fluoride) وهو غاز فقير الذوبان في الغالب ولا يتأثر بالتهوية العالية.

ويعد تناسب جزيئات السموم المتطايرة من (Proportionality) حيث درجة ذوبانها في الدم (تركيز السم المتطاير في الدم) من ضمن العوامل السابقة الأساسية والمراعاة عند قياس محتوى الدم من الكحول .

٥-الوزن النوعي (Specific Gravity): ارتفاع الوزن الجزئي لملوث أو مركب سام يعنى انخفاض سرعة انتشاره بالهواء لذا فكلما أنخفض وزنها الجزيئى وأصبح أخف من الهواء كلما زاد انتشارها والعكس صحيح حيث تظهر سحبها في صورة ظاهرة الطباق (Stratification) .

٦- الامتصاص (Sorption) : امتصاص جزيئات الملوثات البيئية و السموم على الجسميان والمواد الصلبة الملوثة والمنتشرة بالهواء

يبطئ انتشارها بالهواء وهو ما يتوقف على نوعية مادة الجسيمات ودرجة الحرارة وتركيزها:هل يكفى للسعة الامتصاصية .

والامتصاص يتميز إلي :

٦ -١-الامتصاص السطحي (Adsorption) : امتصاص طبيعي عكسي لارتباط جزيئاتها بالسطح الخارجي والذي يزداد معدله بانخفاض الحرارة ويزول بارتفاع الحرارة خاصة مع التهوية .

٦-٢-الامتصاص الداخلي:الكيميائي (Absorption) وهو امتصاص غير عكسي وفيه تدخل جزيئات الملوث الغازي للمادة المعاملة أو الجسيمات المحيطة لكونها في صورة محلول أو لتفاعلها وهو ما لا يؤثر على تلوث هواء البيئة المحيطة ولا يزول المؤثر ويتناسب معدله طرديا مع ارتفاع الحرارة حيث تتأثر عملية الامتصاص بالخاصة الشعرية (Capillary forces) فارتفاع الحرارة يؤدى إلي زيادة الطاقة الحركية للجزيئات فتزداد سرعة تخلله و انتشاره خاصة مع زيادة معدل التنفس ..

٧-نسبة ثاني أكسيد الكربون (Carbon Di Oxide Ratio) :حيث يؤدى ارتفاع نسبة ثاني أكسيد الكربون بالهواء المستنشق إلى زيادة في معدل التنفس من ٠,٠٣ - ٠,٠٧و قد يصل في بعض الأحيان إلى ١% فتزيد بالتالي كمية الهواء المستنشق والملوثة في نفس الوقت.

ومن الأهمية بمكان في هذا الصدد الإشارة إلى العوامل المراعاة عند تخليق مادة لها فعل سام بالاستنشاق (فعل مدخن) هي نفسها العوامل المثالية المفترض وجودها لإحداث تلوث هوائي كامل في منطقة ما :

١-عامل البخر (Evaporation) : حيث تتوقف سرعة البخر على درجة غليان المادة ولهذا نجد أن بعض هذه المواد :

سريعة البخر(Gaseous type) مثل بروميد الميثيل (٣,٦ °م) و

أكسيد الإيثيلين (١٠,٧°م) وحمض الهيدروسيانيك (٢٦°م) .

بطيئة البخر(Liquid Solid type) مثل كبريتيد الكربون (٤٦°م) و رابع كلوريد الكربون(٧٧°م) والكلوربكرين (١١٢°م) و بارا-داى كلوروبنزين (١٧٣°م) .

٢-سرعة التخلل و الانتشار(Penetration & Diffusion) حيث تتوقف كفاءة الفاعلية البيولوجية لأي مادة على درجة تخللها ومعدل توزيعها و انتشارها وهو ما يتوقف بدوره على الصفات الطبيعية :

٢-١-الضغط البخاري: جزيئات الملوثات ذات الضغط البخاري العالي (أكسيد الإيثيلين -بروميد الميثيل -حمض الهيدروسيانيك) أسرع في معدل انتشارها عن المواد ذات الضغط البخاري المنخفض (كلوربكرين- ثاني بروميد الأيثيلين-رابع كلوريد الكربون) و التي يزداد ضغطها البخاري بارتفاع درجة الحرارة .

٢-٢-الوزن النوعي : جزيئات الملوث المنخفضة في وزنها سريعة الانتشار والتخلل ولأنها أخف من الهواء في الكثافة يرتفع تركيزها في الطبقات العليا و العكس نجد سحبها منخفضة : ظاهرة الطباق (Stratification phenomena) .

٢-٣-ارتفاع نسبة ثاني أكسيد الكربون فيؤدى إلى زيادة معدل التنفس وهو ما يؤدى بدوره إلى زيادة التخلل والامتصاص .

٢-٤-الامتصاص (Sorption) حيث تمتص جزيئات الملوث في الأسطح المعرضة تبعا لنوعها (حيوية أو غير حيوية) وتبعا لنوع جزيئات الملوث و الظروف المحيطة وتركيز الملوث نفسه (يكفى للسعه الامتصاصية أم لا) .