

جرعة صغيرة من تلوث الهواء أو مقدمة إلى الآثار الصحية السلبية لتلوث الهواء

فصل من كتاب

جرعة صغيرة من السموم: الآثار الصحية السلبية للمواد الكيماوية الشائعة

تمت ترجمته من قبل

د. أنسام صوالحة

بواسطة

د. ستيفن غيلبرت (البورد الأمريكي في علم السموم)

مدينة سياتل، ولاية واشنطن، الرمز البريدي 98115

الولايات المتحدة الأمريكية

البريد الإلكتروني

sgilbert@inn.org

دعم المواقع على شبكة الإنترنت

www.asmalldoseof.org - "A Small Dose of Toxicology"

www.toxipedia.org - Connecting Science and People

الإصابة

علم السموم المتعلق بتلوث الهواء

الاسم: ملوثات الهواء

تعريف تلوث الهواء: تلوث البيئة داخل أو خارج الأماكن المغلقة بفعل أي عامل كيميائي أو فيزيائي أو بيولوجي والذي يُغير في الخصائص الطبيعية لطبقة الغلاف الجوي. هذا يشمل مدى واسع من الكيماويات والملوثات ولكن ستة من الملوثات تثير الاهتمام وهي الأوزون والجزيئات المعلقة وأول أكسيد الكربون وأكاسيد النيتروجين وثنائي أكسيد الكبريت والرصاص.

الاستعمال: الملوثات الرئيسية لا يوجد لها نفسها أي استعمال ولكنها نواتج ثانوية من الاحتراق وعمليات أخرى في الموصلات ونتاج الطاقة وغيره.

الجرعة اليومية الموصى بها: لا شيء (ليس ضرورياً)

الامتصاص: الجهاز التنفسي (الرتنين)

الأشخاص الأكثر تأثراً: الأجنة والأطفال، كبار السن، الأشخاص الذين لديهم مشكلات تنفسية مزمنة

السُمية/الأعراض: تهيج في الجهاز التنفسي، دوخة، صداع، اضطرابات عصبية، سرطان، وتأثيرات على الجهاز التناسلي.

حقائق تنظيمية: في الولايات المتحدة تقوم منظمة حماية البيئة بوضع المعايير لتلوث الهواء.

حقائق عامة: انبعاث مليارات الباوندات من الكيماويات والمواد المعلقة سنوياً من مختلف أنواع المنتجات والصناعات ومن احتراق الوقود الأحفوري مثل الفحم ووقود السيارات.

حقائق بيئية: مُنتشر بشكل واسع في البيئة، مرتبط مع التغير المناخي والمطر الحمضي، قد يؤثر على الحياة البرية والصحة البيئية.

توصيات: تقليل تلوث البيئة على مستوى العالم، تفادي تعريض الأطفال والمجموعة الأكثر تأثراً للتلوث، زيادة البحث العلمي فيما يتعلق بسمية التلوث ومصادر بديلة للطاقة، تبني أنماط الحذر، تقليل استعمال الوقود الأحفوري، دعم الاتفاقيات الدولية.

حالات للدراسة

"حالما خرجت من نطاق الهواء الثقيل في روما ومن الرائحة السيئة المنبعثة من المداخن هناك، والتي يتم تحريكها ويُسكب عليها أي أبخرة وبائية أو سناج محتوى فيهم، أحسست بتعديل مزاجي".

سي إي سينيكا، فيلسوف روماني وكاتب معروف، 61 قبل الميلاد

الضباب الدخاني في دونورا



حصل الضباب الدخاني الخاص بدونورا في بلدة دونورا في ولاية بنسلفانيا، الولايات المتحدة الأمريكية. بدأ في 27 من تشرين أول 1948 واستمر حتى أمطرت في 31 من تشرين أول. إن الأيام الخمسة من التلوث الهوائي الشديد تسببت في وفاة 20 شخصاً على الأقل وبإحداث أمراض تنفسية (السعال وعلامات صعوبة التنفس) عند حوالي 7000 شخص، وهو نصف سكان دونورا. كانت دونورا بلدة تحتوي مطحنة على نهر مونونغاهيلا، وتبعد 24 ميلاً جنوب شرق مدينة بيتسبرغ في بنسلفانيا، وبُنيت للاستفادة من الفحم الرخيص في بنسلفانيا. شركة دونورا للصلب وأعمال الزنك وكذلك مصنع الصلب الأمريكي والأسلاك كانت تُطلق غازات فلورايد الهيدروجين وثاني

أكسيد الكبريت وغيرها من الانبعاثات السامة، والتي قامت الرياح بتخفيفه ونشره. حصل هذا الضباب الدخاني الشديد عندما قامت طبقة من الهواء الساخن بحجز طبقة من الهواء البارد تحتها، مما أدى إلى زيادة تركيز الملوثات البيئية وتشكّل ضباب دخاني حامضي مُصفر. كان الهواء ملوثاً جداً لدرجة أن عمال الطوارئ واجهوا صعوبة كبيرة في الوصول إلى العائلات المُصابة. بالإضافة إلى ذلك، تسبب الضباب الدخاني وغيره من الانبعاثات بقتل الكثير من النباتات في دائرة قطرها نصف ميل. هناك تقارير بأنه وبعد مرور عشر سنوات على هذه الحادثة، فإن مُعدل الوفيات في ذلك التجمع لا زال مرتفعاً. كانت هذه الحادثة حافزاً رئيسياً نحو تشريع "قانون الهواء النظيف الأمريكي" وكذلك إنشاء منظمة حماية البيئة. ولقد وثقت الكاتبة ديفرا ديفيس هذا الحدث في كتابها عام 2002 والمُسمى "عندما جرى الدخان مثل الماء: روايات حول خداع البيئة والمعركة ضد التلوث".

