الاتـــزان الحـــراري

د. إبراهيم المعتـاز
كلية الهندسة ــ جامعة الملك سعود

تتمتع الأرض بثبات درجة حرارتها دون زيادة أو نقص ملحوظ عبر القرون الغابرة بل منذ نشأتها ، ويعد ثبات درجة حرارة الأرض عاملاً هاماً للمحافظة على التوازن البيئي وسبباً رئيساً في استمرار الحياة للكائنات المختلفة .

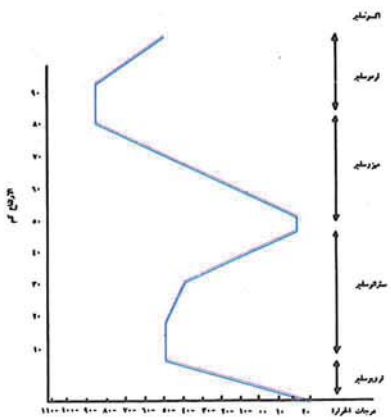
ويرجع الفضل في ذلك للغلاف الجوي المحيط بالأرض والذي يقيها من التقلبات الشديدة في درجة الحرارة ، حيث يكون ما يشبه المظلة التي تحمي سطح الأرض وما عليها من كائنات حية من الأضرار التي تنجم عن هذه التقلبات الحرارية . ويعتمد الغلاف الجوي في أدائه لوظيفته هذه على حالة النقاء والاتزان لمكوناته التي أوجدها الله عز وجل فيه منذ النشأة الأولى .

تغير درجة الحرارة في الغلاف الجوي

تختلف درجات الحرارة في الغلاف الجوي تحت الظروف العادية باختلاف طبقاته ، إذ تنخفض درجة الحرارة في الطبقة السفلى (التروبوسفير) مع الارتفاع عن سطح الأرض لتصل إلى ٥٠ درجة مئوية تحت الصفر بينما يكون التغير مع الأرتفاع في الطبقة التالية (الاستراتوسفير) على ثلاث مراحل . ففي المرحلة الأولى تبدأ درجةالحرارة في الثبات ثم ترتفع تدريجياً في المرحلة الثانية لترتفع بشكل ملحوظ في المرحلة الثالثة حتى تصل ١٥ درجة مئوية . وفي الطبقة الوسطى (الميزوسفير) تنخفض درجة الحرارة كثيراً مع الارتفاع لتصل نحو ٩٠ درجة تحت الصفر ، وتلي هذه الطبقة طبقة ساخنة (طبقة الثرموسفير) وترتفع فيها درجة الحرارة مع الارتفاع لتصل إلى ٢٠٠٠ درجة مئوية . أما الطبقة الخارجية (الاكسوسفير) أو منطقة انعدام الوزن فتصل درجة الحرارة فيها مع الارتفاع إلى أكثر من ٢٠٠٠ درجة مئوية . انظر شكل (١) .

ويحتوي الغلاف الجوي فضلاً عن مكوناته الأساس على بعض الملوثات الغازية الناتجة عن الأنشطة الصناعية والتي لها تأثير خطير في انقلاب التوزيع الحراري في الغلاف الجوي . وأهم هذه الملوثات الغازية المواد الهيدروكربونية وأول وثاني أكسيد الكربون وأكاسيد النيتروجين ومركبات الكبريت كثاني أكسيد الكبريت وكبريتيد الهيدورجين .

إن أهم ما يميز الغلاف الجوي تحت الظروف العادية هو ثباته ومقاومته للتقلبات وهذا مايحول دون انتشار الملوثات فيه أفقياً إذ أنها تنتقل في الحالة العادية رأسياً إلى أعلى متمددة ومنتشرة تبعاً لانخفاض درجة



شكل (١) تغير درجات الحرارة في طبقات الجو.

الحرارة ، وتنخفض درجة الحرارة مع الارتفاع (Lapse Rate) بمعدل ١ درجة مئوية لكل ١٠٠ متر .

