وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة الأنبار / كلية الآداب

قسم الجغرافية

الكلية : الآداب

القسم أو الفرع : الجغرافية

المرحلة: الرابعة

أستاذ المادة: أ.د. كمال صالح كزكوز العاني

المادة: المشكلات البيئية

Subject: environmental problems

المحاضرة الحادية عشر: ثقب طبقة الأوزون والأمطار الحامضية

Eleventh lecture: ozone layer hole and acid rain

طبقة الأوزون

يشكل غاز الأوزون O_3 أحد غازات الغلاف الجوي بحوالي ٠،٠٥ جزء في المليون من إجمالي حجم الغلاف الجوي، ورغم ضآلة هذه النسبة، فهو أحد أهم الغازات المؤثرة في حياة الكائنات على سطح الأرض. فهو غاز سام، غير مستقر ويعد أحد الغازات الملوثة للهواء، والمسببة لارتفاع درجة الحرارة، وهو غاز مؤكسد يوجد بنسب متباينة في جميع مستويات الغلاف الجوي، ويبلغ أقصى تركيز له (نحو ٩٠% من حجمه في الغلاف الجوي) في مستوى يتراوح ارتفاعه بين ٢٥- ٣٠ كم فوق مستوى سطح البحر داخل الأستراتوسفير. وتأتي أهمية الأوزون في أن عمليات تكوين جزيئاته تعتمد على استهلاك الأشعة فوق البنفسجية الآتية من الشمس نحو الأرض فلا يبقى منها سوى ما يعادل ٣% فقط من إجمالي كميتها تتدفق نحو الأرض، وهي نسبة مناسبة لحياة الكائنات الحية على سطح الأرض.

وقد اكتشفت بعض الدراسات المناخية في عام ١٩٨٥ وجود ما يسمى ثقب الأوزون، وعرف بأنه استنزاف لغاز الأوزون في طبقة الأستراتوسفير وبخاصة فوق القارة الجنوبية (أنتاركتيكا)، مما يؤدي إلى تدفق الأشعة فوق البنفسجية بنسب أكبر من نسبتها الطبيعية (٣%) من إجمالي كميتها المتدفقة من الشمس، وينذر ذلك بحدوث أضرار بيئية خطيرة، مما دعى اعتبار هذا الاستنزاف ثاني أهم مشكلة بيئية بعد الاحتباس الحراري تتعرض لها الأرض.

وتتسبب زيادة نسبة الأشعة فوق البنفسجية المتدفقة نحو سطح الأرض، إلى إصابة الكائنات الحية بأمراض سرطانية خطيرة، تصيب الجلد والعين في حالة الإنسان والحيوان، وتؤدي إلى انخفاض معدل النمو النباتي وبالتالي انخفاض الإنتاج الزراعي، وانخفاض معدلات تكاثر النباتات بما فيها البحرية. وتعود الأسباب التي تؤدي إلى استنزاف طبقة الأوزون بعضها طبيعي والآخر بشري، وأصبح من المهم مقاومة تلك الأسباب للحفاظ على طبقة الأوزون الأستراتوسفير، لكي تقوم بدورها الطبيعي بشكل دائم وتقي الأرض من أضرار زيادة تدفق الأشعة فوق البنفسجية.

تكون غاز الأوزون:

يتكون جزيء الأوزون (O_3) من اتحاد ثلاث ذرات أحادية من الأوكسجين (O)، أو من اتحاد جزيء أوكسجين (O_2) مع ذرة أحادية من الأوكسجين (O)، من خلال تفاعل ضوئي كيميائي، ويتوقف حدوثه على امتصاص الأشعة فوق البنفسجية. ويرتبط تكون الأوزون بتوافر وجود غاز الأوكسجين، أو إنتاج ذرات الأوكسجين الأحادية من خلال عمليات تفاعل كيميائي يدخل الأوكسجين في تركيب عناصرها، مثل تفاعل أكاسيد النتروجين مع بعض الغازات الأخرى مثل الهيدروكربونات وبخاصة غاز الميثان.

