التلوث البيئي

أ.م.د. نعيم شند حمادي

المحاضرة الخامسة

أثر تلوث الهواء في طبقة الأوزون

1. يتكون الأوزون عادة في طبقة الستراتوسفير التي تقع على ارتفاع يتراوح ما بين 10 – 40 كيلومترا فوق سطح الأرض. ويتكون الأوزون عندما يتعرض أوكسجين الهواء الجوي لتأثير الأشعة فوق البنفسجية الصادرة عن الشمس فينحل بعض جزيئاته بتأثير هذه الأشعة إلى ذرات نشيطة ثم يتحد بعض هذه الذرات مرة أخرى مع جزيئات الأوكسجين مكونة الأوزون.
2. ويتم في هذه العملية امتصاص قدر كبير من الأشعة فوق البنفسجية الصادرة عن الشمس فلا يصل منها إلى سطح الأرض إلا قدر معتدل لا يؤثر في حياة الكائنات الحية وبذلك تمثل طبقة الأوزون التي تتكون في الطبقات العليا من الجو درعا واقيا يحمي الكائنات الحية التي تعيش على سطح الأرض من تأثير هذه الأشعة المدمرة. ويؤدي نقص تركيز الأوزون في طبقات الجو العليا إلى كثير من المضار فهو يسمح بزيادة كمية الأشعة فوق البنفسجية التي تصل إلى سطح الأرض مما قد يؤدي إلى الإصابة بسرطان الجلد كما قد يؤدي إلى إحداث تغيير في العوامل الوراثية لبعض الكائنات الدقيقة ويؤثر كذلك في عمليات التركيب الضوئي وفي سلسلة الغذاء إلى غير ذلك من أنواع الدمار البيولوجي. وقد جاء في التقرير المقدم لجمعية الأرصاد الفرنسية عام 1976 والخاص بمثل هذه الدراسات أنه لو حدث نقص في طبقة الأوزون مقداره 3% فسيؤدي ذلك إلى نقص قدره 9% في عمليات التركيب الضوئي التي تقوم بها النباتات وإلى زيادة بمقدار 6% في الإصابة بسرطان الجلد.
3. ومن المعروف أن حركة الهواء على ارتفاع نحو 15 كيلومترا من سطح الأرض تكون قليلة نسبيا ولذلك نجد أن كثيرا من الشوائب التي تنطلق في الهواء قد تتجمع عند هذه الطبقة وقد يؤدي بعض هذه الشوائب إلى انحلال جزيئات الأوزون عند هذه الارتفاعات. وتعتبر أكاسيد النتروجين وغازات الكلوروفلوروكربون من أهم المواد التي تسبب تدمير طبقة الأوزون. وعندما تتلامس جزيئات أكاسيد النتروجين مع جزيئات الأوزون يحدث بينهما تفاعل كيميائي يؤدي إلى تفكيك جزيئات الأوزون وتحويلها إلى جزيئات أوكسجين مرة أخرى. ومن الملاحظ أن هذا التفاعل لا يؤدي إلى اختفاء أكاسيد النتروجين بل يتحول في هذا التفاعل أحد هذه الأكاسيد وهو أوكسيد النتريك إلى أوكسيد نتروجين آخر وبذلك يستمر فعل هذه الأكاسيد مدة طويلة.
4. وقد قامت الولايات المتحدة في فترة ما بمنع طيران طائرة الكونكورد في الأجواء الأمريكية باعتبار أن محركات مثل هذه الطائرات يتكون فيها نسبة واضحة من أكاسيد النتروجين وبخار الماء وهي عوامل قد تساعد على تحلل طبقة الأوزون في هذه الأجواء. وقد قامت لجنة رسمية أمريكية ببحث أثر الطيران الأسرع من الصوت في تركيب الهواء وقدمت تقريرا عام 1971 جاء فيه: أن التركيز الطبيعي لبخار الماء في الهواء يصل إلى نحو 3 أجزاء في المليون وأن الأمر يحتاج إلى نحو 500 طائرة من الطائرات التي تطير على ارتفاع 21 كيلومترا وبسرعة 3 ماخ أي بسرعة 3300 كيلومتر في الساعة تقريبا ولمدة

30 سنة للوصول إلى مثل هذا التركيز من بخار الماء في طبقات الجو العليا. كذلك تبين أن أكاسيد النتروجين التي تنتج من هذه المحركات ضئيلة جدا عند مقارنتها بكمية هذه الأكاسيد التي تتصاعد في الهواء من سطح الأرض عند إحراق الوقود في المصانع وفي محطات القوى وفي محركات السيارات.

5. وتشترك مركبات الكلوروفلوروكربون مع أكاسيد النتروجين في تدمير طبقة الأوزون. وهذه المركبات على قدر كبير من الثبات ولذلك فهي تبقى في الهواء مدة طويلة وتحملها تيارات الهواء الصاعدة في طبقات الجو العليا وقد وجد تركيز محسوس من هذه المركبات على ارتفاع نحو 18 كيلومترا من سطح الأرض عند خط الاستواء وعلى ارتفاع نحو 7 كيلومترات فوق المناطق القطبية. وتنحل بعض جزيئات الكلوروفلوروكربون بتأثير الأشعة فوق البنفسجية القوية في طبقات الجو العليا معطية بعض ذرات الكلور النشيطة التي تتفاعل بعد ذلك مع الأوزون.