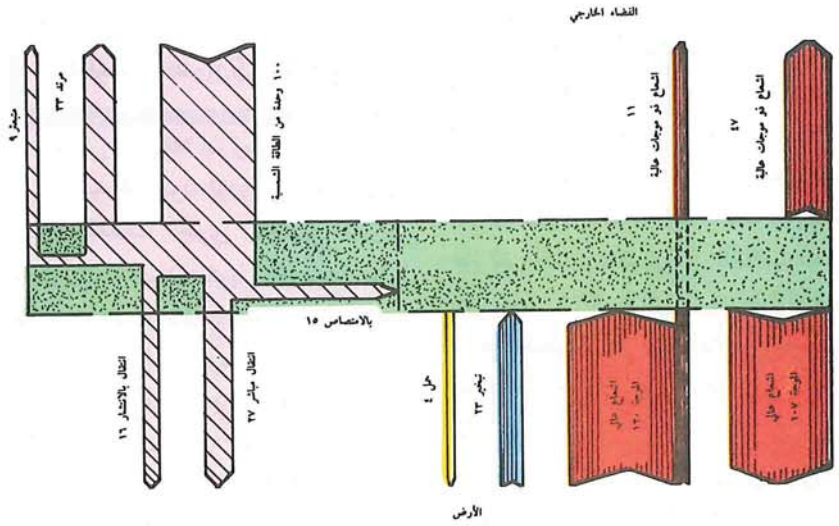
ويسهم التلوث الصناعي اليوم مساهمة كبيرة في تغيير التركيب الكيميائي للغلاف الجوي وبالتالي في الاخلال بالدور الفعال الذي تقوم به مكوناته الرئيسة في حالة النقاء والاتزان .

تنتقل الطاقة الحرارية بشكل مباشر من الشمس إلى الأرض على هيئة موجات كهرومغنطيسية تسمى أشعة الشمس ، وتمتد أشعة الشمس من نطاق الأشعة قصيرة الموجات (الأشعة فوق البنفسجية) إلى الأشعة طويلة الموجات (الأشعة تحت الحمراء) ، ولا تصل كل طاقة الشمس إلى الأرض اذ تنعكس منها حوالي ٣٣٪ في الفضاء الخارجي وتتشتت حوالي ٩٪ منها قبل وصولها إلى الغلاف الجوي الذي يمتص حوالي ١٥٪ منها ليصبح نصيب الأرض من الطاقة الكلية حوالي ٤٣٪ ، يصل ٢٧٪ منها للأرض بشكل مباشر و١٦٪ عن طريق الانتشار . انظر شكل (٢) الجزء الأيسر :

ويسخن الجو المحيط بالأرض بما يمتصه من أشعة الشمس الساقطة وبما ينعكس إليه من سطح الأرض وبالتوصيل Conduction والحمل Convection عند ارتفاع الطاقة الحرارية للأرض . وتقل كثافة الهواء الساخن ليرتفع إلى أعلى لينقل معه الحرارة . كما ويحل محل هذه الكتلة الساخنة المرتفعة من الهواء كتلة أخرى مساوية من الهواء البارد فترتفع حرارتها مع ملامسة سطح الأرض والأجواء الساخنة فترتفع بدورها إلى أعلى ، وهكذا تستمر هذه العملية وتتكرر ليحتفظ سطح الأرض

بدرجة حرارة معينة تعتمد على الوقت من ليل ونهار والموسم من شتاء وربيع وصيف وخريف . وهكذا تنخفض درجة الحرارة مع الارتفاع كما سبقت الاشارة إليه حتى تثبت في الطبقة الأولى من الميزوسفير .

ويبين الشكل رقم (٢) الاتزان الحراري بين سطح الأرض والغلاف الخارجي ، إذ يعبر الجزء الأيسر من الشكل عن توزيع ١٠٠ وحدة حرارية من الطاقة الشمسية الساقطة على الغلاف الجوي حسب النسب المذكورة سابقاً . بينما يبين الجزء الأيمن من الشكل الطاقة المتبادلة بين سطح الأرض والغلاف الجوي المحيط . اذ تشع الأرض ما يصلها من أشعة شمسية ساقطة بما يعادل ١٣١ وحدة حرارية من الاشعاع طويل الموجات ، تنفذ ١١ وحدة حرارية إلى الفضاء الخارجي مباشرة بينما يمتص الغلاف الجوي ١٢٠ وحدة (٩٢٪) من الأشعة ذات الموجات العالية . كما ويسبب تبخير المياه السطحية على الأرض انبعاث حوالي ٢٣ وحدة من الطاقة ، وبذا يصل للغلاف الهوائي Atmosphere ١٥٨ وحدة من الطاقة (١٢٠ من سطح الأرض ، ٢٣ من التبخير ، ١٥ مما امتصه الغلاف الهوائي من أشعة الشمس) ، ويتخلص هذا الغلاف الهوائي من هذه الطاقة ببعث ٤٧ وحدة منها إلى الفضاء الخارجي و١٠٧ وحدة إلى الأرض عن طريق اعادة الاشعاع المباشر و٤ وحدات بالحمل الحراري . وبهذا يحتفظ الغلاف الجوي وكذلك سطح الأرض بهذه الحالة من الاتزان الحراري المستمر .