طبقة الأوزون:

يستقر أعلى تركيز للأوزون (نحو ٩٠% من إجمالي حجمه في الغلاف الجوي) على هيئة طبقة يتراوح مستواها بين ٢٥- ٣٠ كم فوق مستوى سطح البحر داخل الأستانوسفير، ويكون أقصى ارتفاع لها عند الدائرة الاستوائية، وأدنى ارتفاع لها عند الدائرة القطبية، حيث يرتبط ارتفاعها باختلاف سمك الغلاف الجوي حول الأرض، فيظهر مقطعها من القطب الشمالي إلى القطب الجنوبي على شكل محدب يكون أبعد ما يمكن عند الاستواء وأقرب ما يمكن عند القطبين. ويستقر الأوزون عند مستواه في الأستراتوسفير بعد أن يمر بمجموعة عمليات طبيعية وكيميائية ضوئية، تبدأ في مستويات أعلى من طبقة الترموسفير (التي تبدأ من ارتفاع ٨٠ كم فوق مستوى سطح البحر، وحتى نهاية الغلاف الجوي) عندما تتأين فيها جزيئات كل من النتروجين والأوكسجين بواسطة امتصاص الأشعة فوق البنفسجية قصيرة المدى، ويزداد تركيز أيونات الأوكسجين في المستوى الأدنى من الترموسفير، فيستمر هبوطها إلى مستويات أدنى داخل الميزوسفير المحصورة بين ارتفاع ٥٠ - ٨٠ كم فوق مستوى سطح البحر.

ويزداد تعرض ذرات الأوكسجين للأشعة فوق البنفسجية في مستوى الميزوسفير، ويصل التفاعل الضوئي الكيميائي إلى أعلى مستوياته فتتحلل كل ثلاث ذرات منها مكونة جزيء الأوزون. ولا تبقى جزيئات الأوزون ثابتة التكوين، بل سرعان ما تتفكك أيضاً بسبب تعرضها للأشعة فوق البنفسجية وامتصاصها، ثم تعود للاتحاد مرة أخرى مكونة جزيئات الأوزون، وبتكرار تلك التفاعلات الضوئية الكيميائية يستمر استهلاك الأشعة فوق البنفسجية.

يهبط غاز الأوزون المتولد بسبب ارتفاع كثافته إلى مستويات أدنى نحو الأستراتوسفير (المحصورة بين ارتفاع ١٣- ٥٠ كم فوق مستوى سطح البحر)، ويستمر معظمه في مستوى يتراوح ارتفاعه بين ١٥ – ٣٥ كم فوق مستوى سطح البحر، ويبلغ أقصى تركيز له في مستوى يتراوح ارتفاعه بين ٢٥- ٣٠ كم فوق مستوى سطح البحر. وينخفض نشاط التفاعل الضوئي الكيميائي عند هذا المستوى بسبب انخفاض كمية الأشعة فوق البنفسجية الواصلة إلى هذا المستوى (بسبب استهلاك معظمها في عملية تأين الأوكسجين في الترموسفير وتكوين الأوزون وتفككه في طبقة الميزوسفير) وعند هذا المستوى يكون قد تم استهلاك نحو ٩٧% من إجمالي كمية الأشعة المتجهة إلى الأرض، وتبقى من كميتها ما يعادل ٣% فقط، هي التي تمر في اتجاه الأرض ويستقبلها سطحه والكائنات الحية التي تعيش فوقه. ويؤدي أي تغيير في نسبة تركيز غاز الأوزون إلى تغيير سمك طبقته ، وبالتالي في تغيير كمية الأشعة فوق البنفسجية التي تستقبله الأرض، وقد دلت الدراسات المناخية على أن انخفاض تركيز الأوزون في الستراتوسفير بنسبة ١% ينتج عنه زيادة في كمية الأشعة فوق البنفسجية المتجهة

إلى الأرض (نسبة الـ ٣%) بنحو ٢% ، وأن انخفاض تركيز الأوزون الاسترانوسفيري بنسبة ٢،٥ % ينتج عنه زيادة تعرض سكان الأرض لمرض سرطان الجلد بنسبة ١٠% .