الضباب الدخاني الأضخم في لندن



بدأ الضباب الدخاني الضخم في لندن – والذي يُشار إليه أحياناً بالدخان الكبير – في الخامس من كانون أول واستمر حتى التاسع من نفس الشهر عام 1952. التقارير الأولية أشارت إلى وفاة 4000 بشكل غير متوقع بسبب الضباب الدخاني ولكن هذا الرقم ارتفع إلى 12,000 شخص وعانى أكثر من 100,000 من مشاكل صحية مختلفة. الكثير من هذه الوفيات كانت نتيجة لالتهابات في الجهاز التنفسي، وكان الصغار وكبار السن هم الأكثر تأثراً، وكانت هذه الحادثة هي الأسوأ ضمن سلسلة من حوادث الضباب الدخاني في لندن سببه نمو السكان والثورة الصناعية. السبب في الضباب الدخاني الضخم كان موجة برد تسببت في زيادة حرق الفحم من أجل المحافظة على الدفء بالإضافة إلى زيادة حرق الفحم في العديد من مصانع الكهرباء الموجودة في المدينة. لعب نوع الفحم المستعمل دوراً أيضاً، حيث كان من الجودة المنخفضة وذا محتوى كبريت مرتفع مما أدى إلى زيادة

ثاني أكسيد الكبريت في الدخان وساهم في زيادة سوء الضباب الدخاني. إضافة إلى ذلك، كانت الباصات التي تعمل بالديزل قد حلت محل القطارات الكهربائية مما زاد تلوث الهواء. مصطلح "ضباب دخاني" جاء من جمع كلمتين "دخان" مع "ضباب". أما اللون الأصفر المُسود الخاص بالضباب الدخاني في لندن فقد نتج من دخان المداخن وجزيئات السناج من حرق الفحم. نتج عن العدد الكبير من المرضى وحالات الوفاة، إقرار قانون الهواء النظيف عام 1956 بفعل مرسوم من برلمان المملكة المتحدة. بشكل عام، كانت هذه الحادثة قوة دافعة مهمة نحو تطور حركات صحة البيئة والإنسان الحديثة.

دخان عوادم الديزل



تنتج أدخنة الديزل من مدى واسع من المعدات التي تشمل الشاحنات والسفن والقطارات ومعادن البناء والمركبات الزراعية والباصات وهي مشكلة خطيرة على صحة الإنسان والبيئة. إنها مشاركة بشكل رئيسي في تلوث الهواء بخاصةً في أماكن الازدحام السكاني بالذات عندما يتم استعمال وقود يحتوي كمية كبيرة من الكبريت. إن ملوثات الهواء في دخان الديزل يحتوي على أكاسيد النيتروجين وجزيئات صغيرة الحجم تُسمى أحياناً "جزيئات مادة الديزل". بالإضافة لذلك، إن الانتاج الثانوي غير المقصود لمواد النانو في دخان عوادم الديزل أو السناج (جزيئات نانو ناتجة عن الاحتراق) قد تُشكل خطراً جدياً للعاملين وغيرهم من الناس ممن هم على مقربة من العوادم الخاصة بالشاحنات والقطارات والسفن. يسمح الحجم الصغير لهذه الجزيئات النانوية أن تتحرك إلى أعماق الرئتين، وتؤدي إلى آثار حادة مثل الأزيمة، أو تؤدي إلى تلف على المدى الطويل. تستطيع جزيئات النانو أيضاً أن تحمل ملوثات كيميائية على سطحها، مثل المركبات الهيدروكربونية العطرية متعددة الحلقات، عميقاً في الرئتين (انظر الفصل حول سُمية جزيئات النانو). التعرض لدخان عوادم الديزل قد يؤثر سلباً على الصحة، مؤدياً إلى زيادة نوبات الأزيمة، والأمراض القلبية التنفسية مثل الذبحات الصدرية، والأمراض التنفسية مثل التهابات ذات الرئة وسرطان الرئة، آثار سلبية على المواليذ، وكذلك الوفاة المُبكرة.

تعريف تلوث الهواء

تلوث الهواء هو وجود مواد ملوثة في البيئة داخل البيت أو خارجه والتي قد تكون كيميائية أو فيزيائية أو بيولوجية والتي قد تُغير الخصائص الطبيعية للهواء الجوي. (منظمة الصحة العالمية – http://www.WHO.int/topics/air_pollution/en/)

مقدمة وتاريخ

"رائحة احتراق الفحم كانت غير جذابة ومُسببة للمشاكل"

القائل "ثيوفراستس" (أحد طلاب أرسطو) اليونان القدماء (القرن الثالث قبل الميلاد)

إن تلوث الهواء ليس جديداً لكن حجم وتركيز المُلوّثات ازداد بشكل مُتطرد مع التطور في الحضارات الحديثة وقد يكون مؤدياً لصحة الإنسان، أو حتى مميتاً. لاحظ الإغريق والرومان الهواء الملوّث منذ أكثر من مليون عام، مضت، بناءً على الوثائق المكتوبة التي تعود إلى ثيوفراستس وسينيكا. مصدر هذا الهواء السيء الرائحة كان مواد الطبخ ووسائل تدفئة المنازل والتنجيم عن الخامات مثل الرصاص والفضة، وبشكل أكثر عموميةً من عدد السكان المتزايد وتركيز السكان في المدن. الدلائل التي تُشير إلى التوزيع العالمي لتلوث الهواء من تلك الفترة موجود في طبقات الثلج في غرينلاند والتي كانت محفوظة بشكل جيد وتوضح ارتفاع تركيز الرصاص.

إن استعمال الوقود الاحفوري بدون أي ضوابط وما نتج عنه من تلوث هواء كان أسوأ بكثير في فترة الثورة الصناعية. استعمال مواقد تحرق الفحم أو الحطب للتدفئة والطبخ، بالإضافة إلى حرق الفحم الاحفوري للصناعة، خلق أحداث تلوث هواء شديدة، خاصةً عندما كان يحدث تغيير جذري في الطقس (انظر الجدول حول الأحداث المهمة). من أوائل الناس الذين لاحظوا تلوث الهواء في لندن كان جون إيفيلين، والذي كتب كتيب "الأبخرة" وجاء فيه: *إن الازعاج الناتج عن الهواء والدخان في لندن وتبديدها بفضل بعض العلاجات التي أقترحتها بتواضع في عام 1661*. لقد أوصى بأن يتم نقل المصانع التي تسبب التلوث مثل أفران الإسمنت والمخامر إلى خارج المدينة. جزء من المشكلة كان ازدياد استعمال الوقود البحري الغني بالكبريت عندما أصبح الخشب نادراً.