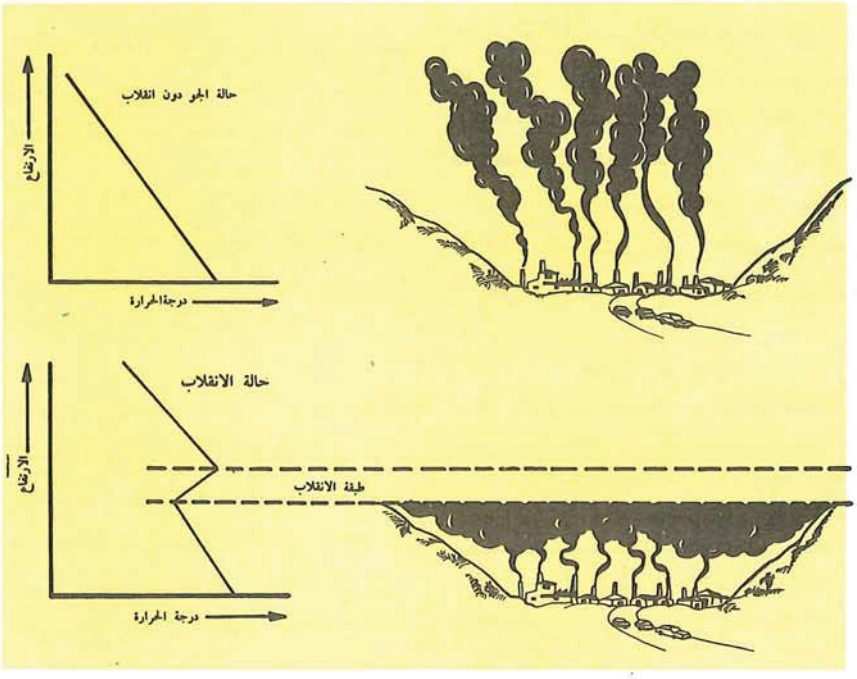


شكل (٢) التوازن الحراري للأرض والغلاف المحيط

الانعكاس الحراري

لا تتبع الطبقة القريبة من سطح الأرض (الجزء الأدنى من التروبوسفير) نظام الاتزان بشكل ثابت إذ تكون في وسط النهار أسخن منها في الليل والصباح الباكر ، فتزداد في هذه الطبقة المحدودة درجات الحرارة مع الارتفاع ، وهذا مايسمى بـالانقلاب (الانعكاس) Inversion الحراري . ويؤدي انحصار كتلة ساخنة من الهواء في هذه الطبقة من التروبوسفير إلى وجود هذه الظاهرة .

وكما ذكر سابقاً يستمر انتشار الملوثات في الغلاف الجوي رأسياً في الظروف العادية التي تتميز بانخفاض درجة الحرارة مع زيادة الارتفاع . ولكن عند وجود طبقات محصورة من الهواء الساخن فان انتشار الملوثات يكون أفقياً وليس رأسياً . ويبين الشكل رقم (٣) هذه الظاهرة بوضوح تام .



شكل (٣) ظاهرة الانقلاب الحراري

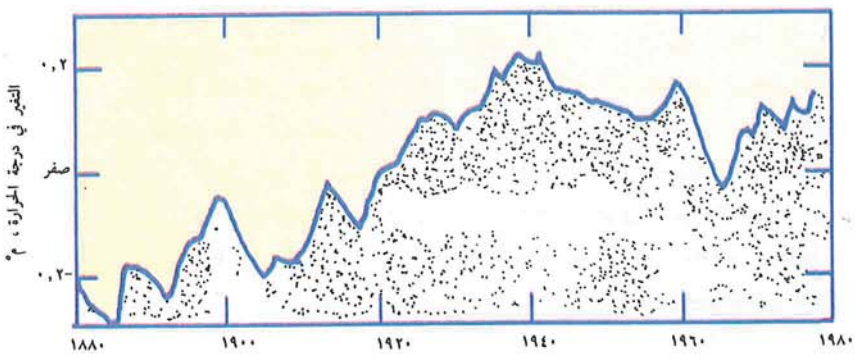
تأثير البيوت الخضراء

ان مقدرة الغلاف الجوي على امتصاص الأشعة بما يحتويه من غازات بتركيزات متزنة مثل بخار الماء وثاني أكسيد الكربون والميثان وغيرها تجعله وسطاً جيداً لامتصاص الحرارة واعادة بعثها للحفاظ التام على