مشكلة استنزاف طبقة الأوزون:

تتعرض طبقة الأوزون الاستراتوسفيرية إلى خطر التحلل والتفكك والتدمير بسبب ما يصلها من ملوثات هوائية منبعثة من سطح الأرض تتفاعل معها وتفككها وتحولها إلى عناصر أخرى من جهة، وبسبب عمليات الغلاف الجوي من جهة أخرى، وتعد مركبات الكلوروفلوركربون (CFSs) الصناعية أكثر تلك الملوثات المؤدية إلى تفكك الأوزون، وبالتالي انخفاض تركيزه. وتتصاعد مركبات الكلوروفلوركربون إلى طبقة الأستراتوسفير ومستوى الأوزون من خلال تسربها من مصادرها الأرضية، فهي تستخدم في صناعة المبردات وأجهزة التكييف وكمادة دافعة في علب الرش، وفي صناعة الرغوة وأجهزة إطفاء الحريق وصناعة اللدائن الرغوية وتنظيف الدوائر الكهربائية.

وتقوم مركبات الكلوروفلوركربون في حالة صعودها إلى مستوى الأوزون في طبقة الأستراتوسفير بامتصاص الأشعة فوق البنفسجية فتتفكك بفعل التفاعل الضوئي الكيميائي منتجة ذرات الكلور (CL) التي تتفاعل مع جزيئات الأوزون وتفككه مكونة أول أوكسيد الكلور (CLO) والأوكسجين (O_2) ، وتتفاعل ذرات أول أوكسيد الكلور أيضاً مع ذرات الأوكسجين الأحادية الناتجة عن تفكك الأوزون مكونة الكلور (CL) والأوكسجين (O_2) ، وتكون النتيجة تدمير طبقة الأوزون وتحويله إلى مركبات كيميائية أخرى، وقد ثبت أن كل ذرة كلور تسبب تفكك حوالي مائة ألف جزيء أوزون.

وتشكل أكاسيد النتروجين ثاني أكثر الغازات خطورة على طبقة الأوزون الاستراتوسفيرية، وهي تنبعث من خلال عمليات التحلل الحيواني والنباتي، ومن عمليات احتراق الوقود الأحفوري، ومن عمليات احتراق المخلفات النباتية مثل حرائق الغابات وتدخين التبغ، ومن عوادم الطيارات النفاثة، وتقوم أكاسيد النتروجين في حالة صعودها إلى مستوى الأوزون في طبقة الأستراتوسفير بعدة تفاعلات مع ذرات الأوكسجين الأحادية الناتجة بفعل التفكك الضوئي للأوزون ومع غاز الأوكسجين، ومع غاز الأوزون نفسه مكونة النتروجين، وأكاسيد النتروجين على حساب تفكك وتدمير الأوزون.

ولأكاسيد النتروجين عامل إيجابي بالنسبة لطبقة الأوزون بجانب أثرها السلبي عليها، فهي تتفاعل كيميائياً مع ذرات الكلور CL الناتجة بفعل تفكك مركبات الكلوروفلوركربون فتسهم في تقليل أثر الكلور في تدمير طبقة الأوزون.

ويعد البروم Br المنبعث من الحرائق، ومن بعض مركبات الهالونات التي تنبعث من رغويات إطفاء الحريق من أكثر الغازات خطورة على طبقة الأوزون الاستراتوسفيرية، فهي تتفكك عند امتصاصها الأشعة فوق البنفسجية وتدمر الأوزون وتحوله إلى أوكسجين وأول أوكسيد البروم، ويفوق تأثير أول أوكسيد البروم في تدمير الأوزون

فعالية ذرات الكلور في تدمير الأوزون نحو ٧٥ مرة ، ويتفوق أثر الكلوروفلوركربونات بما يتراوح بين ٢،٥ – ١٠ مرات.

