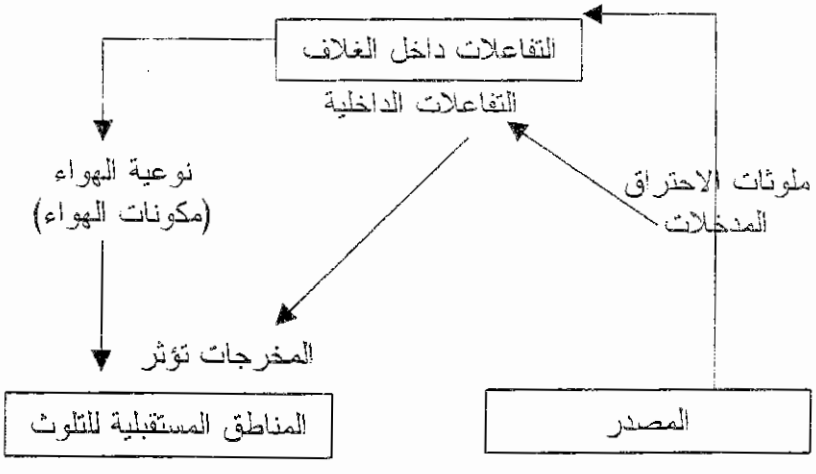
الفصل الثانى

تلوث الهواء في البيئة الحضرية

مقدمة : -

ليس للإنسان خياراً فى الهواء الذى يستنشقه بعكس الحال بالنسبة لخياره الواسع فى نوعية المياه التى يشربها. ولذا ينبغى أن تكون لدينا القدرة لعى استنشاق الهواء فى أى مكان نذهب إليه، ومن هنا تأتى خطورة تلوث الهواء لأنه يأخذ صفة العالمية والانتشار دون أى حدود بشرية أو طبيعية. وينتج تلوث الهراء عن العديد من العمليات الكيميائية والفيزيائية البسيطة والمعقدة سواء فيما يتعلق بالملوثات نفسها أو بينها وبين المواد العالقة للهواء بصورة طبيعية. هذا ومن المؤكد أن هذه الملوثات بأشكالها وتركيزاتها المختلفة لها تأثيرها الذى يزداد وضوحاً عبر السنوات على الناس أو ممتلكاتهم الخاصة أو منشآتهم الحضرية، إذ تؤثر في خصائص الهواء ومكوناته الطبيعية كما يتضح في الرسم التالي : -

نموذج نوعية الهواء



وتشمل مصادر تلوث الهواء المصادر المتحركة Mobile Sources ومنها السيارات، الشاحنات، الأتوبيسات، الطائرات. والمصادر الثابتة Stationary Sources وتشمل محطات توليد الطاقة الكهربائية والاستعمالات المنزلية وبعض الصناعات. ويبدأ التلوث بانبعاث الملوثات من مصادرها المختلفة ثم تنقلها الرياح إلى المصادر المتأثرة بها وفقاً لسرعة الرياح واتجاهها. وقد تدخل بعض هذه الملوثات في سلسلة التفاعلات الكيميائية في أثناء عملية النقل بواسطة الرياح وتكون محصلة ذلك هو التأثير في مكونات الهواء (نوعية الهواء).

ويرتبط هذا التأثير بكمية الملوثات التي تحملها الرياح العليا فتنتشر في الهواء الجوى فتتفاعل كيميائياً بجانب تشتتها حتى تصل إلى المناطق المستقبلية Receptors Areas فتؤثر في صحة جميع الكائنات الحية.

هذا ويمكن عرض بعض النماذج التطبيقية عن نوعية الهواء في بعض المدن : -

أولاً: المدن الأمريكية (الولايات المتحدة الأمريكية) : -

هناك العديد من الدراسات التي تهدف الى محاولة الكشف عن آثار ونتائج العوامل المؤثرة في خصائص مكونات الهواء بفعل النشاط البشرى. ومن أهمها النمو السكاني، النشاط الصناعي، توليد الطاقة، توزيع الريف والحضر، شكل وحجم المناطق السكنية، التغيرات الاجتماعية والاقتصادية، وتأثير جميع هذه العوامل المسببة للتلوث في تغيير وتحديد نوعية الهواء فوق المناطق السكنية وغير السكنية . إذ اتضح وجود العديد من المواد العالقة بالهواء وتشمل الكبريتات، النترات، الفلوريدات، البنزين، الهيدروكربونات، النحاس، الرصاص، الفاناديوم، الزنك وغيرها. وقد تم ذلك من خلال دراسة مستويات التلوث في ٣١ محطة تقع في قلب منطقة سكنية (في قلب المدن) لمدة ١١ سنة (١٩٥٧-١٩٦٧) و ٣٠ محطة في مناطق بعيدة عن الكتلة السكانية لمدة سنة واحدة (١٩٦٦-١٩٦٧). وقد اتضح من نتائج هذه الدراسة ارتفاع معدلات جميع

العناصر السابقة فى المدن أكثر من الريف خاصة تركيزات الحديد والزنك والرصاص. وقد كان أيضاً الفارق كبيرا بين تركيز الفاندويوم (V) والنيكل (Ni) بين المدن والريف إذ ارتفع كثيراً فى المدن عن الريف. وقد كان النحاس هو العنصر الوحيد الذى ارتفع فى الريف اكثر من المدن وذلك بسبب كون التربة فى المناطق الريفية تعد مصدراً رئيسياً لمحتوى الهواء من النحاس.

وقد أثبتت هذه الدراسة أيضاً أن عدد سكان المدن له تأثير الواضح فى ارتفاع معدلات انبعاث الرصاص Pb والفاناديوم والنيكل ، إذ يرجع انبعاث الرصاص إلى مخلفات الاحتراق فى السيارات بينما يرجع الفاندويوم إلى احتراق زيوت الوقود. ويرجع انبعاث النيكل إلى المحركات الآلية مثل السيارات وبعض مناطق توليد الطاقة وكذلك الوقود. ويرتبط ارتفاع معدلات تلوث الهواء بالحديد فى المدن الكبيرة إلى شيوع وضخامة استخدام مادة الحديد فى العديد من الأنشطة البشرية فى المناطق السكنية.

ومما يذكر أن هذه العناصر ترتفع بشكل ملحوظ فى محطات رصد التلوث فى مدن البحيرات العظمى ومدن نيوإنجلند الساحلية الشرقية حيث أكبر نطاق صناعي أمريكي بينما تقل بوضوح فى المدن الأمريكية فى نطاق السهول الوسطى حيث يسود النشاط الزراعي.

ومن المؤسف حقا أن ، قدرة الإنسان على إحداث المزيد من التلوث فى اتجاه مستمر نحو الزيادة نتيجة للنمو السكاني وارتفاع مستوى المعيشة والإفراط فى استخدام وسائل النقل والآلات والمعدات الكهربائية والتدفئة والتبريد مع استخدام وسائل الرفاهية .

وإذا كانت التوقعات تشير إلى أن عدد سكان الولايات الأمريكية سيتضاعف حتى عام ٢٠٢٥ ويقترن ذلك بارتفاع فى مستوى المعيشة، فيمكن التنبؤ بأن استخدام الأمريكيون للطاقة سوف يتضاعف فى الوقت الحاضر كل ١٠ سنوات وسوف يستمر هذا التضاعف لعدة عقود زمنية قادمة. ويعنى ذلك أن قدرة الأمريكي على تلوث البيئة سوف تزيد ما بين ٦-٨ مرات على الأقل. مع

الأخذ في الاعتبار أن هذه الزيادة لا تكون واحدة بالنسبة لجميع الملوثات الغازية. فعلى سبيل المثال، نجد أن أول أكسيد الكربون الناتج عن السيارات لا يمكن التنبؤ بزيادته بنفس المعدلات (٦-٨ مرات) لأن الإنسان لا يستطيع أن يقود أكثر من سيارة في نفس الوقت مهما ارتفع مستوى الرفاهية والدخل الفردى وإن كان من المتوقع أن تزيد عدد السيارات . أما ثانى أكسيد الكربون وأكاسيد الكبريت وأكاسيد النيتروجين والهيدروكربونات الميثانية وغير الميثانية والجزيئات العالقة فهى في اتجاه حتمى نحو الزيادة وفقاً للمؤشرات الحالية.

ثانيا بعض المدن السعودية : -

تبحث العديد من الدراسات في تلوث الهواء في المملكة العربية السعودية العديد المشاكل الحالية والمستقبلية المتعلقة بتلوث الهواء . ولعل من أهمها تلك التي تبحث المشاكل البيئية في مدينة جدة السعودية في ضوء العلاقة بين تلوث الهواء والخصائص الميترولوجية ومصادر انبعاث الملوثات.وتقع مدينة جدة على ساحل البحر الأحمر وتحاط بالتلال الرملية Sandy Hills والكثبان الرملية Sand Dunes والصحراء Desert . وسكانها حوالى ١,٤ مليون نسمة يعيشون على مساحة ١٣٨ كيلو متراً مربعاً في وسط المدينة. وقد قفزت عدد السيارات من أقل من ٣٠,٠٠٠ سيارة إلى ٧٥٠,٠٠٠ سيارة خلال ١٠ سنوات فقط ١٩٧٣-١٩٨٣ وقد تبع ذلك إلى انبعاث كمية كبيرة من عوادم السيارات. وتسهم الخصائص الميترولوجية للمدينة من ارتفاع في الرطوبة الجوية وارتفاع درجة حرارة الهواء وندرة المطر وانخفاض سرعة الرياح السائدة ونشاط ظاهرة نسيم البر والبحر (الرياح اليومية) في تلوث هواء المدينة وتكون الدخان الكيميوضوئى Photochemical Smog أى الضبخان. ويزيد من سرعة تكون الضبخان هبوب الرياح الرملية في أثناء هبوب رياح السموم خلال شهور الربيع. ونظراً لقلة المطر إذ أن معدل المطر السنوى ٥٠ ملليمتراً يسقط في ٧ أيام فقط (أى كثافة المطر مرتفعة وتتركز في فترة قصيرة) وغالباً ما تكون هذه الكمية في

أواخر الخريف وبدايات فصل الشتاء فيحول ذلك دون إزاحة ملوثات الهواء بفعل عنصر المطر.

وتعانى مدينة جدة من التساقط الغبارى Dust Precipitation بسبب ارتفاع محتوى الهواء من الجزيئات العالقة كبيرة الحجم مما يؤدى إلى ترسبها فى صورة الغبار الساقط Dust Fall وهى عبارة عن جزيئات غير قابلة للاستنشاق ولا يستطيع الهواء حملها لفترات طويلة فيرسبها (حينما تنخفض سرعة الرياح خاصة فى فترات السكون) فوق المدينة فى صورة تساقط غبارى.

وهناك ثلاث نطاقات رئيسية يرتفع فيها التساقط الغبارى:

١- الجنوب الشرقى من مصنع الأسمنت الذى يقع شمال جدة إذ يبلغ المعدل السنوى للغبار المتساقط حوالى ٦,٤٥ جرام/م٢/شهرياً.

٢- وسط المدينة (مركز المدينة التجارى) حيث يزيد عدد السيارات ويبلغ معدل التساقط الغبارى ٢٠ جرام/م٢/شهرياً. وهكذا يزيد معدل التساقط الغبارى ثلاث مرات عن مثيله فى جنوب شرق المدينة الذى يعتبر كخلفية للوسط التجارى.

وهكذا يصبح قلب مدينة جدة شديد التلوث Heavily Polluted وفق مؤشر بنسلفانيا للغبار المتساقط. ويحدد دليل بنسلفانيا للغبار المتساقط Guidelines For Dust Fall ١٤-٣٥ جرام/م٢/شهرياً بأنه تساقط غبار كثيف. وهكذا ترتفع معدلات التلوث بالغبار الساقط فى وسط مدينة جدة عن مثيله فى إنجلترا، بل وأكثر من ذلك أن أعلى كمية غبار متساقط فى أكبر المدن الأمريكية لا يزيد عن ١٠,٨ جرام/م٢/شهرياً.

١-النطاق الثالث فى جدة ويمثل المنطقة الصناعية فى جنوب جدة ويبلغ معدل التساقط الغبارى ١٨,٣ جرام/م٢/شهرياً وهى أعلى أيضاً من المدن الأمريكية. ويرجع ارتفاع التلوث بالغبار فى هذا النطاق الثالث إلى موقع هذا النطاق فى منصرف التى تنقل الملوثات من مصافى تكرير الزيت والمصانع المحلية ، فضلاً عن الأتربة المنتشرة فى النطاق الصحراوى المجاور.