التوازن الحراري لهذا الغلاف الهوائي ولسطح الأرض وتسمى عملية امتصاص هذه الغازات للأشعة المنعكسة من سطح الأرض ذات الأمواج الطويلة بتأثير البيوت الخضراء Green House Effect ، وهي عملية هامة أودعها الله سبحانه وتعالى هذا الغلاف الهوائي لتنظيم درجة حرارة سطح الأرض ، غير أن زيادة تركيز هذه الغازات خاصة ثاني أكسيد الكربون تزيد من كمية الأشعة التي تمتصها طبقة الغلاف الجوي الملاصقة لسطح الأرض مما يزيد من درجة حرارتها .

ويتضح الدور الهام الذي يقوم به الغلاف الجوي في أنه بينما يمتص فقط ١٥٪ من الأشعة الشمسية الساقطة ذات الأمواج القصيرة ليسمح بمرور ٤٣٪ منها إلى الأرض ، نجده يمتص نحو ٩٢٪ من الأشعة المنعكسة عليه من سطح الأرض ذات الأمواج الطويلة (٢ ــ ٤ ميكرون) ، ثم يعكس إلى الأرض نحو ٦١٪ (١٠٧ وحدة حرارية) من مجموع الأشعة الشمسية التي تصله (١٥٨ وحدة حرارة) . وبذا يحافظ هذا الغلاف الهام على درجة حرارة سطح الأرض عند ١٥ درجة مئوية ، ولولا وجود الغلاف الجوي لانخفضت درجة حرارة سطح الأرض إلى ٤٠ درجة مئوية تحت الصفر .

وحسب تقديرات Mitchell في عام ١٩٧٧م ، فان متوسط درجة حرارة القطب الشمالي أخذت في الارتفاع منذ عام ١٩٠٠م مع تذبذب بسيط ، ولقد كان من غير اليسير لديه توقع ما ستكون عليه درجة الحرارة بعد ذلك ، ويبين الشكل (٤) التغير في متوسط درجة حرارة الأرض للفترة من ١٨٨٠ وحتى ١٩٨٠م ويظهر فيه البدء في ارتفاع درجة الحرارة ولو ببطء ، هذا وتشير دراسات درجة حرارة القطب الشمالي للمليون سنة الماضية بوساطة حجم الجليد أنه لم تمر بالغلاف الجوي درجات حرارة مرتفعة مثل التي هي عليه الآن على الرغم من تذبذب درجة الحرارة .



شكل (٤) تغير درجة حرارة سطح الأرض عن الدرجة المتوسطة للفترة ١٨٨٠ ــ ١٩٨٠م

التلوث الحراري المتوقع

يفترض Menebe ان زيادة ١٠٪ في تركيز ثاني أكسيد الكربون تؤدي إلى رفع متوسط حرارة الغلاف الجوي الملاصق للأرض بحوالي ٠,٣ درجة مئوية . ويتوقع بحلول عام ٢٠٠٠م ان ترتفع درجة حرارة الأرض حوالي ٧ درجات مئوية ينجم عنها ذوبان كميات من الجليد يؤدي إلى ارتفاع منسوب المياه البحرية نحو ٦٠ قدماً مما قد يسبب غمراً لكثير من المناطق الساحلية . هذا وسيكون أقل ارتفاع في درجة الحرارة عند خط الأستواء وأعلى ارتفاع عند القطبين . وسيساعد هذا الارتفاع في درجة الحرارة في انبعاث كمية اضافية من غاز ثاني أكسيد الكربون المذاب في البحر والمحيطات مما سيؤدي إلى ازدياد متتابع في درجة الحرارة .

ولا يعني ارتفاع درجة حرارة الأرض بدرجة أو درجتين بالضرورة دفئاً لسكان الأرض ، ولكن تكمن أهمية هذا الارتفاع في درجة الحرارة في تأثيره على نظام المناخ ودورته على سطح الأرض .