ونتيجة لخطورة مركبات الكلوروفلوركربون ومركبات البروم وأكاسيد النتروجين على طبقة الأوزون واستنزافها، وما يشكل ذلك من خطورة على زيادة تدفق الأشعة فوق البنفسجية نحو سطح الأرض عقدت العديد من المؤثرات من قبل منظمات حماية البيئة للتخلص من هذه المركبات أو الاستعانة عنها بمركبات أخرى أقل خطورة.

ثقب الأوزون:

اكتشف علماء المساحة البريطانية بالقارة الجنوبية (أنتاركاتيكا) عام ١٩٨٥ انخفاض سمك طبقة الأوزون بشكل كبير فوق القارة الجنوبية خلال فصل الربيع وتم تسميتها بثقب الأوزون، وقدرت مساحة هذا الثقب بمساحة الولايات المتحدة الأمريكية، وقد أكدت دراسات وكالة NASA عام ١٩٨٨ حدوث هذه الظاهرة عن طريق المعلومات التي استخرجتها من المرئيات الفضائية المصورة بالقمر الصناعي، وأشارت إلى أن طبقة الأوزون الاستاتوسفيري فوق القارة الجنوبية ينخفض تركيزها بنحو ٥٠% خلال فصل الربيع، وأن المتوسط السنوي لتركيز الأوزون في نصف الكرة الشمالي انخفض بحوالي ٢% بين عامي ١٩٦٩ – ١٩٨٦ .

وبالإضافة إلى أثر مركبات الكلوروفلوركربون، والهالونات وأكاسيد النتروجين في استنزاف طبقة الأوزون، فقد اكتشف في عام ١٩٨٧ أسباب أخرى طبيعية مرتبطة بحركة الهواء فوق القطب الجنوبي يعتقد أنها المسؤولة عن استنزاف طبقة الأوزون.

تشير العديد من الدراسات المناخية الحديثة إلى وجود دوامة هوائية فوق القطب الجنوبي تسمى دوامة الدائرة القطبية الجنوبية، وتعرف بأنها نطاق من الرياح الغربية تتحرك في حركة دوامية مستمرة تحيط بطبقة الأوزون الاستراتوسفيري فوق القارة الجنوبية، ويزداد نشاطها في فصل الشتاء ويضعف في فصل الصيف.

وتؤدي الحركة الهوائية الدوامية إلى عزل طبقة الأوزون الاستراتوسفيري فوق القارة الجنوبية (انتاركاتيكا) عن الغلاف الجوي وعدم اختلاطها به، وبالتالي تمنع وصول الهواء الدافئ فوق العروض الدنيا (الغني بالأوزون) نحو العروض العليا فوق القارة الجنوبية وبخاصة في فصل الربيع مما يتسبب في انخفاض نسبة تركيز الأوزون فوق القارة الجنوبية يجب أن يظهر هذا الاستنزاف مستمراً على مرور السنة، وليس مقتصراً على فصل واحد فقط (الربيع)، ولكن الواقع يؤكد غير ذلك، حيث تزداد كميات الأوزون الاستراتوسفيري فوق القارة الجنوبية خلال فصل الصيف والخريف والشتاء (على الرغم من ارتفاع أول الليل بمنطقة القطب شتاءً، مما يؤدي إلى انخفاض نشاط التفاعلات الضوئية الكيميائية المنتجة للأوزون)، وهي الفصول التي تضعف فيها الحركة الهوائية الدوامية القطبية، وتنخفض كميات الأوزون بشكل كبير ومفاجئ في فصل الربيع الذي تشتد فيه الحركة الهوائية الدوامية القطبية (على الرغم من زيادة نشاط التفاعلات الضوئية الكيميائية المنتجة للأوزون)، ومعنى ذلك أن

تأثير الحركة الهوائية الدوامية فوق القطب الجنوبي في التابين الفصلي لسمك طبقة الأوزون يعد أقوى بكثير من تأثير التفاعل الضوئي الكيميائي بين الأوزون والمركبات الكيميائية الأخرى.