هذا ومما يذكر أن معدلات تساقط الغبار تختلف فى معدلاتها داخل الكتلة السكنية نفسها وفقاً لعدد السكان وموقعها من النطاق الصحراوى ومواقع المصانع وغيرها. إذ ترتفع معدلات الترسيب الغبارى فى الجزء الجنوبى من المدينة لتتراوح ما بين ١٢,٧-٢٢,١ جرام/م^{٢}/شهرياً، بينما تتراوح فى المنطقة الشمالية ما بين ١٠,٨-١٣,١ جرام/م^{٢}/شهرياً أى أن معدل التساقط فى شمال جدة يعادل نصف كمية الغبار المتساقط فى مركز مدينة جدة. وينخفض كثيراً معدل تساقط الغبار على أطراف المناطق السكنية ليتراوح بين ٧,٥-١٠,٥ جرام/م^{٢}/شهرياً. وتعتبر هذه الكمية معتدلة وفق مؤشر بنسلفانيا حيث يحدد الكمية المتوسطة أو المعتدلة بأنها تتراوح بين ٧-١٤ جرام/م^{٢}/شهرياً. ولكنها مرتفعة عند مقارنتها بمدن الدول الغربية كما حددها العالم Oregon فوق المناطق السكنية والتجارية إذ تبلغ ٥,٣ جرام/م^{٢}/شهرياً.

ومما يذكر أن جدة تعانى فى ذات الوقت من ارتفاع معدلات التلوث بالجزيئات العالقة Suspended Particulat التى قد يستنشقها الإنسان إذ بلغت مثلاً فى يوم ٢٦ أبريل سنة ١٩٨٢ إلى ٣٠٠٠ ميكرو جرام/م^{٣} فى أثناء هبوب عاصفة رملية.

ويعتبر هذا التركيز مرتفع جداً إذ أنه يزيد مرتين عن أعلى تركيز تم تسجيله فى المدن الأمريكية خلال الفترة ١٩٥٦-١٩٦٤ وقد بلغ ١٧٠٦ ميكروجرام/م^{٣}.

وفى دراسة حول التلوث من وسائل النقل في مدينة الرياض السعودية اتضح أن إجمالي الانبعاث السنوي من وسائل النقل فى السعودية سنة ١٩٨٤ ٤١٦,٠٠٠ طن/السنة ، وفى مدينة الرياض بلغ ١٢٥,٠٠٠ طن/السنة أى ما يعادل ٣٠% من إجمالي الانبعاث فى المملكة سنة ١٩٨٤.

ومما يذكر أن وسائل فى السعودية قد زادت خلال الفترة ما بين ١٩٧٣-١٩٨٣ بنسبة زيادة وصلت إلى ٨٤٣% تقابلها زيادة فى كمية الملوثات تصل إلى ٢٠% تضاف سنوياً إلى الغلاف الجوى. وتعتبر وسائل النقل مسئولة

عن ٩٧% من إجمالى هذه الملوثات التى تضاف سنوياً إلى الغلاف الجوى فى السعودية.

هذا ويمكن إيجاز أهم مصادر التلوث الناتج عن وسائل النقل في : -

أ) مركبات الرصاص: يصل متوسط تركيز الرصاص داخل مدينة الرياض فى موقعين ٥,٥ ميكرو جرام/م^{3} وهذه التركيزات تعكس كثافة الحركة المرورية داخل المدينة. وتنخفض هذه التركيزات خارج المدينة على بعد ٢٥ كيلومتراً إلى ٠,٣١ ميكروجرام/م ^{3}.ويضاف إلى التلوث بالرصاص من وسائل النقل فى نفس الدراسة سنة ١٩٨٤ أنبعاث :

ب) الهيدروكربونات HC ١٥,٠٠٠ طن سنة ١٩٨٤.

ج) أول أكسيد الكربون CO ٩٠,٠٠٠ طن سنة ١٩٨٤.

د) أكاسيد النيتروجين NOx ١٩,٠٠٠ طن سنة ١٩٨٤.

ومما يذكر أن متوسط تركيز Co ارتفع خلال ساعة إلى ٤٣ PPm بينما انخفض فى ضواحى المدينة إلى ٢PPm.

هذا وينبعث من محطات توليد الطاقة الكهربائية فى مدينة الرياض ١٥,٠٠٠ مليون طن سنوياً من Co، بالإضافة إلى ٥٠% من إجمالى كمية So_2 المنبعثة إلى الغلاف الجوى. ومما يذكر أن محطات توليد الطاقة الكهربائية التى تبلغ طاقتها الإنتاجية ٧٥٠ ميجاوات ينبعث منها ٩٠٠٠ باوند من أكاسيد النيتروجين فى الساعة الواحدة. ومما يذكر أيضاً أن حرق زيوت الوقود Fuel Oil الذى يحتوى على ما نسبته ٣,٥% منه كبريت، فإنه ينبعث منه ٢٠٠٠PPm (جزء في المليون) من أكاسيد الكبريت نتيجة عملية الاحتراق.

وينبعث ثانى أكسيد الكبريت So_2 من مصافى تكرير الزيت (البترول) فى الرياض وقد انعكس ذلك على كون أقصى تركيز So_2 خلال ساعة بلغ فى الرياض ٢٠,٩ PPm، ولمدة ٢٤ ساعة بلغ ٢,٥ PPm والتركيز السنوى بلغ ٠,٤٠١ PPm جزء في المليون . ومما يذكر أن ، المستويات المسموح بها فى السعودية هى ٠,١٤PPm خلال ٢٤ ساعة و٠,٠٣PPm الحد الأقصى للتركيز السنوى.

يضاف إلى ذلك التلوث بالرصاص الناتج عن استخدام البنزين حيث يضاف سنوياً ١٨١٥ طن/سنوياً إلى الهواء في مدينة الرياض.

ويؤدي مصنع أسمنت العزيزية في مدينة الرياض إلى ارتفاع المتوسط الشهري لتركيز الغبار ليصل إلى ٨٤ طن/كيلومتر المربع. وقد بلغ في ذات الدراسة الحد الأقصى الشهري لتركيز الغبار ١٩٦ طن/كيلومتر المربع على بعد ٣ كيلومتر جنوب مصنع الأسمنت.

ويمكن أجمال مستويات التلوث في مدينة الرياض وفق هذه الدراسة في الجدول التالي :

مستويات التلوث في مدينة الرياض السعودية مارس سنة ١٩٧٧

المنطقة من المدينة	PPm So_2		PPm O_3		PPm Co		TSP Ug/M^3
	المتوسط	الأقصى	المتوسط	الأقصى	المتوسط	الأقصى	
الشمالية	٠,٠١	٠,٠٣	٠,٠٢٥	٠,١٤	٢	٤٠	–
وسط المدينة	٠,٠٣	٠,٠٨	٠,٠١٥	٠,١٤	١٢	٥٠	٨٧٠
الجنوبية	٠,٠٢٥	٠,٠٦	٠,٠٢	٠,٠٢٥	١٥	٣٥	٩٦٧

أما التلوث بالغبار الساقط Dust Fall (وهو الجزيئات التي يزيد قطرها عن ١٠ميكرون) وتصل كمية الغبار الساقط فوق المناطق السكنية بمدينة الرياض ٧٧ طن/كم^2/شهر. ويصل في المنطقة الصناعية حول مصنع الأسمنت ٣٠٠طن/كم^2/شهر بينما الحد المسموح به ٩ طن/كم^2/شهر ، في حين يصل بالقرب من مصنع الأسمنت في مدينة جدة لكمية تتراوح بين ١٠٠-١٥٠ طن/كم^2/السنة.

أما التلوث بالجزيئات السابحة العالقة:

ويقصد بالجزيئات العالقة Supended Particles الجزيئات التي يتراوح قطرها بين ٠,١-١٠ ميكرون وتكمن خطورتها أنها تظل معلقة بالهواء لفترات طويلة وتترسب ببطء.

وتصل كمينتها فى مدينة الرياض حوالى ٩٦٠ ميكروجرام/م^3 فوق المناطق السكنية وتتراوح ما بين ٢٠٠٠-٣٠٠٠ ميكروجرام/م^3 فوق المناطق الصناعية، والحد المسموح به عالمياً ٥٠٠ ميكروجرام/م^3.

ويمكن مقارنة هذه المستويات للتلوث ببعض المدن والمناطق الأوروبية إذ يسقط ٧٨ طناً من الدخان سنوياً على مدينة لندن ،ويسقط ٣٨ طناً/كم^2 من الدخان سنوياً على مدينة بروكسيل ، وفى المناطق السكنية فى إنجلترا تتراوح نسبة الغبار الساقط ما بين ٥٠٠-٢٠٠٠ طن/السنة/١٠٠٠كم^2.

ثالثا بعض المدن المصرية : -

تتعدد الدراسات التى تهتم ببحث تلوث الهواء في المدن المصرية ، ولعل من أهمها ما يرتبط بمدينة القاهرة الكبرى .وقد أتضح من رصد تلوث الهواء فى هذه المدينة أنه : -

١-يصل معدل الأتربة المتساقطة فى بعض أشهر السنة إلى ٣٦٢ طن/ميل^2 ويعادل ذلك ٢٤ مرة الحد الأقصى المسموح به دولياً.

٢-يصل معدل الأتربة العالقة ١٨٨٨ مليون جزئ/م^3/الهواء أى يزيد حوالى ٣٠ مرة عن الحد الأقصى المسموح به دولياً.

وقد أوضحت الدراسات ارتفاع مستويات تلوث الهواء في مدينة القاهرة ، ويمكن إيجازها في الجدول التالي : -

مستويات تلوث الهواء فى مدينة القاهرة

الملوثات	النسبة فى هواء القاهرة	النسبة المسموح بها عالمياً
الأتربة العالقة بالهواء	٢٥٠-٥٢٣ ميكروجرام/م^2	٧٥ ميكروجرام/م^2
الأتربة الساقطة فوق شبرا الخيمة	١٥٠ طن/ميل^2/شهرياً	١٥ طن/ميل^2/شهرياً
غبار الأسمنت/حلوان	٤٧٨ طن/ميل^2/شهرياً	١٥ طن/ميل^2/شهرياً
الأتربة العالقة/حلوان	١٨٨٨ ميكروجرام/م^2	٧٥ ميكروجرام/م^2
تلوث بالرصاص	١٥ ميكروجرام/م^2	٨,٥ ميكروجرام/م^2

مصادر التلوث فى مدينة القاهرة:

١-وسائل النقل: يبلغ عدد السيارات فى مدينة القاهرة ١,١٣٧,٥٥٥ سيارة وتزيد بمعدل ٣٤% سنوياً. وهو عدد كبير خاصة عند العلم بأن كل ١٠٠٠ سيارة ينبعث منها:

- ٣٢٠٠ كيلوجرام من أول أكسيد الكربون.
- ٣٥٠ كيلوجرام من بخار البنزين.
- ١٠٠٠ كيلوجرام من أكاسيد النيتروجين.

هذا بالإضافة إلى كون وسائل النقل مسئولة عن ٦٠% من أسباب الضوضاء فى مدينة القاهرة.

٢-الصناعة: تعتبر الصناعات مسئولة عن ارتفاع درجة التلوث بالأتربة المتساقطة والأتربة العالقة فى هواء مدينة القاهرة. ومن أهم هذه الصناعات فى حلوان التى تضم وحدها ١٧ صناعة منها صناعة الأسمنت والسيارات والحديد والصلب والكوك والكيماويات والأسمدة والصناعات المعدنية وغيرها.

ويبلغ معدل تساقط هذه الأتربة فى حلوان ٣٠٤ جرام/م^{٢}/شهرياً وقد كان منذ عقدين تقريباً لا يتجاوز ٤٣ جرام/م^{٢}/شهرياً. ويبلغ تركيز الجزيئات العالقة بالهواء فى حلوان حوالى ٩٤٦ ميكروجرام/م^{٣} هواء/ كمتوسط سنوى. فى حين أن النسبة المسموح بها عالمياً ٧٥ ميكروجرام/م^{٣} وعندها يبدأ الخطر على صحة الإنسان وسلامة البيئة. أى أنها تجاوزت مستوى الخطر بـ ١٢ ضعفاً.

وبلغ تركيز الدخان حول مصانع حلوان أيضاً ٥٢ ميكروجرام/م^{٣}، وبلغ تركيز ثانى أكسيد الكبريت ١٤ ميكروجرام/م^{٣} سنة ١٩٩٠ كمتوسط عام، وقد بلغ مقدار الفاقد من الأسمنت المتطاير يومياً فى منطقة حلوان ٢٠٠ طن يومياً

بنسبة ٥,٥% من جملة الطاقة الإنتاجية للمصانع. ويؤدى ذلك إلى حجب ٢٠% من الأشعة فوق البنفسجية مما يصيب أطفال حلوان بالكساح ولين العظام. وتدخل رئة ساكني حلوان حوالي نصف كيلو جرام من الملوثات سنوياً ومن بينها مادة السليكا التى تصيب الإنسان بمرض التحجر الرئوي. كما تدخل الجزيئات العالقة (مصدرها صناعات الأسمنت) الجهاز التنفسي فتصيب السكان بنزلات شعبية حادة وحساسية صدرية والربو المزمن واحتقان الرئة.