ويرى كثير من الباحثين أن تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي مرتبط باستهلاك الوقود كمصدر رئيس لهذا الغاز ، فبفرض زيادة استهلاك الوقود بمعدل ٤٪ سنوياً سوف يتضاعف تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي في عام ٢٠٢٥م بينما يمكن أن يتأخر زمن تضاعف تركيز هذا الغاز حتى بداية القرن الثاني والعشرين فيما لو كانت زيادة استهلاك الوقود السنوي للفترة ١٨٨٠ ــ ١٩٨٠م بمعدل ١٪ ، كما أن الاحتفاظ بمعدل الاستهلاك الحالي ٨×٩١٠ كيلوات في السنة (أي بمعدل زيادة قدرها صفر٪) سوف يؤخر مضاعفة تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي حتى عام ٢٢٠٠م الذي يتوقع بحلوله ايجاد طريقة لخفض تركيز هذا الغاز أو انتاج وقود يبعث كمية أقل من غاز ثاني أكسيد الكربون .

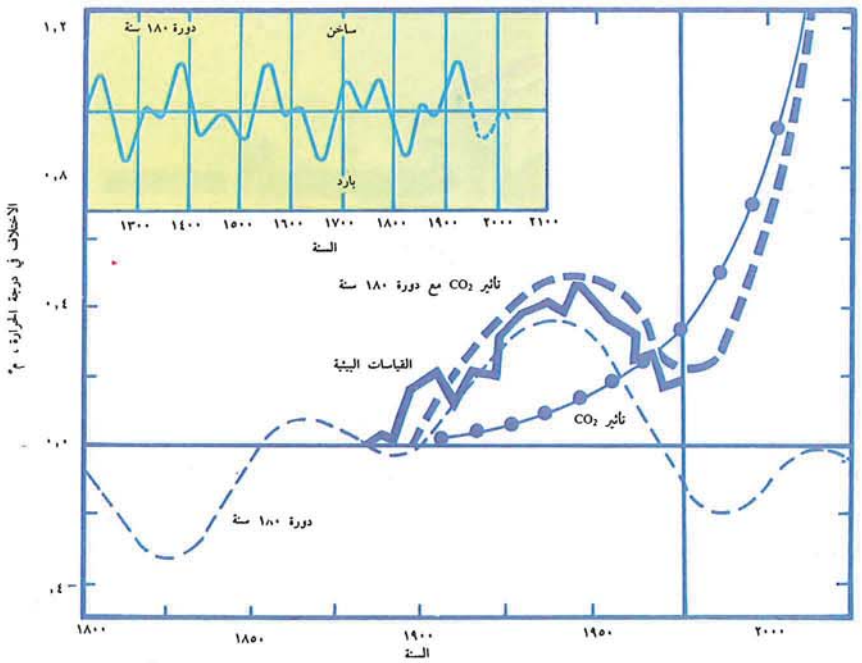
ان ثاني اكسيد الكربون ، وكذلك الغازات الأخرى مثل الميثان وأكسيد النيتروز NO_2 وفلوروكلوريد الكربون لها التأثير في رفع درجة حرارة الغلاف الجوي غير أن ثاني أكسيد الكربون يفوقها تأثيراً كما هو واضح في الجدول رقم (١) والذي يبين الارتفاع في درجات الحرارة الناتج عن مضاعفة تركيز هذه الغازات ، إذ يزيد تأثير غاز ثاني أكسيد الكربون بنحو مرتين ونصف على تأثير الغازات الأخرى مجتمعة . وهذا ما يجعل لهذا الغاز أهمية كبيرة وسبباً أساساً

جدول رقم (١)
تأثير البيوت المحمية Green house effect

الغـــاز	التغير في درجة الحرارة عند مضاعفة التركيز
ثاني أكسيد الكربون	١,٣٠ درجة مئوية
الميثـان	٠,١٢ درجة مئوية
أكسيد النتروز	٠,٢٩ درجة مئوية
فلوروكلوريد الكربون	٠,١٣ درجة مئوية

في رفع درجة حرارة الغلاف الجوي .

ويؤكد أهمية زيادة تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون في رفع درجة حرارة الغلاف الخارجي ما توصل إليه Broecker و Bernard في عامي ١٩٧٥م و١٩٨٠م على التوالي وكما هو موضح في الشكل رقم (٥) . وفيه يظهر أن للتقلبات الحرارية في الطبيعة دورة بين البرودة والحرارة كل ١٨٠ سنة كما هو ملاحظ في الرسمة المصغرة من الشكل والتي أعيد رسمها كخط مقطع خفيف . ولقد لوحظ أنه في عام ١٨٨٠م أخذت درجة حرارة الغلاف الهوائي في القطب الشمالي في الارتفاع عن المتوقع ، وهذا الارتفاع عبر عنه بالخط المستمر الثقيل Meteorogical Records غير أنها منذ عام ١٩٤٠م بدأت بالانخفاض . ويبين الشكل توقعات هذين الباحثين حول ما ستكون عليه درجة الحرارة مع ارتفاع في المستقبل وهو ماعبر عنه بالخط المقطع الثقيل ، ويزعمان أنه يجمع بين دورة ١٨٠ سنة الطبعية والزيادة في تركيز ثاني أكسيد الكربون المستمر كما جمع بينها في الماضي أي للفترة ١٨٨٠ ــ ١٩٤٠م .