تم تلخيص كتيب إيفيلين في مقطع شعري رقم 23 في "قصة شعرية لكلية غريشام"، وهي أدناه باللغة المعاصرة.

[...] يشير إلى الدخان الناتج من فحم البحر

والموجود باستمرار في بيئة لندن

والذي يخنق رئتينا وأرواحنا

ويلوث غسيلنا المعلق ويسبب الصدأ للحديد

لا يجب أن نستخف بالضباب الدخاني

والذي يُسمع كسعال في كنايسنا يوم الأحد

حصلت حوادث مميتة بسبب التلوث الهوائي وكانت معدلاتها أعلى في الدول التي تمر بتحول سريع نحو أن تكون صناعية، وبالتالي أصبح الناس أقل تحملاً وطالبوا الحكومات أن تتخذ إجراءات لتحسين جودة الهواء. في الدول المتقدمة، كان تغيير مصدر الوقود واستعمال أجهزة لمراقبة والتحكم في التلوث خطوة مهمة أدت إلى تحسن هائل بجودة الهواء. بالمقابل، الدول النامية مثل الهند والصين دخلت في صراع للموازنة بين النمو الصناعي السريع وبين السيطرة على تلوث الهواء. أدى استعمال مولدات الطاقة الكهربائية التي تعمل على الفحم، إضافة إلى أجهزة محدودة للتحكم بالتلوث، عادةً بالقرب من المدن، أدى إلى خلق مشكلة خطيرة متعلقة بتلوث الهواء. في حين أن هناك طرقاً لتخفيض تلوث الهواء من المصادر الرئيسية المحددة مثل مصانع توليد الطاقة، تبقى المصادر غير المحددة مثل السيارات والشاحنات والتي تتزايد بشكل متسارع مع ازدهار التجارة. هناك الكثير من الأبحاث الجارية حالياً تُشير إلى حدوث مشاكل صحية خطيرة بسبب تلوث الهواء وبالأخص للأطفال.

تستطيع ملوثات البيئة الانتشار بشكل واسع في البيئة والتسبب بأذى بيئي خطير. على سبيل المثال، المبيد "توكسافين" الذي يستخدم في حقول الذرة في الولايات المتحدة وكذلك كمثبط للهب، وفي الكثير من الصناعات والسلع التجارية، تم اكتشاف وجوده في الأنسجة الدهنية في الحيوانات القطبية مثل الدب القطبي. وتقوم جزيئات أكاسيد النيتروجين التي يحملها الهواء بالرسوب في المسطحات المائية مما يزيد نمو الطحالب، والتي تقوم بدورها باستنفاد الأكسجين من الماء ومن ثم قتل الأسماك. أما مولدات الطاقة فقد كانت تنفث ثاني أكسيد الكبريت التي يحملها الهواء آلاف الأميال بعيداً عن مصدرها ومن ثم تساهم في مشكلة المطر الحمضي. أما الفحم فيحتوي على أنواع مختلفة من أنواع المواد الملوثة مثل الزئبق والذي ينبعث إلى الهواء كمادة تؤدي إلى التلوث إلا إذا تم احتجازه خلال عملية الاحتراق. عندما يترسب الزئبق من الهواء إلى المياه، يتحول إلى ميثيل الزئبق ويتراكم حيويًا في السلسلة الغذائية ويؤدي إلى تلوث الأسماك والتي هي مصدر غذائي أساسي لكل من الإنسان والحياة البرية.

أحداث مهمة متعلقة بتلوث الهواء

"طُر عبر المدينة، تجنب جوها العكر. لا تستنشق فوضى الدخان الأبدي"

الشاعر الطبي البريطاني جون أرمسترونغ، في المحافظة على الصحة، 1744

التاريخ	المكان	الوصف
500 قبل الميلاد إلى 300 بعد الميلاد	الإمبراطورية اليونانية والإمبراطورية الرومانية	التنجيم وصهر الرصاص والفضة سببت تلوثاً تم الاستدلال عليه بفعل حفظ جزء منه بين طبقات الثلج في آيسلانده
300 قبل الميلاد	أثينا	قال ثيوفراستوس "إن رائحة دخان الفحم المحترق كريهة وتؤدي إلى مشاكل"
61 بعد الميلاد	روما	لاحظ سينيكا ظروف غاشمة في الهواء في روما. استخدم الرومان "بيوت الشاطئ" للتهرب من التلوث في المدينة وكذلك قاموا ببناء مداخن بارتفاع 8 أمتار لابعاد الدخان قدر المستطاع
1200	لندن	العصور الوسطى - حرق خشب البلوط ومن ثم "الفحم البحري" (عادةً يحتوي على مستوى مرتفع من الكبريت) في أفران الاسمنت وفي التدفئة وكذلك التقطير
1661	لندن	تم استحداث هيئة للتعامل مع تلوث الهواء الشديد
1698	انجلترا/العالم	أول محرك بخار يعمل بالنفط الخام، بدأت الثورة الصناعية، صناعات مركزية للمحركات تعمل على الفحم
1309	انجلترا	إدوارد الأول منع استعمال الفحم في الأفران للتخلص من تأثيره. ازداد استعمال "فحم البحر".
1869	بيتسبرغ، ولاية بنسلفانيا	تم حظر حرق الفحم اللين في القطارات داخل المدن، لكن لم يتم التشديد على تطبيق الحظر
1930	وادي ميوس، بلجيكا	أدى الضباب/الدخان في وادي ميوس من تلويث الصناعات للهواء إلى وفاة 60 شخصاً ومرض الآلاف
1948	دونورا، ولاية بنسلفانيا، الولايات المتحدة	أدت خمسة أيام من التلوث الهوائي الشديد (بسبب مصانع الفولاذ التي تعمل بالفحم) إلى وفاة 20 شخصاً على الأقل ومرض 7000 آخرين، وهذا يُشكل نصف السكان
1952	لندن، انجلترا	الدخان العظيم: تجمع الدخان من حرق الفحم لمدة أربعة أيام، أشارت التقارير الأولية إلى 4000 حالة وفاة لكن ارتفع العدد إلى 12,000، بالإضافة إلى معاناة أكثر من 100,000 من أمراض مختلفة.
1962	الربيع الصامت	تم نشر كتاب راينتشيل كارسون بعنوان الربيع الصامت، ويرجع له الفضل في الحركة البيئية العالمية
1966	مدينة نيويورك	ارتفاع مستوى ثاني أكسيد الكبريت خلال عيد الشكر (23-25 تشرين ثاني) كان مسؤولاً عن ازدياد الوفيات
1970	يوم الأرض	التدريس عن البيئة في يوم تمت تسميته يوم الأرض وعُقد لأول مرة في 22 نيسان، 1970
1984	فوبال، الهند	إطلاق 40 طن متري من مادة الميثيل أيزوسيانيت بسبب حادث من مصنع "يونيون كاربايد" للمبيدات، توفي 15,000 شخص تقريباً وأصيب ما بين 150,000 إلى 600,000 شخص
1986	بحيرة نابوس، الكامبيرون	انبعث غاز ثاني أكسيد الكربون من البحيرة مما أدى إلى اختناق 1800 شخص بالإضافة إلى المواشي في القرى المجاورة