تلوث هواء المدن:

يختلف هواء المدن فى خصائصه عن هواء الريف لكون هواء المدن كثيراً من مكوناته الأساسية وأضيف إليه العديد من الملوثات الغازية مثل غاز الأمونيا NH_3 وكبريتيد الهيدروجين H_2S والأوزون O_3 بالإضافة إلى الجسيمات الصلبة السابحة فى الهواء التى تتضمن عناصر الألومنيوم، الكربون، الفضة، النحاس، الحديد وغيرها. ويؤدى اتحاد ثالث أكسيد الكبريت So3 مع بخار الماء (الرطوبة الجوية) H_2O إلى تكوين حمض الكبريتيك H_2So_4 مما يتبعه تكون حمض ضباب المدن Urban Fog. كما يتحد الكبريتيك مع غاز الأمونيا ويتبع ذلك تكون سلفات الأمونيا $(NH_4)_2So_4$ وهى عبارة عن غبار صلب Solid Dust. ويعد زيادة مكونات الرصاص Pb والفاناديوم V من أخطر الملوثات على صحة الإنسان ويرجع مصدرها الأساسي إلى الانبعاث من السيارات.

وتعانى بعض مدن العالم من ارتفاع درجة تركيز الأتربة والدخان فى الهواء مثل أغلب مدن وسط أفريقيا والجزيرة العربية وجنوب آسيا وشمال غرب الهند وغرب باكستان والصين والبرازيل. ويغلب على هذه المدن انتشار الضباب الأزرق والدخان الناتج عن الحرق الزراعي، والضباب البنى الناتج عن المناجم المعدنية. وتعانى بشكل دائم من وجود السحب الترابية Dust Cloud. ويرجع هذا التراب البني فى تكوينه أساساً إلى مواد طبيعية مثل الصلصال والطمى بأحجام صغيرة ودقيقة جداً. أما الأتربة الزرقاء فترجع إلى مخلفات زراعة التحاريق.

وتشير الدراسات الحديثة إلى الزيادة الملموسة في درجة تركيز الأتربة ومن أمثلة ذلك ارتفاع درجة تركيزها فوق مدينة واشنطن فيما بين ١٩٠٥-١٩٦٤ حيث كان تركيزها ٥٧% وبلغت هذه النسبة ٨٨% فيما بين ١٩٢٠-١٩٥٨م.

وقد قدر التلوث السنوى الناتج عن ثانى أكسيد الكبريت So_2 سنة ١٩٦٥ بأنه يبلغ حوالى ١٤٧×١٠^٦ طن/سنوياً. ويرجع ٧٠% من هذه الكمية إلى احتراق الفحم، و١٦% إلى احتراق منتجات ومشتقات البترول خاصة زيت الوقود. وتقدر كمية الكبريت المضافة إلى الغلاف السنوى بنحو ٢٢٠×١٠^٦ طن/سنوياً.

أما كمية ثانى أكسيد النيتروجين No2 فتقدر بحوالى ٥٢,٩×١٠^٦ طن/سنوياً. ومن أهم مصادر التلوث بثانى أكسيد النيتروجين احتراق الفحم - واحتراق الزيوت وتكرير البترول.

ويعتبر أول أكسيد الكربون Co من أخطر الغازات الملوثة للهواء لكونه غاز سام وسريع الانتشار ومصدره عوادم السيارات وعمليات احتراق الفحم والغلايات وبعض العمليات الصناعية. وتقدر نسبة Co التى تنطلق سنوياً إلى الغلاف الجوى بحوالى ٢٥٧×١٠^٦ طن. وتتركز ٩٥% منها فى نصف الكرة الشمالى حيث تقع أغلب الصناعات الثقيلة والمدن الصناعية الكبرى، فضلاً عن ارتفاع مستوى المعيشة وارتفاع معدلات استخدام السيارات الخاصة فى التنقلات الداخلية. وترتفع درجة تركيز هذا الغاز السام فوق المدن لتتراوح فيما بين ٥٠-١٠٠ جزء فى المليون. ويبلغ تركيزه العام فى نصف الكرة الشمالى على نحو التقريب ٠,٢٠ جزء فى المليون بينما ينخفض إلى ٠,٠٦ جزء فى المليون فى نصف الكرة الجنوبى.

ويصل المعدل السنوى لكمية الغبار المضافة سنوياً إلى هواء مدينة بتسبرج الصناعية فى الولايات المتحدة الأمريكية إلى ٦١٠ طن غبار/ميل^٣/سنويا. وتبلغ هذه الكمية فى شهور الصيف ١,٥ طن/ميل^٣/يوم، وفى

شهور الشتاء تصل لأكثر من ٢,٢٥ طن/ميل^{٣}/يوم. ومما يذكر أن نسبة الكربون فى هذا الغبار تعادل ٥%. يوضح الجدول التالي تركيز بعض الملوثات الغازية من خلال قياسات لـ ١٠ مدن أوروبية وأمريكية.

مدى تركيز الملوثات الغازية فى هواء المدن

الغاز	التركيز جزء فى المليون	الكمية الحرجة الضارة بصحة الإنسان مليجرام/م^{٣}
ثانى أكسيد الكربون Co_2	٣٠-١٠	١٠٠
أول أكسيد الكربون Co	٤٠٠-٥٠	
ثانى أكسيد الكبريت So_2	٢-٠,١	٣
أكاسيد النيتروجين No_x	٦-١	٢٥

هذا ويؤثر تلوث هواء المدن فى خصائصها المناخية إذ يؤدى ارتفاع التلوث بالغبار والأتربة فوق المدن إلى فقدان المدن ما نسبته تتراوح بين ١٠%-٢٠% من جملة الإشعاع الشمسي أو فترات شروق الشمس مقارنة بالريف. وينعكس ذلك أيضاً على درجة الإضاءة فى المدن التى تقل بصفة عامة عن المناطق الريفية. وقد أثبت ذلك العالم Fedorov سنة ١٩٥٨ فى مدينة أوكرانيا الروسية إذ أثبت أن كمية الضوء الشمسى الذى يصل إلى أوكرانيا فى شهر يونية يقل عن الريف بمقدار ٥% وترتفع نسبة النقص هذه لتصل إلى ١٣% خلال شهر ديسمبر.

ويتبع تلوث هواء المدن بعض التأثيرات السلبية لملوثات الهواء التى قد تفقدنا إحساسنا بخطورتها مثل العمليات الكهربائية فى الغلاف الجوى. إذ يوجد فى الغلاف الجوى عدد من الأيونات الصغيرة ذات إشارات واضحة ويبلغ عددها حوالى عدة مئات/السنتيمتر المكعب وهذه الأيونات ذات توصيل عالى للكهرباء. وتعانى المدن من كون هذه الأيونات (الأجسام الصغيرة) مدة بقائها محدودة. وتتحد بعض هذه الأيونات مع الهباء الجوى Aerosol فتصبح أيونات كبيرة. ولهذا يقل عدد الأيونات الصغيرة فى هواء المدن الكبيرة التى يرتفع فيها

معدل التلوث بالهباء الجوى حيث تقل بنسبة تتراوح بين ٥٠-٧٥% عن عددها في هواء الريف. ومما يذكر أن، هذه الأيونات الكبيرة فى هواء المدن يزيد ارتفاعها بمقدار حوالى ١٠ مرات فوق المناطق الحضرية الملوثة. وينعكس ذلك على نقص التوصيل الكهربى كلما زاد عددها. ويصل عدد هذه الأيونات الكبيرة فوق المدن خلال شهور الشتاء حوالى ٢٠٠ فولت/متر وينخفض صيفاً إلى ١٠٠ فولت/متر بينما يتراوح عددها فوق الريف إلى حوالى ٤٠- ٧٠ فولت/متر شتاء.

وقد أمكن تسجيل مستويات التلوث بثانى أكسيد الكبريت So2 فى الغلاف الجوى فى نطاق المجال الجوى للطائرات فيما بين دائرتى عرض ٥٧-٧٠ درجة شمالاً خلال سنة ١٩٧٥ ، وقد كان توزيعه على النحو التالى:

النطاق	الهواء الجوى (pptv)	التروبوسفير (pptv)
نصف الكرة الشمالى	٨٩	١٢٢
نصف الكرة الجنوبى	٥٧	٩٠
يابس القارات	١١٢	١٦٠
المحيطات	٥٤	٨٥

ويتضح مما سبق أن تركيز So_2 فى المناطق القارية أعلى من هوامش المحيط الأطلنطى. وتنخفض درجة تركيز So_2 بمعدل حوالى ٨٠ pptv (جزء/التريليون/حجم Parts Per Trillion by Volume) كلما بعدنا عن المناطق القارية (يابس القارات). ونلاحظ ارتفاع تركيزه فى النصف الشمالى عن النصف الجنوبى. ويحتوى الغلاف الجوى على العديد من الملوثات الأولية (التى تدخل فى تفاعلات كيميائية مع مكونات الهواء فتنتج مزيداً من الملوثات) Primary Pollutants سواء إن كان مصدرها طبيعى أو ناتجة عن النشاط البشرى، هذا بالإضافة إلى الملوثات الثانوية Secondary Pollutants التى لا تتكون أو تنبعث بصورة مباشرة من الطبيعة ولكنها ترجع إلى مجموعات من التفاعلات الكيميائية

والكيميوضوئية Photochemical Reactions لملوثات أولية أخرى. وتجدر الإشارة هنا، إلى أن غازات الكبريت ترجع أو تنبعث في أغلبها من مصادر بشرية يغلب عليها غاز ثانى أكسيد الكبريت So_2 وحينئذ يدخل So_2 فى سلسلة من التفاعلات الكيميائية إذ يتأكسد فى عدة صور منها (هبائيات كبريتية Sulfate Aerosols)، وهذه الهبائيات الكبريتية (جسيمات تحتوى على جزيئات من الكبريت المؤكسد) أكثر سمية من ثانى أكسيد الكبريت لأن قطر حبيباتها يقل عن ميكرومتر واحد (µm) ولذلك فهى تخترق بعمق الجهاز التنفسى Respiratory Tract أى أنها قابلة للاستنشاق Inhalable.

ملوثات الهواء وأهم مصادر انبعاثها : -

تتعدد ملوثات الهواء فيما بين ملوثات غازية وأخرى صلبة ، كما تتنوع مصادر انبعاث كل منها ، وكذلك تفاعلاتها الكيميائية ، فضلا عن درجة خطورتها البيئية ، ويمكن دراسة هذه المتغيرات على النحو التالي : -

١- الغازات الكبريتية : -

ينبعث الكبريت ومركباته المختلفة من احتراق الوقود والعمليات الصناعية ووسائل النقل وتحلل النفايات وغيرها ، ويوضح الجدول التالى أهم مصادر أنبعاثه على سبيل المثال في الولايات المتحدة الأمريكية ١٩٧٥ .

انبعاث أكاسيد الكبريت فى الولايات المتحدة الأمريكية

من المصادر المختلفة سنة ١٩٧٥

المصدر	الكمية طن متري/سنوياً	نسبته %
احتراق الوقود	٢٣,٠٧٣,٢٨٠	٧٨
العمليات الصناعية	٥,٩٦٦,٥١١	٢٠
النقل	٥٥,٣٦٧	صفر
النفايات الصلبة المتراكمة	٦٤٧,٤٩٦	٢
أخرى	٢	صفر
المجموع	٢٩,٧٤٢,٦٥٦	%١٠٠

٢ - غاز أول أكسيد الكربون Carbon Monoxide (Co):

ينتج ٩٠% من غاز Co عالمياً من عملية الأكسدة لغاز الميثان الناتج عن احتراق الوقود العضوى. ويعتبر النشاط البشرى مسئولاً عن ٩٠% من إجمالى كمية Co المنبعثة إلى الغلاف الجوى بسبب انبعاثه من وسائل النقل المختلفة ولذا يرتفع تركيزه فى المدن الصناعية الكبرى.

٣ - غازات أكاسيد النيتروجين Nitrogen Oxides (Nox):

ينبعث ٦٠% من No_x من المصادر الطبيعية Natural Sources مثل احتراق الغابات، الإضاءة، البرق، أكسدة الأمونيا. وترجع (٤٠%) الباقية إلى المصادر البشرية مثل وسائل المواصلات البرية والجوية واحتراق الوقود وتكرير الزيت ومحطات توليد الطاقة الكهربائية وغيرها.