شكل (٥) درجة حرارة القطب الشمالي المسجلة والمحسوبة مع بيان دورة ١٨٠ سنة

وعلى كل حال فليس هناك خلاف بين أصحاب نظرية زيادة درجة حرارة الغلاف الجوي وكيفية هذه الزيادة وانما الخلاف في الكمية وطريقة التعليل التي يمكن بها وصف هذا الارتفاع في درجة الحرارة في المستقبل وكيف يمكن الحد منه ، غير أن هناك نظرية أخرى تناقض هذه النظرية من أساسها ذلك أن أصحابها يفترضون انخفاضاً في درجة حرارة الغلاف الجوي بسبب عصر الصناعة وانتشار الملوثات ويحذرون أن يعود العالم إلى العصر الجليدي ، ويعلل هذا الفريق الانخفاض في درجة الحرارة بانعكاس الأشعة الشمسية على الجسيمات الملوثة في الجو وتشتتها في الفضاء وعدم وصولها إلى سطح الأرض .

مأساة بهوبال لازالت تفرز ضحاياها كل يوم !

بعد مرور أربع سنوات على مأساة بهوبال لايزال يسجل وقوع ضحايا بمعدل يفوق شخص في اليوم في حين يعاني ٥٠ ألف شخص من أفقر سكان المدينة من آثار الغازات السامة .

وكان غاز مثيل الايزوسيانات القاتل الذي ينتجه مصنع مبيدات الحشرات التابع لمؤسسة كاربيد الكيمائية الأمريكية العملاقة قد انتشر ليل ٢ إلى ٣ ديسمبر (كانون الأول) ١٩٨٤م في بهوبال عاصمة ولاية مادهيا براديش في وسط الهند . وتفيد الأرقام الرسمية عن مقتل ١٧٤٥ شخصاً من سكان الأحياء الفقيرة حول المصنع في الأيام الأولى . وتسجل منذ ذلك الوقت زيادة في الوفيات الناجمة عن آثار التسمم الطويلة الأمد وذلك باطراد مخيف . فبلغ عدد القتلى ٢٣٤٧ بعد مرور سنتين (٨٥٠) في ديسمبر (كانون الأول) ١٩٨٧م و٣٢٢٣ هذه السنة أي بزيادة ٥٠٠ قتيل كل سنة . وتمثل هذه الأرقام الحصيلة الرسمية في حين لاتزال السلطات تحقق في شأن ٨٢٣ وفاة أخرى مشبوهة .

ويشكل مصير المتسممين الذين مازالوا على قيد الحياة وعددهم يقارب الخمسين الفاً الوجه الآخر للمأساة . وهم يحتلون حتى الآن مستشفيات المدينة واصاباتهم متفاوتة في درجة الخطورة .

عن الشرق الأوسط ٢٤/ربيع الآخر ١٤٠٩هـ

أزيلوا الرصاص

تنفق الولايات المتحدة الأمريكية ملايين الدولارت سنوياً لمعالجة وتوعية الأطفال المتسممين بمادة الرصاص . وتوقعت دراسة أجرتها احدى المنظمات التي تهتم بسلامة البيئة ، وهي منظمة خيرية مقرها مدينة بوسطن ، ان تصرف ولاية ماساشوستس في عام ١٩٨٧م مبلغ ٥٥٠٠ دولار على توعية ومعالجة كل طفل من ألفي طفل يتوقع تعرضهم للتسمم بالرصاص .

وتشير الدراسة إلى ان الوقاية من التسمم هي أفضل الطرق لمعالجة هذه المشكلة ، كما تؤكد ان برنامج الوقاية الشامل يجب ان يقدم المساعدة المادية كالقروض والهبات والاعفاءات الضريبية لساكني المنازل ومالكيها لإزالة الدهانات التي تدخل في تركيبها الرصاص ، وإلى إزالة التربة الملوثة بالرصاص . وفي هذا مصداق للقول المؤثور : « الوقاية خير من العلاج » .