الآثار البيئية المترتبة على استنزاف طبقة الأوزون:

عرفنا أن الأوزون هو أحد غازات الاحتباس الحراري، فهو يمتص الأشعة الشمسية الحرارية ثم يعيد بثها على هيئة أشعة حرارية طويلة الموجة، مما يؤدي إلى رفع درجة الحرارة، ويحدث ذلك في جميع مستويات الغلاف الجوي لكن بنسب متفاوتة تبعاً لتفاوت نسبة تركيز الأوزون فيها، وبالتالي يعد مستوى الأستراتوسفير أكثر مستويات الغلاف الجوي التي يزداد فيها فعالية الأوزون ثم احتباس الحرارة وارتفاعها.

وقد تتسرب حرارة الأستراتوسفير الناتجة بسبب وجود طبقة الأوزون بداخلها نحو الأستراتوسفير بواسطة عمليات الغلاف الجوي، مما يؤثر في ارتفاع حرارة الأرض وما يتبع ذلك من آثار سلبية على حياة الكائنات عليها. ويتسرب جزء من الأوزون الاستراتوسفيري إلى طبقة التروبوسفير فيتفكك ويستنفذ في عمليات الأكسدة، حيث يتحد مع بعض المركبات فيؤكسدها ويحولها إلى مواد صلبة متطايرة، تعد أحد مصادر الغبار الجوي الملوثة للهواء، ويعد تفاعله مع ثاني أوكسيد الكبريت وإنتاجه لثالث أوكسيد الكبريت أهم عمليات الأكسدة المسبب فيها، كما يؤدي تسرب الأوزون إلى الأستراتوسفير إلى زيادة فعالية الاحتباس الحراري وارتفاع حرارة الأرض، وإلى تعرض الكائنات الحية للتسمم، فيؤدي استنشاقه إلى تهيج الأغشية المخاطية لدى الإنسان وإلى الاختناق وفقدان الوعي، والتعرض لإمراض الالتهاب الشعبي وسرطان الرئة.

ويؤثر تذبذب الأوزون الاستراتوسفيري، فصلياً وظهور ثقب الأوزون الانتاركاتيكي الربيعي على أنظمة الضغط الجوي وحركة الهواء النفاث وعلى معدلات تدفق الإشعاع الشمسي وأنواعه المتجهة نحو الأرض، مما يؤدي إلى حدوث تغيرات مناخية فجائية على سطح الأرض تنذر بالخطر على كافة الكائنات الحية.

يتبع استنزاف طبقة الأوزون بالاستراتوسفير انخفاض كمية الأشعة فوق البنفسجية المستهلكة في عمليات إنتاج وتفكك الأوزون والمركبات الكيميائية التي تتفاعل معه، مما يعيق زيادة تدفقها نحو سطح الأرض، مما يعرض الكائنات الحية لأخطار هائلة لعل أهمها ارتفاع معدل الإصابة بمرض السرطان وخاصة في النطاقات من سطح الأرض التي تتعرض فوقها طبقة الأوزون للتدمير بسبب زيادة معدلات انبعاث الغازات نتيجة لتلوث الهواء وحرائق الغابات وخاصة فوق المدن الكبرى والدول الصناعية.

الأمطار الحامضية:

تعد مشكلة الأمطار الحامضية ثالث أهم مشكلات العالم البيئية بعد مشكلتي الاحتباس الحراري واستنزاف طبقة الأوزون، وهي تمثل أكثر المشكلات الناتجة بفعل التلوث الهوائي المحلي الذي تنقله الرياح عبر حدود الدول المجاورة وتسبب في أضرار خطيرة داخل الأنظمة البيئية الأرضية والمائية وصحة الإنسان.