وقد أجملت منظمة الصحة العالمية أهم مصادر انبعاث هذه الملوثات على النحو التالى :-

كمية ملوثات الهواء المنبعثة سنوياً (مليون طن/سنوياً)

عن منظمة الصحة العالمية

المصدر	ثانى أكسيد الكربون	أكاسيد الكبريت	أكاسيد النيتروجين	هيدروكربونات	الجزيئات	المجموع
النقل	٦٧,٣	٠,٣	٧,٠	١٢,٧	٠,٧	٠,٨٨
الأخرى	٣,٩	٠,١	١,٠	١.١	٠,٥	٦.٦
المجموع	٧١,٢	٠,٤	٨,٠	١٣,٨	١,٢	٩٤,٦
احتراق الوقود						
الطاقة النباتية	٠,١	١٤,٠	٣,٥	كمية ضئيلة	٢.٣	١٩,٩
الصناعة	٠,٣	٥.٥	٣,١	٠,١	٣,٠	١٢,٠
النفايات	١,٣	١,٨	٠,٥	٠,٦	٠,٤	٤,٦
الأخرى	٠,٢	٠,٧	٠,٤	كمية ضئيلة	٠,٣	١,٦
المجموع	١,٩	٢٢,٠	٧,٥	٠,٧	٦,٠	٣٨,١
العمليات	٧,٨	٧,٢	٠,٢	٣,٥	٥,٩	٢٤,٦
النفايات الصلبة	٤,٥	٠,١	٠,٧	١,٤	١,٢	٧,٩
مصادر متنوعة	١,٢	٠,٦	٠,٢	٤,٢	٠,٤	٦,٦
الإجمالى	٨٦,٦	٣٠,٣	١٦,٦	٢٣,٦	١٤,٦	١٧٢.٨

ويتضح من ذلك الجدول أن ثانى أكسيد الكربون هـــو أكـــثر الغـــازات انبعاثاً إلى الغلاف الجوى وينطلق أغلبه من عمليات الاحتراق الداخلي فى وســائل النقل خاصة السيارات . أما أكاسيد الكبريت فترجع إلى احتراق الوقود العضـــوي والصناعة.

أما الصناعة فتعتبر المصدر الأساسى لانبعاث أكاسيد النيتروجين. أمـــا الاحتراق الداخلـــى لـــلآلات فـــهى المســـئول الرئيســـي فـــى انبعـــاث المـــواد الهيدروكربونية، والجزيئات يرجع انبعاثها فى المقام الأول من الصناعة.

نماذج تطبيقية لملوثات الهواء في بعض المـــدن الســـعودية (جـــدة – الرياض – الظهران – الجبيل – ينبع) :

١ - أول أكسيد الكربون:

قد تم قياس أقصى تركيز لـــ Co بالقرب من الطـــرق المتجهـــة إلـــى مدينتى جدة والرياض حيث ترتفع الكثافة المرورية. وقد وصل هذا التركيز إلـــى ٥٠ جزء فى المليون وهو أعلى من الحدود القصوى المسموح بها عالمياً خـــلال ساعة واحدة فى الولايات المتحدة الأمريكية وهى ٣٥ جزء فى المليـــون ،وقـــد بلغت أيضاً ٢٠ جزء فى المليون لمدة ٣ ساعات فى جدة والرياض.

٢ - ثانى أكسيد الكبريت:

ترتفع تركيزاته بنسبة حوالى ٢٠% عن المعدل السنوى الذى حددتـــه منظمة الصحة العالمية وهو ٠,٠٢٣ جزء فى المليون. وقـــد بلغـــت التركـــيزات القصوى فى مدينة صفوة (جنوب الجبيل على الخليج العربى) تعادل ٣ مرات هـــذا المستوى العالمى وذلك بسبب مصافى تكرير الزيت فى رأس تنورة.

٣ - الجزيئات العالقة:

بلغ تركيزها ١٨٤ ميكروجرام/المتر المكعب فى مدينة الظـــهران و٩٣٥ ميكروجرام/المتر المكعب فى مدينة جدة. وهذه التركيزات تعادل الحـــد الأقصـــى للمستوى المسموح به فى الولايات المتحدة الأمريكية خلال ٢٤ ساعة.

ويوضح الجدول التالي معدلات التلوث بثاني أكسيد الكبريت في مدينة ينبع السعودية على ساحل البحر الأحمر وحيث تقع مصافي تكرير البترول ومصانع الكبريت.

الحدود القصوى	المنطقة الصناعية		المنطقة السكنية	
خلال ساعة	٢٤ ساعة	خلال ساعة	٢٤ ساعة	خلال ساعة
٥٤٠	٤٠٠	٨٠٠	٢٥٠	٥٠٠
٨٣٠				
٧٢٧				

وحدة القياس ميكروجرام/م^{٣}

٨٣٠ أقصى تركيز تم رصده في مدينة ينبع في المنطقة الصناعية الرئيسية واستمر لمدة ساعة وكان بسبب الانبعاث من مصانع حمض الكبريتيك الذى نقلته الرياح الشمالية الغربية بسرعة خفيفة.

٧٢٧ حدث هذا التركيز بسبب الانبعاث من مصانع حمض الكبريتيك.

٥٤٠ حدث هذا التركيز بسبب الانبعاث من مصافى تكرير الزيت ومصانع حمض الكبريتيك ومصنع الأسمنت فى ظل رياح من غرب الشمال الغربى وسرعتها خفيفة.

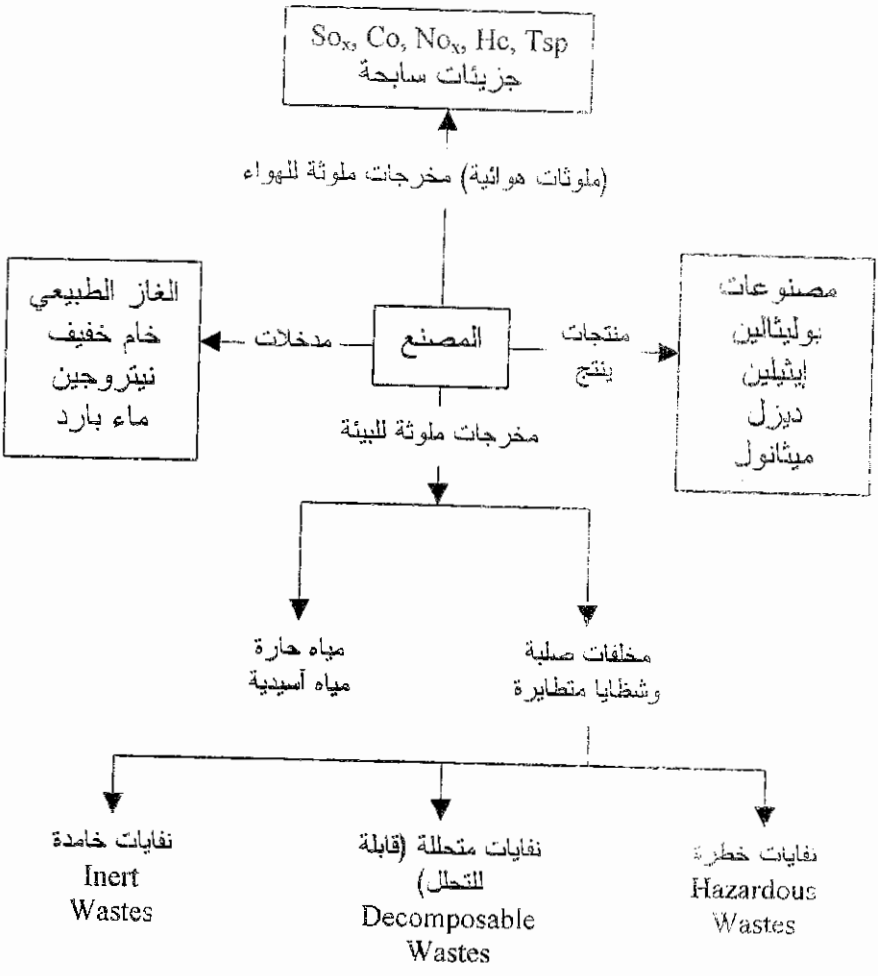
التلوث بالجزيئات العالقة Particulates في مدينة ينبع

التركيزات القصوى	المنطقة الصناعية		المنطقة السكنية	
خلال ساعة في منطقة الصناعات الأساسية	١ ساعة	٢٤ ساعة	١ ساعة	٢٤ ساعة
٣٢٢	٥٠٠	٣٤٠	٣٠٠	٢٠٠
٣٢٠				
٢٥٨				

وهذه القياسات تم رصدها على بعد ١٠ كيلومتر من المنطقة الصناعية الرئيسية فى مدينة ينبع السعودية. وترجع التركيزات القصوى (٣٢٢ و٣٢٠ و٢٥٨) ميكروجرام/م^3 فى ٩٨% منها إلى الانبعاث من مصنع الأسمنت.

هذا ويسهم التركز الصناعى على ساحل الخليج العربي في تلوث الهواء فى المدن السعودية إذ تؤدى (يبلغ معدل النمو السكاني في السعودية ٣% سنويا) الصناعات البتروكيميائية إلى ارتفاع تلوث الهواء بالفلورين، أكاسيد الكبريت، أكاسيد الحديد، و الهيدروكربونات .وينتج عن الصناعات البتروكيميائية خاصة تلك التى تعتمد على الغاز الطبيعي الذى يرتفع محتواه من الكبريت إذ تعد من أهم مصادر انبعاث ثانى أكسيد الكبريت. وقد انعكس ذلك على مستويات التلوث بـ So_2 فى المدن السعودية الخليجية مثل الدمام والظهران والخبر حيث تستقبل ٢ مليون طن سنوياً من So_2 ويعادل ذلك ما نسبته ٧٣% من إجمالي التلوث بهذا الغاز فى منطقة الخليج العربي بأسرها.

وينتج عن المصانع التى تعتمد على الغاز الطبيعى انبعاث كمية من ملوثات الهواء مثل أكاسيد الكبريت والجزيئات وأول أكسيد الكربون وأكاسيد النيتروجين والمواد الهيدروكربونية هذا فضلاً عن الملوثات غير الغازية مثل المياه الصناعية الحارة والمياه الآسيدية الحارة فضلاً عن النفايات ويتضح ذلك من النموذج التالي:


So_x, Co, No_x, Hc, Tsp
جزيئات سابحة
(ملوثات هوائية) مخرجات ملوثة للهواء
الغاز الطبيعي
خام خفيف
نيتروجين
ماء بارد
مدخلات
المصنع
منتجات
ينتج
مصنوعات
بوليثالين
إيثيلين
ديزل
ميثانول
مخرجات ملوثة للبيئة
مياه حارة
مياه آسيدية
مخلفات صلبة
وشظايا متطايرة
نفايات خامدة
Inert
Wastes
نفايات متحللة (قابلة
للتحلل)
Decomposable
Wastes
نفايات خطرة
Hazardous
Wastes

هذا ويمكن أجمال الملوثات الناتجة عن مصافي التكرير في الجدول التالي:

الملوثات المنبعثة من مصافى تكرير الزيت

الملوث	المصادر المحتملة
كبريتيد الهيدروجين	الغلايات، عمليات التسخين، وحدات التكسير، وحدات المعالجة، اشتعال كبريتيد الهيدروجين.
الهيدروكربونات	قنوات التخزين، نفايات المياه، الأنابيب، أبراج التبريد، هبوب الهواء، عمليات التسخين، الغلايات، العزل.
أكاسيد النيتروجين	عمليات التسخين، الغلايات، التكسير، التوهج.
الجسيمات (الجزيئات)	التكسير، الغلايات، عمليات التسخين.
الروائح	وحدات المعاملة، النفايات.
أول أكسيد الكربون	التكسير.

وجدير بالذكر أن كمية الهيدروكربونات المنبعثة من مصافي تكرير الزيت تمثل نسبة تتراوح ما بين ٥-١٠% من إجمالي كميتها المنبعثة إلى الغلاف الجوى.

هذا ويعتبر ثاني أكسيد الكبريت أهم الغازات المنبعثة من مصافي تكرير الزيت وإن كان ذلك يتوقف على محتوى الزيت من الكبريت ويبلغ فى متوسطة على مستوى حقول الزيت السعودية حوالي ٣% من وزن الزيت الخام هو عنصر الكبريت.

ويستعرض الجدول التالي كمية الملوثات الغازية المنبعثة من مصافي الزيت وفقا للعمليات الإنتاجية في حال استخدام وسائل مكافحة التلوث من عدمه :

كمية المواد المنبعثة من مصافى الزيت الخام جرام/لتر

العملية	So_2	No_2	Co	HcIs	الجزيئات
١- الغلايات	S١٩,٢	٨,٠	ضئيل	٠,٤	٢,٤
٢- عمليا التكسير					
أ) بدون وسائل تحكم	١,٤	٠,٢	٣٩,٢	٠,٦	٠,٧
ب) بوسائل تحكم	١,٤	٠,٢	ضئيل	٠,٦	٠,١٣
٣- التكسير المانع					
أ) بدون وسائل تحكم	ضئيل	ضئيل	ضئيل	ضئيل	١,٥
ب) بوسائل تحكم	ضئيل	ضئيل	ضئيل	ضئيل	٠,٠٢

ويمكن تناول أهم مصادر تلوث الهواء بالتفصيل على النحو التالي : -

١ - المنافع.

٢ - احتراق الوقود.

٣ - النشاط الصناعي.

٤ - وسائل النقل.

٥ - حرق النفايات.