6. وهناك اهتمام عالمي اليوم بمشكلة الأوزون وقد عقد في مدينة بولدر بالولايات المتحدة عام 1980 مؤتمر للجنة الدولية للأوزون قدمت فيه أعداد كبيرة من البحوث التي تتعلق بهذه المشكلة بلغت في مجموعها نحو 250 بحثا واشترك في تقد يمها عدد كبير من علماء الدول المختلفة واتفق أغلب هذه البحوث على أن هناك خطرا متزايدا على الكائنات الحية التي تعيش على سطح الأرض من النقص الملحوظ في طبقة الأوزون. وطبقا لهذه البحوث فإنه من المتوقع أن يحدث نقص في طبقة الأوزون بمقدار 10 – 16% في خلال السنوات القليلة القادمة إذا استمر الإنسان في استعماله غير المتحفظ لمركبات الكلوروفلوروكربون وما يماثلها من مركبات وطبقا لبعض البيانات التي ذكرها العالمان كالس وناتاراجان Callis and Natarajan عام 1981 فإنه كانت هناك زيادة طفيفة في كمية الأوزون في المدة 1962 – 1970 ثم حدثت بعد ذلك عملية اتزان بين تفكك هذا الغاز وتكوينه من الأوكسجين حتى عام 1979 ثم بدأ تركيز طبقة الأوزون في النقص منذ بداية عام 1980. ويرى هذان الباحثان أن زيادة نسبة غاز ثاني أوكسيد الكربون في الجو تعمل على رفع درجة حرارة طبقات الجو الملاصقة لسطح الأرض وأنه نتيجة امتصاص ثاني أوكسيد الكربون للأشعة الحرارية المنعكسة من سطح الأرض فإن ذلك يساعد على زيادة برودة طبقات الجو العليا ويقلل بالتالي من معدل تفكك الأوزون إلى حد كبير.

7. واكدت بعض الدراسات ان الأوزون يثبت في وجود ثاني أوكسيد الكربون فقط ولكن سرعة التفكك تزداد عند اختلاط ثاني أوكسيد الكربون بمركبات الكلوروفلوروكربون وتزداد بشكل أكبر عند زيادة تركيز هذه المركبات الأخيرة. وفي عام 1985 قام ثلاثة من الباحثين من مجموعة British Antarctic survey التابعة للمجلس البريطاني لبحوث البيئة بإجراء بعض القياسات على طبقة الأوزون فوق المنطقة القطبية الجنوبية في محطة خليج Halley في شهر أكتوبر من كل عام وهو بداية الربيع في هذه المنطقة. وقد نشرت بحوث هذه المجموعة في رسالة إلى مجلة Nature ومنها تبين أن كمية الأوزون فوق القطب الجنوبي كانت تتناقص بشكل ظاهر خلال الفترة 1979-1985 في أوائل تشرين الاول من كل عام أي في بدء الربيع القطبي مما عرف فيما بعد بأسم ثقب الأوزون. وكانت نتائجهم أن نقص الأوزون في هذه المناطق كان مستمرا منذ عام 1970 حتى عام 1984. وقد أكد هذا النقص في طبقات الأوزون فوق هذه المناطق كل من Kruger and Stolarsky من علماء هيئة الفضاء الأمريكية NASA عن طريق بعض الصور التي إلتقطها القمر الصناعي Nimbus – 7 ضمن البرنامج المسمى نظام الخرائط للأوزون الكلي Total Ozone Mapping System والمختصر إلى TOMS. وقد دلت هذه

الصور التي أخذت في تشرين الاول عام 1984 على وجود كمية قليلة جدا من الأوزون فوق منطقة القطب الجنوبي وظهرت هذه المنطقة ملونة باللون الأسود البنفسجي ومع ذلك فقد كان يحيط بهذه المنطقة تركيز عال من الأوزون ظهر في هذه الصور بلون أخضر. وعند إعادة إلتقاط صور نفس هذه المنطقة بواسطة القمر الصناعي في أكتوبر عام 1985أي بعد إلتقاط الصور الأولى بعام كامل تبين أن تركيز الأوزون فوق المنطقة القطبية قد قل عن العام السابق.

8. وقد تمت دراسة حالة الجو فوق القطب الجنوبي خلال العام 1957-1958 وتبين من هذه الدراسة أن الأوزون يتكون في طبقات الجو العليا فوق خط الاستواء من الأوكسجين كما سبق ذكره فتنحل بعض جزيئات الأوكسجين بتأثير الأشعة فوق البنفسجية إلى ذرات حرة ثم يعود بعض هذه الذرات للاتحاد بجزيئات الأوكسجين لتكون الأوزون. وتحمل الرياح في دورتها العادية هذا الأوزون إلى منطقة القطب فترتفع فيها نسبة الأوزون في طبقات الجو العليا عندما يضاف هذا الأوزون إلى ما يتكون منه طبيعيا في هذه المنطقة. أما في فصل الشتاء فإن الليل القطبي يسود فوق المنطقة القطبية الجنوبية ويترتب على ذلك عدم تكون الأوزون في طبقات الجو العليا فوق هذه المنطقة لغياب الأشعة البنفسجية في هذا الفصل. ويؤدي ذلك إلى أن الأوزون الموجود أصلا في طبقات الجو فوق المنطقة القطبية الجنوبية لا يتجدد في فترة الليل القطبي الطويل بل إن بعض جزيئات الأوزون تنحل بمرور الزمن بطريقة تدريجية ويبدأ تركيزه في النقصان بمرور الوقت حتى يصل هذا التركيز إلى أقل قيمة له في أيلول من كل عام. وهذا النموذج ليس مؤكدا حتى الآن.