وتعد النطاقات الصناعية الكبرى والمدن الحضرية الكبرى والمناطق المجاورة لها التي تقع في مواجهة الرياح السائدة، من أكثر نطاقات العالم المتأثرة بالأمطار الحمضية بسبب ارتفاع مستوى التلوث الهوائي بها بالغازات المنبعثة من النشاط الصناعي وأشكال النشاط البشري المعتمدة على عمليات احتراق الوقود الأحفوري (الفحم – البترول – الغاز الطبيعي).

ويعد أبسط تعريف للأمطار الحمضية هو (اتحاد كيميائي بين جزيئات الماء الموجودة بالهواء مع جزيئات بعض الغازات الموجودة بالهواء أيضاً أو المترسبة فوق سطح الأرض مكونة مركبات حمضية). فمثلاً تتحد كيميائياً جزيئات الماء H_2O الموجودة في الجو (في أي صورة من صور التكاثف أو التساقط) مع جزيئات ثاني أوكسيد الكاربون CO_2 أحد غازات الغلاف ينتج حامض الكربونيك H_2CO_3 .

وتتجمع الأحماض الناتجة بفعل اتحاد جزيئات الماء وبعض غازات الغلاف الجوي فوق سطح الأرض بمختلف أشكاله (الأساس الصخري – التربة الزراعية – المحاصيل الزراعية – النبات الطبيعي – المباني والمنشئات وغيرها)، وداخل المسطحات المائية (البحيرات – الأنهار – البحار – المحيطات وما تحتويه من كائنات مائية)، وينعكس ذلك بشكل مباشر أو غير مباشر على صحة الإنسان المنتفع من تلك الموارد الأرضية، وعلى معظم الدورات الطبيعية التي يتداخل فيها سطح الأرض مع الغلاف الجوي الدورة المائية – دورة بعض الغازات مثل الكاربون، الكبريت، النتروجين مما يؤثر في تغيير كيميائية الغلاف الجوي، وفي مستوى بعض المشكلات البيئية الأخرى المرتبطة بالغازات مثل مشكلة الاحتباس الحراري (ارتفاع حرارة الأرض).

ويتباين تأثير الأمطار الحمضية على سطح الأرض تبعاً لتباين توزيع مجموعة من العوامل يأتي في مقدمتها الملوثات الهوائية، بخار الماء الموجود في الجو (وما يتبعه من تكون صور التكاثف والتساقط المختلفة)، وكمية التساقط، وحركة الكتل الهوائية.

وتبذل العديد من الجهود الدولية وبخاصة مجموعة الدول الصناعية الكبرى لمحاولة التقليل من انبعاث الغازات المسببة للأمطار الحمضية لتقليل الأضرار البيئية الناتجة بفعلها والتي أصبحت واسعة الانتشار في أقاليم تلك الدول خاصةً، وتنذر بالخطر في أقاليم مجاورة لها أو حتى بعيدة عنها بآلاف الكيلومترات.

إن الهم الكبير لسكان الأرض هو مشكلة الأمطار الحامضية التي وصفها أحد علماء البيئة بأنها كارثة تسير ببطء وتدمر باستمرار النباتات والبحيرات والأنهار وما تحتويه من خيرات، كما تسبب عمليات التآكل في المنشئات

الحجرية والمعدنية، ولخطورة هذه المشكلة فقد قدرت خسائر ألمانيا الغربية خلال عام واحد حوالي ٦٠٠ مليون دولار نتيجة إتلاف المحاصيل الزراعية بسبب هذه الأمطار.

ولاحظ العالم السويدي سفانت اودين في عام ١٩٦٧ أن الأمطار الحمضية الهاطلة في السويد كانت حموضتها تزداد بمرور الزمن، وأطلق عليها تسمية (حرب الإنسان الكيميائية في الطبيعة)، وفيما بعد أظهرت الدراسات الحالية أن السبب الرئيسي في تكوين الأمطار الحمضية يعود إلى محطات إنتاج الكهرباء والمراكز الصناعية الضخمة، التي تنتشر في كثير من الدول التي تحرق كميات هائلة من الوقود وتدفع إلى الهواء يومياً بكميات متزايدة من الغازات مثل ثاني أوكسيد الكبريت والهيدروجين وأكاسيد النتروجين.