١- **المنافع** Utilities:

ويقصد بها استخدام الأساليب الحديثة للرفاهية مثل التوسع فى استهلاك الطاقة الكهربائية بغرض التدفئة والتبريد والإضاءة والأجهزة الكهربائية فعلى سبيل المثال، فإن مصنع يعتمد على الطاقة البخارية لإنتاج الكهرباء بطاقة ٢٠٠٠ ميجاوات، فإنه يحرق مليون كيلو جرام/ساعة من الفحم وينتج عن ذلك انبعاث ٤% من وزن الفحم المحروق رماد الفحم Ash Coal ويترسب تبعاً لذلك كمية تصل إلى ٤٠,٠٠٠ كيلو جرام/ساعة من الرماد الفحمى. وقد تستخدم بعض وسائل التحكم فى كمية الرماد الفحمى المنبعث من المداخن وإن كان جزء منها ينبعث مع الغازات الأخرى الناتجة عن حرق الفحم. وتجدر الإشارة هنا إلى أنه لو أمكن حجب ٥٠% من الرماد المنبعث بإعادته إلى المدخنة ثم أمكن فى أحسن الأحوال السيطرة على ما نسبته ٩٩% منها، فإنه وفى مثل هذه الظروف المثالية، ينبعث حوالى ٢٠٠ كيلو جرام/ساعة من الرماد إلى الغلاف الجوى. هذا بالإضافة إلى ٣٤١,٠٠٠ كيلو جرام/ثانى أكسيد الكبريت/يومياً، و١٨٥,٠٠٠ كيلو جرام/أكاسيد النيتروجين/يومياً.

٢- **احتراق الوقود**:

يستخدم حرق (الاحتراق) Combustion بشكل واسع لتحويل الطاقة الكيميائية للوقود إلى طاقة حرارية Thermal Energy ومن أمثلتها حرق الوقود الحفرى، والأفران المنزلية ومحركات وسائل النقل.

وينتج عن أبسط صور الاحتراق ثاني أكسيد الكربون وبخار الماء وهى في جملتها غير ملوثة للهواء. ولكن تأتى خطورة الاحتراق من انطلاق مواد أخرى هى ملوثات الهواء مثل Co وSo_2 وNo_x والدخان والمعادن وأكاسيدها، أملاح المعادن، الألدهايدز والأحماض والهيدروكربونات.

وتعتبر عمليات الاحتراق فى محركات وسائل النقل مسئولة عن ١% من كمية Co فى الغلاف الجوى وهى كمية كبيرة لا يمكن تجاهلها فى بحث مشكلات التلوث. هذا وعند حرق الوقود فى صورته السائلة مثل زيت الوقود Fuel Oil، فإن جزءاً كبيراً يتبخر فى صورة غازات قبل أن تبدأ عملية الاحتراق نفسها وذلك بسبب الحرارة الخارجية التى تؤدى إلى تجزئة الوقود إلى غازات تتبخر كل منها وفقاً لدرجة غليانه. ويوضح الجدول التالى العلاقة بين درجة حرارة احتراق الوقود وبين التغيرات التى تطرأ على كمية الملوثات المنبعثة : -

العلاقة بين درجة حرارة الاحتراق وكمية انبعاث الملوثات

الملوث	درجة الحرارة	كمية الانبعاث
أكاسيد النيتروجين	مرتفعة	زيادة
أكاسيد الكبريت	لاتؤثر	كمية ثابتة مرتفعة بصفة عامة
الجزيئات أول أكسيد الكربون، الهيدروكربونات	مرتفعة	انخفاض
الدخان	مرتفعة	انخفاض

٣ – النشاط الصناعي :

يعتبر النشاط الصناعي من اكثر الأنشطة البشرية المسئولة عن تلوث الهواء خاصة الغازات الكبريتية والنيتروجينية كما يتضح ذلك على سبيل المثال في الجدول التالي :-

المعدل السنوى لانبعاث ملوثات الهواء بمنطقة الشعيبة الصناعية بالكويت

الملوث	معدل الانبعاث طن/سنوياً
ثانى أكسيد الكبريت	٩٨٠١٧
أكاسيد النيتروجين	٣٩٧٢٨
المواد الهيدروكربونية	٧١١٧٤
أول أكسيد الكربون	٦٨٨٦٤
الأمونيا	٧٣,٢٦

وتتنوع ملوثات الهواء باختلاف الوقود والمواد الخام وحجم الإنتاج ومدى استخدام وسائل مكافحة التلوث وغيرها . ويمكن عرض أهم الصناعات على النحو التالي : -

أ - صناعة الأحماض Acid Manufacture:

تستخدم الأحماض كمواد خام فى العديد من العمليات الصناعية الحديثة خاصة حمض الكبريتيك الذى يعد واحداً من أكثر الأحماض الكيميائية غير العضوية استخداماً فى الصناعة. وينبعث من مصانع حمض الكبريتيك العديد من الملوثات إلى الغلاف الجوى وتتضمن ثانى أكسيد الكبريت وحمض الكبريتيك والأيروزول الرطب (رذاذ الأيروزول Aerosol Mists).

ب- الأسمدة الفوسفاتية:

يتم معالجة بعض الأسمدة الفوسفاتية بإضافة حمض الكبريتيك لإنتاج أسمدة فوسفات Super Phosphate Fertilize ، ينتج مثلاً من ١٠٠ مصنع أسمدة سوبر فوسفات فى الولايات الأمريكية حوالي بليون كيلو جرام منها سنوياً ويتبع ذلك انبعاث الفلوريد الذى يضر كثيراً بالمراعى بالإضافة إلى انبعاث الجزيئات وثانى أكسيد الكبريت ودقائق الأمونيا Ammonia Particulat.

ج - الصناعات الكيميائية غير العضوية:

الصناعة	ملوثات الهواء
أكسيد الكالسيوم (الجير)	غبار جيرى
كربونات الصوديوم (رماد الصودا)	أمونيا – غبار رماد الصودا
هيدروكسيد الصوديوم (الصودا الكاوية)	أمونيا – غبار كاوى ورذاذ
نترات الأمونيوم	أكاسيد النيتروجين
كلورين	غاز الكلورين
برومين	غاز البرومين

د - الصناعات البتروكيميائية:

تنتج جميع مشتقات البترول من الزيت الخام Crude Oil وينشأ التلوث بداية من استخراج الزيت من الحقل ونقله إلى المصفاة Refinery حيث تنبعث الروائح وبعض المواد الهيدروكربونية وكميات قليلة من غازات الكبريت. وقد يمتد تأثير هذا الانبعاث إلى بعض المناطق البعيدة نسبياً عن حقول الزيت نفسها ولكن تأثيرها يكون أوضح على العاملين فى هذه المصانع التى غالباً ما تستخدم أسلوب التصنيع المغلق للحد قدر الإمكان من انبعاث الملوثات والروائح.

ه - صناعة الألومنيوم:

تعتبر صناعة الألومنيوم من أهم مصادر تلوث الهواء بالفلوريد ويؤدى انبعاث الفلوريد إلى إحداث خسائر جسيمة بالنبات الطبيعى وبالتالي حيوانات المراعى.

و - صناعة الحجر والطفل:

تؤدى الصناعات الحجرية إلى انبعاث الجزيئات إلى الهواء فى جميع المراحل الإنتاجية. وهذه الجزيئات تشمل الغبار المعدني Mineral Dusts فى أحجام تؤذى اللسان. ولذا فإن هناك محاولات مستمرة للحد من انبعاث الغبار حفاظاً على صحة العاملين .و يؤدى مثلا مصنع أسمنت العزيزية فى مدينة الرياض إلى ارتفاع المتوسط الشهرى لتركيز الغبار ليصل إلى ٨٤ طن/كيلومتر المربع ٠ وقد

بلغ في ذات الدراسة الحد الأقصى الشهري لتركيز الغبار ١٩٦ طن/كيلومتر المربع على بعد ٣ كيلومتر جنوب مصنع الأسمنت.

أما الغبار الساقط Dust Fall (وهو الجزيئات التي يزيد قطرها عن ١٠ميكرون) وتصل كميته فوق المناطق السكنية بمدينة الرياض ٧٧ طن/كم٢/شهر ، ويصل في المنطقة الصناعية حول مصنع الأسمنت ٣٠٠طن/كم٢/شهر بينما الحد المسموح به ٩ طن/كم٢/شهر . ويصل بالقرب من مصنع الأسمنت في مدينة جدة لكمية تتراوح بين ١٠٠-١٥٠ طن/كم٢/السنة. ومما يذكر أن احتراق البنزين مسئول عن ما نسبته ٩٤.٨% من إجمالي كمية الرصاص المنبعثة إلى الغلاف الجوي في حين أن الصناعة تسهم فقط بنسبة ٢% من إجمالي الرصاص في الغلاف الجوي.

ويوضح الجدول التالي مساهمة مصادر التلوث في انبعاث أول أكسيد الكربون وأكاسيد النيتروجين ، إذ ترتفع مساهمة وسائل النقل في كل منها لتعادل ٦٣% للأول و ٤٢% للثاني .

مصادر الانبعاث لبعض الغازات على المستوى العالمي

الغاز	المصدر	النسبة
Co	وسائل النقل Traffic	%٦٣
	الصناعة Industry	%١١
	حرق النفايات Burning of Refuse	%٨
	(التدفئة) التسخين Heating	%٢
	مصادر أخرى Others	%١٦
No_x	محركات وسائل النقل	%٤٢
	محطات الطاقة الحرارية	%٢٣
	الحرائق المنزلية	%٤
	الصناعة	%٢٤

٤ – **وسائل النقل : -**

تعتبر وسائل النقل مسئولة عن ٦٠% من ملوثات الهواء بينما الصناعة مسئولة عن ٢٠% ويرجع ذلك إلى وقود السيارات سواء البنزين أو الغاز أو الديزل كلها عبارة عن مواد هيدروكربونية وعند احتراقها غير الكامل تنبعث كمية كبيرة من غازات العوادم ومن أهمها أول أكسيد الكربون بالإضافة إلى أول أكسيد النيتروجين الذى يتأكسد فى الهواء مكوناً ثانى أكسيد النيتروجين الذى يؤثر سلباً على صحة الإنسان عند تركيز يتراوح بين ١-١٠ PPm (جزء فى المليون). وينبعث أيضاً من عوادم السيارات ثانى أكسيد الكبريت الذى يذوب فى الرطوبة الجوية مكوناً حمض الكبريتيك.

وعند احتراق ١٠٠٠ لتر من البنزين فى وسائل النقل ينبعث ١,٨ كيلو جرام من ثانى أكسيد الكبريت فى الهواء، هذا بالإضافة إلى انبعاث الغازات الهيدروكربونية التى تحتوى فى أبسط صورها على غاز الميثان، وفى أعقد تركيباتها على البنزوبيرين والتولوين والزيلين. وتعتبر السيارات مسئولة عن ٢٠% من البنزوبيرين المسرطنة (تصيب بالسرطان) الموجود فى الهواء.

ويعتبر الرصاص من أخطر ملوثات الهواء التى تنبعث من وسائل النقل بسبب محتوى البنزين من الرصاص ، ولذا اضطرت العديد من الدول إلى خفض كمية الرصاص فى البنزين نظراً لخطورته البيئية. فقد اتجهت هيئة حماية البيئة الأمريكية إلى خفض كمية الرصاص فى البنزين إلى ٠,٤٥ جرام/لتر سنة ١٩٧٣. و٠,١٣ جرام/لتر سنة ١٩٨٥ و٠,٠١ جرام/لتر سنة ١٩٨٨.

وفى أوروبا الغربية انخفض إلى ٠,١٥ جرام/لتر سنة ١٩٩٠. ويحتوى البنزين فى السعودية على ٠,٨٤ جرام/لتر من الرصاص وهى نسبة مرتفعة خاصة مع زيادة عدد المركبات من ٢٢٨,٤٨١ سنة ١٩٧٣ إلى ٢,١٥٤,٩٠٥ سنة ١٩٨٣.وقد تبع ذلك ارتفاع تركيز الرصاص فى الهواء ليتجاوز الحدود المسموح بها عالمياً. ومما يذكر أن احتراق البنزين مسئول عن

ما نسبته ٩٤,٨% من إجمالي كمية الرصاص المنبعثة إلى الغلاف الجوى فى حين أن الصناعة تسهم فقط بنسبة ٢% من إجمالي الرصاص فى الغلاف الجوى. هذا وتختلف كمية انبعاث العوادم ، المركبات الهيدروكربونية ، وأول أكسيد الكربون ، وأول أكسيد النيتروجين من السيارات باختلاف سرعة السيارة وحركتها وتوقفها كما يتضح من الجدول التالى :-

اختلاف كمية ملوثات الهواء باختلاف حركة السيارة

الحالة	كمية العوادم	مركبات Hc	نسبة Co	تركيز No
الماتور دائر والسيارة واقفة	٦-٨ قدم³/الدقيقة	١٠٠٠-٥٠٠ PPm	٦-٤%	١٠-٥٠ PPb
تتحرك السيارة بسرعة مختلفة	٣٠-٣٥ قدم³/الدقيقة	٥٠٠-٥٠ PPm	صفر-٦%	١٠٠٠-٤٠٠٠ PPm
تتحرك بسرعة منتظمة ٦٠كم/ساعة	١٥-٣٥ قدم³/الدقيقة	٢٠٠٠-٣٠٠٠ PPm	٤-١%	١٠٠-٣٠٠٠ PPm
عند الضغط على الفرامل فجأة	٦-٨ قدم³/الدقيقة	٤٠٠٠- ١,٢٠٠,٠٠٠ PPm		