9. وهناك نوع من الصراع بين نظريتين: إحداهما تعزو هذا النقص في تركيز الأوزون إلى أسباب إصطناعية نتيجة تلوث طبقات الجو بالغازات والشوائب الناتجة من نشاطات الإنسان مثل تلك البحوث والدراسات التي قام بها كل من العالمان Solomon و Mc Elory وقدم كل منهما ميكانيكية لتفسير الأسباب في تدمير طبقة الأوزون كان أهم عامل فيها هو جزيئيات CLO التي تنتج من تلوث الهواء ببعض مركبات الكلوروفلوروكربون. وهناك علماء آخرين مثل Callis بمركز بحوث لانجلى التابع لهيئة NASA يرون أنه يجب ألا نتغاضى عن بعض الأسباب الطبيعية التي تشترك في الإقلال من تركيز الأوزون في الطبقات العليا للجو مثل النشاط الزائد للشمس فكلما زاد نشاط الشمس زاد تركيز أوكسيد النتروجين NO خصوصا في طبقات الميزوسفير وينتقل هذا الأوكسيد إلى القطب أثناء فترة الليل القطبي ويتحد مع الأوزون محولا إياه إلى أوكسجين وللإجابة عن هذا التساؤل هل النقص في تركيز الأوزون فوق القطب الجنوبي يعود إلى أسباب طبيعية أم لأسباب إصطناعية من فعل الإنسان؟

10. قامت عدة هيئات بعقد مؤتمر في آذار 1986 إشتركت فيه هيئة الفضاء الأمريكي NASA وهيئة الإدارة الأهلية لدراسات الجو والمحيطات(National (NOAA Oceanographic of Atmospheric Administration واتحاد الصناعات الكيميائية Chemical Manufacturers Association (CMA) وقد نوقشت عدة بحوث في هذا المؤتمر وهكذا بدا لأول مرة عمل منظم على أساس علمي لبحث مشكلة الأوزون ولتقدم حلول جذرية لها. وقد تضمنت خطة العمل إطلاق بالونات من محطة ماك موردو Mc Murdo ومن محطة أموندسون سكوت Amundsen Scott بالقطب الجنوبي لقياس تركيز الأوزون في طبقات الجو العليا في هذه المنطقة كذلك خصصت طائرة بواسطة المؤسسة الأهلية للعلوم بالولايات المتحدة National Science Foundation (NSF) تحمل معدات خاصة من جامعة نيويورك ومن الإدارة الأهلية

لدراسة الجو والمحيطات NOAA لقياس تركيز بعض أصناف خاصة من الجزيئات مثل: جزيئات الأوزون O_3 وأكاسيد النتروجين NO وNO_2 وأكاسيد الكلور مثل CLO وكذلك لقياس تركيز بعض الأحماض مثل: حامض النتريك HNO_3 وحامض الهدروكلوريك HCL وغير ذلك من الشوائب التي قد توجد في طبقات الجو فوق المنطقة القطبية.

11. وفي 16 ايلول 1987 اجتمعت 14 دولة في مونتريال بكندا ووقعت هذه الدول بروتوكول اتفاقية نافذة المفعول في أول كانون الثاني 1989 لتنظيم استعمال المواد التي تؤثر في طبقة الأوزون وتعتبر هذه الاتفاقية امتدادا لمؤتمر فينا الذي عقد في عام 1985 لحماية طبقة الأوزون. وقد اهتم كثير من الهيئات العلمية بمشكلة تدمير طبقة الأوزون المحيطة بالأرض فقامت جماعة ألمانية فرنسية في كانون الثاني 1988 بقياس نسبة الأوزون في الجو في شمال السويد وحول القطب الشمالي. كذلك قامت جماعة أمريكية عام 1987 تحت اسم التجارب الجوية لأوزون المنطقة القطبية الجنوبية Airborne Antarctic Ozone (AAOE) « Experiment بإجراء بحوث في هذا الاتجاه ووضع تحت تصرف هذه الجماعة طائرتين مجهزتين بكثير من الأجهزة المتقدمة. وقامت هذه الجماعة بقياس تركيز كل من الأوزون وبخار الماء وأكاسيد النتروجين والكلور والميثان ومركبات الكلوروفلوروكربون بالإضافة إلى تركيز الشوائب الأخرى والأحماض التي قد توجد في طبقات الجو العليا في هذه المناطق.

12. وعند تحليل النتائج التي حصلت عليها هذه الجماعة تبين أنه في أثناء الليل القطبي يكون تركيز الأوزون منتظما في شمال وجنوب المنطقة القطبية ولكن قيمته تكون قليلة إلى حد ما بينما تزداد نسبة مركب الكلور CLO اتجهنا جنوبا ويحدث العكس أثناء النهار القطبي فيكون تركيز الأوزون أعلى قليلا من تركيزه في الليل القطبي ويقل هذا التركيز كلما اتجهنا جنوبا. ويتبين من نتائج هذه البحوث أن ثقب الأوزون فوق المنطقة القطبية الجنوبية قد أصبح أكثر وضوحا مما كان عليه في عام 1986وأنه قد بدأ بالانحدار الأفقي في منطقة محيطة بالقطب الجنوبي. كذلك اتضح أن انخفاض نسبة الأوزون يكون أوضح ما يمكن على ارتفاع 12-20 كيلو مترا من سطح الأرض وأن هذا الانخفاض يتفق تماما مع القياسات الواردة من الأقمار الصناعية. وقد ثبت فيما بعد أن نسبة الأوزون فوق منطقة القطب الجنوبي قد أصبحت مساوية لثلث نسبة الأوزون المحيط بالمناطق الأخرى من الأرض. وقد لاحظت هذه البعثات العلمية أن تركيز مركب الكلور CLO يزداد في طبقات الجو العليا كما لاحظت بعثة الأوزون الأهلية National (NOZE) Ozone Expedition المقيمة في محطة ماك موردو أن نسبة CLO قد ازدادت كثيرا في عام 1987 على ما سبق لهذه البعثة نفسها أن سجلته في العام السابق في طبقات الجو العليا في القطب الجنوبي. ومن المعتقد الآن أن مركب الكلور CLO هو واحد من أهم المواد المسببة لتفكك جزيئات الأوزون ويتكون هذا المركب من تحلل جزيئات مركبات الكلوروفلوروكربون التي يطلقها الإنسان كل يوم في الهواء حيث تنخفض نسبة الأوزون أثناء النهار القطبي في الوقت الذي يزداد فيه تركيز CLO في الجو.