تلوث الهواء داخل البيوت/جودة الهواء

إن جودة الهواء داخل المنازل مهمة جداً بسبب أن بعض الناس (بالأخص الأطفال والعجزة) يمضون جزءاً كبيراً من وقتهم داخل المنازل أو المدارس. أما مكان العمل، سواءً كان مكاتب في مبنى أو مؤسسة صناعية، فهو أيضاً بيئة قد يحصل فيها التعرض لمواد كيميائية خطيرة. الجدول أدناه يحتوي على قائمة بمصادر تلوث الهواء داخل المباني. عدم التهوية الكافية للبيئة داخل المبنى قد تسبب في تراكم المواد الكيماوية التي يتم إطلاقها من سلع المستهلكين. أما بالنسبة للدخان الذي ينتج بسبب الأفران التي تعمل على حرق الخشب أو المدافئ فهي تساهم بشكل كبير في تلوث الهواء خارج المباني في البيئة المحلية.

تتفاوت الآثار الصحية الناجمة عن التلوث داخل المباني حسب طبيعة المواد الملوثة وكذلك حسب العمر والوضع الصحي لأولئك المعرضين. الأطفال أكثر عرضةً بسبب أن القنوتات التنفسية لديهم صغيرة ولأن معدل التنفس عندهم أعلى من ذلك عند الكبار. الأعراض الحادة قد تشمل الإرهاق والصداع والدوخة والتهاب الحلق وتهيج العيون والأنف والأزمة والتوتر. التعرض المتكرر أو المزمّن قد يؤدي إلى مرض الإنسداد الرئوي المزمن، والأزمة وأمراض القلب والسرطان. هذه المجموعة من الأعراض تم ربطها بمتلازمة "المبنى الذي يؤدي للمرض"، حيث أن التهوية الرديئة للمبنى تؤدي إلى آثار صحية سلبية.

يُقدر أن 3 مليار شخص (أغلبهم من الدول الفقيرة والنامية) لا زالوا يستعملون الخشب وروث الحيوانات ونفايات المحاصيل أو الفحم من أجل الطبخ وكذلك من أجل تدفئة منازلهم. هذا يؤدي إلى تعريض الرجال والنساء والأطفال إلى مستويات مفرطة من المواد المعلقة، مما يزيد من احتمالية الإصابة بمرض الإنسداد الرئوي المزمن والتهاب ذات الرئة. يكون الأطفال عرضةً بشكل خاص وقد يحصل وفاة مبكرة.

جدول 2-21 مصادر تلوث الهواء داخل المباني

نواتج الاحتراق	أفران حرق الخشب أو المواقد، منتجات السجائر (التدخين السلبي)، البترول، الغاز، الكاز، الفحم الحجري، الفحم، والوقود الخاص بغاز الطبخ
مواد البناء	مواد العزل أو البلاط الذي يحتوي على الاسبست، الطلاء الذي يحتوي على الرصاص، السجاد الجديد (ينبعث منه رائحة الغراء/المذيبات)، السجاد القديم (العفن، الغبار الذي يحمل معه مواد ملوثة)، الأثاث والخزائن الخشبية المصنوع من الخشب المُعالج (ينبعث منه الفورمالديهايد)، الطلاءات والمواد التي تسد الفتحات والثقوب.
منتجات المستهلكين	مواد تنظيف، ستائر الحمام، منتجات للعناية الشخصية، الصمغ ومنتجات الصيانة، مواد الهوايات، السيارات في الكراجات الملتصقة بالمنزل، الطلاءات، لوازم الفن، العطور، مُعطرات الجو، الأنسجة الورقية الخاصة بالنشافة (اقرأ الفصل الخاص بالسموم في المنزل من أجل المزيد من المعلومات).
مواد أخرى	الرادون، مبيدات الآفات، الرصاص، الإسبست، أول أكسيد الكربون، الحيوانات الأليفة، العفن

تلوث الهواء

في الولايات المتحدة، كان أول تشريع فيدرالي متعلق بتلوث الهواء هو "التحكم في تلوث الهواء" عام 1955، والذي نادى بشكل أساسي بالبحث في الموضوع. أما أول جهد للتحكم في تلوث الهواء فكان "تشريع الهواء النظيف" لعام 1963. وتم إضافة ملحقات لهذا التشريع ودعمه ليصبح أقوى في عام 1970، وتم تأسيس "معايير جودة الهواء المحيط القومي" وذلك بإعطاء الاهتمام والأولوية لستهة من الملوثات. وقد تمت إضافة العديد من الملحقات لتشريع الهواء النظيف منذ ذلك الحين، كان آخرها

في عام 1990 حيث تم شمل الإجراءات للتعامل مع المطر الحمضي. المخاوف حول ملوثات الهواء الستة التي ذكرت في "معايير جودة الهواء القومي" ملخصة بشكل مقتضب أدناه.