وتسهم السيارات بنسبة مرتفعة من إجمالي الغازات الملوثة للهواء على المستوى العالمي ، ومثال لذلك دولة الكويت كما يتضح في الجدول التالي :

نسبة ملوثات عوادم السيارات من إجمالي تلوث الهواء بالكويت

نسبة المنبعث من السيارات	نسبته من إجمالي التلوث سنة ١٩٨٥
أول أكسيد الكربون	%٩٥,٩
المواد الهيدروكربونية	%٧٦,٢
أكاسيد النيتروجين	%٢٥,٩
ثانى أكسيد الكبريت	%٠,١٢

وتتضح خطورة أول أكسيد الكربون المنبعث عن السيارات حينما يتجاوز متوسط تركيزها للحدود الآمنة والمقترحة في المناطق السكنية كما يتضح في الجدول التالي : -

ملوثات الهواء فى محطة المنصورية الكويتية بسبب السيارات سنة ١٩٨٥

الملوث	متوسط تركيزه PPm	المستوى المقترح فى المناطق السكنية الكويتية PPm
أول أكسيد الكربون	١,٢٠	٨
الأوزون	٠,٠١٥	
أكاسيد النيتروجين	٠,٠٧١	
أول أكسيد النيتروجين	٠,٤١	
ثانى أكسيد النيتروجين	٠,٠٣١	
الهيدرو كربونات (غير الميثانية)	٢,٥٨	٠,٢٤ ٠
الميثان	١,٧٨٠	

ويرتفع أيضا مستوى التلوث في وسط مدينة الرياض السعودية نتيجة لارتفاع كثافة الحركة المرورية لوسائل النقل المختلفة كما يتضح في الجدول التالي : -

مستويات التلوث فى مدينة الرياض السعودية مارس سنة ١٩٧٧

المنطقة من المدينة	٢PPm So		٢PPm O		PPm Co		TSP ٣Mg/M
	المتوسط	الأقصى	المتوسط	الأقصى	المتوسط	الأقصى	
الشمالية	٠,٠١	٠,٠٣	٠,٠٢٥	٠,١٤	٢	٤٠	-
وسط المدينة	٠,٠٣	٠,٠٨	٠,٠١٥	٠,١٤	١٢	٥٠	٨٧٠
الجنوبية	٠,٠٢٥	٠,٠٦	٠,٠٢	٠,٠٢٥	١٥	٣٥	٩٦٧

هذا ويعرض الجدول التالي أهم مصادر تلوث الهواء ، ويبين ارتفاع نسبة مساهمة السيارات لتمثل ٦٠ % من إجمالي مصادر التلوث .

ملوثات الهواء بسبب المصادر المختلفة

الملوث	نسبة انبعاثه من السيارات	نسبة انبعاثه من المصادر الأخرى %
هيدرو كربونات	٤٤	٥٦
أول أكسيد الكربون	٧٥	٢٥
أكاسيد النيتروجين	٥١	٤٩
أكاسيد الكبريت	٣	٩٧
الجزيئات العالقة والغبار	٣,٥	٩٦,٥
إجمالي تلوث الهواء	٦٠	٤٠

هذا وتختلف درجة خطورة الملوثات الغازية على صحة الإنسان ،

ويتضح ذلك من الجدول التالي الذي يوضح الحدود الآمنة لكل منها : -

الحدود المسموح بها عالمياً لملوثات الهواء

الغاز	حد الأمان المسموح به
أول أكسيد الكربون	٣٥ جزء فى المليون/ساعة
كربو هيدات	٠,٢٤ جزء فى المليون/٣ ساعات
أكاسيد النيتروجين	٠,٠٥ جزء فى المليون/سنة
ثانى أكسيد الكبريت	٠,٠٧٥ ملليجرام/م^{٣}/السنة

هذا وتختلف كمية الملوثات المنبعثة من وسائل النقل المختلفة بأختلاف نوع الوقود المستخدم كما يتضح من الجدول التالى : -

الملوث الناتج عن سيارات الديزل والبنزين

الملوث	سيارات البنزين جرام/لتر	سيارات الديزل جرام/لتر
أول أكسيد الكربون	٢٤٩,٠٠	٢٩,٥
هيدرو كربونات	٩,٦٢	١,٨٠
أكاسيد النيتروجين	٩,٨٥	٧,٢٠
ثانى أكسيد الكبريت	٠,٣٧	٤,١٥
رصاص	٠,٣٧	-
سناج	٠,٣٧	١,٩٠

وتسهم أيضا وسائل النقل الجوى بنسب مرتفعة من ملوثات الهواء خاصة غاز أول أكسيد الكربون كما يتضح في الجدول التالي : -

الملوثات الناتجة عن إقلاع وهبوط طائرة نفاثة مدنية من نوع جامبو

الملوث	كمية الملوثات كيلو جرام
هيدروكربونات	٢٠,٧
أول أكسيد الكربون	٨٤,٧
أكاسيد النيتروجين	٥٣,٨

٥ – حرق النفايات : -

ينتج عن التخلص من النفايات بأنواعها انبعاث العديد من الغازات الملوثة للـهواء خاصة غازات الكلور وثاني أكسيد الكبريت كما يتضح في الجدول التالي : –

كمية ونوعية بعض الملوثات الغازية الناتجة عن محطة لحرق النفايات بطاقة حرق (٠,٧٥) طن نفايات فى الساعة

الملوث	معدل الملوثات الناتجة ملليجرام/م^{٣}
مواد صلبة	٥٠٠٠-١٥٠٠٠
مركبات كلور غازية	١٠٠٠-٢٠٠٠
مركبات فلور غازية	٢٠
أول أكسيد الكربون	١٠٠-٨٠٠
ثانى أكسيد الكبريت	٤٠٠-١٠٠٠

معادل لحساب وزن النفايات:

$$ك = \frac{ف}{ع\ س} \times ١٠٠٠ \text{ (كيلو جرام/فرد/السنة)}$$

حيث:

ك: وزن النفايات الصلبة بالكيلو جرام/للشخص الواحد/فى السنة.

ف: وزن النفايات الكلى بالطن/سنوياً.

ع س: عدد السكان فى المنطقة أو المدينة.

ويتضح من الجدول التالي أن ، غاز الميثان من أخطر الغازات الملوثـة للهواء وهو غاز سريع الانتشار مما يؤثر سلبا على صحة البيئة .

النسبة المئوية للغازات الناتجة عن الطمر الصحي للنفايات المنزلية

الغازات	النسبة المئوية لتركيزها	الصفات العامة
الميثان	٤٠-٦٠%	مشتعل، أخف من الهواء
ثانى أكسيد الكربون	٢٠-٣٠%	خانق، أثقل من الهواء
أول أكسيد الكربون	تركيزات بسيطة جداً	سام
النيتروجين	١٥-٢٥%	-
الهيدروجين	تركيزات بسيطة جداً	-
الأمونيا	تركيزات بسيطة جداً	روائح كريهة
كبريتيد الهيدروجين	تركيزات بسيطة جداً	روائح كريهة، سام
أكسيجين	حتى ٢%	
بخار الماء	يختلف حسب درجة الحرارة	
أخرى	تركيزات بسيطة جداً	روائح

التلوث من مناطق الطمر الصحى للنفايات: -

١-تتسرب بعض الغازات الملوثة للهواء فى أثناء حدوث انفجارات فى مواضع الطمر الصحي خاصة غاز الميثان وثانى أكسيد الكربون، بالإضافة إلى الغبار.

٢-احتمالات تلوث مصادر المياه الجوفية بجزء من المياه العادمة التى تنتج عن أماكن طمر النفايات Leachate وهذه المياه العادمة ترتفع فيها تركيز الملوثات العضوية وغير العضوية التى تنتج عن تحلل المواد العضوية فى النفايات ، هذا بالإضافة إلى مياه المطر الذى قد يتوغل داخل الأرض فتذوب فيه بعض الملوثات العضوية وغير العضوية.

وتزيد مشكلة النفايات وتتضخم مع زيادة عدد السكان واتساع المدن ومثال على ذلك المدن الكبرى وأقاليمها كما هو الحال بالنسبة لإقليم القاهرة الكبرى الذى يمتد من شبرا الخيمة وقليوب (محافظة القليوبية) شمالاً إلى حلوان والجيزة (محافظة الجيزة) جنوباً. ويمكن تصنيف النفايات فى المدن إلى النفايات الصلبة ونصف الصلبة، والنفايات السائلة على النحو التالي : -

١ - النفايات الصلبة ونصف الصلبة:

وتشمل العبوات الزجاجية والبلاستيكية والمعدنية، مخلفات المعادن مثل هياكل السيارات والمخلفات الخشبية ومخلفات عملية البناء وغيرها فضلاً عن الأتربة والغبار. ويتم التخلص منها بتجميعها فى مقالب عمومية. وتزيد كمية هذه النفايات مع زيادة عدد السكان وارتفاع مستوى المعيشة. وقد بلغت كميتها فى مدينة القاهرة سنة ١٩٩٤ ٦,٠٠٠ طن لسكان القاهرة الذى بلغ عددهم فى ذلك الوقت ٦,٨ مليون نسمة بمتوسط ٠,٨٨ كيلو جرام/للفرد/يومياً يقابله فى الولايات المتحدة الأمريكية ٤كيلو جرام/للفرد/يومياً.

مكونات النفايات الصلبة المنزلية فى إقليم عمان (الأردن) سنة ١٩٧٩

النوع	الوزن%
الفضلات القابلة للتعفن	٦٣,٥-٧٧%
الفضلات الورقية والكرتون	١٠,٤-٢٤%
الفضلات المعدنية	١-٣,٣%
الفضلات الزجاجية	٠,٢-٤,٥%
الفضلات البلاستيكية	٤-٦,٢%

٢- النفايات السائلة:

تنقسم النفايات السائلة إلى:

١-نفايات سائلة من مخلفات الصناعة: وتشمل ما تلقيه المصانع من مياه تحمل العديد من المواد الكيميائية الخطيرة خاصة تلك التى تنتج عن مصانع الكيماويات والورق والمطهرات والمنظفات ومصانع الصباغة والمياه الغازية والأملاح وغيرها. وتعد هذه من أخطر المخلفات السائلة تأثيراً فى تدهور البيئة.

٢-مياه الصرف الصحي: وتمثل جميع المياه الناتجة عن استخدام الإنسان مثل الأغراض المنزلية ومياه دورات المياه والمطابخ والحمامات ومياه الجراجات فضلاً عن مياه المطر والسيول. وهذه المياه تنصرف إلى شبكات الصرف الصحي فى أغلب المدن.

وتتعدد أنماط تلوث الهواء فى المدن ، ويمكن دراستها على النحو التالي :

أولاً : - التلوث الحرارى فى هواء المدن: -

قد اكتشف العالم Lulte Howard ارتفاع درجة حرارة هواء المدن بصفة عامة مقارنة بدرجة حرارة المناطق الريفية والضواحي.

وقد استخدم Gordon Manley سنة ١٩٥٨ مصطلح "الجزيرة المدنية الحارة Urban Heat Island" لأول مرة فى أحد المؤتمرات العلمية المناخية. كما أثبت العالم Mitchell سنة ١٩٥٣ وجود علاقة طردية واضحة بين الزيادة السريعة فى النمو السكانى وبين ارتفاع درجة حرارة هواء المدن مقارنة بالريف.

التهوية (سرعة الرياح):

وقد أثبت العالم Olte سنة ١٩٧٠ العلاقة بين سرعة الرياح وتأثيرها فى ارتفاع درجة حرارة هواء المدن مع الأخذ فى الاعتبار عدد سكان المدن. وقد أثبت أن فى البلدة الصغيرة (عدد سكان منخفض جداً) يمكن للرياح الخفيفة جداً التى تبلغ سرعتها ٤ متر/الثانية أن تعمل على إزاحة الحرارة المتراكمة داخل المدن مما يتبعه انخفاض درجة حرارتها. وقد أثبت هذا العالم أن سرعة الرياح يمكنها أن تزيل وتزيح ما نسبته ٩٤% من إجمالى الحرارة المتراكمة داخل المدن بفعل عمليات التهوية المستمرة.

علاقة الجزيرة المدنية الحارة بحجم المدينة.:

وقد استطاع Landsberg أن يثبت ارتفاع درجة حرارة المدن مقارنة بالريف وارتباط هذا الارتفاع بعدد سكان المدينة نفسها من خلال الجدول التالى:

معدل الزيادة فى المتوسط الحرارى السنوى فى هواء المدن

مقارنة بالمناطق الريفية

عدد المدن	حجم المدينة (عدد سكانها)	معدل الزيادة فى الحرارة (فـ°)
١٠	١,٠٠٠,٠٠٠	١,٣
١٠	١,٠٠٠,٠٠٠-٥٠٠,٠٠٠	١,١
١٠	٥٠٠,٠٠٠-١٠٠,٠٠٠	١,٠

ويتباين التلوث الحرارى للمدن وفق معدل انطلاق درجات الحرارة فى هواء المدينة تبعا لعدد سكانها ونوع النشاط الاقتصادى والخصائص الحرارية لمبانى المدينة ونوع مادة البناء (الأسمنت، الأسفلت، الطوب، لون مادة الطلاء) فضلاً عن توزيع المساحات الخضراء داخل المدن وكذلك وجود أى من المجارى المائية أو أى مسطح مائى كبحيرة أو نهر أو موضع المدينة نفسها من البحار أو المحيطات.