13. وقد نشر في آذار 1988 أول تقرير عن أعمال مجموعة من الهيئات والمؤسسات تعرف باسم (Ozone Trend Panel) وتقوم بمتابعة موقف الأوزون الحالي وتضم هذه المجموعة هيئة الفضاء الأمريكية (NASA) والإدارة الأهلية لدراسة الأجواء والمحيطات (NOAA) وإدارة الطيران الأهلية Federal Aviation Administration (FAA) وبرنامج الأمم المتحدة للبيئة United (UNEP)

Nations Environmental Program ويتبين من تقرير هذه المجموعة أن نسبة الأوزون في طبقات الجو فوق منطقة القطب الجنوبي قد قلت كثيرا في عام 1985 عن أول قياس تم أخذه للأوزون في المنطقة نفسها منذ عام 1978. ومن حسن الحظ أن هناك هيئات عالمية كثيرة تعمل معا لحل هذه المشكلة والوصول إلى أسبابها الحقيقية وعلى رأس هذه الهيئات هيئة الأمم التي أقامت قاعدة للمعلومات الدولية ومصادرها GRID ضمن برنامج الأمم المتحدة للبيئة (UNEP) وتوجد حاليا ثلاثة مراكز في نيروبي وجنيف وبانكوك وهي عبارة عن شبكة لرصد المعلومات المتعلقة بالبيئة لتوفيرها لكل الجهات التي تطلبها من حكومات وهيئات ومراكز بحث وغيرها.

14. وقد افتتح في النرويج حديثا مركزا رابعا يكمل المراكز الثلاثة الأولى وقد أقيم هذا المركز في مدينة أرندال جنوب النرويج وزود بكثير من أجهزة الرصد والاتصال وبالعقول الإلكترونية وسيقوم هذا المركز مثل المراكز الثلاثة الأخرى بجمع المعلومات الخاصة بالبيئة والتغيرات الجوية كما سيقوم بجمع المعلومات عن المنطقة القطبية الشمالية ومعلومات عن زيادة التلوث وأثر ذلك في الغابات وفي طبقة الأوزون. وقد اجتمع علماء 48 دولة في شهر آب 1989 في مؤتمر الأمم المتحدة للبيئة المنعقد في نيروبي وأطلقوا صرخة تحذير من العواقب الوخيمة للأضرار التي قد تنشأ عن تدمير طبقة الأوزون. وقد صرح دكتور جان فان ديرليون (رئيس المجموعة العلمية) في هذا المؤتمر بان هناك خطرا متزايدا على إمدادات الغذاء بالنسبة لكل سكان العالم وذلك لأن النقص في الأوزون سيؤثر بطريقة غير مباشرة في الطاقة الإنتاجية للمحاصيل وفي الثروة السمكية وأن أي نقص في إنتاج الغذاء ولو بدرجة ضئيلة سيؤثر تأثيرا سيئا خصوصا في المواطنين الذين يعيشون في المناطق التي تعاني بالفعل من المجاعة في دول العالم الثالث هذا بالإضافة إلى ما قد يسببه نقص الأوزون من مخاطر ارتفاع درجة الحرارة وارتفاع مستوى مياه البحر وما قد يسببه هذا النقص من الإصابة بسرطان الجلد.

الأمطار الحامضية

1. الأمطار الحامضية ظاهرة حديثة لفتت الأنظار بعد أن سببت كثيرا من الأضرار لمختلف عناصر البيئة المحيطة بنا. ويبدو أن ظهور هذه الأمطار الحامضية قد صاحب بداية الثورة الصناعية في منتصف القرن التاسع عشر فقد جاء ذكر هذه الأمطار في تقرير كتبه كيميائي بريطاني عام 1972 يدعى Robert Angus Smith ويقع هذا التقرير في حوالي 600 صفحة وربط فيه هذا الكيميائي البريطاني لأول مرة بين الدخان والرماد المتصاعد في الهواء من مداخن المصانع في مدينة مانشستر بإنكلترا وبين تلك الحموضة التي لوحظت في مياه الأمطار المتساقطة على المناطق المحيطة بهذه المدينة. ولم ينتبه أحد إلى أهمية هذا التقرير وطوي في زوايا النسيان حتى بدأت الثورة الصناعية التي تلت الحرب العالمية والتي استخدم فيها مزيدا من أنواع الوقود مثل الفحم وزيت البترول للحصول على الطاقة الحرارية ولتشغيل الآلات والمحركات والتي أدت إلى تزايد تلوث الجو فوق المدن وحول المناطق الصناعية ومحطات القوى. ولم يتنبه المجتمع الغربي إلى خطورة هذه الأمطار إلا منذ أعوام قليلة وذلك عندما لاحظ عالم سويدي عام 1967 يدعى سفانت أودين Svante Oden وهو من علماء التربة أن الأمطار التي تتساقط فوق بعض مناطق السويد تزيد نسبة حموضتها مع الزمن. وقد بين هذا العالم أن هذه الأمطار تنتج من ذوبان الغازات الحامضية التي تتصاعد من مداخن المصانع في بخار الماء الموجود في الجو ونبه هذا العالم إلى خطورة هذه الأمطار الحامضية وإلى آثارها المدمرة في مختلف عناصر البيئة

الطبيعية المتوازنة وأطلق على هذه الأمطار ذلك الاسم (حرب الإنسان الكيميائية ضد الطبيعة).