الأوزون (O₃)

يتكون الأوزون من ثلاث ذرات من الأكسجين وتم التعرف عليه لأول مرة من قبل كريستيان فريدريك شونباين عام 1840 كجزء من الرائحة الناتجة من عواصف البرق. وجوده مفيد في طبقات الغلاف الجوي العليا (ستراتوسفير) حيث أنه يصد الأشعة فوق البنفسجية الضارة التي تنبعث من الشمس، لكن وجود الأوزون في منطقة الهواء الذي نتنفسه في الغلاف الجوي السفلي (تروبوسفير) سيجعل منه من ملوثات الهواء الخارجي الضارة وواسعة الانتشار. ينتج الأوزون عندما تتفاعل الملوثات مثل المركبات العضوية المتطايرة وأكاسيد النيتروجين التي يتم إطلاقها نتيجة حرق الوقود الأحفوري من قبل السيارات والشاحنات مصانع توليد الكهرباء ومصانع المواد الكيماوية. في حين أن مستويات منخفضة من الأوزون قد تكون طبيعية، إلا أن التعرض لمستويات مرتفعة من الأوزون ستسبب الأذى للرئتين. التعرض الحاد قد يُسبب صعوبة في التنفس والسعال وألم خلال التنفس ونوبات وأزمة. أما التعرض المزمن فقد يؤدي إلى الأزمة وتلف دائم للرئتين وتفاقم حالة الأمراض الرئوية المزمنة مثل مرض انتفاخ الرئة ومرض التهاب الشعب الرئوية مما يتسبب في انخفاض أداء الرئتين وزيادة قابلية الإصابة بالأمراض في الجهاز التنفسي. هناك جهود ملموسة لتقليل مستوى الأوزون وتشمل تقليل استعمال الحافلات والسيارات، وشمل ذلك الجهود التي بُذلت خلال الألعاب الأولمبية حتى لا يتضرر أداء الرياضيين. يعتبر الأوزون في طبقات الغلاف الجوي المنخفضة في الولايات المتحدة أحد الملوثات الستة الرئيسية التي تخضع لرقابة "معايير جودة الهواء المحيط الوطني" تحت تشريع الهواء النقي.

أكاسيد النيتروجين (NO_x)

إن أكبر مصدرين رئيسيين لأكاسيد النيتروجين (وبالذات ثاني أكسيد النيتروجين شديد التفاعل) هما المركبات وحرق الفحم من أجل توليد الطاقة الكهربائية أو السخانات الصناعية. مصادر إضافية تشمل حروق الغابات وحرق الخشب من أجل تدفئة المنازل والطبخ ودخان السجائر. إن التعرض لمستويات منخفضة من أكاسيد النيتروجين يسبب تهيجاً في القصبات الهوائية والأنف والحلق والرئتين، وكذلك السعال ونوبات الأزمة وصعوبة في التنفس. أما التعرض المزمن لمستويات عالية فيسبب أضراراً دائمة لأنسجة المجاري التنفسية، وينتج عن ذلك مرض انتفاخ الرئة والتهاب الشعب الهوائية المزمن. إن للآثار الصحية أهمية بالغة لأولئك الذين يعيشون بالقرب من مصادر ثاني أكسيد الكربون مثل الشوارع المزدهمة. تُساهم أكاسيد النيتروجين كذلك في المطر الحمضي، وكذلك تتفاعل مع الملوثات الأخرى بوجود ضوء الشمس الذي يحفز إنتاج الأوزون. تعتبر أكاسيد النيتروجين في الولايات المتحدة واحدة من الملوثات الستة الرئيسية للهواء والتي يتم تنظيمها من قبل "معايير جودة الهواء المحيط القومي" تحت "تشريع الهواء النظيف الأمريكي".

ثاني أكسيد الكبريت (SO₂)

المصدر الرئيسي لثاني أكسيد الكبريت هو حرق الفحم الحجري والبتترول لتوليد الطاقة أو لتسهيل العمليات الصناعية الأخرى مثل الصهر للخامات المعدنية. إن حرق الوقود الغني بالكبريت في الشاحنات والقطارات والسفن هو أيضاً من المصادر الرئيسية. يُعتبر ثاني أكسيد الكبريت (بالإضافة إلى ثاني أكسيد النيتروجين) من المواد المهمة لإنتاج حامض الكبريتيك أو المطر الحمضي (H₂SO₄). كذلك يتفاعل مع ملوثات أخرى في الغلاف الجوي لِيُنتج جزيئات صغيرة. إن الرائحة القوية الغنية بالكبريت والمنبعثة من البيض الفاسد مألوفة لأغلب الناس. حتى التعرض لمستويات قد يُسبب تضيق في القصبات الهوائية وصعوبة في التنفس ونوبات الأزمة. التعرض طويل الأمد قد يُسبب تلفاً يؤدي إلى مرض انتفاخ الرئة والتهاب الشعب الهوائية وأمراض الجهاز الدوراني. تتوفر التكنولوجيا التي تستطيع إزالة الكبريت من العوادم التي تعتمد على حرق الفحم الحجري ولإعطاء وقود ذي محتوى قليل من الكبريت. يتم مراقبة ثاني أكسيد الكربون في الولايات المتحدة الأمريكية كمادة خطيرة ناتجة متعلقة بالصناعة وهي أحد الملوثات الستة الرئيسية للهواء التي يتم تنظيمها من قبل "معايير جودة الهواء المحيط القومي" تحت "تشريع الهواء النظيف الأمريكي". يُعتبر ثاني أكسيد الكبريت مفيداً في صناعة الخمور حيث يتم استعماله كمضاد للبكتيريا للتحكم في البكتيريا والخميرة الطبيعية وكمضاد للتأكسد لحماية الخمور من الأكسجين.