تكون الأمطار الحامضية:

تتكون الأمطار الحمضية من تفاعل الغازات المحتوية على الكبريت وأهما ثاني أوكسيد الكبريت مع الأوكسجين بوجود الأشعة فوق البنفسجية الصادرة عن الشمس، وينتج ثاني أوكسيد الكبريت الذي يتحد بعد ذلك مع بخار الماء الموجود في الجو، ليعطي حامض الكبريت الذي يبقى معلقاً في الهواء على هيئة رذاذ دقيق تنقله الرياح من مكان لآخر، وقد يتحد مع بعض الغازات في الهواء مثل النشادر وينتج في هذه الحالة مركب جديد هو كبريتات النشادر، إما عندما يكون الجو جافاً، ولا تتوفر فرصة لسقوط الأمطار، فإن رذاذ حمض الكبريت ودقائق كبريتات النشادر، يبقيان معلقين في الهواء الساكن، ويظهران على هيئة ضباب خفيف، ولا سيما عندما تصبح الظروف مناسبة لسقوط الأمطار فإنهما يذوبان في ماء المطر، ويسقطان على سطح الأرض على هيئة مطر حامضي، هذا وتشترك أكاسيد النتروجين مع أكاسيد الكبريت في تكوين الأمطار الحمضية، حيث تتحول أكاسيد النتروجين بوجود الأوكسجين والأشعة فوق البنفسجية إلى حمض النتروجين، ويبقى هذا الحمض معلقاً في الهواء الساكن، وينزل مع مياه الأمطار مثل حمض الكبريت مكوناً الأمطار الحمضية.

الآثار التخريبية للأمطار الحمضية في البيئة:

أ- أثر المطر الحمضي في البحيرات أو المحيطات:

أثرت الأمطار الحمضية في بيئة البحيرات، فبينت الدراسات أن (١٥) ألف بحيرة من أصل (١٨) ألف بحيرة قد تأثرت بالأمطار الحمضية، حيث ماتت وتناقصت أعداد كثيرة من الكائنات الحية التي تعيش في هذه البحيرات وخاصة الأسماك والضفادع. وأن زيادة حموضة الماء تعود إلى انتقال حمض الكبريت وحمض الأزوت إليها مع مياه السيول والأنهار بعد هطول الأمطار الحمضية. إضافة إلى ذلك فأن الأمطار الحمضية تجرف معها عناصر معدنية مختلفة بعضها بشكل مركبات من الزئبق والرصاص والنحاس والألمنيوم فتقتل الأحياء في البحيرات، وكما أن ماء البحيرات يذيب بعض المركبات القاعدية القلوية الموجودة في صخور القاع، أو تنتقل إليها مع مياه الأنهار والسيول، فتنطلق شوادر البيكربونات وشوادر أخرى تعدل حموضة الماء.

ب- أثر المطر الحمضي في الغابات والنباتات:

أن تدمير الغابات له تأثير في النظام لبيئي، فمن الملاحظ أن إنتاج الغابات يشكل نحو ١٥% من الإنتاج الكلي للمادة العضوية على سطح الأرض، ويكفي أن نتذكر أن كمية الأخشاب التي يستعملها الإنسان في العالم تزيد عن ٢،٤ مليار طن في السنة، كما أن الغابات المزروعة في واحد كيلومتر مربع تكلف ١٣٠٠ طن من الأوكسجين وتمتص نحو ١٦٤٠ طن من ثاني أوكسيد الكاربون خلال فصل النمو الواحد. كذلك تؤثر الأمطار الحمضية في النباتات الاقتصادية ذات المحاصيل الموسمية وفي الغابات الصنوبرية، فهي تجرد الأشجار من أوراقها، وتحدث خللاً في التوازن للتربة وبالتالي تجعل الامتصاص يضطرب في الجذور، والنتيجة تؤدي لحدوث خسارة كبيرة في المحاصيل.