2. وقد كان هناك من يعتقدون أن الأمطار الحامضية ما هي إلا نتيجة بعض العوامل الطبيعية التي لا دخل فيها للإنسان مثل: تلك الغازات الحامضية التي قد تتدفق أحيانا من جوف البراكين أو التي قد تنتج من حرائق الغابات أو تنتج عند تحلل بقايا النباتات والحيوانات. ولو أننا دققنا النظر لوجدنا أن مثل هذه العوامل الطبيعية تحدث منذ القدم فالبراكين قد تثور في بعض الأحيان وحرائق الغابات قد تحدث من حين لآخر والبكتيريا تقوم بتحليل أجساد الكائنات الميتة كل يوم ولكن الأمطار الحامضية لم تظهر بشكلها الحالي والحاد إلا في هذا القرن الأخير ولا بد من أنها ترتبط بشيء جديد حدث في هذا القرن فقط.
3. وقد تبين حاليا بما لا يدع مجالا للشك أن السبب الرئيس في تكوين الأمطار الحامضية هو محطات القوى والمراكز الصناعية الضخمة التي تنتشر في كثير من الدول والتي تحرق كميات ضخمة من الوقود وتدفع إلى الهواء يوميا بكميات هائلة من الغازات الحمضية مثل: ثاني أوكسيد الكبريت وكبريتيد الهيدروجين وأكاسيد النتروجين ولا يقتصر تأثير هذه الغازات على المناطق التي خرجت منها وذلك لأن الرياح تحمل هذه الغازات من مكان لآخر وبذلك يمتد فعلها أحيانا إلى مسافات بعيدة كل البعد عن المصدر الذي خرجت منه.
4. ولا توجد هناك فكرة واضحة عن الطريقة التي تتكون بها الأمطار الحامضية في الهواء الجوي ولكن يعتقد أن الغازات المحتوية على الكبريت وأهمها غاز ثاني أوكسيد الكبريت تتفاعل مع أوكسجين الهواء في وجود الأشعة فوق البنفسجية الصادرة عن الشمس وتتحول إلى أوكسيد آخر من أكاسيد الكبريت يعرف باسم ثالث أوكسيد الكبريت الذي يتحد بعد ذلك مع بخار الماء الموجود في الجو ليعطي حامضا قويا يعرف باسم حامض الكبريتيك. ويبقى حامض الكبريتيك المتكون معلقا في الهواء على هيئة رذاذ دقيق تنقله الرياح من مكان لآخر. وقد يتحد جزء من رذاذ هذا الحامض مع بعض المواد القلوية التي قد توجد في الهواء مثل: الامونيا وينتج في هذه الحالة مركب جديد يعرف بأسم كبريتات الأمونيوم. وعندما يكون الجو جافا ولا توجد هناك فرصة لسقوط الأمطار فإن رذاذ حامض الكبريتيك ودقائق كبريتات الأمونيوم يبقيان معلقين بالهواء الساكن ويظهران على هيئة ضباب خفيف ذي طعم لاذع. وعندما تصبح الظروف مناسبة لسقوط الأمطار فإن كلا من هذه الجسيمات والدقائق تذوب في ماء المطر وتسقط معه على سطح الأرض على هيئة مطر حامضي. وعندما يكون الجو شديد البرودة فإن رذاذ الحامض يتساقط مع الجليد ويبقى مختلطا ببلوراته التي تكسو سطح الأرض. وتشترك أكاسيد النتروجين مع أكاسيد الكبريت في تكوين الأمطار الحامضية وتنشأ أكاسيد النتروجين من إحراق الوقود في محطات القوى والمنشآت الصناعية وفي آلات الاحتراق الداخلي. وتتحول أكاسيد النتروجين في وجود أوكسجين الجو والأشعة فوق البنفسجية إلى حامض قوى آخر يعرف بأسم حامض النتريك ويبقى هذا الحامض معلقا بالهواء الساكن وينزل مع مياه الأمطار مثل حامض الكبريتيك مكونا الأمطار الحامضية.
5. ويعتبر ماء المطر حامضيا عندما يكون تركيز آيون الهيدروجين فيه أكثر من تركيز آيون الهيدروجين في الماء. ويستخدم العلماء ما يعرف بالرقم الهيدروجيني للتعبير عن حموضة المحاليل أو قلويتها. فالماء المتعادل يكون رقمه الهيدروجيني 7 فإذا زاد هذا الرقم عن ذلك فأصبح 8 أو9 أو أكثر من ذلك كان المحلول قلويا مثل: محلول الصودا الكاوية أو محلول كربونات الصوديوم. أما إذا قل الرقم الهيدروجيني للمحلول عن 7فاصبح 6 أو5 أو اقل من ذلك كان المحلول حامضيا مثل: عصير الطماطة أو عصير الليمون أو الخل. ولهذه