المواد المعلقة

المواد المعلقة عبارة عن خليط من قطرات صغيرة سائلة مع جزيئات صغيرة من مواد مثل المعادن والمواد العضوية والأحماض والغبار والتراب ونواتج الاحتراق. يتم إنتاجها بفعل حرق الوقود الأحفوري والخشب، وتقريباً أي مادة يتم حرقها. هناك اهتمام خاص من قبل الهيئات الرقابية بالمواد المعلقة الأصغر من 10 مايكرومتر (PM_{10}) حيث أن باستطاعتها التحرك والوصول إلى أعماق الرئتين وتستطيع حمل العديد من المواد الكيميائية. أما بالنسبة للجزيئات الأصغر من 2.5 مايكرومتر ($PM_{2.5}$) فتعتبر أكثر خطراً بسبب أنها ليست فقط قادرة على التحرك والوصول إلى أعماق الرئتين وإنما تستطيع أيضاً اختراق الحاجز الدموي الدماغي. استنشاق المواد المعلقة مرتبط بحصول نوبات الأزمة، والذبحات الصدرية والجلطات الدماغية والأمراض التنفسية وزيادة خطر أمراض الجهاز الدوري والوفاة المبكرة. يتم مراقبة وتنظيم المواد المعلقة PM_{10} و $PM_{2.5}$ في الولايات المتحدة كأحد الملوثات الستة الرئيسية تحت "معايير جودة الهواء القومي المحيط القومي".

أول أكسيد الكربون (CO)

إن التسمم بأول أكسيد الكربون لهو نمط شائع وسيء من أنماط التلوث الهوائي المميت. عندما يحصل الاحتراق في بيئة قليلة الأكسجين، يتكون أول أكسيد الكربون بدلاً من ثاني أكسيد الكربون. كان أرسطو (384 الى 322 قبل الميلاد) من أوائل من لاحظوا أن حرق الفحم الحجري يؤدي إلى إصدار أبخرة سامة، كأحد أشكال الإعدام، فكان يتم حجز المجرمين في غرفة مليئة بالفحم المشتعل. لكن لم يتم تحديد تركيبة غاز أول أكسيد الكربون لغاية عام 1800. إن أول أكسيد الكربون غاز عديم اللون والطعم والرائحة، ويتحد بسهولة مع الهيموغلوبين مما يثبط قدرة الدم على حمل الأكسجين إلى الأنسجة والأعضاء. قد يظهر التسمم بأول أكسيد الكربون بأعراض تشبه الرشح وتشمل الصداع والغثيان والتقيؤ والدوخة والتعب، وأحياناً لا تتم ملاحظة الأعراض. إذا كان هناك خلل في الموقد أو عند حرق الفحم داخل المنزل أو بسبب المولدات سيتم إنتاج أول أكسيد الكربون وبالتالي الوفاة. يتم مراقبة وتنظيم أول أكسيد الكربون في الولايات المتحدة كواحد من الستة ملوثات الرئيسية للهواء تحت "معايير جودة الهواء المحيط القومي".

الرصاص

لقد كان تلوث الهواء بالرصاص موضوعاً عالمياً منذ ملايين السنين. يتضح من دراسة طبقات الثلج في آيسلندة أن هناك ارتفاع في التلوث الجوي بالرصاص بسبب عمليات الصهر واستعمال الرصاص خلال أوقات الإغريق والرومان منذ حوالي 500 إلى 300 قبل الميلاد. إن استعمال الرصاص وانتشاره في مختلف أنحاء العالم ازداد بشكل مطرد خلال الثورة الصناعية. ولعل من أسوأ القرارات من منظور الصحة العامة هو إضافة الرصاص إلى وقود المركبات، مما نتج عنه ازدياد ملحوظ في مستوى الرصاص في دم الأطفال. بعد أن منعت الولايات المتحدة استعمال الرصاص في محركات المركبات، تناقص مستوى الرصاص في الجو بنسبة 94% بين الأعوام 1980 إلى 1999، وكذلك تناقص مستوى الرصاص في الدم عند الأطفال بشكل ملحوظ. أما بالنسبة لاستعمال الرصاص في وقود سيارات السباق فلم يتم منعه إلى مؤخراً، بينما لا يزال يستعمل في الطائرات التي تعمل على المكابس. هناك ما يستدعي الاهتمام باستمرار وبالذات في الدول النامية، ألا وهو تلوث الهواء بجزيئات الرصاص المعلق من صهر خامات المعادن، وتدوير البطاريات والنفايات الإلكترونية. في السنوات القليلة الماضية، التلوث بالرصاص بسبب التنجيم عن الذهب في نيجيريا، أدى إلى مقتل 400 طفل وأذى الآلاف. بالإضافة لذلك، فالعديد من الدول النامية لا تزال تستعمل وقود للمركبات يحتوي على الرصاص.

المركبات العضوية المتطايرة

المركبات العضوية المتطايرة هي مركبات عضوية تمتلك درجة غليان منخفضة وتتبخر بسرعة وسهولة إلى الهواء. تتواجد هذه المركبات بشكل طبيعي ولكن يتم إنتاجها أيضاً بفعل العديد من الأنشطة البشرية وهي من المكونات الرئيسية لملوثات الهواء سواء داخل المنازل أو خارجها. من الأمثلة المألوفة هو فورمالدهيد، الذي يستعمل في الطلاء والأصماغ والخشب

المضغوط. ومن الأمثلة أيضاً البنزين والذي هو مُذيب موجود في الوقود. التعرض قصير المدى للمركبات العضوية المتطايرة قد يُسبب تهيجاً للمجري التنفسية والعيون. أما بالنسبة للتعرض طويل الأمد فقد ينتج عنه أمراض عصبية وسرطان وغيرها من الآثار. تستطيع المركبات العضوية المتطايرة من التفاعل مع ثاني أكسيد الكربون وضوء الشمس لانتاج الأوزون والمواد المعلقة.