القبة الغبارية فى المدن:

يغطى سماء المدن الكبرى بقعة من الدخان والضباب والغبار بسبب ارتفاع حرارة المدينة وما يتبعه من الدورة التصاعدية للهواء محملة بالأتربة والغبار إلى اعلى مما يساعد على تركيز هذه الملوثات فى صورة قبة غبارية تقلل مدى الرؤية.

وترجع الحركة التصاعدية (داخل المدن) إلى الاختلاف الحرارى بين قلب المدن وضواحيها. وكما هو معروف أن درجة حرارة قلب المدن مرتفعة حيث تتكون الجزيرة المدنية الحارة Urban Heat Island بسبب ازدحام السكان، كثرة وسائل النقل وكثافة الحركة المرورية، النشاط الصناعى، التدفئة والتبريد. ويطلق على ذلك التلوث الحرارى للمدن.

وتؤدى سخونة هواء المدينة إلى نشأة حركة تصاعدية للهواء محملة بالأتربة إلى أعلى ليحل محله هواء الضواحى والريف البارد نسبياً ليستقر بالقرب من سطح الأرض. وتتكون القبة الغبارية Dust Dome فى أثناء هبوب رياح خفيفة أو متوسطة السرعة لتغطى قلب المدينة. وقد تمتد هذه القبة الغبارية إلى الضواحى المجاورة حينما تتجاوز سرعة الرياح ١٣ كم/ساعة. وتحجز هذه القبة الغبارية حوالى ٩٠% من الأشعة الشمسية فوق البنفسجية الواصلة للأرض مما يؤدى إلى شيوع مرض الكساح بين الأطفال فى المدن مقارنة بالريف.

ثانيا : - التلوث الضوضائى داخل المدن:

تشذ مصادر الصوت فى المناطق الحضرية شذوذاً واضحاً وتتباين فـــى كثافتـــها ومصادرها. ويطلق على هذا الصوت الضوضاء وارتفـــاع مســـتوى الضوضـــاء يحدث التلوث الضوضائى Noise Pollution أو The Label. وتعد أهـــم مصـــادر التلوث الضوضائى داخل المدن وسائل النقل التى تتركز فى المدن وما حولها مثـــل الطيران الجوى، السكك الحديدية والسيارات.

قياسات الضوضاء:

وهناك العديد من القياسات لمستويات الضوضاء فى المناطق الحضريـــة ويعـــبر عنها بـــ (dB) ويتم ذلك من خلال مقياس لوغاريتمى للضغط الناتج عن الموجات الصوتية وقد وجد أن:

أقل صوت يمكن سمعه يبلغ صفر dB (دسيبل)

والصوت ٦٠ dB يكون فى الغالب بدايـــة حـــدوث مســـتويات حـــادة وشـــديدة الضوضاء.

والصوت ٩٠ dB يحدث مساوئ خطيرة فى السمع مع ارتفاع الضغط.

وتتعدد مصادر الضوضاء ومدى قوتها كما يتضح فى الجدول التالى: -

درجة الضوضاء لبعض الآلات والأجهزة

الاستخدام (الحالة)	درجة الضوضاء (دسيبل)
السكون	صفر
ضجيج أو أذير الهواء الهادئ	٥
الطرق المزدحمة فى المدن	٧٠-٩٠
إدارة محرك السيارة	٩٠
الخلاط المنزلى	٩٣
استخدام المطرقة	٩٤
انطلاق مترو الأنفاق	٩٥
الآلات الموسيقية الصاخبة فى القاعات المغلقة	١١٤-١٣٠
إدارة محركات الدراجات البخارية	١٣٠
إقلاع الطائرة النفاثة	١٥٠

ومما يذكر أن معدل الضوضاء فى أى مدينة يبلغ فى المتوسط ٨٥ دسيبل، ويتحمل الإنسان الأصوات بمستوى يتراوح بين ٥٠-٩٠ دسيبل وتصبح مؤذية للإنسان حينما يصل مستواها إلى ١٣٠ دسيبل.

وتعتبر الضوضاء مظهراً أساسياً لتدهور البيئة الحضرية لما تتميز به من بعض الخصائص مثل: -

- تصيب الماشية والحيوانات الداجنة بالتوتر الشديد وقلة إنتاجها من البيض واللبن حينما تتعرض للضوضاء لفترات طويلة.
- تؤثر فى قدرة الإنسان الذهنية ومقدرته على إنجاز الأعمال.
- تتعدد مصادرها فى أى مكان.
- صعوبة السيطرة عليها بسبب انتقالها لأى مكان وفى جميع الأوقات.

تأثير الضوضاء على الإنسان: -

يتعرض الإنسان بصفة عامة وفى أى مكان لما يعرف باسم خلفية الضجيج Background Noise حيث يؤثر على قدرة الإنسان على سماع الأصوات إذ تقل قدرته على تمييز الأصوات نهاراً حينما ترتفع خلفية الضجيج بينما ترتفع حاسته السمعية كثيراً فى الليل حينما تنخفض خلفية الضجيج.

وتصيب الضوضاء الإنسان بحالات عديدة منها:

- الإصابة بالإجهاد والقلق والأرق والصداع.
- الفقدان الجزئى أو الكلى لحاسة السمع.
- الإصابة بالأمراض العصبية وتقلص العضلات وانقباض الشعيرات الدموية والشرايين وتزايد ضربات القلب وارتفاع ضغط الدم.

ويتعرض للضوضاء العاملون فى الصناعات المختلفة وفى قطاع البناء والتعمير والنقل ورجال المرور وسكان الميادين العامة ووسط المدن حيث المتاجر والورش الصناعية الصغيرة. وتصل الضوضاء بمستويات مرتفعة لسكان

المناطق العمرانية التى زحفت إلى المطارات الكبرى فى المدن كما هو الحال مثلاً لسكان شمالى القاهرة حيث أحياء مدينة نصر وحي النزهة حيث تكاد تلتحم الكتلة العمرانية مع منشآت مطار القاهرة الدولى. ويتكرر ذلك أيضاً فى المناطق السكنية الواقعة جنوبي الإسكندرية خاصة عزبة المطار بالقرب من مطار النزهة.

ويمكن إجمال أهم التأثيرات السلبية للضوضاء على صحة الإنسان فى: -

١- تؤدى الأصوات العالية المفاجئة إلى تقلص الشعيرات الدموية، وتحدث ذبذبات فى الجلد، وقد تحدث بعض التغيرات فى نشاط الأنسجة.

٢- تؤدى إلى ارتفاع ضغط الدم عن طريق إثارة مركز انقباض الأوعية الدموية فى المخ. ويظهر ذلك بوضوح فى ارتفاع معدلات الإصابة بارتفاع ضغط الدم فى المدن الصناعية مقارنة بالمناطق الريفية.

٣- تندفع الموجات الصوتية العالية فى صورة إشارات كهربائية تعبر الألياف العصبية وتصل إلى لحاء المخ، وعندها تهيج خلايا هذا اللحاء وتثير خلايا التكوين الشبكى. ويتبع ذلك كله تهيج فى الجهاز العصبى اللاإرادى خاصة الجهاز السمبثاوى فيؤثر ذلك على الكثير من أعضاء الجسم كالقلب الذى يزيد من عدد دقاته، والجهاز الهضمى الذى تتقلص عضلاته وتزيد إفرازات المعدة. ويؤدى ذلك أيضاً إلى إفرازات الغدد الصماء حيث تزيد إفرازات مادة الأدرينالين مما يتبعه ارتفاع فى نسبة السكر فى الدم.

٤- ينتج عن تعرض الإنسان لفترات طويلة من الضوضاء إلى إصابة الإنسان (بالتقلب المزاجي) كما يرى العالم الفرنسي سوبريون الذى يفسر تقلب الأحوال المزاجية لسكان الحضر بكونه يرجع إلى تعرضهم للضوضاء لفترات طويلة ومستويات عالية . ويؤدى التقلب المزاجي إلى الأرق واضطراب الجهاز الهضمي وارتفاع مستوى الكوليسترول فى الدم.

أثر التلوث الضوضائى على العمال:

يؤدى الضوضاء إلى إصابة العاملين فى المصانع والورش شبه المستمرة بالصداع وعدم القدرة على التركيز والعصبية الشديدة. ولذلك اتجهت

إحدى الشركات الأمريكية لاستخدام تكسيات للحوائط لامتصاص الصوت، وبعد عام اتضح ما يلي :

أ - انخفاض معدل الأخطاء الحسابية بنسبة ٥٢%.

ب - انخفاض معدل الأخطاء فى النسخ على الآلة الكاتبة بنسبة ٢٩%.

ج - انخفاض معدل التغيب عن العمل بسبب الإصابات المرضية بنسبة٢٧%.

وقد أثبت العالم البريطانى (هـ. س. وستون) أن كفاءة النساجين البريطانيين قد ازدادت بمعدل ١٢% فى الإنتاج عندما وضعوا سدادات الأذن للحد من شدة الضوضاء.

هذا وقد أثبتت إحدى الدراسات التى أجريت فى فرنسا أن ٧٠% من حالات الإصابة بالاضطرابات العصبية والنفسية ترجع إلى الضوضاء.

وجدير بالذكر أن ٨٥ دسيبل هو المنسوب الحرج للصوت إذا اتضح فى تجربة عملية على مجموعة من الفئران تم تعريضها إلى ضوضاء بمستوى ٩٥ دسيبل لفترة أسبوعين، تحولت هذه الفئران إلى فئران متشنجة ومتوترة، وبعضها تعرض إلى الموت بأزمات قلبية، وأكل صغارها.

وقد أثبتت الدراسات أن الضوضاء تعد من أحد أسباب أمراض القلب والأمراض العقلية فى أمريكا. ويؤكد أستاذ البحث العلمى للصوت (صموائيل روزن) أن الضوضاء تؤدى إلى ضيق الشرايين، وعدم انتظام دقات القلب، وضعف السمع المزمن، والصمم نتيجة للتلف فى الخلايا الشعرية المجهرية التى تنقل الصوت من الأذن إلى المخ، أو يمكن أن يصاب المخ بانفجار مفاجئ.

التأثيرات السلبية للضوضاء وفقاً لشدتها: -

١- ضوضاء يتراوح مستواها ٤٠-٥٠ دسيبل: تؤدى إلى قلق وتوتر خاصة لدى الأطفال وطلبة المدارس.

٢- ضوضاء بين ٦٠-٨٠ دسيبل: لها تاثيرات سلبية سيئة على الأعصاب بصفة عامة.

٣- ضوضاء بين ٩٠-١١٠ ديسيبل: تسبب ضعف وتناقص في القدرات السمعية.

٤- ضوضاء أكثر من ١٢٠ ديسيبل: تسبب ألماً في الجهاز السمعي وتؤثر بشكل خطير القلب.

التأثيرات النفسية للضوضاء:

في دراسة لتأثير الضوضاء على أطفال المدارس الذين تتراوح أعمارهم بين ١١-١٢ سنة بمستوى ضوضاء بمعدل ٤٧ ديسيبل تبين أن: -

- حدوث نقص في نشاط المخ نتيجة نقص في مركز التنبيه.
- انخفاض قدرتهم الاستيعابية وضعف الرؤية.
- ارتفاع تركيز الأدرينالين Adrenaline في الدم من ٢,٧ إلى ٤,١١% وانخفاض في كمية السكر في الدم وذلك بسبب دفاع الجسم ضد تأثير التوتر.
- يصاب الأطفال الحساسين عند تعرضهم لضوضاء تزيد عن ٤٠ ديسيبل بالرعب والذعر وشدة التوتر.

التأثير على القدرة الإنتاجية:

وتبين من نتائج إحدى الدراسات أن العاملين في أجواء ترتفع فيها الضوضاء أن:

١- إصابتهم بالأمراض العصبية أكثر بثلاث مرات ممن يعملون في الأجواء الهادئة.

٢- يصابون بأمراض ارتفاع ضغط الدم أكثر بـ ١,٤ مرة عن غيرهم، ويصابون بأمراض الجهاز السمعي أكثر ١٨,٣ مرة عن غيرهم.

٣- يعاني ٧١% ممن يتعرضون للضوضاء للإصابة بالصداع وطنين الأذن والتعب السريع.

٤- ويعاني ٤٨% منهم من الأحلام المزعجة وفقدان جزئي في الشهية والشعور بالاكتئاب.

التأثيرات العصبية للضوضاء:

فى إحدى التجارب تم تقسيم ١٠٠٠ عامل إلى قسمين، ٥٠٠ عامل يعملون فى مناجم عالية الضوضاء، و٥٠٠ عامل يعملون فى مناجم هادئة. وقد لوحظ على عمال المجموعة الأولى أن:

أ- ٦١% منهم أصيبوا بخلل فى الدورة الدموية.