ج- أثر المطر الحمضي في التربة:

تبين التقارير أن التربة في مناطق أوربا، أخذت تتأثر بالحموضة، مما يؤدي إلى أضرار بالغة من انخفاض نشاط البكتريا المثبتة للنتروجين وانخفاض معدل تفكك الأداة العضوية، مما أدى إلى سماكة طبقة البقايا النباتية إلى الحد الذي أصبحت فيه تعوق نفاذ الماء إلى داخل التربة وإلى عدم تمكن البذور من الإنبات، وقد أدت هذه التأثيرات إلى انخفاض إنتاجية الغابات.

د- أثر المطر الحمضي في الحيوانات:

تتوقف سلامة كل مكون من مكونات النظام البيئي على سلامة المكونات الأخرى، فمثلاً دخان المصانع سبب رئيس والأمطار الحامضية وتأثيرها يحرم القوارض من المادة الغذائية والمأوى، ويؤدي إلى موتها أو هجرتها، كما تموت الحيوانات اللاحمة التي تتغذى على القوارض أو تهاجر أيضاً وهكذا... وكذلك تؤثر الأمطار الحمضية وتسبب موت القشريات والأسماك الصغيرة في البحيرات المتحمضة، نظراً لتشكل مركبات سامة بتأثير الحموض (الأمطار الحمضية). وتدخل في نسيج النباتات البلانكتون – العوالق النباتية (نباتات وحيدة الخلية عائمة) .. وعندما تتناولها القشريات والأسماك الصغيرة تتركز المركبات السامة في أنسجتها بنسبة أكبر، وهكذا تتركز المواد السامة في المستهلكات الثانوية والثالثية حتى تصبح قاتلة في السلسة الغذائية، ولا بد من الإشارة إلى أن النظام البيئي لا يستقيم إذا حدث خلل في عناصره المنتجة أو المستهلكة أو المفككة، وبالنتيجة يؤدي موت الغابات إلى موت الكثير من الحيوانات الصغيرة، وهجرة الكبيرة منها ... وهكذا.

هـ- أثر المطر الحمضي في الإنسان:

يتشكل الضباب الدخاني في المدن الكبيرة، وهو يحتوي على حموض، حيث يبقى معلقاً في الجو عدة أيام، وذلك عندما تتعرض الملوثات الناتجة عن وسائل النقل بصورة فادحة إلى الأشعة فوق البنفسجية الآتية من الشمس، فيحدث بين مكوناتها تفاعلات كيميائية تؤدي إلى تكوين الضباب الدخاني الذي يخيم على المدن وخاصة في ساعات الصباح الأولى، والأخطر في ذلك هو غاز ثاني أوكسيد النتروجين، لأنه يشكل المفتاح الذي يدخل في

سلسلة التفاعلات الكيميائية الضوئية التي ينتج عنها الضباب الدخاني وبالتالي تكون أمام مركبات عديدة لها تأثيرات ضارة على الإنسان إذ تسبب احتقان الأغشية المخاطية وتهيجها والسعال والاختناق وتلف الأنسجة وانخفاض معدل التمثيل الضوئي في النبات الأخضر. وكل هذا ينتج عند حدوث ظاهرة الانقلاب الحراري، كما حدث في لندن عام ١٩٥٢ عندما خيم الضباب الدخاني لمدة ثلاثة أيام، مات بسببه ٤٠٠٠ شخص، وكذلك ما حدث في أنقرة وأثينا بالإضافة إلى أثر المطر الحمضي على المنشئات الصناعية والأبنية ذات القيمة التاريخية والتماثيل، إذ يكلف ترميمها مبالغ كبيرة من دخل الفرد أو الدخل القومي، وأبسط مثال على ذلك تفتت بعض الأحجار في برج لندن الشهير وكنيسة وست مينسترابي .