معايير جودة الهواء المحيط القومية

قامت منظمة حماية البيئة الأمريكية بوضع معايير لجودة الهواء المحيط القومية تحت تشريع الهواء النظيف في تشرين أول 2011 (انظر منظمة حماية البيئة <http://www.epa.gov/air/criteria.html>)

المادة الملوثة	النوع	المقاييس	متوسط الوقت
ثاني أكسيد الكبريت	أولي ¹	0.075 جزء من مليون	ساعة واحدة
	ثانوي ²	0.5 جزء من مليون (1300 µg/m ³)	ثلاث ساعات
التلوث بالجزيئات المعلقة	أولي وثنائي	150 مايكروغرام/م ³	24 ساعة
	أولي	12 مايكروغرام/م ³	سنوي
	ثانوي	15 مايكروغرام/م ³	سنوي
	أولي وثنائي	35 مايكروغرام/م ³	24 ساعة
أول أكسيد الكربون	أولي	35 مايكروغرام/م ³ (40 ملغم/م ³)	1 ساعة
	أولي	9 جزء في المليون (10 ملغم/م ³)	8 ساعة
أوزون	أولي وثنائي	0.075 جزء من مليون (150 مايكروغرام/م ³)	8 ساعة
ثاني أكسيد النيتروجين	أولي	0.100 جزء من المليون	1 ساعة
	أولي وثنائي	0.053 جزء من مليون (100 مايكروغرام/م ³)	سنوي
الرصاص	أولي وثنائي	0.015 جزء من المليون	3 أشهر متتالية

¹: المعايير الأولية توفر حماية للصحة العامة ويشمل ذلك حماية للمواطنين الأكثر تأثراً مثل مرض الأزمة والأطفال وكبار السن

²: المعايير الثانوية توفر حماية للصالح العام بما في ذلك الحماية ضد تدني معدل الرؤية والضرر بالحيوانات والنباتات والغطاء النباتي والمباني

صحة الطفل وتلوث الهواء

رغم أن حجم الأطفال صغير إلا أنهم يأكلون أكثر، ويشربون أكثر، ويتنفسون أكثر من الكبار، وذلك نسبة إلى وزن الجسم. لذلك فإن تعرضاً صغيراً قد يُشكل جرعة كبيرة للطفل بسبب صغر وزن الجسم. التقارير الحديثة التي تتعلق بالأبحاث على الأطفال وتلوث الهواء تؤكد أن الأطفال معرضون لأضرار تلوث الهواء. وقامت بيرارا وزملاؤها (2007) بوصف الآلية التي تقوم من خلالها المركبات الهيدروكربونية العطرية متعددة الحلقات والمعلقة في الهواء والناجمة من احتراق الوقود الأحفوري بالتأثير سلباً على سلوكيات الأطفال. ووصف ميلمان وزملاؤه (2008) التأثير السلبي لتلوث الهواء الناتج عن حرق الفحم في الصين على تطور الأطفال. وأخيراً، أورد بيسيرا وزملاؤه (2013) أن هناك ارتباط بين تلوث الهواء الناتج عن السيارات في لوس أنجيلوس في كاليفورنيا مع التوحد لدى الأطفال. وعند أخذ كل العوامل معاً، يتبين أن هذه الأبحاث وغيرها تثبت بوضوح مدى قابلية الأطفال للتأثر بتلوث الهواء وأهمية توفر هواء نقي خلال النمو.

تقليل التعرض

إن تقليل التعرض لتلوث الهواء أمر فيه تحدي، ويعتمد على المكان ومدى التزام المجتمع به. ممكن إلى حد ما التحكم في التلوث داخل المنازل من خلال شراء المنتجات التي تبت كيميائيات أقل إلى الجو. لكن التحكم بالتلوث خارج المنازل أو في أماكن العمل أصعب بكثير على الأشخاص، لكن المجتمع يستطيع القيام بتحسينات في هذا الجانب. لقد طرأ تحسن كبير على محركات السيارات وذلك لتقليل تلوث الهواء وزيادة المسافة التي تقودها السيارة على كمية معينة من الوقود. تم أيضاً تقليل التلوث من الشاحنات وغيرها من المحركات التي تعمل بالديزل من خلال تحسين التصميم واستعمال وقود قليل الكبريت. يمكن للأشخاص أن يُحدثوا فرقاً من خلال استعمالهم للمواصلات العامة أو المشي أو استعمال الدراجة الهوائية. أصبحت بعض الولايات تطلب آليات ذات كفاءة أعلى فيما يتعلق بالطاقة. بالإضافة إلى أن الألواح الشمسية وأشكال أخرى من الطاقة البديلة أصبحت أكثر عملية وذات سعر مناسب.

قوانين التحكم في تلوث الهواء

بعد الأحداث التي عانى خلالها الناس من الآثار المؤذية لتلوث الهواء، تم ادراك أن القوانين الخاصة بتلوث الهواء أساسية لرفاهية واستدامة الصحة للإنسان والنظام البيئي. بدأت القوانين محلياً ثم توسعت تدريجياً إلى جهود دولية وعالمية للسيطرة على تلوث الهواء وتقليل التوزيع العالمي للكيميائيات الضارة. من المهم أن تتم ملاحظة التداخل الذي يمكن أن يحدث بين المواضيع المحلية والعالمية: على سبيل المثال، التلوث الناتج من الفحم الحجري الذي يتم حرقه في الولايات المتحدة أو الصين تتسبب في تلوث الهواء المحلي وكذلك تساهم في التلوث العالمي. نجحت الاتفاقيات الدولية في المساهمة بتقليل بعض الأصناف من ملوثات الهواء مثل مركبات الكلور-الفلور الكربونية، لكن تلزم جهود عظيمة للسيطرة على الملوثات مثل الزئبق وغازات البيوت البلاستيكية، والتي تُساهم في الاحتباس الحراري. أدناه، بعض الأحداث القانونية الواجب ذكرها.