الأمطار الحامضية آثار سيئة. فهي عندما تسقط على سطح الأرض تتفاعل مع بعض مكونات التربة القلوية وتعادلها كما أنها تساعد كذلك على تفتيت كثير من الصخور. وتبلغ حموضة الأمطار التي تسقط على المناطق الشمالية من أوروبا الغربية حدا كبيرا فقد يبلغ رقمها الهيدروجيني نحو 4 – 4.5 وقد تصل أحيانا إلى3. وعندما تسقط هذه الأمطار الحامضية على الأراضي الجيرية مثل حوض الأراضي المحيطة بباريس في فرنسا فإنها تذيب قدرا كبيرا من عنصر الكالسيوم الموجود في التربة وتحمله معها إلى مياه الأنهار وتؤدي هذه العملية إلى حدوث عدة أضرار أولها حدوث نخر في التربة وثانيها زيادة مطردة في تركيز الكالسيوم في مياه الأنهار بالإضافة إلى أن ذوبان بعض هذه الفلزات الهامة في مياه الأمطار الحامضية يبعدها عن جذور النباتات. ومن أمثلة هذه الفلزات: الكالسيوم والبوتاسيوم والمغنسيوم التي تحملها مياه الأمطار إلى المياه الجوفية بعيدا عن جذور النباتات مما يقلل من جودة المحاصيل ويقلل عن إنتاجها. وعندما تسقط هذه الأمطار الحامضية على الأراضي ذات التربة الكرانيتية كما في دول السويد والنرويج وفنلندا فهي تؤدي إلى تفتت بعض هذه الصخور وترفع من حموضة البحيرات.

6. وتؤدي الأمطار الحامضية إلى الإضرار بكثير من المجاري المائية المكشوفة البحيرات المقفلة خاصة فهي ترفع من حموضة هذه البحيرات وقد تقضي هذه الحموضة الزائدة على كل ما في هذه البحيرات من كائنات. وقد لوحظ مثل هذه الظاهرة في بعض الأنهار الأوروبية التي تتساقط عليها الأمطار الحامضية بشكل دوري. ومن أمثلة ذلك نهر توفدال Tovdal بالنرويج وقد اشتهر هذا النهر بهجرة أسماك السلمون إليه في موسم معين من كل عام ولكنه أصبح اليوم نتيجة الأمطار الحامضية التي تسقط عليه كل عام نهرا مهجورا لا يرده سمك السلمون ولا توجد فيه حياة من أي نوع.
7. ولا يقتصر التلوث على المناطق الصناعية التي تتكدس فيها المصانع أو على المدن المزدحمة بالسكان وبوسائل المواصلات ولكن هذا الوباء الخطير قد امتد إلى كثير من المناطق الريفية الجميلة وحتى المناطق المنعزلة تماما عن العمران قد وصلت إليها الأمطار الحامضية أو سقط عليها الجليد المشبع برذاذ الأحماض. وعلى الرغم من أن المطر المعتاد لا يكون متعادلا على الدوام بل يكون مائلا للحموضة في أغلب الأحيان نتيجة ذوبان بعض غاز ثاني أوكسيد الكربون فيه وقد يبلغ الرقم الهيدروجيني لهذا المطر نحو 5.6 إلا أن ما نقصده هنا هو تلك الأمطار التي يقل رقمها الهيدروجيني عن ذلك مثل: تلك الأمطار التي تسقط على بريطانيا ودرجة حموضتها 4.5 وأمطار اسكتلندا ودرجة حموضتها تصل أحيانا إلى 2.5 أو الأمطار التي سقطت في فرجينيا الغربية عام 1979 وكانت درجة حموضتها 1.5 تقريبا.
8. وكانت هذه الأمطار تشبه حامض البطاريات المستعمل في البطاريات السائلة. وقد زادت حموضة كثير من البحيرات في النصف الثاني من هذا القرن الماضي ومن أمثلة ذلك أن ولاية نيويورك كان بها عام 1930 نحو 8 بحيرات تقل حموضتها عن 5 ووصل عدد هذه البحيرات في عام 1974 إلى نحو 109 بحيرة. وقد تسببت هذه الحموضة في خلو هذه البحيرات من الكائنات الدقيقة ومن الأسماك وحتى النباتات لم تستطع أن تتأقلم مع هذه الظروف الجديدة فذبل أغلبها ومات ولم يتبق بهذه البحيرات الحامضية إلا بعض أنواع الفطريات التي استطاعت أن تقاوم تأثير الوسط الحامضي. وقد استطاع بعض البحيرات أن يقاوم تأثير الأمطار الحامضية في حدود معينة وذلك لأن قيعان بعض هذه البحيرات كانت تحتوي على صخور قلوية كان لها بعض الأثر في معادلة الأمطار الحامضية والاحتفاظ بمياه هذه البحيرات في حالة متعادلة، ومن الطبيعي أن هذه حالات نادرة، فأغلب

البحيرات التي تعرضت للأمطار الحامضية زادت حموضة مياهها وأصبحت لا تصلح لمعيشة الكائنات الحية. وهناك نحو ألفي بحيرة في منطقة أونتاريو تحولت مياهها من مياه متعادلة إلى مياه حامضية بسبب هذه الأمطار كذلك هناك عدة أنهار في نوفاسكوتشيا خلت تماما من سمك السلمون الذي تعود أن يهاجر إليها كل ربيع. كذلك تبين أن حوالي 20% من بحيرات السويد تعاني الآن من ارتفاع حموضة مياهها للأسباب السابقة نفسها.