ب - ٢٥% يشكون من أمراض قلبية وألم فى الصدر.

وجدير بالذكر أن حوالى مليون عامل أمريكي فقدوا سمعهم بسبب العمل فى أرجاء الصناعات الصاخبة. هذا وكثيراً ما يفقد سكان المدن حاسة السمع فى سن ٢٥ عاماً خاصة فى المدن الأمريكية، بينما لا يحدث ذلك إلا فى سن ٧٥ عاماً فى القبائل البدوية أو المناطق الريفية فى أفريقيا مثلاً، أى أن الشخص الأمريكي الذى يبلغ من العمر ٢٥ عاماً يسمع بقدرة شيخ كبير يتجاوز ٧٥ عاماً فى قبائل أفريقيا.

طرق مكافحة الضوضاء:

١- مراعاة ألا يزيد مستوى الضوضاء فى المدارس عن ٤٠ دسيبل، ولا يتجاوز فى المستشفيات ٣٥ دسيبل.

٢- أبعاد المطارات عن الكتل السكانية بمسافة لا تقل عن ٢٥ كيلو متراً.

٣- التوسع فى إنشاء الطرق خارج الكتلة السكنية، والتحكم فى خط سير الشاحنات الضخمة بحيث لا تخترق قلب المدن.

٤- منع استخدام مكبرات الصوت فى المناسبات الاجتماعية.

٥- نشر الوعى بين العمال بضرورة استخدام سدادات الأذن فى أثناء العمل فى الورش والصناعات الصاخبة.

٦- اهتمام بعمليات التشجير لما لها من تأثير قوى على تشتت الصوت.

٧- تترك مسافة كبيرة بين الطرق وبين المبانى.

٨- ابتعاد المباني السكنية عن خطوط المواصلات بمسافة لا تقل عن ٢ متراً.

٩- زرع صفين من الأشجار الكثيفة حول الطرق الرئيسية إذ تؤدى إلى خفض الضوضاء من ٩٠ dB إلى ١٠ dB .

ثالثا : التلوث الإشعاعي :

١- تلوث الهواء بالنفايات النووية:

ينتج عن محطات توليد الطاقة الكهربائية التى تدار بالطاقة النووية إنتاج نفايات مشعة بالإضافة إلى النفايات الناتجة عن استخراج الراديوم المشع من خامات اليورانيوم. وتنتج هذه النفايات النووية بكميات ضخمة وذلك لأن اليورانيوم يحتوى على جزء واحد من الراديوم فى كل ٣٠ جزء ولكن فى نفس الوقت ينبعث عنه طاقة حرارية ضخمة إذ أن اشتعال ٢٧ جرام من اليورانيوم تعادل اشتعال ٢٣ ألف طن مترى من الفحم وهى كمية كافية لتحويل مليون طن مترى من المياه إلى بخار ماء. وتمتلك الولايات المتحدة الأمريكية ٢٥,٢%، وفرنسا ١٢,٩%، اليابان ١١,٣%، كندا ٥,١% من إجمالى عدد المفاعلات النووية على مستوى العالم. وتكمن خطورة هذه النفايات النووية الناتجة عن مفاعلات توليد الكهرباء إلى أن استمرارها الإشعاعى يستمر لآلاف السنين.

٢- التلوث الإشعاعى من المفاعلات النووية:

تعتبر المفاعلات النووية مصدراً للتلوث فى حالة حدوث أى تسرب منها كما حدث فى مفاعل ولاية بنسلفانيا فى مارس ١٩٧٩، إذ انطلق منه كمية من الأشعة أدت إلى تلوث المنطقة ولكنها لم تسفر عن أى ضحايا، وقد احتاج هذا المفاعل لإعادة تشغيله مبلغ حوالى ٨٠٠ مليون دولار أمريكى.

وقد وقعت أيضاً كارثة مفاعل تشرنوبل ٢٦ أبريل سنة ١٩٨٦ وهى تعد الأسوأ على مستوى العالم. إذ حدث اشتعال فى أحد وحدات المفاعل النووى مما أدى إلى ذوبانه وتسربت كمية هائلة من الإشعاع أدت إلى وفاة ٣١ شخصاً. ولم يتوقف تأثيرها عند ذلك الحد بل أن هناك توقع بإصابة عشرات الألوف بالسرطان نتيجة لتلوث الهواء بالإشعاع أو تلوث المياه أو التربة. وقد انتشرت الآثار المدمرة لهذا الإشعاع لمعظم أجزاء الكرة الأرضية وإن كان تأثيرها أكبر على دول شرق أوروبا القريبة من موقع الانفجار فى روسيا. وقد تبع هذا التلوث تعرض المحاصيل الزراعية والمنتجات الغذائية للتلوث الإشعاعى، ولذا تم تدمير

كميات كبيرة من الحليب والخضروات الملوثة بالإشعاع فى ألمانيا، وكذلك إعدام أعداد كبيرة من قطعان غزلان الرنة فى دول اسكندينافيا بعد تلوثها بكميات عالية من الإشعاع. ولمكافحة انتشار هذا الإشعاع قام العلماء بدفن هذه الوحدة المشتعلة من المفاعل ثم تغطيتها بمواد خاصة لمنع تسرب إشعاعها للهواء والماء الجوفى فى الطبقة السطحية من التربة. وقد بلغ عدد المفاعلات النووية حديثاً حوالى ٣٧٤ مفاعلاً نووياً فضلاً عن ١٥٧ مفاعلاً تحت الإنشاء.

٣- التلوث الإشعاعى من القنبلة النووية (الذرية) Nuclear (Atomic) Bomb:

تزن القنبلة النووية التى ألقيت على مدينة هيروشيما ٤ طن وكانت تحوى على قدرة تدميرية تعادل ٢٠ ألف طن من المادة المتفجرة TNT. وهذه قنبلة تعد بدائية فى الوقت الحاضر إذ تطورت حديثاً حتى أصبح وزن القنبلة ٠,١ طن بقوة تدميرية تعادل ٢٠٠ ألف طن من TNT، وتؤدى الإشعاعات النووية إلى إصابة الإنسان بالحروق والأمراض السرطانية، اختلال بناء الجسم، فقر الدم، وحينما يتعرض الجسم لكمية عالية جداً من الإشعاع النووى فإنه يؤدى إلى الموت. ومما يذكر أن الانفجار النووى يتبعه غبار نووى يتكون من مجموعة هائلة من الرقائق المشعة مختلفة الحجم والصفات، ويستمر هذا الغبار النووى عالقاً فى الفضاء لعدة سنوات.

ويطلق على القنبلة الهيدروجينية القنبلة النووية الحرارية، وإن قوة انفجار القنبلة الهيدروجينية تزيد عن قوة انفجار القنبلة النووية بمائة ألف مرة. وتتكون هذه القنبلة من التحام نووى لأثنين من نظائر الهيدروجين (H^2) و(H^3) لتكوين الهيليوم. ويدخل فى تكوينها ١,٣٦ كيلو جرام من الأول و٠,١٩ كيلو جرام من الثانى ، ويحيط بهما قنبلة نووية تستخدم الطاقة الناتجة من تفجيرها فى اتحاد العنصرين لتكوين الهيليوم وانطلاق مقدار من الطاقة يعادل ما ينتج عن انفجار ٢٠ مليون طن من مادة TNT.

$$^{2}H + {}^{3}H \xrightarrow{\text{انفجار نووى}} {}^{4}He - {}^{1}N$$

ديوتيريوم تريتيوم هيليوم نيوترون

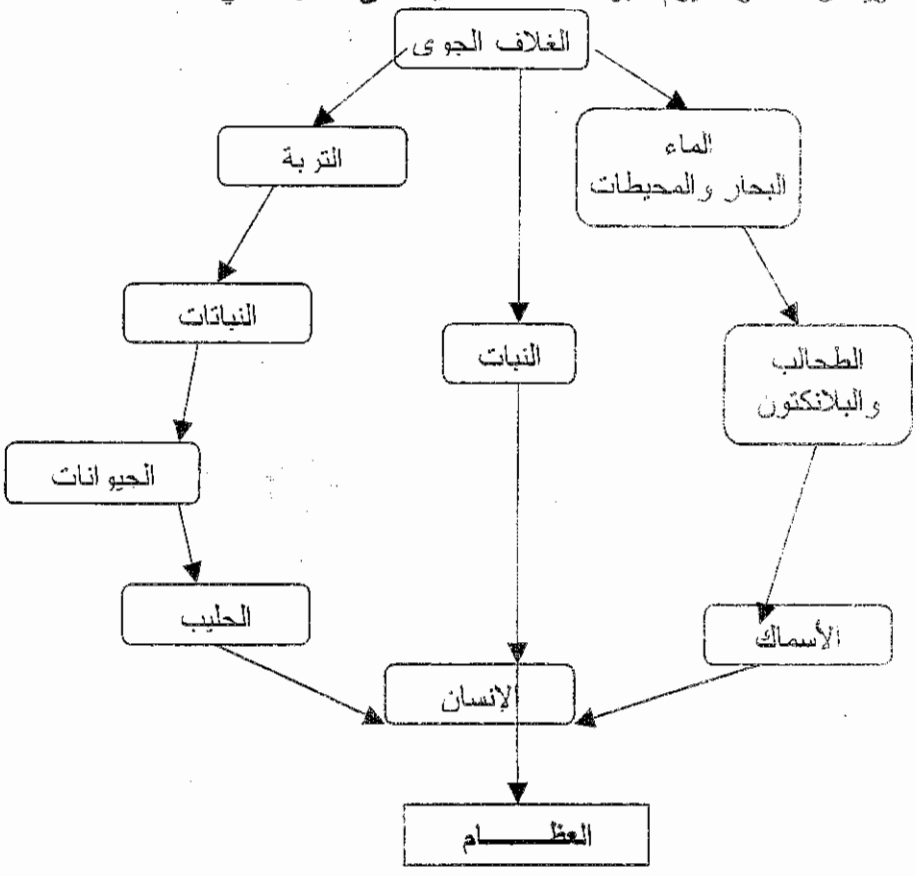
ولذلك يطلق على القنبلة الهيدروجينية اسم القنبلة الحرارية النووية Thermonuclear Bomb.

الآثار البيولوجية للإشعاعات المؤينة:

إن الكائنات الحية لا تحس بالإشعاعات المؤينة لقدرتها الكبيرة على اختراق الجسم وتأيين جزيئات الماء الموجودة به، ولذا عندما يتعرض الإنسان لها لا يحس بها. وتتمتع هذه الإشعاعات المؤينة بصفة التراكمية أى إنها تزيد فى كل مرحلة من مراحل انتقالها عبر السلسلة الغذائية.

ومن أمثلة هذه الأشعة، إشعاع الاسترانشيوم الذى يشبه الكالسيوم ولذا فهو يدخل فى تركيب العظام ليحل محله خاصة فى الأطفال حيث يزيد تركيزه فى أجسامهم لما بين ١٠-١٥ مرة أكثر من تركيزه فى أجسام البالغين.

وينتقل الاسترانشيوم عبر السلسلة الغذائية على النحو التالي:



٤- التلوث الإشعاعى من القنابل النووية:

بعد إطلاق القنبلة النووية على مدينتي هيروشيما ونجازاكى فى أغسطس سنة ١٩٤٥، مات على الفور ٧٢ ألف مواطن ياباني وأصيب ٨٠ ألفاً إصابات بالغة. وأمتد تأثير الإشعاعات المميتة إلى عدة آلاف من الكيلومترات ومازال هناك أجيال من المشوهين بسبب هذه القنبلة يعيشون حتى الآن. وانتشر الدخان النووي لمسافات بعيدة وارتفاعات كبيرة وكثافة ضخمة حجبت ضوء الشمس لعدة ساعات.

ويمكن إجمال الآثار المدمرة لهذه الإشعاعات المؤينة فى: -

١- تسبب أضرار للدم خاصة الكرات البيضاء.

٢- تأثيرها على العظام والطحال والغدد الليمفاوية.

٣- تصيب بالأورام الخبيثة فى القصبة الهوائية والرئة والجلد والجهاز الهضمي.

٤- فى حالة إصابتها للخلايا الجنسية فإنها تحدث خللاً وراثياً Genetic Injury الذى ينتقل إلى الخلايا القادمة.

آثار إلقاء القنبلة الذرية على هيروشيما ونجازاكى سنة ١٩٤٥:

ظهرت التشوهات فى المواليد بعد ذلك التاريخ ومن أمثلتها:

أ- صغر حجم الرأس.

ب- تأخر نمو الأجنة داخل الأرحام.

ج- تأخر عام فى الصحة والنمو بعد الولادة.

ومازال هذا التشوه واضحاً في اليابان وبعض الدول المجاورة ، هذا بالإضافة إلى أن نسبة المصابين بسرطان الدم الذين نجوا من الموت بالقنابل الذرية من سكان هيروشيما ونجازاكى تزيد تسع مرات عنها فى سائر مدن اليابان الأخرى. كما ظهرت حالات كثيرة للإصابة بسرطان الدم.