القوانين المتعلقة بتلوث الهواء

السنة	الاسم	ملاحظات
1955	القانون الخاص بتلوث الهواء	تم عرضه من أجل تباحته وكذلك صرح أن تلوث الهواء خطر على الصحة العامة والرفاهية، لكنه أبقى على "المسؤوليات الأولية والحقوق للولاية والحكومة المحلية للتحكم في تلوث الهواء"
1963	قانون الهواء النظيف	أقر بأن تلوث الهواء هو مشكلة قومية وأنها اجتازت حدود الولايات، وتم نشر معايير لجودة الهواء القومي

1965	قانون الحد من تلوث الهواء المتعلق بالمركبات الآلية	اقر بأن المركبات كانت مصدراً أساسياً لتلوث الهواء الوطني، وبالتالي يجب وضع معايير وطنية
1970	قانون الأنظمة البيئية الوطني	نص على أنه من واجب حكومة الولايات المتحدة أن "تشجع على التوافق والامتزاج المُنتج والمُمتع بين الإنسان وبيئته". وكذلك أنشئت منظمة حماية البيئة لكي تتحمل مسؤولية القوانين والحماية البيئية.
1970	ملحقات لقانون الهواء النقي	دعمت قانون الهواء النقي بشكل كبير ووضعت معايير جودة الهواء المحيط الوطنية وذلك لسته من ملوثات البيئة
1986-1989	اتفاقية مونتريال	اتفاقية مونتريال المتعلقة بالمواد التي تسبب تآكل طبقة الأوزون: معاهدة دولية للتخلص من والتوقف عن استعمال المواد الكيماوية مثل المركبات الكلور-الفلور الكربونية، تم تبني الاتفاقية عام 1986 وتم تطبيقها عام 1989
1997-2005	اتفاقية كيوتو	الاتفاقية الإطارية للأمم المتحدة حول التغير المناخي- وهي معاهدة دولية لتقليل انبعاث غازات البيوت البلاستيكية، تم تبنيها عام 1997 وتم تطبيقها عام 2005

الخاتمة والتوصيات

تلوث الهواء لا يعرف أي حدود وبالتالي هو موضوع محلي وقومي وعالمي. إن الحرق غير المقيد للوقود الأحفوري مثل الفحم الحجري والبتروول والزيت من أجل مولدات الطاقة والمواصلات وأفران الاسمنت والانتاج الكيماوي هي من المساهمات الرئيسية في تلوث الهواء وغازات البيت البلاستيكي والاحتباس الحراري. من الضروري إجراء المزيد من الابحاث حول الوسائل البديلة للطاقة وتقليل استعمال الوقود الاحفوري، وذلك من أجل المحافظة على عالم مستدام وحماية صحة الإنسان. إن محطات توليد الطاقة التي تعتمد على حرق الفحم الحجري وكذلك المراحل لهي نقاط محددة أساسية في تلوث الهواء ويجب أن تستعمل تكنولوجيا وأجهزة للحد من التلوث. كذلك توفر واستعمال وسائل المواصلات العامة والوسائل البديلة للتنقل يجب أن تتطور ليتم تقليل النقاط غير المحددة لتلوث الهواء مثل السيارات والشاحنات. يجب تصميم مُنتجات للمستهلكين ذات دور قليل في تلوث الهواء خلال تصنيعها واستعمالها. في حين أن تلوث الهواء الخارجي مهم، إلا أنه يجب إعطاء المزيد من الاهتمام لجودة الهواء الداخلي. وكمجتمع عالمي، يجب علينا العمل نحو سن القوانين التي تحمي الناس محلياً وكذلك عالمياً، وأن تحافظ على صحة الإنسان والبيئة من أجل الجيل الحالي والأجيال المستقبلية. نمتلك جميعنا (وخصوصاً أطفالنا) الحق في بيئة نتمكن فيها من الوصول والاستمرار في أقصى امكانياتنا، وتكون خالية من ملوثات البيئة المؤذية.

Additional Resources

Slide Presentation and Online Material

- A Small Dose of Air Pollution [presentation material and references](#). Website contains presentation material related to the health effects of air pollution.

European, Asian, and International Agencies

- World Health Organization (WHO). [Air pollution](#). Overview of indoor and outdoor air pollution as well as health-related information. [accessed May 17, 2013]
- World Health Organization (WHO). [Indoor air pollution and health](#). [accessed June 7, 2013]
- UK Department for Environment Food and Rural Affairs. [Air Pollution](#). [accessed June 7, 2013]
- England. [Air Quality England](#). "This website shows the latest near-real time air quality data for UK Government, local authorities and the private sector across England." [accessed June 7, 2013]

North American Agencies

- [AIRNow](#). Supported by US EPA, NOAA, NPS, tribal, state, and local agencies, AIRNow provides national air quality information, daily AQI forecasts and real-time AQI conditions for over 300 cities across the US. [accessed April 29, 2013]
- Health Canada. [Health Effects Of Air Pollution](#). Overview of air pollution and health related issues. [accessed February 20, 2014]
- US EPA. [Air Pollution](#). EPA provides a wealth of information on air pollution regulations, air quality, emissions monitoring, and health and environmental impacts. [accessed April 29, 2013]
- US EPA. [The Plain English Guide to the Clean Air Act](#). EPA provides a brief introduction to the 1990 Clean Air Act. [accessed May 17, 2013]
- US EPA. [Air Quality Criteria for Ozone and Related Photochemical Oxidants \(2006 Final\)](#). [accessed June 7, 2013]
- US EPA. [Indoor Air Quality](#). EPA provides excellent overview and references related to indoor air quality. [accessed June 7, 2013]
- US EPA. [Sulfur Dioxide](#). [accessed June 7, 2013]

- US EPA. [Nitrogen Oxides](#). [accessed June 7, 2013]
- US EPA. [Particulate Matter](#). [accessed June 7, 2013]
- US EPA. [Carbon Monoxide](#). [accessed June 7, 2013]
- US Occupational Safety & Health Administration. [Indoor Air Quality](#). [accessed June 7, 2013]