9. ولا تتوقف أضرار الأمطار الحامضية على تلوث المجاري المائية فقط بل يمتد هذا الضرر إلى المحاصيل الزراعية والغابات. وتقاسي ألمانيا الغربية من هذه الظاهرة فيقدر ما تخسره سنويا من أشجار الغابات والأخشاب بسبب هذه الأمطار الحامضية بنحو 800 مليون دولار بالإضافة إلى ما يتلف من المحاصيل الزراعية الأخرى التي تقدر قيمتها بنحو 600 مليون دولار في العام.

10. وفي بعض الأحيان تؤثر الأمطار الحامضية في مياه الشرب فقد لوحظ أن مياه أحد الخزانات بولاية ماساشوستس بالولايات المتحدة ويعرف بأسم خزان كوابين Quabbin Reservoir قد زادت حموضتها بشكل ملحوظ نتيجة سقوط الأمطار الحامضية مدة طويلة من العام. وقد تسببت هذه المياه الحامضية في تآكل بعض قنوات المياه وبعض المعدات المعدنية المتصلة بهذا الخزان كما زادت نسبة الرصاص في مياه الشرب المأخوذة من هذا الخزان مما يمثل خطرا كبيرا على الصحة العامة.

11. وتؤدي الأمطار الحامضية إلى إذابة نسبة كبيرة من بعض الفلزات الثقيلة من التربة وتحملها معها إلى مياه البحيرات. ومن أمثلة هذه الفلزات: الرصاص والزئبق والألمنيوم وهي تسبب كثيرا من الضرر للكائنات الحية التي تعيش في هذه المياه لأنها تتجمع بمرور الزمن في أجسامها. وقد قلت أعداد الطيور في بعض هذه المناطق بعد أن قتل كثير منها نتيجة غذائها على الحشرات التي. تحتوي أجسامها على نسبة عالية من الألمنيوم الذي جرفته مياه الأمطار الحامضية من سطح التربة وحملته إلى الماء.

12. وتمتد الآثار الضارة للأمطار الحامضية إلى المدن ويمكن مشاهدة هذه الآثار في كثير من العواصم الأوروبية. ففي لندن يلاحظ تفتت بعض أحجار برج لندن وكنيسة وستمنسترآبي كما يشاهد ذلك بشكل أوضح في كنيسة سانت بول التي أقيمت في عام 1765 فقد بلغ عمق التآكل في بعض أحجارها الجيرية نحو بوصة كاملة نتيجة التفاعل بين هذه الأحجار وبين غاز ثاني أوكسيد الكبريت وحامض الكبريتيك المحمل بهما ضباب لندن الشهير بالإضافة إلى الأمطار الحامضية التي تسقط على المدينة من حين لآخر. وقد يمكن حماية المباني أو التماثيل من هذه الأمطار الحامضية بطلائها بأنواع مستحدثة من الطلاء ولكن تصعب حماية التربة أو الأنهار أو البحيرات من خطر هذه الأمطار.

13. وقد حاول بعض العلماء استخدام الجير في معادلة مياه بعض البحيرات التي تتعرض للأمطار الحامضية وذلك برش رذاذ من هذا الجير على سطح الماء من زوارق خاصة تطوف بكل أرجائها. وتعتبر هذه الطريقة تقليدا لما يفعله المزارعون عندما ينثرون مسحوق الجير على سطح التربة الحامضية قبل ريها لمعادلة حموضتها. ولا تعتبر هذه الطريقة أسلوبا مثاليا لحل مشكلة زيادة حموضة البحيرات بتأثير الأمطار الحامضية وذلك لأنها تتطلب مزيدا من الجهد والمال بالإضافة إلى أن هناك آلافا من هذه البحيرات التي تحتاج لمثل هذه المعادلة كما أن هذه الطريقة تتطلب دقة كبيرة في استخدام الجير حتى لا ينقلب الحال وتتحول مياه البحيرات إلى مياه قلوية.

14. ولا تقتصر ظاهرة الأمطار الحامضية على أوروبا وأمريكا فقط. فقد بدأ بعض البلاد الأخرى مثل: الاتحاد السوفيتي والصين بالمعاناة من هذه الأمطار. وعادة ما تحتوي أنواع

الوقود المستعملة في إنتاج الطاقة على قدر صغير من الكبريت قد يصل إلى 0.15 – 3 % بالوزن ونظرا لاستعمال ملايين الأطنان من هذا الوقود كل عام في الدول الصناعية الكبيرة فقد قدرت كمية غاز ثاني أوكسيد الكبريت التي تطلقها المناطق الصناعية في أوروبا في الهواء بنحو 50 مليونا من الأطنان كل عام بينما تقدر هذه الكمية في أجواء الولايات المتحدة وحدها بنحو 40 مليونا من الأطنان.

15. ويعاني كثير من الدول من هذه الأمطار الحامضية رغم أنها ليست من إنتاجها فنجد أن دولا أوروبية مثل: النمسا وفنلندا والنرويج والسويد وسويسرا تستقبل أمطارا محملة بمركبات الكبريت لا تنتجها هي، في حين أن دولا أخرى مثل. ألمانيا وبلجيكا وهولندا والدنمارك وفرنسا وبريطانيا هي التي تصدر إليها هذه الأمطار المزعجة. ومن المقدر أن نحو 250 ألف طن من الكبريت ترسبت في أرض النرويج عام 1974 منها نحو 30 ألف من الأطنان من إنتاجها ونحو 60 ألف من الأطنان حملتها إليها الرياح الغربية من بريطانيا والباقي من الدول الأوروبية الأخرى. ولهذا السبب نجد أن الدول الاسكندنافية هي الدول الدافعة والمحركة لوضع برنامج تعاوني بين دول أوروبا للحد من الأمطار الحامضية التي تعبر الحدود بين الدول. وتتهم الحكومة الكندية الولايات المتحدة بأنها هي التي تصدر إليها الأمطار الحامضية التي تتساقط على أراضيها كل عام وتقدر كمية الأحماض التي تحملها هذه الأمطار بنحو 12 مليون طن يأتي نحو 50% منها من وادي أوهايو بالولايات المتحدة. وقد عبر أحد العلماء عن هذا الوضع بقوله إن الرياح السائدة فوق كل من كندا والولايات المتحدة تبدأ من خليج المكسيك وتهب على مناطق وسط وغرب القارة الأمريكية وتحمل معها في طريقها كما هائلا من الغازات الحامضية وبخار الماء تتساقط في نهاية الأمر على هيئة أمطار حامضية فوق الأراضي الكندية وشبه ذلك بقوله: (إننا نقف في نهاية أنبوبة عادم جغرافية بالغة الضخامة).

16. وقد فطن كثير من الدول إلى الأخطار الناتجة من هذه الأمطار الحامضية ولهذا فقد اجتمعت ثلاث وثلاثون دولة في جنيف بسويسرا عام 1979 ووقعت اتفاقا تعهدت فيه كل هذه الدول ببذل مزيد من الجهد للسيطرة على ظاهرة التلوث وبخاصة تلوث الهواء المسبب للأمطار الحامضية. وقد تعهدت هذه الدول بوضوح بالبحث عن طرائق جديدة وأساليب متقدمة للحد من كمية غاز ثاني أوكسيد الكبريت الذي يتصاعد يوميا في الجو نتيجة إحراق مختلف أنواع الوقود باعتبار هذا الغاز هو أحد المكونات الرئيسة للأمطار الحامضية في كل مكان. كذلك وقعت كل من كندا والولايات المتحدة وثيقة عام 1980 تعهدت فيها كل منهما بالتعاون في محاولة للحد من كميات الغازات الحامضية المتدفقة من منشآتهما الصناعية والمسببة للأمطار الحامضية.

17. وهناك محاولات أخرى جادة للسيطرة على خطر الأمطار الحامضية ففي الولايات المتحدة تجرى هناك محاولات لتعديل القانون الخاص بالمحافظة على نظافة الهواء Clean Air Act الصادر عام 1970 بحيث يمكن خفض كمية غاز ثاني أوكسيد الكربون المتصاعدة في الهواء سنويا بمقدار عشرة ملايين من الأطنان على أن يتم ذلك تدريجيا خلال عشر سنوات. وقد قدم بعض الاقتراحات الغريبة لحل هذه المشكلة فقد رأى البعض أنه يمكن زيادة ارتفاع مداخن المصانع بحيث يمكن إطلاق غاز ثاني أوكسيد الكبريت على ارتفاع كبير فوق السحب. وقد أخذ بهذا الرأي في كل من كندا والولايات المتحدة عام 1970 وبلغ ارتفاع بعض هذه المداخن نحو 1250 قدما فوق سطح الأرض. ولم تنجح هذه الفكرة في خفض كميات الأمطار الحامضية وكل ما فعلته هذه المداخن شاهقة الارتفاع أنها دفعت بالغازات الحامضية إلى مناطق أعلى في الجو وبالتالي أدت إلى سقوط الأمطار الحامضية

فوق مناطق أكثر بعدا من ذي قبل. ويرى كثير من العلماء أن هناك ضرورة ملحة للتخلص من هذه الغازات الحامضية قبل إطلاق غازات العادم الصناعية في الهواء وأننا قد نكون اليوم في موقف مناسب يسمح لنا بحل هذه المشكلة وأن أي تأخير في تقديم الحلول المناسبة سيؤدي إلى استعمال خطرها وإلى حدوث أضرار بالبيئة قد لا يمكن علاجها فيما بعد.

18. ويبدي بعض رجال الصناعة شيئا كثيرا من التراخي في الأخذ ببعض الحلول والاقتراحات المقدمة في هذا الشان وهم يرون أن التخلص من الغازات الحامضية من غازات العادم الصناعية سيحتاج إلى بناء أبراج غسيل خاصة لامتصاص هذه الغازات وسيؤدي ذلك إلى رفع تكاليف العمليات الصناعية وسيقلل من أرباحهم وقد يؤدي إلى رفع الأسعار ويضع حملا ثقيلا على كاهل المستهلكين وقد يؤدي إلى خفض الإنتاج وزيادة البطالة. ويقدر بعض رجال الصناعة أن تنقية غازات العادم الصناعية من الغازات الحامضية على مستوى الولايات المتحدة وحدها سيتكلف ملايين الدولارات وقد يسبب ذلك أزمة اقتصادية لبعض الصناعات الصغيرة التي تقع في وسط وغرب الولايات المتحدة.

19. ومع ذلك فهناك حاليا اهتمام عالمي بمشكلة التلوث. ومن بين هذه المشاكل الأخطار الناتجة من الأمطار الحامضية ومن أمثلة هذا الاهتمام: تلك الجهود التي تبذلها هيئة الأمم وتلك الاعتمادات الضخمة التي تعتمدها الدول الصناعية لإجراء مزيد من البحوث الخاصة بالتغلب على مشكلة هذه الأمطار. وقد اعتمدت الولايات المتحدة 18 مليونا من الدولارات عام 1982 و22 مليونا من الدولارات عام 1983 للتقليل من خطورة هذه الأمطار الحامضية على البيئة وعلى صحة الإنسان.

إعداد تقديم شند حمادي